



УКРАЇНА
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ЗНТУ)

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект (роботу) Застосування спеціальних
(вказати тему дипломного проекту (роботи))

методів обробки при виготовленні втулки з мар-
мійного сталі

Студент Чорноморець В. В.

Спеціальність 131 Прикладна механіка група МЗ-113

Обсяг проекту (роботи) невизн.

Кількість аркушів креслення 7 А1

Кількість сторінок пояснювальної записки 133

а) короткий зміст проекту (роботи) та прийнятих рішень в матері-
алівській роботі обрано способи оприлюднення
заготовки, розраховано припуски, релієфні
різання, обрано обладнання, розглянуто
неможливість підвищення значущості, що
залежить від технологічного процесу,
обрані заходи щодо техніки безпеки
та охорони праці

б) висновок про відповідність проекту (роботи) завданню

виконана робота відповідає зав-
данню.

в) характеристика виконання кожного розділу дипломного проекту (роботи), рівень відповідності останнім досягненням науки та техніки і передовим методам роботи

у роботі для обробки деталі викори-
стовується сучасне обладнання

г) негативні особливості виконання проекту (роботи)

в операційних картах не містять
важливих операцій призначені реліє-
фні, що зважаючи на мілірувальних
крупів

д) позитивні особливості робота виконана з використанням комп'ютерних програм, яким автор вільно володіє

е) оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки до проекту (роботи) графічний матеріал та пояснювальна записка виконані у відповідності до стандартів

є) відгук про роботу загалом робота виконана в певному обсязі

ж) інші зауваження

з) оцінка проекту (роботи) в цілому робота заслуговує оцінки "добре"

Рецензію склав

Зав. кат. ТМБ Рибес Т
(посада, місце роботи, прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

« 18 » 12 2018 р.

[10:29:56] Найдено 1% совпадений по адресу: <http://www.dissercat.com/content/povyshenie-effektivnosti-spusko-podemnykh-operatsii-pri-bureanii-pologonapravlennykh-skvazhin>

[10:31:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №837 [3] (200045 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:31:47] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №842 [3] (200020 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:32:12] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №847 [3] (200038 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:32:22] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №852 [3] (200035 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:32:32] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №857 [3] (200032 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:33:00] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №862 [3] (200018 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:33:16] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №867 [3] (200021 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:33:21] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №872 [3] (200023 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:33:57] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №877 [3] (200026 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:34:06] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №882 [3] (200030 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:34:14] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №887 [3] (200029 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:34:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №892 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:37:06] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №897 [3] (200012 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:37:52] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №902 [3] (200012 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:39:27] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №907 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

[10:40:20] Возникла ошибка при загрузке поисковой страницы №912 [3] (200028 миллисек.): Yandex (Время ожидания операции истекло)

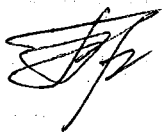
[10:40:21] Тип проверки: *Стандартная*

[10:40:21] **ВНИМАНИЕ! Уникальность может быть определена некорректно! (Обнаружено ошибок: 67%)**

[10:40:21] **Уникальность текста 89%[©] (Проигнорировано подстановок: 40%)**

Перевірку на плагіат програмою AntiPlagiarism.NET, магістерської роботи Чорноморець В.В., провів зав. лаб. каф. ТМБ Паміров В.М.

17.12.2018р.



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Машинобудівний

(повне найменування інституту, назва факультету)

Технології

машинобудування

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему Застосування спеціальних методів обробки
при виготовленні втулки з нероздільної сталі

Виконав: студент 6 курсу, групи МЗ-113М
спеціальності (напряму підготовки)

131 Прикладне механічне

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Чорношовець В. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Коробов О. Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Пявля С. І.

(прізвище та ініціали)

м. Запоріжжя

20 18 рік

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

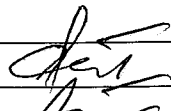
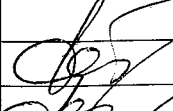
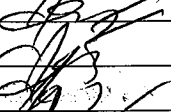
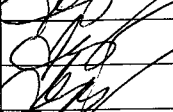
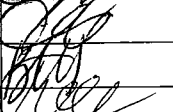
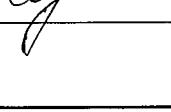
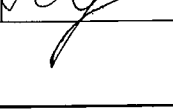
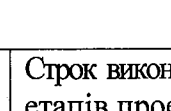
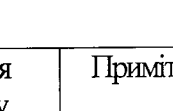
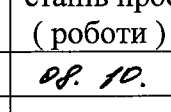
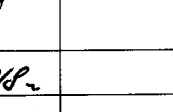
Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технології машинобудування
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) Другий (магістерський)
 Спеціальність 131 Прикладне механічне
 (код і назва)
 Напрямок підготовки
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМБ доц. Рудя С.М.
"17" 12 2018 року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

- Чорногорець Валерій Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема проекту (роботи) Застосування спеціальних методів обробки при виготовленні втулки з шаровидною сталлю
 - керівник проекту (роботи) Корюва Олег Борисович, к.т.н., доц.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом вищого навчального закладу від "28" 11 2018 року № 372
 - Строк подання студентом проекту (роботи) 10.12.18г.
 - Вихідні дані до проекту (роботи) Креслення деталі "Втулка"
N = 5000 шт.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технологічне чистиння, конструювання, автоматизація, спецевершиння, оптимізація геометрії деталі, охорона праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі "Втулка" Креслення з'єднання, 3D-модель, керування виготовлення деталі, робоче пристосування, контрольне пристосування, автоматизація, з метою спецевершиння.
 - Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
Технол. часі.	Корюве О.Б. к.т.н. доц.		
Конст. часі.	Корюве О.Б. к.т.н. доц.		
Автоматизац.	Корюве О.Б. к.т.н. доц.		
Специфікація	Корюве О.Б. к.т.н. доц.		
Опт. геом. др.	Корюве О.Б. к.т.н. доц.		
Окреслює проєкт	Митченко В.І. к.т.н. доц.		
Нормоконтроль	Пурейсоне Р.В. к.т.н. доц.		

7. Дата видачі завдання 30.09.2018.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

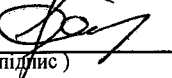
№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	Технологічна частини	08.10.2018.	
2.	Конструкторська частини	22.10.2018.	
3.	Автоматизація	05.11.2018.	
4.	Специфікація	18.11.2018.	
5.	Оптимізація геометрії деталі	03.12.2018.	
6.	Окреслює проєкт та бермесе у надбудованих ситуацій		

Студент


(підпис)

Митченко В.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Корюве О.Б.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текст пояснювальної записки складається з сторінок основного тексту і сторінок додатку, таблиць, малюнків, використаних джерел. Графічна частина складається з креслень формату А1, 1 креслення А2.

Метою магістерської роботи з технології машинобудування є закріплення і поглиблення отриманих знань, поповнення їх новими досягненнями сучасної прогресивної технології і застосування новітнього обладнання. Вивчення систем автоматизації та механізації технологічних процесів, накопичення досвіду самостійної інженерної діяльності по розробці технології виготовлення деталі підвищеної точності, конструювання технологічної оснастки, ріжучого інструменту і контрольного пристосування.

Графічна частина проекту складається з робочого креслення кільця упорного, заготовки, креслень пристосувань верстатного для фрезерування пазів і контрольного для перевірки паралельності, планування обладнання на ділянці, плаката по спецзавданням.

Альбом технологічних карт оформлений окремим томом. Він включає розробку технологічного процесу обробки кільця упорного.

ЗАГОТОВКА, ДЕТАЛЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПЛАН ОБРОБКИ, РЕЖИМ РІЗАННЯ, НОРМА ЧАСУ, ВТУЛКА.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

РТК	Розрахунково-технологічна карта
КГШП	Кривошипно-горячештамповочний прес
МОП	Маршрут обробки поверхні
КП	Керуюча програма
ППД	Поверхнево-пластична деформація
ППТК	Послідовність показників точності і якості
МОР	Мастильно-охолоджуюча рідина
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
ТВ	Технічні вимоги
ХТО	Хіміко-термічна обробка

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	
ВСТУП.....	
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	
1.1.1 Опис виробу	
1.1.2 Призначення деталі	
1.1.3 Технологічний контроль креслення	
1.1.4 Характеристика формотворчих поверхонь.....	
1.1.5 Механічні властивості матеріалу.....	
1.2 Визначення типу виробництва	
1.3 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки.....	
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....	
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	
1.5 Визначення операційних припусків і розмірів заготовки	
1.5.1 Розрахунок операційних припусків і розмірів заготовки розрахунково- аналітичним методом	
1.5.2 Розрахунок операційних припусків та розмірів заготовки табличним методом.....	
1.6 Розрахунок режимів різання	
1.6.1 Операція 45 (токарная с ЧПУ)	
1.6.2 Операція 140 (комплексна з ЧПК).....	
1.6.3 Операція 145 (круглошліфувальна).....	
1.6.4 Операція 120 (внутрішньошліфувальна)	
1.7 Нормування операцій	

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NX CAM.....	
1.8.1 Розробка токарної операції.....	
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	
2.1 Проектування робочого пристосування	
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність.....	
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	
2.2 Проектування контрольного пристосування	
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ.....	
3.1 Організація автоматизованого виробництва.....	
3.2 Автоматизація в системі контролю.....	
3.2.1 Принцип дії прилада активного контролю.....	
3.2.2 Розрахунки.....	
4 СПЕЦЗАВДАННЯ. ХІМІКО-ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	
4.1 Основні поняття. Види ХТО.....	
4.2 Азотування сталей.....	
4.3 Технологічний процес азотування.....	
4.4 Нові види хіміко-термічної обробки.....	
5 ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРІЇ ДЕТАЛІ.....	
5.1 Ефективність використання у виробництві геометричних засобів евклідового простору.....	
5.2 Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі	
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
6.1 Аналіз потенційних небезпек	
6.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	
6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	
6.4 Заходи з пожежної безпеки	
6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	
ВИСНОВОК.....	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	

ДОДАТОК А.....

ДОДАТОК Б.....

ВСТУП

При переході машинобудівного виробництва в ринкову економіку перед ним постають безліч різних завдань і питань, які потребують негайного і правильного їх вирішення.

Зростаюча конкуренція серед виробників продукції вимагає в мінімальні терміни, максимальної якості з найменшою собівартістю обробки виробу.

Собівартість виробу в значній мірі залежить від використання прогресивних технологічних процесів на виробництво продукції, застосування відповідно прогресивного технологічного обладнання та скорочення тривалості виробничого циклу і виготовлення деталі.

Тривалість виробничого циклу виготовлення деталі в свою чергу можна скоротити, застосовуючи механізоване і автоматизоване обладнання та приладдя (як робочі, так і контрольні), зменшення ручної праці, використання автоматизованих методів збирання стружки і транспортування деталей використання передових методів управління виробництвом.

В значній мірі скорочується тривалість циклу конструкторської та технологічної підготовки виробництва, при використанні новітніх засобів автоматизованої підготовки виробництва.

Якість створюваного виробу створюється на етапах підготовки та виробництва продукції і реалізованої в процесі експлуатації. Важливою складовою забезпечення якості продукції є контроль, як в ході виконання технологічного процесу, так і остаточний контроль деталі. Для забезпечення великої відсотка контрольованих деталей і зменшення часу на контроль, необхідно застосовувати контрольні пристосування з автоматичним і напівавтоматичним циклом роботи, при використанні різних режимів, а також систем переробних і аналізують отриману інформацію.

Як висновок можна написати, що в умовах ринкової економіки визначальне значення в положенні підприємства матиме застосування найбільш продуктивних, з найменшою собівартістю коштів праці, які забезпечують необхідну якість,

виконання конструкторських і технологічних робіт зі складанням мережевий моделі роботи підприємства, застосування найбільш ефективних засобів і методів контролю якості продукції.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

1.1.1 Опис виробу

Об'єкт виробництва – турбовальний двороторний двигун AI-450, призначений для легких вертольотів і літаків у класі злітної ваги 1500-4000 кг і може бути використаний у складі як дводвигунових, так і одновигунних силових установок літальних апаратів, а також як допоміжна силова установка.

Двигун AI-450 (рис. 1.1) виконано по двороторній схемі, що включає ротор газогенератора і ротор вільної турбіни. Вільна турбіна передає потужність на редуктор, який встановлений спереду двигуна, через вал, що проходить всередині вала ротора газогенератора.

Двигун складається з трьох модулів:

- редуктора з коробкою приводів агрегатів, вмонтованих в єдиний корпус;
- газогенератора, що об'єднує вхідний пристрій, компресор, камеру згорання і турбіну компресора;
- вільної турбіни з її валом.

Кожен з роторів встановлений на двох підшипникових опорах, вмонтованих в статор двигуна.

Одноступінчатий компресор включає в себе відцентрове колесо, радіальний лопатковий дифузор і осьовий спрямляючий апарат. Передній корпус компресора є силовим елементом двигуна, в якому розташована передня опора ротора газогенератора. Камера згорання кільцевого типу. Для скорочення довжини двигуна проточна частина камери згорання виконана з поворотом на 180 градусів. Турбіна компресора надзвукова, одноступінчата з охолоджуваними сопловими і робочими лопатками, виготовленими з жароміцного сплаву. Вільна турбіна осьова, одноступінчата, неохолоджувана. Система управління двигуна електронна, двоканальна з додатковим гідромеханічним резервним каналом. Контроль за роботою двигуна і діагностування виконуються за допомогою бортових і наземних засобів контролю за параметрами датчиків і сигналізаторів, встановлених на двигуні.

Технічні характеристики:

- довжина: 1085 мм;
- діаметр: 536 мм;
- маса суха: 103 кг;
- питома витрата палива: 0,297 кг/кГс(к.с.)·год;
- ресурс: 12000 год.;
- злітна потужність: 465 к.с.;
- Крейсерська потужність: 300 к.с.;

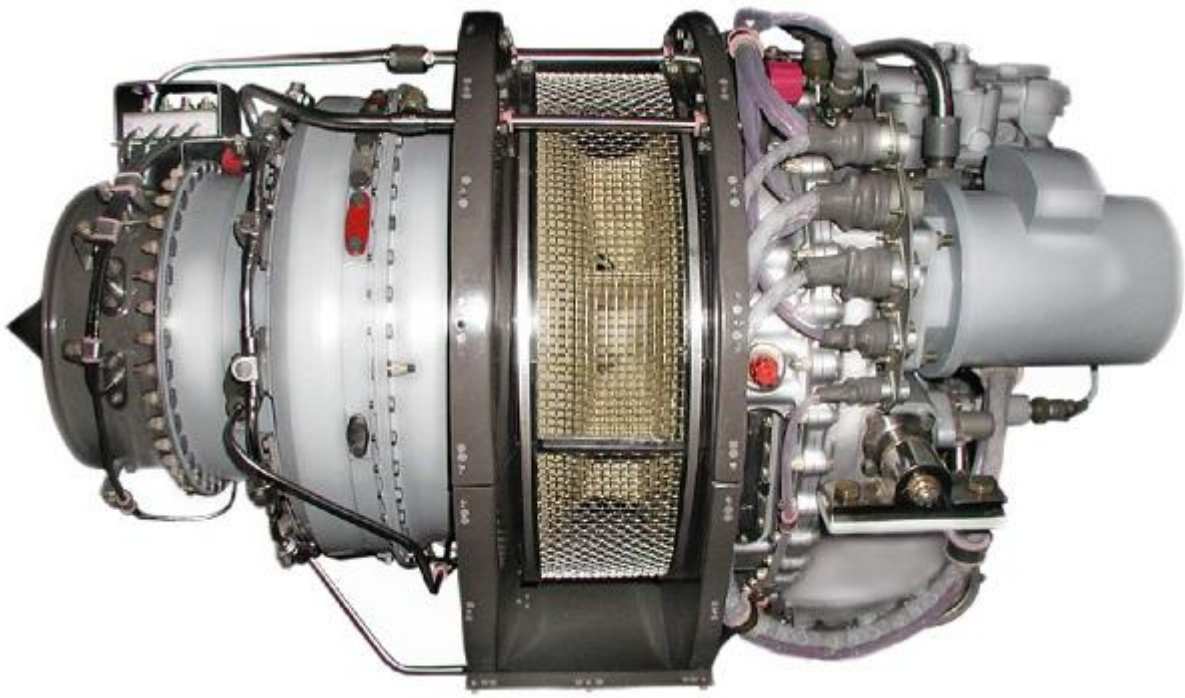


Рисунок 1.1 – Двигун AI-450

1.1.2 Призначення деталі

Втулка є складовою частиною приводу насоса-дозатора редуктора турбовального двигуна АІ-450. Фіксується шпільками через отвори $\varnothing 6,5$ на фланці. По діаметру $\varnothing 30$ базується манжет, а по $\varnothing 26$ базується труба суфлера.

1.1.3 Технологічний контроль креслення

Робоче креслення деталі містить всі необхідні відомості, що дають повне уявлення про конструкцію деталі, тобто наявність всіх необхідних проекцій, перетинів, розмірів. На кресленні вказані всі необхідні розміри з відхиленнями, шорсткістю оброблюваних поверхонь, допуск відхилення від правильних геометричних форм, а також взаємного положення поверхонь.

Креслення містить відомості про матеріал і масу деталі.

Креслення деталі зроблений згідно СТ РЕВ 1181-78. Розміри проставлені згідно ГОСТ 2307-68. Граничні відхилення наведені згідно ОСТ 141154-86.

Допуски форми і розташування поверхні виконані по ГОСТ 2.308-79.

Шорсткість на кресленні проставлена у відповідності з ГОСТ 2309-73.

1.1.4 Характеристика формотворчих поверхонь

На рис. 1.2 показана розмітка основних формотворчих поверхонь кільця упорного. У таблиці 1.1 зведені характеристики основних формотворчих поверхонь.

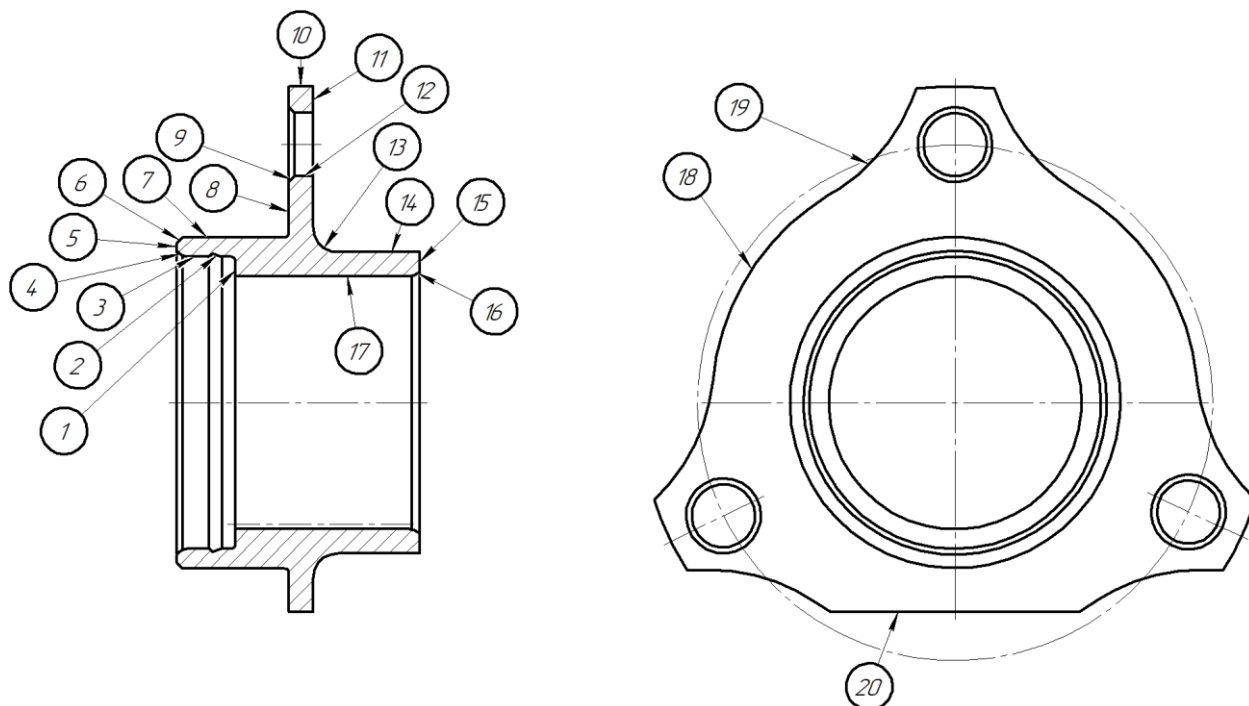


Рисунок 1.2 – Розмітка поверхонь

Таблиця 1.1 – Характеристики основних формотворчих поверхонь

№ поверхні	Характер поверхні	Розмір	Квалитет	Допуск на розмір, мм	Шорсткість, Ra, мкм
1	торцева	$6H12(^{+0,12})$	12	0,12	1,6
2	канавка	$0,4 \pm 0,05$	11	0,1	1,6
3	циліндрична	$\varnothing 30H9(^{+0,035})$	9	0,035	1,6
4	фаска	$0,6^{+0,3} \times 30^\circ$	14	0,3	1,6
5	торцева	25	14	0,52	3,2
6	фаска	$0,6 \times 45^\circ$	14	0,3	3,2
7	циліндрична	$\varnothing 34f7(^{-0,025}_{-0,050})$	7	0,025	3,2
8	торцева	11,5	14	0,43	1,6
9	фаска (3 пов.)	$0,6 \times 45^\circ$	14	0,3	3,2
10	циліндрична	$\varnothing 65$	14	0,74	3,2
11	торцева	2,5	14	0,3	3,2
12	отвір (3 пов.)	$\varnothing 6,5$	14	0,36	6,3

Продовження таблиці 1.1.

13	радіус	R2,5	14	0,3	3,2
14	циліндрична	Ø31	14	0,62	3,2
15	торцева	25	14	0,52	3,2
16	фаска	0,8 ^{+0,3} ×30°	14	0,3	1,6
17	циліндрична	Ø26H8 ^{+0,033}	8	0,033	1,6
18	циліндрична	Ø50	14	0,62	6,3
19	радіус (6 шт)	R20 ₋₂	16	2	6,3
20	плоска лиска	21,5	14	0,52	3,2

1.1.5 Механічні властивості матеріалу

Матеріал деталі: Сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014 (табл. 1.2).

Сталь 14X17H2 являє собою корозійно-стійку жароміцну сталь. Вона належить до класу мартенсито-феритних. Також в технічній літературі можна зустріти найменування 1X17H2 або ЭИ 268. Це не аналоги, а інші позначення даної марки.

Зі стали 14X17H2 виготовляють: фасонний і сортовий прокат, робочі лопатки, диски, вали і втулки, фланці, фітинги та кріплення, калібровані і шліфовані прутки, запчастини компресорних машин, деталі, які працюють з агресивними середовищами і при знижених температурах. Всі ці елементи використовуються в різних галузях промисловості.

Експлуатаційні та технічні характеристики виробів з даного матеріалу, а також його хімічний склад прописані в нормативі ГОСТ 5632-2014. Хімічний склад Сталі 14X17H2 наведений в таблиці 1.2. Механічні властивості Сталі X12МФ наведені в таблиці 1.3.

Даний сплав має відмінні технічні характеристики. Він дуже надійний і довговічний. Вироби з цього матеріалу широко використовуються в різних напрямках сучасної промисловості.

Обробка різанням можлива в загартованому та відпущеному стані. Матеріал відноситься до важкозварювальних, тому здійснювати зварювання необхідно з

попереднім нагріванням і подальшою термообробкою. При цьому варто враховувати, що сплав схильний до відпускнуї крихкості.

Таблиця 1.2 – Хімічний склад, %

C	Cr	Cu	Mn	Ti	Ni	P	S	Si
0,11 – 0,17	від 16 до 18	≤0,3	≤0,8	до 0,2	1,5- 2,5	≤0,03	≤0,02 5	≤0,8

Таблиця 1.3 – Механічні властивості в залежності від температури відпустки

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	CU (кДж / м ²)
635	835	16	55	750

1.2 Визначення типу виробництва

Попередньо тип виробництва на початковій стадії розробки технологічного процесу визначають залежно від річної програми (600 шт.) Випуску і маси деталі (0,08 кг). Згідно таблиці 1.4 тип виробництва – серійне (табл. 1.5).

Остаточню тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій на ділянці або потокової лінії. Коефіцієнт закріплення - це відношення всіх деталей-операцій, які виконуються чи повинні бути виконані на ділянці протягом місяця, до кількості робочих місць.

Таблиця 1.4 – Таблиця для попереднього визначення типу виробництва

Тип виробництва	Кількість оброблюваних деталей в рік, шт		
	Тяжелые, массой свыше 100 кг	Средние, массой 10 – 100 кг	Лёгкие, массой до 10 кг
Одичичне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5 – 100	10 – 200	100 - 500
Серійне	100 – 300	200 – 500	500 – 5000
Багатосерійне	300 – 1000	500 – 5000	5000 – 50000
Масове	понад 1000	понад 5000	понад 50000

Форма організації - змінно-потоккова.

Кількість деталей настроювальної партії:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{251} \quad (1.1)$$

де $\alpha = 2 \dots 15$ днів – період запуску партії;

$N = 5000$ шт. – річна програма випуску.

Розрахуємо кількість деталей настроювальної партії:

$$n = \frac{12 \cdot 400}{251} = 20.$$

1.3 Вибір і обґрунтування методу отримання заготовки

Виходячи з призначення деталі, умов її експлуатації і матеріалу, заготівлю отримують методами обробки металів тиском.

Порівняємо два альтернативних методи одержання заготовити:

– штампуванням на молотах;

– штампуванням на кривошипних горячештамповочних пресах (КГШП).

Метод КГШП забезпечує виготовлення відносно точних поковок без зсуву в площині роз'єму. Економічне обґрунтування одного з двох методів отримання

заготовки: на молотах в відкритих штампах і на кривошипних горячештамповочних пресах у відкритих штампах.

Припуски для заготовки, одержуваної на молотах, визначаємо по [1, табл 1.3, с. 12]. Для штампування на молотах – $z = 1,5$ мм; штампування на КГШП – $z = 1,4$ мм;

Заготовка на молотах: група матеріалу М2, ступінь складності поковки С3, клас точності поковки Т1, штампувальні ухили 7° [2, с. 145].

Заготовка на КГШП: група матеріалу М2, ступінь складності поковки С3, клас точності поковки Т1, штампувальні ухили 5° [2, с. 145].

Так як заготовка має складну форму, то її масу, одержувану обома методами, визначаємо в програмі КОМПАС 3D, рис. 1.4.

Маса заготовки, певна в програмі КОМПАС 3D:

– на молотах – $m_3 = 0,389$ кг;

– на КГШП – $m_3 = 0,353$ кг;

Вартість однієї заготовки отриманої на молотах і коефіцієнт використання матеріалу:

$$B_1 = \frac{B_6}{1000} \cdot M_{31} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - (M_3 - m) \frac{B_{отд}}{1000}, \quad (1.2)$$

де $B_6 = 35000$ грн. – базова вартість виготовлення 1 тонни заготовок [1, табл 1.4, с. 13];

$B_{отх} = 1400$ грн – вартість 1 тонни стружки;

$M_{31} = 0,24$ кг – маса заготовки;

$m = 0,08$ кг – маса деталі;

$K_T, K_M, K_C, K_B, K_{\Pi}$ – коефіцієнти які враховують відповідно клас точності, матеріал, групу складності, масу заготовки, програму випуску. Значення коефіцієнтів вибираємо по [1, табл. 1.24-1.28, с. 18-19].

$$K_T = 1,05, K_M = 1,8, K_C = 1, K_B = 1,25, K_{\Pi} = 1.$$

$$B_1 = \frac{35000}{1000} \cdot 0,24 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 - (0,24 - 0,08) \frac{1400}{1000} = 19,6 \text{ грн.}$$

$m = 0,08$ кг – маса деталі;

$K_T, K_M, K_C, K_B, K_{\Pi}$ – коефіцієнти які враховують відповідно клас точності, матеріал, групу складності, масу заготовки, програму випуску. Значення коефіцієнтів вибираємо по [1, табл. 1.24-1.28, с. 18-19].

$$K_T = 1,05, K_M = 1,8, K_C = 1, K_B = 1,25, K_{\Pi} = 1.$$

$$B_2 = \frac{35000}{1000} \cdot 0,26 \cdot 1,05 \cdot 1,8 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 - (0,26 - 0,08) \frac{1400}{1000} = 21,2 \text{ грн},$$

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$\eta_2 = \frac{0,08}{0,26} = 0,3,$$

Таблиця 1.5 – Порівнювальні показники по варіантам отримання заготовки

Показник	Обозначення	Одиниця вимірювання	Варіант отримання	
			молот	КГШП
Маса заготовки	M_z	кг	0,26	0,24
Маса деталі	M_d	кг	0,08	0,08
Базова вартість 1т заготовок	B_0	грн	35000	35000
Вартість відходів	$B_{отх}$	грн	1400	1400
Вартість однієї заготовки	B	грн	21,2	19,6
Коефіцієнт використання матеріалу	η	-	0,3	0,33

Результати розрахунків наведені в табл. 1.5. Порівнюючи вартість однієї заготовки і коефіцієнт використання матеріалу на молотах і КГШП, видно що вигідніше виготовляти заготовки на КГШП так як, $B_2 < B_1$ и $\eta_2 < \eta_1$.

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

У звичайному випадку конструкція деталі вважається технологічною, якщо вона забезпечує просте і економне виробництво. Загальними критеріями оцінки технологічності деталі є абсолютне значення трудомісткості – T і технологічної собівартості – B її виробництва. Оцінити показники T і B на початковому етапі проектування ТП неможливо через відсутність необхідних вихідних даних.

Технологічність деталі на початковому етапі проектування ТП можна визначити за допомогою ряду показників.

Коефіцієнт використання матеріалу (див. рівняння (1.12)):

$$\eta_2 = \frac{0,08}{0,26} = 0,33,$$

За коефіцієнт використання матеріалу видно, що більша частина матеріалу йде у відходи (стружку). Тому за цим параметром деталь нетехнологічна.

Коефіцієнт уніфікації конструкції елементів деталі:

$$K_{ye} = \frac{Q_{ye}}{Q_e}, \quad (1.5)$$

де $Q_e = 32$ – загальна кількість конструктивних елементів.

$Q_{ye} = 26$ – количество унифицированных элементов.

$$K_{ye} = \frac{22}{29} = 0,76,$$

Так як коефіцієнт уніфікації $K_{ye} = 0,76 > 0,6$, то деталь вважається технологічною.

Коефіцієнт точності обробки:

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{A_{cp}} > 0,8, \quad (1.6)$$

де A_{cp} – середнє значення квалітету точності.

$$A_{cp} = \frac{\sum A_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.7)$$

де A_i – квалітет точності i -ї елементарної поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідного квалітету;

$$A_{cp} = \frac{7 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 1 + 11 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 14 \cdot 18 + 16 \cdot 6}{29} = \frac{395}{29} = 13,6.$$

$$K_{TO} = 1 - \frac{1}{13,6} = 0,93.$$

Так як $K_{TO} = 0,93 > 0,8$ то деталь можна вважати технологічною за даним показником.

Коефіцієнт шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32, \quad (1.8)$$

де B_{cp} – середнє значення показника шорсткості по робочим кресленням:

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (1.9)$$

де B_i – клас шорсткості i -ї елементарної поверхні;

n_i – кількість поверхонь відповідного класу шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{1,6 \cdot 7 + 3,2 \cdot 12 + 6,3 \cdot 12}{29} = \frac{125,2}{29} = 4,32.$$

$$K_{ш} = \frac{1}{4,32} = 0,23.$$

Так як, $K_{ш} = 0,23 < 0,32$ то можна сказати, що за показником коефіцієнта шероховатості деталь є технологічною.

За трьома з чотирьох показників деталь втулка є технологічною. Якщо деталь хоч по одному показнику не є технологічною, то в цілому її можна вважати нетехнологічною.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Поверхня $\varnothing 26H8(^{+0,033})$.

Розробимо МОП на циліндричну поверхню $\varnothing 26H8(^{+0,033})$. Параметри деталі:

- квалітет – 8. Допуск – $T = 0,033$ мм;
- шорсткість – $Ra = 1,6$. Клас шероховатости – $\nabla 6$ [1, табл. 2.5, с. 35].

Параметри заготовки:

- поле допуску – $\begin{smallmatrix} +0,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix}$ [3, табл. 23, с. 146], квалітет – 15. Допуск – $T = 1,2$ мм [3, табл. 3.1, с. 14];
- шорсткість – $Ra = 40$ [1, табл. 2.2, с. 34]. клас шорсткості – $\nabla 2$.

Загальне уточнення за показниками точності і якості поверхні:

$$\varepsilon_{oIT} = \frac{T_{заг}}{T_{дет}}, \quad \varepsilon_{oRa} = \frac{Ra_{заг}}{Ra_{дет}}, \quad (1.10)$$

$$\varepsilon_{oIT} = \frac{1200}{33} = 36,4; \quad \varepsilon_{oRa} = \frac{40}{1,6} = 25.$$

Переважаючим показником якості цієї поверхні є показник точності, який потребує найбільшої уточнення. За найбільшим показником уточнення розрахуємо кількість k переходів по формулі:

$$k_p = 2 \lg \varepsilon_o, \quad (1.11)$$

$$k_p = 2 \lg 36,4 = 3,12.$$

Приймаємо $k = 3$ переходу.

Встановлюємо послідовність показників точності і якості – ППТК:

– за точністю геометричного розміру:

IT15 $\Rightarrow$ H12 $\Rightarrow$ H9 $\Rightarrow$ H8;

– за шорсткістю поверхні:

$\nabla 2 \Rightarrow \nabla 4 \Rightarrow \nabla 5 \Rightarrow \nabla 6$,

або краще

Ra 40 $\Rightarrow$ Ra 12,5 $\Rightarrow$ Ra 3,2 $\Rightarrow$ Ra 1,6.

За рекомендацією [2] встановлюємо, що потрібну точність і якість поверхні можна забезпечити однократним шліфуванням. Це останній перехід механічної обробки. Проміжні переходи: чорнове і чистове точіння. Методи обробки записуємо в таблиці МОП (табл. 1.6).

За [2, табл. 32 с. 192] визначаємо допуски по переходах відповідно до прийнятих ППТК. Розраховуємо уточнення по переходах і їхні добутки (табл. 1.6).

Поверхня $\varnothing 34f7_{-0,050}^{-0,025}$

Розробимо МОП на циліндричну поверхню $\varnothing 34f7_{-0,050}^{-0,025}$. Параметри деталі:

- квалітет – 7. Допуск – $T = 0,025$ мм;

- шорсткість – $Ra = 1,6$. Клас шорсткості – $\nabla 6$ [1, табл. 2.5, с. 35].

Параметри заготовки:

- поле допуску – $_{-0,4}^{+0,8}$ [3, табл. 23, с. 146], квалітет – 15. Допуск – $T = 1,2$ мм [3, табл. 3.1, с. 14];

- шорсткість – $Ra = 40$ [1, табл. 2.6, с. 36]. Клас шорсткості – $\nabla 2$.

Загальне уточнення за показниками точності і якості поверхні визначаємо за формулами (1.19):

$$\varepsilon_{oIT} = \frac{1200}{25} = 48; \quad \varepsilon_{oRa} = \frac{40}{1,6} = 25.$$

Переважаючим показником якості цієї поверхні є показник шорсткості, який потребує найбільшої уточнення. За найбільшим показником уточнення розрахуємо кількість k переходів по формулі:

$$k_p = 2 \lg 48 = 3,36.$$

Приймаємо $k = 3$ переходу.

Встановлюємо послідовність показників точності і якості – ППТК:

– за точністю геометричного розміру:

$$IT15 \Rightarrow h12 \Rightarrow h9 \Rightarrow f7;$$

– за шорсткістю поверхні:

$$\nabla 2 \Rightarrow \nabla 4 \Rightarrow \nabla 5 \Rightarrow \nabla 6,$$

або краще

$$Ra\ 40 \Rightarrow Ra\ 12,5 \Rightarrow Ra\ 3,2 \Rightarrow Ra\ 1,6.$$

За рекомендацією [2] встановлюємо, що потрібну точність і якість поверхні можна забезпечити однократним шліфуванням. Це останній перехід механічної обробки. Проміжні переходи: чорнове і чистове точіння. Методи обробки записуємо в таблиці МОП (табл. 1.6).

За [2, табл. 32 с. 192] визначаємо допуски по переходах відповідно до прийнятих ППТК. Розраховуємо уточнення по переходах і їхні добутки (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Маршрут обробки поверхонь

Характер і показники точності і якості поверхні деталі і заготовки	Показники	Уточнення	Кількість переходів k		Різниця показників і ППТК	МОП		Допуск		Уточнення	
			розрахункове	прийняте		i	Метод обробки	розміру	шорсткості	розміру	шорсткості
Циліндрична поверхня $\varnothing 26H8^{+0,033}_{-0,050}$; $Ra = 1,6$. Заготовка: $^{+0,4}_{-0,8}$, $\sim IT15$, $Ra = 40$.	T	36,4	3,12	3	$\Delta_{кв.} = 1T15 - H7 = 3 + 2 + 2$	1	Заготовка	1200	40	-	-
					$IT15 \Rightarrow H12 \Rightarrow H9 \Rightarrow H8$	2	Розточювання чорнове	210	12,5	5,71	3,2
	Ra	25			$\Delta_{кл.} = \nabla 6 - \nabla 2 = 2 + 1 + 1$	3	Розточювання чистове	52	3,2	4,04	3,9
					$Ra\ 50 \Rightarrow Ra\ 12,5 \Rightarrow Ra\ 3,2 \Rightarrow Ra\ 1,6$	4	Шліф. однокр.	33	1,6	1,58	2
										36,4	25
Циліндрична поверхня $\varnothing 34f7^{-0,025}_{-0,050}$; $Ra = 1,6$. Заготовка: $^{+0,8}_{-0,4}$, $\sim IT15$, $Ra = 40$.	T	48	3,36	3	$\Delta_{кв.} = 1T15 - h10 = 3 + 1 + 1$	1	Заготовка	1200	40	-	-
					$IT15 \Rightarrow h12 \Rightarrow h9 \Rightarrow f7$;	2	Точіння чорнове	250	12,5	4,8	3,2
	Ra	25			$\Delta_{кл.} = \nabla 6 - \nabla 2 = 2 + 1 + 1$	3	Точіння чистове	62	3,2	4,03	3,9
					$Ra\ 40 \Rightarrow Ra\ 12,5 \Rightarrow Ra\ 3,2 \Rightarrow Ra\ 1,6$.	4	Шліф. однокр.	25	1,6	2,48	2
										48	25

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі вирішують головне завдання технології – забезпечити потрібну якість, максимальну продуктивність, мінімальну собівартість і мінімум шкідливих впливів на навколишнє середовище. Технологічні основи вирішення цього завдання закладаються при призначенні переходів маршрутів обробки поверхонь (МОП), а організаційні основи – при формуванні операцій маршруту виготовлення деталі (МВД).

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це загальний план, в якому на основі компонування раніше розроблених МОП встановлено склад і послідовність операцій технологічного процесу, зазначені тип і модель верстата, встановлені технологічні комплекси, розроблені схеми установок, наведені вхідні і вихідні характеристики оброблюваних поверхонь і т.п.

Маршрут виготовлення деталі представлений на плакаті в графічній частині магістерської роботи.

1.5 Визначення операційних припусків і розмірів заготовки

1.5.1 Розрахунок операційних припусків і розмірів заготовки розрахунково-аналітичним методом

При розрахунку припусків аналітичним методом мінімальний операційний припуск визначається за формулами. При послідовній обробці протилежних поверхонь припуск визначається за формулою:

$$Z_i^{min} = (Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i, \quad (1.12)$$

При паралельній обробці протилежних поверхонь двосторонній припуск:

$$2Z_i^{min} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \Delta_{\Sigma i-1} + \varepsilon_i], \quad (1.13)$$

При обробці діаметральні зовнішніх і внутрішніх поверхонь двосторонній припуск:

$$2Z_i^{min} = 2 \left[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \quad (1.14)$$

де Rz – висота нерівностей профілю поверхні на попередній операції;

h_{i-1} – глибина дефектного шару поверхні обробленої на попередній операції;

Δ_{i-1} – сумарне відхилення розташування поверхні на $(i-1)$ операції;

ε_{i-1} – похибка установки заготовки на операції, що виконується.

Розрахунок припусків і технологічних розмірів механічної обробки циліндричної поверхні $\varnothing 26H8(^{+0,033})$.

Вихідні дані:

Матеріал деталі – Сталь 14X17H2-Ш ГОСТ 5632-2014; твердість – HRC 23...32; шорсткість поверхні – Ra 1,6; заготовка – штамповка; маса заготовки 0,24 кг.

Технологічний маршрут обробки поверхні:

1. Заготовка штамповка;
2. Розточування чорнове;
3. Розточування чистове;
4. Однократне шліфування.

Для заготовки:

$Rz_1 = 160$ мкм, $h=150$ мкм. [2,табл.12,с.186];

Сумарна похибка форми і просторового відхилення заготовки:

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

де $\rho_{cm} = 0,5$ мм., по [2, табл.17, с.186];

$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l$, где $\Delta_k = 4$ мкм/мм. [2,табл.16,с.186]

$l = 27$ мм;

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{500^2 + 4 \cdot 27^2} = 508 \text{ мкм.}$$

Точіння чорнове:

$$R_z = 32 \text{ мкм}, h = 50 \text{ мкм}, [2, \text{табл. 25, с.188}].$$

$$\Delta_1 = \Delta_{\Sigma} \cdot K_y, K_y = 0,06 [2, \text{табл. 29, с.190}].$$

$$\varepsilon_1 = 200 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_1 = \Delta_{\Sigma} \cdot K_y = 508 \cdot 0,06 = 30,5 \text{ мкм.}$$

Точіння чистове:

$$R_z = 10 \text{ мкм}, h = 15 \text{ мкм}, [2, \text{табл. 25, с.188}].$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 \cdot K_y, K_y = 0,05, [2, \text{табл. 29, с. 190}].$$

$$\varepsilon_2 = 100 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_2 = \Delta_1 \cdot K_y = 30,5 \cdot 0,05 = 1,2 \text{ мкм.}$$

Шліфування однократне:

$$R_z = 5 \text{ мкм}, h = 10 \text{ мкм}, [2, \text{табл. 24, с. 187}].$$

$$\Delta_3 = \Delta_2 \cdot K_y, K_y = 0,04, [2, \text{табл. 29, с. 190}].$$

$$\varepsilon_3 = 50 \text{ мкм.}$$

$$\Delta_3 = 1,2 \cdot 0,04 \approx 0 \text{ мкм.}$$

Розрахуємо мінімальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.23).

Точіння чорнове

$$2Z_{1 \min} = 2 \left(160 + 150 + \sqrt{508^2 + 200^2} \right) = 1,712 \text{ мкм.}$$

Точіння чистове

$$2Z_{1\min} = 2(32 + 50 + \sqrt{31^2 + 100^2}) = 0,373 \text{ мкм.}$$

Шліфування однократне

$$2Z_{2\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{1,2^2 + 50^2}) = 0,150 \text{ мкм.}$$

Допуски на розміри призначаємо за [2, табл. 32, с. 192] з урахуванням квалітету допуску розміру. Результати заносимо в таблицю 1.7.

Допуск на розмір заготовки знаходимо за [2, табл. 23, с. 147] з урахуванням маси заготовки, групи матеріалу, ступеня складності штампування і розміру заготовки.

$$Td_{\text{заг}} = {}^{+0,4}_{-0,8} = 1,5 \text{ мм.}$$

Розрахуємо технологічні розміри методом розмірних ланцюгів.

Мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки:

$$D_{3\min} = D_{3\text{ном}} + eid_3; \quad (1.16)$$

$$D_{3\min} = 26 - 0 = 26 \text{ мм.}$$

Далі мінімальні розміри знаходимо за формулою:

$$D_{i\min} = D_{i+1\min} - 2Z_{i+1\min} - TD_i, \quad (1.17)$$

$$D_{2\min} = D_{3\min} - 2Z_{3\min} - TD_2 = 26,0 - 0,150 - 0,052 = 25,798 \text{ мм,}$$

$$D_{1\min} = D_{2\min} - 2Z_{2\min} - TD_1 = 25,798 - 0,373 - 0,21 = 25,215 \text{ мм,}$$

$$D_{\text{заг}\min} = D_{1\min} - 2Z_{1\min} - TD_{\text{заг}} = 25,215 - 1,712 - 1,2 = 22,303 \text{ мм.}$$

Максимальні розміри поверхонь для переходів розрахуємо за формулою:

$$D_{i \max} = D_{i \min} + TD_i, \quad (1.18)$$

$$D_{2 \max} = D_{2 \min} + TD_2 = 25,798 + 0,052 = 25,85 \text{ мм},$$

$$D_{1 \max} = D_{1 \min} + TD_1 = 25,215 + 0,21 = 25,425 \text{ мм},$$

$$D_{\text{заг} \max} = D_{\text{заг} \min} + TD_{\text{заг}} = 22,303 + 1,5 = 23,503 \text{ мм}.$$

Розрахуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2Z_{i \max} = D_{i \max} - D_{i-1 \min}, \quad (1.19)$$

$$2Z_{3 \max} = D_{3 \max} - D_{2 \min} = 26,033 - 25,798 = 0,235 \text{ мм},$$

$$2Z_{2 \max} = D_{2 \max} - D_{1 \min} = 25,85 - 25,215 = 0,635 \text{ мм},$$

$$2Z_{1 \max} = D_{1 \max} - D_{\text{заг} \min} = 25,425 - 22,303 = 3,122 \text{ мм}.$$

Перевіримо правильність розрахунків, використовуючи нерівність:

$$TZ_O = Z_{O \max} - Z_{O \min} = TA_{\text{заг}} + TA_{\text{дет}}, \quad (1.20)$$

$$\text{де } Z_{O \max} = D_{\text{дет} \max} - D_{\text{заг} \min} = 26,033 - 22,303 = 3,730 \text{ мм}.$$

$$Z_{O \min} = D_{\text{дет} \min} - D_{\text{заг} \max} = 26,0 - 23,503 = 2,497 \text{ мм}.$$

$$3,730 - 2,497 = 1,233 \text{ мм}.$$

$$1,2 + 0,033 = 1,233 \text{ мм}.$$

Визначимо виконавчі технологічні розміри для переходів механічної обробки.

Визначимо виконавчий розмір заготовки:

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 23,1^{+0,4}_{-0,8}$.

Виконавчі розміри для інших переходів поставимо в системі вала – h , тобто за номінальний розмір приймемо максимальний розмір поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення см. розрахункову табл. 1.7.

Таблиця 1.7 - Розрахунок припусків і технологічних розмірів аналітичним методом

і	Найменування технологічних переходів	Елементи припуску				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$, мкм	Допуск Т, мкм	Мінімальний припуск $2Z_{\min}$, мкм	Максимальний припуск $2Z_{\max}$, мкм	Мінімальний розмір, мм	Максимальний розмір, мм	Розрахунковий номінальний розмір, мм	Виконавчий технологічний розмір, мм
		Rz	h	r	e								
	Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 26H8^{+0,033}$												
1	Заготовка	160	150	508	0	-	1200			22,303	23,503	23,103	$\varnothing 23,1^{+0,4}_{-0,8}$
2	Точіння чорнове	32	50	30,5	200	1712	210	1712	3122	25,215	25,425	25,215	$\varnothing 25,2^{+0,21}$
3	Точіння чистове	10	15	1,2	100	373	52	373	635	25,798	25,850	25,798	$\varnothing 27,8^{+0,052}$
4	Шліфування однократне	5	10	0	50	150	33	150	235	26	26,033	26,000	$\varnothing 26^{+0,033}$

1.5.2 Розрахунок операційних припусків та розмірів заготовки табличним методом

Розрахуємо припуски для однієї циліндричної поверхні та однієї торцової поверхні.

Минимальные припуски для переходов выбираем по [3, табл. 4.23, с. 58]. Значения допусков выбираем по [3, табл. 3.10, с. 27].

Расчёт технологических размеров делаем методом размерных цепей. Выбранные значения минимальных припусков и допусков заносим в расчётные таблицы (табл. 1.8).

Таблиця 1.8 – Розрахунок припусків і технологічних розмірів табличним методом

i	Найменування технологічних переходів			Допуск T, мм	Граничні значення припусків, мм		Граничні значення припусків, мм		Виконавчий технологічний розмір, мм
		Припуск $2Z_{\min}$, мм	Размер, мм		Dmax	Dmin	2Zmax	2Zmin	
		5	6	7	8	9	10	11	12
	Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 34f7_{-0,050}^{-0,025}$								
1	Заготовка	-	36,84	1,2	37,637	36,437	–	–	$\varnothing 36,8_{-0,4}^{+0,8}$
2	Точіння чорнове	1,5	34,94	0,25	34,937	34,687	2,950	1,500	$\varnothing 34,94_{-0,25}$
3	Точіння чистове	0,35	34,34	0,062	34,337	34,275	0,662	0,350	$\varnothing 34,337_{-0,062}$
4	Шліфування однократне	0,3	33,98	0,025	33,975	33,95	0,387	0,300	$\varnothing 34_{-0,050}^{-0,025}$
	Торцева поверхня 25h14 _(-0,52)								
1	Заготовка	-	136,64	1,2	137,637	136,437	–	–	$20,3_{-0,4}^{+0,8}$
2	Точіння чорнове	1,5	134,94	0,25	134,937	134,687	2,950	1,500	$18,4_{-0,52}$
3	Точіння чистове	0,35	134,34	0,062	134,337	134,275	0,662	0,350	$17,2_{-0,52}$
4	Шліфування однократне	0,3	133,98	0,025	133,975	133,95	0,387	0,300	$25,0_{-0,52}$

Рисунок 1.4 – Ескіз обробки

Перехід 1.

Обробити наружну циліндричну поверхню і підрізати наружні торці (2, 5, 8) за програмою залишаючи припуск 0,3 мм на сторону.

Інструмент: резец підрізний DWLNR 2020K 06 (ISO) з твердосплавною пластиною WNMG 06T304-WG, $\varphi = 95^\circ$, $20 \times 20 \times 125$, $r = 0,4$ мм, з PVD покриттям TiAlN.

МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

Назначаємо режими різання.

Глибина різання $t = 2$ мм.

Подачу визначається за формулою [4, с. 240]:

$$S_o = S_{ot} \cdot K_{So}; K_{So} = K_{Sp} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sf} \cdot K_{S3} \cdot K_{Sj} \cdot K_{Sm} \quad (1.21)$$

де S_{om} – табличне значення подачі за оберт, мм;

K_{SoI} – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{SoH} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_{SoF} – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

K_{So3} – коефіцієнт, що враховує вплив загартування;

K_{SoJ} – коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи;

K_{SoM} – коефіцієнт, що враховує матеріал оброблюваної деталі.

Табличне значення подачі дорівнює [4, табл. 26, с. 237] – $S_{om} = 0,47$ мм/об.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 30, с. 239]: $K_{SoI} = 1,0$; $K_{SoH} = 1,0$; $K_{SoF} = 0,85$; $K_{So3} = 1,0$; $K_{SoJ} = 0,5$; $K_{SoM} = 1,0$. Розрахункове значення подачі:

$$S_o = 0,47 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 1,0 = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо $S_o = 0,2$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання за формулою [4, с. 240]:

$$v = v_t \cdot K_v; K_v = K_{vM} \cdot K_{vH} \cdot K_{v\varphi} \cdot K_{vt} \cdot K_{vj} \cdot K_{v\Pi} \cdot K_{vO} \quad (1.22)$$

де v_m – табличне значення швидкості різання, м/хв;

K_{vM} – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{vH} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_{vm} – коефіцієнт, що враховує вид обробки;

$K_{vЖ}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

$K_{vП}$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{vO} – коефіцієнт, що враховує вплив МОР.

Табличне значення швидкості різання дорівнює [4, табл. 42, с. 246] –
 $v_m = 65$ м/хв.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 43, с. 247-248]:
 $K_{vM} = 0,7$, $K_{vП} = 1,4$, $K_{vm} = 0,87$, $K_{vЖ} = 1,0$, $K_{vП} = 1,0$, $K_{vO} = 1,0$.

Розрахункове значення швидкості різання:

$$v_p = 65 \cdot 0,7 \cdot 1,4 \cdot 0,87 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 55,4, \text{ м/хв.}$$

Число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \quad (1.23)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 55,4}{3,14 \cdot 67} \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_{вст} = 250$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{1000 \cdot \pi \cdot n_{вст}}{D} \quad (1.24)$$

$$v_d = \frac{1000 \cdot 3,14 \cdot 250}{67} = 52,6 \text{ м/хв.}$$

Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x} = L_{рез} + y, \quad (1.25)$$

де $L_{рез} = 33$ мм – довжина різання; $y = 7$ мм – довжина врізання та перебігу [5, карта 65, с. 165].

Основний час:

$$t_o = \frac{L_{p.x}}{S_o \cdot n} \quad (1.26)$$

$$t_o = \frac{33 + 7}{0,2 \cdot 250} = 0,8 \text{ хв.}$$

Перехід 2.

Обробити внутрішню циліндричну поверхню і підрізати внутрішній торець (1, 6, 7) за програмою залишаючи припуск 0,3 мм на сторону.

Інструмент: резец підрізний C10K SDQCL 07 (ISO) з твердосплавною пластиною DCMT 070704-SM, $\varphi = 95^\circ$, $20 \times 20 \times 125$, $r = 0,4$ мм, з PVD покриттям TiAlN.

МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

Режими різання призначаємо аналогічно переходу 1 і зводимо їх в табл. 1.9.

Перехід 3.

Обробити зовнішню циліндричну поверхню і підрізати зовнішні торці начисто витримуючи розміри 2, 5, 8, за програмою.

Інструмент: резец підрізний DWLNR 2020K 06 (ISO) з твердосплавною пластиною WNMG 060404-MF, $\varphi = 95^\circ$, $20 \times 20 \times 125$, $r = 0,4$ мм, з PVD покриттям TiAlN.

МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

Режими різання призначаємо аналогічно переходу 1 і зводимо їх в табл. 1.9.

Перехід 4.

Обробити внутрішню циліндричну поверхню і підрізати внутрішній торець начисто витримуючи розміри 1, 6, 7, за програмою.

Інструмент: резец підрізний C10K SDQCL 07 (ISO) з твердосплавною пластиною DCMT 070704-SM, $\varphi = 95^\circ$, $20 \times 20 \times 125$, $r = 0,4$ мм, з PVD покриттям TiAlN.

МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

Режими різання призначаємо аналогічно переходу 2 і зводимо їх в табл. 1.9.

Загальний час на обробку становить 5,2 хв.

Таблиця 1.9 - Режими різання токарної операції 45

Режим	Переходи			
	1	2	3	4
t , мм	2	2	0,3	0,3
S_{om} , мм/об	0,47	0,47	0,08	0,08
K_{So}	0,425	0,425	0,7	0,7
S_o , мм/об	0,2	0,2	0,05	0,05
v_m , м/хв	65	65	96	96
K_v	0,85	0,44	0,79	0,44
v_p , м/ хв	55,4	28,7	76,2	42,2
D , мм	67	30	67	30
n_p , об/хв	263	304	362	449
n , об/хв	250	300	350	450
v_{∂} , м/хв	27,7	32	29	42,2
$L_{p.x}$, мм	40	35	40	35
t_o , хв	0,8	0,58	2,29	1,56

1.6.2 Операція 140 (комплексна з ЧПК)

Вихідні дані:

- операційний ескіз показаний на рис. 1.5;
 - матеріал – Сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014, гр. Х по [4, табл. 1, с. 31];
 - заготовка – штамповка. Твердість – 23...32 HRC;
- Верстат – свердлильно-фрезерний з ЧПК ИР-500ПМФ4.
 МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

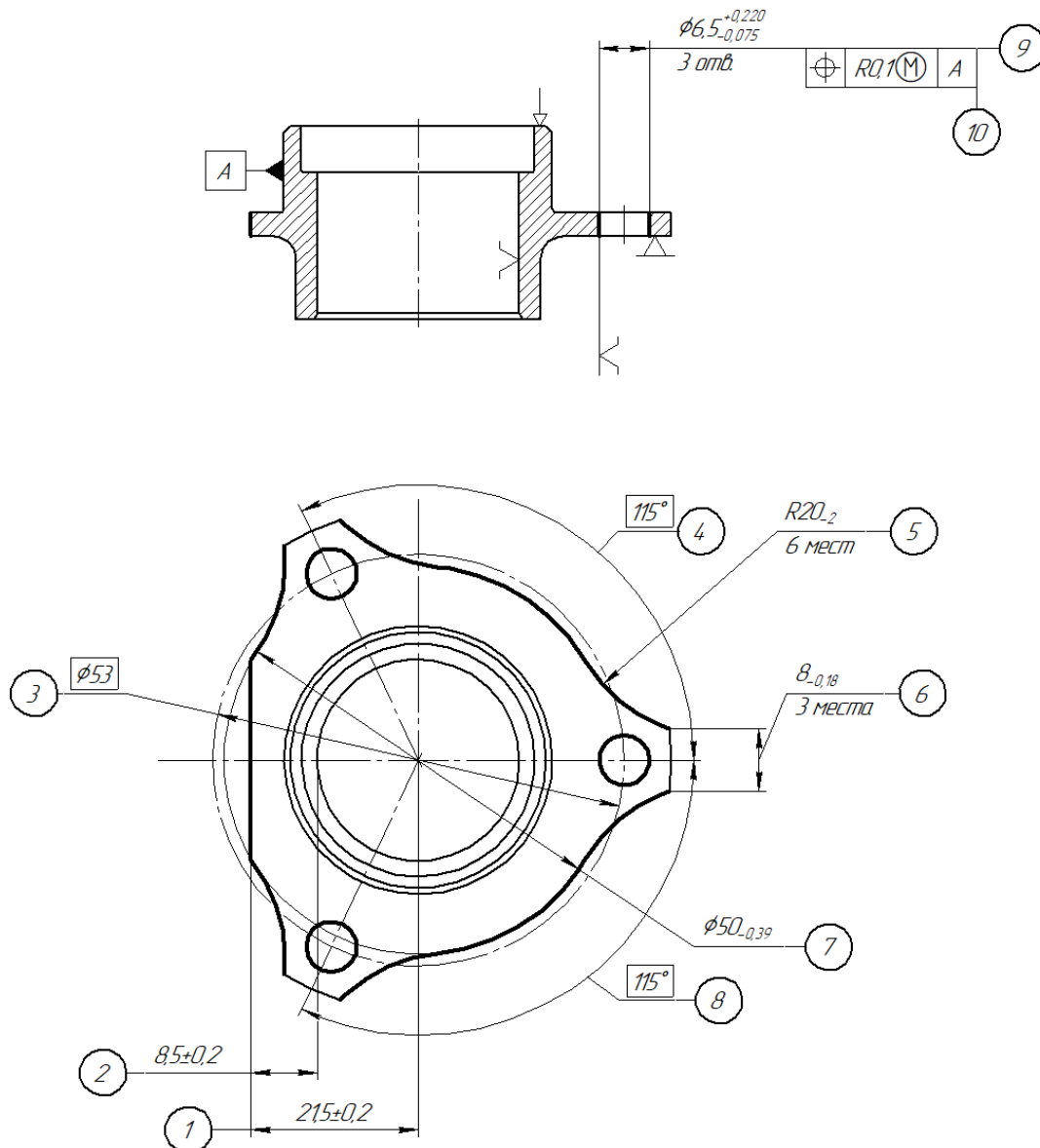


Рисунок 1.5 – Ескіз обробки

Перехід 1

Центрувати 3 отвори, витримуючи розміри 3, 4, 8 за програмою.

Інструмент – свердло 2317-0107 ГОСТ 14952-75. Матеріал – P18.

Глибина резання – $t = 4,0 / 2 = 2,0$ мм.

Подача визначається за формулою:

$$S_O = S_{O_T} \cdot K_S; K_S = K_{Sl} \cdot K_{SЖ} \cdot K_{SI} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SM}, \quad (1.27)$$

де S_{O_m} – табличное значение подачи на оборот, мм/об;

K_{Sl} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

$K_{SЖ}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи;

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує тип оброблюваного отвору;

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу.

Табличне значення подачі дорівнює [4, табл. 64, с. 267] – $S_{om} = 0,05$ мм/об.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 65, с. 267]: $K_{SI} = 1$, $K_{SЖ} = 0,75$, $K_{SI} = 1,0$, $K_{Sd} = 0,5$; $K_{Sm} = 0,75$.

Розрахункове значення подачі:

$$S_{op} = 0,05 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,75 = 0,014 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо по верстату $S_o = 0,01$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання за формулою:

$$v = v_t \cdot K_v; K_v = K_{vM} \cdot K_{vd} \cdot K_{vИ} \cdot K_{vo} \cdot K_{vt} \cdot K_{vП} \quad (1.28)$$

де v_m – табличне значення швидкості різання, м/хв;

K_{vM} – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{vd} – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

$K_{vИ}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

K_{vo} – коефіцієнт, що враховує шифр типової схеми фрезерування;

K_{vm} – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

$K_{vП}$ – коефіцієнт, що враховує умови обробки.

Табличне значення швидкості різання дорівнює [4, табл. 68, с. 271] – $v_m = 42$ м/мин.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 71, с. 274]: $K_{vM} = 0,8$,

$$K_{vd} = 1,0, K_{vИ} = 1,0, K_{vo} = 1,0, K_{vm} = 1,0, K_{vП} = 1,0.$$

Расчетное значение скорости резания:

$$v = 42 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 33,6, \quad \text{м/хв.}$$

Число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \quad (1.29)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 33,6}{3,14 \cdot 4} = 2673 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_{\text{вст}} = 2500$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{1000 \cdot \pi \cdot n_{\text{вст}}}{D} \quad (1.30)$$

$$v_d = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 2500}{1000} = 31,4 \text{ м/хв.}$$

Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x} = L_{\text{різ.}} + y_{..} = 3 + 3 = 6 \text{ мм,}$$

де $L_{\text{різ.}} = 3$ мм – довжина різання;

$y = 3$ мм – довжина врізання [5, карта 43, с. 287].

Основний час:

$$t_{o1} = 3 \cdot \frac{6}{0,01 \cdot 2500} = 0,14 \text{ хв.}$$

Перехід 2

Свердлити 3 отвори, витримуючи розміри 3, 4, 8, 9, 10 за програмою.

Інструмент – свердло 2301-3359 ГОСТ 10903-77. Матеріал – Р6М5.

Глубина резания – $t = 6,6 / 2 = 3,3$ мм.

Подача визначається за формулою (1.36). Табличне значення подачі дорівнює [4, табл. 64, с. 267] – $S_{o_m} = 0,12$ мм/об.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 65, с. 267]: $K_{Sl} = 1$, $K_{SЖ} = 0,75$, $K_{SI} = 1,0$, $K_{Sd} = 1,0$; $K_{Sm} = 0,75$.

Розрахункове значення подачі:

$$S_{Op} = 0,05 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,068 \text{ мм/об.}$$

Приймаємо по верстату $S_o = 0,06$ мм/об.

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.37). Табличне значення швидкості різання дорівнює [4, табл. 68, с. 271] – $v_m = 36$ м/мин.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 71, с. 274]: $K_{vM} = 0,8$,

$$K_{vd} = 0,9, K_{vH} = 1,0, K_{vo} = 1,0, K_{vm} = 1,0, K_{vl} = 1,0.$$

Розрахункове значення швидкості різання:

$$v = 36 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25,9, \quad \text{м/хв.}$$

Число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 25,9}{3,14 \cdot 6,6} = 1250 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_{\text{вст}} = 1200$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{6,6 \cdot 3,14 \cdot 1200}{1000} = 51,9 \text{ м/хв.}$$

Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x} = L_{piz.} + y = 3 + 5 = 8 \text{ мм,}$$

де $L_{piz.} = 3$ мм – довжина різання;

$y = 5$ мм – довжина врізання та перебігу [5, карта 43, с. 287].

Основний час:

$$t_{o2} = 3 \cdot \frac{8}{0,06 \cdot 1500} = 0,26 \text{ хв.}$$

Перехід 3

Фрезерувати контур деталі за один проход, витримуючи розміри 5, 7.

Інструмент: фреза кінцева з механічним кріпленням багатограних твердосплавних пластин, $D = 16$ мм, $l = 25$ мм, $z = 5$ (позначення – Фреза 2220-0275 ВК8 ГОСТ 18372-73).

МОР: 5%-ий розтвор Аквол-10М [4, табл. 24, с. 233].

Призначаємо режими різання.

Глибина резання $t = 3$ мм (див. схему [4, с. 392]).

Подачу визначається за формулою [4, с. 306]:

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{SZ}; K_{SZ} = K_{SZC} \cdot K_{SZH} \cdot K_{SZd} \cdot K_{SZ\Phi}, \quad (1.31)$$

де S_{Zm} – табличне значення подачі на зуб, мм;

K_{SZC} – коефіцієнт, що враховує шифр схеми фрезерування;

K_{SZH} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези;

K_{SZR} – коефіцієнт, що враховує шорсткість обробленої поверхні;

$K_{SZ\Phi}$ – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні.

Табличне значення подачі дорівнює [4, табл. 111, с. 304] – $S_{Zm} = 0,10$ мм/зуб.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 108, 109, 114, с. 299-305]: $K_{SZC} = 1,2$; $K_{SZH} = 0,85$; $K_{SZR} = 0,25$; $K_{SZ\Phi} = 1,0$.

Розрахункове значення подачі на зуб:

$$S_Z = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 0,85 \cdot 0,25 \cdot 1,0 = 0,0255, \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання за формулою:

$$v = v_T \cdot K_v; K_v = K_{vM} \cdot K_{vH} \cdot K_{v\Pi} \cdot K_{vC} \cdot K_{v\Phi} \cdot K_{vO} \cdot K_{vB} \cdot K_{v\varphi} \quad (1.32)$$

де v_m – табличне значення швидкості різання, м/мин;

K_{vM} – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{vH} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту;

$K_{v\Pi}$ – коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверхні;

K_{vC} – коефіцієнт, що враховує шифр типової схеми фрезерування;

$K_{v\Phi}$ – коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні;

K_{vO} – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

K_{vB} – коефіцієнт, що враховує відношення фактичної ширини фрезерування до нормативної;

$K_{v\varphi}$ – коефіцієнт, що враховує головний кут в плані.

Табличне значення швидкості різання дорівнює [4, табл. 131, с. 319] – $v_m = 28$ м/мин.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо из [4, табл. 1, 134, 109, 135, с. 31, 302, 322]: $K_{vM} = 0,6$, $K_{vH} = 2,5$, $K_{vL} = 0,5$, $K_{vC} = 1,1$, $K_{v\phi} = 1,0$, $K_{vO} = 1,0$, $K_{vB} = 1,3$, $K_{v\varphi} = 1,0$.

Расчетное значение скорости резания:

$$v = 28 \cdot 0,6 \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 30,03 \text{ м/хв.}$$

Число обертів:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 30,03}{3,14 \cdot 16} = 597,4 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_{\text{вст}} = 600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{1000 \cdot 3,14 \cdot 600}{4} = 30,1 \text{ м/хв.}$$

Розрахункове значення хвилинної подачі:

$$S_{\text{хвр}} = S_{Zp} \cdot z \cdot n \quad (1.33)$$

$$S_{\text{хвр}} = 0,0255 \cdot 5 \cdot 600 = 76,5 \text{ мм/хв}$$

Приймаємо по верстату – $S_{\text{мв}} = 75$ мм/хв.

Довжина робочого ходу:

$$L_{p.x} = L_{рез} + y, \quad (1.34)$$

де $L_{рез} = 55 + 55 + 55 = 165$ мм – длина резания;

$y = 15$ мм – довжина врізання і перебігу [5, карта 68, с. 448].

Основний час:

$$t_o = \frac{L_{p.x}}{S_{XB}} \quad (1.35)$$

$$t_{o3} = \frac{165 + 15}{75} = 2,4 \text{ хв.}$$

Сумарний основний час по операції дорівнює

$$t_o = t_{o1} + t_{o2} + t_{o3} = 0,14 + 0,26 + 2,4 = 2,8 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 145 (круглошліфувальна)

Вихідні дані:

- операційний ескіз показаний на рис. 1.6;
- матеріал – Сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014, гр. Х по [4, табл. 1, с. 31];
- заготовка – штамповка. Твердість – 23...32 HRC;

Верстат – круглошліфувальний 3Б151П.

МОР: 5%-ий розв'язок Аквол-2 [4, табл. 24, с. 233].

Обробка виконується в один перехід переферією шліфувального круга методом врізання.

Інструмент: круг профілю 26 з конічною і циліндричною виточками з обох сторін, абразив – 24А, зернистість – F60 (25 за ГОСТ 3647-80), твердість – О (середньо-твердий або СТ), зв'язка – V (керамічна) [4, табл. 158 с. 340] (позначення - Круг 26 600 × 80 × 305 24А F60 О 6 V 35 м/с БЗ Р 52781-2007).

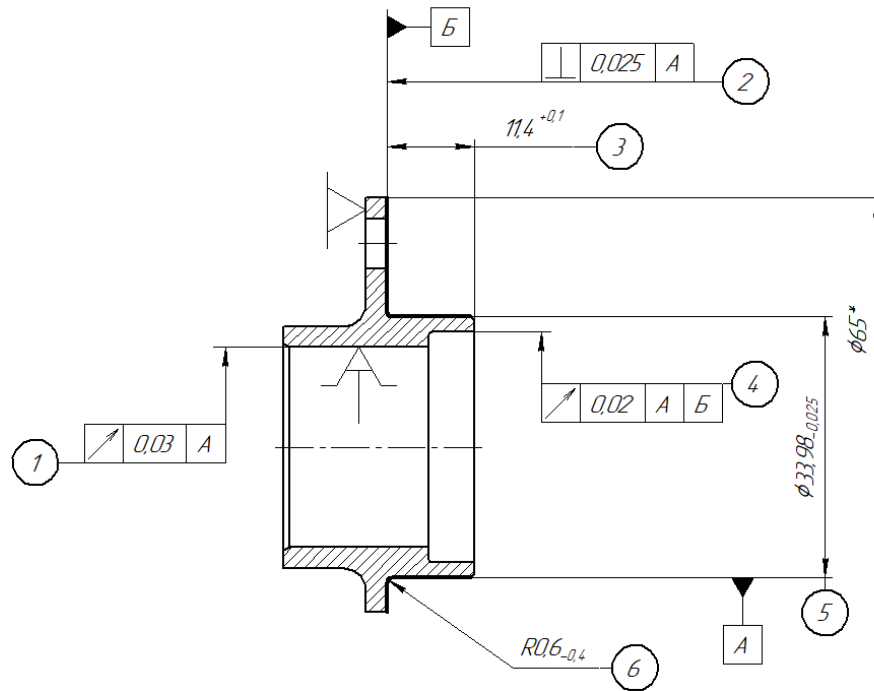


Рисунок 1.6 – Ескіз обробки

Шліфувати поверхні, витримуючи розміри 1-6.

Призначаємо режими різання.

Величина припуску, що знімається дорівнює: $h = 0,2$ мм. Розрахуємо швидкість шліфувального круга:

$$v_{кр} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \quad (1.36)$$

де $D = 600$ мм – діаметр круга;

$n_{кр} = 1112$ об/хв – частота обертання шліфувального круга по верстату.

$$v_{кр} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1112}{1000 \cdot 60} = 34,9 \text{ м/с.}$$

Вибираємо швидкість деталі [4, табл. 161 с. 343] – $v_d = 30$ м/хв.

Число оборотів деталі:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \quad (1.37)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 65} = 146 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_d = 125$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{D \cdot \pi \cdot n_{\text{вст}}}{1000} \quad (1.38)$$

$$v_d = \frac{65 \cdot 3,14 \cdot 125}{1000} = 25,5 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо радіальну подачу на оберт S_t за формулою:

$$S_t = S_{t_T} \cdot K_{St}; K_{St} = K_{SM} \cdot K_{SR} \cdot K_{SD} \cdot K_{SIT} \cdot K_{Sh}, \quad (1.39)$$

де S_{t_m} – табличне значення радіальної подачі, мм/об;

K_M – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{SR} – коефіцієнт, що враховує радіус галтелі деталі;

K_{SD} – коефіцієнт, що враховує діаметр шліфувального круга;

K_{V_k} – коефіцієнт, що враховує швидкість круга;

K_{ST} – коефіцієнт, що враховує стійкість круга;

K_{SIT} – коефіцієнт, що враховує точність обробки;

K_{Sh} – коефіцієнт, що враховує припуск на обробку.

Табличне значення радіальної подачі на оборот дорівнює [4, табл. 163, с. 346] – $S_{t_m} = 0,008$ м/мин.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 165, с. 348]: $K_M = 0,54$, $K_{SR} = 1,0$, $K_{SD} = 1,0$, $K_{V_k} = 1,0$, $K_{ST} = 1,0$, $K_{SIT} = 0,6$, $K_{Sh} = 1,0$.

$$S_t = 0,008 \cdot 0,54 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 0,0025, \text{ мм/об.}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{h}{1000 \cdot n_d \cdot S_t} \cdot K \quad (1.40)$$

де $K = 1,3$ – коефіцієнт виходжування.

$$t_o = \frac{0,2}{1000 \cdot 125 \cdot 0,0025} \cdot 1,3 = 1,1 \text{ хв.}$$

1.6.4 Операція 120 (внутрішньошліфувальна)

Вихідні дані:

- операційний ескіз показаний на рис. 1.7;
- матеріал – Сталь 14X17H2 ГОСТ 5632-2014, гр. Х по [4, табл. 1, с. 31];
- заготовка – штамповка. Твердість – 23...32 HRC;

Верстат – Внутрішшліфувальний 3А227П.

МОР: 5%-ий розчин Аквол-2 [4, табл. 24, с. 233].

Обробка виконується за три переходу периферією і торцем шліфувального круга методом врізання.

Інструмент: круг профілю 26 з конічною і циліндричною виточками з обох сторін, абразив – 14А, зернистість – F60 (25 за ГОСТ 3647-80), твердість – О (середньо-твердий або СТ), зв'язка – V (керамічна) [4, табл. 158 с. 340] (позначення - Круг 5 25×32×10 14А F60 О 6 V 35 Б 3 ГОСТ Р 52781-2007).

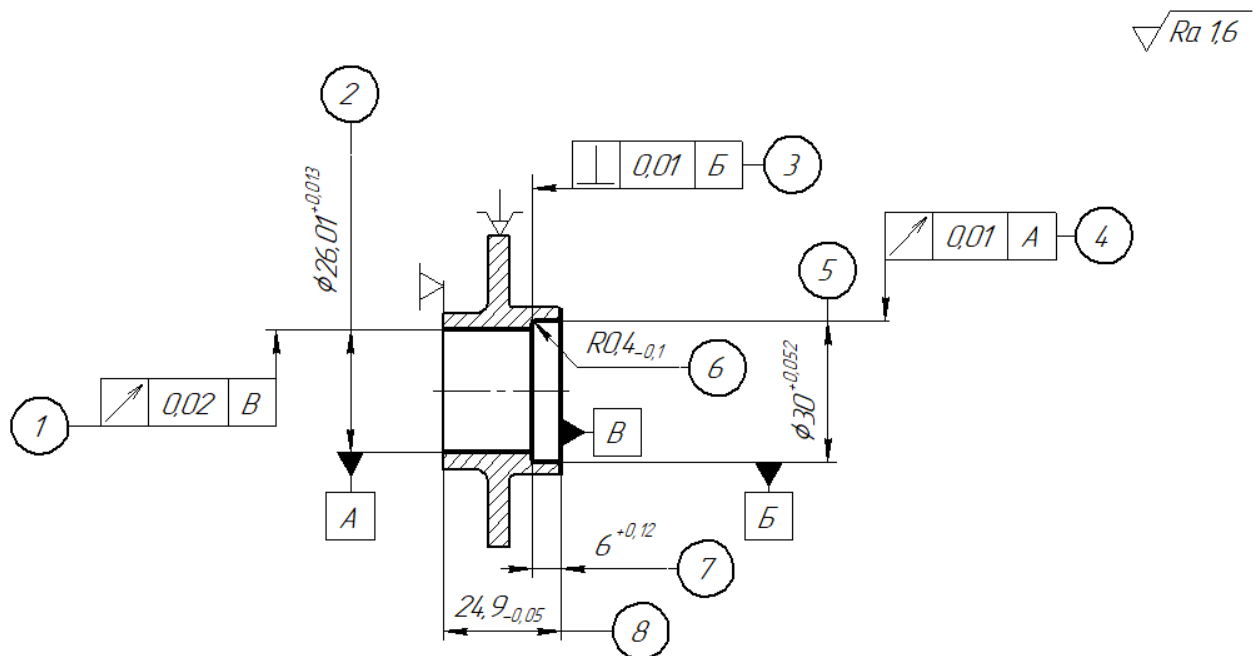


Рисунок 1.7 – Ескіз обробки

Шліфувати поверхні, витримуючи розміри 1-8.

Призначаємо режими різання.

Величина припуску, що знімається дорівнює: $h = 0,2$ мм. Розрахуємо швидкість шліфувального круга:

$$v_{кр} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \quad (1.41)$$

де $D = 25$ мм – діаметр круга;

$n_{кр} = 1112$ об/хв – частота обертання шліфувального круга по верстату.

$$v_{кр} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 1112}{1000 \cdot 60} = 1,5 \text{ м/с.}$$

Вибираємо швидкість деталі [4, табл. 161 с. 343] – $v_d = 30$ м/хв.

Число оборотів деталі:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_p}{\pi \cdot D} \quad (1.42)$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 30}{3,14 \cdot 30} = 318 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по верстату $n_d = 300$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$v_d = \frac{D \cdot \pi \cdot n_{вст}}{1000} \quad (1.43)$$

$$v_d = \frac{30 \cdot 3,14 \cdot 300}{1000} = 28,3 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо радіальну подачу на оберт S_t за формулою:

$$S_t = S_{t \text{ т}} \cdot K_{St}; K_{St} = K_{SM} \cdot K_{SR} \cdot K_{SD} \cdot K_{SIT} \cdot K_{Sh}, \quad (1.44)$$

де $S_{t \text{ т}}$ – табличне значення радіальної подачі, мм/об;

K_M – коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу;

K_{SR} – коефіцієнт, що враховує радіус галтелі деталі;

K_{SD} – коефіцієнт, що враховує діаметр шліфувального круга;

K_{V_K} – коефіцієнт, що враховує швидкість круга;

K_{ST} – коефіцієнт, що враховує стійкість круга;

$K_{S_{IT}}$ – коефіцієнт, що враховує точність обробки;

K_{S_h} – коефіцієнт, що враховує припуск на обробку.

Табличне значення радіальної подачі на оборот дорівнює [4, табл. 163, с. 346] –
 $St_m = 0,008$ м/мин.

Значення поправочних коефіцієнтів вибираємо з [4, табл. 165, с. 348]: $K_M = 0,54$,
 $K_{S_R} = 1,0$, $K_{S_D} = 1,0$, $K_{V_K} = 1,0$, $K_{S_T} = 1,0$, $K_{S_{IT}} = 0,6$, $K_{S_h} = 1,0$.

$$St = 0,008 \cdot 0,54 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 1,0 = 0,0025, \text{ мм/об.}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{h}{n_d \cdot S_t} \cdot K \quad (1.45)$$

де $K = 1,3$ – коефіцієнт виходжування.

$$t_o = 2 \frac{0,2}{300 \cdot 0,0025} \cdot 1,3 + \frac{0,1}{300 \cdot 0,0025} \cdot 1,3 = 0,87 \text{ хв.}$$

1.7 Нормування операцій

Технічні норми часу в умовах серійного виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом.

Норма часу в серійному виробництві називається штучно-калькуляційної нормою часу:

$$t_{ш-к} = t_{шт} + \frac{t_{п.з}}{n}, \quad (1.46)$$

де n – число деталей в партії;

$t_{пз}$ – підготовчо-заключний час, хв;

t_{um} – штучний час на одну деталь, хв.

$$t_{шт} = t_o + t_{доп} + t_{об} + t_{відп}, \quad (1.47)$$

де t_o – основний (машинний) час, хв;

$t_{доп}$ – допоміжний час, хв;

$t_{об}$ – час обслуговування робочого місця, хв;

$t_{відп}$ – час перерви на відпочинок, хв.

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{у.з} + t_{з.в} + t_{у.п} + t_{вим}, \quad (1.48)$$

де $t_{у.з}$ – час на установку і зняття деталі, хв;

$t_{з.в}$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв;

$t_{у.п}$ – час на прийоми управління, хв;

$t_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Оперативний час:

$$t_{оп} = t_o + t_{доп}, \quad (1.49)$$

де t_o – машинний час;

$t_{доп}$ – допоміжний час.

Час на обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби:

$$t_{обс} + t_{відп} = (t_o + t_{доп}) \cdot \left(\frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відп}}{100} \right), \quad (1.50)$$

де $\alpha_{обс}$ и $\alpha_{відп}$ – час на обслуговування робочого місця, перерва на відпочинок і природні потреби в % від оперативного часу.

Кількість деталей в партії для одночасного запуску визначено за формулою (1.1) – $n = 60$ деталей:

Проведемо розрахунок технічної норми часу для операції токарної з ЧПК 045.

Підготовчо-заклучний час складається з часу на наладку верстата, інструменту та пристосування (12 хв), і отримання та здача інструменту і пристосування (8 мин). Таким чином $t_{п-з} = 20$ хв, [6, карта 18, с.71] (група верстата II).

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{у.з} + t_{з.в} + t_{у.п} + t_{вим} = 0,4 + 0,16 + 0,33 = 0,89 \text{ хв},$$

де $t_{у.з} + t_{з.в} = 0,4$ хв – час на установку і зняття деталі [7, табл. 70, с. 131];

$t_{уп.} = 0,16$ хв – час на прийоми управління [7, табл. 71, с.132];

$t_{вим} = 0,09 \cdot 1 + 0,12 \cdot 2 = 0,33$ хв – час на вимірювання деталі шаблоном і штангенциркулем. [5, карта 67, с. 446].

Оперативний час дорівнює – $t_{оп} = t_o + t_{доп} = 5,2 + 0,89 = 6,09$ хв.

Час на обслуговування робочого місця і природні потреби становить 4,6% від оперативного часу [7, с.133]:

$$t_{обс} + t_{відп} = (t_o + t_{доп}) \cdot \left(\frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відп}}{100} \right) = 6,09 \cdot 0,046 = 0,28 \text{ хв}, \quad (1.51)$$

Штучний час дорівнює:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{обс} + t_{відп} = 6,09 + 0,28 = 6,37 \text{ хв}, \quad (1.52)$$

Штучно-калькуляційний час дорівнює:

$$t_{ш-к} = 6,37 + \frac{20}{20} = 7,37 \text{ хв}. \quad (1.53)$$

Проведемо розрахунок технічної норми часу для операції комплексної з ЧПК 140.

Підготовчо-заключний час складається з часу на наладку верстата, інструменту та пристосування (18 хв), і отримання та здача інструменту і пристосування (7 хв). Таким чином $t_{n-3} = 25$ хв, [6, табл. 6.6, с.219].

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{у.з} + t_{з.в} + t_{у.п} + t_{вим} = 0,79 + 0,24 + 0,09 = 1,45 \text{ хв},$$

де $t_{у.с.} + t_{з.о} = 0,79$ хв – час на установку і зняття деталі [7, табл. 93, с. 159];

$t_{уп.} = 0,24$ хв – время на приёмы управления [7, табл. 93, с.159];

$t_{вим} = 0,09 \cdot 2 + 0,12 \cdot 2 = 0,42$ хв хв – время на измерение детали шаблоном и штангенциркулем. [5, карта 67, с. 446].

Оперативний час дорівнює – $t_{оп} = t_o + t_{доп} = 2,8 + 1,45 = 4,25$ мин.

Час на обслуговування робочого місця і природні потреби становить 4,1% від оперативного часу [7, табл. 94, с.160]:

$$t_{обс} + t_{відп} = (t_o + t_{доп}) \cdot \left(\frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відп}}{100} \right) = 3,25 \cdot 0,041 = 0,21 \text{ хв},$$

Штучний час дорівнює:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{обс} + t_{відп} = 4,25 + 0,21 = 4,46 \text{ хв}.$$

Штучно-калькуляційний час дорівнює:

$$t_{шт-к} = 4,46 + \frac{25}{20} = 5,71 \text{ хв}.$$

Проведемо розрахунок технічної норми часу для круглошліфувальної операції 145.

Підготовчо-заключний час складається з часу на наладку верстата, інструменту та пристосування ($6 + 2,5 + 1,5 = 10$ хв), отримання і здачі інструменту і пристосування (7 хв). Таким чином $t_{n-3} = 17$ хв, [6, табл. 6.6, с.219].

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{у.з} + t_{з.в} + t_{у.п} + t_{вим} = 0,37 + 0,35 + 0,16 = 0,88 \text{ хв},$$

де $t_{у.с.} + t_{з.о} = 0,13 + 0,04 = 0,37$ хв – час на установку і зняття деталі [6, карта 16, с. 54];

$t_{у.п.} = 0,35$ хв – час на прийоми управління [7, табл. 109, с. 187];

$t_{вим} = 0,16$ хв – час на вимірювання деталі шаблоном і штангенциркулем. [5, карта 67, с. 446].

Оперативний час дорівнює – $t_{оп} = t_o + t_{доп} = 1,1 + 0,88 = 1,98$ мин.

Час на обслуговування робочого місця і природні потреби становить 5,2% від оперативного часу [7, табл. 110, с.188]:

$$t_{обс} + t_{відп} = (t_o + t_{доп}) \cdot \left(\frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відп}}{100} \right) = 1,98 \cdot 0,052 = 0,1 \text{ хв},$$

Штучний час дорівнює:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{обс} + t_{відп} = 1,98 + 0,1 = 2,08 \text{ хв}.$$

Штучно-калькуляційний час дорівнює:

$$t_{шт-к} = 2,08 + \frac{17}{20} = 2,93 \text{ хв}.$$

Проведемо розрахунок технічної норми часу для внутрішньошліфувальної операції 120.

Підготовчо-заключний час складається з часу на наладку верстата, інструменту та пристосування ($7 + 3 + 2 = 12$ хв), отримання і здачі інструменту і пристосування (7 хв). Таким чином $t_{п-з} = 19$ хв, [6, табл. 6.6, с.219].

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{у.з} + t_{з.в} + t_{у.п} + t_{вим} = 0,37 + 0,35 + 0,16 = 0,88 \text{ хв},$$

де $t_{у.с.} + t_{з.о} = 0,13 + 0,04 = 0,37$ хв – час на установку і зняття деталі [6, карта 16, с. 54];

$t_{ун.} = 0,35$ хв – час на прийоми управління [7, табл. 109, с. 187];

$t_{вим} = 0,16$ хв – час на вимірювання деталі шаблоном і штангенциркулем. [5, карта 67, с. 446].

Оперативний час дорівнює – $t_{оп} = t_o + t_{доп} = 0,87 + 0,88 = 1,75$ мин.

Час на обслуговування робочого місця і природні потреби становить 5,2% від оперативного часу [7, табл. 110, с.188]:

$$t_{обс} + t_{відп} = (t_o + t_{доп}) \cdot \left(\frac{\alpha_{обс} + \alpha_{відп}}{100} \right) = 1,75 \cdot 0,052 = 0,091 \text{ хв},$$

Штучний час дорівнює:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{обс} + t_{відп} = 1,75 + 0,091 = 1,84 \text{ хв}.$$

Штучно-калькуляційний час дорівнює:

$$t_{ш-к} = 1,84 + \frac{19}{20} = 2,79 \text{ хв}.$$

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NX CAM

1.8.1 Розробка токарної операції

Розробимо керуючу програму на операцію 045 для верстата з ЧПК. На рис. 1.9 показаний операційний ескіз.

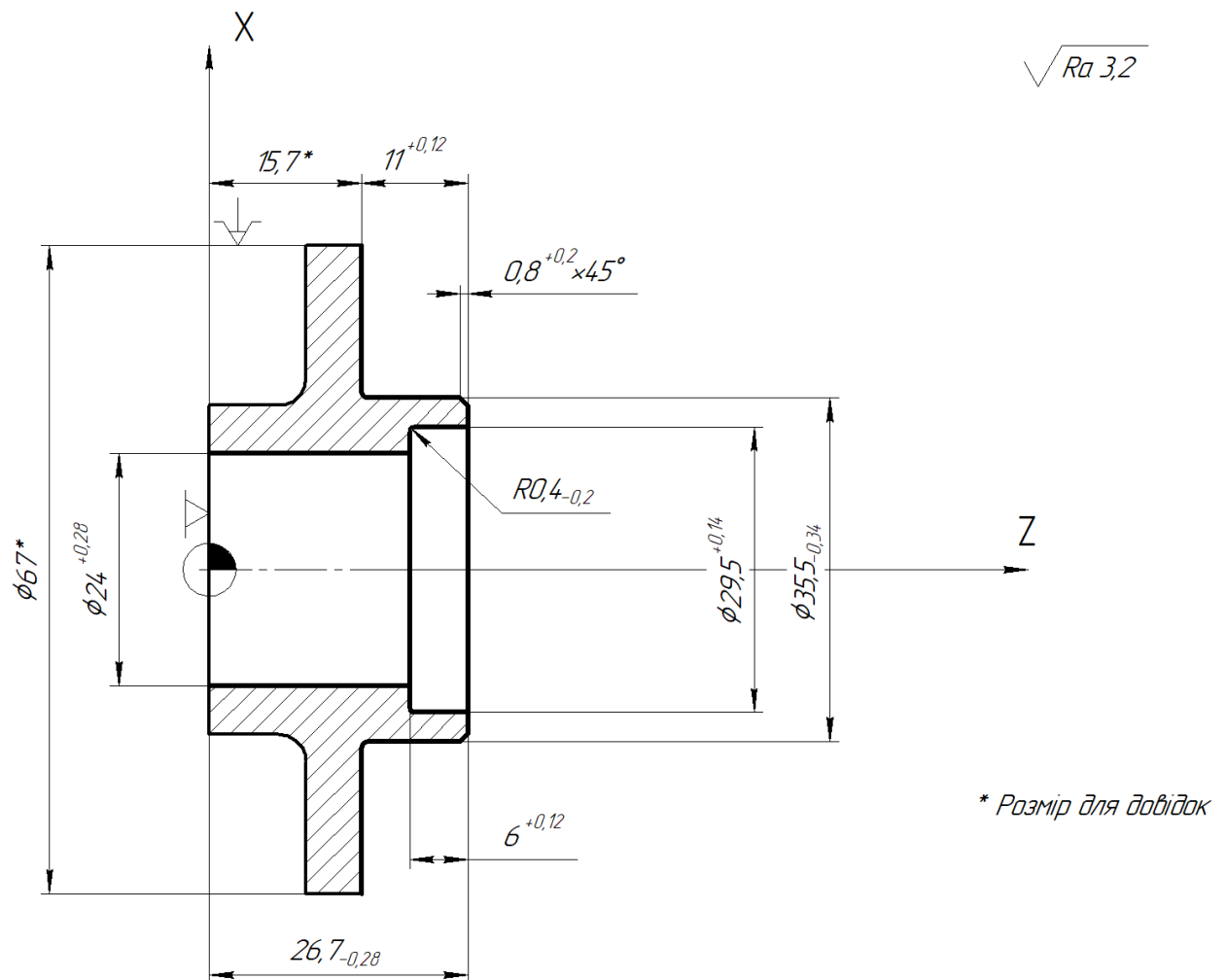


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз

Попередньо створюємо 3D модель, що відповідає деталі і відповідно заготовки на операції, що розробляється. Далі об'єднуємо ці дві моделі в одному файлі. Далі створюємо файл в якому будемо розробляти траєкторію. Вибираємо Обработка, Шаблон – Токарная (Express). Створюються декілька геометричних об'єктів,

пов'язаних з токарною обробкою. В геометричному об'єкті MSC_SPINDLE, задаємо систему координат деталі (рис. 1.10).

В геометричній групі WORKPIECE задаємо деталь і заготовку. Далі в геометричній групі AVOIDANCE задаємо початкову точку і точку повернення.

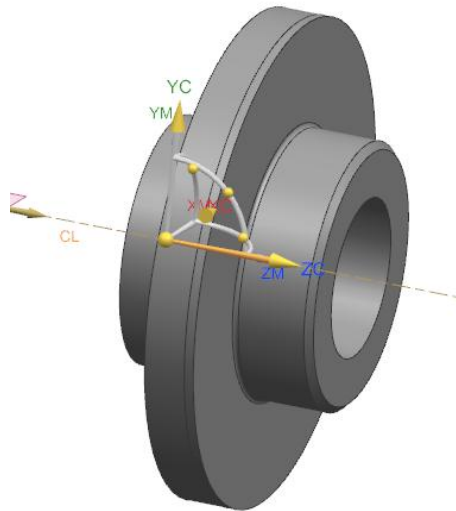


Рисунок 1.10 – Система координат деталі

В наступному кроці задаємо інструмент – розточний різець (рис. 1.11).

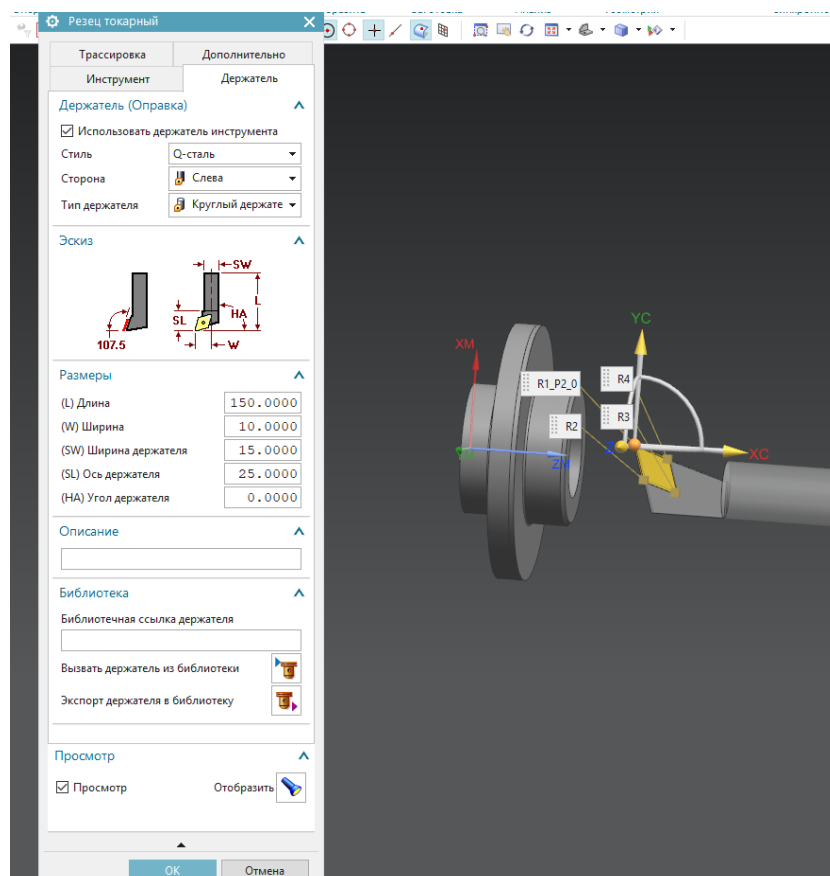


Рисунок 1.11 – Створення інструмента

Для організації декількох переходів необхідно створити допоміжний геометричний об'єкт CONTAINMENT. А вже в цьому переході створюємо перехід «Торцевание» і розташування площини безпеки. Задаємо всі необхідні параметри (рис. 1.12). Генеруємо траєкторію і керуючу програму (рис. 1.13, рис. 1.14).

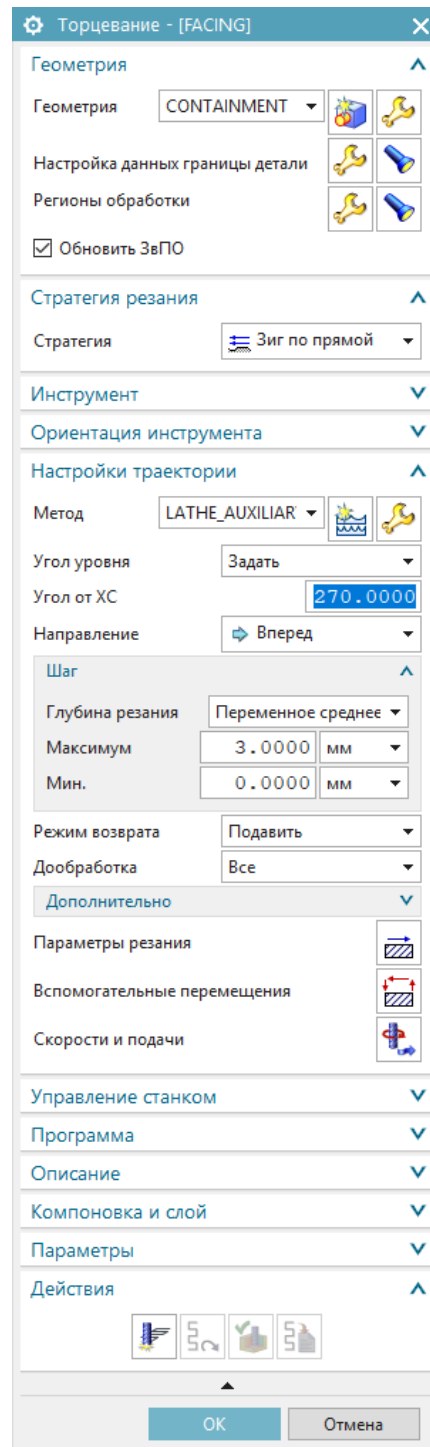


Рисунок 1.12 – Створення інструмента

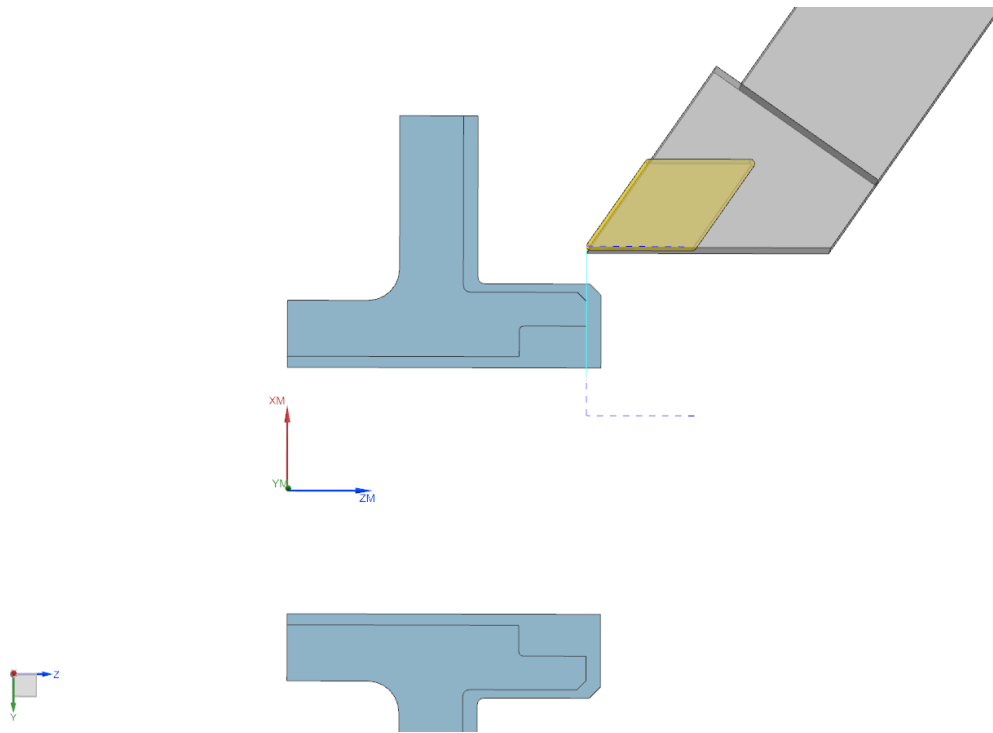


Рисунок 1.13 – Траєкторія руху інструмента на першому переході

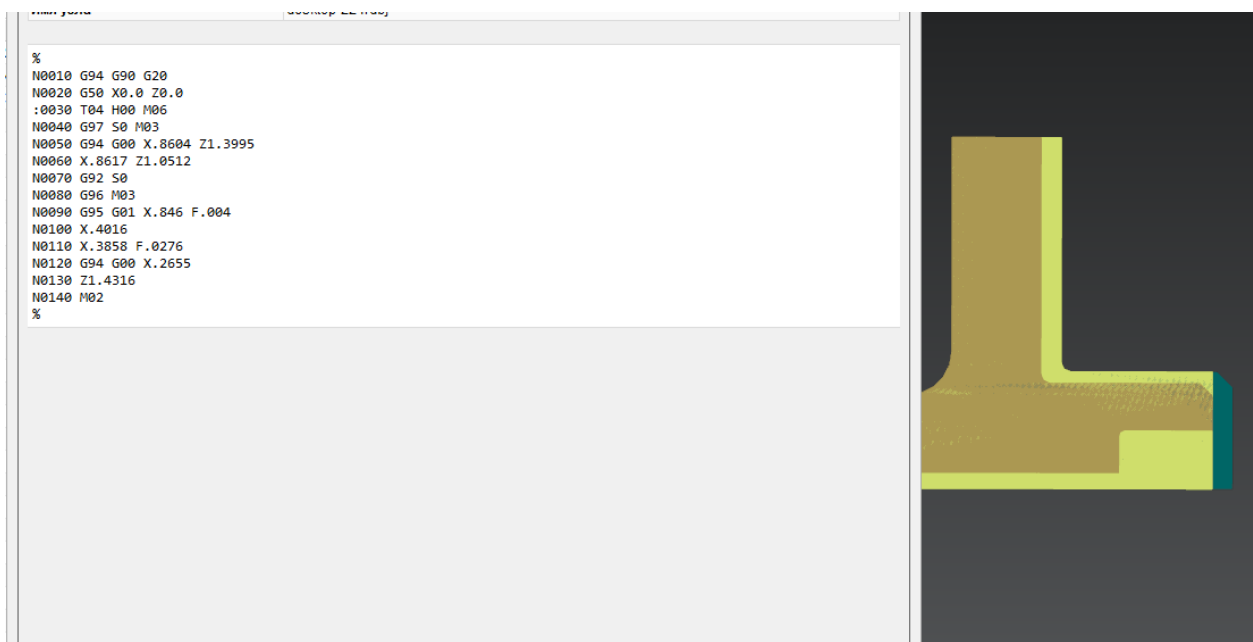


Рисунок 1.14 – Лістинг керуючої програми

Створюємо новий геометричний об'єкт CONTAINMENT_1. І в ньому за аналогією створюємо другий і третій перехід (рис. 1.15, 1.16).

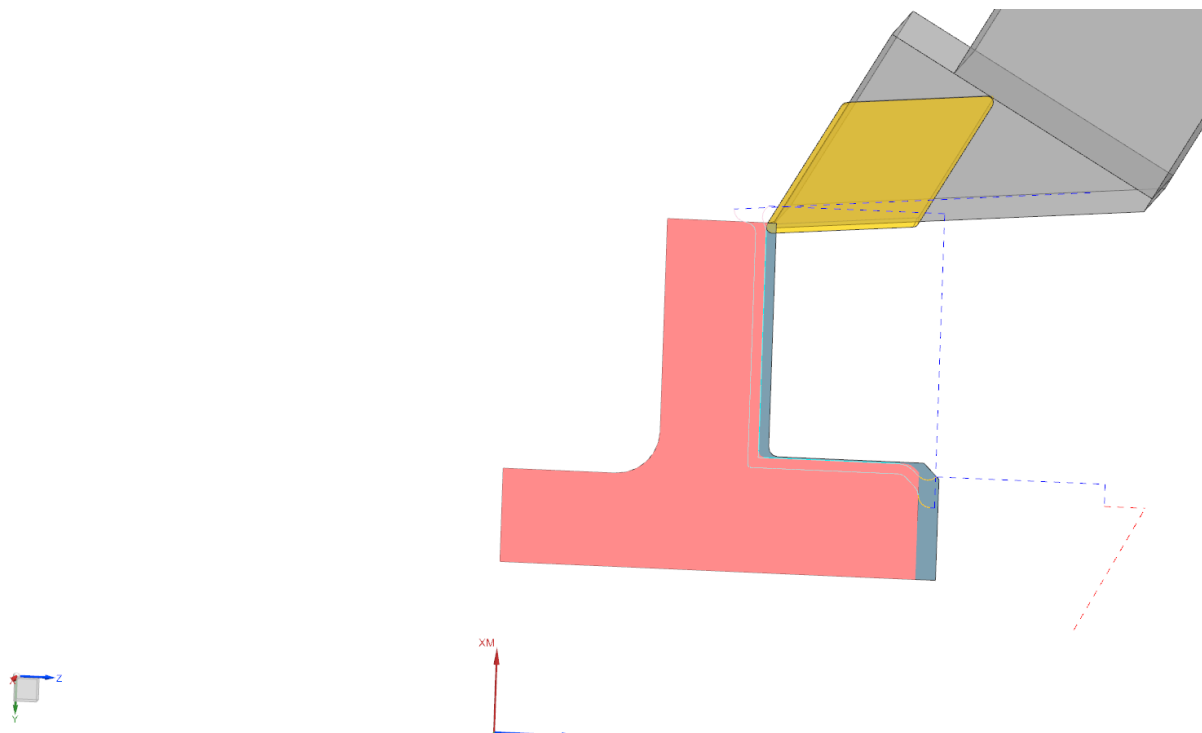


Рисунок 1.15 – Траєкторія руху інструмента на другому переході

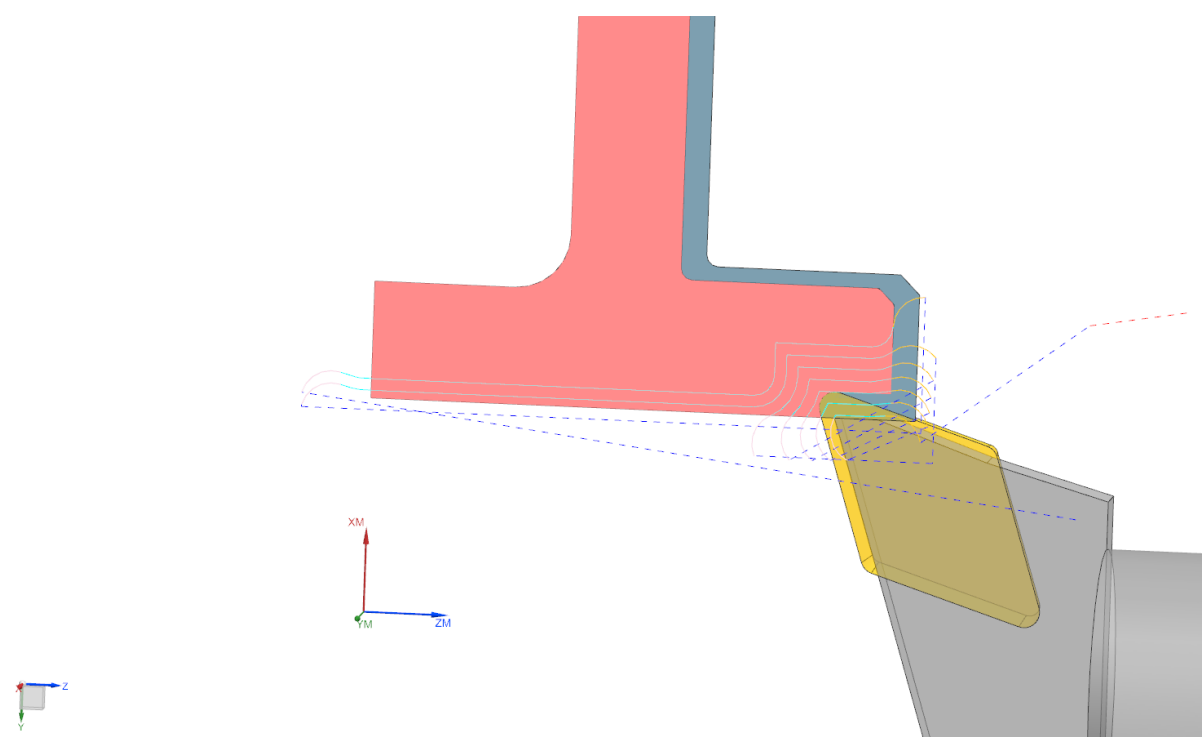


Рисунок 1.16 – Траєкторія руху інструмента на другому переході

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Цангове пристосування (рис. 2.1) призначено для встановлення заготовки на токарній операції. Затискання деталі виконується за допомоги пневматичного затискача. Пристосування складається з установчого диску 3, корпусу 4. В корпусі встановлена цанга 5. Цанга 5 переміщується вздовж патрона за допомоги тяги 7. Закріплення заготовки здійснюється за рахунок радіального переміщення лепестків цанги 5. Базування заготовки в осьовому напрямки забезпечується штирями 6, що закріплені в опорному кільці 8.

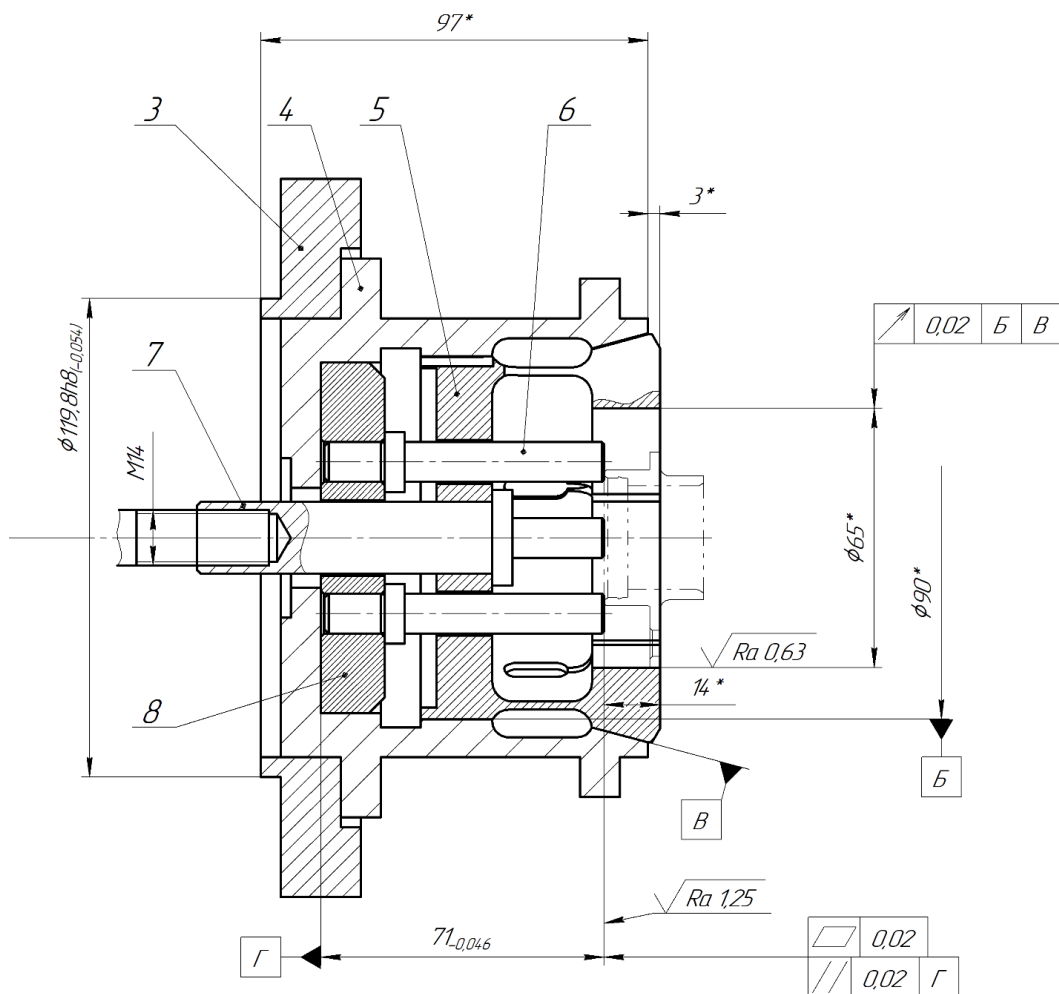


Рисунок 2.1 – Цангове пристосування

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Методика розрахунку пристосування на точність базується на тому, що сума похибок, що виникають в процесі обробки, не повинна перевищувати величину допуску, встановленого на розмір обробки.

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

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

де $\varepsilon_{уст}$ – частина похибки обробки, що залежить від обраної схеми установки заготовки в пристосування. Похибка установки дорівнює нулю, так як настроювальна база співпадає з установчою базою – $\varepsilon_{уст} = 0$ мм.

$\varepsilon_{пр}$ – частина похибки обробки, що залежить від точності виготовлення установчих елементів, їх зносу і установки пристосування на металорізальному верстаті.

$$\varepsilon_{пр} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 \quad (2.3)$$

де Δ_1 – похибка, обумовлена неточністю виготовлення настановних елементів; $\Delta_1 = T_{у.е.} = 0,003$ мм [10].

$\Delta_2 = 0,001$ мм – похибка залежить від величини допустимого зношування установчих елементів [10];

Δ_3 – похибка яка виникає при установці пристосування на металорізальному верстаті [10]. В нашому випадку, вона дорівнює $\Delta_3 = 0$ мм, оскільки цанга попередньо проточується на верстаті, в якому буде здійснюватись обробка.

$$\varepsilon_{пр} = 0,003 + 0,001 + 0 = 0,004 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{настр}$ – частина похибки обробки, що залежить від точності виготовлення настроювальних елементів пристосування і процесу настройки, $\varepsilon_{настр} = 0,002$ мм [10].

$\varepsilon_{обр}$ – частина похибки обробки, що залежить від зношування ріжучого інструменту, геометричній неточності виготовлення верстата, пружних і теплових деформацій системи ВПД.

$$\varepsilon_{обр} = \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6 + \Delta_7 \quad (2.4)$$

де $\Delta_4 = 0,001$ мм – величина допуску зношування ріжучого інструменту [10];

$\Delta_5 = 0,002$ мм – величина похибки, що залежить від геометричній неточності виготовлення металорізальних верстатів [10];

$\Delta_6 = 0,001$ мм – величина похибки, що залежить від деформацій системи ВПД [10];

$\Delta_7 = 0,001$ мм – величина похибки, що залежить від температурних деформацій системи ВПД [10];

Таким чином, похибка становить:

$$\varepsilon_{обр} = 0,001 + 0,002 + 0,001 + 0,001 = 0,005 \text{ мм.}$$

Сумарна похибка обробки:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = 0 + 0,004 + 0,002 + 0,005 = 0,011 \text{ мм,}$$

За умовами розрахунку пристосування на точність, сума похибок, що виникають в процесі обробки, не повинна перевищувати величину допуску, встановленого на розмір.

Виконавчий розмір при точінні $6^{+0,15}$.

Величина допуску на розмір обробки становить $T = 0,12$ мм, сума похибок $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = 0,011$ мм.

Дане пристосування дозволяє при токарній обробці витримати заданий розмір з допуском на нього $0,12$ мм.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Перед початком конструювання робочого пристосування, оснащеного пневматичним приводом, необхідно визначити діаметр робочої порожнини пневмоциліндра.

Для цього, визначимо окружну силу різання при точінні [11, с. 271]

$$P_z = 10C_p t^x s^y v^n K_p, \text{ Н} \quad (2.5)$$

де $C_p = 204$ [11, табл. 22, с. 273];

$t = 2$ мм;

$s = 0,5$ мм/об;

$v = 52$ м/хв;

$x = 1,0$ [11, табл. 22, с. 273];

$y = 0,75$ [11, табл. 22, с. 273];

$n = 0$ [11, табл. 22, с. 273];

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання визначається за формулою:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}, \text{ Н} \quad (2.6)$$

де $K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{1100}{750}\right)^{0,75} = 1,33$ [11, табл. 9, с. 264];

$K_{\varphi p} = 0,89$ [11, табл. 23, с. 275];

$K_{\gamma p} = 1,1$ [11, табл. 23, с. 275];

$K_{\lambda p} = 1$ [11, табл. 23, с. 275];

$K_{rp} = 0,87$ [11, табл. 23, с. 275].

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 2^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 52^0 \cdot 1,33 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 3275 \text{ , Н}$$

За рівнянням (2.5) також можна визначити осьову силу різання. В даному випадку: $K_{\varphi p} = 1,17; K_{\gamma p} = 1,4; K_{\lambda p} = 1; K_{rp} = 1,0$ [11, табл. 23, с. 275].

$$P_x = 10 \cdot 204 \cdot 2^1 \cdot 0,5^{0,75} \cdot 52^0 \cdot 1,33 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6300 \text{ , Н}$$

Після цього визначаємо необхідної силу затискання в цанговому затискачі за рівнянням [12, с. 185]:

$$P_2 = \frac{1}{f_1} \sqrt{\frac{M^2}{r^2} + P_x^2 K}, \quad (2.7)$$

де $M = P_z \cdot r_1$ – момент різання;

f_1 – коефіцієнт тертя між заготовкою і цангою;

r_1 – відстань від вісі до точки прикладання сили різання;

r – радіус заготовки на ділянці затискання;

$K = 2$ – коефіцієнт запасу.

Розрахункова схема наведена на рис. 2.2.

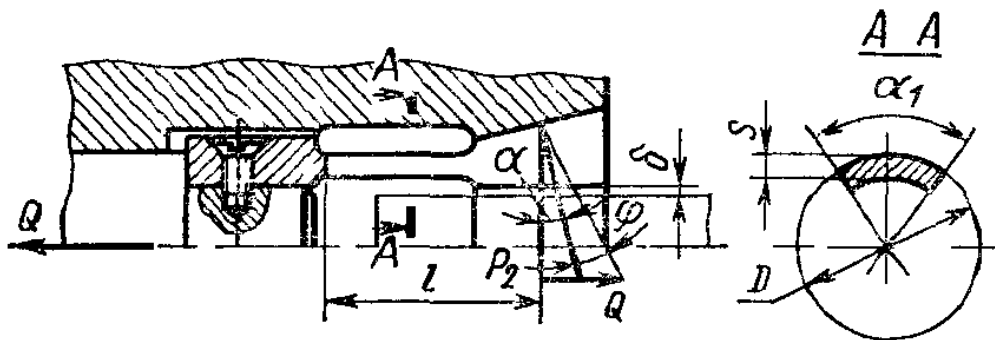


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема [12]

$$P_2 = \frac{1}{0,12} \sqrt{\frac{(3275 \cdot 15,5)^2}{32,5^2} + 6300^2 \cdot 1,5} = 55\,684 \text{ Н.}$$

Сила, що стискує пелюстки цанги дорівнює:

$$P_1 = 3 \frac{E f z}{l^3} \cdot \frac{D^3 S}{8} \left(\alpha_1 + \sin \alpha_1 \cos \alpha_1 - \frac{\sin^2 \alpha_1}{\alpha_1} \right), \quad (2.8)$$

де E – модуль пружності;

f – зазор між цангою і заготовкою;

z – число пелюстків цанги;

D – зовнішній діаметр пелюстків цанги;

S – товщина пелюстка цанги;

α_1 – кут сегменту пелюстка цанги.

$$P_1 = 3 \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 5}{30,5^3} \cdot \frac{86^3 \cdot 2}{8} \left(1,257 + \sin 72^\circ \cos 72^\circ - \frac{\sin^2 72^\circ}{1,257} \right) = 5835 \text{ Н.}$$

Осьова сила, яка необхідна для затискання цанги і забезпечення сили затискання P_2 :

$$Q = (P_1 + P_2) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (2.9)$$

де α – половина кута конуса цанги;

$\varphi = \operatorname{arctg}(f_1)$ – кут тертя;

f_1 – коефіцієнт тертя конусної поверхні.

$$Q = (5835 + 55684) \operatorname{tg}(7,5^\circ + \operatorname{arctg}(0,12)) = 15730 \text{ Н.}$$

Виходячи з розрахункового зусилля на штоку і прийнятого тиску повітря в мережі – 4 атм., Вибираємо діаметр робочої порожнини циліндра $D=160$ мм. Діаметр штока дорівнює $d = 36$ мм.

Згідно з прийнятими даними, визначимо зусилля на штоку [12, табл. 6.11, с. 151].

Для пневмоциліндра двосторонньої дії сила, що тягне шток, дорівнює:

$$W = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta, \quad (2.10)$$

де $D = 160$ мм – діаметр робочої порожнини циліндра;

$d = 36$ мм – діаметр штока;

$p = 0,4$ МПа – тиск повітря в мережі;

$\eta = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії;

$$W = \frac{3,14}{4} (160^2 - 36^2) \cdot 0,4 \cdot 0,9 = 17390 \text{ Н},$$

Порівнюючи отримане значення зусилля на штоку з розрахунковим зусиллям, що залежать від сили різання, видно що $W > Q$, дана умова забезпечує надійне закріплення деталі.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначене для контролю радіального биття внутрішньої циліндричної поверхні, відносно бази Б (рис. 2.3) деталі «втулка».

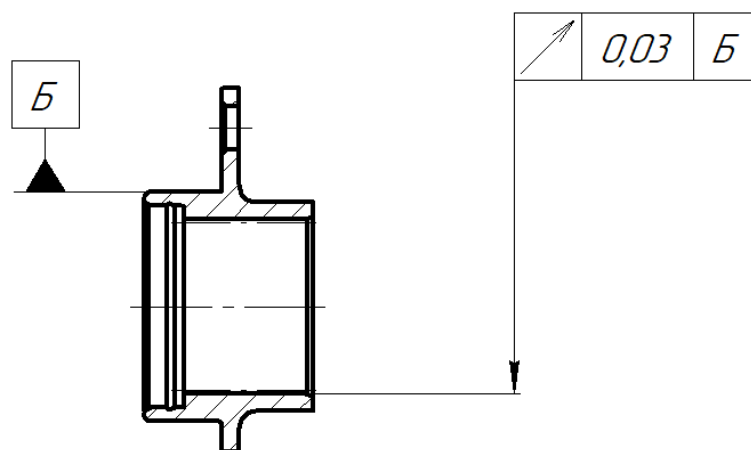


Рисунок 2.3 – Параметр, контролюємий контрольним пристосуванням

Контрольне пристосування (рис. 2.4) складається з плити 5, на якій закріплені дві призми – рухома 4 та нерухома 2. В призмах встановлюється деталь, що

контролюється. Внутрішня поверхня контрольованої деталі контролюється індикатором важільного типу ІРБ. Індикатор встановлюється в рухомому стійку 1, що в свою чергу може переміщуватись вздовж стійки 2. Для настройки пристосування використовується еталонна деталь «Втулка».

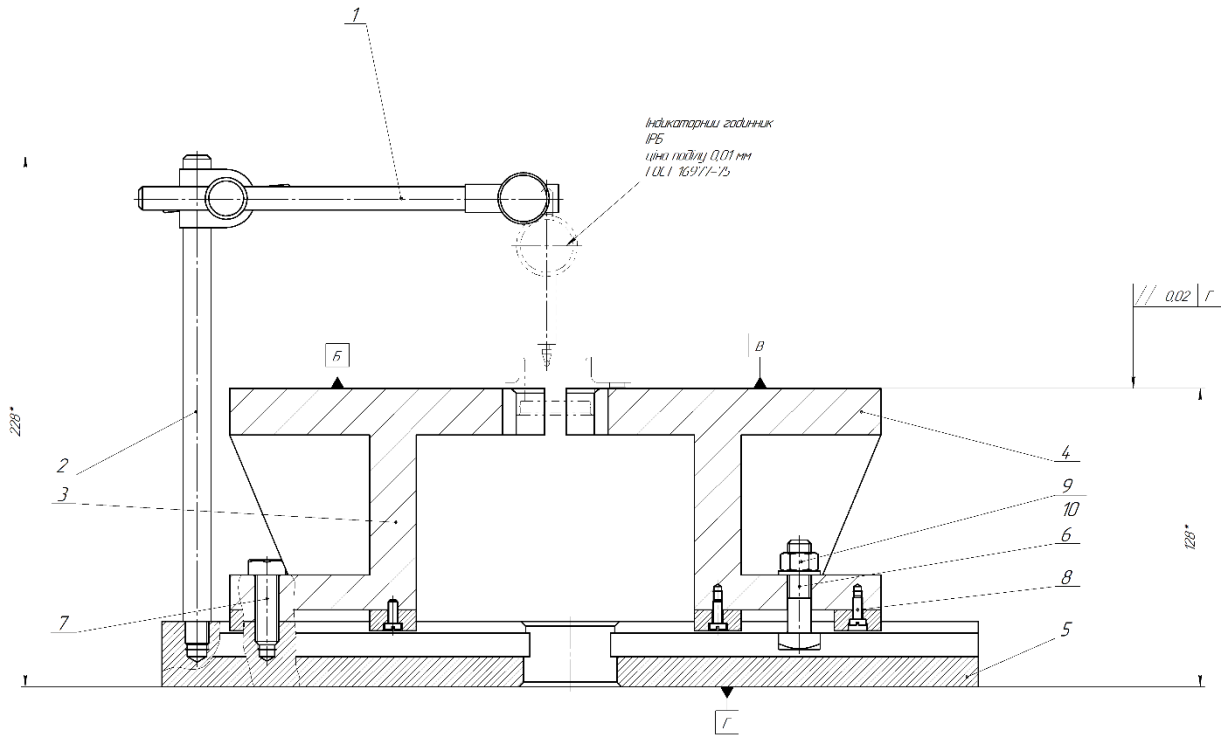


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Організація автоматизованого виробництва

В автоматизованому виробництві робота устаткування, агрегатів, апаратів, установок відбувається автоматично за заданою програмою. Роль працівника зводиться до здійснення контролю і нагляду за їх роботою, усунення відхилень від заданого процесу, налагодження автоматизованого устаткування тощо.

Розрізняють часткову і комплексну автоматизацію.

При частковій автоматизації працівник повністю звільнений від робіт, пов'язаних з виконанням технологічних процесів.

В умовах комплексно-автоматизованого виробництва технологічний процес виготовлення продукції, управління цим процесом, транспортування виробів, контрольні операції, видалення відходів виробництва виконуються без участі людини, але обслуговування устаткування відбувається ручним способом.

Основним елементом автоматизованого виробництва є автоматичні потокові лінії (далі - АПЛ). Автоматична потокова лінія - комплекс розміщеного в технологічній послідовності виконання операцій автоматичного устаткування, пов'язаний з автоматичною транспортною системою і системою автоматичного управління, який забезпечує автоматичне перетворення вихідних матеріалів (заготівель) на готовий виріб. На АПЛ працівник виконує функції налагодження, контролю і нагляд за роботою устаткування, а також завантажує лінію заготівлями.

Автоматичні комплекси із замкнутим циклом виробництва представляють собою ряд пов'язаних автоматичними транспортними і завантажувально-розвантажувальними пристроями автоматичних ліній.

Автоматизовані дільниці (цехи) включають автоматичні потокові лінії, автономні автоматичні комплекси, автоматичні транспортні системи, автоматичні складські системи, автоматичні системи контролю якості, автоматичні системи управління тощо.

Орієнтовна структура автоматизованого виробничого підрозділу наведена на рис. 3.1.

В умовах постійно змінюваного нестабільного ринку важливим завданням є підвищення гнучкості (багатофункціональності) автоматизованого виробництва для того, щоб максимально задовольнити вимоги і потреби споживачів, а також швидше, і з мінімальними витратами освоїти випуск нової продукції.

Методи підвищення гнучкості автоматизованих виробничих систем:

- використання автоматизованих систем технічної підготовки виробництва;
- застосування швидко переналагоджуваних автоматичних потокових ліній;
- застосування універсальних промислових маніпуляторів з програмним управлінням (промислових роботів);
- стандартизація застосовуваного інструмента і засобів технологічного оснащення;
- застосування в автоматичних лініях автоматично переналагоджуваного устаткування (на базі мікропроцесорної техніки);
- використання переналагоджуваних транспортно-складських і накопичувальних систем тощо.

Однак варто зауважити, що будь-яка універсалізація вимагає значних додаткових витрат і при її застосуванні необхідно застосовувати зважений економічний підхід на базі маркетингової інформації і досліджень.

Автоматичні потокові лінії ефективні в масовому виробництві.

Склад автоматичної потокової лінії:

- автоматичне устаткування (верстати, агрегати, установки) для виконання технологічних операцій;
- механізми для орієнтування, установки і закріплення виробів на устаткуванні;
- пристрій для транспортування виробів на відповідні операції;
- контрольні прилади (для контролю'якості та налагодження устаткування);
- засоби завантаження і розвантаження ліній (заготівель і готових деталей);
- апаратура і прилади системи управління АПЛ;
- пристрої заміни інструмента й оснащення; • пристрої утилізації відходів;
- пристрій для забезпечення необхідним видом енергії; .
- пристрої забезпечення мастильно-охолоджувальними рідинами тощо.

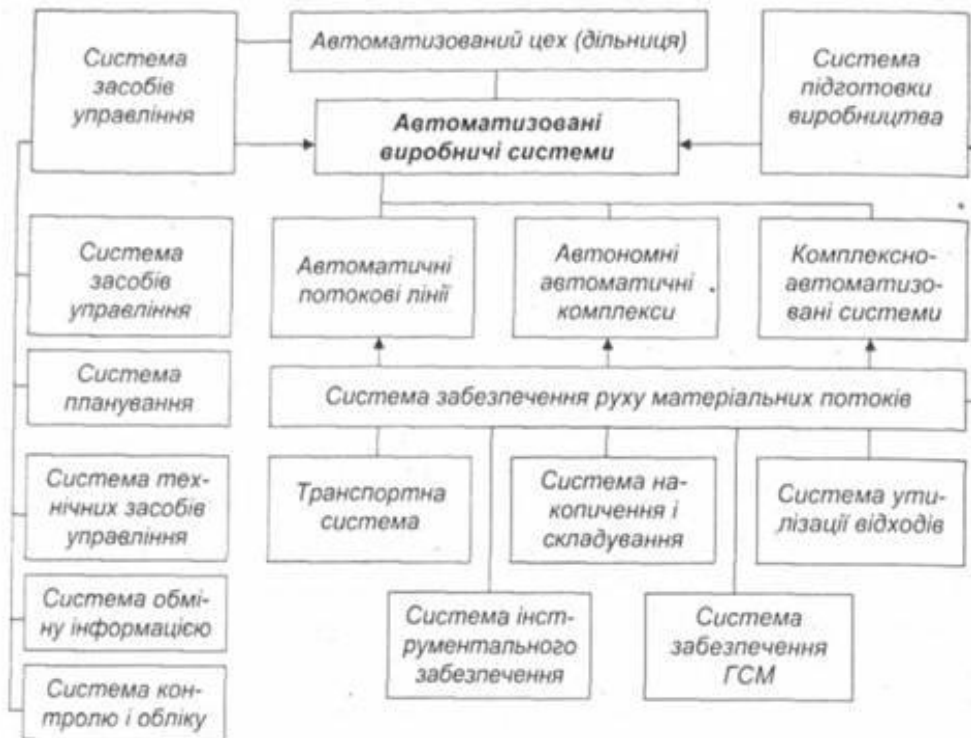


Рисунок 3.1 - Структурний склад автоматизованого виробничого підрозділу

До складу автоматичних ліній останнього покоління також включаються електронні пристрої:

1. "Розумні супервізори" з моніторами на кожній одиниці устаткування і на центральному пульті управління. їх призначення полягає в завчасному попередженні персоналу про хід процесів, що відбуваються на окремих агрегатах (в системі) і в наданні інструкцій про необхідні дії персоналу (текст на моніторі).

2. Статистичні аналізатори з графобудівниками, призначені для статистичної обробки різноманітних параметрів роботи АПЛ, зокрема:

- часу роботи і простоїв;
- кількості продукції, що випускається;
- властивостей оброблюваного виробу на кожній контрольованій операції;
- виходу з ладу (збою) кожної одиниці устаткування і лінії а цілому тощо.

3. Діалогові системи селективної збірки, тобто підбор параметрів відносно до неточно оброблених деталей, що входять до складальної одиниці і сполучення яких забезпечує високоякісні параметри її роботи.

Класифікація і характеристика АПЛ наведені в табл. 3.1

Таблиця 3.1 - Класифікація автоматичних потокових ліній

Ознака	Найменування і коротка характеристика
1. Гнучкість	1.1. Тверді непереналагоджувані АПЛ, призначені для обробки одного виробу. 1.2. Переналагоджувані АПЛ на визначену групу виробів одного найменування. 1.3. Гнучкі АПЛ, які складаються з обробних центрів гнучких транспортно-складських систем з промисловими роботами і призначені для обробки будь-яких деталей визначеної номенклатури і габаритів.
2. Число одночасно оброблюваних виробів	2.1. АПЛ поштучної обробки. 2.2. АПЛ групової обробки.
3. Спосіб транспортування виробу	3.1. АПЛ з безперервним транспортуванням. 3.2. АПЛ з періодичним транспортуванням.
4. Кінематичний зв'язок агрегатів (устаткування)	4.1. АПЛ з фіксованим зв'язком агрегатів. 4.2. АПЛ з гнучким зв'язком агрегатів.

При проектуванні АПЛ здійснюється ряд розрахунків. В основному вони не відрізняються від розрахунків неавтоматизованих ліній, але є деякі особливості, зокрема, такт АПЛ визначається за формулою (3.1):

$$r = \frac{60T_n \cdot \eta \cdot n_{зм}}{Q_B}, \quad (3.1)$$

де r – такт АПЛ, хвилин;

T_n - номінальний річний фонд часу роботи лінії в одну зміну, годин;

$n_{зм}$ – кількість змін роботи;

η – коефіцієнт технічного використання АПЛ, який враховує втрати часу при різних збоях в роботі устаткування лінії і витрати часу на переналагодження;
 Q_B - планове завдання, виробів.[13]

На бункерних (гнучких) АПЛ утворюються такі заділи:

- компенсовані;
- пульсуючі.

Компенсовані заділи АПЛ (Z_K) утворюються при різній продуктивності змінних ділень АПЛ, їх розмір можна розрахувати за формулою (3.2):

$$Z_K = T_K \left(\frac{1}{r_m} - \frac{1}{r_b} \right) \quad (3.2)$$

де T_K - період часу для створення компенсованого заділу, тобто проміжок часу безупинної роботи змінних ділень АПЛ з різними тактами роботи, хвилин;
 r_m і r_b - менший і більший такти роботи суміжних ділень (операцій) АПЛ відповідно, хвилин.

Пульсуючі заділи створюються для підтримки ритмічності випуску продукції, їх призначення полягає в попередженні аритмії виробничого процесу на окремих операціях.[13]

3.2 Автоматизація в системі контролю

В машинобудівному виробництві деталі машин (автомобілів та автомобільних двигунів, тракторів, паливної та гідроапаратури и др.) виготовляють з високою точністю за розмірами й формі (по 5-7 квалітетам). В більшості випадків такі деталі виготовляються серійно на автоматичних верстатах, автоматичних лініях та верстатах з ЧПУ. Точне автоматичне виробництво потребує точних автоматичних засобів контролю розмірів деталей та приладів для вимірювання лінійних та кутових

переміщень й позиціонування робочих органів верстатів. На сучасних верстатах застосовують порівнювально невелику номенклатуру засобів контролю лінійних й кутових розмірів та переміщень:

- на шліфувальних та хонінгувальних верстатах врізного шліфування застосовують прилади для контролю розмірів деталей в процесі обробки;
- на шліфувальних верстатах, працюючих «на прохід», розточувальних та обточувальних станках застосовують прилади для контролю розмірів деталей після обробки (подналадчики);
- на верстатах з ЧПУ та оброблюючих центрах застосовують широкодіапазонні перетворювачі для координатних замірювань переміщень робочих органів верстата;
- на свердлувально-фрезерно-розточних верстатах та оброблюючих центрах застосовують індикатори контакту для контролю розмірів деталей та позиціонування обробляємих поверхонь й ріжучої кромки інструменту;
- на обробляючих центрах застосовують пристрої для налагодження інструменту поза верстатом;

Засоби контролю розмірів деталей умовно поділяють на дві групи – «пасивні» та «активні». Пасивні засоби контролю вимірюють вже оброблені деталі з метою визначення відповідності їх розмірів завданому полю допуску та поділу деталей на гідні, брак або розмірні групи. Активні засоби контролю розміщені саме на металоріжучому верстаті та замірюють деталь під час обробки.[1]

3.2.1 Принцип дії прилада активного контролю

Контролюєма деталь 15, встановлена у центра круглошліфовального верстата, піджимається знизу наконечником 18, справа – двигуном 16, налаштованим на розмір контролюємої деталі, та закріплений за допомогою бовта 17, та зверху - датчиком БВ-908 [6] 12. Датчик 12 закріплюється в корпусі скоби за допомогою бовтового з'єднання з зазором 13. Скоба 14 з датчиком 12 монтується на шарнірі підвіски 11, дозволяючи відводити скобу 14 з робочої зони під час обробки, з метою недопущення попадання абразиву, стружки та СОЖ на датчик.

Скалка 19 для шарнірної підвіски 11 корпусу скоби 14 загвинчується в шток 1 пневмоциліндру 4. Пневмоциліндр [5] 4, змонтований на кронштейні 3 за допомогою лап 5, скріплених між собою бовтовим з'єднанням 7 та 10, дозволяє переміщувати виимірювальну скобу 14 з датчиком 12 в потрібну позицію для контролю різних поверхонь контролюємої деталі 15.(рис. 3.2)

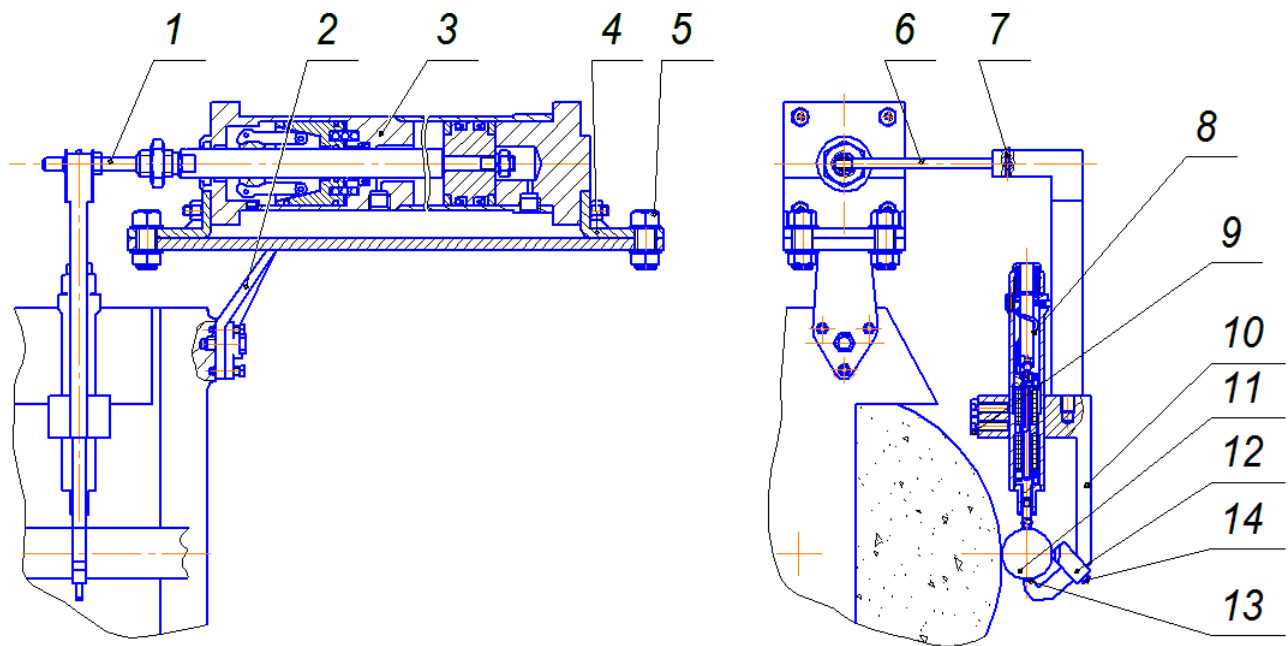


Рисунок 3.2 - Навісна скоба з датчиком

3.2.2 Розрахунки

- 1) Розрахуємо напругу, виникаючу в місці свинчування скалки 1 зі штоком пневмоциліндра 4

На вузол діє сила тяжіння скоби з датчиком.

Маса датчика: $m_d = 0,115 \text{ кг}$

Розрахуємо масу скоби:

- розоб'ємо скобу на 6 ділянок: (рис. 3.3)

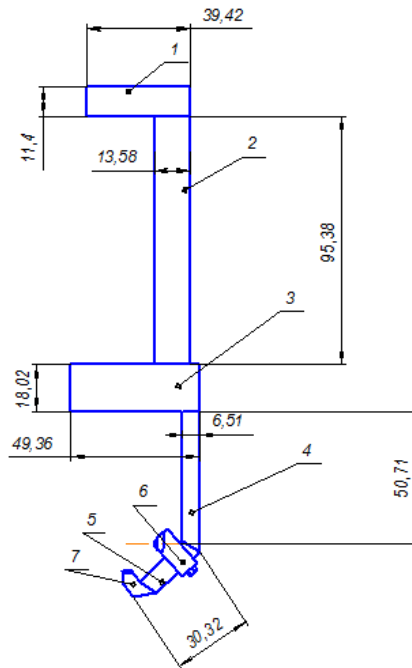


Рисунок 3.3 - Скоба

$$m_c = \rho \cdot V, \text{ г} \quad (3.3)$$

Скоба виготовлена зі сталі 40Х, щільність якої:

$$\rho_{\text{стали}} = 7850 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$V_c = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 + V_7 \quad (3.4)$$

$$V_1 = a \cdot b \cdot c = 39,42 \cdot 11,4 \cdot 10,45 = 49691 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_2 = a \cdot b \cdot c = 13,58 \cdot 95,38 \cdot 7,53 = 97533 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_3 = a \cdot b \cdot c = 49,36 \cdot 18,02 \cdot 26,74 = 237844 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_4 = a \cdot b \cdot c = 50,71 \cdot 6,51 \cdot 5,79 = 19114 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_5 = a \cdot b \cdot c = 22,94 \cdot 6,49 \cdot 5,79 + 13,03 \cdot 6,99 \cdot 5,79 = 862 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_6 = a \cdot b \cdot c = 8 \cdot 17,33 \cdot 5,79 = 8027 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$V_7 = a \cdot b \cdot c = 13,03 \cdot 6,99 \cdot 5,79 = 527 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

Тоді,

$$V_c = (4969,1 + 9753,3 + 23784,4 + 1911,4 + 862 + 802,7 + 527) \cdot 10^{-9} = 42609,9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$m_c = \rho \cdot V = 42609,9 \cdot 10^{-9} \cdot 7850 = 0,334 \text{ кг},$$

тоді маса скоби з датчиком:

$$M = m_c + m_o = 0,344 + 0,115 = 0,459 \text{ кг}$$

Сила тяжіння, створена скобою з датчиком:

$$F = M \cdot g = 0,459 \cdot 9,88 = 4,53 \text{ Н}$$

Навантаження на вузол можна уявити у вигляді навантаження, діючу на консоль (рис. 3.4):

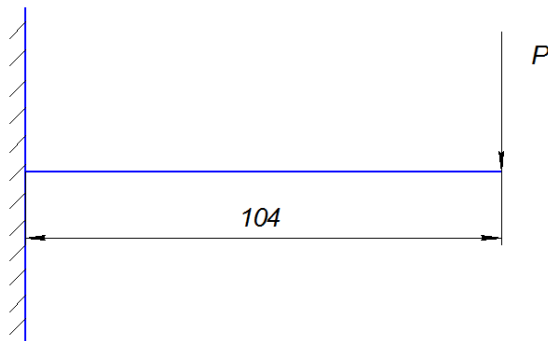


Рисунок 3.4 - Навантаження, діюче в місці скручування скалки зі штоком пневмоциліндру

Момент інерції січення відносно нейтральної осі визначимо по формулі:

$$J_z = \frac{\pi \cdot D^4}{64}, \text{ см}^4 \quad (3.5)$$

D – діаметр скалки, см

$$D = 0,6 \text{ см}$$

$$J_z = \frac{\pi \cdot D^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 0,6^4}{64} = 63,58 \cdot 10^{-4} \text{ см}^4$$

Максимальний прогін консолі визначимо по формулі:

$$J_{\max} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot J_z}, \text{ см} \quad (3.6)$$

L -довжина консолі, $L = 104 \text{ мм}$.

E -модуль пружності,

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кгс / см}^2$$

$$J_{\max} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot J_z} = \frac{4,53 \cdot 10^4 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 63,58 \cdot 10^{-4}} = 0,082 \text{ см} = 0,82 \text{ мм}$$

Максимальний прогин деталі незначний, з чого виходить, що конструкція витримає критичні навантаження.

2) Розрахуємо напругу, виникаючу в шарнирі підвіски.

Напруга, діюча на шарнир підвіски, можна представити у вигляді напруги, діючий на консоль (рис. 3.5):

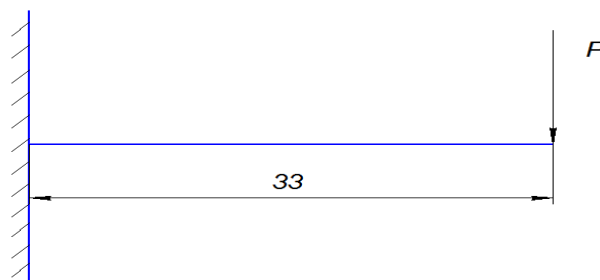


Рисунок 3.5 - Напруга в шарнирі підвіски

Сила P , діюча на шарнир підвіски аналогічна дорівнює силі тяжіння, створеної скобою с датчиком.

$$L = 33 \text{ мм}$$

$$F = M \cdot g = 0,459 \cdot 9,88 = 4,53 \text{ Н}$$

Розглянемо січення вузла (рис. 3.6)

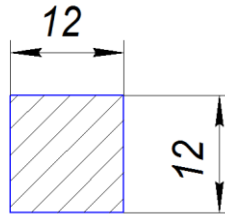


Рисунок 3.6 - Січення вузла

Момент інерції січення відносно нейтральної осі визначимо по формулі:

$$J_z = \frac{b \cdot H^3}{12} = \frac{1,2 \cdot 1,2^3}{12} = 0,1728 \text{ см}^4$$

Тоді максимальний прогин консолі:

$$J_{\max} = \frac{1}{3} \cdot \frac{P \cdot L^3}{E \cdot J_z} = \frac{4,53 \cdot 33^3 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 0,1728} = 0,000045 \text{ см} = 0,00045 \text{ мм}$$

Максимальний прогин деталі незначний, з цього виходить, що конструкція витримає критичні напруги.

3) Розрахуємо зусилля затяжки бовтового з'єднання датчика 5 зі скобою 14.

Сила обертання деталі, яка намагається вибити датчик, визначимо по формулі:

$$N = m \cdot \varepsilon, \text{ Н} \quad (3.7)$$

де m - маса штока,

ε - кутове прискорення, рад/с²

Максимальна $\varepsilon = 500 \text{ мин}^{-1}$, маса деталі штоку розрахуємо по формулі:

$$m_{\text{штока}} = \rho \cdot V \quad (3.8)$$

$$\rho_{\text{ст}} = 7810 \text{ кг} / \text{м}^3$$

Розрахуємо об'єм деталі по формулі:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h, \text{м}^3 \quad (3.9)$$

$$r_{\text{шт}} = 10 \text{ мм}$$

$$h_{\text{шт}} = 360 \text{ мм, тоді}$$

$$V_{\text{шт}} = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot 0,01^2 \cdot 0,36 = 0,00011304 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{штока}} = \rho \cdot V = 7810 \cdot 0,00011304 = 0,882 \text{ кг}$$

Тоді сила обертання деталі, спрямована вибити датчик:

$$N = m \cdot \varepsilon = 0,882 \cdot 500 = 441 \text{ Н}$$

Сила затяжки бовтів згідно формулі:

$$F = \frac{K \cdot Q}{f \cdot z \cdot i}, \text{Н} \quad (3.10)$$

де K -коефіцієнт запасу, $K = 1,8 \dots 2,0$

Q – рушійна сила– сила обертання деталі

f – коефіцієнт тертя, $f = 0,15 \dots 0,2$

z – кількість болтів

i – кількість стиків

$$F = \frac{K \cdot Q}{f \cdot z \cdot i} = \frac{1,8 \cdot 441}{0,2 \cdot 2 \cdot 2} = 992,25 \text{ Н}$$

За основу устрою був взят прилад активного контролю БВ-4270 [6] зі скобою. Після критичного аналізу конструкції прибору, були внесені необхідні зміни в конструкцію, а саме:

- змінена конструкція трьохконтактної скоби з метою кріплення датчика БВ-908.

- на кронштейн кріплення конструкції до кожуху шліфкругу був змонтован пневмоциліндр з фіксатором штоку, дозволяючий переміщувати скобу з датчиком вздовж деталі.

Були виконані необхідні розрахунки, які показали , що конструкція здібна витримати критичні навантаження.

4. СПЕЦЗАВДАННЯ. ХІМІКО-ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

4.1 Основні поняття. Види ХТО

Хіміко-термічна обробка (ХТО) – процес хімічної і термічної дії на поверхневий шар сталі з метою її покращання. Завдяки їй підвищується твердість поверхні сталі, її зносостійкість, корозіостійкість та інше. ХТО знайшла широке застосування в машинобудуванні, оскільки є найбільш ефективним методом зміцнення сталевих деталей і підвищення терміну їх роботи.

ХТО базується на таких явищах: дисоціація, абсорбція, дифузія та сублімація.

Дисоціація – це явище, яке полягає в розриві молекули на атоми та іони.

Абсорбція – захват поверхнею металу атомів речовини, якою він насичується.

Дифузія – переміщення захоплених поверхнею металу атомів у глибину виробу.

Сублімація – це випаровування твердого тіла, не переходячи у рідину.

При проведенні ХТО треба дотримуватися певних правил. Так, при ХТО швидкості дисоціації, абсорбції та дифузії повинні бути погоджені між собою. Для абсорбції та дифузії треба, щоб елемент, яким насичують поверхню металу, з основним металом утворював твердий розчин, або хімічну сполуку. ХТО не можлива, якщо основний метал і елемент, яким насичують його поверхню, утворюють механічну суміш. Дифузія відбувається краще, якщо твердий розчин буде типу втілення, а не заміщення. Це пояснюється тим, що при утворенні твердих розчинів заміщення атом, який впроваджувався в поверхню металу, займає в ґратках місце основного атому, або вакансії і міцно там утримується силами міжатомних зв'язків.

Речовина, з якої беруть атоми для насичення, називається карбюризатором. Карбюризатор може бути твердим, рідким та газоподібним.

Основними видами ХТО є цементація, азотування, ціанування та дифузійна металізація.

Цементація – вид ХТО, при якому поверхня деталі насичується атомами вуглецю.

Цементують низьковуглецеві (0,1 – 0,3% C) сталі марок 10, 15, 20, АІ2, А20, Ст3, І5Х, 25ХТМ тощо. При цементації вміст вуглецю в поверхневому шарі доводять до 1%. Товщина цементованого шару досягає 0,5 – 2,5 мм. Після насичення поверхні атомами вуглецю деталь гартують. Це забезпечує високу твердість поверхні деталі при збереженні м'якої і в'язкої серцевини.

Технологія проведення цементації залежить від типу карбюризатора. При використанні твердого карбюризатора (рис 4.1, а) деталі 5 розміщують у металічному ящику 1, в перемішку з вугіллям із деревини 6. Заповнений ящик герметично закривають кришкою 2. У спеціальні отвори вставляють стержні 3 із сталі, яка цементується (свідки), для контролю процесу цементації.

Потім ящик з деталями нагрівають до температури 900 – 950°C. У ящику, в проміжках між шматочками вугілля, знаходиться повітря, кисень якого з вуглецем вугілля утворює газ СО. Потім за реакцією $2\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{C}$ утворюється атомарний вуглець, яким і насичується поверхня металу.

З метою активізації карбюризатора у вугілля додають BaCO_3 , Na_2CO_3 (сода), K_2CO_3 (поташ).

Процес цементації показаний на графіку (рис. 4.1, б).

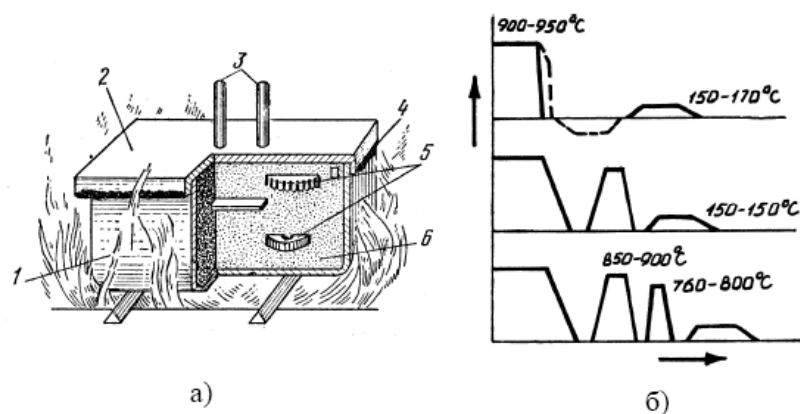


Рисунок 4.1 – Процес цементації сталевих деталей

Витримка після нагрівання тривала – 6 – 8 годин. Потім, оскільки деталі нагріті вище температури гартування, проводять підстижування до температури гартування і швидко охолоджують з послідуочим відпуском.

При газовій цементації деталі нагрівають в герметичних печах (реторах) в атмосфері природного газу (вміщує до 92 – 96% метану).

Крім природного газу цементацію можна провести бензолом, який краплинами подають у ретору, де й утворюється газ метан і оксид вуглецю.

Структура цементованого шару така. Поверхня деталі має вуглецю біля 1%, тобто відповідає заевтектоїдній сталі із зернами перліту та цементиту (заевтектоїдна зона). Далі починається евтектоїдна зона із вмістом вуглецю біля 0,8%. Завершується цементований шар доевтектоїдною зоною, яка містить вуглецю менше 0,7%. Після гартування на поверхні отримується високовуглецевий мартенсит, а серцевина залишається не гартованою, з низькою твердістю і високою в'язкістю.

Цементують деталі, які працюють в умовах тертя, при великих тисках і циклічних навантаженнях – шестерні, поршневі пальці, розподільчі вали тощо.

Процес цементації відомий давно і технологічно нескладний. До середини минулого століття методом цементації заліза отримували сталь.

Азотування – вид ХТО, при якому поверхневий шар деталі насичується атомами азоту. При цьому поверхня деталі стає не тільки твердою та зносостійкою, як при цементації, а й корозієстійкою. Це відносно новий спосіб ХТО, його вперше здійснив Н.П.Чижевський у 1913 році.

Карбюризатором при азотуванні частіше всього служить аміак, який дисоціює на азот і водень. Оптимальна температура азотування – 500 – 600°C. При азотуванні деталі завантажують у герметичні печі, в які поступає аміак NH_3 . При нагріванні аміак дисоціює $\text{NH}_3 \rightarrow 3\text{H} + \text{N}$. Атомарний аміак поглинається поверхнею деталі і дифундує в глибину. Фази, які утворюються у вуглецевій сталі, не дають достатньо високої твердості. Тому азотують леговані сталі, які містять алюміній, молібден, хром, титан тощо. Нітриди цих елементів дуже дисперсні та мають високу твердість. Вона навіть вища ніж при цементації, а головне зберігається до високих температур 400 – 600°C, тоді як у цементованих сталях до 200 – 250°C.

Перед азотуванням шляхом гартування і високого відпуску покращують механічні властивості деталей. Оскільки азотування супроводжується деяким збільшенням розмірів деталі, то після нього проводять шліфування. Наприклад, повторно шліфують шийки колінчатих валів двигунів внутрішнього згорання.

Процес азотування тривалий – до 24 – 60 годин при температурі 500 – 520°C. Тому інколи з метою скорочення часу проводять двохступеневе азотування. Спочатку азотують при температурі 500 – 520°C, а завершують при підвищеній температурі 560 – 600°C. Підвищення температури прискорює дифузію атомів азоту в металі. Крім того, з цією метою проводять іонне азотування. Процес проводять у розрідженому азотному середовищі при підключенні деталі до від'ємного електроду. Анодом служить контейнер установки. Між деталлю і контейнером утворюється тліючий розряд, в якому іони газу бомбардують поверхню деталі. Це скорочує час азотування в 2 – 3 рази.

Азотувати можна рідким карбюризатором в розплавлених ціаністих солях. При температурі 540 – 590°C азотування відбувається за 0,5 – 3 години.

Порівнюючи цементацію і азотування можна відмітити наступне:

1. Тривалість цементації менша тривалості азотування;
2. Зміцнений шар отримується більш глибокий і витримує більший питомий тиск при експлуатації;
3. Твердість цементованого шару в 1,5 – 2 рази менша азотованого;
4. Твердість при нагріванні цементованого шару зберігається до 180 – 250°C, а азотованого – 400 – 600°C.

Ціанування – вид ХТО, при якому поверхня деталі насичується одночасно атомами вуглецю і азоту. Після ціанування поверхня металу стає твердою, зносостійкою і корозієстійкою. Карбюризатором служать ціаністі солі. При високих температурах ціаністі солі розпадаються з утворенням атомарного вуглецю та азоту. Вони шкідливі, мають температуру плавлення 550 – 650°C. Для підвищення температури плавлення і зменшення шкідливого випаровування до них додають нейтральні солі (NaCl, BaCl). Ціануванню підлягають дрібні деталі з конструкційної сталі.[2]

Оскільки ціанування полягає в одночасному насиченні металу вуглецем і азотом, то його можна розглядати як суміщення цементації та азотування. При високій температурі процес ціанування наближається до цементації, а при низькій – до азотування. Змінюючи температуру, можна регулювати співвідношення між насиченням вуглецем і азотом.

Для отримання насиченого шару до 0,3 мм проводять низькотемпературне (820 – 860°C) ціанування. При цьому час ціанування – 0,5 – 1,5 годин. Після витримки деталь гартують і виконують низький відпуск. Низько-температурне ціанування проводять для середньо-вуглецевих сталей та інструментів з швидкоріжучих сталей.[2]

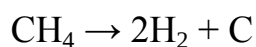
Для отримання насиченого шару більшої товщини (0,5 – 2 мм), проводять високотемпературне ціанування, при температурі 930 – 960°C. Тривалість процесу 1,5 – 6 годин. Після ціанування деталі охолоджують на повітрі, а потім гартують і роблять низький відпуск. Високотемпературне ціанування проводять для деталей, які виготовлені з низько- і середньовуглецевих сталей, а також для легованих сталей.

Процеси ціанування в порівнянні з цементацією більш продуктивні, забезпечують меншу деформацію та короблення деталей і дають зносо- і корозієстійкість.

Недоліком ціанування є шкідливість ціаністих солей та висока вартість.

Газова цементація заготовок здійснюється у герметичному просторі печі, наповненому газовим карбюризатором, який може бути природний (CH₄) та штучний газ, утворений з різних вуглеводів (гас, бензол та ін.) штучний газ в піч подають краплями, де він виділяє переважно CH₄, CO і H₂.

Метан природного газу в печі розкладається з виділенням атомарного карбону:



Знаючи хімічний склад сталі й регулюючи склад газової суміші, можна керувати насиченням заготовок вуглецем, а також легко автоматизувати процес. Він менш тривалий порівняно з цементацією у твердому карборизаторі. Тому газову цементацію застосовують у великосерійному й малому виробництвах.[2]

Після цементації роблять термічну обробку заготовок – гартування й низькотемпературний відпуск з метою отримання заданих механічних властивостей. Режим термообробки залежить від умов експлуатації цементованої деталі та марки сталі, з якої ця деталь виготовлена. Мало відповідальні деталі одноразово гартують від температури цементації з подальшим низькотемпературним відпуском або перед

гартуванням охолоджують на повітрі від температури цементації до температури 840 – 860°C. охолодження зменшує залишкові напруження та короблення заготовок. Під час гартування отримують грубо голчастий мартенсит. Вибір спадково дрібнозернистої сталі для виготовлення деталей дає змогу обмежити ріст аустенітного зерна під час цементації й отримати бажану структуру навіть в результаті одноразового гартування.

Коли потрібна висока поверхнева твердість, міцність і ударна в'язкість, термообробкою формують дрібнозернисту структуру і на поверхні деталі, і в осерді, застосовуючи подвійне гартування і низькотемпературний відпуск.

Для поверхневого гартування заготовку, охолоджують після цементації на повітрі, нагрівають на 30 – 50°C вище від температури A_3 цементованої сталі, тобто до 850 – 900°C. тоді метал повністю перекристалізовується, утворюючи дрібнозернистий аустеніт. Під час цього в аустеніті поверхневого насиченого шару розчиняється сітка цементиту. Продукти розпаду аустеніту мають теж дрібнозернисту структуру.[2]

Під час другого гартування формується структура поверхневого шару, де $\text{вміст } C \geq 0,8\%$. З огляду на це температура гартування повинна перевищувати критичну точку A_1 на 30 – 50°C і становити 760 – 780°C під час нагрівання мартенсит, що утворився в поверхневому шарі при першому гартуванні, розпадається, виділяючи глобулярні карбіди. При температурі нижче $A_{\text{ст}}$ ці карбіди лише частково розчинюються в аустеніті, а не розчинені карбіди залишаються у загартованій зовнішній заевтектоїдній зоні поверхневого шару, збільшуючи його твердість.

Низькотемпературний відпуск зменшує залишкові напруження й мало що знижує твердість поверхневого шару. Поверхневий шар після подвійного гартування й низькотемпературного відпуску має структуру відпущеного дрібнозернистого мартенситу з вкрапленням карбідів глобулярної форми. Ця структура характеризується підвищеною зносостійкістю. У деталях з вуглецевої сталі осердя має дрібнозернисту структуру, близьку до 90 сорбітної. Перехід до легованих сталей збільшує прогартованість заготовок й сприяє утворенню в осерді, залежно від кількості легувальних елементів й перерізу заготовки, троститної, бейнітної

структури або структури низько вуглецевого мартенситу. З огляду на низький вміст вуглецю осердя вуглецевих, як і легованих сталей, зберігає високу ударну в'язкість.

Цементовані сталі після гартування мають у поверхневому шарі великі напруження стиску, які підвищують границю витривалості.

Ціанування може проводитись газовим карбюризатором. Таке ціанування називається нітроцементациєю. Основою газового середовища служить ендотермічний газ, який складається з азоту (40%), водню (40%) і оксиду вуглецю (20%). При нітроцементациї деталі нагрівають до 850 – 870°C у середовищі ендогазу з добавкою природного газу (5 – 15%) та аміаку (5%) і витримують протягом 4 – 10 годин. Глибина нітроцементованого шару 0,2 – 0,8 мм. Після нітроцементациї деталі гартують і відпускають низьким відпуском.

Нітроцементують деталі складної форми, які працюють на знос та схильні до короблення.

Дифузійна металізація – це вид ХТО, при якому поверхня сталі деталі насичується атомами інших металів (алюмінієм, хромом, цинком та ін.). При насиченні поверхні сталі іншими металами утворюються тверді розчини заміщення, тому їх дифузія відбувається складніше, ніж вуглецю та азоту.

Металізація відбувається при температурі 700 – 1400°C такими способами:

1. Твердим металізатором – феросплавом (ферохромом, феросиліцієм, фероалюмінієм та ін.) з додаванням хлористого алюмінію (NH_4Cl). Металізатор з'єднується з HCl або Cl_2 і утворює летючі з'єднання хлору з металом (наприклад, AlCl_3 , Cl_2 і т.д.). Доторкнувшись до поверхні деталі, летюче з'єднання хлору з металом дисоціює, внаслідок чого утворюють вільні атоми металу, які захоплюються поверхнею сталі.

2. Рідким металізатором – розплавленим металом. Деталь занурюють у розплавлений металізатор, який має низьку температуру плавлення (цинк, алюміній тощо).

3. Газовим металізатором – газом, який вміщує хлориди різних металів.

Насичення поверхневого шару деталі алюмінієм називають алітуванням. Процес дифузійного насичення відбувається при температурі 700 – 1100°C .

Товщина насиченого шару 0,2 – 1 мм, а концентрація алюмінію в поверхневому шарі до 30%.

Алітування проводять для підвищення жаростійкості вуглецевих сталей. Алітують клапани, розливні ковці тощо.

Процес дифузійного насичення поверхні деталей хромом називають хромуванням. Воно підвищує зносостійкість деталей в агресивних середовищах. Хромують деталі парових турбін, насосів для перекачування агресивних середовищ тощо.

4.2 Азотування сталей

Азотування – це процес дифузійного насичення поверхні виробів азотом. Мета азотування- підвищити твердість, зносостійкість, границю витривалості та опір корозії.

В сплавах системи Fe-N (рис. 4.2) утворюються наступні фази: α -фаза- твердий розчин втілення азоту в α -Fe з граткою ОЦК; γ -фаза - твердий розчин втілення азоту в γ -Fe з граткою ГЦК; γ' -фаза - твердий розчин на основі нітриду Fe_4N з ГЦК граткою ϵ -фаза- твердий розчин на основі нітриду Fe_3N з граткою ГЦП. Твердість нітридів заліза відносно невисока: γ' -фази– HV 550 (HRC 50); ϵ - фази – HV 450 (HRC 44) . Тому твердість вуглецевих сталей після азотування не перевищує HV 600 і для азотування використовують леговані алюмінієм, ванадієм та хромом сталі. В них, окрім нітридів AlN , VN , Cr_2N , для яких характерна висока твердість, є зони з підвищеним вмістом азоту і легувальних елементів, що створюють пружні викривлення гратки α -твердого розчину. Високо дисперсні нітриди легувальних елементів та збагачені азотом, алюмінієм, ванадієм та хромом зони гальмують рух дислокацій і підвищують твердість азотованого шару легованих сталей (HV 1000...1200).[2]

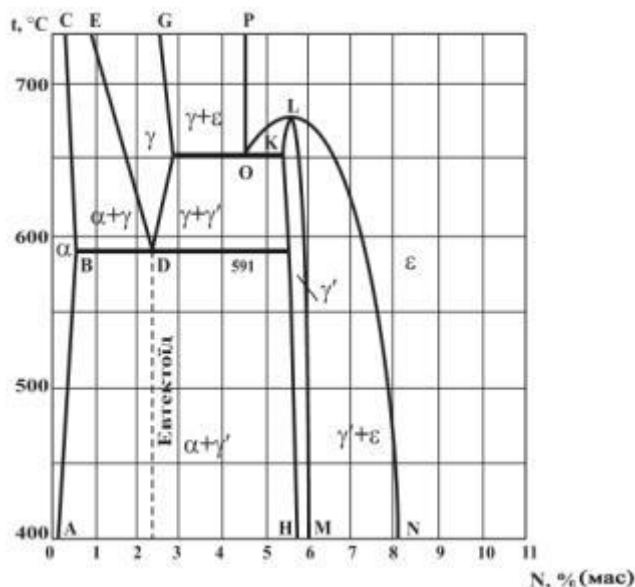
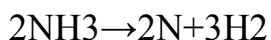


Рисунок 4.2 – Діаграма Fe-N

Азотування конструкційних сталей проводиться при температурах нижче 591°C - температури евтектоїдного перетворення в системі Fe-N. Використовують середньовуглецеві (0,3...0,45 %C) леговані сталі 38Х2МЮА, 30Х2Н2МФА, 40ХНМ та ін. Перед азотуванням деталі проходять поліпшення (гартування і високотемпературне відпускання), щоб забезпечити в'язку серцевину і підготувати структуру до азотування. Азотування при $520...560^{\circ}\text{C}$ дозволяє сформувати шар 0,3...0,6 мм за 30...60 годин, тобто швидкість азотування складає 0,01 мм/год.

Атомарний азот для насичення утворюється при дисоціації аміаку:



Після насичення деталі охолоджуються з піччю в атмосфері аміаку до $150...200^{\circ}\text{C}$, а потім на повітрі. Висока твердість азотованого шару забезпечується утворенням твердого розчину втілення азоту в α -Fe і головним чином нітридами легувальних елементів. Тому після азотування термічна обробка не виконується.

Переваги азотування порівняно із цементацією: більша твердість поверхні, яка зберігається при нагріванні до 500°C (твердість цементованих виробів знижується при нагріванні вище 200°C); підвищені зносостійкість, границя витривалості,

кавітаційна стійкість; опір корозії в повітряній атмосфері, прісній воді і її парі; незначна деформація виробів.

Недоліки азотування: повільна швидкість насичення; підвищена крихкість азотованого шару.

4.3 Технологічний процес азотування

Азотування, в процесі виконання якого поверхневий шар сталевого виробу насичується азотом, стало використовуватися в промислових масштабах відносно недавно. Такий метод обробки, запропонований до використання академіком Н.П. Чижевським, дозволяє поліпшити багато характеристики виробів, виготовлених із сталевих сплавів (рис.4.3).



Рисунок 4.3 - Цех іонно-вакуумного азотування

Азотування сталі, якщо порівнювати його з таким популярним методом обробки металу, як цементація, відрізняється рядом вагомих переваг. Саме тому дана технологія стала застосовуватися в якості основного способу поліпшення якісних характеристик сталі.

При азотуванні сталевий виріб не піддається значному термічному впливу, при цьому твердість його поверхневого шару значно збільшується. Важливо, що розміри азотируємых деталей не змінюються. Це дозволяє застосовувати такий метод обробки для сталевих виробів, які вже пройшли загартування з високим відпуском і

відшліфовані до необхідних геометричних параметрів. Після виконання азотування, або азотації, як часто називають цей процес, сталь можна відразу ставити полірувати.

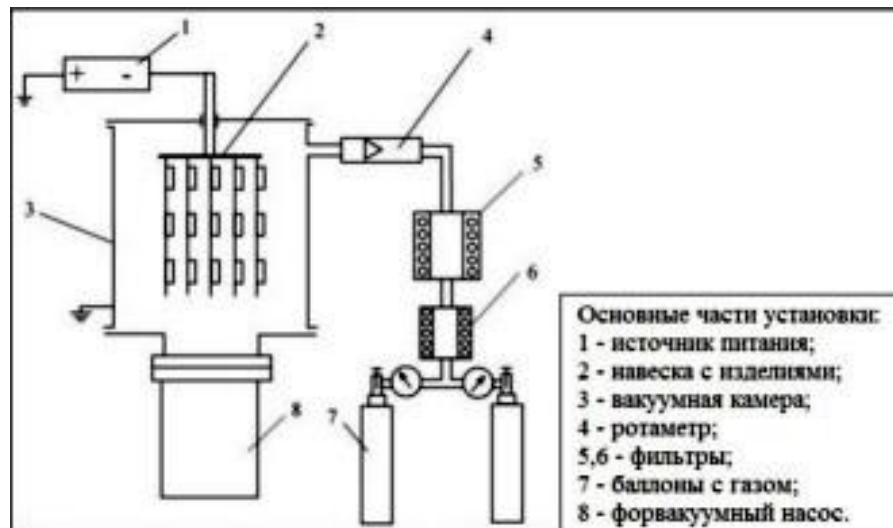


Рисунок 4.4 - Схема установки азотування в тліючому розряді

На рисунку 4.4 показано азотування сталі, яке полягає в тому, що метал піддають нагріванню у середовищі, що характеризується високим вмістом аміаку. В результаті такої обробки з поверхневим шаром металу, насичаючимся азотом, відбуваються наступні зміни.

- За рахунок того, що твердість поверхневого шару сталі підвищується, покращується зносостійкість деталі.
- Зростає втомна міцність виробу.
- Поверхня виробу стає стійкою до корозії. Така стійкість зберігається при контакті сталі з водою, вологим повітрям і пароповітряної середовищем.

Виконання азотування дозволяє отримати більш стабільні показники твердості сталі, ніж при здійсненні цементації. Так, поверхневий шар виробу, яке було піддано азотуванню, зберігає свою твердість навіть при нагріванні до температури 550-600°, в той час як після цементації твердість поверхневого шару може почати знижуватися вже при нагріванні виробу понад 225°. Міцнісні характеристики

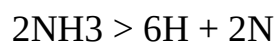
поверхневого шару сталі після азотування в 1,5–2 рази вище, ніж після гарту або цементації.

Деталі з металу поміщають у герметично закритий муфель, який потім встановлюється в піч для азотування. У печі муфель з деталлю нагрівають до температури, яка зазвичай знаходиться в інтервалі 500-600°, а потім витримують деякий час при такому температурному режимі (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Вакуумна піч для термічної обробки з системою газового азотування

Щоб сформувати усередині муфеля робочу середу, необхідну для протікання азотування, у нього під тиском подається аміак. Нагріваючись, аміак починає розкладатися на складові елементи, даний процес описує наступна хімічна формула:



Атомарний азот, що виділяється в процесі протікання такої реакції, починає дифузирувати в метал, з якого виготовлена оброблювана деталь, що призводить до утворення на її поверхні нітридів, що характеризуються високою твердістю. Щоб закріпити результат і не дати поверхні деталі окислитися, муфель разом з виробом і аміаком, який у ній продовжує залишатися, повільно охолоджують разом з піччю для азотування.

Нітридний шар, який формується на поверхні металу в процесі азотування, може мати товщину в інтервалі 0,3–0,6 мм. Цього цілком достатньо для того, щоб

наділити виріб необхідними характеристиками міцності. Оброблену за такою технологією сталь можна не піддавати ніяким додатковим методам обробки.

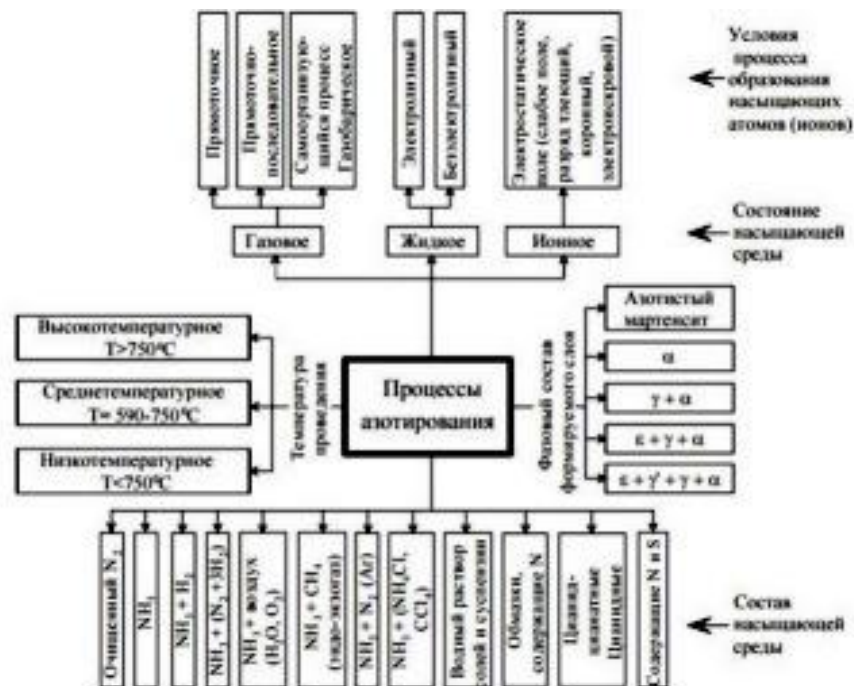


Рисунок 4.6 - Класифікація процесів азотування

Процеси, що протікають в поверхневому шарі сталевого виробу при його азотування, досить складні, але вже добре вивчені фахівцями металургійної галузі. В результаті протікання таких процесів у структурі оброблюваного металу формуються наступні фази (рис. 4.6):

- твердий розчин Fe_3N , що характеризується вмістом азоту в межах 8-11,2%;
- твердий розчин Fe_4N , азоту у якому міститься 5,7–6,1%;
- розчин азоту, що формується в залозі.

Додаткова фаза в структурі металу формується тоді, коли температура азотування починає перевищувати 591° . В той момент, коли ступінь насичення даної фази азотом досягає свого максимуму, в структурі металу формується нова фаза. Евтектоїдний розпад в структурі металу відбувається тоді, коли ступінь його насичення азотом досягає рівня 2,35%.

Основними факторами, які впливають на азотування, є:

- температура, при якій виконується така технологічна операція;
- тиск газу, що подається в муфель;
- тривалість витримки деталі в печі.

На ефективність протікання такого процесу також впливає ступінь дисоціації аміаку, яка, як правило, знаходиться в інтервалі 15-45%. При підвищенні температури азотування твердість формованого шару знижується, але процес дифузії азоту в структуру металу прискорюється. Зниження твердості поверхневого шару металу при його азотування відбувається за коагуляції нітридів легуючих елементів, що входять до його складу.



Рисунок 4.7 - Вплив температури і легуючих елементів на формування азотованого шару

Згідно рисунку 4.7 для прискорення процесу азотування і підвищення його ефективності застосовують двоетапну схему його виконання. Перший етап азотування при використанні такої схеми виконують при температурі, що не перевищує 525°C. Це дозволяє надати поверхневому шару сталевому виробу високу твердість. Для виконання другого етапу процедури деталь нагрівають до температури 600-620°C, при цьому глибина азотованого шару досягає необхідних значень, а сам процес прискорюється практично в два рази. Твердість поверхневого

шару сталевих виробів, оброблених за такою технологією, не нижче, ніж аналогічний параметр виробів, що пройшли обробку за прямою методикою.[2]

Обробки за технологією азотування можуть піддаватися як вуглецеві, так і леговані сталі, що характеризуються вмістом вуглецю в межах 0,3–0,5%. Максимального ефекту при використанні такої технологічної операції вдається досягти у тому випадку, якщо їй піддаються сталі, хімічний склад яких входять легуючі елементи, що формують тверді і термостійкі нітриди. До таких елементів, зокрема, належать молібден, алюміній, хром та інші метали, що володіють подібними характеристиками. Сталі, що містять молібден, не схильні до такого негативного явища, як відпускна крихкість, яка виникає при повільному охолодженні сталевих виробів. Після азотування сталі різних марок набувають таку твердість:

Таблиця 4.1 – Твердість сталей після азотування

Сталі	Твердість, HV
Углеродистые	200–250
Легированные	600–800
Нитраллои	≥1200

Легуючі елементи, що знаходяться в хімічному складі сталі, збільшують твердість азотованого шару, але разом з тим зменшують його товщину. Найбільш активно на товщину азотіруемого шару впливають такі хімічні елементи, як вольфрам, молібден, хром і нікель.

Залежно від сфери застосування виробу, що піддається процедурі азотування, а також від умов його експлуатації для здійснення такої технологічної операції рекомендується використовувати певні марки сталі.

Так, у відповідності з технологічною задачею, яку необхідно вирішити, фахівці радять застосовувати для азотування виробів з наступних марок сталей:

1. 38X2MЮА

Це сталь, яка після азотування відрізняється високою твердістю зовнішньої поверхні. Алюміній, що міститься в хімічному складі такої сталі, знижує деформаційну стійкість виробу, але в той же час сприяє підвищенню твердості і

зносостійкості його зовнішньої поверхні. Виняток алюмінію з хімічного складу сталі дозволяє створювати з нього вироби складної конфігурації (рис. 4. 8).

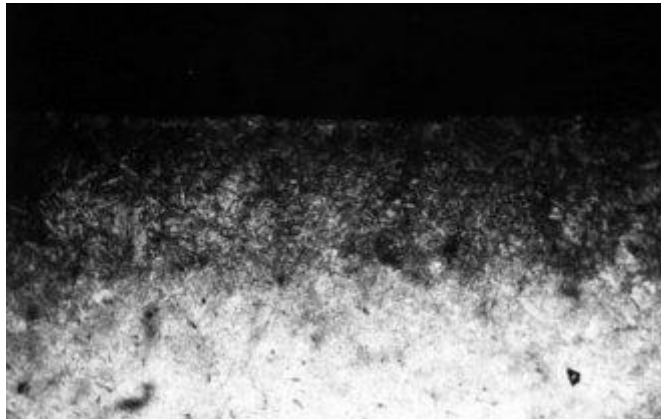


Рисунок 4.8 - Мікроструктура якісно азотованого шару сталі марки 38Х2МЮА

2. 40Х, 40ХФА

Дані леговані сталі використовуються для виготовлення деталей, застосовуваних у галузі верстатобудування.

3. 30ХЗМ, 38ХГМ, 38ХНМФА, 38ХНЗМА

Ці сталі служать для виробництва виробів, що піддаються в процесі експлуатації частим циклічним навантаженням на вигин.

4. 30ХЗМФ1

З цього сталевого сплаву виготовляють вироби, до точності геометричних параметрів яких пред'являються високі вимоги. Для додавання більш високої твердості деталей з даної сталі (це переважно деталі паливного обладнання) в її хімічний склад можуть додавати кремній.

Щоб виконати традиційне газове азотування, інноваційне плазмене азотування або іонне азотування, оброблювану деталь піддають ряду технологічних операцій.

Підготовча термообробка

Така обробка полягає в гарті виробу і його високому відпустці. Загартування в рамках виконання такої процедури здійснюється при температурі близько 940°C, при цьому охолодження оброблюваного виробу виробляють в маслі або воді.

Наступний після виконання загартування відпустку, проходить при температурі 600-700°C, дозволяє наділити оброблюваний метал твердістю, при якій його можна легко різати.

Цей етап необхідний для того, щоб довести геометричні та механічні характеристики виробу до необхідних значень.

Ступінь зміни геометричних параметрів деталі при виконанні азотування, як вже говорилося вище, дуже незначна, і залежить вона від таких факторів, як товщина шару поверхні, яка піддається насичення азотом; температурний режим процедури. Гарантувати практично повна відсутність деформації оброблюваного виробу дозволяє більш вдосконалена технологія – іонне азотування. При виконанні іонно-плазмового азотування сталеві вироби піддаються меншому термічному впливу, завдяки чому їх деформація і зводиться до мінімуму.

На відміну від інноваційного іонно-плазмового азотування, традиційне може виконуватися при температурах, що доходять до 700°C (рис. 4.9). Для цього може застосовуватися змінний муфель або муфель, вбудований в нагрівальну піч. Використання змінного муфеля, який оброблювані деталі завантажуються заздалегідь, перед його установкою в піч, дозволяє значно прискорити процес азотування, але не завжди є економічно виправданим варіантом (особливо в тих випадках, коли обробці піддаються великогабаритні вироби).



Рисунок 4.9 - Пуансон масою понад 230 кг, підданий обробці азотування

Для виконання азотування можуть використовуватися різні типи робочих середовищ. Найбільш поширеною з них є газове середовище, що складається на 50% з аміаку і на 50% з пропану або з аміаку і ендогаса, взятих в таких же пропорціях. Процес азотування в такому середовищі виконується при температурі 570°. При цьому виріб піддається впливу газового середовища на протязі 3 годин. Азотований шар, створюваний при використанні такої робочої середовища, має невелику товщину, але високу міцність і зносостійкість.

Велике поширення останнім часом отримує метод іонно-плазмового азотування, виконуваного в азотовмісткому розрідженому середовищі (рис. 4.10).



Рисунок 4.10 - Іонно-плазмене азотування – погляд «зсередини»

Відмінною особливістю іонно-плазмового азотування, яке також називають обробкою при тліючому розряді, є те, що оброблювану деталь і муфель підключають до джерела електричного струму, при цьому виріб виступає в якості негативно зарядженого електрода, а муфель – в ролі позитивно зарядженого. В результаті між деталлю і муфелем формується потік іонів – свого роду плазма, що складається з N_2 або NH_3 , за рахунок якої відбуваються і нагрівання оброблюваної поверхні, і її насичення необхідною кількістю азоту.[2]

Крім традиційного і іонно-плазмового азотування процес насичення поверхні сталі азотом може виконуватися в рідкому середовищі. В якості робочого середовища, яка має температуру нагріву до 570°C, в таких випадках

використовується розплав ціаністих солей. Час азотування, виконуваного в рідкій середовищі, може становити від 30 до 180 хвилин.

4.4 Нові види хіміко-термічної обробки

Останнім часом з'явилися та застосовуються нові види хіміко-термічної обробки (карбонітрування — високотемпературна нітроцементация, нікотрування — низькотемпературна нітроцементация, іонне азотування, азотування в магнітному полі, лазерна хіміко-термічна обробка та ін.) й термічної обробки металів (нагрівання у псевдокиплячих середовищах — киплячих шарах; поверхнєве лазерне гартування сталі; термомеханічна й термоциклічна обробка тощо) (рис. 4.11).

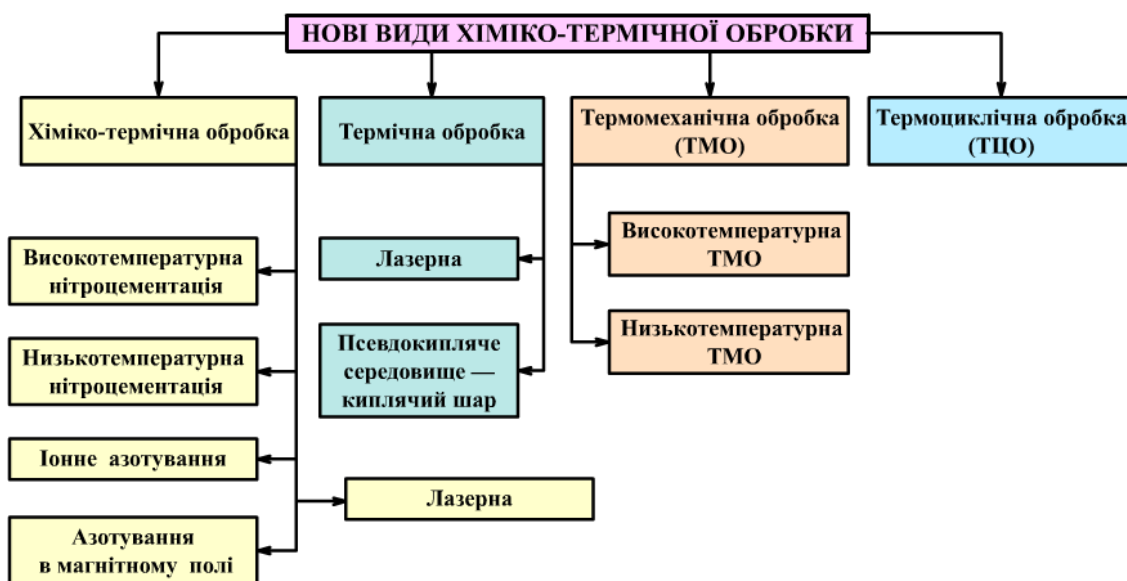


Рис. 4.11 - Класифікація нових видів хіміко-термічної обробки

Високотемпературна нітроцементация подібна до газової за обладнанням і пристроями, що використовуються, а також за процесом термообробки деталей. Вона має низку переваг: деталі після обробки набувають вищої зносо-, тепло- та корозійної стійкості, підвищеної міцності. Скорочується тривалість процесу, що

відбувається при нижчій температурі (800...900 °С замість 930...960 °С), меншим стає жолоблення деталей.

Суть процесу полягає в дифузійному насиченні поверхні деталі вуглецем і азотом при нагріванні до температури 800...900 °С у присутності газового насичувального середовища: аміаку і карбюризатора у вигляді газу або рідини, які одночасно вводять у піч. Застосовують також триетаноламін, однак частіше на заводах із масовим виробництвом використовують ендо- або екзогаз із додаванням природного газу й аміаку.

Низькотемпературна нітроцементация подібна до низькотемпературного рідинного ціанування. Іноді цей процес називають ще низькотемпературним газовим ціануванням, або нікотруванням. Основне його призначення — підвищення твердості поверхні деталі, міцності, довговічності, опору спрацюванню. Процес забезпечує добру пророблюваність деталей і витривалість. Здебільшого його застосовують для обробки інструментів з метою підвищення їх стійкості. Процес нетоксичний, легко підтримується сталій склад середовища, що є важливою перевагою порівняно з рідинним ціануванням, однак він триваліший, перебігає при температурі 560...580 °С й потребує прискореного охолодження деталей в маслі або захисних газах. У результаті здобувають стабільний за глибиною і властивостями зміцнений поверхневий шар. Для ведення процесу використовують те саме обладнання, що й при високотемпературній нітроцементации.

Для прискорення процесу азотування останнім часом усе частіше застосовують енергію жевріючого розряду — іонне азотування. Іонне азотування проводять у сталевому контейнері, який є анодом, при температурі 500...550 °С в атмосфері, що містить азот з доданням газів, які містять вуглець (ендогазу, екзоендогазу, екзогазу та продуктів піролізу газу, спирту або синтину). Катодом виступають деталі, що азотуються. Через контейнер при низькому тиску пропускається газове середовище, яке містить азот. Спочатку поверхня очищається катодним розпиленням у розрідженому газі, що містить азот або водень. При напрузі близько 1000 В і тиску 13,33—26,33 Па іони газу бомбардують і очищають поверхню катода (деталі). Поверхня при цьому нагрівається до температури не більше 200 °С. Після очищення встановлюється робочий режим; поверхня деталі нагрівається до необхідної

температури 500...550 °С у результаті бомбардування позитивними іонами газу. Іони азоту поглинаються поверхнею катода (деталі), а потім дифундують у глибину. Тривалість витримки визначається потрібною глибиною дифузійного шару для різних марок сталей (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 Технологічні параметри іонного азотування деяких марок сталей

Марка сталі	Температура азотування, °С	Тривалість витримки (год) для утворення шару завглибшки, мм			Твердість поверхні, HV
		0,15...0,2	0,25...0,3	0,35...0,4	
38Х2МЮА	550	4...5	7...9	15...18	900...950
30ХЗМФ	530	4...5	9...12	15...18	700...760
18ХГТ	540	4...5	9...12	15...18	530...600
40ХФА	520	4...5	9...12	15...18	510...560

Процес має такі переваги порівняно зі звичайним азотуванням:

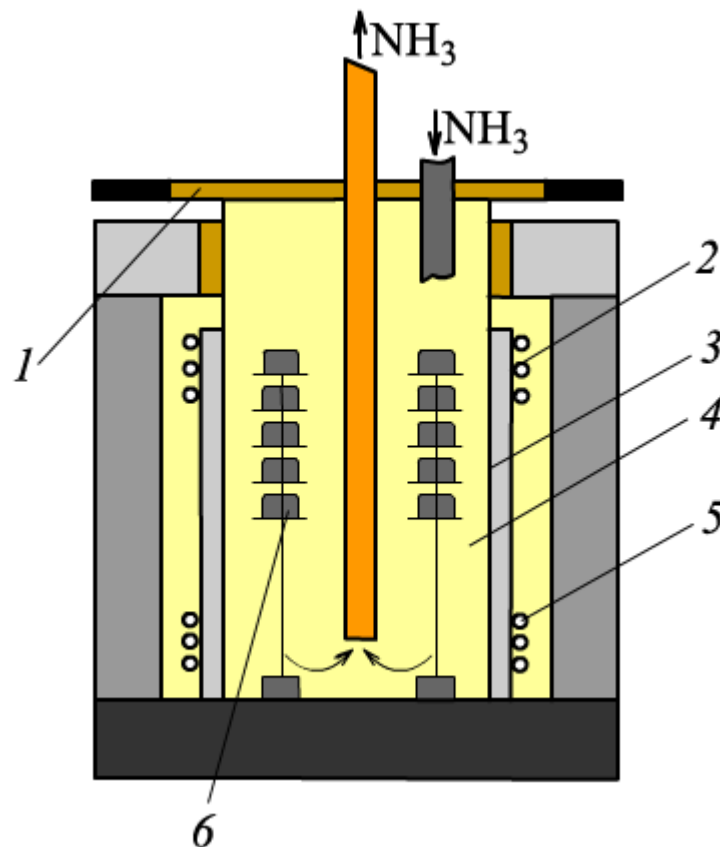
- скорочується тривалість обробки в 1,5—2 рази;
- можливим є просте регулювання глибини та насичуваності шару;
- досягається рівномірне нагрівання деталей, тому вони майже не деформуються;
- поліпшується якість поверхні деталей, підвищується межа витривалості.

До недоліків процесу належать неможливість здобуття рівномірної глибини дифузійного шару на деталях складної форми і потреба в складному обладнанні.

Іонне азотування застосовують для поверхневого зміцнення таких деталей, як колінчастий і розподільний вали, вал приводу гідромуфти автомобіля тощо. Дуже ефективним є використання його для зміцнення різального інструменту зі швидкорізальних сталей (фрез, свердел, розверток та ін.). Застосування жевріючого розряду значно прискорює перебіг й інших процесів хіміко-термічної обробки деталей (їх цементацію, нітроцементацію і т. д.).

Процес азотування виконують також у магнітному полі, що значно збільшує глибину дифузійного шару в легованих сталях. Магнітне поле створюють в

електричних печах (рис. 4.13) за допомогою нагрівника 5 з ніхромового дроту у вигляді соленоїда. Для цього на каркас 2 з нержавіючої сталі намотують ізолюваний фарфоровими ізоляторами ніхромовий дріт. Деталі бзавантажують у нагрівальний простір 4 контейнера 3, який щільно закривають кришкою 1, подають аміак і пропускають по обмотці соленоїда електричний струм, створюючи магнітне поле, що проходить крізь товщу оброблюваних деталей, нагрітих до температури 550...560 °С.



1 — кришка; 2 — каркас; 3 — контейнера; 4 — нагрівальний простір;
5 — нагрівник; 6 — деталь

Рисунок 4.13 - Схема установки для азотування сталевих деталей в магнітному полі

Найкращий результат досягається при ступені дисоціації аміаку 35—55 % і напруженості магнітного поля 2000—2400 А/м.

Лазерна хіміко-термічна обробка. Насичення легуючими елементами при лазерній хіміко-термічній обробці відбувається шляхом дифузії і масоперенесення у

твердій фазі, із плазми, і рідкої фази, при цьому можливе конвекційне і суто механічне переміщення розплаву в зоні дії лазерного імпульсу.

Перед обробкою на поверхню виробу наносять легуючі елементи такими способами: накатуванням фольги з легуючого матеріалу; електролітичним, або хімічним осаджуванням; напиленням; електроіскровим легуванням; нанесенням порошків або обмазок. Лазерна хіміко-термічна обробка здійснюється в режимі розплавлення.

Властивості зони легування залежать від концентрації легуючих елементів і отримання фаз різного ступеня стабільності і дисперсності, що утворюються в процесі охолодження. Будова і склад зони термічного впливу визначаються режимом лазерного випромінення, зокрема параметрами потужності випромінення, часом його дії, кількістю імпульсів, а також концентрацією легуючих компонентів в обмазці.

Використовують лазерну хіміко-термічну обробку для цементації, азотування, борування дифузійної металізації заліза, сталі і таких металів, що не мають поліморфних перетворень, як Al, Ni, Cu.

При цементації заліза отримуємо двошарову зону, яка складається із білого шару, що слабо протравлюється із рівномірною твердістю HV 1400, і розміщеного за ним шару з твердістю HV 1000.

Дифузійна металізація заліза можлива при легуванні різними металами. Однак підвищення твердості досягається тільки при розчиненні ванадію, ніобію, титану і вольфраму.

Висока зносостійкість і кавітаційна стійкість отримані при лазерному азотуванні із обмазок на сталях 38Х2МЮА і 15ХМФ.

Після лазерного борування досягається високий опір зношуванню при різних схемах прикладання навантаження й умовах тертя. Легування бором знижує коефіцієнт тертя матеріалів, підвищує зносостійкість виробів.

5 ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРІЇ ДЕТАЛІ

5.1 Ефективність використання у виробництві геометричних засобів евклідового простору

Під час проектування конструкцій обладнання, деталей і вузлів виробів насамперед виконують завдання розподілу зусиль, напружень тощо. В одних задачах для визначення умови порушення заданих зазорів між деталями конструкції необхідно обчислити переміщення тільки в окремих точках системи. В інших задачах головними є умови, коли навантаження і поведінка конструкції залежать від часу. Під час розв'язування конкретної задачі проектування окремої деталі чи виробу, що зводиться до визначення значень величин напружень і переміщень, необхідно задати вихідні рівняння. При врахуванні особливостей геометрії виробу рівняння математичної моделі повинні однозначно відображати вимоги до його конструкції. Після формування моделі обладнання наступним є етап розв'язування складених рівнянь. Для двовимірних і тривимірних об'єктів процеси описуються часто рівняннями з частинними похідними.

Наприклад, для поперечного перерізу призматичного стрижня з обмеженою областю Ω двовимірного простору цього поперечного перерізу маємо його кусково-гладку границю $\partial\Omega$ (рис. 5.1).

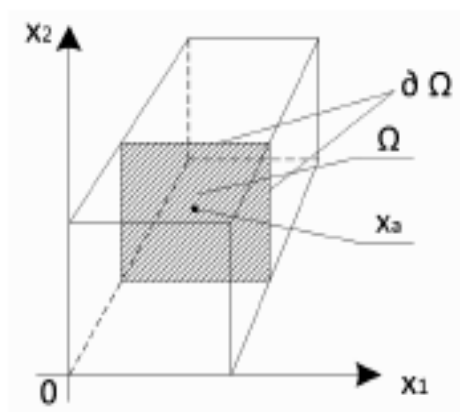


Рисунок 5.1 - Поперечний переріз призматичного стрижня з обмеженою областю Ω двовимірного простору

Нехай $x = (x_1, x_2)$ і знаходиться в області Ω . Модуль зсуву матеріалу стрижня позначимо через $G(x)$. Тоді задача про кручення призматичного стрижня може бути зведена до знаходження функції напружень:

$$u(x) = u(x_1, x_2).$$

Така функція задовольняє рівняння в частинних похідних:

$$f(x) = -(\Delta^2 u / \Delta x^2 + \Delta^2 u / \Delta y^2), \quad (5.1)$$

де

$$u = 0 \quad (5.2)$$

на границі $\partial\Omega$ цього поперечного перерізу стрижня.

У наведеному рівнянні прийнято $f(x) = 2G(x)$. Тоді розв'язок поставленої задачі полягає у знаходженні такої функції $u(x)$, яка задовольняє рівняння (1) у кожній точці $x \in \Omega$ і тотожно дорівнює 0 для всіх значень $x \in \partial\Omega$ згідно з рівнянням (2). Точні розв'язки подібних до (1) рівнянь існують поодинокі і рідко можна побудувати наближені розв'язки таких рівнянь з невеликою кількістю членів апроксимації. Тому для полегшення розв'язування диференціальних рівнянь з частинними похідними як складовими математичних моделей обладнання використовується комп'ютерна техніка.

Для автоматизованого дослідження деталей чи механізмів за допомогою МСЕ першим кроком є визначення геометричної моделі, а саме: конструктор розробляє математичний опис форми об'єкта, який визначає вихідні дані множиною точок чи ліній (каркасне подання), граней (поверхневе), об'ємів (твердотільне). На практиці використовують лінійні, плоскі (2D) і просторові (3D) геометричні моделі. Наступним кроком є визначення робочої площини, тобто поточної площини простору, у якій реалізуються операції 2D моделювання. Під час розбудови просторової геометричної моделі постає завдання щодо подання 2D фігури у різних координатних площинах. Для робочої площини, як правило, використовують декартову чи полярну систему координат. Геометрична сутність

етапу розбиття на скінченні елементи впливає на кінцевий результат, оскільки від розміру і форми скінченного елемента, а саме – від довжини його сторін залежить кінцевий результат обчислень.

Найпростіші з елементів одночасно являють собою симплекси фазового простору. Зокрема, трикутник і тетраедр є симплекси відповідно дво- і тривимірного простору. До числа геометричних фігур, які можна використовувати як елементи, зарахуємо також такі образи площини, як, зокрема, ромб та правильний шестикутник. Використовуючи ромбоподібні скінченні елементи на границі області параметрів, маємо випадки, коли одна зі сторін ромба межує з граничною криволінійною підобластю або збігається з нею. Подібні можливості надають дискретні області із залученням поданих правильними шестикутниками елементів. Елементи областей простору можна одержати різними способами, одним з яких є кінематичний. Рухом елемента у просторі за обраним законом одержуємо геометричну фігуру як скінченний елемент. Рухом плоского елемента вздовж прямої, наприклад, осі системи координат, одержуємо призматичний скінченний елемент, зокрема, похилу чи пряму призму. Якщо розміри елемента під час руху одночасно зменшуються до нуля, одержимо пірамідальний скінченний елемент. Обертанням скінченного елемента навколо прямої осі, одержимо просторовий скінченний елемент у вигляді поверхні обертання, зокрема, конус, циліндр тощо. Геометричне подання сітки, а саме – її густина впливає на збіжність розв'язків. Одну і ту саму геометричну модель можна розбити на скінченні елементи з різним ступенем густини або використовувати в сітці різні типи скінченних елементів, які відрізняються порядком апроксимації (порядок функції форми). Якщо одержані з використанням різних сіток результати відрізняються незначно, існує збіжність розв'язку. У протилежному випадку можна зробити висновки, що запропонований спосіб розбиття не забезпечує необхідної точності обчислень. Тоді потрібно змінити геометрію скінченного елемента. На рис. 4 показана послідовність впливу обраних геометричних засобів на якість розбиття МСЕ досліджуваного об'єкта.

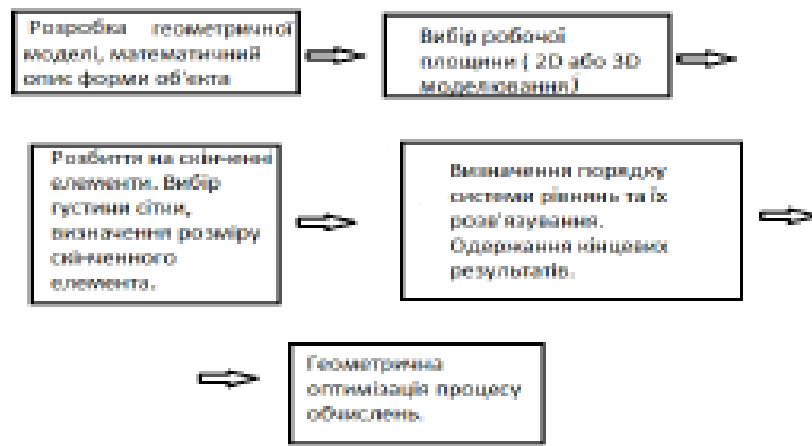


Рисунок 5.2 – Послідовність впливу геометричних засобів на розбиття об'єкта засобами MSE

Точність розрахунків величин параметрів значною мірою залежить від правильного вибору вигляду і кількості перерізів деталі. Важливо підкреслити, що області, які досліджуються, можуть бути плоскі або просторові. Відповідно їх перерізи являють собою одновимірні або двовимірні фігури. Дискретизацію здійснюють, перерізаючи одну і другу області проєкціонуючими площинами (рис. 5, а) чи поверхнями (рис. 5, б) особливого положення.

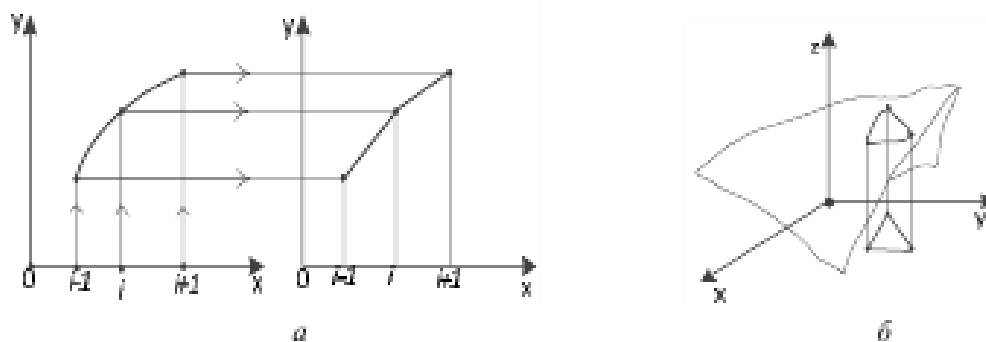


Рис. 5.3 - Перерізи плоских і просторових обводів

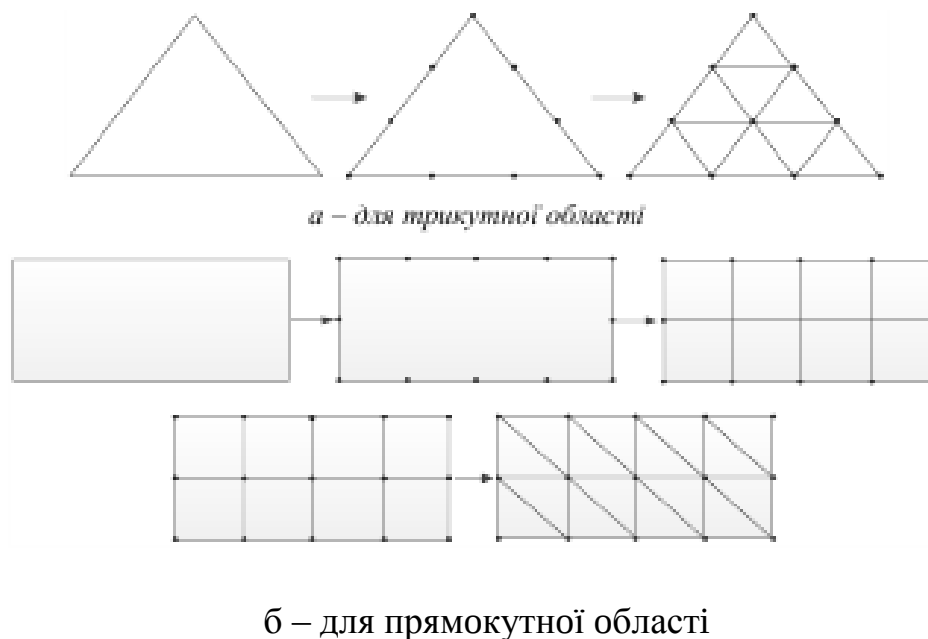


Рис. 5.4 - Порядок розбиття області на елементи

Варто звернути увагу на особливості дискретизації об'єктів: за криволінійних сегментів точність розрахунків підвищується. Усі скінченні елементи у математичних моделях об'єктів являють собою, як правило, прості геометричні фігури, що належать площині чи тривимірному просторові. Удосконалення методу істотно відзначається розвитком геометричних засобів подання окремих елементів [6]. Підкреслимо також важливість подання порядку розбиття області на елементи (рис. 5.4), що впливає на зручність і простоту реалізації методу.

На рис. 5.4, а показано етапи розбиття трикутної області, на рис. 6, б – для чотирикутної області. Важливо засвоїти етапи розбиття простих геометричних фігур, оскільки робота над розбиттям складних форм чи поверхонь [6] вимагає використання поданих алгоритмів.

5.2 Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі

Розрахунок напружено-деформованого стану деталі втулка проведемо в пакеті Siemens NX за допомоги метода скінчених елементів. Даний аналіз проводиться в

декілька етапів. Спочатку в препроцесорі будується на основі геометрії деталі сітка скінчених елементів. В нашому випадку це тривимірні елементи тетраедальної форми. Далі задаються механічні параметри матеріалу і модель розбивається на скінчені елементи.

Прикладаємо навантаження у вигляді розподіленого тиску і закріплюємо деталь «втулка» за фланець (рис. 5.5).

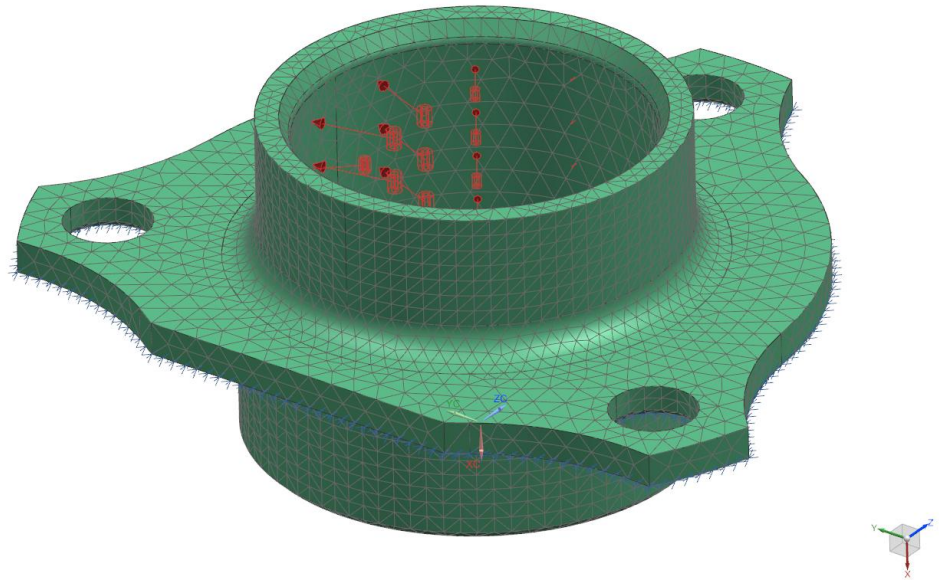
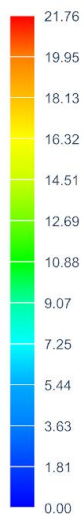


Рисунок 5.5 – Сітка елементів і прикладене навантаження

Проводимо розрахунок навантажень. Результати у вигляді діаграми еквівалентних навантажень за Мізесом показані на рис. 5.6. На рис. 5.7 показані переміщення частин деталі.

sim1 : Solution 1 Результат
 Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
 Напряжение - По элементам, По Мизесу
 Мин. : 0.00, Макс. : 21.76, Единицы = Н/мм²(МПа)
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина



Единицы = Н/мм²(МПа)

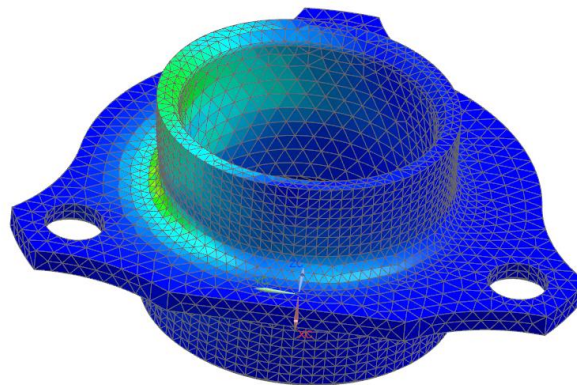
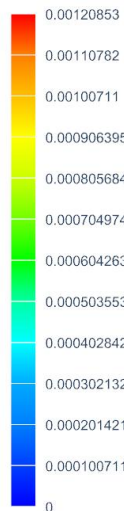


Рисунок 5.6 – Напряжения за Мизесом

sim1 : Solution 1 Результат
 Subcase - Static Loads 1, Статический шаг 1
 Перемещение - По узлам, Величина
 Мин. : 0, Макс. : 0.00120853, Единицы = мм
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина



Единицы = мм

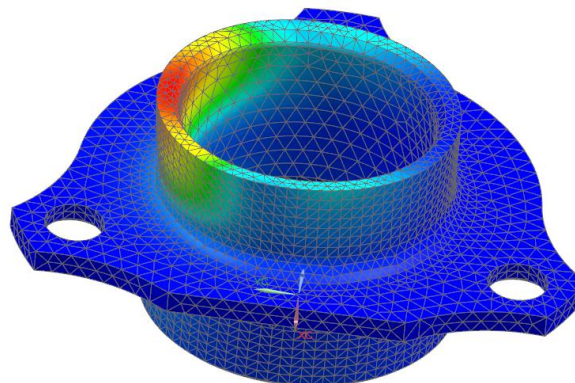


Рисунок 5.7 – Діаграма переміщень

Виходячи з результатів розрахунку робимо висновок, що найбільші напруження спостерігаються в частині деталі з найменшою товщиною стінок. Але вони значно менші за напруження зминання характерного для матеріалу деталі.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час технологічного процесу виготовлення деталей ймовірними є наступні потенційні небезпеки:

1. Ураження електричним струмом, у наслідок несправності електорообладнання, невиконання правил техніки безпеки при користуванні електричним обладнанням, що може призвести до електротравм або летального наслідку;

2. Механічні травми внаслідок організаційних причин:

а) нераціонального планування робочого місця в наслідок застосування меблів, що не відповідають ергономічним вимогам;

б) захащення заготовками і деталями робочого місця;

в) травми та пошкодження шкіряного покриву при розвантаженні і завантаженні заготовок та деталей;

г) пошкодження шкіряного покриву рук гострими кромками, шорохо-ватістю на поверхні заготовок, інструменту, обладнання, відходів при роботі без рукавиць.

3. При порушенні правил безпеки при виконанні операцій точіння в'зких металів без спецодягу.

4. Підчас токарної обробки деталей можливе травмування очей пиловими частками або стружкою, що відлітає в процесі обробки матеріалів. Причини травматизму - порушення технологічного процесу та робота без захисних окулярів або щитків для захисту обличчя

5. Неуважність і недбалість персоналу також може привести до травм різного ступеню важкості.

6. Нервово-психічні навантаження в наслідок специфіки виконуваних робіт, що призводить до захворювань загального характеру.

7. 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.

8. Повтор однотипних рухів, які пов'язані з багаторазовим скороченням м'язів є причиною захворювання кістей рук (запалення та набрякання) та зап'ястя, набрякання та оніміння пальців.

9. Недостатнє освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з несправністю, або хибного вибору освітлювальних приладів, що призводить до погіршення зору;

10. Підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу значної кількості верстатів, призведе до роздратованості, збільшенню помилок, в окремих випадках - до погіршення слуху.

11. Незадовільні параметри мікроклімату, у зв'язку з відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, можуть викликати загальні захворювання.

12. Вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;

13. Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

6.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Небезпека ураження електричним струмом при використанні верстатів, приладів з'являється при недотриманні заходів безпеки, а також при відмові або несправності цього обладнання. Наслідки ураження електричним струмом залежать від багатьох факторів: опору організму, величини, тривалості дії, роду і частоти струму, шляхів його проходження через життєво важливі органи, умов зовнішнього середовища.

Категорія приміщення, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» - підвищеної

небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога).

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок») і ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення – 4 Ом; НПАОП40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок».

Відповідно до вимог ПУЕ в електроустаткуванні застосовують такі системи засобів: захисне заземлення ізоляції токоведучих частин, захисне відключення, напруга (до 42 В) для переносного освітлення і роботи електроінструменту, повна недоступність працівників до неізованих проводів.

Відповідно до вимог ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» обладнання має подвійну ізоляцію: робочу – електрична ізоляція струмоведучих частин електроустаткування, що забезпечує її нормативну роботу та захист від ураження електричним струмом; додаткову ізоляцію – для захисту від ураження електричним струмом на випадок пошкодження робочої ізоляції.

Згідно з ГОСТом 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» електричне устаткування за засобом захисту людини від ураження електричним струмом, належить до І класу, оскільки має подвійну ізоляцію, елемент для заземлення та провід для поєднання до джерела живлення, що має заземлюючу жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Захисні засоби безпеки електроустаткування будинків виконуються відповідно вимога ПУЕ і ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001). Для підвищення рівня захисту від загорання при замиканні на заземні частини, коли величина струму не є достатньою для спрацювання максимального струмового захисту, рекомендовано застосування УЗО зі струмом спрацювання до 400 мА.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нерационального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю 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», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше— 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності. Ширина проїзду на ділянці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5 метри, що дає можливість безпечно та комфортно переміщувати заготовки, деталі, обладнання, а у випадку пожежі – гарантує швидку евакуацію людей.

Відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями») в конструкторському бюро та інших робочих кімнатах, де співробітники застосовують персональні комп'ютери (ПК), площа на одне робоче місце становить не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³. Конструкція робочого столу має відповідати сучасним вимогам ергономіки і забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (ПК, дисплея, клавіатури, принтера) і документів. Висота робочої поверхні робочого столу з ВДТ має регулюватися в межах 680...800 мм, а ширина і глибина - забезпечувати можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: 600...1400 мм, глибина - 800...1000 мм).Робочий стіл повинен мати простір для ніг заввишки не менше ніж 600 мм, завширшки не менше ніж 500 мм, завглибшки (на рівні колін) не менше ніж 450 мм, на рівні простягнутої ноги - ніж 650 мм. Робочий стілець має бути підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з кутом і нахилу сидіння та спинки і за відстанню від спинки до переднього краю сидіння поверхня сидіння має бути плоскою, передній край - заокругленим. Обладнання і організація робочого місця працюючих з ВДТ ЕОМ і ПЕОМ мають забезпечувати відповідність конструкції всіх елементів робочого місця та їх взаємного розташування ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м, що відповідає вимогам НПАОП 63.11-7.02-87 ОСТ 113.18-014-87 «ССБТ. Роботи вантажно-розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки». На проєктуємій ділянці передбачено застосування кран-балки, яка призначена для транспортування пристосувань, переміщення тари з партією заготовок або деталей від верстата до верстата. Кран-балка з дистанційним (за допомогою пульта) керуванням. Перевагою дистанційного керування є можливість здійснення постійного візуального контролю за переміщенням вантажу, а перебування працівника в безпечній зоні, що гарантує його особисту безпеку. Попереджувальні надписи про вантажопідйомність крана і його роботу відповідають вимогу ГОСТу 12.4.026-76 (1987) «ССБТ. Цветасигнальные и знаки безопасности». Також враховано, що вантажопідйомність кран-балки на 10-20% вища ніж маса вантажу, що підіймається.

Обслуговування універсальних верстатів з елементами ручного керування пов'язане з тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі, статичним навантаженням, напруженням уваги, що в свою чергу, призводить до підвищеної втоми та нервово-емоційного напруження. Тобто під час роботи людина постійно відчуває енергетичне та інформаційне напруження.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, передбачені перерви у роботі – 15 хвилин кожні дві години, а також спеціально обладнане приміщення – кімната відпочинку.

Також обов'язковим є проходження медичного огляду один раз на два роки, а для окремих категорій робітників і один раз на рік, за рахунок роботодавця відповідно Наказ міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій».

Таким чином 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 вміти надати першу медичну допомогу при невідкладних станах.

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». Згідно Наказу міністерства охорони здоров'я України від 21 травня 2007р. №246 «Про затвердження порядку проведення медичного огляду працівників певних категорій» до роботи допускаються особи, що пройшли медичний огляд та не мають протипоказань до цієї роботи.

6.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці та робочих кімнат 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», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»), ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Метеорологічні умови на дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-

гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії ІІа–робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

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

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

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

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.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%.

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітленні на дільниці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин.

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приміщення відповідають вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою: використання більш сучасного обладнання; розташування обладнання, що створює рівень шуму, більший за

нормативно допустимий (понад 80дБа), на значній відстані від більшості робочих місць працівників.

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

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту (НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966.Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

6.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки для приміщення дослідницької лабораторіїобладнаного ПК з ВДТ розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні».

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 горіння електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В.)

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 небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному

стані.

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

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

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», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 приміщення (лабораторія) оснащено переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини. Доцільність використання даного вогнегасника пояснюються його властивостями. Вогнегасник призначений для гасіння загорання різних речовин, горіння яких не може відбуватися без доступу повітря, загорання електроустановок, що знаходяться під напругою, загорання в приміщеннях при наявності оргтехніки. Головною особливістю вуглекислотних вогнегасників є відсутність слідів гасіння так як вуглекислота після використання не залишає слідів і бруду.

Для механічних цехів та адміністративних приміщень передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДІП-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.

Враховуючи пожежну небезпеку в приміщеннях та на дільниці також передбачено систему автоматичного пожежогасіння та первинні засоби пожежогасіння (вогнегасники типу ВВК-3).

Евакуація людей при пожежі

Під час пожежі або стихійного лиха переміщення людей в приміщенні має вирішальне для їх життя значення. При виникненні пожежі на початковій стадії виділяється тепло, токсичні продукти згорання, знижується концентрація кисню у повітрі, можливі обвалення конструкцій. Термін, коли небезпека для людей стає смертельною дуже обмежений і не перевищує 3-4 хвилин. Тому, слід враховувати необхідність евакуації людей у визначені терміни. Показником ефективності евакуації є час, протягом котрого люди можуть при необхідності залишити окремі приміщення і будівлю загалом. Безпека евакуації досягається тоді, коли тривалість евакуації людей в окремих приміщеннях і будівлях загалом не перевищує критичної тривалості пожежі, яка становить небезпеку для людей. Критичною тривалістю пожежі є час досягнення при пожежі небезпечних для людини температур і зменшення вмісту кисню у повітрі.

Основним критерієм переміщення людей при евакуації є ступінь свободи під час руху, яка, в свою чергу, залежить від кількості осіб, що переміщуються одночасно, від габаритів людини (антропометричних характеристик людини, виду одягу, наявності вантажу, його габаритів та маси), нервово-емоційного стану людей, конфігурації та площі приміщення. На швидкість евакуації також впливає ступінь свободи переміщення людей відносно один одного. Дослідження показали, що щільність розміщення людей під час руху може змінюватись в широкому інтервалі: від нуля до $1,14 - 1,15 \text{ м}^2 / \text{м}^2$. При щільності до $0,05 \text{ м}^2 / \text{м}^2$ людина має повну свободу, як по швидкості руху, так і в напрямку. При щільності до $0,15 \text{ м}^2 / \text{м}^2$ – вже не можливо вільно змінювати напрямок свого переміщення та необхідно враховувати

швидкість переміщення оточуючих людей. При щільності понад $0,15\text{ м}^2/\text{м}^2$ – вже не можливо йти вільно, а при щільності понад $1\text{ м}^2/\text{м}^2$ – спостерігається силовий тиск однієї людини на іншу, частина людей може не торкатися ногами підлоги, їх може знести основним потоком людей, є ймовірність отримання травм під час руху. Конкретне значення щільності руху при розробці схем евакуації залежить від призначення приміщення, економічних можливостей організації, але його значення повинно бути менше критичного з точки зору безпеки і не перевищувати $0,92\text{ м}^2/\text{м}^2$. Швидкість руху по сходах донизу в окремих випадках може бути вищою ніж по горизонталі (людина витрачає менше енергії, а сходи визначають загальний темп руху). Але, у випадку коли людина перестає бачити підлогу, боїться впасти, панікує швидкість суттєво зменшується.

Відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» при проектуванні приміщення повинні бути передбачені заходи щодо забезпечення безпеки під час пожежі.

Всі шляхи евакуації повинні бути забезпечені природним та штучним освітленням, яке повинно працювати як від звичайної електромережі так і від мережі аварійного живлення (ДБН В. 2. 5. – 28– 2006 «Природне і штучне освітлення»).

Згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» в усіх закладах та установах повинні бути передбачені евакуаційні виходи.

Виходи вважаються евакуаційними, якщо вони ведуть:

- приміщень першого поверху назовні безпосередньо або через коридор, вестибюль, сходову клітку;
- з приміщень будь-якого поверху, крім першого, в коридори, що ведуть на сходову клітку, яка має вихід назовні;
- з приміщень в сусіднє приміщення на цьому ж поверсі, забезпечене виходами, вказаними вище.

Евакуаційні виходи повинні розташовуватись розосереджено. Їх кількість повинна бути не менше двох. Евакуаційні виходи, коридори, сходи не повинні заставлятися будь-якими предметами і обладнанням. Враховуючи, що при евакуації

в одному напрямку переміщується значна кількість людей, то згідно НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» висота походу повинна бути не менше 2 метрів, мінімальна ширина шляхів евакуації повинна бути не менше 1 метра, дверей - не менше 0.8 метра. Двері на шляху евакуації повинні відчинятися в напрямку виходу з будівель. При наявності людей у приміщенні двері евакуаційних виходів можуть замикатись лише на внутрішні запори (засуви, крючки тощо), котрі легко відмикаються СНИП 2.09.02-85* «Производственные здания» (ДБН В.1.1– 7– 2002 «Захист від пожежі. Пожежна безпека»). Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу із приміщення безпосередньо назовні або на сходову клітину не повинна перевищувати значень зазначених в СНИП 2.09.02-85. Необхідний час евакуації людей (хв.) із громадських і виробничих приміщень встановлено СНИП 2-2-80.

Для забезпечення організованого руху під час евакуації та попередження паніки технічні рішення повинні бути доповнені організаційними заходами, до яких, передусім, належать інструктаж та навчання персоналу. З цією ж метою розробляють плани евакуації з будівель та місць масового перебування людей.

План евакуації складається з двох частин: графічної і текстової. Графічна частина являє собою план поверху або приміщення, на який нанесено пронумеровані евакуаційні шляхи і виходи з маршрутами руху. Маршрути руху до основних евакуаційних виходів зображуються суцільними лініями зі стрілками зеленого кольору, маршрути до запасних виходів – пунктирними зеленими лініями зі стрілками. Окрім маршруту руху на плані позначаються місця розташування засобів оповіщення та пожежогасіння.

Текстова частина плану евакуації, яка являє собою таблицю з переліком та послідовністю дій у разі пожежі для конкретних посадових осіб і працівників, затверджується керівником об'єкту. План евакуації вивіщується на видному місці, а його положення повинні систематично відпрацьовуватись на практиці.

Дуже важливо для безпеки людей створити поти димний захист приміщення і особливо шляхів евакуації. Протидимний захист забезпечується обмеженням розповсюдження продуктів горіння в будівлях та приміщеннях, ізоляцією можливих місць виникнення пожежі, примусовим видаленням диму. Ці задачі

вирішуються за допомогою об'ємно-планувальних та конструктивних рішень при проектуванні об'єктів, деякими технологічними прийомами в процесі будівництва, завдяки використанню спеціальних пристроїв і вентиляційних систем, які призначені для видалення диму, зниження температури і конденсації продуктів горіння.

Для своєчасного здійснення заходів з евакуації людей, включення стаціонарних установок пожежогасіння, виклику пожежної охорони тощо, вибухопожежонебезпечні об'єкти обладнуються системами пожежної сигналізації, запуск яких може здійснюватись автоматично або вручну.

Система пожежної сигналізації повинна швидко виявляти місця виникнення пожежі, надійно передавати сигнал на приймально-контрольний прилад і до пункту прийому сигналів по пожежу, перетворювати сигнал про пожежу у сприйнятливую для персоналу захищуваного об'єкту форму, вмикати існуючу стаціонарну систему пожежогасіння, забезпечувати самоконтроль функціонування.

До складу будь-якої системи пожежної сигналізації входять пожежні сповіщувачі, приймальний прилад та автономне джерело електроживлення.

6.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Організація навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях.

Згідно вимог «Кодексу цивільного захисту (далі – ЦЗ) України» навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях (далі – НС) здійснюється:

- за місцем роботи – працюючого населення;
- за місцем навчання – дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- за місцем проживання – непрацюючого населення.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

- працюючого та непрацюючого населення – на Державну службу України з НС (далі – ДСНС України), Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві

державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

- дітей дошкільного віку, учнів та студентів – на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням з ДСНС України.

Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачається набуття знань у сфері цивільного захисту.

Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Громадські організації та позашкільні навчальні заклади здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів.

Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту.

Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається ДСНС України.

Для отримання працівниками відомостей про конкретні дії у надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей виробничої діяльності суб'єкта господарювання у кожному суб'єкті господарювання обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту.

Особи під час прийняття на роботу та працівники щороку за місцем роботи проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, мають попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний

мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема з пожежної безпеки, забороняється.

Програми навчання з питань пожежної безпеки погоджуються з ДСНС України.

Культура безпеки життєдіяльності населення – це сукупність цінностей, стандартів, моральних норм і норм поведінки, спрямованих на підтримання самодисципліни як способу підвищення рівня безпеки.

Популяризація культури безпеки життєдіяльності серед дітей та молоді організовується і здійснюється центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, спільно з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, громадськими організаціями шляхом:

- проведення шкільних, районних (міських), обласних та всеукраїнських змагань з безпеки життєдіяльності;
- проведення навчально-тренувальних зборів і польових таборів;
- участі команд – переможниць у заходах міжнародного рівня з цих питань.

Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та правилам пожежної безпеки є обов'язковим і здійснюється під час навчально-виховного процесу за рахунок коштів, передбачених на фінансування навчальних закладів.

Навчання дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та запобігання пожежам від дитячих пустощів з вогнем проводиться шляхом формування у них поведінки, відповідної віку дитини, щодо власного захисту та рятування.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки у побуті та громадських місцях та має право отримувати від органів державної влади,

органів місцевого самоврядування, через засоби масової інформації іншу наочну продукцію, відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких або у зоні можливого ураження від яких може опинитися місце проживання непрацюючих громадян, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних такими надзвичайними ситуаціями.

Передбачений комплекс заходів з пожежної безпеки і цивільного захисту, щодо навчання працюючого та непрацюючого населення основним нормам поведінки та діям у надзвичайних ситуаціях, підвищує стійкість роботи об'єкта та забезпечує безпеку персоналу в умовах пожеж та інших надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВОК

Дана магістерська робота складається з 6-ти основних частей: технологічної, конструкторської, автоматизаційної, охорони праці, а також із спеціальної частини.

В технологічній частині був спроектован технологічний процес. При проектуванні технологічного процесу були розроблені й проведені розрахунки:

- потрібної кількості переходів на механічну обробку;
- припуски на механічну обробку циліндричних та торцевих поверхонь;
- креслення заготовки деталі;
- РТК та керуюча програма для верстатів з ЧПУ;

В конструкторській частині запроектовано:

- спеціальне робоче пристосування;
- спеціальне контрольно-вимірювальне пристосування;

В частині охорони праці проаналізовані шкідливі фактори, діючі в робочій зоні на ділянці по виробництву деталей типу втулка.

В спеціальній частині розглядалась хіміко-термічна обробка деталей. Розглянуті нові види азотування деталей

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Методические указания к практическим занятиям по технологии машиностроения (раздел – проектирование технологических процессов) для студентов специальностей: 8.090205, 8.090203, 8.090214, 7.100102, 8.090211 всех форм обучения / В. Д. Хорошков, О. В. Алексеенко, Д. В. Павленко – Запорожье, ЗГТУ, 1999. – 78 с.

2. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/ Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. 656 с., ил.

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

4. Прогрессивные режущие инструменты режимы резания металлов. Справочник. / Под ред. Баранчикова В. И. – М.: Машиностроение. 1990. 274с.

5. Справочник нормировщика-машиностроителя. В 4-х т. Т. 2/ Под ред. Е. И. Стружестраха. – М.: МАШГИЗ, 1961. 892 с.

6. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительного-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство. Изд. 2-е. – М.: Машиностроение, 1974. – 421 с.

7. Миллер Э.Э. Техническое нормирование труда в машиностроении / Э.Э. Миллер. – М.: Машиностроение, 1972. – 248 с.

8. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіабудування та машинобудування для студентів спеціальностей “Технологія машинобудування” /8.090202/, та “Двигуни та енергетичні установки літальних апаратів” /7.100.102/,

Склали: Яценко В. К., Ципак В. І., Кореневский Є. Я., Кононов В. В. та інші. – Запаріжжя, ЗДТУ, 2000 – 244с.

9. Антонюк В.Е. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений. – Минск.: «Беларусь», 1969. – 392 с., ил.

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

11. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 574 с., ил.

12. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков. – М.: Машиностроение. 1979. –302с.

13. Приложения к методическим указаниям “Расчёт технологических размеров при проектировании технологических процессов механической обработки”, для выполнения курсовых и дипломных проектов по технологии машиностроения /7.090202/, авиационных двигателей и энергетических установок /7.100103/. – 55с.

14. Справочник режимы резания металлов. / Под ред. Ю. В. Барановского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. 409с.

15. Горбацевич А. Ф., Шкред В. А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – 4 изд., перераб. и доп. – Мн.: Высш. школа. 1983. 256с.