

Хмельницький національний університет  
Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра: Технології машинобудування

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

«Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус ДХ.435» із застосуванням верстатів з ЧПК»  
Назва теми

Рівень вищої освіти: другий (магістр)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Шифр і назва галузі знань

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Шифр і назва спеціальності

Спеціалізація: Технології машинобудування  
Назва

Освітня програма: Технології машинобудування

Назва

Шифр 23489

Виконав студент 2 курсу група ПМТМ-23-1  
Шифр

Керівник д.т.н., професор  
Науковий ступінь, звання

Нормоконтролер

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри технології  
машинобудування  
Назва

Дата

Підпис

Ярослав СТОЛЯР  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис

Анастасій ГОРДЕЄВ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Хмельницький національний університет  
факультет Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра Технології машинобудування

Галузь знань 13 Механічна інженерія  
Шифр і назва  
Спеціальність 131 Прикладна механіка  
Шифр і назва  
Освітня програма Технології машинобудування  
Шифр і назва  
Спеціалізація Технології машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
технології машинобудування  
02 . 09 . 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
Столяру Я. А.

Тема роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі  
«Корпус ДХ.435» із застосуванням верстатів з ЧПК»

керівник проекту (роботи) Гордєєв А.І., д.т.н., професор  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 Серпня 2024 р. № 60

2 Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.12.2024 р

3 Вихідні дані до проекту (роботи): Обзор літературних джерел. Креслення деталі.

4 Зміст пояснювальної записки: Вступ. Загальний розділ. Технологічний розділ. Конструкторський розділ. Дослідницький розділ. Охорона праці. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу: 1 Загальний лист – 1 лист А1; Креслення деталі – 1 лист А2; 2 Креслення заготовки – 1 лист А2; 3. Графотехнологія деталі – 1 лист А1; 4. Карта наладки верстата з ЧПК – 1 лист А1; 5. Верстатний пристрій - 1 лист А1; 6. Контрольний пристрій – 1 лист; 7. Дослідницький лист – 1 лист А1.

6 Дата видачі завдання 10.09.2024 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Розділ I	30.09.2024	
Розділ II	15.10.2024	
Розділ III	30.10.2024	
Розділ IV	15.11.2024	
Розділ V	30.11.2024	

Студент Ярослав СТОЛЯР  
Підпис [підпис] Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проекту (роботи) Анатолій ГОРДЄЄВ  
Підпис [підпис] Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ \_\_\_\_\_

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Урок. темат. вивч. Деб. Керуєс ДК ЧС 5 з УТК  
 Автор Шомер ЯА

Освітня програма Прикладна механіка  
 Спеціальність: Технологія машинобудування

Науковий керівник: Гордеев Ю  
 Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	+
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

.....  
 .....  
 .....

Дата

Завідувач кафедри [Підпис] Віталій ТКАЧУК  
 Підпис Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми [Підпис] Віталій ТКАЧУК  
 Підпис Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи [Підпис] Анатолій Гордеев  
 Підпис Ім'я, прізвище

Завідувачу кафедри  
Технології машинобудування  
Ткачуку В.П.  
здобувача вищої освіти  
студента Столяра Я. А.  
факультету інженерії, транспорту та  
архітектури, гр. ПМТм-23-1

## ЗАЯВА

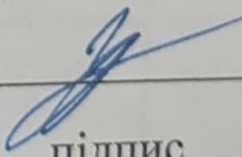
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2024), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

28.11.24

дата

  
підпис

## РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну магістерську роботу Столяра Я. А. «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус ДХ.435» із застосуванням верстатів з ЧПК»

Тема дипломної магістерської роботи Столяра Я. А. є інженерно цікавою і актуальною для сучасного виробництва. Робота скерована на удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі Корпус ДХ.435.

Автором в роботі вирішені наступні задачі: запропоновано новий технологічний процес оброблення деталі Корпус ДХ.435 із застосуванням верстатів ЧПК, спроектовано фрезерний верстатний пристрій, та контрольний пристрій для забезпечення операції контролю відповідальної поверхні деталі.

Графічна частина виконана на високому рівні із застосуванням програмного продукту SolidWorks. Креслення та пояснювальна записка відповідають вимогам ДСТУ.

У дослідному розділі проведено аналіз конструкції деталі Корпус ДХ.435 у середовищі SolidWorks. Встановлено, що Корпус ДХ.435 має достатню жорсткість, буде працювати при робочому навантаженні без значних деформацій поверхонь і не потребує додаткових конструкторських модернізацій по зміні та збільшенню розмірів її окремих параметрів.

В розділі охорони праці приведено вимоги до штучного освітлення робочих місць.

Виходячи з результатів, які містяться в дипломній магістерській роботі та виконанні її на високому технічному рівні, робота рекомендується до захисту та заслуговує оцінки добре, а здобувач Столяр Я. А. заслуговує присудження ступеня магістра за спеціальністю 131 - Прикладна механіка.

Професор кафедри «Трибології  
автомобілів та матеріалознавства»

Хмельницького національного

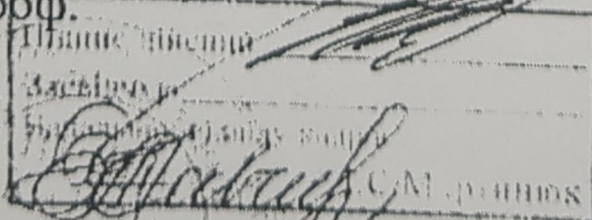
університету д.т.н., проф.

Диха О.В.

Підпис Дихи О.В.

Засвідчую

Начальник відділу кадрів ХНУ



# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Столяр Ярослав Андрійович на захист дипломного проекту (роботи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус ДХ.435» із застосуванням верстатів з ЧПК

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Столяр Я. А. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 16,67 %, задовільно 83,33 %. шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 6,25 %, С 12,50 %, D 25,00 %, E 56,25 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Столяр Я.А. приступив до виконання роботи своєчасно та зберіг у необхідні терміни.

За період виконання роботи виконав добрі технічні знання та вміння вирішувати запитання пов'язані з інженерні завданнями.

Оцінка дипломного проекту (роботи) добре

Керівник дипломного проекту

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 12 " 12 2024 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Столяр Я. А. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

(підпис, ім'я, прізвище)

" 19 " 12 2024 р.

**Анотація**  
**«Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус ДХ.435» із застосуванням верстатів з ЧПК»**

Автор Столяр Я.А. Керівник проекту: А. І. Гордєєв

Об'єм пояснювальної записки 70 стор. Графічна частина 7 листів А1.

Спеціальність: 131 Прикладна механіка.

**Актуальність роботи** Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» із застосуванням верстатів з ЧПК є актуальною технологічною задачею.

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні технологічного процесу механічної обробки виготовлення довгомірної деталі «Корпус».

**Предмет дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі «Корпус».

**Об'єкт дослідження** – визначення напружень у деталі під робочими навантаженнями, пружні деформації, переміщення поверхонь.

**Методи дослідження.** Використання аналітичних методів дослідження у SolidWorks.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Удосконалено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» із застосуванням верстатів з ЧПК.

**Практичне значення**

1. Розроблено нову технологію виготовлення деталі «Корпус».
2. Розроблено нову конструкцію пристрою для фрезерування та пристрій для контролю непаралельності поверхонь.

**Ключові слова:** технологічний процес оброблення заготовки, проектування, програмний продукт.

Автор проекту:

Я. А. Столяр

2024 р.

\_\_\_\_\_  
/Підпис/

\_\_\_\_\_  
/Дата/

## Annotation

### "Improving the technological process of manufacturing the part "Hull DH.435" with the use of CNC machines"

*The author* is Ctolyar Ya.A. Project manager: A. I. Gordeev  
The volume of the explanatory note is 70 pages. Graphic part of 7 A1 sheets.  
Specialty: 131 Applied Mechanics.

***Relevance of the work.*** Improving the technological process of manufacturing the "Hull" part using CNC machines is an urgent technological task.

***The purpose of the work*** is to improve the technological process of mechanical processing of the long-dimension part "Hull".

***The subject of the study*** is the technological process of manufacturing the "Body" part.

***The object of research*** is determination of stresses in parts under working loads, elastic deformations, displacement of surfaces.

***Research methods.*** Use of analytical research methods in SolidWorks.

***Scientific novelty of the obtained results.***

The technological process of manufacturing the "Hull" part using CNC machine tools has been improved.

#### ***Practical significance***

1. A new technology for manufacturing the "Body" part has been developed.
2. A new design of a milling device and a non-parallelism control device have been developed.

***Keywords:*** technological process of workpiece processing, design, software product.

Author of the project:

Ya. A. Stolyar

2024

/Signature/

/Date/

<i>№ рядка</i>	<i>Формат</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кількість</i>	<i>Примітка</i>
1			Документація загальна		
2					
3					
4	A4	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.00.00 ПЗ	Розрахунково-пояснювальна записка	70	
5	A2	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.02.02.00.00	Кресленик заготовки	1	
6	A2	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.02.01.00.00	Кресленик деталі	1	
7	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.02.03.00.00	Графотехнологія	1	
8	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.02.04.00.00	Карта наладки	1	
9	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.03.01.00.00 СК	Пристрій для фрезерування	1	
10	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.03.02.00.00 СК	Пристрій контрольний	1	
11	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.01.01.00.00	Загальний лист	1	
12	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.24.04.01.00.00	Дослідницький лист	1	
13					
14					
15					

					<b>ДРМ. ПМ. ФІТА. 24.00.00. ПЗ</b>				
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив.	Столяр				Літера		Аркуш	Аркушів	
Перевірив	Гордєєв								
Н. Контр.	Бись				<b>Відомість роботи</b>				
Затвердив	Ткачук								

## ЗМІСТ

	арк.
Зміст .....	6
Вступ .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ</b> .....	<b>11</b>
1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	11
1.2 Аналіз об'єкта виробництва.....	11
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	12
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	14
1.5. Основні пропозиції щодо побудови нового технологічного процесу виготовлення «Корпуса».....	18
1.6 Основні переваги використання верстатів з ЧПК.....	20
1.7 Висновки до розділу 1 та задачі досліджень.....	21
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ</b> .....	<b>22</b>
2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу .....	22
2.2 Вибір заготовки та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання.....	22
2.2.1 Техніко-економічне порівняння двох варіантів вибору заготовки.....	23
2.2.2 Визначення параметрів заготовки.....	25
2.3 Вибір технологічного маршруту обробки деталі та шляхи його вдосконалення.....	26
2.3.1. Вибір технологічних баз.....	26
2.3.2 Вибір технологічного маршруту обробки деталі.....	27
2.3.3. Встановлення структури та послідовності виконання переходів.....	28
2.4. Визначення припусків на механічну обробку деталі.....	29
2.4.1 Аналітичний розрахунок припусків на розмір $\varnothing 20+0,052$ .....	29
2.4.2 Табличний метод призначення припусків.....	32
2.5 Розрахунок режимів різання.....	33

2.5.1 Розрахунок режимів різання аналітичним методом на фрезерну операцію 005.....	33
2.5.2 Табличний метод призначення режимів різання, операція 020 вертикально – свердлильна .....	35
2.6 Розрахунок технічних норм часу при виконанні операції .....	38
2.7 Висновки до розділу 2.....	42
<b>РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ .....</b>	<b>43</b>
3.1 Проектування верстатного пристрою для фрезерування.....	43
3.1.1 Схема базування та вибір установочних елементів.....	43
3.1.2 Розрахунок сили закріплення та приводу пристрою.....	43
3.1.3 Розрахунок елементів пристрою на міцність.....	46
3.1.4 Розрахунок пристрою на точність.....	47
3.1.5 Опис роботи пристрою для фрезерування .....	48
3.2 Проектування контрольного пристрою.....	48
3.2.1 Технічні умови та вимоги креслення, що підлягають контролю.....	48
3.2.2 Вибір схеми контролю заданого параметру.....	48
3.2.3 Розрахунок пристрою на точність.....	49
3.2.4 Принцип роботи пристрою.....	50
3.3 Висновки до розділу 3.....	51
<b>РОЗДІЛ 4. НАУКОВИЙ.....</b>	<b>52</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....</b>	<b>60</b>
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>67</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>68</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>70</b>

## Вступ

«Якість продукції машинобудування є загальним показником прогресу науки і техніки і якості продукції, що випускається. Якість продукції машинобудування особливо важлива, оскільки вона необхідна для підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку.

Для машинобудівних підприємств підвищення якості продукції машинобудування є найбільш важливим. Це досягається за рахунок вдосконалення конструкції машин, їх деталей і вузлів, використання нових конструкційних матеріалів, автоматизації технологічних процесів і розробки методів нанесення захисних покриттів. Технології машинобудування відіграють особливу роль у забезпеченні якості продукції машинобудування.

Технологія машинобудування-це галузь науки, що вивчає закономірність процесу виготовлення машини необхідного (заданого) якості, в необхідній кількості, в потрібний час, з мінімальними витратами людської праці, трудових, матеріальних і енергетичних ресурсів. У житті людини машина служить засобом здійснення технологічних процесів з виробництва необхідних матеріалів і культурних цінностей. Таким чином, будь-яка машина може бути використана для здійснення певних технічних процесів, які призводять до виробництва корисних продуктів.

Людське суспільство постійно потребує нових видах продукції. Ці потреби можуть бути задоволені тільки за допомогою нових технологічних процесів і нових машин. Для задоволення цих потреб необхідні нові технологічні процеси та нові машини. В результаті створюється стимул для створення нової машини. Нові технології завжди передбачають нові технологічні процеси.

Але можливість їх реалізації залежить від ступеня науково-технічного розвитку людського суспільства.

Автомобіль корисний лише тоді, коли він хорошої якості. Створюючи автомобіль, людина ставить перед собою 2 завдання

- Побудувати машину хорошої якості, тим самим заощадивши трудовитрати.

- Забезпечити економію праці при прийомі продукції, виробленої машиною.

Ідея нової машини виникає в ході розробки технологічного процесу виготовлення необхідного продукту.

Потреби виникають в ході розробки технічних процесів для виробництва необхідних продуктів.

Ця ідея є першим документом при створенні машини.

Це перший документ при створенні машини. Технічний процес виробництва проекрованої машини знаходиться в стадії розробки.

Розробляється технічний процес виробництва проекрованої машини, на основі якого створюється виробничий процес,

В результаті виходить машина, необхідна для реалізації технічного процесу виробництва продукту.

У процесі розробки технічних процесів для виробництва необхідних виробів створюються нові концепції верстатів.

Ця концепція виражається у формулюванні службового призначення верстата-першого документа при проектуванні і виробництві проектованого верстата. В результаті виготовляються верстати, необхідні для виробництва.

Процес машинобудування від розробки передбачуваного використання до випуску готового продукту можна чітко розділити на:

Процес від проектування до випуску готового продукту можна чітко розділити на 2 етапи:

- Проектування і виробництво.

- Перший етап - це впровадження дизайну у виробничий процес.

Другий етап-проектування і впровадження - є основним завданням технології машинобудування» [4].

Магістерська робота - це незалежне і завершене дослідження, засноване на важливому розумінні відомих результатів і містить суворе обґрунтування і задовільне рішення конкретної наукової, науково-методологічної або інженерної проблеми, яке є завершальним етапом наукових досліджень у вищому навчальному закладі.

**Актуальність роботи.** Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» з використанням верстатів з ЧПК є актуальною технологічною задачею.

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні технологічного процесу механічної обробки виготовлення довгомірної деталі «Корпус».

**Предмет дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі «Корпус».

**Об'єкт дослідження** – визначення напружень у деталі під робочими навантаженнями, пружні деформації, переміщення поверхонь.

**Методи дослідження.** Використання аналітичних методів дослідження у SolidWorks.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Удосконалено технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» з використанням верстатів з ЧПК.

**Практичне значення**

1. Розроблено нову технологію виготовлення деталі «Корпус».
2. Розроблено нову конструкцію пристрою для фрезерування та пристрій для контролю непаралельності.

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ

### 1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи

Завданням магістерської роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки при виготовленні деталі «Корпус». Для цього необхідно удосконалити технологічний процес виготовлення деталі з використанням верстатів з ЧПК.

Крім розробки технологічних процесів, в магістерській роботі слід спроектувати спеціальне обладнання для обробки поверхонь та контрольний пристрій для контролю паралельності поверхонь.

На додаток до технологічної та конструкторської частини необхідно виконати дослідницьку частину, в якій представити розрахунки на міцність та визначення напружень і переміщення окремих поверхонь деталі під навантаженням в процесі роботи.

### 1.2 Аналіз об'єкта виробництва

Складальна одиниця – замок, в яку входить проектована деталь, служить для закріплення механізму пуску.

Корпус 9-4997 виготовляється із спеціальної сталі ВНЛ-3 (08X14H5M2ДЛ) ДСТУ 7809:2015, що має властивості, подані в таблицях 1.1, 1.2. Заміну сталі використовувати не рекомендовано, так як деталь застосовується в авіаційній промисловості. Сталь має твердість 375НВ – відноситься до важко оброблювальних сталей.

Конфігурація деталі допускає застосування високопродуктивних режимів різання, достатньо жорстка поверхня дозволяє одержати високу точність обробки.

Конструкція деталі дозволяє поєднувати технологічні і вимірювальні бази.

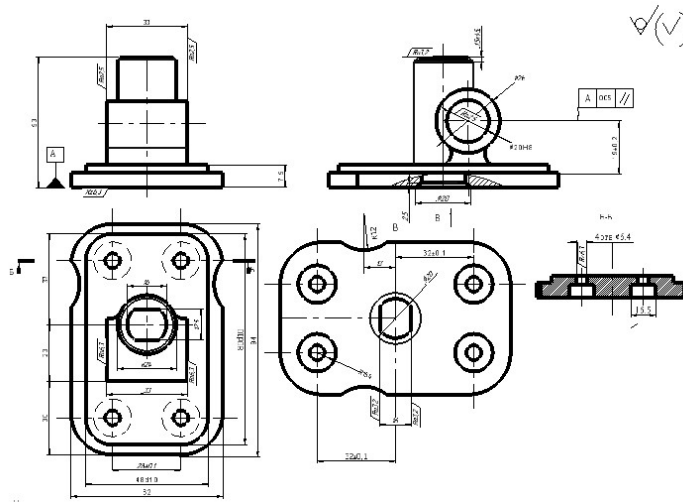


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Корпус ДХ.435»

### 1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

В цілому деталь є проста і складається елементарних плоских та циліндричних поверхонь і не вимагає складних пристроїв чи верстатів для її виготовлення.

« Коефіцієнт точності.

$$K_{Тч} = 1 - \frac{1}{T_{CP}}, \quad T_{CP} = \frac{\sum T \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{375}{34} = 11, \quad K_{Тч.} = 1 - \frac{1}{11} = 0,9.$$

де  $T$  – клас точності обробки;  $n_i$  – кількість розмірів відповідного класу точності.

Деталь по коефіцієнту точності є досить технологічною, так як  $K_{Тч.} \approx 1$ .

Коефіцієнт шорсткості.

$$K_{Ш} = \frac{1}{Ш_{CP}}, \quad Ш_{CP.} = \frac{\sum Ш \cdot n_{IM}}{\sum n_{IM}} = \frac{148.5}{34} = 4.4, \quad K_{Ш} = \frac{1}{4.4} = 0,22.$$

де Ш – клас шорсткості поверхні;  $n_l$  – кількість поверхонь відповідного класу шорсткості» [5].

Так як  $K_{ш}$  низький то можна сказати, що деталь по  $K_{ш}$  є технологічна.

Виходячи якісного та кількісного аналізу, робимо висновок про те, що деталь «Корпус» є технологічною.

Матеріалом для виготовлення деталі являється конструкційна сталі ВНЛ – 3 (08X14H5M2ДЛ) ДСТУ 7809:2015, яка є конструкційним матеріалом, і здатна задовольнити вимоги до деталі.

Основні характеристики представлені у табл. 1.1 та 1.2

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі ВНЛ – 3 (08X14H5M2ДЛ) ДСТУ 7809:2015.

Тимчасовий опір розриву $\sigma_B$ Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Границя текучості $\sigma_{02}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Відносне		Ударна в'язкість	Твердість по Брінелю (діаметр відбитка) d, мм	Режим термічної обробки
		Подовження $\delta$ , %	Звуження $\Psi$ , %			
1230	885	12	35	39,2	3,2 – 2,9	Гартування при $t=570^\circ \pm 10^\circ\text{C}$ , охолодження на повітрі, старіння при $t=500^\circ \pm 10^\circ\text{C}$

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі ВНЛ – 3 (08X14H5M2ДЛ) ДСТУ 7809:2015. В %

Вуглець С	Кремній Si	Марганець Mn	Хром Cr	Нікель Ni	Молібден Mo	Сірка S	Фосфор P	Мідь Cu	Ніобій Nb
0,08	0,7	40	13–14,5	4,5 – 5,5	1,5 – 2,0	0,03	0,03	1,2 – 1,75	0,1

Корпус з точки зору технології механічної обробки не представляє собою великої складності. Форма деталі забезпечує можливість отримати заготовку з мінімальними припусками під механічну обробку і з хорошими чорновими базами під першу механічну обробку. Метод точного лиття по виплавлюваним моделям досить менші припуски під обробку у порівнянні з литтям в кокіль.

Нетехнологічна деталь з точки зору застосовуваного матеріалу. Так, як він важкооброблюваний, то це не допускає застосування високопродуктивних режимів обробки.

В іншому деталь достатньо технологічна, має хороші базові поверхні для першої операції і досить проста по конструкції. Внутрішні поверхні тіл обертання дозволяють застосовувати багатопозиційні способи обробки.

На завершення аналізу конструкції деталі слід відмітити, що конструкція деталі допускає отримати заготовку з мінімальними припусками, що скорочує кількість переходів для оброблення поверхонь.

#### **1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва**

«Для визначення типу виробництва, який характеризується коефіцієнтом закріплення операцій. Коефіцієнт закріплення операцій для планового періоду рівному одному місяцю визначаємо за формулою:

$$K_{30} = \frac{\sum n_{oi}}{(\sum P_i)} , \quad (1.1)$$

де  $\sum n_{oi}$  - сумарне кількість різних операцій за місяць по дільниці з розрахунку на одного змінного майстра.

$\sum P_i$  - явочна кількість робітників дільниці виконуючих різноманітні операції при роботі в одну зміну» [5].

«У розрахунку рекомендується визначати умовну кількість операцій виконаних на одному верстаті на протязі одного місяця при роботі в одну зміну за формулою:

$$n_{oi} = \frac{\eta_m}{\eta_3}, \quad (1.2)$$

де  $\eta_3$  - коефіцієнт завантаження верстата на операцію, яка проектується

$\eta$  - планує мий нормативний коефіцієнт завантаження верстата всіма закріпленими за ним однотипними операціями : прийнятий ; для багато серійного – 0,75; для середньо серійного – 0,8; та для дрібносерійного виробництва – 0,9.

$$\eta = T_{ш.к} N_M / (60 F_M k_B) \quad (1.3)$$

де  $T_{ш.к}$  - штучно-калькуляційний час на виконання операції, хв.

$N_M$  – місячна програма випуску заданої деталі при роботі в дві зміни, ви.» [2].

$$N_M = N_p / 24, \quad (1.4)$$

де  $N_p = 1500$ - річна програма випуску заданої деталі.

$$N_M = 1500 / 24 = 63 \text{ шт.}$$

$F_M$  – місячний фонд часу роботи обладнання в одну зміну, год.

$$F_M = 4055 / (2 * 12) = 169 \text{ год.}$$

$K_B$  – коефіцієнт виконання норм, приймаємо рівним 1,3.

Підставивши в формулу (1.3) значення  $F_M$  та  $k_B$  отримаємо такий вираз:

$$\eta_3 = \frac{T_{ш.к} N_M}{13182} \quad (1.5)$$

«Після підстановки виразу (1.4) у формулу (1.5) отримаємо залежність для визначення кількості однотипних операцій, які виконуються на одному верстаті протягом місяця» [5].

$$n_{oi} = \frac{13182 \eta_H}{T_{ш.к} N_M} \quad (1.6)$$

$$n_{o1} = 13182 * 0.8 / 16.67 * 4 = 5.0$$

$$n_{o2} = 13182 * 0.8 / 2.0 * 4 = 42.2$$

$$n_{o3} = 13182 * 0.8 / 9.35 * 4 = 9.0$$

$$n_{o4} = 13182 * 0.8 / 21.5 * 4 = 3.9$$

$$n_{o5} = 13182 * 0.8 / 30.9 * 4 = 2.73$$

Таблиця 1.2 – Визначення сумарної кількості різних операцій за місяць

Операції	$T_{шт.}$	$P$	$\eta_{з.ф.}$
1. Фрезерна	1,359	0,77	5
2. Токарна	20,84	0,77	42,2
3. Вертикально– свердловальна	19	0,77	39
4. Фрезерна	2	0,77	3,6
5. Фрезерна	9.96	0,77	9
6. Фрезерна	2,557	0,77	3,9
7. Протяжна	0,364	0,77	2,73
8. Розточувальна	4	0,77	7,4

«Загальну кількість операцій, які виконуються на дільниці на протязі одного місяця визначаємо за формулою;

$$\sum n_{oi} = n_{o1} + n_{o2} + \dots + n_{on} \quad (1.7)$$

$$\sum n_{oi} = 42.2 + 5.0 + 9.0 + 3.9 + 2.37 + 7.4 + 39 + 3.6 = 112.47$$

Необхідна кількість робітників для обслуговування протягом однієї зміни одного верстата завантаженого по плановому нормативному коефіцієнту» [2].

$$P_i = \frac{N_i t_i}{60 k_g \Phi} = \frac{n_{oi} N_m T_{ш.к.}}{60 k_g \Phi} \quad (1.8)$$

де  $N_i$  – приведений місячний об'єм випуску деталей, ви., при завантаженні верстата до прийнятого значення  $\eta_H$  :  $N_i = n_{oi} N_m$  ;

$t_i$  - штучно-калькуляційний час на виконання операції, хв.

$\Phi$  – місячний фонд часу робочого, зайнятого протягом 22 робочих днів в місяць, год.  $\Phi=22*8=176$  год.

Після підстановки в формулу (1.8) значень  $k_v$ ,  $\Phi$  та  $n_{oi}$  отримаємо залежність для визначення необхідної кількості працівників для обслуговування одного верстата.

$$P_i = 0.96\eta_n \quad (1.9)$$

$$P_i = 0.96 * 0.8 = 0.77$$

Кількість робітників, що обслуговують один верстат приймаємо однаковою тобто 0,77.

Явочну кількість робітників дільниці визначаємо сумуванням значень  $P_i$ ;

$$\sum P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_n \quad (1.10)$$

$$\sum P_i = 0.77 + 0.77 + 0.77 + 0.77 + 0.77 + 0.77 + 0.77 + 0.77 = 6.16$$

Отже:

$$K_{30} = 112,47 / 6,16 = 18,3$$

По розрахованому коефіцієнту закріплення операції приймаємо тип виробництва – середньо серійне.

«Заготовки під час обробки зберігають біля верстата, потім транспортують цілою партією. В серійному виробництві застосовують також змінно – потокову форму організації робіт. Тут обладнання розташовують по ходу технологічного процесу. Обробку виконують партіями, причому заготовки кожної партії можуть відрізнятися розмірами і конфігурацією, але допускають обробку на одному і тому ж обладнанні.

При серійному виробництві застосовують універсальні, спеціалізовані, агрегатні та інші металообробні верстати» [5].

## 1.5 Основні пропозиції щодо побудови нового технологічного процесу виготовлення «Корпуса»

Для удосконалення технологічного процесу запропоновано застосувати на операціях верстати з ЧПК.

Для виконання операції 020 приймаємо верстат вертикальний оброблюючий центр VF-1 фірми HAAS. Дана модель має можливість виконувати наступні переходи оброблення заготовки: фрезерування, свердлування. Загальний вигляд верстата VF1 (рис. 1.4) та його основних оригінальних вузлів показано на (рис. 1.5, рис.1.6).



Рисунок 1.4. Загальний вигляд верстата VF-1



Рисунок 1.5. Загальний вигляд магазину зміни інструменту верстата VF-1



Рисунок 1.6. Загальний вигляд вузла подачі МОР та очистки від стружки верстата VF-1

Для виконання операції 020 приймаємо верстат вертикальний оброблюючий центр DM-1 фірми HAAS. Дана модель має можливість виконувати наступні переходи оброблення заготовки: фрезерування, свердлування.

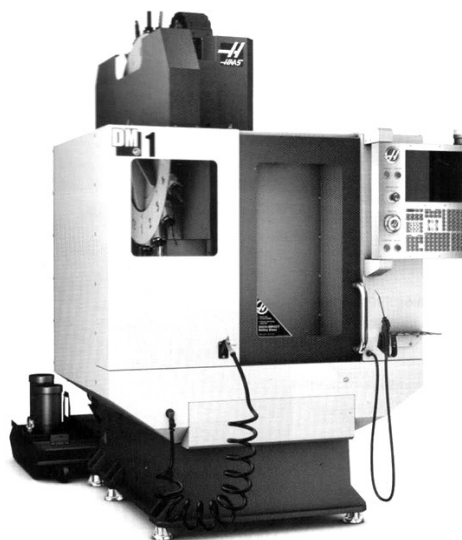


Рисунок 1.6. Загальний вигляд верстата з ЧПК свердлильно-різбонарізного центру DT-1



Рисунок 1.6. Загальний вигляд верстата горизонтального оброблюючого центру ЕС-1600

### 1.6 Основні переваги використання верстатів з ЧПК

«Основна функція верстата з ЧПК полягає в автоматичному і точному управлінні рухом верстата та інструментального оснащення.

Верстати з ЧПК оснащені серводвигунами, керованими системою ЧПК, які точно виконують команди керуючої програми. Загалом можна сказати, що у всіх типах систем ЧПУ можна запрограмувати тип, розмір і швидкість рухів.

За нормальних умов експлуатації один верстат з ЧПК може замінити від двох до шести верстатів загального призначення, значно скорочуючи час підготовки виробництва і тривалість виробничого циклу, а також підвищуючи гнучкість.

Основною перевагою використання верстатів з ЧПК є високий рівень автоматизації. Більшість верстатів з ЧПК можуть працювати автономно протягом усього процесу обробки заготовки, дозволяючи оператору верстата

виконувати інші завдання.

Другою перевагою використання технології ЧПУ є виробництво більш точних деталей. Сьогодні виробники верстатів з ЧПУ говорять про найвищу точність і надійність свого обладнання. Це означає, що за допомогою однієї керуючої програми на верстаті з ЧПК можна виготовити абсолютно однакові деталі, будь то 10 або 1000 штук, у повній відповідності до вимог точності. Третьою перевагою використання обладнання з ЧПК є гнучкість верстата та його здатність до швидких змін. На обладнанні з програмним управлінням для виробництва різних деталей потрібні лише прості зміни в програмі» [5].

### **1.7 Висновки та дослідницькі цілі до розділу 1**

Аналіз технологічності конструкції деталі «Корпус» показує, що деталь є технологічною, а її конструктивні параметри дозволяють зручний підвод інструменту, до поверхонь, що оброблюються.

На основі типових технологічних процесів необхідно:

1. Розробити удосконалений технологічний процес виготовлення деталі «Корпус» з використанням верстатів з ЧПК;
2. Спроекувати верстатний пристрій на верстат з ЧПК;
3. Спроекувати контрольний пристрій:

У дослідному розділі провести розрахунки у програмному продукті SolidWorks на міцність та визначення напружень і переміщення окремих поверхонь деталі під навантаженням в процесі роботи.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ

### 2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу

Проаналізовано існуючий технологічний процес механічної обробки «Корпусу» з точки зору забезпечення якості продукції, зниження собівартості та підвищення продуктивності праці.

Згідно з базовим технологічним процесом обробки деталей, більшість верстатів, що використовуються для основного маршруту обробки, є старими і вже відпрацювали свій термін експлуатації, що призводить до частих поломок і збоїв, а також витрат, пов'язаних з ремонтом обладнання та браком. Оскільки технічні можливості цього обладнання досить обмежені, нові технологічні процеси вимагають використання сучасних багатоцільових верстатів з ЧПК, тобто верстатів фірми HAAS (США), які дозволяють сконцентрувати роботу на одному-двох верстатах і підвищити точність обробки.

«Важливу роль у підвищенні продуктивності відіграє асортимент обладнання. Впровадження прогресивних верстатів дозволяє підвищити продуктивність і точність обробки та контролю, полегшити умови праці, скоротити кількість операторів, знизити необхідну кваліфікацію, суворо регламентувати робочий час, розширити технічні можливості обладнання та підвищити безпеку праці» [4].

### 2.2 Вибір заготовки деталі та технологічне видко знімні способу її одержання

Правильний вибір заготовок має безпосередній вплив на можливість раціонально спроектувати процес виробництва окремих деталей і окремих

вузлів в цілому, сприяючи зниженню металоємності і відходів в машині. Спосіб отримання заготовки визначається на основі аналізу креслення деталі, її призначення і технічних вимог. Виходячи з конструкції деталі та її матеріалу, вибирається лиття.

### 2.2.1 Техніко-економічне порівняння двох варіантів вибору заготовки

«Вид заготовки в значній степені впливає на характер технологічного процесу механічної обробки деталей машин. Від величини припуску на механічну обробку залежить собівартість механічної обробки. Чим більш заготовка по формі і розмірам є наближеною до форми і розмірів готової деталі, тим менше потрібно затрат часу і засобів на її обробку.

Найбільший вплив на вибір виду заготовки має матеріал, розміри, форма деталі і тип виробництва» [2]. Із тих заготовок що використовуються в машинобудуванні (прокату, відливок і штамповок) в якості заготовки заданої деталі, враховуючи, що матеріал деталі сталь ВНЛ – 3 і тип виробництва середньо серійне приймаємо по виплавлюваним моделям.

В заводському варіанті заготовку виготовляють литтям в кокіль.

«Вартість литої заготовки в кокіль визначаємо за формулою [2]:

$$S_{заг1} = \left( \frac{S_i}{1000} \cdot Q \cdot k_t \cdot k_c \cdot k_m \cdot k_b \cdot k_n \right) - (Q - g) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (2.1)$$

де  $S_i$  – базова вартість 1т заготовки, грн.;

$k_t$ ,  $k_c$ ,  $k_m$ ,  $k_b$ ,  $k_n$  - коефіцієнти, які залежать відповідно від класу точності, групи складності, маси, марки матеріала, та об'єму виробництва заготовок» [2].

$$S_i = 895 \text{ грн.};$$

$$k_t = 1;$$

$$k_c = 1;$$

$$k_m = 1,1;$$

$$k_e = 1,12;$$

$$k_n = 1,1;$$

$$Q = 0,769 \text{ кг} - \text{маса заготовки, кг};$$

$$g = 0,415 \text{ кг} - \text{маса деталі, кг};$$

$$S_{\text{від}} - \text{вартість 1т відходів, грн, } S_{\text{від}} = 28 \text{ грн.}$$

Підставивши значення отримаємо:

$$S_{\text{заг1}} = (895/1000 * 0,769 * 1 * 1,1 * 1 * 1,12 * 1,1) - (0,769 - 0,415) * 28/1000 = 0,923 \text{ грн.}$$

Лиття по виплавлюваним моделям дозволяє зменшити масу заготовки, що приводить до зменшення припусків на механічну обробку.

«Вартість литої заготовки по виплавлюваним моделям обрахуємо за формулою:

$$S_{\text{заг2}} = \left( \frac{S_i}{1000} \cdot Q \cdot k_t \cdot k_c \cdot k_e \cdot k_m \cdot k_n \right) - (Q - g) \frac{S_{\text{відx}}}{1000}, \quad (2.2)$$

при  $S_2 = 1540$  грн.;

$$Q = 0,52 \text{ кг};$$

$$g = 0,415 \text{ кг};$$

$$k_t = 1;$$

$$k_c = 0,9;$$

$$k_m = 1,1;$$

$$k_e = 0,74;$$

$$k_n = 1,23 \text{ при 3 групі серійності} \text{ [2].}$$

Підставивши значення отримаємо

$$S_{\text{заг2}} = (1540/1000 * 0,52 * 1 * 1,1 * 0,9 * 0,74 * 1,23) - (0,52 - 0,415) * 28/1000 = 0,72 - 0,0029 = 0,717 \text{ грн.}$$

Економічний ефект розраховується за формулою:

$$E_3 = (S_{\text{заг1}} - S_{\text{заг2}}) * N_p, \quad (2.3)$$

де  $S_{\text{заг1}}$ ,  $S_{\text{заг2}}$  – вартість співставлених заготовок, грн.,

$N_p$  – річна програма, ви.

Підставивши значення отримаємо

$$E_3 = (0,923 - 0,717) * 10000 = 2060 \text{ грн.}$$

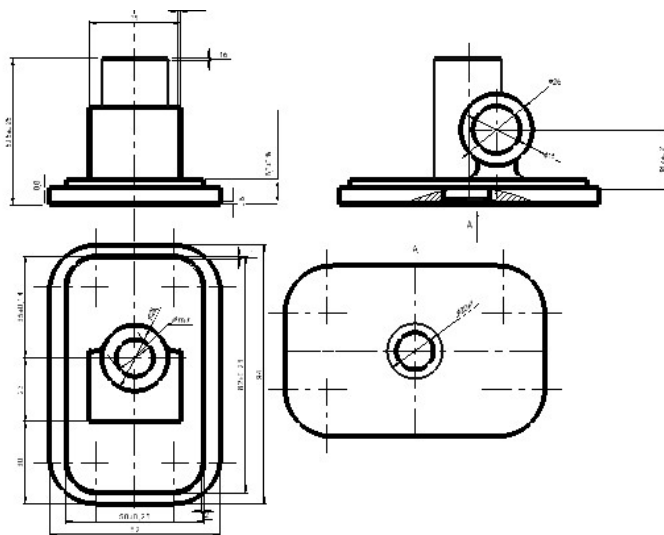


Рисунок 2.2. Загальний вигляд зготівки «Корпус»

## 2.2.2 Визначення параметрів заготовки

Таблиця 2.2

Параметри заготовки

Вхідні дані	Лиття в піщано-глинистій формі з машинним формуванням суміші	
	Згідно вимогам	Прийнято
1	2	3
Клас розмірної точності	7-12	10
Ступінь жолоблення елементів виливків	5-8	6
Ступінь точності поверхонь виливків	10-17	14
Шорсткість поверхонь виливків	$R_a = 12,5$	$R_a = 12,5$
Клас точності маси	6-13	10
Ряд припусків	5-8	7

## 2.3 Вибір технологічного маршруту обробки деталі та шляхи його вдосконалення

### 2.3.1 Вибір технологічних баз

«Вибір технологічної бази є важливим етапом у розробці процесу. Ключові принципи вибору базових поверхонь

- Принцип сумісності базових поверхонь
- Принцип стабільності базових поверхонь
- Базові поверхні повинні бути стійкими та надійними для монтажу обладнання.

Процедура вибору базових поверхонь:

- Вибір базових поверхонь для чистової обробки
- Вибір базових поверхонь для чорнової обробки;

Чистові базові поверхні повинні мати найвищу розмірну та геометричну точність, найменшу шорсткість поверхні, а також забезпечувати легке та надійне встановлення заготовки.

Основні вимоги до чорнових баз.

1. В якості технологічної чорнової базової поверхні вибирається необроблена поверхня або поверхня з найменшими допусками
2. Чорнова базова поверхня повинна забезпечувати стійке положення заготовки без деформації під час затиску.

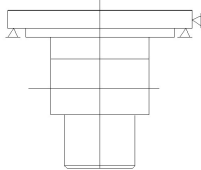
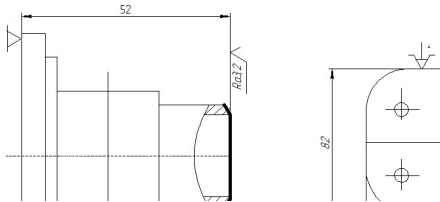
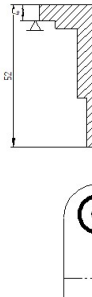
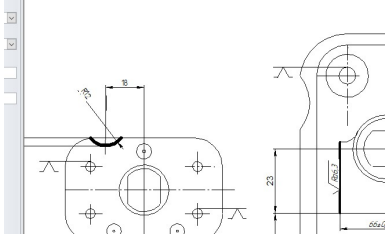
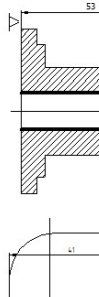
Проміжні бази обробки вибираються з урахуванням наступних міркувань:

1. В якості технологічної бази прийнятна поверхня, яка пов'язана найкоротшим розмірним ланцюгом з оброблюваною поверхнею
2. Якщо базова поверхня повинна бути змінена, слід перейти від менш точної базової поверхні до більш точної» [3].

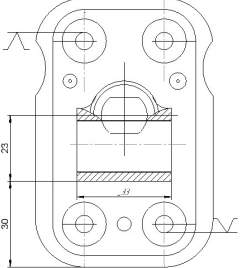
Чорновою базовою поверхнею деталі «Корпус» є поверхня основи. Основною базою деталі «Корпус» є її вісь, яка використовується при

свердлуванні отворів також чистовими б азовими поверхнями є чотири отвори, які використовується при фрезерній обробці.

Таблиця 2.3 Бази згідно технологічного маршруту виготовлення деталі

№ операції	Найменування операції	Устаткування (тип, модель)	Схема базування
005	Вертикально – фрезерна	Вертикально – фрезерний 6P12	
010	Токарна	Токарний 16K20	
015	Вертикально – свердлувальна	Вертикально-свердильний верстат з ЧПК свердильно-різбонарізний центр DT-1	
020	Вертикально – фрезерна	Вертикально – фрезерний оброблюючий центр VF-1	
025	Протяжна	Горизонтально-протяжний напівавтомат моделі 7523	

## Закінчення табл. 2.3

030	Горизонтально-розточувальна	Горизонтально-розточувальний з ЧПК оброблюючий центр ЕС-1600	
-----	-----------------------------	--	--

### 2.3.2 Вибір технологічного маршруту обробки деталі

#### 2.3.2.1 Вибір методів обробки поверхонь

Маршрут обробки окремих поверхонь встановлюємо, виходячи із вимог робочого креслення і прийнятої конструкції заготовки.

Отвір  $\varnothing 20H8$  – зенкерувати отв  $\varnothing 19,7$ ; розточити отв  $\varnothing 20H8$ .

Плаский отвір  $R17 \pm 0,3$  – протягування плаского отвору.

Поверхня  $R17 \pm 0,3$  – розточити.

Отвір  $\varnothing 6,4^{+0,20}$  – свердлування.

Торець в розмір  $52 \pm 1$  – точіння.

Торець  $31^{-0,2}$  – точіння попереднє і чистове.

#### 2.3.3 Встановлення структури та послідовності виконання переходів

Порівнюючи кілька варіантів технологічного процесу з різною концентрацією переходів та продуктивності, можна вибрати остаточний варіант обробки деталі «Корпус».

005 Вертикально – фрезерна

Вертикально – фрезерний верстат мод. 6P12

1. Фрезерувати основу в розмір 7,5 мм

## 010 Токарна

Токарний верстат з мод. 16K20

1. Встановити деталь, закріпити, точити  $\varnothing 26$  на  $l = 53$ мм;
2. Зняти фаску.

## 015 Вертикально – свердлувальна

Вертикально – свердлувальний верстат з ЧПК свердлильно-різбонарізний центр DT-1

1. Зацентрувати 4 отвори;
2. Свердлувати 4 отвори  $\varnothing 6,4$  мм;
3. Цекувати 4 отвори  $\varnothing 16,5$  мм.

## 020 Вертикально – фрезерна

Вертикально – фрезерний верстат з ЧПК VF-1

1. Фрезерувати торці у р-р 31 мм згідно програми.
2. Фрезерувати радіусні виборки у р-р R 12 мм згідно програми.
3. Фрезерувати заниження по контуру згідно програми.

## 025 Протяжна

Горизонтально-протяжний напівавтомат модель 7523.

1. Протягнути напвплаский отвір

## 030 Горизонтально- розточувальна

Горизонтально-розточувальний з ЧПК оброблюючий центр EC-1600.

1. Зенкерування отвору  $\varnothing 19$  мм,
2. Розточування отвору  $\varnothing 20$  мм.

**2.4. Визначення припусків на механічну обробку деталі****2.4.1 Аналітичний розрахунок припусків на розмір  $\varnothing 20^{+0,052}$**

$$D_{\text{д min}} = 20 \text{ мм};$$

$$D_{\text{д max}} = 20,052 \text{ мм};$$

Переходи на обробку отвору: 1. Зенкерування; 2. Розточування.

«Розрахунок ведемо за формулою» [5,6]:

$$2Z_{\text{min}} = 2 \cdot \left( R_{zi-1} = T_{i-1} = \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right), \quad (2.4)$$

$$R_{zi-1} = 30 \text{ мм}; \quad [5],$$

$$T_{i-1} = 40 \text{ мкм}; \quad [5],$$

$$\rho_{i-1} = \rho_{\text{осм}}; \quad \rho_{\text{осм}} = K_y * \rho_{\text{нор}} = K_y * \Delta K * L;$$

$$E_i = 70 \text{ мкм}; \quad [5],$$

$$2Z_{\text{min}} = 2 \cdot \left( 30 + 40 + \sqrt{1,62^2 + 70^2} \right) = 280 \text{ мкм};$$

Зенкерування:

$$R_{zi-1} = 30 \text{ мм}; \quad [5],$$

$$T_{i-1} = 100 \text{ мкм}; \quad [5].$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{\rho_{\text{нор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2};$$

$$\rho_{\text{нор}} = 27 \text{ мкм}; \quad [5],$$

$$\rho_{\text{см}} = 26 \text{ мкм}; \quad [5].$$

$$\rho_{i-1} = \sqrt{27^2 + 26^2} = 37 \text{ мкм}.$$

$$E_y = 70 \text{ мкм}; \quad [5].$$

$$2Z_{\text{min}} = 2 \cdot \left( 30 + 100 + \sqrt{37^2 + 70^2} \right) = 418 \text{ мкм}.$$

Загальний номінальний припуск і номінальний діаметр заготовки:

$$Z_{\text{о ном}} = Z_{\text{о min}} + B_z - B_q = 0,698 + 0,2 - 0,052 = 0,846 \text{ мм};$$

$$d_{3 \text{ ном}} = d_{r \text{ ном}} - Z_{o \text{ ном}} = 20 - 0,846 = 19,15 \text{ мм.}$$

Зробимо перевірку.

$$2Z_{\max 2} = 2Z_{\min 2} = 0,31 - 0,28 = 0,03 \text{ мм.}$$

$$b_1 - b_2 = 0,084 - 0,052 = 0,03 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\max 2} = 2Z_{\min 2} = 0,74 - 0,418 = 0,32 \text{ мм.}$$

$$b_3 - b_1 = 0,4 - 0,084 = 0,32 \text{ мм.}$$

Далі після того, як ми зробили перевірку після обчислення загального номінального припуску і номінального діаметру заготовки зобразимо схему розміщення припусків на рис. 2.2.

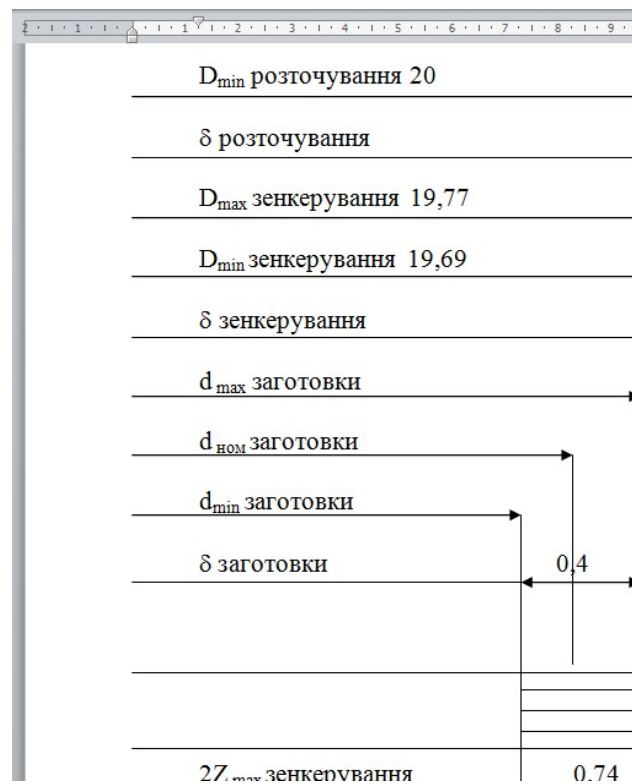


Рисунок 2.2 - Схема розміщення припусків та допусків на  $\varnothing 20^{+0,052}$

Таблиця 2.1 – Розрахунок припусків

Методи обробки	Елемент припуска, мкм				2Z <sub>min</sub> мкм	Розрахунковий Розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір		Граничне значення припуска, мкм	
	Rz	T	q	E				d <sub>min</sub>	d <sub>max</sub>	2Z <sub>min</sub>	2Z <sub>max</sub>
Лиття	30	100	37,6	-	-	19,354	400	18,95	19,35	-	-
Зенкеру- вання	30	40		70	18	19,772	84	19,69	19,77	0,418	0,74
Розго- чування	-	-	-	70	280	20,052	52	20	20,05	0,28	0,31
										0,698	1,05

#### 2.4.2 Табличний метод призначення припусків

Призначимо припуски табличним шляхом і зведемо їх у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. – Розрахунок розмірів заготовки

Розміри	Припуск, мм		Допуск
	табличний	розрахунковий	
$\varnothing 20^{+0,052}$	-	$2 \cdot 0,423$	$\begin{matrix} +0,2 \\ -0,2 \end{matrix}$
$18,3^{+0,14}$	$2 \cdot 1,15$		$\pm 0,2$
$31^{-0,2}$	$2 \cdot 1,0$		$\pm 0,22$
$48 \begin{matrix} -0,08 \\ -0,24 \end{matrix}$	$2 \cdot 1,0$		$\pm 0,25$
$80 \begin{matrix} -0,1 \\ -0,29 \end{matrix}$	$2 \cdot 1,0$		$\pm 0,28$
$4^{-0,15}$	1,6		$\pm 0,14$
$52 \pm 1$	1,6		$\pm 0,25$

## 2.5 Розрахунок режимів різання

### 2.5.1 Розрахунок режимів різання аналітичним методом на фрезерну операцію 005

Операція 005 вертикально – фрезерна.

Фрезерувати основу.

Обладнання: вертикально – фрезерний верстат моделі 6P12. Приймаємо спеціальний фрезерний 4-х місний пристрій з видко знімні .

Для обробки в якості різального інструмента приймаємо торцеву фрезу  $\varnothing 100\text{мм}$  із пластинками з твердого сплаву ВК8.

1. Глибина різання; весь припуск при фрезеруванні знімаємо за один прохід на фрезерування  $t = 0,7$  мм.

2. Подачу на зуб фрези приймаємо по карті [6],  $S_z = 0,02 \div 0,04$  мм/зуб.

Приймаємо  $S_z = 0,04$  мм/зуб.

3. Швидкість різання при фрезеруванні визначимо за формулою [6]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{q_v}}{T^m \cdot t^{x_v} \cdot S_z^{y_v} \cdot B^{u_v} \cdot z^{p_v}} \cdot K_v \quad (2.5)$$

де  $K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}$ ,

$K_{mv}$  – коефіцієнт, який залежить від оброблювального матеріалу

$$K_{mv} = \frac{75}{b} = \frac{75}{115} = 0,65.$$

$K_{nv}$  – коефіцієнт, який враховує марку інструментального матеріалу ВК8,  
 $K_{uv} = 0,74$ .

Тоді:  $K_v = 0,65 \cdot 0,8 \cdot 0,74 = 0,38$

Вибираємо значення:

$$C_v = 204, q_v = 0,44, X_v = 0,24, Y_v = 0,26, U_v = 0,1, P_v = 0,13, m = 0,37.$$

$T = 100$  хв – період стійкості фрези.

Підставивши значення у формулу (2.5) отримаємо:

$$V = \frac{204 \cdot 20^{0,44} \cdot 0,38}{100^{0,37} \cdot 0,7^{0,24} \cdot 0,04^{0,26} \cdot 4^{0,13} \cdot 7^{0,1}} = 63 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання шпинделя верстата розраховується за формулою:

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}; \quad (2.6)$$

$$N = \frac{1000 \cdot 68}{3,14 \cdot 20} = 960 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо по паспорту верстата  $n = 800$  об/хв.

Фактична швидкість різання визначається за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 800}{1000} = 50,2 \text{ м/хв.}$$

Повздовжня подача:

$$S_m = S_z \cdot z \cdot n = 0,04 \cdot 4 \cdot 800 = 128 \text{ мм/хв.}$$

Силу різання при фрезеруванні визначимо за формулою:

$$P_z = \frac{C \cdot t^{x_p} \cdot S^{y_p} \cdot B^{u_p} \cdot Z}{D^{q_p} \cdot U^p} \cdot K_p, \quad (2.7)$$

$n = 800$  об/хв – число обертів фрези.

$C_p = 12,5$ ,  $X_p = 0,85$ ,  $Y_p = 0,75$ ,  $U_p = 1$ ,  $W_p = -0,13$ ,  $q_p = 0,75$ .

$$K_{mp} = \left( \frac{115}{75} \right)^{0,75} = 1,38$$

Підставивши свої значення в формулу отримаємо:

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 0,75^{0,85} \cdot 0,04^{0,75} \cdot 7^1 \cdot 80 \cdot 1,38}{100^{0,75} \cdot 800^{-0,13}} = 1204H$$

Потужність різання визначимо за формулою:

$$N_{piz} = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020} = \frac{1204 \cdot 50,2}{60 \cdot 1020} = 0,83кВт.$$

Перевіряємо достатність потужності двигуна фрезерного верстата.

У верстата моделі 6P12  $N_m = 7,5$  кВт,  $\eta = 0,8$ .

$$N_{шип} = N_m \cdot \eta. \quad N_{шип} = 7,5 \cdot 0,8 = 6 \text{ кВт}$$

Висновок: обробка можлива ( $6 > 0,83$ ).

## **2.5.2 Табличний метод призначення режимів різання, операція 020 вертикально – свердлильна**

Операція 020, перехід 1 свердлувати 4 отв  $\varnothing 6,4$  обладнання верстат з ЧПК свердлильно-різбонарізний центр ДТ-1.

Для обробки 4<sup>x</sup> отв  $\varnothing 6,4$  інструментом слугує спіральне свердло із швидкорізальної сталі Р6М5 з циліндричним хвостовиком.

$$\varnothing 6,4, \alpha = 12^0 \pm 3^0, a=1, l = 1,5 \text{ мм}, 2\varphi = 118^0 \quad [8].$$

Для перевірки розміра  $\varnothing 6,4$  оброблювальної поверхні у якості засобів технічного контролю приймаємо двосторонню пробку  $\varnothing 6,4H14$  і калібр на правильність розміщення отворів.

1. Глибину різання визначаємо виходячи із діаметра отвору, що свердлюється

$$t = \frac{d}{2} = \frac{6,4}{2} = 3,2 \text{ мм.}$$

2. Подачу вибираємо по карті С – 2 [6]

$S = 0,13 \text{ мм/об; } K=0,8,$

$$\text{тоді } S = 0,13 \cdot 0,8 = 0,104 \text{ мм/об.}$$

Вибрану подачу уточнюємо по паспорту верстата, приймаємо

$$S = 0,1 \text{ мм/об;}$$

3. Визначаємо осьову силу різання по карті С- 5 [6]

$$P = P_{\text{табл}} \cdot K_p, \quad (2.8)$$

де –  $P_{\text{табл}} = 115 \text{ кг}$  – цю величину отримаємо методом інтерполяції.

$K_p$  – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріала, для ВНЛ

$$K_p = 1,45;$$

Тоді, підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$P = 10 \cdot 115 \cdot 1,45 = 1670 \text{ Н;}$$

Допустима осьова сила механізмом подачі верстата ДТ-1 дорівнює 6000

Н. Умову  $6000 > 1670$  виконано. Вибрана подача по верстату не лімітується.

Швидкість різання призначаємо по карті С –4 [6].

$$V = V_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (2.9)$$

де  $V_m = 24 \text{ м/хв}$  – табличне значення;

$K_1$  – коефіцієнт, який залежить від оброблювального матеріалу,  $K_1 = 0,4$  для ВНЛ – 3;

$K_2$  – сила стійкості інструмента, період стійкості свердла приймаємо по карті С–3 [6]. При  $T = 100$  хв.,  $K_2 = 1,0$

$K_3$  – коефіцієнт, який залежить від відношення довжини різання до діаметра

$$\frac{L}{d} = \frac{7,5}{6,4} = 1,2L3, K_3 = 1,0.$$

Підставивши значення у формулу отримаємо:

$$V = 24 \cdot 0,4 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 9,6 \text{ м/ хв.}$$

Частоту обертання шпинделя визначимо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 9,6}{3,14 \cdot 6,4} = 477 \text{ об / хв.}$$

Приймаємо  $n = 477$  об/хв. так, як регулювання обертів безступеневе.

5. Потужність, яку потрібно на різання, визначмо по карті С–6 [6]

$$N_{риз} = N_{табл} \cdot K_n \cdot \frac{n}{1000}, \quad (2.10)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт, який залежить від оброблювального матеріалу,  $K_n = 1,45$ .

Підставивши значення у формулу отримаємо

$$N_{риз} = 0,24 \cdot 1,45 \frac{477}{1000} = 0,17 \text{ кВт.}$$

Знайдені значення потужності перевіряємо по потужності верстата. Потужність на шпінделі при К.К.Д. верстата  $\eta = 0,8$  і потужність двигуна  $N_{дв}=4,5$  кВт:

$$N_{шп} = N_{дв} \cdot \eta = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6 \text{ кВт.}$$

$$(3,6 > 0,17)$$

Обробка можлива.

Інші режими різання вибираємо з таблиць [4] та заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Режими різання

Назва операцій та переходів	t, мм	$S_z$ , мм <sup>3</sup>	$S_o$ , об <sup>-1</sup>	$n$ , об <sup>-1</sup>	$V$ , м/хв	$L$ , мм	$S_{хв}$ , мм/хв	$T_o$ , хв
1	2		4	5	6	7	8	9
010 Токарна	1,5	-	0,24	700	78	10	-	0,8
015 Вертикально – свердлувальна	1,5	-	0,1	1250	11,8	2	-	0,4
	3,3	-	0,12	800	12	7,7	-	0,8
	7,7	-	0,12	600	9	4	-	0,12
025 Протягувальна	1,8	0,1	-	-	6	53	-	0,4
030 Горизонтально-розточувальна	0,4	-	0,05	1400	58	36	-	0,6

## 2.6 Визначення технічних норм часу при виконанні операції

### *Визначення штучного часу на операцію 005*

Визначимо машинний час за формулою:

$$T_M = \frac{L}{S_m} \cdot i, \quad (2.11)$$

де  $i = 1$  – число переходів.

$$L = l + y + y_1,$$

де  $l_1 = 240$  мм – довжина обробки;

$l_0 = 168$  мм – довжина виходу фрези;

$$\text{тоді } l = l_1 + l_0 = 240 + 168 = 408 \text{ мм};$$

$y$  – величина врізування, приймаємо  $y = 0,5 \cdot D = 0,5 \cdot 20 = 10$  мм;

$y_1$  – величина перебігу, приймаємо  $y_1 = 3$  мм.

Підставивши значення у формулу 2.12 отримаємо:

$$L = 408 + 10 + 3 = 421 \text{ мм};$$

Тоді машинний час:

$$T_m = \frac{421 \cdot 1}{128} = 3,3 \text{ хв};$$

Час на встановлення і зняття деталі  $t_{\text{уст}} = 0,68$  на 4 деталі.

Час, пов'язаний з виконанням технологічного переходу,  $t_{\text{пер}} = 0,28$  хв.

Оперативний час розрахуємо за формулою [10]:

$$T_{\text{оп}} = t_m + t_{\text{уст}} + t_{\text{пер}} = 0,68 + 3,3 + 0,28 = 4,26 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{дод}} = 0,11 \cdot 4,26 = 0,47 \text{ хв.}$$

Штучний час розрахуємо за формулою:

$$T_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}}. \quad (2.12)$$

$$\text{Отже, } T_{\text{шт}} = 4,26 + 0,47 = 4,73 \text{ хв.}$$

Час підготовчо – заключний на наладку верстата, інструмента і приспособлень – 24 хв. На отримання інструмента і приспособлень до початку і здачу їх після закінчення – 12 хв.

$$\text{Отже, } T_{\text{п.з}} = 24 + 12 = 36 \text{ хв.}$$

Норматив штучно-калькуляційного часу в серійному виробництві розраховується за формулою [10]:

$$T_{шт.кал.} = T_{шт} + \frac{T_{н.з}}{n} = 4,73 + \frac{36}{63} = 5,3хв.$$

**Визначення штучного часу на операцію 020.**

Машинний час:

$$T_M = \frac{L}{S \cdot n} \cdot i, \quad (2.13)$$

де  $i$  – число переходів, 4 переходи;

$$L = e + y + \Delta \text{мм},$$

де  $e = 7,5$  мм – довжина оброблюваної поверхні;

$y$  – величина врізування;

$$y = t \cdot \text{ctg} \varphi + (0,5 \div 2) \text{ мм};$$

$$y = 3,2 \cdot \text{ctg} \cdot 58^\circ + (0,5 \div 2) = 4 \text{ мм};$$

$\Delta$  – величина перебігу, приймаємо  $\Delta = 2,5$  мм.

Тоді, підставивши значення у формулу отримаємо:

$$L = 7,5 + 4 + 2,5 = 14 \text{ мм}.$$

Далі, підставивши дані у формулу (2.13) отримаємо машинний час:

$$T_{M.} = \frac{14 \cdot 4}{0,1 \cdot 477} = 1,17хв.$$

Час, пов'язаний з виконанням технологічного переходу  $t_{пер} = 0,1$  хв;

Час на вимірювання:

$$t_{вим} = 0,09 \text{ хв};$$

Оперативний час розрахуємо за формулою:

$$T_{оп} = T_M + t_{вим} + t_{пер} + t_{уст} = 1,17 + 0,09 + 0,4 + 0,14 = 1,81 \text{ хв.}$$

Додатковий час розраховуємо за формулою:

$$T_{дод} = 0,11 \cdot T_{оп} = 0,11 \cdot 1,81 = 0,2 \text{ хв.}$$

Штучний час розраховуємо за формулою:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{дод} = 1,81 + 0,2 = 2,1 \text{ хв.}$$

Час підготовчо – заключний на наладку верстата, інструмента і приспособлень за картою 28 [4],  $T_{пз} = 13 \text{ хв.}$

Норматив штучно-калькуляційного часу в серійному виробництві розраховується за формулою [10]:

$$T_{шт.к.} = \frac{T_{п.з}}{n} + T_{шт}, \quad (2.14)$$

$$T_{шт.кал.} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n} = 2,1 + \frac{13}{63} = 2,3 \text{ хв.}$$

Розрахунки технічно обґрунтованих норм часу на операції заносимо у таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Норми часу на операції

Назва операції	T <sub>о</sub> , хв	T <sub>д</sub> , хв			T <sub>оп</sub> , хв	T <sub>від.об</sub> , хв	T <sub>шт</sub> , хв	T <sub>п.з</sub> , хв	п, шт	T <sub>шт.к</sub> , хв
		t <sub>ус</sub>	t <sub>уп</sub>	t <sub>вим</sub>						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
010 Токарна	0,8	0,855	0,02	0,09	1,765	0,124	1,89	7	80	2,67
015 Вертикально – свердловальна	5,28	0,277	0,178	0,222	5,955	0,247	6,2	15	80	6,4
025 Протягувальна	0,4	0,277	0,2	0,222	1,1	0,1	1,2	15	80	1,4
030 Горизонтально-розточувальна	0,6	0,24	0,13	0,222	1,19	0,233	1,43	15	80	1,62

## **2.7 Висновки до розділу 2**

1. Запропоновано новий технологічний процес оброблення деталі «Корпус» в якому проведено скорочення технологічних операцій за рахунок введення верстатів з ЧПК.
2. Проведено розрахунки по вибору заготовки, розраховано аналітично припуски, режими різання та проведено нормування технологічного процесу.

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1. Проектування верстатного пристрою для фрезерування

Пристрій призначено для оброблення заготовки а вертикально-фрезерному верстаті DT-1 з ЧПК де ведеться обробка торців отвору паралельному до основи, лунки в розмір R12 та контур заниження. Розрахунок пристрою ведемо за режимами переходу фрезерування лунки, як найбільше навантажують пристрій.

#### 3.1.1 Схема базування та вибір установочних елементів

На заготовку «Корпус» прикладаємо сили різання та сили, які утримують її у процесі оброблення (рис. 3.1).

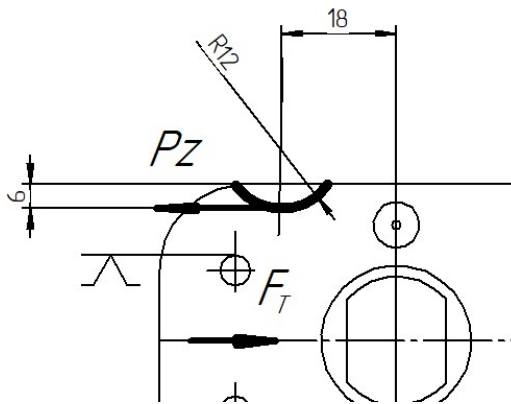


Рисунок 3.1 – Схема базування та закріплення при фрезеруванні

Вибираємо базові елементи у вигляді пальців, які звільняють заготовку двої ступенів вільності. Один циліндричний та другий зрізаний. Базовим елементом також слугує площина корпусу пристрою, яка забирає три ступеня вільності.

### 3.1.2 Розрахунок сили закріплення та приводу пристрою

Виходячи з того, що оброблення лунки в розмір R12 є більш значним за режимом різання за прикладеними силами при обробці, розрахунок параметрів пристрою ведемо за цим переходом.

При фрезеруванні лунки R12 виникає сила різання, яку визначимо за формулою з потужності різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020}; \quad \text{звідки} \quad P_z = \frac{N \cdot 60 \cdot 1020}{V} \quad (3.1)$$

Потужність різання визначимо за картою [6]

$$N_{piz} = E \cdot \frac{Vb_{max} \cdot z}{1000} \cdot K_1 \cdot K_2$$

Режими обробки

$n = 160$  об/хв;  $S_z = 0,1$  мм/об;  $S_M = 200$  мм/хв;  $V = 30,2$  м/хв;  $\Phi 24$  мм, Р6М5;  $z = 4$ .

$E$  – величина визначається по таблиці  $E = 0,2$ ;

$b = 24$  мм, максимальна ширина фрезерування;

$k_1$  - коефіцієнт, залежний від оброблювального матеріалу,  $k_1 = 1,2$  НБ 375

$k_2$  – коефіцієнт залежний від типу фрези і швидкості різання,  $k_2 = 0,7$ .

Підставляємо свої значення:

$$N_{piz} = \frac{0,2 \cdot 20,2 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 1,2 \cdot 0,6}{1000} = 0,276 \text{ кВт};$$

Визначимо силу різання за формулою:

$$P_z = \frac{0,276 \cdot 60 \cdot 1020}{20,2} = 846 \text{ Н}.$$

### 3.1.2.1 Розрахунок необхідних сил закріплення деталі

Пристрій проектуємо 4<sup>x</sup>-місний з пневмозатиском, схему якого показано на рис. 3.2. При фрезеруванні контура по програмі виникає сила різання  $P_z = 846$  Н, яка була визначена раніше.

Рівняння рівноваги заготовки під дією сил різання та закріплення, визначено з рис. 3.1.

$$F_T = P_z \cdot K,$$

де  $F_T$  - сила тертя, що втримує заготовку;

$K$  – коефіцієнт запасу по утриманню,  $K = 1,6$ .

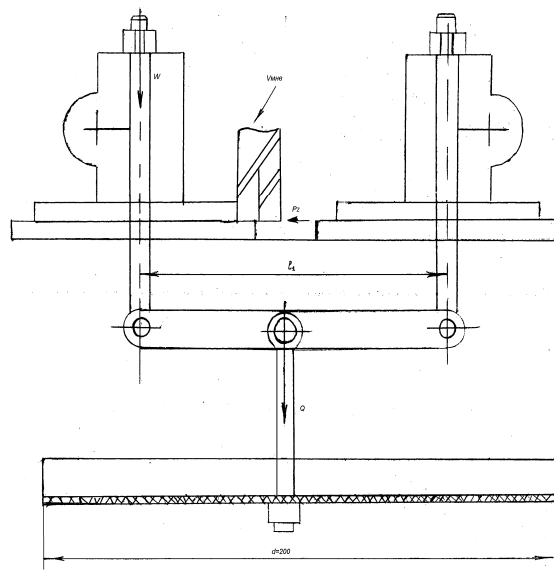


Рисунок 3.2 – Схема розрахунку пристрою

Необхідну силу затиску визначимо за формулою [12,13]:

$$W = \frac{P_z}{f} \cdot K, \quad (3.2)$$

де  $f = 0,45$  – коефіцієнт тертя;

$K$  – коефіцієнт запасу, приймаємо  $K=1,6$ .

Тоді

$$W = \frac{846}{0,45} \cdot 1,3 = 2444H$$

Одночасно закріплюємо 4 деталі, тоді зусилля на штокові пневмокамери буде:

$$Q = 4 \cdot W = 4 \cdot 2444 = 9776H.$$

Діаметр пневмокамери визначимо за формулою [11,13]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho}}, \quad (3.3)$$

де  $\eta = 0,96$  – втрати в поверхнях тертя;  $\rho = 0,4$  МПа – тиск в пневмосистемі розрахунковий.

Підставивши значення у (3.3) отримуємо діаметр пневмокамери:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 9776}{3,14 \cdot 0,4}} = 176.мм.$$

Приймаємо діаметр  $D = 200$  мм.

Фактичне зісилля на штокові пневмокамери розрахуємо за формулою:

$$Q_{\phi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} p = \frac{3,14 \cdot 200^2}{4} 0,63 = 19872H.$$

### 3.1.3 Розрахунок елементів пристрою на міцність

З аналізу конструкції пристрою визначено найбільш навантажену ланку - штифт, що з'єднує шток і тягу. Проведемо розрахунок розмірів за напруженнями на зріз [17].

Розрахунок штифта на зріз:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{F_{зр}} \leq [\tau]_{зр},$$

де  $F_{зр}$  – площа зрізу.

$$F_{зр} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 2 = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} \cdot 2 = 6,28 \text{ см}^2$$

$D = 20$  мм – діаметр штифта тоді:

$$\tau_{зр} = \frac{19872}{6,28} = 3150 \text{ Н/см}^2 < [\tau]_{зр}$$

$[\tau]_{зр} = 4500 \text{ Н/см}^2$ , що є допустимою умовою.

### 3.1.4 Розрахунок пристрою на точність

Допустима похибка верстатного пристрою [12] визначається за формулою:

$$\varepsilon_{дон} = T - k \cdot \omega, \quad (3.4)$$

де  $T$ - допуск на відповідний розмір,  $T = 0.12$ мм

$k$  – поправочний коефіцієнт,  $k = 1$

$\omega$  - похибка верстата,  $\omega = 0.02$ мм

$$\varepsilon_{дон} = 0,12 - 0,02 = 0,1 \text{ мм.}$$

Похибка установки деталі в пристрої

$$\varepsilon_y = \sqrt{\xi_\delta^2 + \xi_3^2 + \xi_{np}^2}, \quad (3.5)$$

де  $\xi_\delta$  - похибка базування,

$$\xi_\delta = 0.5 \cdot T_d(1/\sin\alpha - 1) = 0.5 \cdot 0.12(1/\sin 45 - 1) = 0.02 \text{ мм.}$$

$\xi_3$  – похибка закріплення,  $\xi_3 = 0.012 \text{ мм}$  [11].

$\xi_{np}$  – похибка пристрою,

$$\xi_{np} = (1/4 \dots 1/10) T_d = (1/4 \dots 1/10) \cdot 0.3 = (0.075 \dots 0.03) \text{ мм.}$$

Приймаємо  $\xi_{np} = 0.03 \text{ мм.}$

$$\varepsilon_y = \sqrt{0.02^2 + 0.012^2 + 0.03^2} = 0.038 \text{ мм.}$$

Так як  $\varepsilon_{дон} = 0,1 > \varepsilon_y = 0,038 \text{ мм.}$  то пристрій сконструйовано вірно і забезпечує необхідну точність оброблення.

### 3.1.5 Опис роботи пристрою для фрезерування

За базові поверхні приймаємо 2 отв.  $\varnothing 6,4$ , опорну поверхню деталі. Деталі садимо на палець циліндричний позиція і зрізаний палець. Зрізаний палець приймаємо для компенсації допуску на між центрову відстань.

Оброблювальні заготовки встановлюємо на площину та на два пальця. На тяги встановлюємо швидкозмінні шайби. При включення приводу притискаємо корпус при ході тяги позиція вниз, за рахунок стисненого повітря, яке подається в порохнину пневмокамери. Затиск деталей виконується одночасно за допомогою крана подачі стисненого повітря.

Для швидкого зняття деталей передбачені видкознімні шайби.

Пристрій встановлюємо на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК моделі VF-1, centruємо на столі верстата за рахунок шпонок  $\varnothing 20g6$

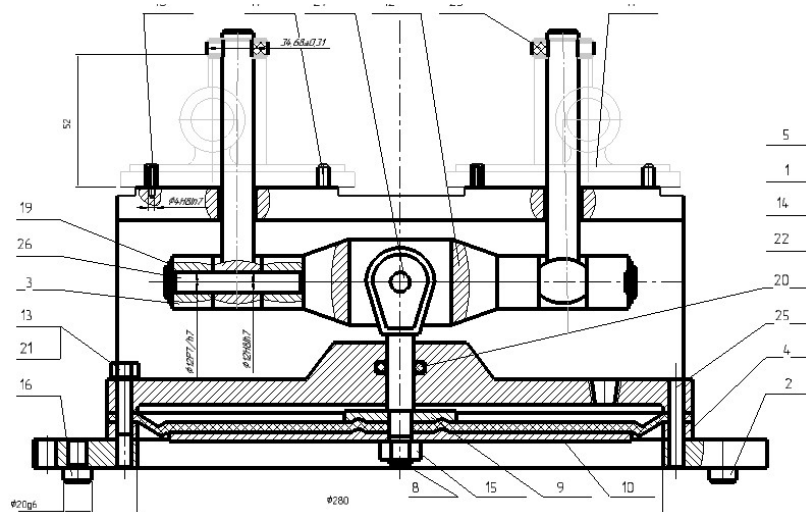


Рисунок 3.4 – Схема верстатного пристрою для фрезерування

## 3.2 Проектування контрольного пристрою

### 3.2.1 Технічні умови та вимоги креслення, що підлягають контролю

Для даної деталі, контролю підлягає непаралельність отвору до площини основи. Цей параметр можна перевірити за допомогою запроєктованого контрольно-вимірювального пристрою, який містить оправку, що встановлюється в отвір і перевіряється ніжкою індикатора годинникового типу розмір до оправки з однієї та другої сторони.

### 3.2.2 Вибір схеми контролю заданого параметру

Згідно рекомендацій [12], вибираємо наступну схему контролю. Схема зображена на рис. 2.4.

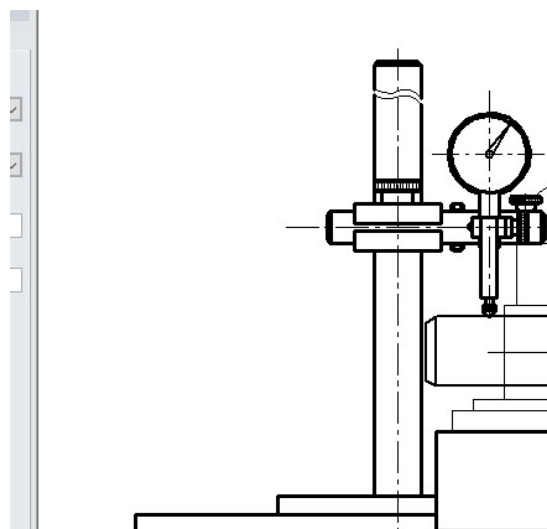


Рисунок 3.4 – Схема вимірювання параметру контролю

### 3.2.3 Розрахунок пристрою на точність

«Допустима похибка вимірювання пристрою визначається за формулою

:

$$\xi_{\text{д.вим.}} = 0,3T, \quad (3.6)$$

де  $T$ -допуск вимірювання,  $T = 0.05$  мм.

Похибка пристрою,

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_{zn}^2 + \varepsilon_v^2} \quad (3.7)$$

де  $\varepsilon_y$  – похибка виготовлення установочних елементів пристрою,

$\varepsilon_y = 0$  мм

$\varepsilon_{zn}$  – похибка зношення установочних елементів,  $\varepsilon_{zn} = 0,01$  мм [15];

$\varepsilon_v$  – похибка вимірювального пристрою, мкм.»[12].

Вибираємо індикатор годинникового типу ИЧ з ціною поділки 0.01 мм. та похибкою вимірювання 0,008 мм.

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{0,01^2 + 0,008^2} = 0,013 \text{ мм}$$

$$\xi_{д.вим.} = 0,3 \cdot 0,05 = 0,015 \text{ мм.}$$

Таким чином фактична похибка контрольно-вимірювального пристрою  $\varepsilon_{np} = 0,013$  мм менше ніж допустима похибка  $\varepsilon_{доп} = 0,015$  мм., тобто пристрій придатний для контролю.

### 3.2.4 Принцип роботи пристрою

Деталь встановлюється на рухмий стіл пристрою. В отвір деталі вставляється оправка. Налагоджуємо індикатор на поверхню оправки зліва на «0». Переміщенням стола встановлюємо ножку індикатора на праву поверхню оправки проводимо вимірювання і знімаємо покази індикатора. Різниця показчиків буде непаралельність осі отвору до основи.

### 3.3 Висновки до розділу 3

У конструкторському розділі розроблено та розраховано верстатний пристрій для фрезерування поверхонь на верстаті з ЧПК та контрольний пристрій для визначення непаралельності осі отвору до основи.

## РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

### 4.1. Аналіз конструкції деталі Корпус у середовищі SolidWorks в модулі Simulation

«На сьогоднішній день тривимірні моделі механізмів і машин використовуються не тільки для отримання конструкторської і технологічної документації, але й для проведення інженерного аналізу за допомогою спеціалізованих програмних продуктів. Від якості геометричних моделей залежить можливість і точність результатів такого аналізу. Таким чином, отримання простих, не переобтяжених зайвими елементами геометричних моделей технічних об'єктів, є актуальним завданням проектування.

SolidWorks – розробка SolidWorks Corp. (США), є потужним засобом проектування, яке повністю вирішує проблеми щоденної практичної роботи інженера-проектувальника. SolidWorks служить основою для побудови інтегрованого комплексу автоматизації підприємства і дозволяє здійснити наскрізний процес проектування, інженерного аналізу та підготовки виробництва виробів будь-якої складності та призначення. Ця система не має обмежень по кількості компонентів складних збірок, надає великі можливості для оформлення конструкторської документації, роботи з листовим металом, створення фотореалістичних зображень. SolidWorks повністю підтримує стандарти ЄСКД в частині оформлення конструкторської документації.

Програма SolidWorks – це система автоматизованого проектування механічних вузлів на основі окремих елементів.

Вона є інструментом об'ємного параметричного моделювання, в якій застосовується зручний графічний інтерфейс користувача системи Windows.

Точно так само як конкретний механічний вузол складається із окремих деталей, модель SolidWorks створюється із окремих складових елементів.

Програма SolidWorks у графічному режимі відображає структуру створеної моделі на основі елементів у спеціальному вікні, яке називається

Деревом конструювання (Feature Manager). В Дереві конструювання відображається не тільки послідовність створення окремих елементів моделі, але й воно надає зручний доступ до всіх відомостей процесу моделювання.

Об'ємна (або твердотільна модель) – найбільш завершений тип геометричної моделі, який використовується у системах автоматизованого проектування. Вона включає всю геометрію каркаса і поверхонь, необхідну для повного опису кромки і граней моделі. Окрім геометричних відомостей, вона також містить інформацію, яка називається топологією моделі і відноситься до геометрії. Прикладом топології може служити те, які грані (поверхні) утворюють кромку (криву) і що вона собою являє. Відповідно до цієї логіки, такі операції, як округлення, виконуються так само просто, як вибір кромки або задання розміру радіусу. Модель у SolidWorks повністю пов'язана із кресленнями деталей і складальними кресленнями, які на неї посилаються.

Зміни, виконані в моделі, автоматично відбиваються у, пов'язаних із нею, кресленнях і збірках. Так само можна здійснювати зміни в кресленнях або збірках, знаючи при цьому, що зміни відповідно будуть відображені у самій моделі. Геометричні взаємозв'язки, такі як паралельність, перпендикулярність, горизонтальність, вертикальність, концентричність, є лише частина обмежень, що підтримуються системою SolidWorks» [19].

Метою досліджень є інженерний аналіз конструктивних параметрів деталі Корпус ДХ.435 на міцність та можливих переміщень елементів деталі при впливі робочих навантажень.

Для виконання аналізу конструкції деталі використовується програмне середовище SolidWorks.

«У середовищі SolidWorks та модулі Simulation, користувач може проводити інженерні розрахунки і моделювати методом аналізу кінцевих елементів різні впливи робочих навантажень на виріб» [19].

«Основними особливостями модуля Simulation є:

- лінійний аналіз;
- втомний аналіз металу;

- нелінійний аналіз;
- теплової аналіз;
- частотний аналіз;
- аналіз виробів з пластмаси і гуми;
- динамічний аналіз і ін.

Моделювання кінцевих елементів (МКЕ) - це використання лінійного аналізу напружень для поділу проєктованих компонентів на тверді, оболонкові або балкові елементи для визначення реакції деталі або вузла під впливом: - сили; - тиску; - прискорення; - температури - контакт між компонентами.

Будь-який тип аналізу проводиться в кілька етапів. Давайте перерахуємо кроки, необхідні для виконання аналізу.

Для здійснення розрахунків необхідно:

- 1) побудувати тривимірну модель виробу;
- 2) згенерувати кінцево-елементну сітку;
- 3) визначити матеріал моделі;
- 4) накласти граничні умови, що визначають суть фізичного явища, що підлягає аналізу;
- 5) виконати розрахунок;
- 6) проаналізувати результати» [19].

«Також можна враховувати напруги, що виникають в результаті теплового розширення або стиснення матеріалу або деформації конструкції через відомих величин зміщення. За допомогою програмних продуктів SolidWorks користувачі можуть оцінити міцність розроблюваної ними конструкції відповідно до допустимих напруг, визначити ненадійне розташування конструкції, внести необхідні зміни і оптимізувати конструкцію виробу» [19].

Тривимірну модель створюємо за допомогою програмного продукту SolidWorks, яка представлена на рис. 4.1.

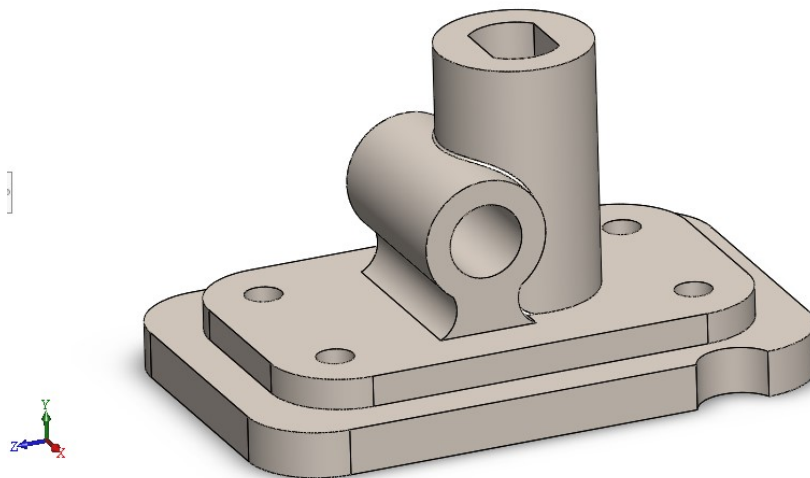


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд тривимірної моделі Корпус ДХ.435

#### 4.1.1. Розбиття моделі Корпус ДХ.435 на скінчені елементи

«Користувач визначає параметри дискретизації – середній розмір скінченого елемента та, при необхідності, зони з більш мілкою сіткою. Крім того, можливо дозволити системі самостійно керувати розмірами комірок у зонах із різкою зміною геометрії» [18].

У нашому випадку концентратором зусиль у корпусі будуть місця закріплення його болтами та місце центрального отвору.

Якщо 3D-модель успішно створена, відображається діалогове вікно, що керує налаштуваннями для створення сітки кінцевих елементів, і в кінці формується модель тетраедричної сітки для апроксимації 3D-моделі виробу.

Схему сітки розбиття пластини на скінченні елементи зображено на рис. 4.2.

Для того, щоб здійснювати які-небудь розрахунки з твердотільною моделлю деталі необхідно визначити матеріал, з якого вона виготовлена.

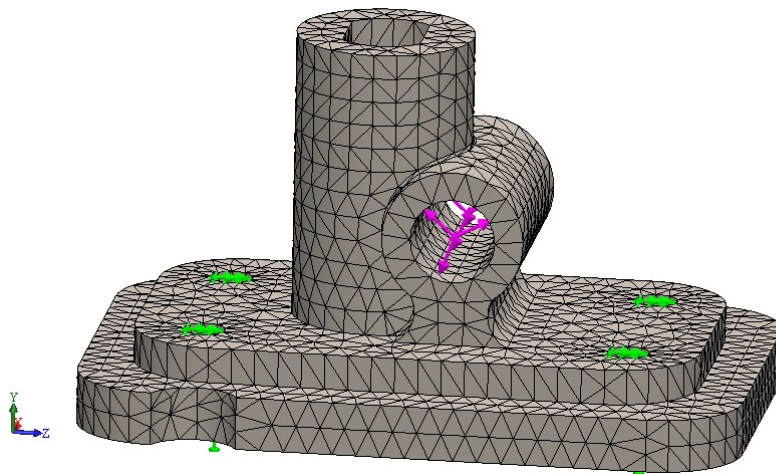


Рисунок 4.2 – Створення сітки деталі, яка побудована методом кінцевих елементів

«У SolidWorks аналізі є дві можливості завдання матеріалу деталі для виконання аналізу. За умовчанням, в розрахунку використовуються характеристики матеріалу «з операції». Призначення матеріалу для тривимірної моделі здійснюється у вікні властивостей операції, або з бази даних матеріалів. Доступ до бази матеріалів Аналізу для поточної задачі здійснюється по команді «Анализ-Материал» або з контекстного меню дерева задач, що відображається у вікні задач. Призначимо для нашої моделі матеріал виготовлення деталі «Сталь ВНЛ-3» з бази матеріалів SolidWorks.

Для визначення місць закріплень деталі в SolidWorks Аналізі передбачені три команди: «Полное закрепление», «Частичное закрепление» і «Контакт».

Команда «Анализ → Ограничение → Полное закрепление» застосовується до вершин, граней і ребер моделі. Вона визначає, що даний елемент тривимірного тіла повністю нерухомий, тобто зберігає своє первинне розташування і не міняє свого положення під дією прикладених до системи навантажень» [18].

Вкажемо нерухому грань моделі - в даному випадку використаємо базову поверхню деталі – кріпильні отвори (рис. 4.3).

### 4.1.2 Визначення переміщень окремих поверхонь фланця

Навантаження виникає в процесі утримання замком на рейці виробу та прикладатиметься до внутрішньої поверхні деталі під час роботи деталі у вузлі (рис. 4.3) та створюють переміщення елементів деталі Корпус ДХ.435. При значних зміщеннях можливе заклинювання рухомих вузлів.

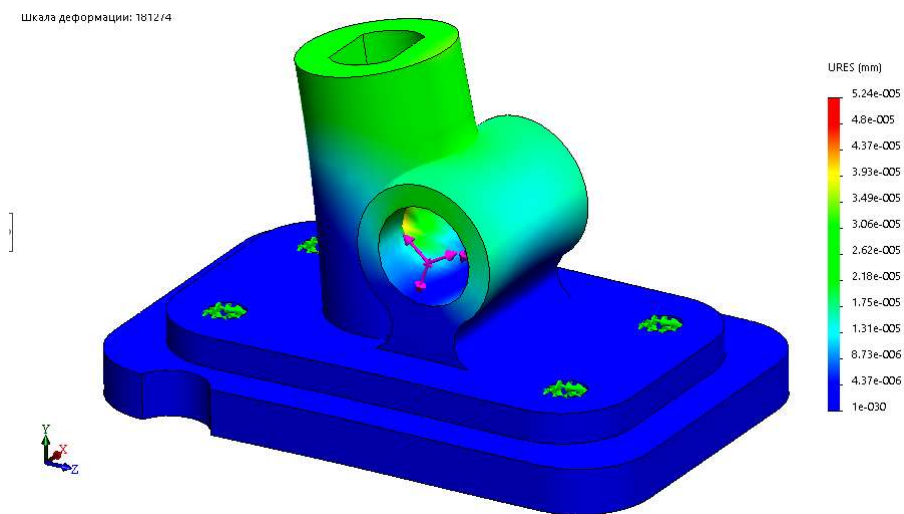


Рисунок 4.3 – Переміщення елементів деталі Корпус ДХ.435 під дією робочих навантажень

Встановлено, що під дією робочих навантажень максимальні переміщення основних поверхонь складають – 0,003468 мм

### 4.1.3. Методика розрахунків на міцність елементів деталі Корпус ДХ.435

«Розрізняють наступні навантажені стани:

а) лінійний (з однією віссю) – коли з трьох головних напружень тільки одне не дорівнює нулю. У цьому напруженому стані знаходяться деталі при розтягу, стисканні, чистому згині;

б) плоский (із двома осями) – коли із трьох головних напружень два не дорівнюють нулю. Практично у двохосьовому напруженому стані знаходяться диски, що обертаються, тонкостінні посудини під внутрішнім тиском, стрижні при чистому крученні та при поперечному згині. Вільні від навантажень ділянки поверхонь деталей будь – якої конфігурації завжди знаходяться у двохосьовому напруженому стані;

в) об'ємний (трьохосьовий) – коли всі три головні напруження не дорівнюють нулю (товстостінні труби під внутрішнім тиском, ділянки контакту різних тіл, внутрішні зони масивних деталей)» [18].

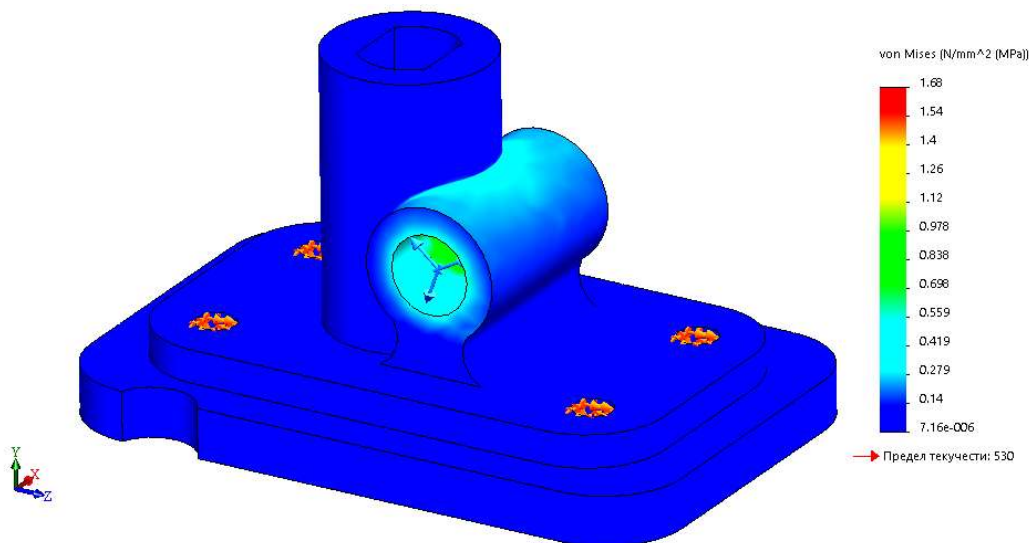


Рисунок 4.4 – Напруження в елементах деталі Корпус ДХ.435 під дією робочих навантажень

Після виконання всіх необхідних операцій виконується розрахунок напружень рис.4.4 та деформацій поверхонь рис.4.5.

Результати розрахунку відображаються в дереві задач.

Доступ до результатів забезпечується з контекстного меню для вибраної в дереві задач задачі по команді «Відкрити» або «Відкрити в новому вікні».

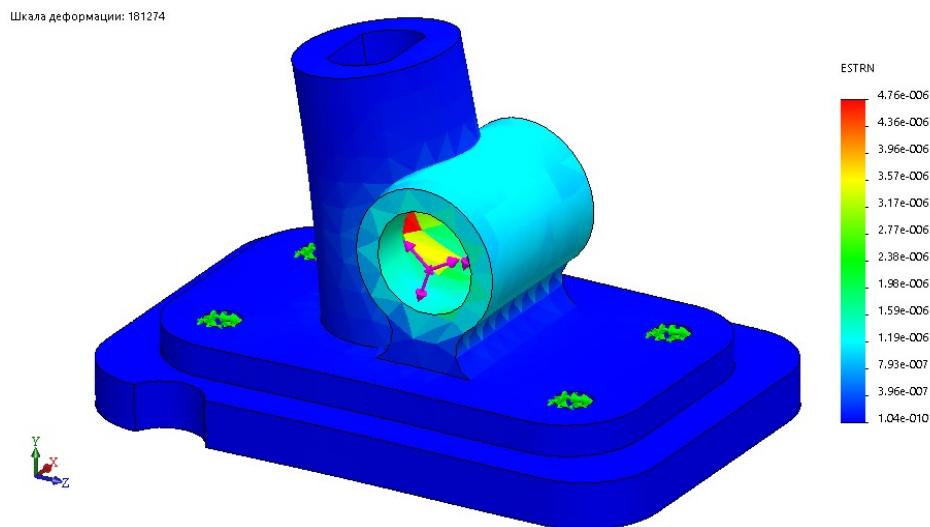


Рисунок 4.5 – Результати аналізу (деформація) деталі Корпус ДХ.435 під дією робочих навантажень

#### 4.2. Висновки до розділу 4

Провівши аналіз конструктивних параметрів деталі при робочому навантаженні виявлено в деяких зонах максимальні напруження по Мізесу 0,419 МПа, та максимальні переміщення 0,003468 мм, що є в межах допустимої норми.

Отже деталь Корпус ДХ.435 має достатню жорсткість, буде працювати при робочому навантаженні без значних деформацій поверхонь і не потребує додаткових конструкторських модернізацій по збільшенню розмірів її окремих параметрів.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Штучне освітлення та розрахунок освітлювальних установок

«Штучне освітлення передбачається у всіх приміщеннях будівель, а також на відкритих робочих ділянках, місцях проходу людей та руху транспорту.

Штучне освітлення проектується для двох систем: загальне (рівномірне або локалізоване) та комбіноване (до загального додається місцеве).

При штучному освітленні нормативною величиною є абсолютне значення освітленості, яке залежить від характеристики зорової праці та системи освітлення (загальне, комбіноване). Всього визначено вісім розрядів (в залежності від розміру об'єкта розпізнавання), в свою чергу розсту між об'єктом і фоном та характеристики фона (коефіцієнта відбиття).

Найбільша нормована освітленість складає 5000 лк (розряда), а найменша – 30 лк (розряд VIII в)» [18].

Таблиця 5.1 Нормативні значення освітлення

Характеристика та розряд зорової роботи	Найменший лінійний розмір об'єкта розпізнавання, мм	Штучне освітлення, лк		Природне освітлення, КПОШ, %	
		комбіноване	загальне	верхнє	бокове
Найвищої точності – I	менше 0,15	5000–1500	1500–400	10	3,5
Дуже високої точності – II	0,15–0,3	4000–1000	1250–300	7	2,5
Високої точності – III	0,3–0,5	2000–400	500–200	5	2
Середньої точності – IV	0,5–1	750–300	300–150	4	1,5
Малої точності – V	1–5	300–200	200–100	3	1
Груба – VI	більше 5	–	150	2	0,5
Робота з матеріалами, що світяться – VII	більше 0,5	–	200	3	1
Загальне спостереження за ходом технологічного процесу – VIII	–	–	75–30	1	0,3

«Як джерела світла при штучному освітленні використовуються лампи розжарювання та газорозрядні лампи. Основними характеристиками джерел

світла є номінальна напруга, споживана потужність, світловий потік, питома світлова віддача та строк служби.

У лампі розжарювання видиме світло випромінює нагріта до високої температури нитка з тугоплавкого матеріалу. Світловий потік залежить від споживаної потужності і температури нитки. Лампи розжарювання прості у виготовленні, надійні в експлуатації. Їх недоліки: мала світлова віддача (10–15 лм/Вт), невеликий строк служби (близько 1000 год) та несприятливий спектральний склад світла, в якому переважають жовтий та червоний кольори при нестачі синього та фіолетового порівняно з природним світлом, що утруднює розпізнавання кольору.

У газорозрядних лампах балон наповнюється парами ртуті та інертним газом, на внутрішню поверхню балона можуть наноситься люмінофор. Газорозрядні лампи бувають низького (люмінесцентні) та високого тиску. Люмінесцентні лампи мають великий строк служби (10000 год), більшу світлову віддачу (50–80 лм/Вт), малу яскравість поверхні, що світиться, кращий спектральний склад світла – ближчий до денного. До недоліків люмінесцентних ламп відноситься:

пульсація світлового потоку, нестійка робота при низьких температурах і зниженій напрузі та більш складна схема вмикання. Пульсація світлового потоку негативно впливає на стан зору, а також може викликати стробоскопічний ефект, який полягає у тому, що частини обладнання, що обертаються, здаються нерухомими або такими, що обертаються у протилежному напрямі. Стробоскопічний ефект можна знизити вмиканням сусідніх ламп у різні фази мережі, але повністю усунути його не вдається. Зниження негативної дії пульсуючого світлового потоку здійснюють підвищенням частоти (до 11кГц) струму живлення, що пов'язано з інерційною характеристикою формування зорового образу. Розрізняють кілька типів люмінесцентних ламп залежно від спектрального складу світла: ЛД – лампи денні, ЛБ – білі, ЛДЦ – денного світла правильної кольорової передачі, ЛТБ – теплобілі, ЛХБ – холоднобілі» [18].

«Лампи високого тиску – дугові ртутні (ДРЛ) та натрієві лампи (ДНаТ) мають строк служби більш 10000 год та світловіддачу відповідно 50 і 130 лм/Вт.

У галогенних лампах колби наповнені парами галогену (йоду або броду). За приціпом дії вони бувають розжарювання, газоразрядні і металогалогенові. Галогенні лампи мають строк служби (2000–5000год) і світловіддачу (20–75 лм/Вт).

Джерело світла (лампи) разом з освітлюваною арматурою складає світильник. Він забезпечує кріплення лампи, подачу до неї електричної енергії, запобігання забрудненню, механічному пошкодженню, а також вибухову і пожежобезпеку та електробезпеку. Здатність світильника захищати очі працюючого від надмірної яскравості джерела характеризується захисним кутом.

При проектуванні освітлювальних установок необхідно, дотримуючись норм та правил освітлення, визначити потребу в освітлювальних пристроях, установчих матеріалах і конструкціях, а також в електричній енергії. Проект, як правило, складається з чотирьох частин: світлотехнічної, електричної, конструктивної та кошториснофінансової» [18].

«Світлотехнічна частина передбачає виконання таких робіт: знайомство з об'єктом проектування, яке полягає в оцінці характеру й точності зорової роботи на кожному робочому місці; при цьому обов'язково треба встановити роль зору у виробничому процесі, мінімальні розміри об'єктів розрізнювання та відстань від них до очей працюючого; визначити коефіцієнт відбиття робочих поверхонь і об'єктів розрізнення, розташування робочих поверхонь у просторі, бажану спрямованість світла, наявність об'єктів розрізнювання, що рухаються, можливість збільшення контрасту об'єкта з фоном, можливість виникнення травматично небезпечних ситуацій, стробоскопічного ефекту; виявити конструкції та об'єкти, на яких можна розмістити освітлювальні прилади, а також конструкції та об'єкти, які можуть утворювати тіні тощо;

вибір системи освітлення, який визначається вимогами до якості освітлення та економічності установки освітлення;

вибір джерела світла що визначається вимогами до спектрального складу випромінювання, питомою світловою віддачею, одиничною потужністю ламп, а також пульсацією світлового потоку;

визначення норм освітленості та інших нормативних параметрів освітлення для даного виду робіт відповідно до точності робіт, системи освітлення та вибраного джерела світла;

вибір приладу освітлення, що регламентується його конструктивним виконанням за умовами середовища, кривою світлорозподілу, коефіцієнтом корисної дії та величиною блиску;

вибір висоти підвісу світильників здійснюється, як правило, сумісно з вибором варіанту їх розташування і визначається в основному найвигіднішим відношенням  $L:h$  (відстань між світильниками до розрахункової висоти підвісу), а також умовами засліплення; залежно від кривої світлорозподілу (типу світильника) відношення  $L:h$  прийнято від 0,9 до 2,0» [18].

«Після визначення основних параметрів освітлювальної установки (нормованої освітленості, системи освітлення, типу освітлювальних приладів та схеми їх розташування) приступають до світлотехнічних розрахунків.

Розрахунок освітлювальної установки може бути виконано різними способами, які базуються на двох основних методах розрахунків: за світловим потоком і точковий. Найбільш розповсюджений в проектній практиці розрахунок за методом коефіцієнта використання потоку світла. Цей метод використовується для розрахунку загального рівномірного освітлення і дає змогу визначити світловий потік джерел світла, необхідний для створення нормованого освітлення розрахункової горизонтальної площини. Цим методом враховується прямий та відбитий (від стелі, стін та підлоги) потік світла.

Потік світла  $F$ , який повинні випромінювати лампи втильнику, визначають за формулою:

$$F = EkSz/(N\eta\gamma), \quad (5.1)$$

де  $E$  – нормована мінімальна освітленість, лк;

$k$  – коефіцієнт запасу, приймають в межах від 1,2 до 2,0 в залежності від вмісту пилу в повітрі, типу джерела світла і розрахункових строків очищення світильників – 2–18 раз на рік);

$S$  – площа, що освітлюється, м<sup>2</sup>;

$Z = E_{ср}/E_{мін}$  – коефіцієнт, що характеризує нерівномірність освітлення ( $E_{ср}$ ,  $E_{мін}$  – середня та мінімальна освітленість), приймають таким, що дорівнює 1,0

при розрахунку на середню освітленість чи для відбитого освітлення, 1,15 – для ламп розжарювання і ДРЛ, 1,1 – для ліній, що світяться, виконаних світильниками з люмінесцентними лампами;

$N$  – кількість світильників, передбачена ще до розрахунку відповідно до найвигіднішого  $L : h$ ;

$\eta$  – коефіцієнт використання випромінюваного світильниками потоку світла на розрахунковій площині (визначають за довідковими таблицями залежно від типу світильника, коефіцієнтів відбиття підлоги, стін, стелі та індексу приміщення  $i$ , який розраховується за формулою :

$$i = AB/(h(A+B)), \quad (5.2)$$

тут  $A$  і  $B$  – розміри приміщення в плані, м;

$h$  – розрахункова висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м);

$\gamma$  – коефіцієнт затінення (може вводиться для приміщень з фіксованим розташуванням працівників і приймається таким, що дорівнює 0,8) » [18].

«Обчислений за формулою розрахунковий потік світла лампи (або світильника з кількома лампами) порівнюють зі стандартним і приймають найближче значення. У практиці світлотехнічних розрахунків допускається відхилення потоку світла вибраної лампи від розрахункового у межах від – 10 до +20%.

Різновидом методу коефіцієнта використання потоку світла є метод питомої потужності, який іноді називають методом ват. Питома потужність є потужність установки освітлення приміщення, у відношенні до площі його підлоги. Цей метод застосовують тільки для орієнтовних розрахунків. Він дає змогу визначити потужність кожної лампи  $P$  (Вт) для створення нормованого освітлення:

$$P = \omega S/N, \quad (5.3)$$

де  $\omega$  – питома потужність лампи, Вт/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$N$  – кількість ламп установки освітлення» [18].

«Значення питомої потужності знаходять за спеціальними таблицями залежно від нормованої освітленості, площини приміщення, висоти підвісу і типів світильників, що використовуються, а також коефіцієнта запасу.

Точковий метод дає найбільш правильні результати і використовується для розрахунку локалізованого та місцевого освітлення, а також освітлення негоризонтальних площин та великих територій. Він дає змогу визначити освітленість в будь-якій точці від будь-якого числа освітлювальних приладів. До недоліків методу слід віднести важкість урахування відбитих складових потоку світла. Розрахункове рівняння точкового методу має вигляд:

$$E_A = I_A \cos \alpha / r^2 \quad (5.4)$$

де  $E_A$  – освітленість горизонтальної площини у даній точці  $A$ , лк;

$I_A$  – сила світла в напрямі точки  $A$ , кд (значення сили світла знаходять за кривими світлорозподілу даного освітлювального приладу);

$\alpha$  – кут між нормаллю до робочої площини і напрямом вектора сили світла в точку  $A$ ;

$r$  – відстань від світильника до розрахункової точки  $A$ , м» [18].

«Для зручності розрахунків, особливо на ЕОМ, рівняння може бути перетворено. Приймаючи  $r = h/\cos \alpha$  (де  $h$  – розрахункова висота підвісу світильника, м) та вводячи коефіцієнт запасу  $k$ , маємо:

$$EA = (IA\cos 3\alpha)/(kh^2). \quad (5.5)$$

У тому випадку, коли розрахункова точка  $A$  міститься на будь якій негоризонтальній площині, освітленість її  $EN$  можна знайти з рівняння  $EN = EA\psi$ , де  $\psi$  – перехідний коефіцієнт, що визначається за спеціальними номограмами.

При розрахунках освітлення, що утворюється кількома світильниками, підраховують освітленість в даній точці від кожного з цих приладів і кінцеві результати додають. Різновидом точкового методу розрахунку є метод ізолукс (ізолукса – крива, що являє собою геометричне місце точок даної площини з однаковими освітленостями). У цьому випадку точковим методом розраховують освітленість у горизонтальній площині від одного світильника чи компактної їх групи. Отримують сімейство ізолукс, виконаних в масштабі, у якому накреслена та чи інша територія, яка підлягає освітленню. Ізолукси при проектуванні накладають на план таким чином, щоб вони заповнили всю територію.

Цей прийом дає змогу графічно розрахувати не тільки освітлення, а й координати місць встановлення опор світильників» [18].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дипломній роботі вдосконалено технологічний процес виготовлення деталі «корпус» із застосуванням сучасних верстатів з ЧПК фірми HAAS (США). Виконано розрахунки: типу виробництва, собівартості заготовки, припусків, режимів різання, норм часу. На основі аналізу двох варіантів отримання заготовок прийнято рішення, що для даного типу виробництва найбільш економічним буде отримання заготовки по виплавлюваним моделям.

В конструкторському розділі спроектовано та виконано розрахунки верстатного пристрою для фрезерування. Для виконання технічних вимог на деталь та забезпечення операції контролю відповідальної поверхні деталі спроектовано та розраховано контрольно-вимірювальний пристрій.

У програмному продукті SolidWorks проведено аналіз поведінки (переміщення та прогин) конструктивних параметрів деталі при робочому навантаженні. Виявлено в деяких конструктивних елементах максимальні напруження по Мізесу 0,419 МПа, та максимальні переміщення елементів конструкції деталі на 0,003468 мм., що є в межах допустимої норми.

В розділі охорони праці приведено вимоги до штучного освітлення робочих місць.

В додатках приведено технологічний процес виготовлення деталі «корпус», специфікації та керуючу програму на верстат з ЧПК.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добрянський С. С., Малафеев Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під редакцією Коренькова В.М. Київ: НТУУ «КПІ», 2014 353 с., іл.
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів: Світ, 1996. 368 с.
3. Шабайкович В. А. Выбор оптимального технологического процесса механической обработки деталей машин. Львов, 1975. 25 с.
4. Технологія машинобудування. [Мельничук П. П., Боровик А. І., Лінчевський П. А., Петраков Ю. В.] Житомир: ЖДТУ, 2005. 882
5. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009 528 с.
6. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навчальний посібник. [Юрчишин І. І. та ін.] Видавництво НУ «Львівська політехніка». 2009. 528 с.
7. Технологія машинобудівних підприємств: підручник [ В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін.], за заг. ред. В. Л. Диканя. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 386 с.
8. Залога В. О. О.О. Залога О. О., В.Д. Гончаров В. Д. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навчальний посібник.; за загальн. ред. В. О. Залого. Суми: Сумський державний університет, 2013. 371 с.
9. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є., Лещук Р.Я. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
10. Данюк В. М., Абрамов В. М. Нормування праці. К.: ВІПОЛ, 1995. 465 с.

11. Кирилович В. А., Мельничук П. П., Яновський В. А. Нормування часу та режимів різання для токарних верстатів з ЧПУ.; під заг. ред. В. А. Кириловича. Житомир : ЖІТІ, 2001. 600 с.

12. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. [Гордєєв А. І., Урбанюк Є. А., Безносів А. Є., Мігаль В. Г.] Навчальний посібник, ХНУ, 2005, 300 с.

13. Гордєєв А. І. Урбанюк Є. А., Сілін Р. С. Збірник задач з проектування технологічного оснащення: Навчальний посібник. Хмельницький: ХНУ 2013. 159 с., іл.

14. Сторож Б. Д., Карпик Р. Т., Гордєєв А. І. Точність верстатних пристроїв машинобудівного виробництва: Навчальний посібник / За ред. Р.Т. Карпика. Хмельницький: ХДУ, 2003. 222 с., іл.

15. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: Підручник. К.: «Кондор», 2008. 726с.

16. Железна А. М., Кирилович В. А. Основи взаємозамінності, стандартизації та технічних вимірювань: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2004. 796 с.

17. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей усіх форм навчання. Харків : НТУ «ХП», 2020. 275 с.

18. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, та ін. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. 448 с.

19. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка у SolidWorks. Навчальний посібник. Луцьк. 2018, 174 с.

## **ДОДАТКИ**