

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему:

«РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ЗАГОТОВКИ
ДЕТАЛІ «ЦИЛІНДР» З ВИКОРИСТАННЯМ САД/САМ-СИСТЕМ»

Виконав: студент 4 курсу, групи 1ПМ-216
спеціальності 131 – Прикладна
механіка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

(підпис)

Олександр СТАХМІЧ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ТАМ
Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 08 » 06 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. АТМ

Микола МИТКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 08 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри

« 9 » 06 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
(повне найменування інституту, факультету)
Кафедра технологій та автоматизації машинобудування
(повна назва кафедри)
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 13 Механічна інженерія
(шифр і назва)
Спеціальність – 131 – «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)
Освітньо - професійна програма – Комп'ютеризовані технології та механотронні системи в машинобудуванні
(назва освітньо - професійної програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., професор Козлов Л.Г.
« 20 » 03 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Стахмічу Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Циліндр» з використанням CAD/CAM-систем.

Керівник роботи Лозінський Дмитро Олександрович, к.т.н., доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 20 ” 03 2025 року №97

2. Термін подання студентом роботи 16.06.25р.

3. Вихідні дані до роботи Креслення деталі: Циліндр

Матеріал: СТАЛЬ 45Л ГОСТ 977-88, Програма випуску: 6000 шт.

4. Зміст текстової частини

1. Аналіз методів виготовлення та обробки заготовок типових деталей

2. Розробка технологічного процесу обробки

3. Розробка керуючої програми для виготовлення деталі на верстаті з ЧПК

4. Охорона праці

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
робоче креслення деталі;

робоче креслення заготовки;

маршрут механічної обробки деталі;

розмірний аналіз технологічного процесу;

алгоритм створення керуючої програми для верстата з ЧПК;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ, доцент кафедри ТАМ	20.03.25р	06.06.25р
Охорона праці	Олег БЕРЕЗІЮК, професор кафедри БЖД ПБ	26.05.25р	06.06.25р

7. Дата видачі завдання « 20 » 03 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Приміт
		початок	закінчення	
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.03.25р	20.03.25р	Вик
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	22.04.25р	25.04.25р	Вик
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	26.05.25р	28.05.25р	Вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	26.05.25р	06.06.25р	Вик
5	Перевірка на антиплагіат	05.06.25р	09.06.25р	Вик
6	Нормоконтроль БКР	09.06.25р	10.06.25р	Вик
7	Попередній захист БКР	10.06.25р	11.06.25р	Вик
8	Рецензування БКР	12.06.25р	13.06.25р	Вик
9	Захист БКР	17.06.25р.	19.06.25р.	Вик

Студент

(підпис)

Олександр СТАХІМ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ
(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 86 сторінки формату А4, на яких є 26 рисунок, 21 таблиці, список використаних джерел містить 28 найменувань.

Метою роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Циліндр" з використанням CAD/CAM систем.

У першому розділі проведено якісний та кількісний аналіз виробу, проаналізованого об'єкт виробництва, встановлено серійність та визначено основні методи виготовлення та обробки заготовки деталі "Циліндр", встановлено актуальність та перспективи застосування CAD/CAM систем.

У другому розділі розраховані конструктивні параметри заготовки та розроблений технологічний процес обробки заготовки, який базується на використанні верстатів з ЧПК, розраховано режими різання та припуски на обробку поверхонь.

У третьому розділі розроблено тривимірні моделі деталі та заготовки на основі яких в CAD/CAM систем розроблено програму для обробки деталі на верстаті з ЧПК.

У розділі охорони праці опрацьовано такі питання, як причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих факторів у виробничому приміщенні, наведені рекомендації щодо поліпшення умов праці, а також розглянуто норми пожежної безпеки.

Ключові слова: технологічний процес, циліндр, CAD/CAM системи.

Abstract

The bachelor's thesis consists of 86 A4-format pages, including 26 figures and 21 tables. The list of references contains 28 sources.

The aim of the thesis is to develop a technological process for the machining of a "Cylinder" workpiece using CAD/CAM systems.

The first chapter presents a qualitative and quantitative analysis of the product, analyzes the production object, determines the type of production (batch production), and outlines the main methods of manufacturing and machining the "Cylinder" workpiece. The relevance and prospects of using CAD/CAM systems are also established.

In the second chapter, the design parameters of the workpiece are calculated, and a machining process is developed based on the use of CNC machines. Cutting modes and machining allowances for surfaces are calculated.

The third chapter includes the development of 3D models of the part and workpiece. Based on these models, a program for machining the part on a CNC machine is created using CAD/CAM systems.

The occupational health and safety section addresses issues such as the causes, effects on the human body, and regulation of harmful and hazardous production factors in the working environment. Recommendations for improving working conditions are provided, along with an overview of fire safety standards.

Keywords: technological process, cylinder, CAD/CAM systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДР.....	6
1.1 Характеристика об'єкту виробництва та його службове призначення.....	6
1.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі.....	6
1.3 Визначення типу виробництва.....	11
1.4 Огляд можливих методів та способів заготовки.....	11
1.5 Огляд відомих технологічних процесів обробки деталей типу “Стакан”	13
2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ.....	16
2.1 Розрахунок розмірів заготовки.....	16
2.2 Розробка маршруту механічної обробки.....	26
2.3 Розмірний аналіз технологічного процесу.....	34
2.4 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 100^{+0,054}$	40
2.5 Визначення режимів різання.....	45
3. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК.....	50
3.1 Розробка 3D – моделі деталі.....	50
3.2 Методика створення 3D – моделі деталі їй докладним описом дій будування.....	51
3.3 Характеристика САМ програми.....	53
3.4 Порядок створення програми для верстата з ЧПК.....	54
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	57
4.1 Причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих чинників у виробничому приміщенні.....	57
4.2 Карта умов праці.....	61
4.3 Пожежна безпека.....	63
ВИСНОВКИ.....	65

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	67
ДОДАТКИ.....	70
Додатки А. Ілюстративна частина.....	71
Додаток Б. Програма обробки деталі на верстаті з ЧПК.....	79
Додаток В. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ.....	86

ВСТУП

Розвинуте виробництво є запорукою економічної незалежності держави. Обробка заготовок деталей машин є ваговою частиною промисловості і важливою частиною виробництва в цілому [1-2].

Незважаючи на розвиток нових інноваційних способів виготовлення виробів лезвийна обробка заготовок деталей машин залишається лужним із основних методів виготовлення нових виробів.

Актуальність теми. Ефективність виробництва є одним із головних показників, що складається з багатьох частин. Зокрема ефективність підготовки технології виготовлення виробу та обробки заготовок є важливим його компонентом. Застосування CAD/CAM систем при проектуванні технологічних процесів механічної обробки заготовки дозволяє значно покращити ефективність технологічної підготовки і тому дослідження та аналіз даної тематики є актуальною задачею [3-4].

Мета і завдання роботи. Метою даної роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Циліндр" з використанням CAD/CAM систем.

Для досягнення необхідної мети роботи потрібно виконати наступні завдання:

- визначити тип виробництва і форми організації роботи;
- провести аналіз існуючих способів виготовлення заготовок типових деталей;
- виконати аналіз конструкції і технологічності деталі;
- вибрати способи виготовлення заготовки;
- розробити маршрут механічної обробки;
- розробити 3D-модель деталі;

розробити керуючу програму для виготовлення деталі на верстаті з ЧПК;

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ОБРОБКИ ЗАГОТОВОК ДЕТАЛЕЙ ЦИЛІНДР

1.1 Характеристика об'єкту виробництва та його службове призначення

Деталь "Циліндр" (позначення ОК3088.02.00.01) відноситься до типових деталей класу «Стакан». Основне службове призначення деталі полягає у забезпеченні фіксації та розміщення рухомих або нерухомих елементів механізму. Конструктивно циліндр виконує функцію корпусної частини вузла, забезпечуючи необхідні умови для роботи елементів у складі більшого агрегату.

Деталь має форму тонкостінного циліндра з фланцем, що забезпечує її кріплення за допомогою болтів. Висока геометрична точність внутрішніх поверхонь гарантує правильне розміщення відповідних компонентів (наприклад, штоків, втулок чи підшипників).

Матеріалом виготовлення є СТАЛЬ 45Л відповідно до ГОСТ 977-88, що забезпечує необхідну міцність і зносостійкість. Деталь підлягає термічній обробці до твердості 24...30 HRC. Поверхні частково покриваються хімічним оксидуванням для запобігання корозії.

1.2 Аналіз конструкції і технологічності деталі

Деталь «Циліндр» виготовляється з СТАЛЬ 25Л. Найбільш точними поверхнями є внутрішні циліндричні поверхні $\varnothing 100H8^{+0,054}$, $\varnothing 120H12^{-0,24}_{-0,59}$ та $226 \pm 0,25$ що використовується для правильної орієнтації внутрішніх деталей вузла;

Ряд отворів, що використовуються для закріплення «Корпусам К-01М» у вузлів - M12-6H та торці $\square 150$.

Таким чином поверхня $\varnothing 100H8^{+0,054}$ та $\varnothing 120H12_{-0,59}^{-0,24}$ – це основні конструкторські бази.

226 ± 0.25 та кріпильні отвори M12-6H – це допоміжні конструкторські бази.

Усі зовнішні поверхні, крім вищеназваних – вільні поверхні.

Конструкція деталі в цілому технологічна. Деталь має хороші базові поверхні для виконання більшості операцій механічної обробки. При виконанні токарної попередньої обробки це $\varnothing 120H12_{-0,59}^{-0,24}$, при остаточній обробці деталі – отвір $\varnothing 100H8^{+0,054}$.

Вказані на кресленні деталі квалітети точності механічної обробки відповідають параметрам шорсткості. Вони можуть бути забезпеченими на верстатах з числовим програмним керуванням.

Вимоги взаємного розташування оброблених поверхонь вказані у відповідності з їх службовим призначенням, також можуть бути забезпеченими при механічній обробці.

Вказані на кресленні розміри деталі можуть бути проконтрольовані безпосередньо без застосування додаткових пристосувань.

Застосування штучних технологічних баз не є виправданим, оскільки існує достатня кількість баз для встановлення на них деталі під час механічної обробки.

В конструкції деталі мають місце деякі нетехнологічні елементи:

- внутрішня поверхня $\varnothing 100H8^{+0,054}$ – важкооброблювана, оскільки на неї встановлено досить високі норми точності і шорсткості і її неможливо обробити на прохід, для усунення цього недоліку в конструкції деталі передбачена канавка для виходу інструменту;
- отвори M12-6H – глухі, з малим простором для обробки різі.

1.2.2 Кількісний аналіз

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рл.	Рл.у	Рд.	Рд.у.	Рр.	Рр.у.	Рк.	Рк.у.	Ш	Шу.
124 (2пов)									
150	150								
226									
248									
254									
Σ33	Σ6	Σ19	Σ12	Σ7	Σ7	Σ10	Σ10	Σ24	Σ24

$$K_y = Q_{ye} / Q_e \quad (1.1)$$

Лt Q_{ye} – кількість уніфікованих елементів в конструкції деталі,

Q_e – загальні кількість елементів.

$$K_y = 93/59 = 1.57$$

Оскільки виконується умова $1.57 \geq 0,6 (K_y \geq 0,6)$ деталь відноситься до технологічних.

Коефіцієнт шорсткості

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{сер}} = \frac{1}{10.1} = 0.1$$

Середній клас шорсткості складає:

$$Ш_{сер} = \frac{\sum Ш_i \times n_i}{\sum n_i} = \frac{1.6 + 9.6 + 6.3 + 225}{2 + 3 + 1 + 18} = 10.1$$

Таблиця 1.2 – Шорсткість поверхонь деталі

Шорсткість Ra, мкм	Кількість поверхонь	Розрахунок
0.8(Ø100, Ø60)	2	2×0.8=1.6
3.2(Ø120, К3/8*-2 от.)	3	3×3.2=9.6
6.3(2×30°)	1	1×6.3=6.3
12.5(Ø114, Ø13-4от. , 32-4 місця , □150- 4торця, М12-6Н-5от.)	18	18×12.5=225
	Σ 24	Σ 242.5

Деталь технологічна по коефіцієнту шорсткості, тому що виконується перевірка $0,1 < 0,32(K_m < 0,32)$.

Коефіцієнт точності

$$K_e = 1 - \frac{1}{T_{\text{сер}}} = 1 - \frac{1}{13.8} = 0.93$$

Де $T_{\text{сер}}$ – середній квалітет точності

$$T_{\text{сер}} = \frac{\sum T_i \times n_i}{\sum n_i} = \frac{9 + 12 + 12 + 12 + 574}{1 + 1 + 1 + 41} = 13.8$$

Таблиця 1.3 – квалітет точності поверхонь деталі

Квалітет	Кількість поверхонь	розрахунок
1(Ø100Н9)	1	1×9=9
1(Ø120Н12)	1	1×12=12
1(Ø226Н12)	1	1×12=12
14 (інші поверхні)	41	14×41=574
	Σ 44	Σ 607

Деталь технологічна по коефіцієнту точності, тому що виконується умова $0.93 > 0.8(K_T > 0.8)$.

Оскільки виконуються все умов и, то деталь є технологічна.

1.3 Визначення типу виробництва

Визначення типу виробництва є важливим етапом при виборі оптимальної технології, організації праці та оптимізації витрат на виробництві. Даний виріб належить до середньої групи по масі, а конструкційний аналіз вказує на невелику кількість операцій.

Обробка буде здійснюватися на сучасному обладнанні з системою ЧПК, що забезпечує високу якість та ефективність при повторюваному виготовленні. Також використання певної кількості верстатів забезпечить потоковість.

Отже спираючись на вище перелічені ознаки, масову категорію виробу та вимогу в кількості деталей (6000 шт.) можемо визначити що для даного виробу тип виробництва – велико серійне, а форма організації роботи – групова.

1.4 Огляд можливих методів та способів заготовки

Важливим компонентом технологічної підготовки виробництва є заготовка деталі та її конструктивні параметри, адже від параметрів заготовки залежать режим обробки, припуск, напуст та інші параметри, від яких залежать кількісні показники та алгоритм обробки.

Беручи до уваги робоче креслення, серійність виробництва, масу деталі та матеріал СТАЛЬ 45Л ГОСТ 1050-2013, визначаємо метод одержання заготовки – лиття.

Варіативність способів лиття заготовки:

- Піщано-глинисті форми
- Оболонкові форми
- Лиття в облицьований кокіль.

Таблиця 1.4 – Кількість характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Тип виробництва	Матеріал виливка	Маса виливка	Товщина стінок, [мм]	Квалітет	Коефіцієнт використання матеріалу заготовки	Технологічні особливості	Область застосування
Піщано-глинисті форми	О,М	Чавун, сталь, кольорові метали	10-1000	≥ 3	14-17	0,55-0,7	Можливе виготовлення виливків будь-якої конфігурації	Стакани, втулки, кришки, фланці, корпуси
Оболонкові форми	М,С	Сірий чавун,стіль, мідні сплави	0,1-80	2-4	12-15	0,85-0,9	Тонкостінні виливки компактною конфігурації	Муфти, стакани, фланці, кронштейни
Лиття в облицьований кокіль	С	Сталь, чавун, кольорів метали	0,1-50	≥ 3	12-15	0,71-0,7	Товстостінні виливки простої і середньої складності	Стакани, муфти, втулки, маховики

Таблиця 1.5 – Якісна характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Суть способу	Недоліки	Переваги	Область застосування
Піщано-глинисті форми	Розглянутий метал заливається у разову піщано-глинясту форму, застигає та кристалізується під силою земного тяжіння. Виймається виливок шляхом руйнування форми.	Можливість отримання складних заготовок. Мінімальні затрати виготовлення. Можливість автоматизації та механізації процесу.	Низька точність. Висока шорсткість. Великі припуски на мех. обробку. Великі затрати металу.	Одиничне. Серійне при ручному формуванні. Крупносерійне та масове при машинному. Фланці, кришки, втулки, станини.
Оболонкові форми	Виготовляють дві напоїв-форми товщиною 6-20 см із суміші з піску, фенол формальдегідних смол в якості зв'язки. Після зборки, оболонкові форми помішують в опоки, які засипають піском і дробом.	Процес виготовлення може бути повністю автоматизований. Зменшення об'єму суміші в 10-20 разів. Зменшення очисних і обрубних робіт в 20%. Шорсткість 20-80 мкм.	Висока вартість зв. Речовини. Формування проводиться з більш дорогого металевого модель-оснащення.	Крупносерійне. Масове. Втулки, муфти, фланці, кронштейни.

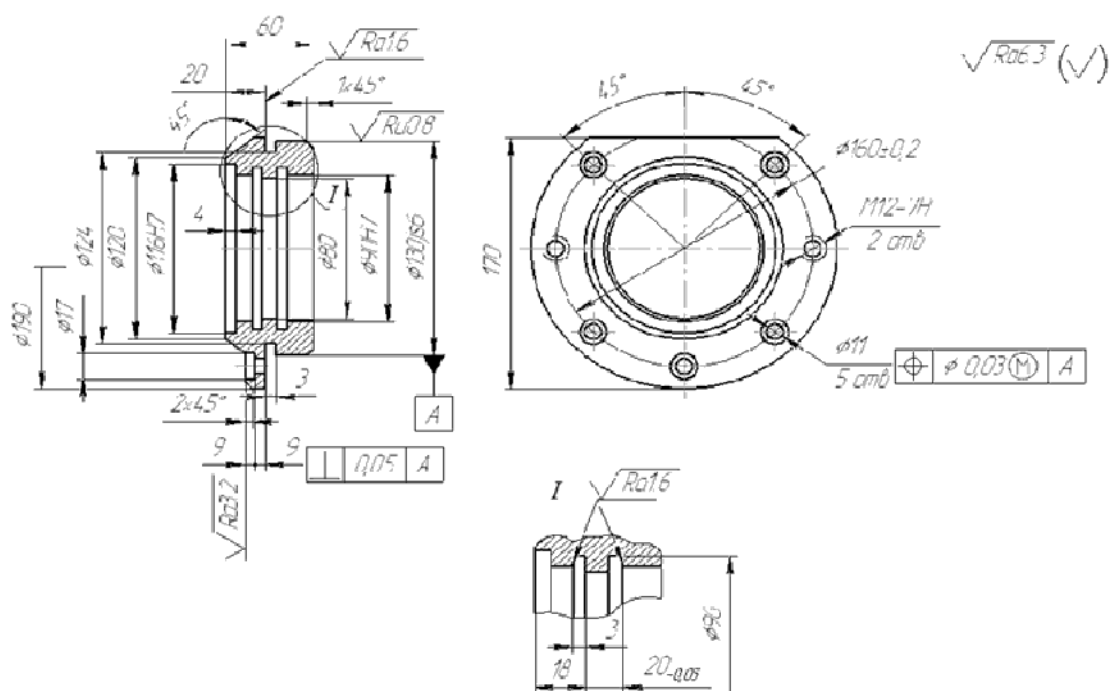
Таблиця 1.5 – Якісна характеристика способів лиття

Спосіб лиття	Суть способу	Недоліки	Переваги	Область застосування
Лиття в облицьований кокіль	Розплавлений метал заливається в багаторазову металеву форму, остигає та кристалізується під дією сили тяжіння. Після застигання виливок виймається з форми.	Мала трудомісткість. Короткий цикл виготовлення. Можливість механізації і автоматизації процесу. Точність 12-12 квалітету. Шорсткість 20-80 мкм.	Обмежена по формі вилівка, масі і розмірах. Можливість виникнення ливарних дефектів по причині швидкого охолодження.	Масове. Крупносерійне. Муфти, втулки, стакан, маховики

З вище вказаних способів одержання заготовок за допомогою лиття було обрано – лиття в Піщано-глинисті та оболонкові форми.

1.5 Огляд відомих технологічних процесів обробки деталей типу “Стакан”

Для проектування технологічного процесу механічної обробки деталі “Циліндр” розглянемо типові рішення для даного виду деталі. По конструкційним особливостям для розглядуваної є деталь типу “Стакан”.



Креслення деталі типу “Стакан”

Таблиця 1.6 – Маршрут механічної обробки типового представника

Операція	Зміст і найменування операції	Верстат, обладнання	Пристосування
0			
005	лиття		
010	Обрубка і очищення виливка		
015	Підрізати торці $\varnothing 130\text{Js6}/\varnothing 90\text{H7}$ Торця $\varnothing 190$ (правий) Точити поверхню $\varnothing 130\text{Js6}$ Точити канавку Розточити отвори $\varnothing 80$ та $\varnothing 90\text{H7}$, з підрізанням внутрішнього торця $\varnothing 90\text{H7}/\varnothing 80$	Токарний пороховий напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
020	Підрізати торці $\varnothing 190$ (лівий торець) та торець $\varnothing 144$ Розточити отвір $\varnothing 116\text{H7}$ Обточити поверхні $\varnothing 190$ і конічну поверхню $\varnothing 144 \times 45^\circ$	Токарний пороховий напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон
025	Термічна обробка		
030	Підрізати торці $\varnothing 130\text{Js6}/\varnothing 90\text{H7}$ остаточно Точити поверхню $\varnothing 130\text{Js6}$ з підрізанням торця $\varnothing 190$ (правий) під шліфування Фаски Канавку остаточно Розточити отвір $\varnothing 90\text{H7}$ з підрізанням внутрішнього торця $\varnothing 90\text{H7}/\varnothing 80$ і отвір $\varnothing 80$ Канавки $3 \times \varnothing 96$ остаточно Притупити гострі кромки	Токарний пороховий напівавтомат КТ141	Трикулачковий патрон

Спираючись на таблицю 1.6 Складаємо технологічний маршрут для деталі “Циліндр”.

На операції 015 ми обточуємо поверхню $\varnothing 120$ та прилягаючи до нього поверхні. Далі на операції 020 ми торцюємо пов. $\square 150$ та розточуємо $\varnothing 100$. Наступною операцією (025) ми: centruємо, свердлимо, фрезеруємо, зенкуємо та точимо різьбу на отвори $K3/8''$. На 030 операції ми фрезеруємо $\square 150$, свердлимо $\varnothing 13$, M21-6H, та наносимо різьбу. Після цих операцій ми проводимо термічну обробку та остаточно розточуємо $\varnothing 100$.

Висновок.

Встановлено, що виробництво за відповідною кількістю деталей, які необхідно виготовити за рік, та технологічними особливостями обробки відповідних поверхонь деталі – Середньо серійне.

Відповідно до властивостей матеріалу деталей деталі – в якості методу отримання заготовки обрано лиття.

Технологічний процес варто зосередити на підготовці початкових чорнових баз у вигляді центрального отвору або бокових поверхонь та кріпильних отворів.

2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ

2.1 Розрахунок розмірів заготовки

2.1.1 Вибір норм точності заготовки

При виборі прийнятих параметрів

Клас розмірної точності виливка призначаємо враховуючи спосіб лиття, найбільший габаритний розмір виливка (180), тип матеріалу – СТАЛЬ 45Л:

При литті в піщано- глинястій форми: (9т-13) – 11;

При литті в оболонкові форми: (10-14) – 12.

Ступінь жолоблення елементів виливка призначається згідно відношення найбільшого до найменшого розмірів елемента виливка. Найбільший розмір - 254мм та найтонша стінка – 7мм: відношення – $6/254 = 0,023$. Також враховуємо кількість використання форми і термообробку;

В литті в піщано- глинястій форми: (7-10) - 9;

В литті в оболонкові форми: (7-10) - 8.

Ступінь точності поверхонь виливка призначаємо з врахуванням способу лиття, найбільшого габаритного розміру виливка (254мм) і матеріалу СТАЛЬ 45Л:

В литті в піщано- глинястій форми: (13-19) – 16;

В литті в оболонкові форми: (11-17) – 14.

Шорсткість поверхонь виливка призначаємо, враховуючи прийнятий ступінь точності поверхонь виливка :

В литті в піщано- глинястій форми: 63 мкм;

В литті в оболонкові форми: 40 мкм.

Клас точності маси виливка визначаємо, беручи до уваги спосіб лиття, номінальну масу виливка(10-100 кг), термообробку і матеріал СТАЛЬ 45Л :

В литті в піщано- глинястій форми: (7-15) – 11;

В литті в оболонкові форми: (8-15) – 12.

Доцільно приймати таким же як клас розмірної точності.

Ряд припусків призначаємо з врахуванням ступеня точності поверхні :

В литті в піщано- глинястій форми: (7-10) – 9;

В литті в оболонковій форми: (5-8) – 7.

Отримані дані вносимо в таблицю класів точності 2.1

Таблиця 2.1 – Класи точності виливка

Вхідні дані	лиття в піщано- глинястій форми		лиття в оболонковій форми	
	Згідно ГОСТ 26645-85	Прийнято	Згідно ГОСТ 26645-85	Прийнято
Клас розмірної точності	9т-13	11	10-14	12
Ступінь жолоблення елементів виливка	7-10	9	7-10	8
Ступінь точності поверхні виливка	13-19	16	11-17	14
Шорсткість поверхонь виливка	Ra = 63 мкм		Ra = 40 мкм	
Клас точності маси	7-15	11	8-15	12
Ряд припусків	7-10	9	5-8	7

2.1.2 Вибір допусків та припусків на механічну обробку:

2.1.2.1 Вибір допусків

Перед вибором допусків та припусків на механічну обробку поверхонь деталі потрібно уважно вивчити робоче креслення деталі, встановити оброблювані поверхні і розміри, що їх зв'язують та записати їх в розрахункову таблицю.

На ділянках виливка з отворами, впадинами, порожнинами та інше, отримати за допомогою лиття важко або неважливо, тому потрібно призначити напуски.

Вибрані данні занесемо до таблиці 2.2, 2.3.

Згідно ГОСТ 26645-85 Призначаємо:

Допуск розмірів – враховуючи номінальний розмір на який призначаємо допуск та клас розмірної точності (для лиття в оболонкові форми – 12, в піщано-глинясті – 11).

Допуск форми і розміщення – враховуючи номінальний розмірно реальної ділянки та Ступінь жолоблення (для лиття в оболонковій формі – 8, в піщано-глинясті – 9).

Допуск маси – в залежності від номінальної маси виливка та класу точності маси виливка (лиття в оболонкові форми – 12, в піщано-глинястій – 11).

Допуск зміщення площини роз'єму – для цього потрібно знати де буде проходити площина роз'єму. При литті в піщано-глинясті та в оболонкові форми площині роз'єму буде проходити через розміри 254, 248, та інша. Тому вона впливає на кожен із розглянути лінійних розмірів, для яких допуск вибираємо враховуючи клас розмірної точності виливка по номінальному розміру найбільш тонкої з стінок виливка, які виходять на лінію роз'єму. Для нашого випадку розмір найбільш тонкої стінки становить 6 мм (лиття в оболонкові форми – 2.8, та піщано-глинястій – 2.2).

Допуск на перекося стержня – для діаметральних розмірів, що формуються за допомогою стержня. Призначає на 1-2 класи точніше класу розмірної точності по нормальному розміру найбільш тонкої зі стінок виливка, які формуються з участю стержня.

При літі в оболонкові форми допуски на розміри будуть такі:

$\varnothing 100H9^{+0.054}$ (найтонша стінка – 7мм) буде 2

При літі в піщано-глинясті форми допуски на розміри будуть такі:

$\varnothing 100H9^{+0.054}$ (найтонша стінка – 7мм) буде 1.6

Загальний допуск призначаємо, враховуючи допуск розмірів, допуск форми та розміщення поверхні.

Мінімальний припуск призначаємо залежно від ряду припусків :

При литті в оболонкові форми (при ряду припусків 7) – 0.8 мм .

При литті в Піщано-глинясті форми (для ряду припусків 9) – 1.2 мм .

Загальний припуск на механічну обробку визначаються для запобігання похибки розмірів, розміщення, форми, нерівності та дефектів оброблюваної поверхні, які формуються при виготовленні виливка та його обробки. Значення загального припуску вибираємо в залежності від кількості переходів переходів механічної обробки.

Тому щоб обрати загальний припуск, потрібно визначити кількість механічної обробки кожної з оброблюваних поверхонь.

Кількість переходів механічної обробки визначаємо в залежності від необхідної точності розмірів оброблюваної деталі.

- по точності розмірів вибираємо в залежності від допуску розміру виливка і співвідношення між допусками розмірів деталі і виливка:

Лиття в оболонкові форми: для розміру 37 допуск розмірів виливка 4.4 мм, допуску розмірів деталі 0,62 мм, співвідношення $0.62/4.4=0.14$, отже, 2 переходи (напівчиста обробка).

Аналогічно вибираємо для всіх інших розмірів:

$$\varnothing 100H8^{+0.054} - 0.054/5.6 = 0.009 \rightarrow 4 \text{ переходи (тонка обробка)};$$

$$\varnothing 120H12_{-0.59}^{-0.24} - 0.35/6.4 = 0.05 \rightarrow 3 \text{ переходи (чистова обробка)};$$

$$226H12 \pm 0.25 - 0.5/4.4 = 0.11 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчиста обробка)};$$

$$248-1.15 - 1.15/7 = 0.16 \rightarrow 1 \text{ переходи (чорнова обробка)};$$

$$254-1.3 - 1.3/8 = 0.16 \rightarrow 1 \text{ переходи (чорнова обробка)}.$$

Аналогічно розраховуємо для лиття в піщано-глинясті форми (дані представлені в таблиці 2.2).

По відхиленням форми, взаємного розміщення поверхонь вибираємо в залежності від допуску розміру виливка і співвідношення, між допусками форми і розміщення деталі і виливка.

Для лиття в Оболонкові форми для розмірів:

$$\varnothing 100H8^{+0.054} - 0.1/0.64 = 0.15 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчиста обробка)};$$

$$\varnothing 120H12_{-0.59}^{-0.24} - 0.1/0.64 = 0.15 \rightarrow 2 \text{ переходи (напівчиста обробка)};$$

$$37 \pm 0.31 - 0.1/0.64 = 0.15 \rightarrow 1 \text{ переходи (чорнова обробка)};$$

$226H12 \pm 0.25 - 0.1/1,2 = 0.08 \rightarrow 1$ переходи (чорнова обробка);

$248_{1,15} - 0,1/1,2 = 0.08 \rightarrow 1$ переходи (чорнова обробка);

$254_{1,3} - 0,1/1,6 = 0.06 \rightarrow 1$ переходи (чорнова обробка).

Аналогічно розрахуємо для лиття в піщано-глинясті форми(таб 2.2)

Загальні припуски призначаємо, беручи до уваги загальний допуск виливка, від кінцевої обробки і ряду припуску. При литті в оболонкові форми для розміру $\varnothing 9$: загальний допуск 1.6мм, чорнова обробка, ряд припусків 4 $\rightarrow$ загальний припуск становить 1.5 мм. Аналогічно обираємо і для інших розмірів.

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів заготовки

	лиття в Оболонкові форми							Лиття в піщано-глинясті форми				
Розрахункові роз.	Ø100 _{0,054}	Ø120 ^{-0,24} _{-0,59}	37±0,31	226±0,25	248 _{-1,15}	254 _{-1,3}	□ 150	Ø100 ^{-0,054}	Ø120 ^{-0,24} _{-0,59}	37±0,31	226±0,25	248 _{-1,15}
Допуски:												
Розмірів	5,6	6,4	4,4	7	7	8	6,4	4,4	5	3,6	6	6
Форми чи роз.	0,64	0,64	0,64	1,2	1,2	1,6	0,64	0,8	0,8	0,8	1,6	1,6
Зміщення по Площ.	-	-	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	-	-	2,2	2,2	2,2
Зміщення через перекос стер.	2	-	-	-	-	-	-	1,6	-	-	-	-
Маси	20%							16%				
Нерівносте	1,0							1,6				
Загальний доп.	6,4	6,4	5	8	8	8	8	5	5	4	7	7
Припуск: мінімальний	0,8							1,2				
Кількість переходів мех. об.												
За точ. розмірів	4	3	2	1	1	1	1	4	2	1	1	1
За відхиленням	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1
Форми												
Прийнята Кількість переходів	4	2	2	1	1	1	1	4	2	1	1	1
Припуск Загальний	8,3	7,5	5,4	7,8	7,8	7,8	7,8	7,5	6	4,9	7,5	7,5
Розміри заготовки	83,4	135	44,8	241	255,8	261,8	157,8	85	132	51,9	241	255,5

2.1.3 Розрахунок розмірів заготовки

При розрахунку внутрішніх діаметральних розмірів заготовки ми подвоюємо і віднімаємо одержаний загальний припуск, та віднімаємо його від розміру готового виробу:

При розрахунку зовнішніх діаметральних розмірів заготовки – припуск подвоюється і додається до розміру готової деталі;

При розрахунку внутрішніх діаметральних розмірів заготовки – припуск подвоюється і віднімається від розміру готової деталі;

- при литі в оболонкову форму для розміру $\varnothing 100$ загальний припуск становить 8,3 мм;

$$\varnothing 100 - (8.3 \times 2) = \varnothing 83.4 \text{ (мм)};$$

Аналогічним способом розраховуємо діаметри інших діаметральних розмірів:

$$\varnothing 120 + (7.5 \times 2) = \varnothing 135 \text{ (мм)};$$

При визначенні лінійних розмірів потрібно в'яснити як формується розмір заготовки:

- у випадку якщо розмір пов'язаний з двома поверхнями, що обробляється і являється охоплюваним, то припуски складається до розміру готової деталі:

$$226 + 7.8 + 7.8 = 241,6 \text{ (мм)};$$

$$248 + 7.8 = 255.8 \text{ (мм)};$$

$$254 + 7.8 = 261.8 \text{ (мм)}.$$

- Якщо поверхня пов'язана з двома поверхнями, то береться до уваги більше значення пропуску:

$$37 + 7.8 + 5,4 = 50,2 \text{ (мм)};$$

Аналогічним чином знаходимо розміри для піщано-глинястих форм.

2.1.3.1 Вибір конструктивних елементів заготовки

Мінімальна товщина стінок визначається для забезпечення необхідної розрахункової міцності та жорсткості, а також задовольняє вимоги технології вибраного способу лиття. Вибираємо згідно рекомендацій:

При литті в оболонкових формах – 4мм,

При литті в піщано-глинястих формах – 4мм.

Радіуси заокруглень в значній мірі визначають якість виливка. Дуже малі радіуси призводять до великої концентрації напружень і можливого утворень тріщини. А при великих радіусах, можливе виникнення раковин та пустот.

Радіуси закруглені згідно рекомендації [7] обираємо в залежності від співвідношення $(S+S_1)/2$ і від матеріалу виливка (обираємо 4-6-мм для обох методів виготовлення).

Формоутворюючі нахили призначаємо з метою полегшення видалення виробу з форми і стержня. Нахили встановлюються в залежності від розмірів заглиблення, висоти формоутворюючої поверхні, методу лиття та виду модельного комплексу згідно рекомендаціям [7]:

При литті в оболонкових формах для розмірів – 0°41’

При литті в піщано-глинястих формах для розмірів – 1°24’

Мінімальний діаметр отвора, що утворюється за допомогою лиття, вибирають так, щоб уникнути пригорання стержня до стінок отвору та сильного перегрівання. Мінімальний розмір литих отворів залежить від товщини стінки та може бути визначений за формулою:

$$d_{\min} = d_0 + 0.1S, [\text{мм}] \quad (2.1)$$

де d_0 – вихідний діаметр;

S – товщина стінки, мм.

Оскільки вхідний діаметр $d_0 = 10$ мм, більше отворів $\varnothing 13$ та інші вилитись не будуть.

2.1.3.2 оформлення ескізів обох варіантів заготовки

Після виконання роз розрахунку розмірів заготовки, вибір конструктивних елементів заготовки зображені на ескізі заготовки для штампування на КГШП та заготовки з проекту (рис 2.1 і рис 2.2).

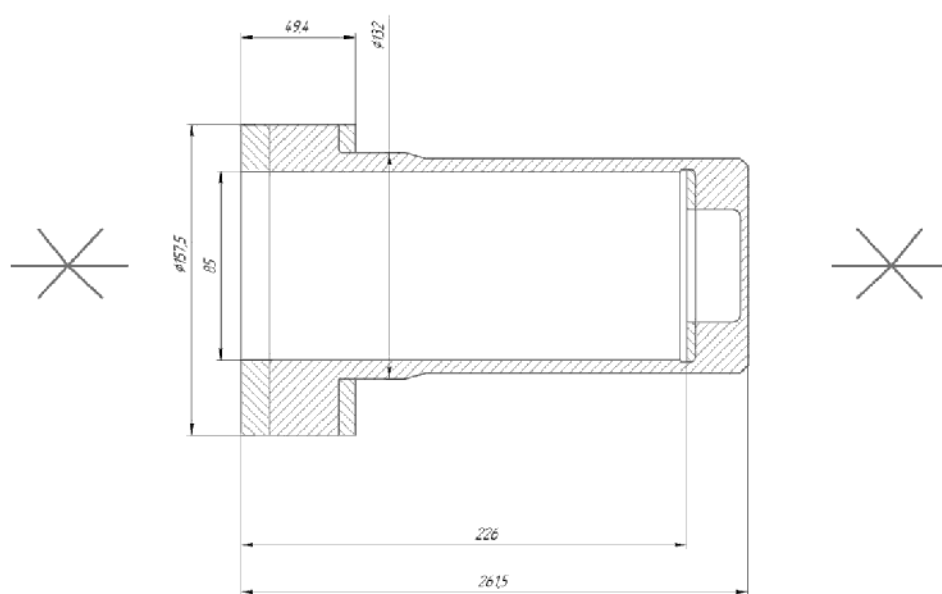


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки в піщано-глинястій формі

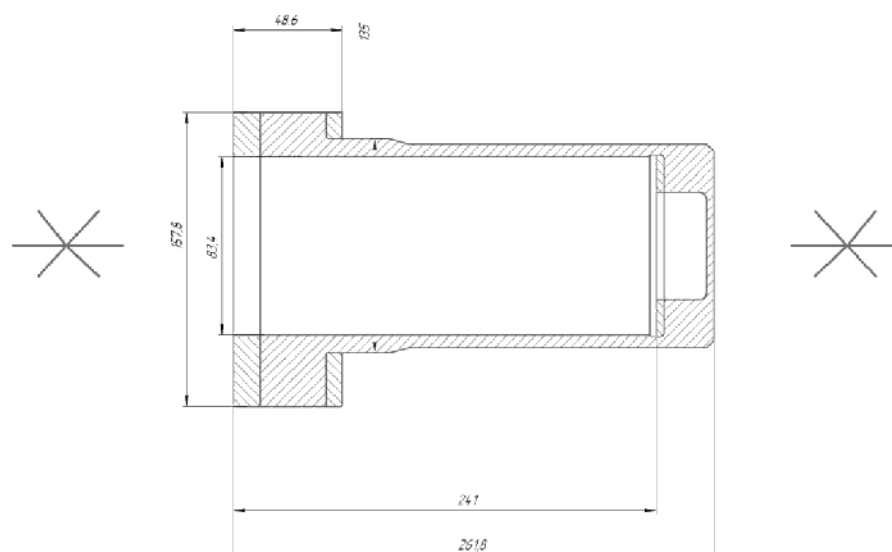


Рисунок 2.2 – Ескіз заготовки в оболонковій формі

2.1.3.3 Техніко-економічне порівняння обох варіантів заготовки і вибір найраціональнішого

Розрахунок маси та коефіцієнту використання матеріалу для обох варіантів заготовки:

Маса заготовки визначаємо за формулою:

$$Q = V_{\text{заг.}} \times \rho, [\text{кг}] \quad (2.2)$$

Щоб розрахувати загальний об'єм заготовки, створимо її тривимірну модель (додаток А.).

Лиття в оболонковій формі - $Q_{\text{заг}} = 16,5$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$y = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} = 12,8 / 16,5 = 0,77$$

Лиття в піщано-глинястій формі - $Q_{\text{заг}} = 15,9$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу заготовки:

$$y = Q_{\text{дет}} / Q_{\text{заг}} = 12,8 / 16 = 0,8$$

Отже, коефіцієнт використаного матеріалу при литті в оболонкових формах більший в піщано-глинястій формі, відповідно у вигляді стружки зніметься менше матеріалу при мех. обробці.

Вартість заготовки – це економічний показник, який впливає на особливість виготовлення виробу. Для надання переваги певному способу лиття необхідно визначити вартість заготовок.

Вартість заготовки визначаємо за формулою:

$$C_{\text{загл.лит.}} = \frac{Q_{\text{заг}}}{1000} \times C_{\text{л}} \times K_{\text{т}} \times K_{\text{м}} \times K_{\text{с}} \times K_{\text{в}} \times K_{\text{п}} - \frac{(Q_{\text{заг}} - Q_{\text{дет}})}{1000} \times C_{\text{відх}}, [\text{грн}]. \quad (2.3)$$

Де $C_{\text{л}}$ – базова вартість 1т заготовок, враховуючи спосіб одержання литої заготовки (грн).

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт, який враховує клас точності заготовок, враховуємо спосіб лиття, матеріал та клас розмірної точності.

$K_{\text{м}}$ – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки.

$K_{\text{с}}$ – коефіцієнт, який враховує групу складності заготовки. Дана деталь не складної конфігурації і можна прирівняти до 1 групи складності.

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який враховує масу заготовки.

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт, який залежить від об'єму виробництва (розмір річної програми випуску заготовок). Попередньо визначаємо групу серійності в залежності від способу лиття, маси вилівка та об'єму виробництва. При литті у обраних формах – 2 група серійності.

Дані значення обираємо згідно [7].

$C_{\text{відх}}$ – вартість лиття 1т. відходів, для сталі: $C_{\text{відх}} = 295$ гр. од.

Лиття в оболонковій формі:

$$C_{\text{загл.лит.}} = \frac{16,5}{1000} \cdot 24400 \cdot 1.05 \cdot 1.22 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1.0 - \frac{(16,5 - 12,8)}{1000} \cdot 295 = 429,93 \quad (\text{грн}).$$

Лиття піщано-глинястій формі:

$$C_{заглит} = \frac{16}{1000} \cdot 15600 \cdot 1,05 \cdot 1,36 \cdot 1 \cdot 0,86 \cdot 1,06 - \frac{(16-12,8)}{1000} \cdot 295 = 282,65 \text{ (грн).}$$

Таблиця 2.3 – Коефіцієнт визначення собівартості заготовок

Коефіцієнт и	Лиття в оболонкові форми	Лиття піщано-глинисті форми
С _л	24400	15600
К _т	1,05	1,05
К _м	1,36	1,22
К _с	1	1
К _в	0,86	0,93
К _ц	1,06	1

В результаті Розрахунків можемо зробити висновок, що коефіцієнта використання матеріалу та вартість заготовок у оболонковій формі менший ніж у піщано-глинястій формі. Відповідно виготовлення в оболонковій формі вийде дешевше, тому його обираємо як основний метод виготовлення заготовки.

Економічний ефект при використанні лиття піщано-глинястій формі:

$$E = (429,93 - 282,65) \times 3000 = 439986$$

2.2 Розробка маршруту механічної обробки

2.2.1 Обґрунтований вибір способу механічної обробки поверхонь із підвищеними вимогами точності.

Визначення кількості ступенів механічної обробки циліндричної поверхні Ø100H8.

Допуск заготовки – 5600 мкм;

Допуск деталі $T_d = 54$ мкм;

Загальне уточнення – $\varepsilon_\Sigma = T_z/T_d = 5600/54 = 103,7$.

Для забезпечення необхідної точності обробки приймаємо 4 переходу. Відповідно до рекомендацій, приймаємо ступеня уточнення на переходи мех. об. [11]:

- на перший $\varepsilon_1 = 5 \dots 6$;
- на другий $\varepsilon_2 = 3 \dots 4$;
- на третій $\varepsilon_3 = 1 \dots 2$;
- на четвертий $\varepsilon_4 = 0 \dots 1$ і тд.

Допуск розміру деталі:

- після першого переходу

$$T_1 = T_{\text{заг.}} / \varepsilon_1 = 5600/5 = 1120(\text{мкм}) ;$$

- після другого переходу

$$T_2 = T_{\text{заг.}} / \varepsilon_2 = 1120/4 = 280(\text{мкм}) ;$$

- після третього переходу

$$T_3 = T_{\text{заг.}} / \varepsilon_3 = 280/3 = 93,3(\text{мкм})$$

;

- після четвертого переходу

$$T_4 = T_{\text{заг.}} / \varepsilon_4 = 93,3/1,72 = 54(\text{мкм}) ;$$

Таблиця 2.4 – Визначення способів і кількості ступенів механічної обробки

Розмір	Допуск заг.	Допуск дет.	Загальне уточнення	Кількість Ступенів мех. об.	Вид мех. об.
Ø100H8	5600	54	103,7	$\varepsilon_1 = 5$ $\varepsilon_2 = 4$ $\varepsilon_3 = 3$ $\varepsilon_4 = 1,72$	Розточування попереднєРозточування попереднєРозточування остаточнеРозточування тонке
Ø120D12	6400	350	18,3	$\varepsilon_1 = 6$ $\varepsilon_2 = 3$ $\varepsilon_3 = 1,01$	Розточування попереднє Розточування попереднє Розточування остаточне

Решта розмірів проходить за два проходи.

2.2.2 Обґрунтований вибір чистових і чорнових технологічних баз

При виборі чистових баз, потрібно мінімізувати похибки базування на розміри які утворюються, або звести їх до нуля. Ці вимови ми забезпечуємо при співпадінні технологічних та вимірювальних баз, зв'язком оброблених та необроблених баз, а також обробкою відповідальних баз за одну установу. Якщо ці вимови неможливо забезпечити, необхідно намагатись виконувати вимогу використання постійного комплекту баз, за її допомогою можливо мінімізувати похибку базування. Похибка базування на поверхні розмірів які утворюються за рахунок геометрії інструмента – дорівнює нулю.

В якості чорнових баз на операції 005 використовуємо зовнішню циліндричну поверхню $\square 150$, як опорну та подвійно напрямну базу. При використанні такої технологічної бази, ми можемо обробити циліндричну поверхню Ø120 (рис 2.3).

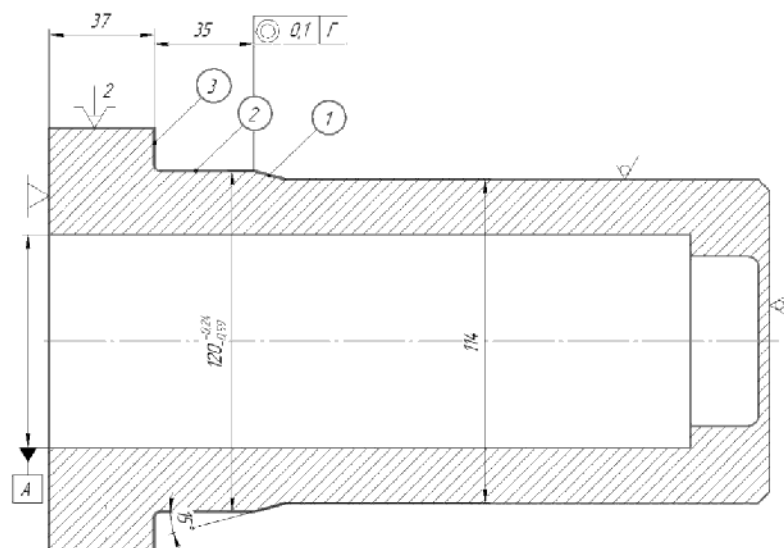


Рисунок 2.3 -Ескіз баз (операція 005)

На операції 010 базування заготовки здійснюємо за оправку (оброблену поверхню на операції 005). На даній операції виконується обробка торця та внутрішнього ступінчастого отвору (рис 2.4).

Допуск перпендикулярності торця до поверхні $\varnothing 120$, а також допуск співвісності до отвору $\varnothing 100$ до поверхні $\varnothing 120$ досягається за рахунок обробки цих поверхонь за одну установку і використання однієї з поверхонь як поверхню базування під час обробки.

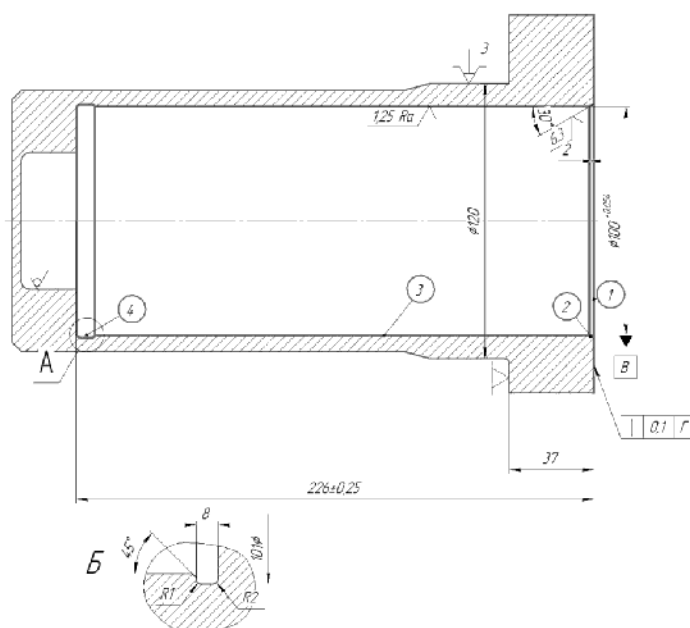


Рисунок 2.4 -Ескіз баз (операція 010)

Позиційний допуск отворів K3/8” відносно отворам Ø100H8 забезпечується використанням даного отвору як бази (рис 2.5). А позиційний допуск отворів M21-6H та Ø13 відносно отворам Ø100H8 забезпечується використанням поверхні Ø120H12 як бази (рис. 2.5)

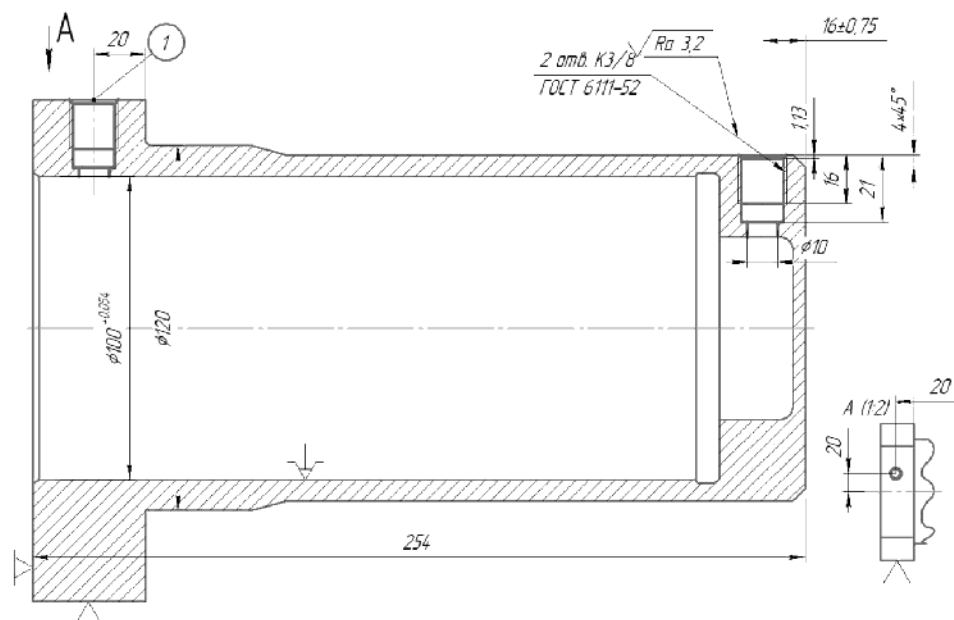


Рисунок 2.5 -Ескіз баз (операція 015)

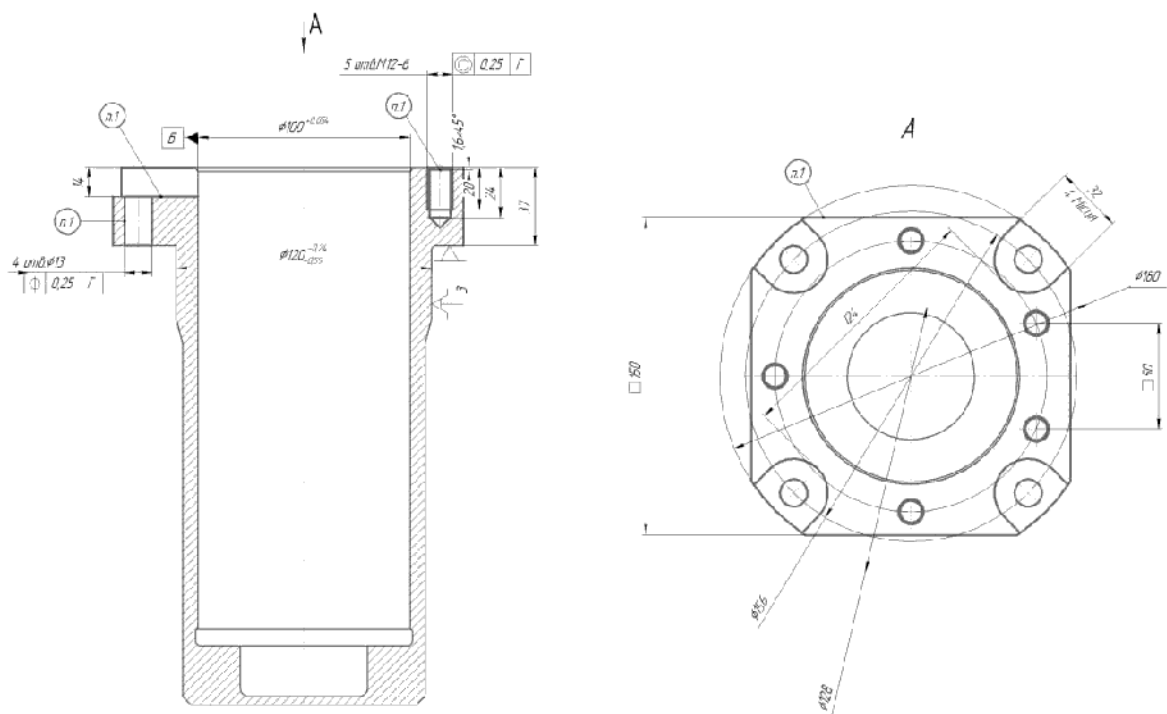


Рисунок 2.6 -Ескіз баз (операція 020)

Нейказині зразки відхилення розмірів: ширину Н14, висоту І14, індекс ІТ14/2

Визначаємо похибки базування:

$\varepsilon_5 \varnothing 100H8$ та $\varnothing 120H12 = 0$ – діаметральний розмір;

$\varepsilon_5 20, 16, 8, 14, 226 = 0$ – діє принцип співпадіння вимірювальної та технологічних баз;

$\varepsilon_5 K3/8'', M21-6H$ та $\varnothing 13 = 0$ – обробляється мірним інструментом.

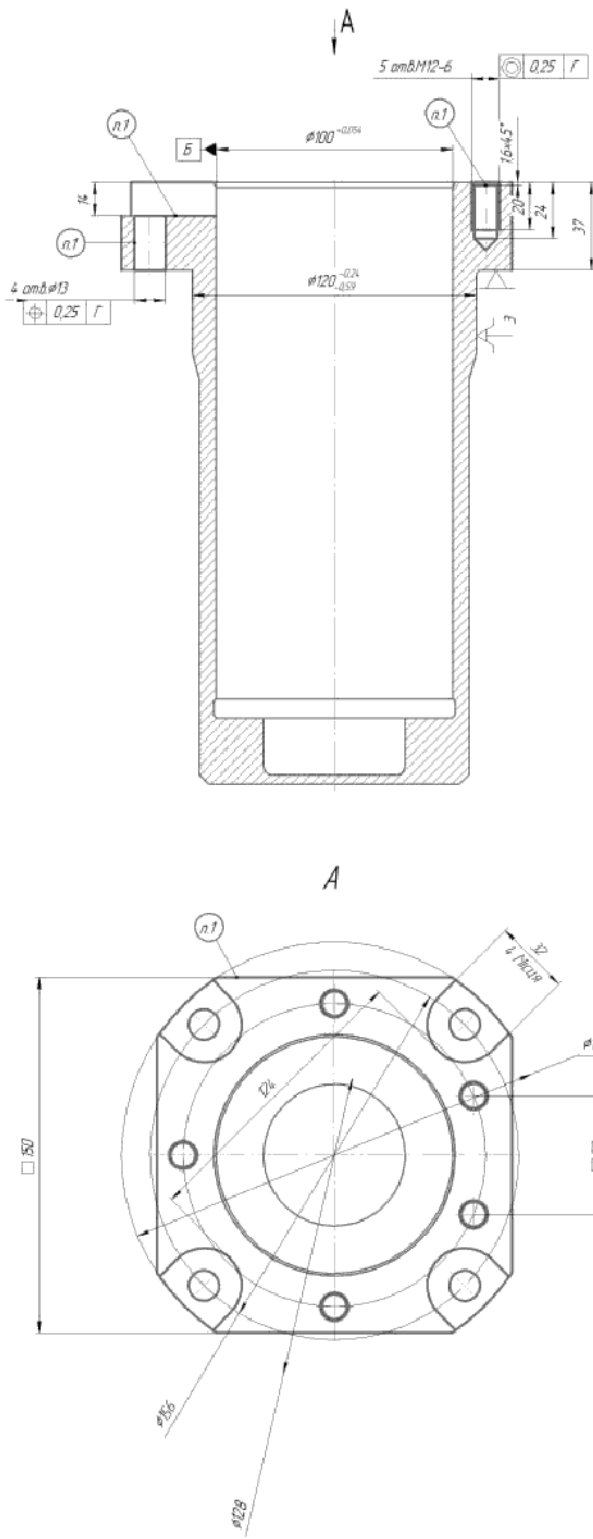
Використання даних схем базування дозволяє нам забезпечувати необхідні вимоги точності розташування поверхонь:

- за рахунок взаємозалежності поверхонь при обробці за одну установку;
- за рахунок використання залежних поверхонь (як поверхні базування при обробці).

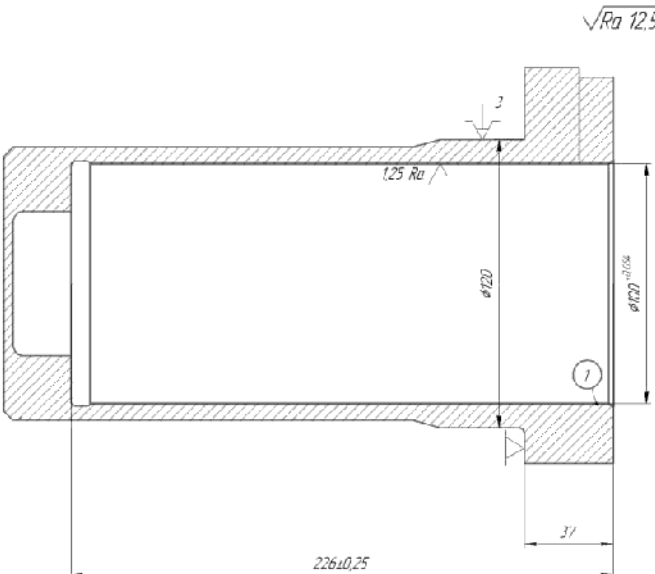
Загалом запропоновані схеми технологічних баз дозволяє обробку деталі із вимогами точності з креслення.

2.3.3 Проектування маршрутів механічної обробки з розробкою змісту операцій, попереднім вибором верстатів та схем базування (таблиця 2.4)

Продовження таблиці 2.4

020	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати 4 та 5 площ. 1 3. Центрувати 4 отв. 2 та 5 тов. 3 4. Зенкувати 4 отв. 2 та 5 тов. 3 5. Свердлити 4 отв. 2 6. Свердлити 5 отв. 3 7. Нанести різду на 5 отв. 3 8. Зняти деталь	 Невказані граничні відхилення розмірів: отвору H14, валу h14, інших IT14/2	Вертикально-свердильний верстат з ЧП К6Р13РФ3
------------	---	---	--

Продовження таблиці 2.4

025	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Розточити пов. 1 попередньо 3. Розточити пов. 1 остаточно 4. Зняти деталь	 Невказані граничні відхилення розмірів отвору H14, валу h14, інших IT14/2	токарно-револьверний верстат з ЧПК МК6801ФЗ
-----	---	---	--

2.3 Розмірний аналіз технологічного процесу

2.3.1 Попереднє призначення допусків технологічних розмірів.

Розмірна схема технологічного процесу представлена на рис. 2.7.

Допуски на технологічні розміри призначаємо згідно довідника [11-12], для відповідного розміру за призначеним квалітетом, поверхні які розглядаються, мають 14 квалітет, а заготовка виконується 14 квалітету.

$$T(B_1) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_2) = 0,5 \text{ мм};$$

$$T(B_3) = 1,15 \text{ мм};$$

$$T(B_4) = 0,62 \text{ мм};$$

$$T(B_5) = 0,52 \text{ мм};$$

$$T(B_6) = 1,1 \text{ мм};$$

$$T(3_1) = 1,15 \text{ мм};$$

$$T(3_2) = 0,74 \text{ мм};$$

конструкторські розміри та припуски на обробку. Похідне – технологічні розміри.

При суміщенні дерев, з'являється можливість уявити геометричну структуру тех. процесу обробки деталі. В такому вигляді всі розмірні зв'язки та технологічні розмірні ланцюги стають явними. Будь-який замкнутий контур на суміщеному графі, який складається з ребр двох дерев. Створює технологічний розмірний ланцюг.

Креслення виробу з технологічними та конструкторськими розмірами, виводим у вигляді двох граф-дерев. Древо з технологічними називається похідним, а з конструкторськими розмірами та розмірними припусками – вихідним.

Якщо сумістити два дерева, то суміщений граф-дерево дає можливість дізнатись геометричну структуру технологічного процесу обробки деталі. В такому дереві всі розмірні зв'язки і технологічні ланцюги з неявлених перетворюються в явні. З'являється можливість проводити розрахунки та дослідження, не звертаючись до креслення. Будь-який замкнутий контур на суміщеному дереві, який складається з ребр вихідного і технологічного дерева, створює тех. розмірний ланцюг.

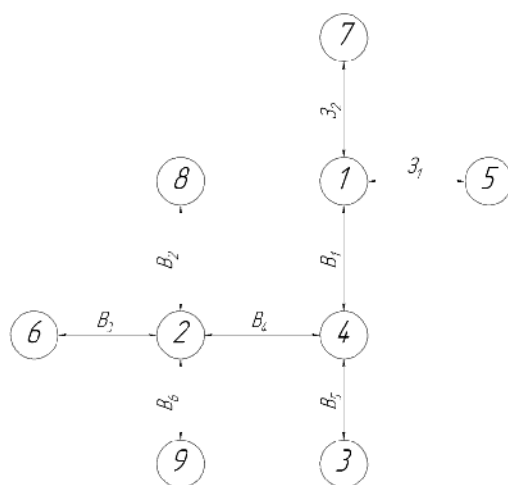


Рисунок 2.8 – вихідне граф дерево

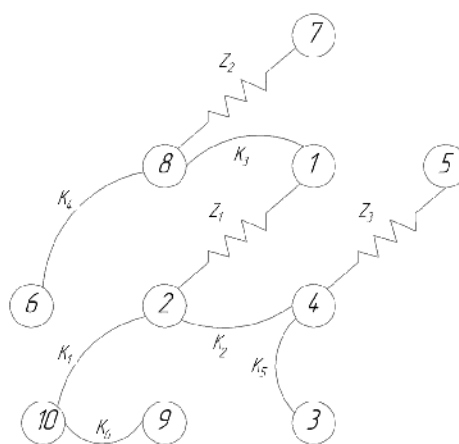


Рисунок 2.9 – Похідне граф дерево

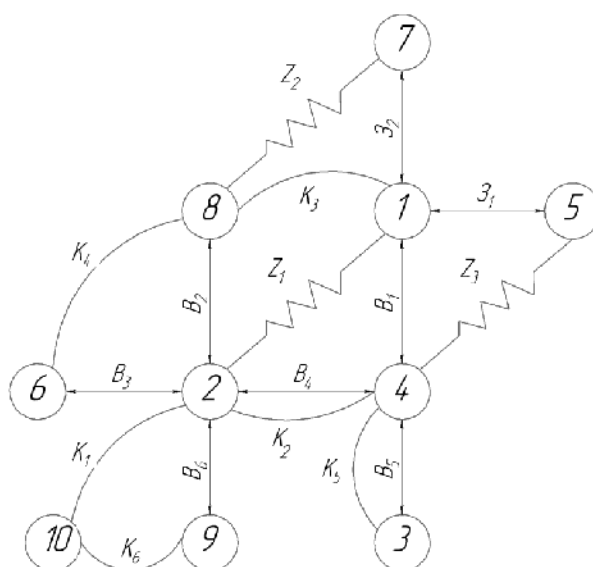


Рисунок 2.8 – Суміщене граф дерево

Правильність побудови граф-дерева є наступні ознаки:

- Число вершин у кожного дерева рівна числу поверхонь на розмірній схемі тех. процесу;
- Число ребр у кожного дерева рівна числу вершин, зменшеному на одиницю;
- До кожної вершини похідного дерева, окрім кореневої, підходить лише одна стрілка орієнтованого ребра, а до кореневої вершин – жодної;
- Суміщене граф-дерево має замкнені контури.

Користуючись граф-деревом складемо рівняння технологічних розмірних ланцюгів:

Таблиця 2.5 – Рівняння технологічних розмірних ланцюгів

№	Розрахункові рівняння	Вхідні рівняння	Невідома ланка
1	$B_2 - K_3 = 0$	$B_2 = K_3$	B_2
2	$B_4 - K_2 = 0$	$B_4 = K_2$	B_4
3	$B_5 - K_5 = 0$	$B_5 = K_5$	B_5
4	$B_3 - B_2 + K_4 = 0$	$B_3 = B_2 - K_4$	B_3
5	$B_6 - K_1 + K_6 = 0$	$B_6 = K_1 - K_6$	B_6
6	$B_1 - B_4 + Z_1 = 0$	$B_1 = B_4 - Z_1$	B_1
7	$Z_1 - B_1 - Z_3 = 0$	$Z_1 = B_1 + Z_3$	Z_1
8	$Z_2 - B_2 - Z_1 + Z_2 = 0$	$Z_2 = B_2 + Z_1 - Z_2$	Z_2

Проміжні мінімальні припуски визначаємо нормативними способом згідно [6,7].

Для проведення необхідних розрахунків в подальшому потрібно визначити проміжні мінімальні припуски за довідником [10,12]. При цьому, оскільки в даному випадку ми розглядаємо торці, які входять в один діапазон, тому мінімальний припуск буде:

$$Z_{1\min} = 7,5 \text{ мм};$$

$$Z_{2\min} = 7,5 \text{ мм};$$

$$Z_{3\min} = 4,9 \text{ мм}.$$

Наведемо значення конструкторських розмірів:

$$K_1 = 254_{-1,3};$$

$$K_2 = 37 \pm 0,31;$$

$$K_3 = 226 \pm 0,25;$$

$$K_4 = 8_{-0,36};$$

$$K_5 = 20 \pm 0,26;$$

$$K_6 = 16 \pm 0,75;$$

Визначаємо технологічні розміри, розміри вихідної заготовки та максимальні припуски.

Відповідно до наведених вище рівнянь ми повинні знайти значення тех. розмірів, розмірів заготовки та припусків. Ці значення дозволять надалі побудувати технологічну документацію з вказанням всіх технологічних розмірів та їх допусків.

$$B_2 = K_3 = 226 \pm 0,25 \text{ (мм)};$$

$$B_4 = K_2 = 37 \pm 0,31 \text{ (мм)};$$

$$B_5 = K_5 = 20 \pm 0,26 \text{ (мм)};$$

$$B_3 = B_2 - K_4 ;$$

$$B_{3 \min} = B_{2 \min} - K_{4 \max} = 225.75 - 8 = 217.75 \text{ (мм)};$$

$$B_{3 \max} = B_{2 \max} - K_{4 \min} = 226.25 - 7.964 = 218.61 \text{ (мм)};$$

$$B_3 = 218.6_{-1.15} \text{ (мм)};$$

$$B_6 = K_1 - K_6$$

$$B_{6 \min} = K_{1 \min} - K_{6 \max} = 252.7 - 16.75 = 235.95 \text{ (мм)};$$

$$B_{6 \max} = K_{1 \max} - K_{6 \min} = 254 - 15.25 = 238.75 \text{ (мм)};$$

$$B_6 = 238.2_{-1.1} \text{ (мм)};$$

$$B_1 = B_4 + Z_1$$

$$B_{1 \min} = B_{4 \max} + Z_{1 \min} = 37,31 + 7.5 = 44,81 \text{ (мм)};$$

$$B_{1 \max} = B_{4 \min} + T(B_1) = 44,81 + 0.62 = 45,43 \text{ (мм)};$$

$$B_1 = 45,43_{-0.62} \text{ (мм)};$$

$$3_1 = B_1 + Z_3$$

$$3_{1 \min} = B_{1 \max} + Z_{3 \min} = 45,43 + 4.9 = 50,33 \text{ (мм)};$$

$$3_{1 \max} = 3_{1 \min} + T(3_1) = 50,33 + 1.15 = 51,48 \text{ (мм)};$$

$$3_1 = 51,48_{-1.15} \text{ (мм)};$$

$$3_2 = B_2 + Z_1 - Z_2$$

$$3_{2 \min} = B_{2 \min} + Z_{1 \min} - Z_{2 \min} = 225.75 + 7.8 - 7.8 = 225.75 \text{ (мм)};$$

$$3_{2 \max} = 3_{2 \min} + T(3_2) = 225.75 + 0,74 = 226.49 \text{ (мм)};$$

$$3_2 = 226.49_{-0.74} \text{ (мм)};$$

$$Z_{2 \max} = B_{2 \max} + Z_{1 \min} - 3_{2 \min} = 226.25 + 7.8 - 226.49 = 6.76 \text{ (мм)};$$

$$Z_{1 \max} = B_{1 \max} - B_{4 \min} = 45,43 - 36.69 = 8.74 \text{ (мм)};$$

$$Z_{3 \max} = Z_{1 \max} - B_{1 \min} = 51,48 - 44,81 = 6.67 \text{ (мм)}.$$

В результаті ми дізнаємось що всі технологічні розміри і розміри заготовки визначено вірно, отже не потребують уточнення.

2.4 Розрахунок проміжних припусків і технологічних розмірів на механічну обробку циліндричної поверхні $\varnothing 100^{+0,054}$.

Визначення значення R і T проводимо відповідно до рекомендацій наведених в [1], враховуємо, що для заготовки дані рівні 200 та 150. При попередньому розточуванні приймаємо $R_z=50$, $T=50$ мкм, а при остаточному розточуванні $R_z=20$ мкм, $T=25$ мкм, при тонкому $R_z=5$ мкм, $t=10$ мкм [10].

Сумарне значення просторових відхилення для даної заготовки та її типу, визначаємо за формулою:

$$p_z = \sqrt{p_{\text{жол}}^2 + p_{\text{зм}}^2} \quad (2.4)$$

$$p_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_k d)^2 + (\Delta_r l)^2} = \sqrt{(0.7 \times 100)^2 + (0.7 \times 226)^2} = 158,2 \text{ (мкм)}$$

Де $d=100$ мм – діаметр оброблюваної деталі;

$\Delta_k = 0.7$ – питома кривизна заготовки.

При визначенні $p_{\text{зм}}$, варто звернути увагу на точність розміщення базових поверхонь, які використовуються на даній схемі установки і отримуваних на попередніх операціях, відносно оброблюваної поверхні в даній установці.

$$P_{\text{зм}} = \delta(226) = 1000 \text{ (мкм)}.$$

$$p_{\text{ж.ліз}} = \sqrt{158,2^2 + 1000^2} = 1012$$

При обраних переходах механічної обробки:

$$p_n = k \times p_{n-1} \text{ . [мкм]} \quad (2.5)$$

$$p_2 = 0,06 \times 1012 = 60,7$$

$$p_3 = 0,06 \times 60,7 = 3,6$$

$$p_4 = 0,06 \times 3,6 = 0,21$$

На основі отриманих даних можемо провести розрахунок мінімальних значень між операційних припусків, за формулою:

$$2Z_{min} = 2 \left(R_{z1} + T_1 + \sqrt{p_{i1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), [\text{мкм}] \quad (2.6)$$

ε_1 – похибка установки при чорновому точінні.

Похибка установки при попередньому точінні:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2} \quad (2.7)$$

Де ε_1 – похибка базування;

ε_1 – похибка закріплення.

При обробці даної поверхні $\varepsilon_2 = 0$, $\varepsilon_3 = 100$ мкм [10].

$$\varepsilon_1 = \sqrt{0 + 100^2} = 100 \text{ (мкм)}$$

ε_2 – похибка установки при чистовому точінні.

$$\varepsilon_2 = 0,05 \times \varepsilon_1 = 0,05 \times 100 = 5 \text{ (мкм)}$$

Мінімальний припуск

Попереднє розточування:

$$2Z_{1min} = 2 \left(200 + 150 + \sqrt{1012^2 + 100^2} \right) = 2 \times 1366 \text{ (мкм)}$$

Попереднє розточування:

$$2Z_{2min} = 2 \left(50 + 50 + \sqrt{60,7^2 + 100^2} \right) = 2 \times 217 \text{ (мкм)}$$

Остаточне розточування:

$$2Z_{3min} = 2 \left(25 + 20 + \sqrt{3.6^2 + 5^2} \right) = 2 \times 51 (\text{мм})$$

Тонке розточування:

$$2Z_{4min} = 2 \left(5 + 10 + \sqrt{0.21^2 + 0^2} \right) = 2 \times 15 (\text{мм})$$

Розрахункові розміри

При остаточному розточуванні повинні отримати розмір вказаний на кресленні:

$$D = \varnothing 100,054 \text{ мм.}$$

Наступні розміри отримаємо послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску, на кожний технологічний перехід. Даним способом отримуємо:

Для тонкого розточування:

$$D_1 = 100.054 - 2 \times 15 = 100,024 \text{ мм}$$

Для остаточного розточування:

$$D_2 = 100,024 - 2 \times 51 = 99,92 \text{ мм}$$

Для попереднього розточування:

$$D_3 = 99,92 - 2 \times 217 = 99,486 \text{ мм}$$

Для попереднього розточування:

$$D_4 = 99,486 - 2 \times 1366 = 96,754 \text{ мм}$$

Значення допусків на кожний перехід приймаємо за таблицями відповідно до квалітету виду обробки: для остаточного тонкого допуск складає 54 мкм, відповідно для 8 квалітету; для остаточного розточування допуск складає 87 мкм, відповідно до 9 квалітету; для попереднього розточування допуск складає 140 мкм, відповідно до 10 квалітету; для попереднього розточування допуск складає 0,35 мм, відповідно до 12 квалітету; для заготовки допуск складає 0,87 мм, відповідно до 14 квалітету.

Максимальні граничні розміри отримують через розрахункові розміри, заокругленими до точності допуски відповідного переходу.

Мінімальні граничні розміри визначаємо через віднімання від найбільших граничних граничних розмірів допусків відповідного переходу.

$$D_1 = 100,054 - 0,054 = 100 \text{ мм}$$

$$D_2 = 100,024 - 0,087 = 99,937 \text{ мм}$$

$$D_3 = 99,920 - 0,140 = 99,884 \text{ мм}$$

$$D_4 = 99,486 - 0,35 = 99,137 \text{ мм}$$

Для заготовки:

$$D_5 = 96,754 - 0,87 = 95,884 \text{ мм}$$

Мінімальні граничні розміри для припусків $R_{\min}$ рівні різниці між найбільшим граничним розміром та попереднього переходу, а максимальне $R_{\max}$ – різниця найменшого розмірах.

Для тонкого розточування:

$$Z_{\max 4} = 100.054 - 100.024 = 30 \text{ мкм}$$

$$Z_{\min 4} = 100 - 99.937 = 63 \text{ мкм}$$

Для остаточного розточування:

$$Z_{\max 3} = 100.024 - 99.920 = 104 \text{ мкм}$$

$$Z_{\min 3} = 99,937 - 99,884 = 53 \text{ мкм}$$

Для попереднього розточування:

$$Z_{\max 2} = 99,920 - 99,486 = 434 \text{ MKM}$$

$$Z_{\min 2} = 99,884 - 99.137 = 747 \text{ MKM}$$

Для попереднього розточування:

$$Z_{\max 1} = 99,486 - 96,754 = 2732 \text{ MKM}$$

$$Z_{\min 1} = 99,137 - 95,884 = 3253 \text{ MKM}$$

Всі результати проведених розрахунків заповнено в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 Розрахунок припусків та граничних розмірів по технічним переходам на обробку Ø100H8.

[illegible]

Загальні припуски $Z_{\max 0}$ та $Z_{\min 0}$ Визначаємо проміжні припуски:

$$Z_{\min 0} = 30 + 104 + 434 + 2732 = 3300 \text{ (мкм)};$$

$$Z_{\min 0} = 63 + 53 + 747 + 3253 = 4116 \text{ (мкм)}.$$

За нормативи приймаємо відповідно до таблиці 2,7

Таблиця 2.7 – Проміжні припуски за нормативами

Розмір деталі	Стадія обробки	Припуск на перехід	Отримуваний розмір
Ø120H12	Заготовка		Ø132
	Попереднє розточування	9,6	Ø 122,4
	Остаточне розточування	2,4	Ø 120

Оскільки решта поверхонь обробляється за один прохід, наводити нормативні дані припусків не є необхідним.

2.5 Визначення режимів різання

Приведемо приклад розрахунків різання для обробки на токарному верстаті (чорнова обробка на пов Ø100)

Швидкість різання для токарної операції розраховується за формулою

$$U = (C_u / T^m \times t^x \times s^y) K_u 0.9 \text{ [м/хв]}. \quad (2.8)$$

Де C_u – коефіцієнт для визначення швидкості різання;

T – період стійкості інструменту(різця, свердла, фрези) ;

m, x, y – показники ступеня для визначення швидкості різання;

s – 1,0/об – подача при точінні;

t – 1,623 мм – глибина різання при розточуванні;

K_u – загальний поправочний коефіцієнт для швидкості різання.

Значення коефіцієнта T , C_u та інших показників степені вибираємо з таблиць. Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, який враховує фактичну умову різання розраховується:

$$K_u = K_{Mu} \times K_{Hu} \times K_{Iu}, \quad (2.9)$$

K_{Mu} – коефіцієнт, який враховує якість обробки матеріалу і розраховується:

$$K_{Mu} = (750/B_B)^m = (750/180)^{1.25} = 5.953$$

HB – твердість по Брюнелю

N_u – показник ступеня

K_{Pu} – коефіцієнт, який враховує якість поверхні заготовки. $K_{Pu} = 0.85$.

K_{Iu} – коефіцієнт, який враховує матеріал заготовки $K_{Iu} = 0.75$.

$$K_u = 5.953 \times 0.85 \times 0.75 = 3.795$$

$$V = (420 / 100^{0.2} \times 1,623^{0.15} \times 1^{0.2}) \times 3,795 \times 0.9 = 531,07 \text{ [м/хв]}$$

Сила різання при точінні розраховується по формулі:

$$P_z = 10 \times C_p \times t^x \times s^y \times v^n \times K_p \quad (2.10)$$

Де C_p – коефіцієнт для визначення сили різання;

n , x , y – показники степеня для визначення сили різання;

s – 1.0 мм/об – подача при точінні;

K_p – загальний поправочний коефіцієнт для сили різання.

$$K_p = K_{Mp} \times K_{qrp} \times K_{yp} \times K_{\lambda p} \times K_{tp}. \quad (2.11)$$

Значення коефіцієнта K_p і показники степенів вибираємо з таблиці [13].

$$K_p = 3,795 \times 1,08 \times 1,1 \times 0,97 \times 0,9 = 3,93.$$

$$P_z = 10 \times 200 \times 1,623^{0,72} \times 1^{0,8} \times 531,07^0 \times 3,93 = 11139,1 \text{ (Н)}$$

Визначаємо частоту обертання:

$$n = 1000 \times v / \pi \times 100 = 1000 \times 531,07 / 3,14 \times 100 = 1691,3$$

За паспортом верстата приймаємо $n_{up} = 200$ (об/хв).

Корегуємо швидкість різання:

$$V_\phi = \pi \times D \times n / 1000 = 3,14 \times 100 \times 200 / 1000 = 62,8 \text{ (м/хв)}$$

Потужність різання:

$$N = P_z \times V_\phi / 60 \times 1020 = 11139,1 \times 62,8 / 60 \times 1020 = 11,4 \text{ (кВт)}$$

$N_u > N$ (15 кВт > 11,4 кВт) – обробка заданої поверхні можлива.

Розраховуємо режими різання для свердлильних операцій (свердлінні отвору Ø13).

$$U = C_v \times D^q / T^m \times s^y \text{ [м/хв]} \quad (2.12)$$

Де C_u – коефіцієнт для визначення швидкості різання;

T – період стійкості інструменту(різця, свердла, фрези) ;

m, x, y – показники степеня для визначення швидкості різання;

s – 0,4/об – подача при точінні;

K_u – загальний поправочний коефіцієнт для швидкості різання.

$$K_u = K_{Mu} \times K_{Pu} \times K_{Iu}, \quad (2.13)$$

K_{Mu} – коефіцієнт, який враховує якість обробки матеріалу і розраховується:

$$K_{Mu} = (750/B_B)^m = (750/180)^{1.25} = 5.953$$

$$K_u = 5.953 \times 0.85 \times 0.75 = 3.795$$

$$U = C_v \times D^q / T^m \times s^y = 16,2 \times 13^{0,4} / 23^{0,2} \times 0,4^{0,5} = 38,1 \text{ (м/хв)}$$

Поправочний коефіцієнт і показники степенів визначаємо із довідників [13].

Осьова сила при свердлінні:

$$P_u = 10 \times D^q \times C_p \times s^y \times K_p = 10 \times 13 \times 68 \times 0,4^{0,7} \times 3,93 = 1829,3 \text{ (Н)}$$

Визначаємо частоту обертання:

$$n = 1000 \times v / \pi \times D = 1000 \times 38,1 / 3,14 \times 13 = 1691,3 \text{ (об/хв)}$$

За паспортом верстата приймаємо $n_{up} = 1400 \text{ (об/хв)}$.

Корегуємо шв. різання:

$$V_\phi = \pi \times D \times n / 1000 = 3,14 \times 13 \times 1400 / 1000 = 57,1 \text{ (об/хв)}$$

Потужність різання:

$$N = 1829,3 \times 57,1 / 1020 \times 60 = 1,7 \text{ (кВт)}.$$

$N_b > N$ (4 кВт > 1,7 кВт) – обробка заданої поверхні можлива.

Решта переходів знаходимо аналогічно, дані розрахунків представлені в таблиці 2,8.

Таблиця 2.8 – режими різання

	Операції та переходи	T, мм	S, Мм/об	n _{уп} , об/хв	V _{уп} , м/хв
	Операція 005				
2	Точити пов. Ø120 попередньо	4,8	0,8	200	73,4
3	Точити пов. Ø120 остаточно	2,4	0,8	200	152,32
	Операція 010				
2	Точити торець 150 × 150 однократно	2,8	1,5	200	237,2
3	Розточити пов. Ø100Н8 попередньо	2,5	0,15	200	108,9
4	Розточити канавки 8мм однократно	0,5	1	200	73,11
5	Розточити пов. Ø100Н8 попередньо	1,4	0,15	200	112,2
6	Розточити пов. Ø100Н8 остаточно	0,1	0,1	400	188,3
	Операція 015				
2	Центрувати 2 місця під К3/8"	2	0,15	1400	17,58
3	Свердли 2 отвори Ø10 під різь К3/8"	7,1	0,14	1400	2,77
4	Фрезерувати Ø10 під різь К3/8"	0,1	0,15	1400	2,51
5	Зенкувати фаски в 2 отв під різь К3/8"	2	0,15	1400	103,65
6	Нарізати різь в 2 отв. Різь К3/8"	0,75	0,75	1400	2,77
	Операція 020				
2	Фрезерувати торець □150 × 150 однократно	2,8	0,145	1600	187,17
3	Фрезерувати паз 32 однократно	1,7	0,1	1600	73,51
4	Центрувати 4 місця під отв.Ø13 та 5 міць під отв. М12-6Н	2	0,15	1600	17,58
5	Свердли 4 місця під отв.Ø13	7,3	0,17	1600	65,91
6	Свердли 5 міць під отв. М12-6Н	8	0,1	1600	67,23
7	Зенкувати фаски в 5 отв під різь М21-6Н	2,3	0,15	1600	102,93
8	Нарізати різь в 5 отв. Різь М21-6Н	0,75	0,75	1600	2,77
	Операція 025				
2	Розточити пов. Ø100Н8 однократно	0,015	0,1	860	324,21

3 РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК

3.1 Розробка 3D – моделі деталі

У сучасному виробничому процесі тривимірна модель відіграє ключову роль як цифровий прототип майбутнього виробу. Вона дозволяє здійснити комплексний аналіз конструкції ще на етапі проектування, що суттєво підвищує ефективність розробки, зменшує кількість помилок на виробництві та сприяє оптимізації технологічного циклу.

Для створення тривимірної моделі в даному дослідженні було застосовано програмне забезпечення SolidWorks, яке широко використовується в інженерній практиці та адаптоване для навчального процесу у вищих навчальних закладах [15–17]. Даний програмний продукт забезпечує високий рівень деталізації, можливість моделювання складних геометричних форм і проведення інженерного аналізу, що є важливим у підготовці майбутніх фахівців технічного профілю.

3.1.1 Коротка характеристика обраної CAD-системи

SolidWorks — це програмне забезпечення, розроблене компанією *SolidWorks Corp.*, яке є ефективним інструментом для вирішення щоденних завдань інженера-проектувальника. Воно дає змогу реалізувати повний цикл прокатування: від створення тривимірної моделі до проведення інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності та призначення.

Програма підтримує роботу з великими складальними одиницями без обмежень щодо кількості компонентів, забезпечує зручні засоби для оформлення конструкторської документації, моделювання виробів з листового металу та створення фото реалістичних зображень. Важливо, що SolidWorks повністю відповідає вимогам стандарту ЄСКД у частині оформлення технічної документації [15, 16].

3.2 Методика створення 3D – моделі деталі її докладним описом дій будування.

Наведемо основні операції побудови 3D моделі деталі «Стакан».

Розпочинаємо роботу у вкладці «Нова деталь». Для будування активуємо вкладку «Ескіз» та наводимо на відповідну площину.

Зображуємо профільний вид деталі (рис. 3.1) та функцією «Обертання» створюємо деталь. В результаті отримуємо модель(рис. 3.2)

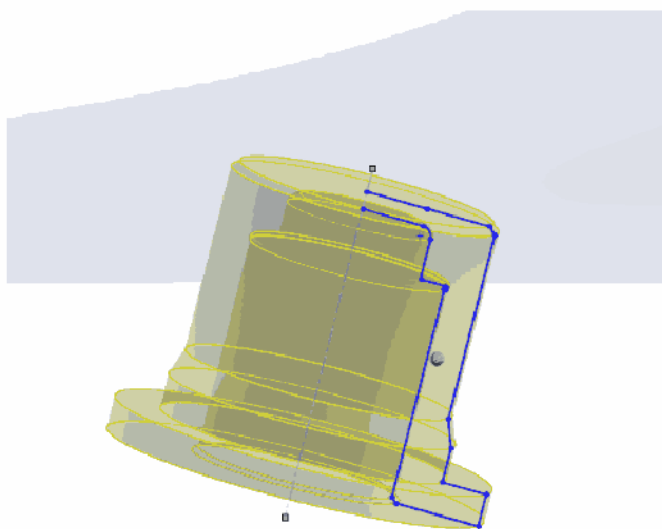


Рисунок 3.1 - Створення основної частини деталі через «Обертання»

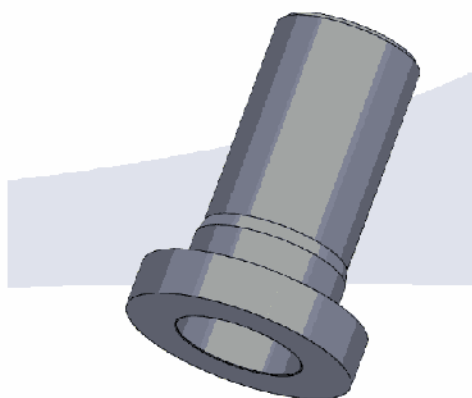


Рисунок 3.2 – 3D-модель після операції «Обернути»

Після першої операції потрібно створити форму фланця, яка відповідає кресленню. Для цього користуємося операцією «Видавлювання». Використовуючи операцію «Вирізати» створюємо місце для отворів на фланцевій частині (рис. 3.3),

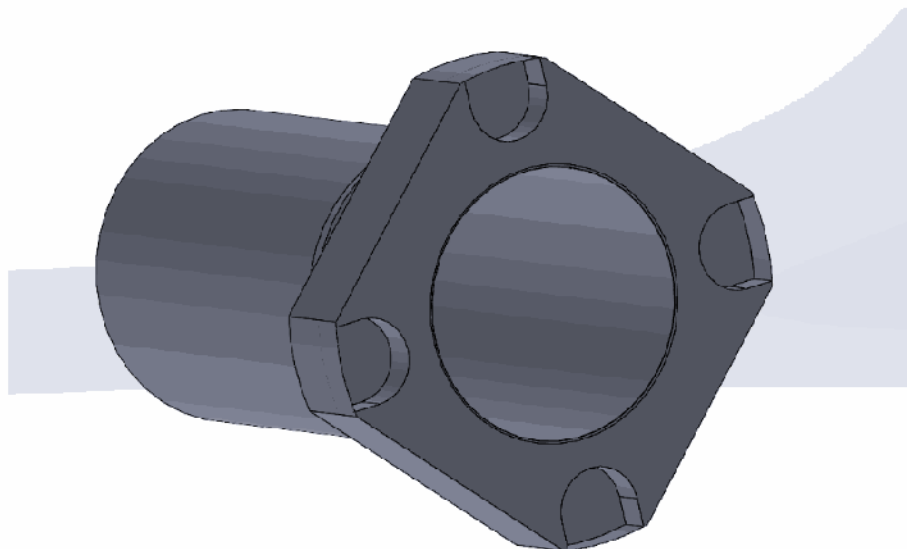


Рисунок 3.3 – створення фланцевої частини

Для створення отворів на фланцевих частин використаємо операцію вирізання видавлюванням, створивши ескіз кіл отворів (рис. 3.4).

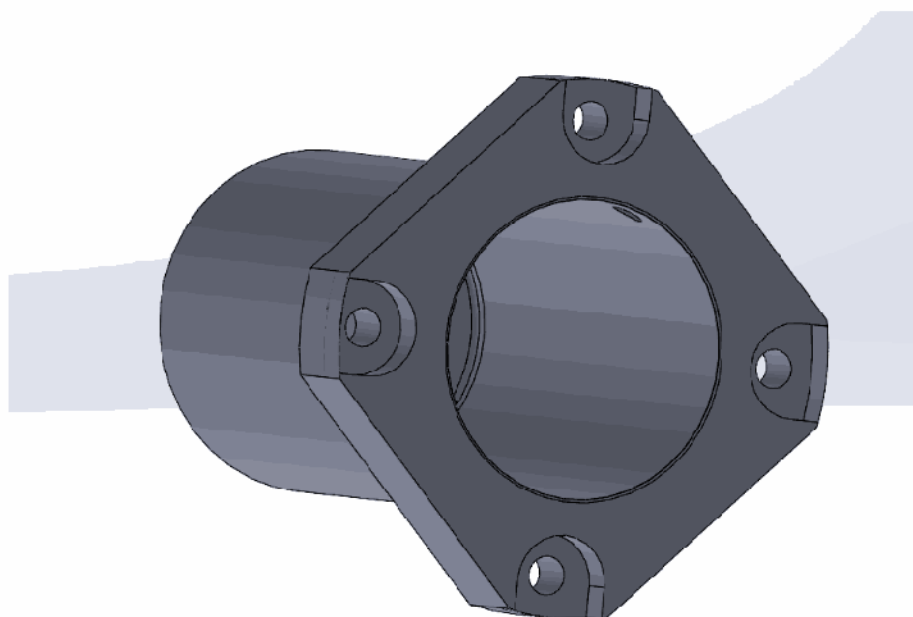


Рисунок 3.4 – Створення місць для отворів на фланцевій частині

Для створення радіальних отворів використаємо бібліотеку стандартних отворів (рис. 3.5).

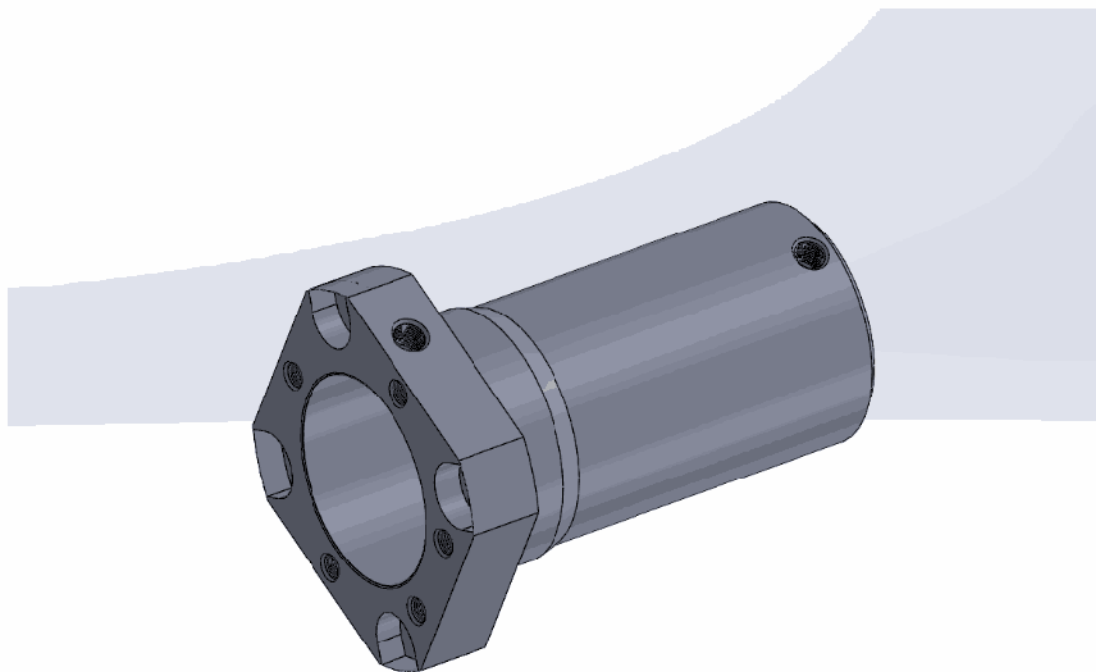


Рисунок 3.5 – Створення радіальних отворів

3.3 Характеристика САМ програми

САМ-програми — це інструменти, що дозволяють створювати траєкторії обробки для верстатів із ЧПК на основі 3D або 2D моделей. Вони автоматизують процес генерації управляючих програм, що значно спрощує виготовлення складних деталей. Однією з таких систем є SolidCAM Pro, яка орієнтована на моделювання і обробку художніх та декоративних елементів.

Основні функції таких програм:

- Імпорт графічних даних у різноманітних форматах: DXF, DWG, STL, BMP, JPG, та ін.
- Можливість створення ескізів, контурів, моделей та редагування геометрії.
- Побудова траєкторій різних типів обробки — контурної, фасонної, площинної тощо.

- Візуалізація процесу обробки в режимі симуляції.
- Генерація коду УП (управляючої програми) для різних типів ЧПК-верстатів.

CAM-системи також забезпечують розрахунок швидкостей, глибини та кутів нахилу інструмента, що дозволяє автоматизувати створення УП для 3-осьових і 5-осьових обробних центрів.

Вони підтримують обробку за твердо тільними моделями (STL, 3DS тощо) й надають можливість контролювати якість поверхонь при виготовленні штамтів, прес-форм або дизайнерських об'єктів.

3.4 Порядок створення програми для верстата з ЧПК

В даному розділі роботи виконуємо розробку керуючої програми для верстату з ЧПК, моделі 2P135Ф2, операції 015.

У середовищі SolidCAM ми працюємо з трьох вимірними елементами, адже беручи до уваги форму деталі та позиціонування свердлильно-центрувальних переходів, це ефективно. Вхідними даними для операції є 3D модель, яка була розроблена попередньо та інтегрована.

Роботу розпочинаємо з перенесення 3D моделі у середовище SolidCAM та обираєм базу для неї (рис. 3.6)

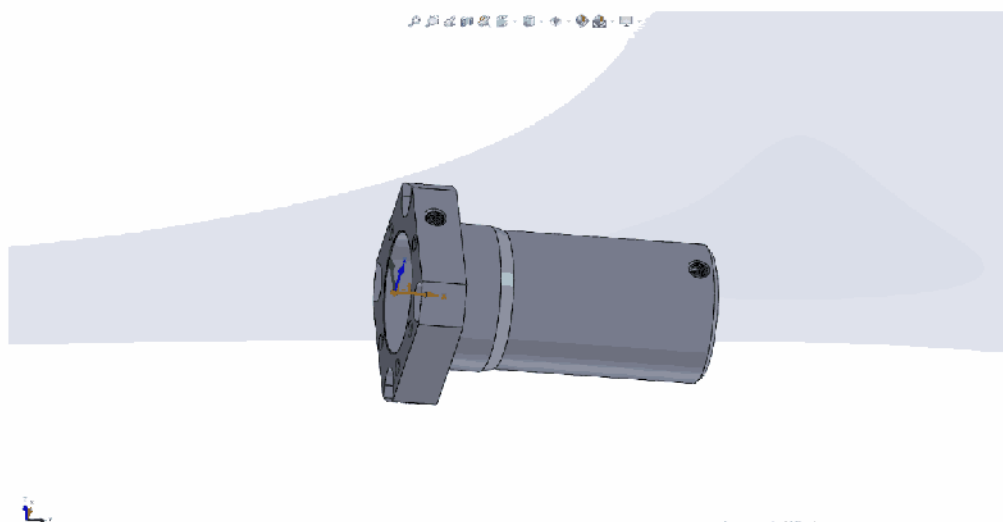


Рисунок 3.6 – Перенесена модель у середовище SolidCAM з обраною базою

Наступним кроком ми обираємо інструменти, їх геометричні параметри і режими (рис. 3.7)

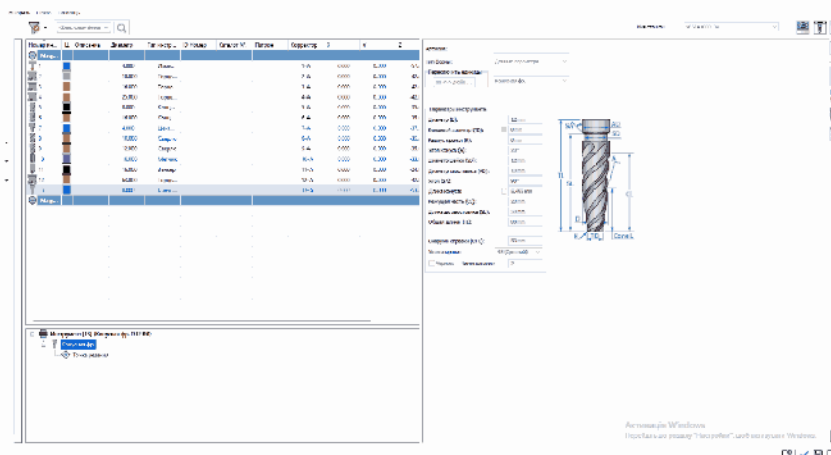


Рисунок 3.7 –Панель введення параметрів інструментів

Після введення параметрів різання та решти значень, можливо переглянути траєкторію руху інструментів (рис. 3.8)

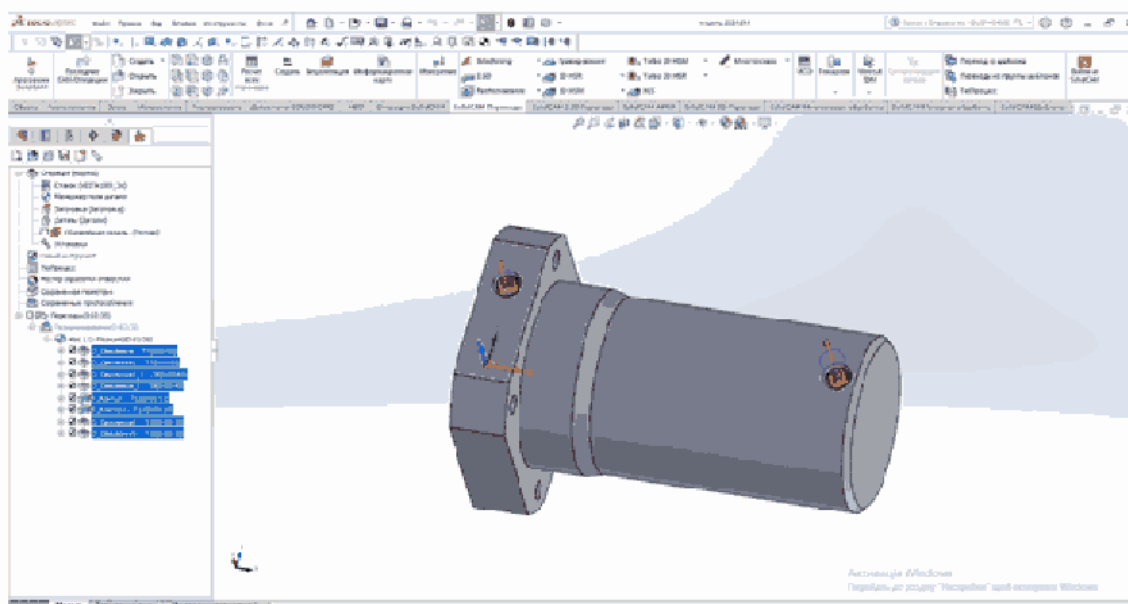


Рисунок 3.8 – траєкторія руху інструментів

Після введення усіх переходів можемо переглянути результат та покрокову симуляцію операції, за допомогою функції << Візуалізація >> у вкладці << SolidVerify >> (рис 3,9)

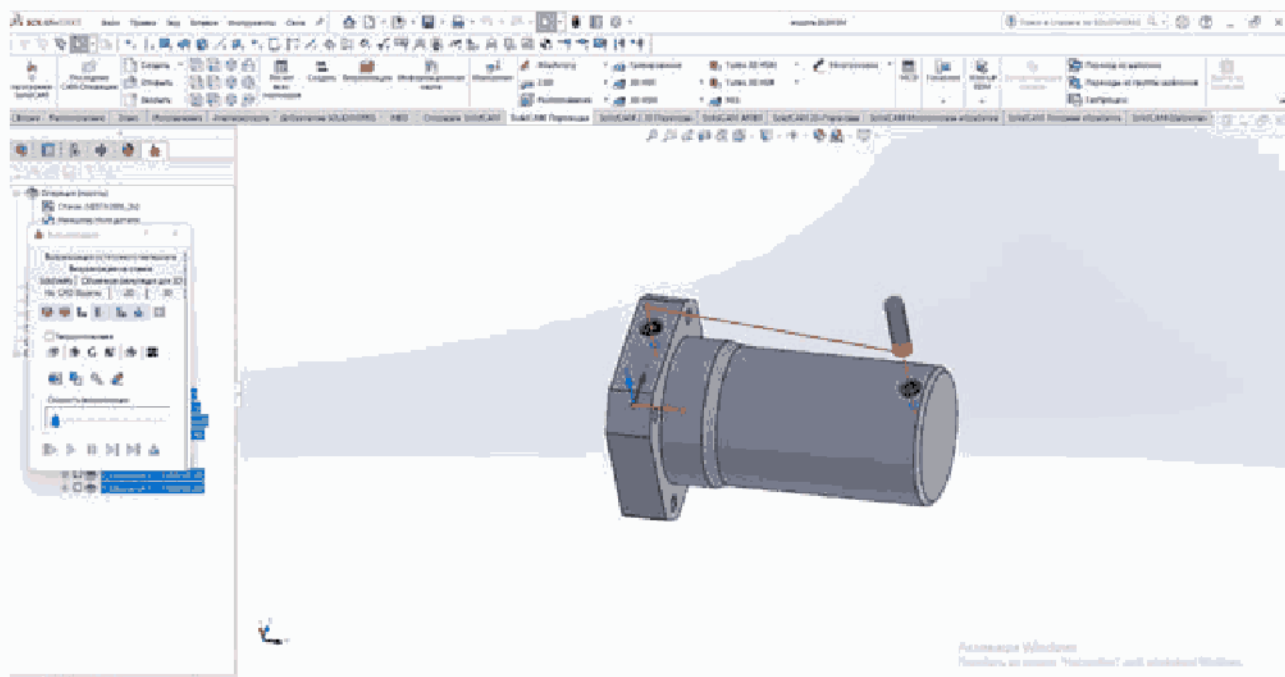


Рисунок 3.9 – Візуальна симуляція операції

Якщо при створення програм не було помилок, виявлених при симуляції, ми можемо зберегти її для подальшого Використання на верстатах з ЧПК (рис. 3.10)

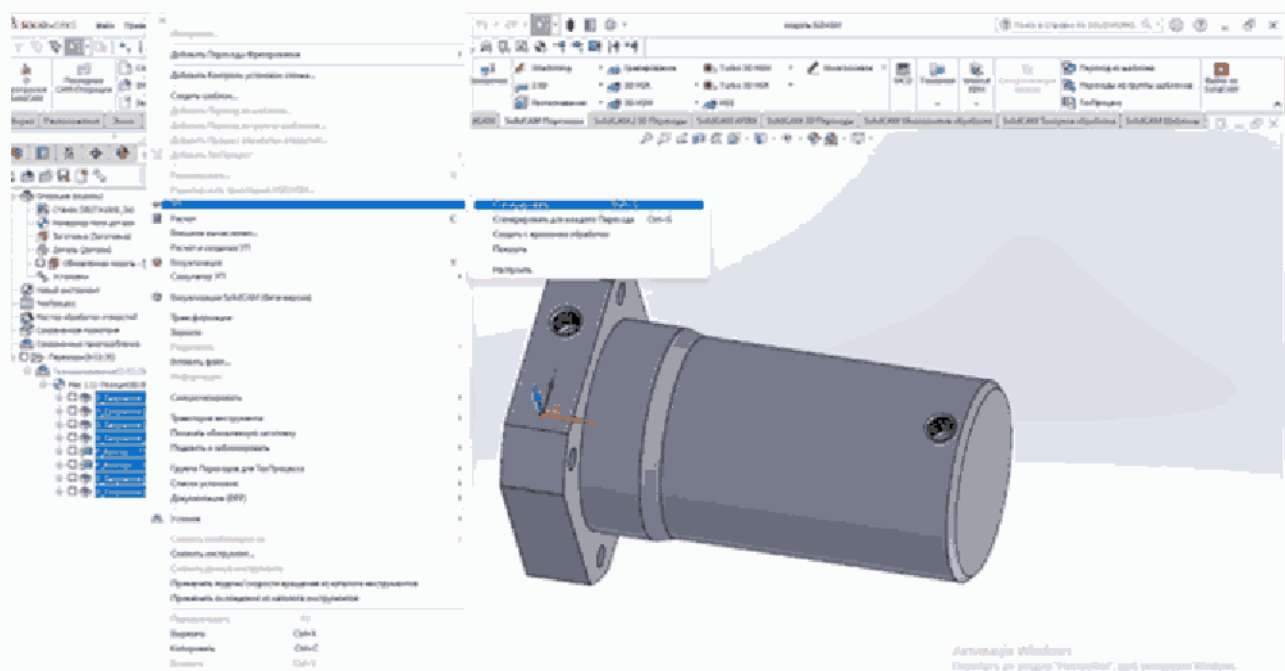


Рисунок 3.10 – Збереження програми

Розроблена програма представлена в додатку Б.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Метою розділу є проведення атестації робочого місця за умовами праці, що розміщене в приміщенні, яке зв'язане з напрямком майбутнього спеціаліста після завершення вишого учбового закладу.

4.1 Причини виникнення, дія на організм людини та нормування шкідливих та небезпечних виробничих чинників у виробничому приміщенні

Під час роботи в даному приміщенні, виникає низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які класифікуються за [18].

Дане приміщення характеризується небезпечними та шкідливими виробничими факторами фізичної, хімічної, біологічної та психофізіологічної груп [18, 19], які розподіляються так:

1) Фізичні небезпечні і шкідливі виробничі фактори: високий рівень інфразвуку, шуму, ультразвуку та вібрації; підвищений рівень електромагнітних випромінювань; підвищена або понижена температура, вологість і швидкість руху повітря робочої зони; підвищена інтенсивність теплового випромінювання; відсутність або недостатність природного освітлення; недостатня освітленість робочої зони.

2) Хімічні небезпечні і шкідливі фактори – шкідливі хімічні речовини.

3) Біологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори – немає.

4) Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі фактори:

а) фізичні перевантаження – відсутні.

б) нервово-психічні перевантаження: перенапруження аналізаторів; монотонність праці.

Вкажемо імовірні підстави появи вказаних чинників і стисло

опишемо їхню дію на організм людини, оформивши їх в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Причини виникнення НШВФ та їхня дія на організм людини

НШВФ	Причини виникнення	Дія на організм людини
Високий рівень шуму і вібрації	робота таких елементів комп'ютерів, як жорсткий диск, вентилятори блоку живлення, охолодження мікропроцесора, швидкісні пристрої для зчитування та запису інформації з оптичних носіїв, механічні сканери, пересувні механічні частини принтера	швидка стомленість працюючих, погіршення слуху, нервові розлади
Високий рівень інфразвуку	інфразвукові складові, що як правило, присутні у спектрі шуму, який генерується промисловими установками і транспортними засобами	супроводжується відчуттям обертання, розхитування, почуттям тривоги, страху, біллію у вухах, порушенням роботи органів рівноваги
Високий рівень ультразвуку	супутній фактор при експлуатації технологічного і вентиляційного устаткування	зсуви у стані нервової, серцево-судинної, дихальної, ендокринної системах організму, у обміні речовин та терморегуляції людини
Підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону	вимірювальні та контролюючі пристрої, дослідницькі установки, а також ЕОМ	може спровокувати при постійному впливові стійкі функціональні зміни у центральній нервовій та серцево-судинній системах, а при тривалому впливі – підвищену стомлюваність, дратівливість, головний біль тощо
Підвищений рівень електромагнітних випромінювань радіочастотного діапазону	вимірювальні та контролюючі пристрої, дослідницькі установки, а також ЕОМ	може спровокувати при постійному впливові стійкі функціональні зміни у центральній нервовій та серцево-судинній системах, а при тривалому впливі – підвищену стомлюваність, дратівливість, головний біль тощо

Продовження таблиці 4.1

НПВФ	Причини виникнення	Дія на організм людини
Підвищена або понижена температура повітря робочої зони	може бути спричинена тим, що при роботі ЕОМ утворене тепле повітря видують назовні із системного блоку спеціальні вентилятори. Це приводить до підвищення температури в приміщенні	тепловий удар, який супроводжується втратою свідомості, блювотою, судомами
Підвищена або понижена відносна вологість повітря робочої зони	при роботі ПК утворене тепле повітря видують назовні із системного блоку спеціальні вентилятори, що приводить до зниження вологості повітря	зменшення або збільшення тепловіддачі організмом працівника, що сприяє його перегріванню або переохолодженню
Підвищена або понижена швидкість руху повітря робочої зони	нераціональні параметри системи вентиляції або її відсутність	порушення реакції терморегуляції організму людини
Підвищена інтенсивність теплового випромінювання	тепло, що потрапляє у виробниче приміщення від обладнання, опалювальних приладів, людей тощо	перегрівання організму людини
Відсутність або недостатність природного освітлення	наявність конфронтуючих будинків та споруд	ускладнює виконання роботи, може призвести до нещасного випадку і захворюванню органів зору працюючого
Недостатня освітленість робочої зони	відсутність або недостатність природного освітлення, мала потужність світильників та ламп штучного освітлення та ін	низька продуктивність праці, оскільки очі працівника перенапружуються, при цьому стає складно відрізнити оброблювані предмети
Шкідливі хімічні речовини в повітрі робочої зони	у приміщеннях із ПК оператори піддаються впливу пилу, що притягається до працюючого та сильно наелектризованого устаткування	Пил, що осідає в легенях викликає захворювання – пневмокніоз.
Перенапруження аналізаторів	інтенсивна робота за ЕОМ	різка втома органів зору працівника і погіршення зору
Монотонність праці	одноманітність роботи працюючого	викликає у працівника переоцінку тривалості робочого часу (змінна здається значно довшою), а також підвищує аварійність і травматизм, призводить до плинності кадрів

Обґрунтуємо вибір нормованих значень небезпечних та шкідливих виробничих факторів.

Згідно [20] для такої шкідливої речовини, як пил зерновий, визначаємо, що вона відноситься до 2-го класу безпеки і має ГДК = 4 мг/м³.

Для виду вібрації – загальна, встановлюємо нормований еквівалентний рівень віброприскорення 33 дБ [21].

Враховуючи призначення приміщення – розробка і вид шуму – непостійний, вибираємо нормований еквівалентний рівень шуму 45 дБА [22].

Згідно рекомендацій [26] нормований загальний рівень інфразвуку 110 дБ, нормований рівень ультразвуку 110 дБ.

При частоті електричного поля радіочастотного діапазону 233,164 МГц нормована напруженість електричного поля 8-ми годинного робочого дня становить 10 В/м згідно з [23].

Нормована напруженість електричного поля промислової частоти для восьмигодинного робочого дня складає 5 кВ/м [623].

За величиною енерговитрат 281 Вт згідно з [24] вибираємо категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – Пб, для якої в теплий період року для постійних робочих місць допустима температура повітря становить 16...27 °С, допустима швидкість руху повітря 0,2...0,5 м/с, а допустима відносна вологість повітря не повинна перевищувати 70 %. Інтенсивність теплового випромінювання не повинна перевищувати 140 Вт/м².

Враховуючи найменший розмір об'єкта розрізнення 0,99 мм, встановлюємо розряд зорових робіт – 4, для якого нормоване КПО для бокового освітлення складає 1,5 % [25].

Так як приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 149°, то для таких умов нормоване КПО визначатиметься за формулою [25]:

$$e_N = e_{II} m_N [\%]; \quad (4.1)$$

$$e_N = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%),$$

де e_{II} – табличне значення КПО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За співвідношенням контрасту (малий) та фону (світлий), вибираємо підрозряд зорових робіт – в, в межах якого вибираємо нормовану освітленість для загального штучного освітлення – 200 лк.

4.2 Карта умов праці

Для здійснення атестації робочого місця потрібна карта умов праці. Атестацію робочих місць проводять за наслідками всебічного обстеження і оцінки характеру та умов праці.

4.2.1 Оцінка факторів виробничого і трудового процесів

В таблиці 4.2 наведено оцінку факторів трудового та виробничого процесів [26].

Таблиця 4.2 – Оцінка факторів трудового та виробничого процесів

Номер	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДР, ГДК)		Фактичне значення	Ступені 3-го класу: шкідливі умови і характер праці		
		нижнє	верхнє		I	II	III
1	Шкідливі хімічні речовини:						
	1-й клас безпеки		–	–			
	2-й клас безпеки		4	3,88			
	3-й, 4-й класи безпеки						
2	Вібрація		33	73			I
3	Шум		45	95			+
4	Інфразвук		110	27			
5	Ультразвук		110	58			
6	Неіонізуючі випромінювання:						
	- радіочастотний діапазон		10	118	I		
	- діапазон промислової частоти		5	4,15			
	- оптичний діапазон		0,0	0			
7	Мікроклімат у приміщенні:						
	- температура повітря, °C	16	27	15			
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2	0,5	1,1	+		
	- відносна вологість повітря, %		70	93	I		
	- інтенсивність теплового випромінювання, Вт/м ²		140	1558			
8	Виробниче освітлення:						
	- розряд зорових робіт	4		4			
	- КПО для природного освітлення, %	1,28		2,4			
	- освітленість для штучного освітлення, лк	200		715			
	Кількість факторів	–	–	–	3	I	2

4.2.2 Гігієнічна оцінка умов праці

Підвищений рівень вібрації – 3 ст.

Підвищений рівень шуму – 3 ст.

Підвищений рівень неіонізуючих випромінювань радіочастотного діапазону – 1 ст.

Підвищена швидкість руху повітря в теплий період року – 1 ст.

Підвищена відносна вологість повітря в теплий період року – 1 ст.

Підвищена інтенсивність теплового випромінювання – 2 ст.

4.2.3 Оцінка технічного й організаційного рівня

Технічний рівень робочого місця не відповідає нормативним вимогам.

4.2.4 Атестація робочого місця

Робоче місце атестовано

4.2.5 Рекомендації щодо покращення умов праці

З метою забезпечення стовано за третім ступенем шкідливості.

нормованих параметрів вібрації в приміщенні доцільно застосувати активний віброзахист шляхом введення додаткового джерела вібрації, яке діє у протифазі.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні потрібно проводити постійне змащування підшипників вентиляторів системи вентиляції.

Для забезпечення допустимих параметрів неіонізуючих випромінювань радіочастотного діапазону в приміщенні потрібно екранувати джерела випромінювання.

Для забезпечення нормованих параметрів швидкості руху повітря в приміщенні потрібно зменшити число обертів вентилятора.

З метою забезпечення допустимих параметрів відносної вологості повітря в приміщенні доцільно організувати підсушування припливного повітря.

З метою забезпечення допустимих параметрів інтенсивності теплового випромінювання в приміщенні доцільно застосувати механічну загальнообмінну вентиляцію.

4.3 Пожежна безпека

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці 4.3. В таблиці 4.4 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Таблиця 4.3 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [10]

Ступінь вогнестійкості будівлі	Стіни				Колони	Східчасті майданчики	Плити та інші несучі конструкції	Елементи покриття	
	Несучі та східчасті клітки	Самонесучі	Зовнішні несучі	Перегородки				Плити, прогони	Балки, ферми
3	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	не нормується	

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізоляційної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій.

Таблиця 4.4 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [11]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної безпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Відстань між будівлями та спорудами, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I, II	III	IV, V		1	2	3 і більше
до 15	A	3	40	25	15	45	9	12	15	1	5200	–	–

Висновки до розділу

Під час виконання цього розділу розглянуто такі питання охорони праці, як аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів у виробничому приміщенні; карта умов праці; заходи стосовно поліпшення умов праці, а також розглянуто протипожежні норми.

Висновки

В результаті виконання бакалаврської дипломної роботи розроблено технологічний процес механічної обробки заготовки деталі “ Циліндр “ з використання CAD/CAM-систем.

В ході роботи визначено, що CAD/CAM-системи є сучасним та необхідним елементом виробництва.

Тип виробництва визначено як багато-серійний. Проведено аналіз конструкцій та технологічності деталі, який показав що конструкція деталі в цілому технологічна. Деталь має гарні базові поверхні для виконання більшості операцій механічної обробки.

На основі серійності та конструктивних особливостей деталі проаналізовані можливі методи та способи отримання заготовки. Як можливий спосіб обрано лиття.

На основі аналізу існуючих типових рішень визначено основні алгоритми обробки деталі.

В другому розділі розраховано параметри заготовки, метод лиття, обраний спосіб – лиття в піщано-глинясті-форми. На основі техніко-економічного порівняння для подальших розрахунків обрано лиття в піщано-глинясті форми. Обрання даного способу може теоретично забезпечити економію витрат.

На основі типових маршрутів виготовлення подібних деталей було розроблено маршрут механічної обробки з вибором схем базування деталі та обладнання, який складається з 5 операцій на яких використовуються верстати: 1В340Ф30, 2Р135Ф2, К6Р13РФ3, МК6801Ф3.

Проведено розмірний аналіз технологічного процесу, розраховані припуски на обробку отвору, режими різання.

Виконання розмірного аналізу дозволило визначити технологічні розміри та розміри заготовки.

В третьому розділі створено 3Д-моделі деталей та заготовок в CAD системі SolidWorks, які є вихідними даними для розробки керувальних програм для верстатів з ЧПК.

За допомогою САМ-системи SolidCAM на операцію 015 створено програму обробки для верстата з ЧПК, дані для програми передіні були за допомогою експортно-імпортних операцій.

В четвертому розділі проведені розрахунки по охороні праці з відповідними розрахунками та порівняннями з нормованими значеннями показників безпеки та вказані заходи, що необхідно вжити для забезпечення оптимальних умов праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Павленко П.М. Автоматизація технічної підготовки виробництва. Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006. 114 с.
2. Степін О. А. Використання сучасних CAD/CAM/CAE/PLM-систем при кризовому паралельному циклі підготовки виробництва / О. А. Степін, С. В. Лапковський, М. О. Солдатова // Адаптивні системи автоматичного управління: міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2010. – № 17(37). – С. 109–117.
3. Лозінський Д.О., Боянок А.Б., Михальський Б.Ю., Янюкевич А.А., Гончарук М.В. Застосування CAD-систем для проектування технологічного оснащення в машинобудуванні. ВІТКІ ВНТУ. Факультет машинобудування та транспорту. Зб. матеріалів конференції. Вінниця, 2024.
4. Остроушко З. М. Системи технологій : навч. посіб. Хар. держ. акад. культури. : ХДАК, 2010. 210 с.
5. Дусанюк Ж.П., Дусанюк С.В. Методичні вказівки до виконання контрольних робіт з дисципліни "Проектування механоскладальних дільниць та цехів" для студентів напряму підготовки спеціальності "Технологія машинобудування" та "Менеджмент організацій машинобудування". Вінниця: ВДТУ, 2002. 58 с.
6. Дусанюк Ж. П., Сівак Ю. О., Дусанюк С.В. та ін. Проектування та виробництво заготовок деталей машин: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2006, 106 с.
7. Дусанюк Ж. П., Шпилька О. П., Рейпольський С. В. та ін. Проектування та виробництво заготовок деталей машин. Литі заготовки: навчальний. Вінниця : ВНТУ, 2009. 199 с.
8. Лобойко В. П. Проектування заготовок у машинобудуванні : навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2017 274 с.
9. Деріб О. В., Дусанюк Ж. П., Рейпольський С. В. Основи технологій машинобудування. Частина І. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
10. Іванов М. І., Дусанюк Ж. П., Дусанюк С. В. та ін. Технологічні основи сільськогосподарського машинобудування: навчальний посібник. Вінниця: Глобус-Прес, 2011. – 200 с.

11. Деріб О. В., Дусанюк Ж. П., Прудик В. П. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни „Технологія обробки типових деталей та складання машин” для студентів спеціальності “Технологія машинобудування” та “Мехатроніка і робототехніка”. Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
12. Юрчишин І.І., Литвиняк Я.М., Грицай І.Є., Куцик Я.М., Куций Я.М. та ін. Технологія машинобудування: Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт. Навч. посібник. Львів: Видавництво національного університету "Львівська політехніка". 2009. 528с.
13. Бурченко Ю. А., Лозінський Д. О. Технологічні основи машинобудування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний. Вінниця : ВНТУ, 2017. 106 с.
14. Мельничук П.П., Боровик А.І., Літнеєвський П.А. Технологія машинобудування. Підручник. Житомир, 2005. 876 с.
15. Пустопаль С.Г., Самосук В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк: Весна, 2018. 172 с.
16. Learning SOLIDWORKS 2022 Modeling, Assembly and Analysis / Randy H. Shih: SDC Publications, 2022.–542 p.
17. Лозінський Д. О., Петров О. В., Мироненко О. М. Методичні вказівки для виконання лабораторних робіт з дисципліни «САПІ верстатів з ЧПК». Вінниця : ВНТУ, 2018. 42 с.
18. ДСТУ 2293-99. Охорона праці. Терміни і визначення.
19. Віштак І. В. Охорона праці в галузях механічної інженерії та транспорту : навчальний посібник / І. В. Віштак, О. В. Березюк. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 195 с.
20. МОЗ України. Наказ № 1596 від 14.07.2020 "Про затвердження гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони". – 81 с.
21. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
22. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

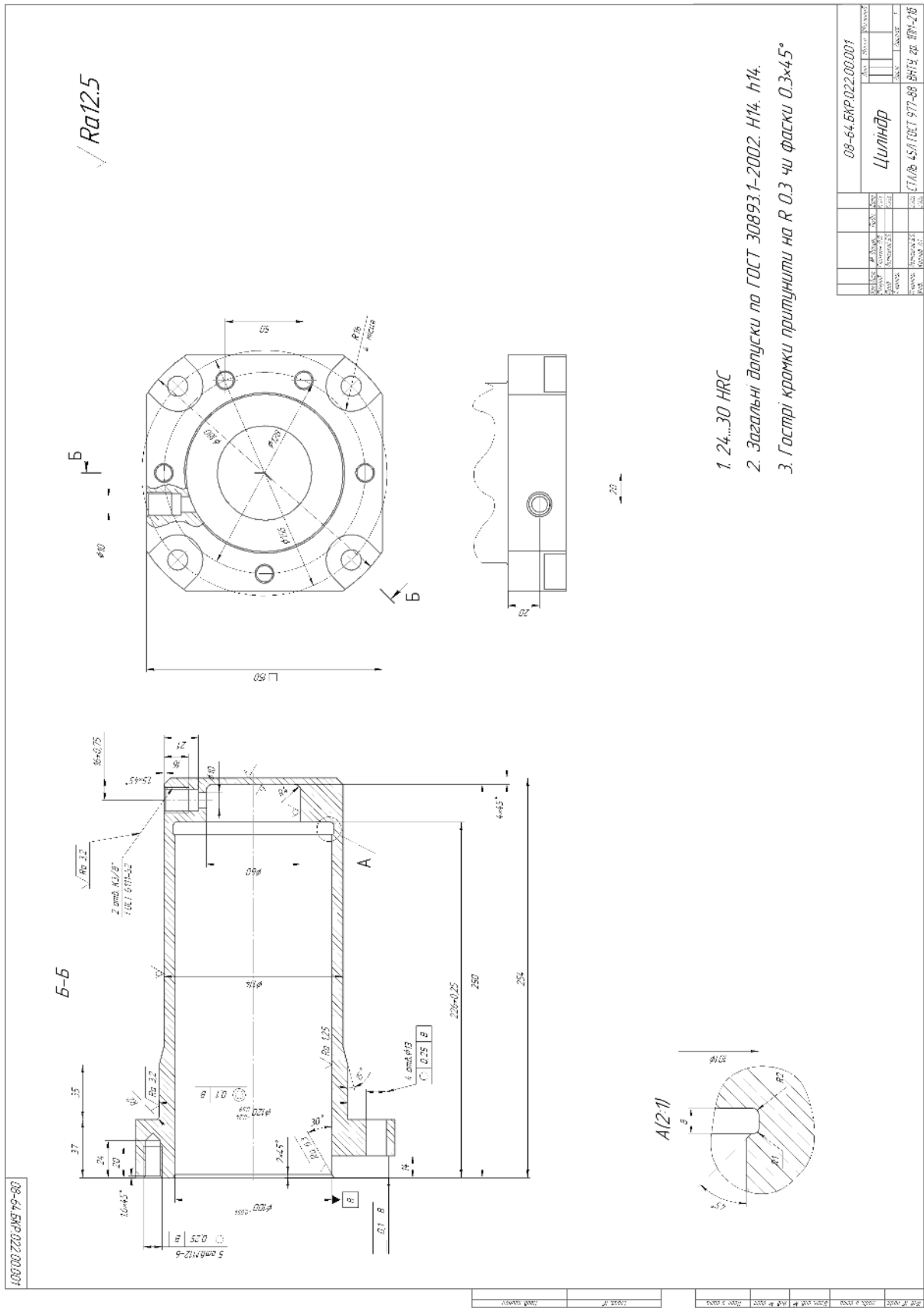
23. ДСанПіН 3.3.6-096-2002. Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
24. ДСН 3.3.6.042-99. Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
25. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
26. Порядок проведення атестації робочих місць за умовами праці (Затверджено постановою КМУ від 1 серпня 1992 року № 442).
27. ДБН В.1.1.7–2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
28. СНиП 2.09.02-85. Протипожежні норми проектування будівель і споруд.

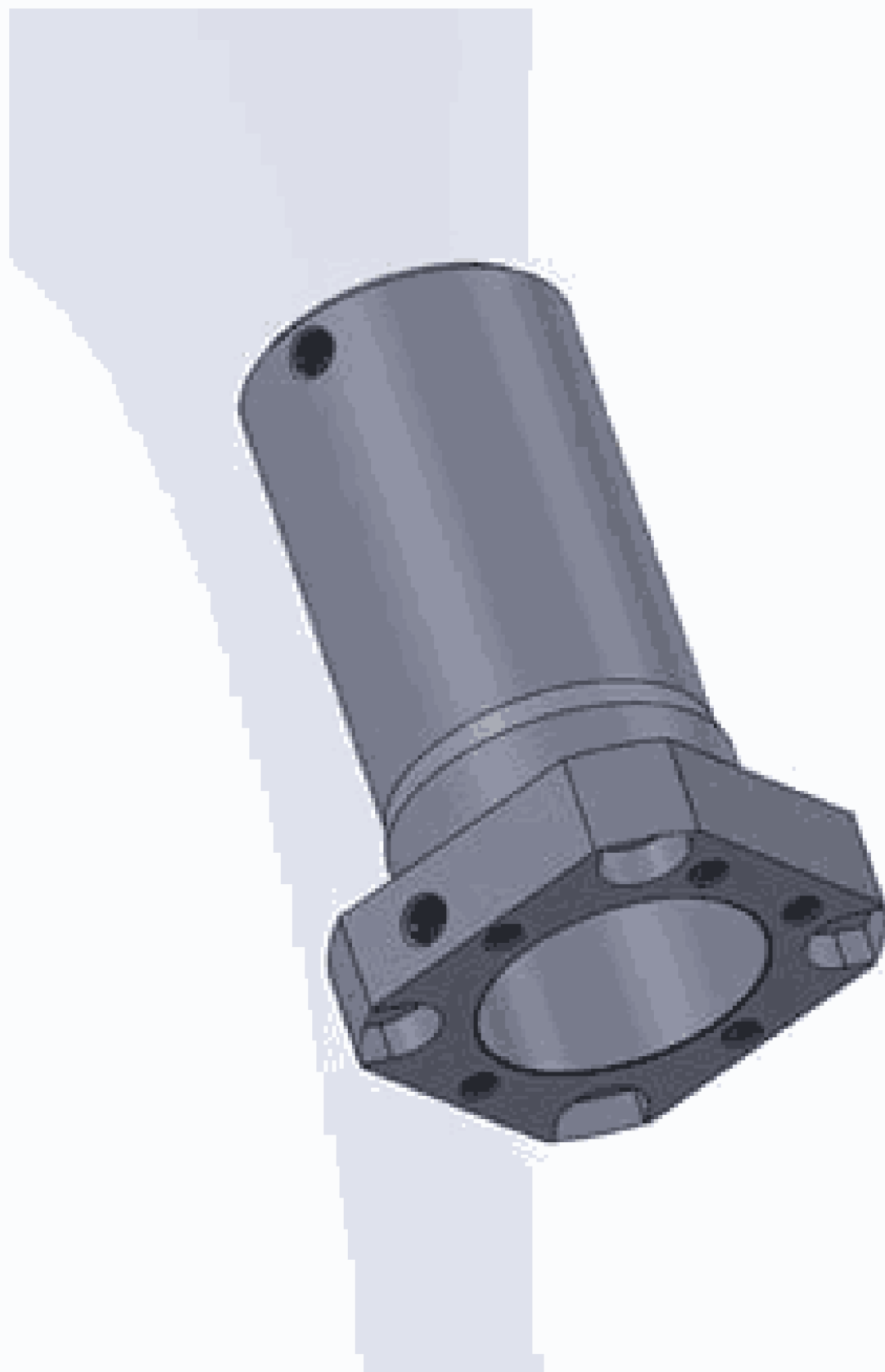
ДОДАТКИ

Додатки А

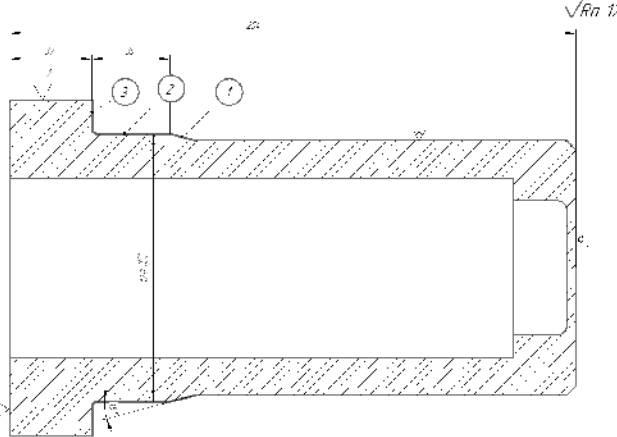
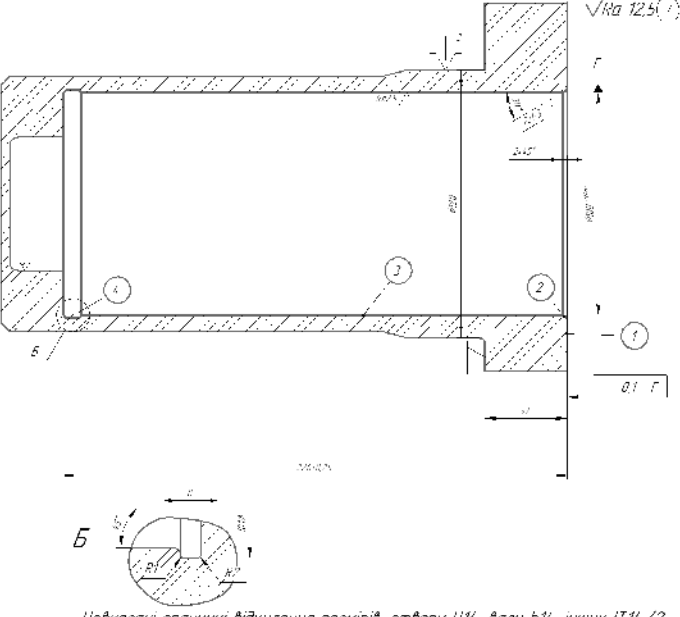
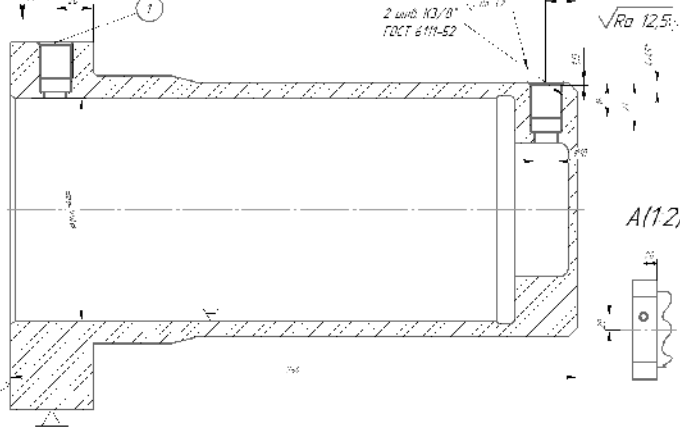
Ілюстраційна частина

Розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі «Циліндр»
з використанням CAD/CAM-систем

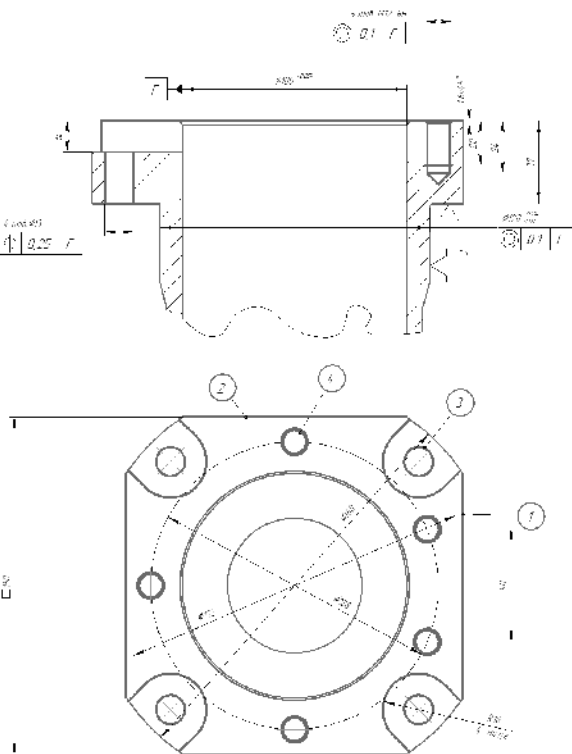
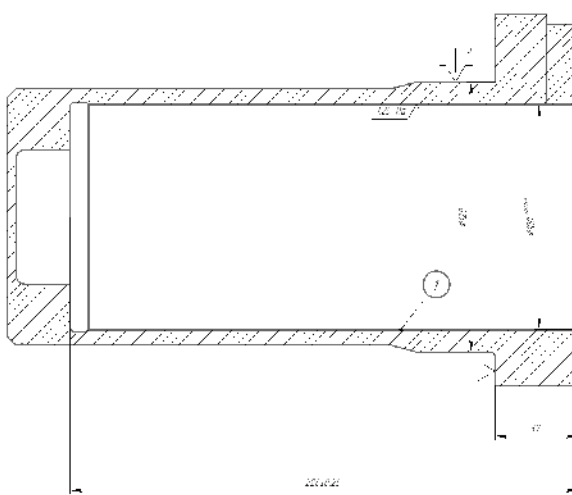




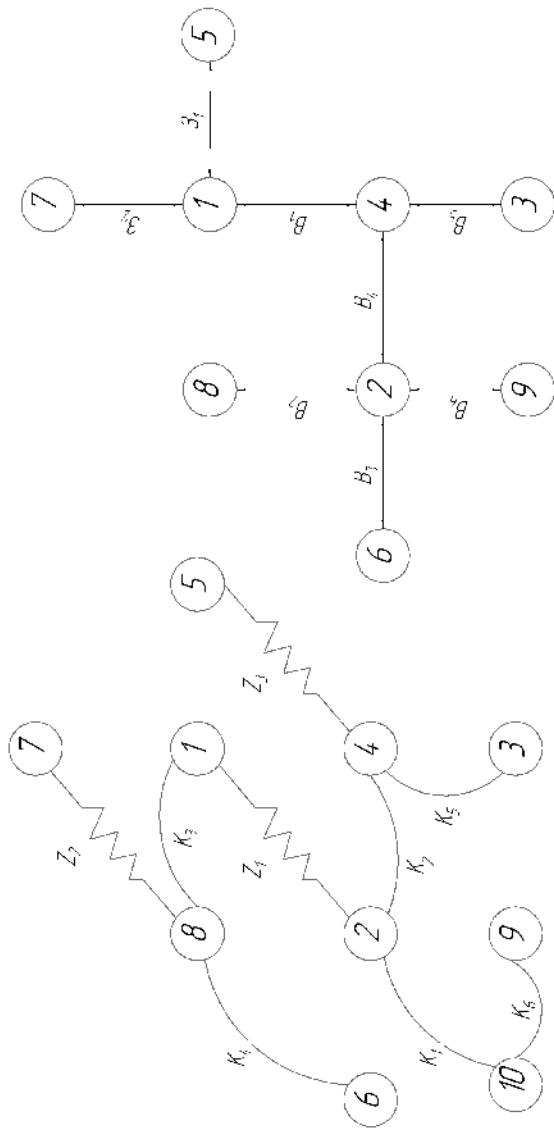
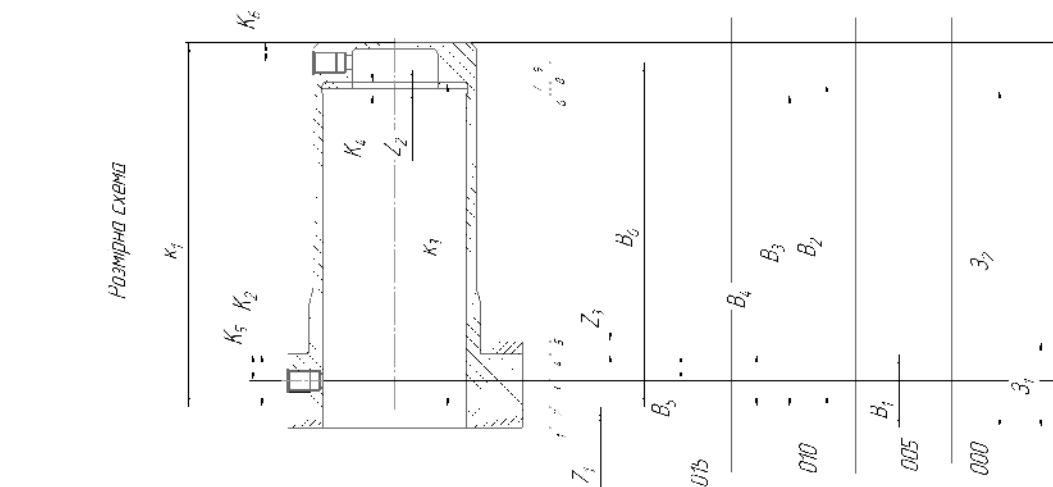
Технологічний процес механічної обробки

№ п.п	Назва операції: зміст переходу	Ескіз та схема установки	Обладна- ння
005	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Вилинути цетиль. 2. Точити пов. 1 однократно 3. Розточити пов. 2 попередньо 4. Розточити пов. 2 попередньо 5. Розточити пов. 2 шліфувальною 6. Точити пов. 3 однократно 7. Зняти цетиль	 Неказані граничні відхилення розмірів: отвору Н14, валу h14, інших IT14/2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30
010	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Вилинути цетиль. 2. Точити пов. 1 шліфувальною 3. Розточити пов. 3 попередньо 4. Розточити канавку 4 однократно 5. Розточити пов. 3 попередньо 6. Розточити пов. 3 попередньо 7. Розточити пов. 2 остаточно 8. Розточити пов. 3 шліфувальною 9. Зняти цетиль.	 Неказані граничні відхилення розмірів: отвору Н14, валу h14, інших IT14/2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК 1В340Ф30
015	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1. Вилинути цетиль. 2. Центрувати 2 отв. 1 3. Сверлити наскрізні 2 отв. 1 4. Фрезерувати 2 півл. 1 5. Зенкувати 2 отв. 1 6. Нанести різьбу на 2 отв. 1 7. Зняти цетиль.	 Неказані граничні відхилення розмірів: отвору Н14, валу h14, інших IT14/2	Вертикально-свердильний верстат з ЧПК 2Р135Ф2

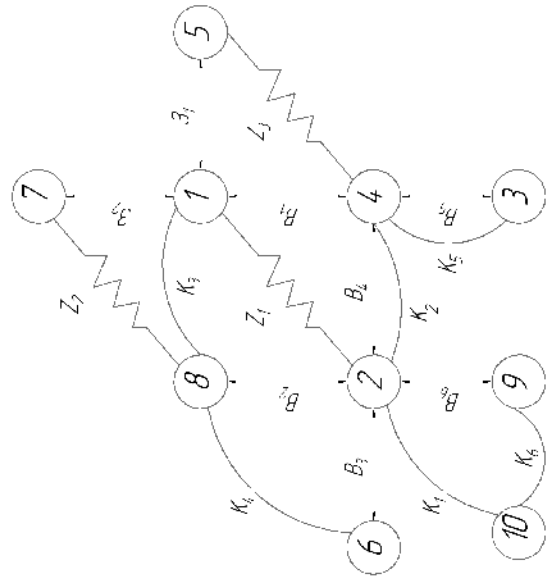
Технологічний процес механічної обробки (лист 2)

№ п.п	Назва операції: зміст переходу	Ескіз та схема установки	Обладна- ння
020	<u>Вертикально-свердильна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Фрезерувати 4 площ. 1 та 2 3. Центрувати 4 шти. 3 та 5 шти. 4 4. Свердлити 4 шти. 3 5. Гвердлити 5 шти. 4 6. Нарізати різь на 5 шти. 4 7. Зняти лопатки	$\sqrt{Ra} 12,5 \mu m$  Невказані граничні відхилення розмірів: штибору H14, валу h14, інших IT14/2	Вертикально-свердильний верстат з ЧП VESTA 1000
025	<u>Токарна з ЧПК</u> 1. Встановити деталь. 2. Точити шти. 1 3. Зняти лопатки.	$\sqrt{Ra} 12,5 \mu m$  Невказані граничні відхилення розмірів: отвору H14, валу h14, інших IT14/2	Токарно-револьверний верстат з ЧПК МК6801Ф3

Розмірний план технологічного процесу



Вихідне граф-дерево



Суміщене граф-дерево

Похідне граф-дерево

Рівняння механічних розмірних параметрів

№	Розрахунок рівняння	Вихідні рівняння	Рішення рівняння
1	$B_2 - K_3 = 0$	$B_2 < 1$	$B_2 = 0.4$
2	$B_4 - K_2 = 0$	$B_4 = K_2$	$B_4 = 0.4$
3	$B_5 = K_5$	$B_5 = K_5$	$B_5 = 0.4$
4	$B_3 = B_2 + K_4$	$B_3 = 0.2 + K_4$	$B_3 = 0.4$
5	$B_6 = K_1 + K_6$	$B_6 = K_1 + K_6$	$B_6 = 0.4$
6	$B_1 - B_4 - Z_1 = 0$	$B_1 - B_4 - Z_1 = 0$	$B_1 = 0.4$
7	$B_1 - B_4 - Z_1 = 0$	$B_1 - B_4 - Z_1 = 0$	$B_1 = 0.4$
8	$B_2 - B_4 - Z_1 - Z_2 = 0$	$B_2 - B_4 - Z_1 - Z_2 = 0$	$B_2 = 0.4$

Граничні припуски

Припуски	71	77	75
7 (мм)	7.1	7.7	7.5
Діаметр	8.7	6.7	5.5

Додаток Б

Програма обробки деталі на верстаті з ЧПК

%

O015 (Циліндр)

N1 (2 отвори K3/8")

N2 (TOOL 7 - DIA 4.)

N3 (TOOL 8 - DIA 10.)

N4 (TOOL 13 - DIA 8.)

N2 (TOOL 6 - DIA 18.)

N5 (TOOL 10 - DIA 16.)

(Центрування)

N1 G90 G21 G49 G17 G40 G80 G00

N6 M06 T7

N7 T8

N8 G54

N9 M08

N10 S1500 M03

N11 (D-Сверління 1)

N12 G00 G90 X19.778 Y20.

N13 G43 H7 Z195.

N14 G0 Z100.

N15 G0 X19.778 Y20.

N16 G98 G81 Z72. R77. F120.

N17 G80

N18 (D-Сверління 2)

N19 G0 Z100.

N20 G0 X240.778 Y0.

N21 G98 G81 Z54. R59. F100.

N22 G80

N23 M09

N24 M05

N25 G91 G30 Z0

N26 M01

(Сверління)

N2 G90 G21 G49 G17 G40 G80 G00

N27 M06 T8

N28 T13

N29 G54

N30 M08

N31 S650 M03

N32 (D-Сверління 2 - 1)

N33 G00 G90 X240.778 Y0.

N34 G43 H8 Z195.

N35 G0 Z100.

N36 G0 X240.778 Y0.

N37 G98 G83 Z24.966 R59. Q5. F65.

N38 G80

N39 (D-Сверління 2 - 2)

N40 G0 Z100.

N41 G0 X19.778 Y20.

N42 G98 G83 Z38.555 R77. Q5. F65.

N43 G80

N44 M09

N45 M05

N46 G91 G30 Z0

N47 M01

(Фрезерування)

N3 G90 G21 G49 G17 G40 G80 G00

N48 M06 T13

N49 T6

N50 G54

N51 S4000 M03

N52 (F-Контур 1)

N53 G00 G90 X19.778 Y18.775

N54 G43 H13 Z195.

N55 G0 Z100.

N56 G0 X19.778 Y18.775

N57 Z77.

N58 G01 Z54. F300.

N59 X17.378 F320.

N60 G03 X19.778 Y16.375 I2.4 J0.

N61 X19.778 Y16.375 I0. J3.625

N62 X22.178 Y18.775 I0. J2.4

N63 G01 X19.778

N64 G00 Z100.

N65 (F-Контур 2)

N66 G0 Z100.

N67 G0 X240.778 Y-1.225

N68 X240.778 Y-1.225 Z100.

N69 Z77.

N70 G01 Z36. F300.

N71 X238.378 F320.

N72 G03 X240.778 Y-3.625 I2.4 J0.

N73 X240.778 Y-3.625 I0. J3.625

N74 X243.178 Y-1.225 I0. J2.4

N75 G01 X240.778

N76 G00 Z100.

N77 M09

N78 M05

N79 G91 G30 Z0

N80 M01

(Зенкування)

N1 G90 G21 G49 G17 G40 G80 G00

N6 M06 T6

N7 T10

N8 G54

N9 M08

N10 S1500 M03

N11 (D-Зенкування 1)

N12 G00 G90 X19.778 Y20.

N13 G43 H6 Z195.

N14 G0 Z100.

N15 G0 X19.778 Y20.

N16 G98 G81 Z62. R77. F120.

N17 G80

N18 (D-Зенкування 2)

N19 G0 Z100.

N20 G0 X240.778 Y0.

N21 G98 G81 Z44. R59. F100.

N22 G80

N23 M09

N24 M05

N25 G91 G30 Z0

N26 M01

(Нарізання різі)

N4 G90 G21 G49 G17 G40 G80 G00

N81 M06 T10

N82 T7

N83 G54

N84 M08

N85 S150 M03

N86 (D-Сверление3-1)

N87 G00 G90 X19.778 Y20.

N88 G43 H10 Z195.

N89 G0 Z100.

N90 G0 X19.778 Y20.

N91 G98 G84 Z58.588 R77. F211.5

N92 G80

N93 (D-Сверление3-2)

N94 G0 Z100.

N95 G0 X240.778 Y0.

N96 G98 G84 Z41.061 R77. F211.5

N97 G80

N98 M09

N99 M05

N100 G91 G30 Z0

N101 G91 G30 Y0

N102 M30

%

Додаток В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Розробка технологічного процесу механічної обробки заготовки деталі "Циліндр" з використанням CAD/CAM систем

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра ТАМ, ФМТ, гр. ІПМ-216
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 24,74%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Леонід КОЗЛОВ, завідувач кафедри ТАМ, гарант ОПП
(ім'я, прізвище, посада)

_____ (підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ, доцент кафедри ТАМ
(ім'я, прізвище, посада)

_____ (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ
(ім'я, прізвище)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

Дмитро ЛОЗІНСЬКИЙ
(ім'я, прізвище, посада)

Здобувач _____
(підпис)

Олександр СТАХМІЧ
(ім'я, прізвище)