

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

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

«Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка  
перемикання верхня 214.008» 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 24322

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-24-1  
Шифр

Підпис

Михайло ПІВЕНЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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

Підпис

Анатолій ГОРДЕЄВ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер \_\_\_\_\_

Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
Завідувач кафедри технології  
машинобудування \_\_\_\_\_  
Назва

Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

20.12.25

Дата

Хмельницький 2025

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  
2 . 09 . 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**  
Півень М. М.

Тема роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008» 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 \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2 Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 10.12.2025 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 налашки верстата з ЧПК – 1 лист А1; 5. Верстатні пристрої - 2 листи А1; 6. Контрольний пристрій – 1 лист; 7. Дослідницький лист – 1 лист А1.

6 Дата видачі завдання 10.09.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
Розділ I	30.09.2025	
Розділ II	15.10.2025	
Розділ III	30.10.2025	
Розділ IV	15.11.2025	
Розділ V	30.11.2025	

Студент Михайло ПІВЕНЬ  
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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

## РЕЦЕНЗІЯ

на дипломну магістерську роботу Півень М. М. «Вилка перемикання верхня 214.008» із застосуванням верстатів з ЧПК»

Тема дипломної магістерської роботи Півень М. М. є інженерно цікавою і актуальною для сучасного виробництва. Робота скерована на удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі Вилка перемикання верхня 214.008 із застосуванням верстатів з ЧПК.

Автором в роботі запропоновано технологічний процес виготовлення деталі Вилка перемикання верхня 214.008 із застосуванням верстатів з ЧПК, спроектовано верстатні пристрої для свердлування та зняття фасок, 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 розділі охорони праці наведено організацію транспортних і завантажувальних робіт для заготовок та деталей в цеху.

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 Півень М. М. заслуговує присудження ступеня магістра за спеціальністю 131 - Прикладна механіка.

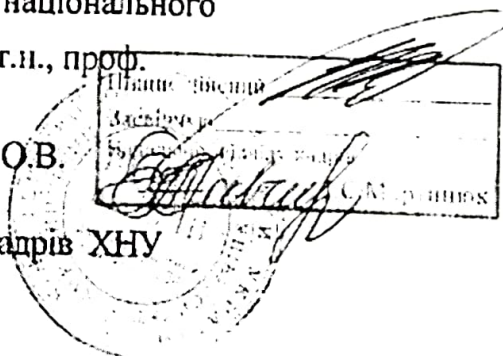
Професор кафедри «Трибології  
автомобілів та матеріалознавства»

Хмельницького національного  
університету д.т.н., проф.

Диха О.В.

Підпис Дихи О.В.  
Засвідчую

Начальник відділу кадрів ХНУ



Завідувачу кафедри  
Технології машинобудування  
Ткачуку В.П.  
здобувача вищої освіти  
студента Півень М. М.  
факультету інженерії, транспорту та  
архітектури, гр. ПМТм-24-1

### 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.

12.10.25

дата



підпис

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Півень Михайло Миколайович на захист дипломного проєкту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикачів верхня 214.008» із застосуванням верстатів з ЧПК

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

Декан факультету

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Півень М.М. з 2024 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:  
національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 33,33 %, задовільно 66,67 %.  
шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 0,00 %, С 20,00 %, D 53,33 %, E 26,67 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

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

Студент

Півень М.М. виконав за замовленням дипломного проєкту роботу на виконання у комп'ютерній мережі. За період роботи над проєктом показав добрі навчальні знання та вміння вирішувати виниклі завдання. В цілому проєкт заслуговує на високу оцінку.

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" " 2025 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Півень М.М. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування  
(назва)

(підпис, ім'я, прізвище)

" 20 " 12 2025 р.

### **Анотація**

«Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008» із застосуванням верстатів з ЧПК»

Автор Півень М. М. 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 «Вилка перемикач верхня 214.008» із застосуванням верстатів з ЧПК є актуальною технологічною задачею.

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні технологічного процесу механічної обробки виготовлення довгомірної деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».

**Предмет дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».

**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 «Вилка перемикач верхня 214.008» із застосуванням верстатів з ЧПК.

### **Практичне значення**

1. Розроблено нову технологію виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008» з використанням верстатів з ЧПК.

2. Розроблено нову конструкцію пристроїв для фрезерування, зняття фасок та пристрій для контролю розмірів деталі.

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

Автор проекту:

Півень М. М.

2025 р.

\_\_\_\_\_  
/Підпис/

\_\_\_\_\_  
/Дата/

## Abstract

"Improvement of the technological process of manufacturing the part "Upper shift fork 214.008" using CNC machines"

Author Piven M. M. Project manager: A. I. Gordeev

Explanatory note volume 70 pages. Graphic part 7 sheets A1.

Specialty: 131 Applied mechanics.

Relevance of the work Improving the technological process of manufacturing the part "Upper shift fork 214.008" using CNC machines is a relevant technological task.

The purpose of the work is to improve the technological process of machining the long part "Upper shift fork 214.008".

The subject of the study is the technological process of manufacturing the part "Upper shift fork 214.008".

The object of the study is the determination of stresses in the part under working loads, elastic deformations, surface displacements.

Research methods. Using analytical research methods in SolidWorks.

Scientific novelty of the results obtained.

The technological process of manufacturing the part "Upper shift fork 214.008" has been improved using CNC machines.

Practical significance

1. A new technology for manufacturing the part "Upper shift fork 214.008" has been developed.

2. A new design of devices for milling, chamfering and a device for controlling the dimensions of the part has been developed.

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

Author of the project: \_\_\_\_\_

/Signature/

Piven M. M.

2025

/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.25.00.00 ПЗ	Розрахунково-пояснювальна записка		
5	A2	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.02.02.00.00	Креслення заготовки	1	
6	A2	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.02.01.00.00	Креслення деталі	1	
7	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.02.03.00.00	Графотехнологія	1	
8	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.02.04.00.00	Карта наладки	1	
9	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.03.01.00.00 СК	Пристрій для фрезерування	1	
10	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.03.02.00.00 СК	Пристрій для зняття фасок	1	
11	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.03.03.00.00 СК	Пристрій контрольний	1	
12	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.01.01.00.00	Загальний лист	1	
13	A1	ДРМ.ПМ.ФІТА.25.04.01.00.00	Дослідницький лист	1	
14					
15					
16					

					<b>ДРМ. ПМ.ФІТА.25.00.00.ПЗ</b>			
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив.	Півень				<i>Відомість роботи</i>	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Гордєєв							
Н. Контр.	Бись				<b>ХНУ-ПМТМ-24-1</b>			
Затвердив	Ткачук							

## ЗМІСТ

	арк.
Зміст .....	6
Вступ .....	8
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ</b> .....	<b>10</b>
1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи.....	10
1.2 Аналіз об'єкта виробництва.....	10
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	12
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	16
1.5. Основні пропозиції щодо побудови нового технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».....	19
1.6 Основні переваги використання верстатів з ЧПК.....	21
1.7 Висновки до розділу 1 та задачі досліджень.....	22
<b>РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ</b> .....	<b>23</b>
2.1 Аналіз існуючого технологічного процесу .....	23
2.2 Вибір заготовки та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання.....	25
2.2.1 Техніко-економічне порівняння двох варіантів вибору заготовки.....	25
2.2.2 Визначення параметрів заготовки.....	28
2.3 Вибір технологічного маршруту обробки деталі та шляхи його вдосконалення.....	28
2.3.1. Вибір технологічних баз.....	28
2.3.2 Вибір технологічного маршруту обробки деталі.....	29
2.4. Визначення припусків на механічну обробку деталі.....	31
2.4.1 Аналітичний розрахунок припусків на розмір $\varnothing 20+0,052$ .....	31
2.4.2 Табличний метод призначення припусків.....	35
2.5 Розрахунок режимів різання.....	35
2.5.1 Розрахунок режимів різання аналітичним методом на вертикально-свердлувальну операцію 050.....	36

2.5.2 Табличний метод призначення режимів різання .....	38
2.6 Розрахунок технічних норм часу при виконанні операції .....	40
2.7 Висновки до розділу 2.....	43
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ .....	44
3.1 Проектування верстатного пристрою для фрезерування.....	44
3.1.1 Схема базування та вибір установочних елементів.....	44
3.1.2 Розрахунок сили закріплення та приводу пристрою.....	44
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 .....	49
3.2 Проектування пристрою для зняття фасок.....	50
3.3 Проектування контрольного пристрою.....	50
3.3.1 Технічні умови та вимоги креслення, що підлягають контролю.....	50
3.3.2 Вибір схеми контролю заданого параметру.....	52
3.3.3 Розрахунок пристрою на точність.....	52
3.3.4 Принцип роботи пристрою.....	53
3.4 Висновки до розділу 3.....	54
РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЙ.....	55
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	77

## Вступ

Якість машинобудівної продукції є загальним показником науково-технічного прогресу та якості виробленої продукції. Якість продукції машинобудування набуває особливого значення у зв'язку з необхідністю підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції на світовому ринку.

Ефективність виробництва, його технічний прогрес, якість виготовленої продукції у значній мірі залежать від випереджуючого розвитку виробництва нового обладнання, машин, верстатів і апаратів, від всесвітнього впровадження методів техніки – економічного аналізу, що забезпечує рішення технічних питань і економічну ефективність технологічних та конструкторських розробок. Науково-технічний прогрес у машинобудуванні визначає розвиток і вдосконалення всього народного господарства держави. Удосконалення технологічних методів виготовлення машин має при цьому першочергове значення. Якість машин, надійність, довговічність та економність в експлуатації залежить не тільки від сучасної її конструкції, але і від технології виробництва. Велике значення має постановка цих питань і задач при підготовці кваліфікованих кадрів спеціалістів виробництва, які повністю оволоділи інженерними методами проектування виробничих процесів. У зв'язку з цим у навчальному процесі вищих учбових закладів значне місце відводиться дипломному проектуванню, в результаті якого проводиться проектування технологічного процесу виготовлення деталі, конструювання необхідного оснащення, вирішуються питання економічної ефективності, охорони праці та проектування ділянки механічної обробки деталі. При цьому майбутній фахівець самостійно вирішує ряд інженерних, конструкторських, економічних та організаційних задач і на практиці доказує свою підготовку як інженера – технолога.

Магістерська робота - це самостійна завершена робота, яка базується на критичному осмисленні відомих результатів і містить суворе обґрунтування

та задовільне вирішення конкретної наукової, науково-методичної або інженерної задачі, що є завершальним етапом наукового дослідження у вищому навчальному закладі.

**Актуальність роботи.** Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008» з використанням верстатів з ЧПК є актуальною технологічною задачею.

**Мета роботи** полягає у вдосконаленні технологічного процесу механічної обробки виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».

**Предмет дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».

**Об'єкт дослідження** – технологія виготовлення деталі та аналіз 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 «Вилка перемикач верхня 214.008» з використанням верстатів з ЧПК.

#### **Практичне значення**

1. Розроблено нову технологію виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008».

2. Розроблено нові конструкції пристроїв для фрезерування та зняття фасок і пристрій для контролю розмірів деталі

## **РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНИЙ**

### **1.1 Стан питання та постановка задач магістерської роботи**

Завданням магістерської роботи є удосконалення технологічного процесу механічної обробки при виготовленні деталі «Вилка перемикачів верхня 214.008». 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**

Вилка перемикачів верхня є деталлю механізму переключення діапазонів, який в свою чергу є складовою коробки передач коренезбиральної самохідної машини КС-6Б. Даний механізм переключення є універсальним і використовується в багатьох машинах.

Механізм перемикачів призначений для зміни кількості обертів вихідного вала коробки передач. Оберти від гідромотора передаються на коробку передач, яка містить блоки шестерень. За допомогою них і змінюється кількість обертів вихідного вала. Пересування шестерень і ввід їх в зачеплення з іншими шестернями здійснюється за допомогою механізму перемикачів діапазонів, а зокрема двома вилками перемикачів – нижньою і верхньою. Кожна вилка переключення відповідає за пересування певних блоків шестерень:

верхня – два блоки і нижня – два блоки, в результаті чого одержуємо коробку передач з чотирма передачами.

Саме керування зміною передач здійснюється з кабіни управління водієм. Важіль, яким переключає передачі водій, з'єднаний тягою з штоком управління механізму перемикавання діапазонів. На самому штоці закріплений нерухомо спеціальний важіль, який входить в зачеплення з вилками переключення і пересуває їх. Таким чином здійснюється перемикавання передач машини.

Самохідна шестирядна коренезбиральна машина КС-6Б призначена для збирання коренів цукрового і пастерного буряків після попереднього збирання гички гичкозбиральною машиною, до очистки і погрузки коренів на транспорт, який йде поруч.

Відмінною особливістю машини є те, що корені буряка викопуються із землі пасивним викопуючим пристроєм типу диск-леміш, очищаються від землі турбінним сепаруючим пристроєм і подвійним без скребковим поздовжнім транспортером.

Машина має накопичувач, який дозволяє проводити зміну транспорту для загрузки коренів без зупинки збирального агрегату.

Коренезбиральна машина обладнана гідромеханічним автоматом водіння, електрообладнанням, кабіною з очисткою і підігрівом повітря. Все це створює сприятливі умови для обслуговування машини однією людиною і дозволяє успішно працювати не тільки вдень, але й вночі.

#### Технічна характеристика коренезбиральної машини КС-6Б:

Продуктивність, га/год	1,1-2,0
Робоча швидкість, км/год	4,1-7,4
Кількість збираємих рядків	6
Ширина між рядів, см	45-60
Потужність двигуна, к.с.	150
Кількість обслуговуючого персоналу, чол	1
Конструктивна маса машини, кг	9100

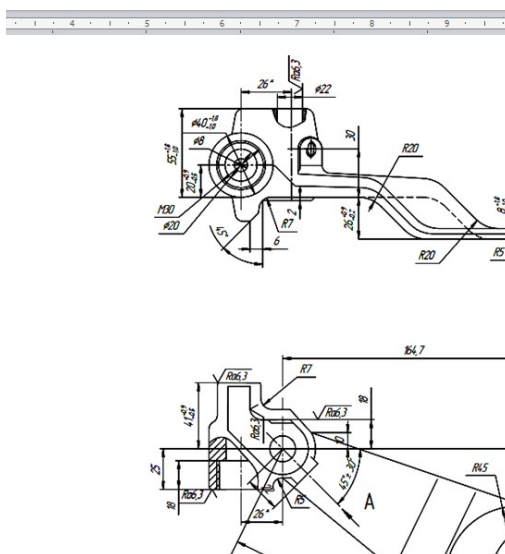


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд деталі «Вилка перемикання верхня 214.008»

### 1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Для виготовлення деталі «Вилка перемикання верхня 214.008» застосовано конструкційну вуглецеву сталь 40 ДСТУ 7809:2015., що відповідає вимогам міцності, добрим механічним властивостям і підходить для виготовлення деталей цього типу. Фізико-механічні властивості і хімічний склад матеріалу в таблиці 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40 ДСТУ 7809:2015.

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %
0,37-0,45	0,17-0,37	0,50-0,80	не більше 0,25

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40 ДСТУ 7809:2015.

$\alpha_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\epsilon$ , %	$\psi$ , %	$\alpha_{II}$ , кДж/м <sup>2</sup>	НВ
332,2	568,4	19	45	587	169-196

Дана деталь - вилка перемикання верхня відноситься до класу деталей “не круглі стержні” або ”важелі”.

Основні технологічні задачі, які вирішуються при обробці деталей цього класу, що стосується і нашої деталі є:

1) Досягнення перпендикулярності торців або інших площин до вісей отворів (в даній деталі потрібно досягнути перпендикулярності площин Д і Е до вісі отвору Є);

2) Отримання точних отворів (в даній деталі – отвір  $\varnothing 22F8$  по 8-ому квалітету).

Вилка перемикання є відносно легкою по конфігурації. Є вільний доступ інструменту до оброблювальних поверхонь. Неможливим є тільки доступ стандартного машинного мітчика до різцевого отвору M10-1-6H.

Жорсткість даної деталі достатня для того, щоб не обмежувати параметрів режимів різання. В конструкції деталі є достатні по розмірах і відстані базові поверхні, що не потребує вибору допоміжних баз. На завершення аналізу конструкції деталі слід відмітити, що конструкція деталі допускає отримати заготовку з мінімальними припусками, що скорочує кількість переходів для оброблення поверхонь.

#### *Якісна оцінка технологічності деталі*

Матеріал даної деталі – конструкційна вуглецева Сталь 40 ДСТУ 7809:2015. Вона характеризується доброю оброблюваністю і відносно невисокою вартістю. Фізико-механічні властивості матеріалу забезпечують необхідну міцність, твердість а також жорсткість деталі, що особливо необхідні для такого класу деталей як “важелі”. Отже по використовуваному матеріалу деталь є технологічна.

Геометричні форми поверхонь дають можливість використовувати високопродуктивне обладнання і інструмент. Оброблювальні поверхні мають прості форми (площини, циліндричні і гвинтові поверхні), що забезпечують точність і стабільність обробки.

Отже, по геометричній формі поверхонь деталь є технологічна.

*Кількісна оцінка технологічності деталі*

Проведемо оцінку технологічності деталі за наступними показниками:

а) «Оцінка технологічності конструкції по точності обробки

Коефіцієнт точності обробки визначається за формулою:

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{T_{сер}}, \quad (1.1)$$

де  $T_{сер} = \frac{\sum T_{n_i}}{\sum n_i}$  – середнє числове значення параметру точності обробки

виробу;

$n$  – кількість розмірів з відповідним числовим значенням параметра точності;

$T$  – числове значення параметра точності обробки (якості).

$$T_{сер} = \frac{2,5 \cdot 1 + 3 \cdot 3 + 3,5 \cdot 7 + 4 \cdot 4}{15} = 3,46.$$

Коефіцієнт точності обробки

$$K_{mч} = 1 - \frac{1}{3,46} = 0,71.$$

б) Оцінка технологічності конструкції по шорсткості

Рівень технологічності конструкції по шорсткості характеризується коефіцієнтом шорсткості поверхні і визначається за формулою:

$$K_{ш} = \frac{1}{Ш_{сер}}, \quad (1.2)$$

де  $Ш_{сер} = \frac{\sum Ш_{n_i}}{\sum n_i}$  – середнє числове значення параметру шорсткості

поверхні виробу;

$n$  – число поверхонь з відповідним числовим значенням параметра шорсткості;

$$Ш_{сер} = \frac{5 \cdot 1 + 6 \cdot 1 + 7 \cdot 5 + 8 \cdot 1 + 9 \cdot 4}{12} = 7,5.$$

Коефіцієнт шорсткості поверхні виробу

$$K_{ш} = \frac{1}{7,5} = 0,75.$$

в) Оцінка технологічності деталі по використанню матеріалу

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{в.м} = \frac{M}{M_n}, \quad (1.3)$$

де  $M$  – маса готової деталі,  $M = 0,98$  кг – по кресленню деталі;

$M_n$  – маса матеріалу, який витрачено на виготовлення деталі,

$M_n = 1,3$  кг – маса заготовки

$$K_{в.м} = \frac{0,98}{1,3} = 0,75 \gg [4].$$

Результати визначення показників технологічності зводимо в таблицю 1.4

Таблиця 1.4 – Зведені показники технологічності деталі

п/п	Найменування показника технологічності	Позначення	Числове значення
	Показник точності обробки конструкції деталі	$K_{тч}$	0,71
	Показник шорсткості поверхонь деталі	$K_{ш}$	0,75
	Показник використання матеріалу	$K_{в.м}$	0,75

#### 1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва

«Типом виробництва називається кваліфікаційна категорія, яка поділяє його за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності, та обсягу випуску.

Тип виробництва визначається за коефіцієнтом закріплення операції:

$$K_{zo} = \frac{O}{P}, \quad (1.4)$$

де  $O$  – кількість операцій, які виконуються на дільниці за місяць;

$P$  – кількість робочих місць на дільниці.

Річна програма випуску деталей  $N = 7000$  шт.

Число операцій, закріплених за одним робочим місцем знаходимо за формулою:

$$O = \frac{60 \cdot F_m \cdot K_v \cdot K}{T_{шт-к} \cdot N_m} \quad (1.5)$$

де  $F_m = 4015/12 = 334,5$  год – місячний фонд роботи обладнання при двохзмінному режимі;

$K_v = 1,3$  – середній коефіцієнт виконання норм;

$K = 0,8$  – середній коефіцієнт завантаження обладнання;

$T_{шт-к}$  – штучно-калькуляційний час виконання операції на даному верстаті;

$N_m = \frac{N}{12} = \frac{7000}{12} = 583,33$  шт. – місячна програма випуску деталей.

$T_{шт-к}$  порахуємо, користуючись формулою:

$$T_{шт-к} = T_o \cdot \varphi_k, \quad (1.6)$$

де  $T_o$  – основний час по кожній операції, хв» [6].

Коефіцієнти  $\varphi_k$  вибираємо з [6].

$$1) \quad T_o = 22,08 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 22,08 \cdot 1,51 = 33,3 \text{ хв};$$

$$2) \quad T_o = 0,92 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,30; T_{\text{ум-к}} = 0,92 \cdot 1,30 = 1,196 \text{ хв};$$

$$3) \quad T_o = 2,4 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,30; T_{\text{ум-к}} = 2,4 \cdot 1,30 = 3,12 \text{ хв};$$

$$4) \quad T_o = 1,51 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 1,51 \cdot 1,51 = 2,26 \text{ хв};$$

$$5) \quad T_o = 4,1 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,41; T_{\text{ум-к}} = 4,1 \cdot 1,41 = 5,78 \text{ хв};$$

$$6) \quad T_o = 12,5 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,30; T_{\text{ум-к}} = 12,5 \cdot 1,30 = 16,25 \text{ хв};$$

$$7) \quad T_o = 5,2 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 5,2 \cdot 1,51 = 7,85 \text{ хв};$$

$$8) T_o = 5,2 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,36; T_{\text{ум-к}} = 5,2 \cdot 1,36 = 7,07 \text{ хв};$$

$$9) T_o = 1,2 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 1,2 \cdot 1,51 = 1,81 \text{ хв};$$

$$10) \quad T_o = 2,5 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 2,5 \cdot 1,51 = 3,77 \text{ хв};$$

$$11) \quad T_o = 1,4 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,51; T_{\text{ум-к}} = 1,4 \cdot 1,51 = 2,11 \text{ хв};$$

$$12) \quad T_o = 10,78 \text{ хв};$$

$$\varphi_k = 1,41; T_{\text{ум-к}} = 10,78 \cdot 1,41 = 15,19 \text{ хв};$$

Отже, кількість операцій:

$$O = \frac{60 \cdot 334,5 \cdot 1,3 \cdot 0,8}{583,33} \left( \frac{1}{33,3} + \frac{1}{1,196} + \frac{1}{3,12} + \frac{1}{2,26} + \frac{1}{5,78} + \frac{1}{16,25} + \frac{1}{7,85} + \frac{1}{7,07} + \frac{1}{1,81} + \frac{1}{3,77} + \frac{1}{2,11} + \frac{1}{15,19} \right) = 182,91 \cdot \quad (1.7)$$

$$K_{30} = \frac{182,91}{12} = 15,241.$$

При  $10 < K_{30} > 20$  – виробництво середньосерійне.

«Форма організації виробничого процесу – групова.

Розміщення технологічного обладнання – по ходу технологічного процесу.

Запуск деталей в виробництво – партіями, періодично з запасом готових деталей на 5 робочих днів.

Технологічне обладнання – універсальне з частковим використанням спеціального і спеціалізованого.

Технологічне оснащення – високопродуктивне спеціальне і універсальне.

Різальний інструмент – застосовується універсальний і спеціальний.

Вимірювальний інструмент – як універсальний так і спеціальний – контрольні пристрої, калібри, шаблони.

Технічне нормування робіт – для серійного виробництва.

Величина такту випуску:

$$t_{\epsilon} = \frac{F_{\delta} \cdot 60}{N}, \quad (1.8)$$

де  $F_{\delta}$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання,  $F_{\delta} = 4015$  год;

$N$  – річна програма випуску,  $N = 7000$  шт.

$$t_{\epsilon} = \frac{4015 \cdot 60}{7000} = 34,41 \text{ хв.}$$

Кількість деталей для одночасного запуску в виробництво:

$$n = \frac{N \cdot a}{F} = \frac{7000 \cdot 5}{250} = 146 \text{ шт}, \quad (1.9)$$

де  $a = 5$  – число днів, на яке необхідно мати запас деталей;

$F = 250$  – число робочих днів в році.

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

### **1.5 Основні пропозиції щодо побудови нового технологічного процесу виготовлення «Вилка перемикачів верхня 214.008»**

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).



Рисунок 1.4. Загальний вигляд верстата VF-1

Для виконання операції 020 приймаємо ертикально фрезерный станок ГФ2171.С5 с ЧПУ Siemens 802D SL.



Рисунок 1.6. Загальний вигляд верстата вертикально фрезерного ГФ2171.С5 з ЧПУ Siemens 802D SL

#### «Технічна характеристика верстата

Розміри робочої поверхні столу, мм	400x1600
Найбільша маса деталі, що встановлюється на столі верстата (разом із пристроєм), кг	400
Найбільше переміщення столу, мм:	
поздовжнє (координата X)	1010
поперечне (координата Y)	400
вертикальне (настановне)	430
Переміщення повзуна (координата Z), мм	260
Швидкість швидкого переміщення вузлів за координатами:	
X, Y, Z, мм/хв	7000
A, хв-1	-
Межі подач за координатами:	
X, Y, Z, мм/хв	3-7000
A, мін-1	-
Частота обертання шпинделя, хв -1	50-2500
Потужність двигуна головного руху, кВт	11

Кількість інструментів у магазині, шт	12
Найбільший діаметр інструменту, мм	250
Час зміни інструменту, сік	-
Відстань від осі координати А до поверхні столу, мм	-
Конус шпинделя	50
Відхилення від круглості при контурному фрезеруванні циліндричної поверхні, мм	0,05
Максимальна маса інструменту, кг	15
Кількість одночасно керованих координат:	
при лінійній інтерполяції	3
при круговій інтерполяції	2
при лінійно-круговій інтерполяції	3
Габаритні розміри верстата з електро- та гідروобладнанням, мм	
довжина	3100
ширина	3135
висота	2850
Маса ГФ2171.С5 верстата з електро- та гідрообладнанням, кг	5700
Клас точності	Н
Встановлена потужність, кВт	18»[20].

## 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 «Вилка перемикач верхня 214.008» показує, що деталь є технологічною, а її конструктивні параметри дозволяють зручний підвод інструменту, до поверхонь, що оброблюються.

На основі типових технологічних процесів необхідно:

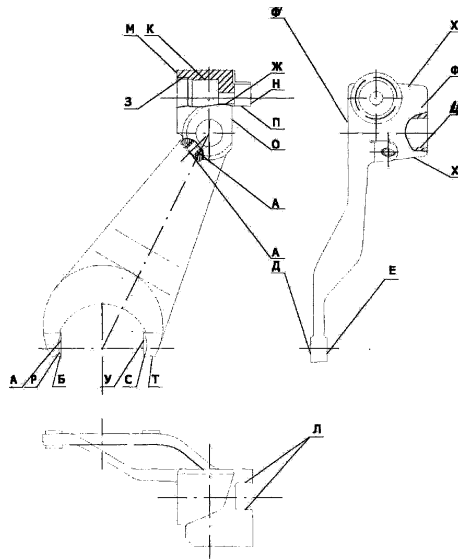
1. Розробити удосконалений технологічний процес виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008» з використанням верстатів з ЧПК;
2. Спроекувати верстатний пристрій та пристрій на верстат з ЧПК;
3. Спроекувати контрольний пристрій.

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

Базовий варіант маршруту технологічного процесу виготовлення деталі зведено в таблицю 2.1.



Таблиця 2.1 – Базовий варіант маршруту технологічного процесу виготовлення деталі «Вилка перемикач верхня 214.008»

Оп.	Назва операції (переходу)	Обробл. поверхня	Базові поверхні	Обладнання
	2	3	4	5
005	Комплексна з ЧПК 1. Фрезерувати лапки в р-р 18 2. Фрезерувати лапки в р-р 62Н11; 80,6 3. Центрувати отвір 4. Свердлити отвір $\varnothing 18,5$ 5. Зенкерувати отвір $\varnothing 21,75$ 6. Зенкувати фаску $1,6 \times 45^\circ$ 7. Розвернути отвір $\varnothing 22F8$	Б, Г А, У  Ц	Ф, Х	ГФ2171
010	Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати фаску $0,5 \times 45^\circ$	Ц (фаска)	Ц, Ф'	2Н135

Продовження таблиці 2.1

	2	3	4	5
015	Радіально-свердлильна 1. Зенкувати фаску $\varnothing 65$ і $45^\circ$ 2. Переустановити деталь 3. Повторити перехід 1	Р, С	Ц, Д	2Н135
020	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати площину	В	Ц, А, У	6Р82
025	Радіально-свердлильна 1. Свердлити отвір $\varnothing 8,95$ під різь 2. Зенкувати фаску в отворі	Г	Ц, А, У	2Н55
030	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати площину в р-р 58 2. Перевстановити деталь 3. Фрезерувати площину в р-р 12	Д, Е	Ц, Д, Е	6Р12
035	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати деталь в 32,5h13 2. Перевстановити деталь 3. Фрезерувати деталь в р-р 23	М, Н	Ц, А, У	6Р12
040	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати паз в р-р 20, 10, 15	Л	Ц	6Р82
045	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати деталь в р-р 18 і 20	О, П	Ц, А, У	6Р12
050	Радіально-свердлувальна 1. Свердлити отвір $\varnothing 8Н11$ до $\varnothing 7$ 2. Зенкерувати отвір в р-р $\varnothing 8Н11$ 3. Розсвердлити отвір до $\varnothing 20$ 4. Розсвердлити отвір до $\varnothing 27$ 5. Цекувати отвір в р-р $\varnothing 27$ 6. Розсвердлити отвір до $\varnothing 28,5$ 7. Нарізати різьбу М30×1,5-6Н	Ж, З, К	Ц, А, У	2Н55

В першій операції 005 (Комплексна з ЧПК) застосовують верстат з ЧПК ГФ2171С5, на якому обробляються лапки деталі - поверхні А, У і отвір Є, що будуть служити як базові поверхні в слідуючих операціях. Такий принцип забезпечить сталість і точність обробки оброблювальних поверхонь.

Для обробки отворів в базовому варіанті маршруту технологічного процесу використовують радіально-свердлильні верстати 2Н55. Ці верстати вимагають для обслуговування порівняно великий час, тому доцільніше буде використати вертикально-свердлильні верстати, в результаті чого допоміжний час і час на обслуговування значно скоротяться. Продуктивність

технологічного процесу збільшиться. Для зменшення часу на зміну інструменту можна застосувати револьверні головки.

Отже, операцію 025 (радіально-свердлильну) доцільніше замінити на вертикально-свердлильну, застосувавши револьверну головку із двома позиціями інструменту (свердло для свердління отвору  $\varnothing 8,95$  мм і свердло  $\varnothing 11$  мм для зенкування фаски).

Операцію 050 (радіально-свердлильну) доцільніше також замінити на вертикально-свердлильну з ЧПК, застосувавши верстат VF-1.

В операції 030 (вертикально-фрезерна) обробляють лапки деталі в розмірі  $58 \pm 0,23$  мм і 12 мм на вертикально-фрезерному верстаті 6P12 кінцевою фрезою. З метою зменшення часу на допоміжні ходи пропоную обробити ці поверхні на горизонтально-фрезерному верстаті одночасно трьома циліндричними фрезами (див. креслення накладки інструменту на горизонтально-фрезерну операцію).

Отже, базовий варіант маршруту технологічної обробки деталі “вилка перемикач верхня” є не зовсім досконалим і потребує ряду змін в своїй структурі. Ці зміни повинні бути спрямовані на підвищення продуктивності технологічного процесу, а саме: застосування верстатів з ЧПК, зменшення ручної роботи обслуговуючого персоналу, застосування прогресивнішого оснащення, різального і вимірювального інструменту, зменшення часу на механічну обробку і допоміжного часу.

## **2.2 Вибір заготовки деталі та техніко-економічне обґрунтування методу її отримання**

Питання про доцільність вибраного виду заготовки може бути вирішено після розрахунку технологічної собівартості деталі за порівняльними варіантами. При виборі методу отримання заготовки необхідно вибрати такий метод, який би забезпечив отримання заготовки максимально наближеної по

формі та розмірах до готової деталі. Превага надається тій заготовці, яка забезпечує меншу технологічну собівартість виготовлення деталі.

Метод одержання заготовки Вилка перемикання верхня 214.008 визначається призначенням і конструкцією деталі, матеріалами, технічними вимогами, масштабністю, серійністю випуску, а також економічністю виготовлення.

Оскільки матеріал даної деталі – сталь 40, то враховуючи її властивості, які приведені у таблиці, для виготовлення заготовки приймаємо 2 методи виготовлення: штампування кованок на кривошипних гарячо-штампувальних пресах (КГШП) і кування на пресах.

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

Порівнюємо ці два методи.

«Собівартість виготовлення заготовки куванням на пресах розраховується за формулою:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_I}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_e \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \frac{S_{відх}}{1000}, \quad (2.1)$$

де  $C_I$  – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$K_m, K_c, K_e, K_M, K_n$  – коефіцієнти, що залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу і об'єму виробництва заготовок;

$Q$  – маса заготовки, кг;

$q$  – маса готової деталі, кг;

$S_{відх}$  – ціна 1 т відходів, грн.

Варіант 1 – заготовка на ГKM:

$$C_I = 3200 \text{ грн.}; K_m = 1,23; K_c = 1,08; K_e = 0,99; K_M = 1,23; K_n = 1,1.$$

$$S_{\text{вiдх}} = 220 \text{ грн. за 1 т.}$$

$$S_{\text{заг}_1} = \left( \frac{3200}{1000} \cdot 1,3 \cdot 1,08 \cdot 0,99 \cdot 1,23 \cdot 1,1 \right) - (1,3 - 0,98) \frac{220}{1000} = 5,95 \text{ грн.}$$

Варіант 2 – заготовка на КГШП

$$C_I = 3200 \text{ грн.}; K_m = 1,15; K_c = 1,08; K_g = 1,27; K_m = 1,45; K_n = 1,15.$$

$$S_{\text{вiдх}} = 220 \text{ грн. за 1 т.}$$

$$S_{\text{заг}_1} = \left( \frac{3200}{1000} \cdot 1,3 \cdot 1,08 \cdot 1,27 \cdot 1,45 \cdot 1,15 \right) - (1,3 - 0,98) \frac{220}{1000} = 9,44 \text{ грн}$$

Отже, вибираємо спосіб виготовлення заготовки – кування на пресах.

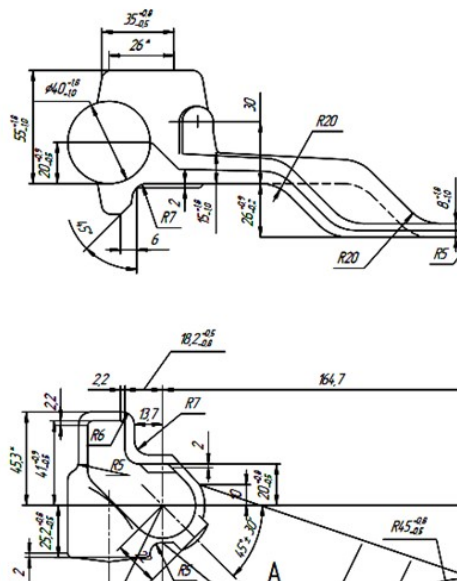


Рисунок 2.2. Загальний вигляд зготівки «Вилка перемикавання верхня 214.008»

Економічний ефект для співставлених способів отримання заготовок може бути розрахований за формулою:

$$E_3 = (S_{заг_1} - S_{заг_2}) \cdot N, \quad (2.2)$$

де  $N = 7000$  шт – річна програма випуску деталей» [2].

$$E_3 = (9,44 - 5,95) \cdot 7000 = 24430 \text{ грн.}$$

Отже, річний економічний ефект складає 24430 грн.

### 2.2.2 Визначення параметрів заготовки

Таблиця 2.2 Параметри заготовки

Вхідні дані	Кування на пресах	
	Згідно вимогам	Прийнято
1	2	3
Клас розмірної точності	7-12	10
Ступінь точності поверхонь	10-17	14
Шорсткість поверхонь	$R_a = 12,5$	$R_a = 12,5$
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

Технологічними базами при чорновій обробці для операції 005 – комплексній з ЧПУ служать чорнові поверхні  $\Phi$ ,  $X$ , необроблені поверхні  $D$  і  $E$ .

Для того, щоб забезпечити нульову похибку базування, в якості технологічних баз в наступних операціях використовується основний отвір  $B$ . При цьому конструкторська база співпадає з вимірною.

Технологічні бази для решти операцій зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Технологічні бази

Номер та назва операції	Технологічна база	
	Основна	Допоміжна
1	2	3
005 Комплексна з ЧПУ	$\Phi$ (чорн.)	$X, E$ (чорн.)
010 Вертикально-свердлильна	$B$	$\Phi', D$ (чорн)
015 Вертикально-свердлильна	$B$	$D, E$ (чорн), $\Phi, \Phi'$
020 Горизонтально-фрезерна	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$
025 Вертикально-свердлильна	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$
030 Горизонтально-фрезерна	$B$	$D, E$
035 Горизонтально-фрезерна	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$
040 Горизонтально-фрезерна	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$
045 Вертикально-фрезерна	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$
050 Вертикально-свердлильна ЧПУ	$B$	$A, Y, \Phi, \Phi'$

### 2.3.2 Вибір технологічного маршруту обробки деталі

Запропонований варіант технологічного процесу обробки деталі Вилка перемикання верхня 214.008 зведемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Проектний варіант технологічного процесу обробки деталі вилка  
переключення верхня/нижня.

№ оп.	Назва операції (переходу)	Обробл. поверхня	Базові поверхні	Обладнання
1	2	3	4	5
005	Комплексна з ЧПК 1. Фрезерувати лапки в р-р 18 2. Фрезерувати лапки в р-р 62Н11; 80,6 3. Центрувати отвір 4. Свердлити отвір Ø18,5 5. Зенкерувати отвір Ø21,75 6. Зенкувати фаску 1,6×45° 7. Розвернути отвір Ø22F8	<i>Б, Т</i> <i>А, У</i>  <i>Ц</i>	<i>Ф, Х</i>	ГФ2171
010	Вертикально-свердлильна 1. Зенкувати фаску 0,5×45°	<i>Ц (фаска)</i>	<i>Є, Ф'</i>	2Н125
015	Радіально-свердлильна 1. Зенкувати фаску Ø65 і ∠45° 2. Переустановити деталь 3. Повторити перехід 1	<i>Р, С</i>	<i>Є, Д</i>	2Н125
020	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати площину М10	<i>В</i>	<i>Є, А, У</i>	6Р80
025	Радіально-свердлильна 1. Свердлити отвір Ø8,95 під різь 2. Зенкувати фаску в отворі	<i>Г</i>	<i>Є, А, У</i>	2Н125
030	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати площину в р-р 58 2. Переустановити деталь 3. Фрезерувати площину в р-р 12	<i>Д, Е</i>	<i>Є, Д, Е</i>	6Р80
035	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати деталь в 32,5h13 2. Переустановити деталь 3. Фрезерувати деталь в р-р 23	<i>М, Н</i>	<i>Є, А, У</i>	6Р80

Закінчення табл. 2.4

1	2	3	4	5
040	Горизонтально-фрезерна 1. Фрезерувати паз в р-р 20, 10, 15	<i>Л</i>	<i>Є</i>	6P80
045	Вертикально-фрезерна 1. Фрезерувати деталь в р-р 18 і 20	<i>О, П</i>	<i>Є, А, У</i>	6P10
050	Вертикально-свердлувальна з ЧПК 1. Свердлити отвір Ø8Н11 до Ø7 2. Зенкерувати отвір в р-р Ø8Н11 3. Розсвердлити отвір до Ø20 4. Розсвердлити отвір до Ø27 5. Цекувати отвір в р-р Ø27 6. Розсвердлити отвір до Ø28,5 7. Нарізати різьбу М30×1,5-6Н	<i>Ж, З, К</i>	<i>Є, А, У</i>	VF-1

## 2.4. Визначення припусків на механічну обробку деталі

### 2.4.1 Аналітичний розрахунок припусків на розмір $\varnothing 20^{+0,052}$

Розрахунок припусків на обробку проводиться для визначення мінімальних розмірів заготовки. Величину між операційних припусків на механічну обробку заготовки вибирають в залежності від економічної точності прийнятого способу обробки, конфігурації виробу та виду заготовки. У відповідності з технологічним процесом на всі операції і переходи припуски призначається статистичним методом по нормативам. Розрахунок припусків для отвору Ø22F8 проводимо аналітичним методом (операція 005 - Комплексна з ЧПК).

Технологічний маршрут обробки поверхні складається з наступних переходів:

1. Свердління;
2. Зенкерування;
3. Розвертування.

Розрахунок припусків на обробку поверхні ведемо шляхом складання таблиці, в яку записуємо технологічний маршрут обробки поверхні і всі значення елементів припуску (табл. 2.3).

Для штамповки:	$Rz + T = 400$ мкм;
свердління:	$Rz = 40$ мкм, $T = 60$ мкм;
зенкерування:	$Rz = 50$ мкм, $T = 50$ мкм;
протягування:	$Rz = 5$ мкм, $T = 10$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень при базуванні деталі в пристрої на площину:

$$P_z = \sqrt{P_{кор}^2 + P_{см}^2} \quad (2.3)$$

Величина короблення:

$$P_{кор} = \sqrt{(k \cdot D)^2 + (k \cdot L)^2} \quad (2.4)$$

Величина питомого короблення для штамповки:

$k = 1,50$  мкм на 1 мм довжини і діаметра, [1];  $d = 50$  мм;  $L = 80$  мм.

$$P_{кор} = \sqrt{(1,5 \cdot 50)^2 + (1,5 \cdot 80)^2} = 142 \text{ мкм.}$$

Враховуючи, що сумарне зміщення отвору в заготовці відносно базової поверхні представляє допуск на штамповку, одержуємо:

$$P_{см} = \delta = 1200 \text{ мкм.}$$

Таким чином,

$$P_z = \sqrt{142^2 + 1200^2} = 1208 \text{ мкм.}$$

Величина залишкового просторового відхилення:

$$P_1 = 0,05 \cdot P_3 = 0,05 \cdot 1208 = 60 \text{ мкм};$$

$$P_2 = 0,05 \cdot P_1 = 0,05 \cdot 60 = 3 \text{ мкм}.$$

Похибка установки при першому свердлінні:

$$E_1 = \sqrt{E_{\sigma}^2 + E_3^2}, \quad (2.5)$$

де  $E_3 = 140$  мкм [1],  $E_{\sigma} = 600$  мкм [1];

$$E_1 = \sqrt{140^2 + 600^2} = 616 \text{ мкм}.$$

Залишкова похибка установки при другому переході:

$$E_2 = 0,05 \cdot E_1 = 0,05 \cdot 616 = 31 \text{ мкм};$$

$$E_3 = 0,05 \cdot E_2 = 0,05 \cdot 31 = 2 \text{ мкм}.$$

Розрахунок мінімальних значень між операційних припусків проводимо за формулою:

$$2Z_{\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{p_{i-1}^2 + E_i^2}) \quad (2.6)$$

Мінімальний припуск під обробку:

$$2Z_{\min_1} = 2(40 + 60 + \sqrt{1208^2 + 616^2}) = 2 \cdot 216 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min_2} = 2(50 + 50 + \sqrt{60^2 + 31^2}) = 2 \cdot 210 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min_3} = 2(5 + 10 + \sqrt{3^2 + 2^2}) = 2 \cdot 125 \text{ мкм}$$

Розрахунковий розмір  $dp$  в таблицю заповнюємо починаючи з кінцевого розміру послідовним відніманням розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

$$dp_2 = 20,053 - 0,250 = 21,803 \text{ мм};$$

$$dp_1 = 21,803 - 0,420 = 21,383 \text{ мм};$$

Граничний розмір  $d_{\max}$  одержуємо по розрахункових розмірах, заокруглюючи до точності допуску відповідного переходу.

$d_{\min}$  визначається із найбільших граничних розмірів відніманням допусків відповідних переходів:

$$d_{\max 1} = 21,578 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = 21,875 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3} = 22,053 \text{ мм};$$

$$d_{\min 1} = 21,383 + 0,065 = 21,448 \text{ мм};$$

$$d_{\min 2} = 21,803 + 0,020 = 21,448 \text{ мм};$$

$$d_{\min 3} = 22,000 + 0,020 = 22,020 \text{ мм}.$$

Мінімальні граничні значення припусків  $2Z_{\min}^{np}$  рівні різниці найбільших граничних розмірів виконуючого і попереднього розмірів, а максимальні значення  $2Z_{\max}^{np}$  – відповідно різниці найменших граничних розмірів.

$$2Z_{\max 3}^{np} = 22,053 - 21,875 = 0,178 \text{ мм} = 178 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{np} = 22,020 - 21,823 = 0,197 \text{ мм} = 197 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 3}^{np} = 21,875 - 21,578 = 0,297 \text{ мм} = 297 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min 2}^{np} = 21,823 - 21,448 = 0,375 \text{ мм} = 375 \text{ мкм}.$$

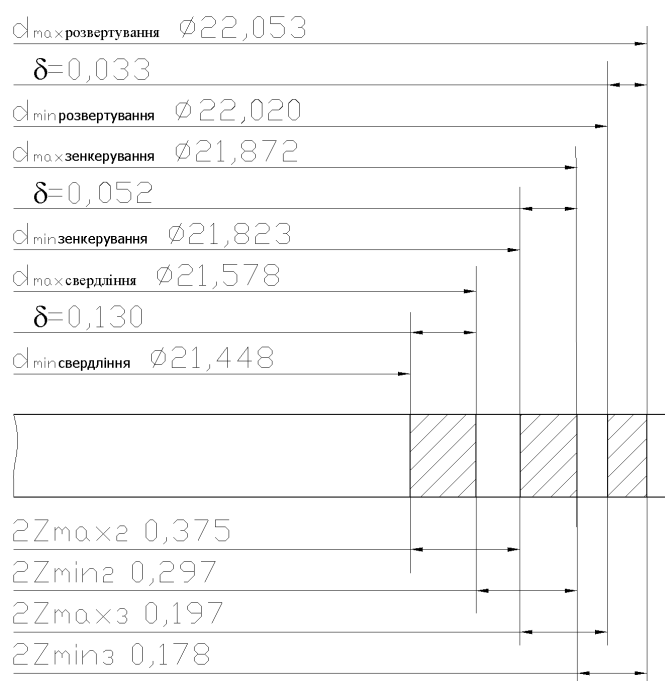


Рисунок 2.1 – Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку поверхні  $\varnothing 22$ F8 мм

#### 2.4.2. Табличний метод призначення припусків

На інші оброблювальні поверхні дані припуски та допуски приймаємо за таблицями.

Одержані дані заносимо в таблицю 2.4

Таблиця 2.4 – Припуски та допуски на оброблювальні поверхні

Поверхня	Розмір	Припуск		Допуск
		Табличний	Розрахунковий	
<i>Б, Т</i>	18	2,2	2	1800
<i>А, У</i>	62Н11	2,3	-	2000
<i>Ц</i>	Ø21,75	2×0,25	2×0,210	400
<i>Ц</i>	Ø22F8	2×0,16	2×0,125	400
<i>В</i>	20	2,2	-	1800
<i>Г</i>	Ø8,95	-	-	1800
<i>Г</i>	M10	1,9	-	1100
<i>Д, Е</i>	12	2,2	-	1800
<i>Н, М</i>	32,5;23	2,2	-	1800
<i>Л</i>	20	2,2	-	1800
<i>Ж</i>	Ø7	2×3,5	-	400
<i>Ж</i>	Ø8	2×0,6	-	400
<i>К</i>	Ø20	2×6,0	-	560
<i>К</i>	Ø27	2×3,5	-	560
<i>З</i>	Ø28,5	2×0,7	-	560
<i>З</i>	M30×1,5-6H	2×0,7	-	560

## 2.5 Розрахунок режимів різання

### 2.5.1 Розрахунок режимів різання аналітичним методом на вертикально-свердлильну операцію 050

Розрахунок режимів різання проводимо розрахунково-аналітичним методом і шляхом розрахунку по довідкових таблицях режимів різання.

Операція 050 – Вертикально-свердлильна. Перехід 1.

Обладнання: верстат мод. VF-1;

Різальний інструмент: свердло  $\varnothing 7,0$ ;

Глибина різання:  $t = 0,5$  мм;

Кількість проходів:  $i = 1$ ;

Подача:  $S = 0,20$  мм/об [6];

Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{z_v}}{T^m \cdot S^{y_v}} \cdot K_{m_v}, [6] \quad (2.7)$$

де  $C_v$  – постійний коефіцієнт,  $C_v = 7,0$ ;

$T$  – період стійкості інструменту,  $T = 25$  хв [6];

$m, y_v, z_v$  – коефіцієнти,  $m = 0,20, z_v = 0,40, y_v = 0,70$  [6];

$K_{m_v}$  – поправочний коефіцієнт швидкості.

$$K_{m_v} = 0,02b_{ep}^{0,8} = 0,02 \cdot 54^{0,8} = 0,69, \quad (2.8)$$

$$V = \frac{7,0 \cdot 7,00^{0,4}}{2,5^{0,20} \cdot 0,20^{0,7}} \cdot 0,69 = 24,68 \text{ м/хв.}$$

Число обертів шпинделя визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 24,68}{3,14 \cdot 7,0} = 1122 \text{ об/хв.}$$

Оберти шпинделя и верстата приймаємо розрахункові, тому, що регулювання безступеневе.

$$n = 1122 \text{ об/хв.}$$

Ефективну потужність різання розраховуємо за формулою:

$$N_e = \frac{M_k \cdot n}{975 \cdot 1000}, [6] \quad (2.9)$$

де  $M_k$  – крутний момент, Н·мм;

$$M_k = C_m \cdot D^{2,0} \cdot S^{y_m} \cdot K_m, \quad (2.10)$$

$$C_m = 34,5 [6], y_m = 0,80, K_m = (b_{ep} / 75)^{0,75} = 1,00$$

$$M_k = 34,5 \cdot 7,00^{2,0} \cdot 0,20^{0,80} \cdot 1,00 = 466 \text{ Н·мм}$$

Ефективна потужність різання:

$$N_e = \frac{466 \cdot 1122}{975 \cdot 1000} = 0,53 \text{ кВт}$$

Основний час

$$T_O = \frac{L}{n \cdot S} \text{ хв.}$$

$$l = 86 \text{ мм}, y_1 = 2 \text{ мм}, y_2 = 2 \text{ мм}$$

$$L = l + y_1 + y_2 = 90 \text{ мм};$$

Тоді основний час на перехід буде:

$$T_O = \frac{90}{1122 \cdot 0,20} = 0,4 \text{ хв.}$$

### 2.5.2 Табличний метод призначення режимів різання

Режими різання на другі операції технологічного процесу вибираємо по довідкових таблицях і заносимо в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими різання на інші операції

Назва операції і переходи	$L$ , мм	$t$ , мм	$i$ , шт	$S$ , мм/об	$S_m$ , мм/хв	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв	$T_o$ , хв	$N$ , кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
005 Комплексна з ЧПК									
1. Фрезерувати лапки в р-р 18	28/200	2,5	1	0,05	75	250	98	1,8	4,6
2. Фрезерувати лапки в р-р 62Н11; 80,6	72/240	2,5	1	0,02	80	800	80,3	1,5	4,6
3. Центрувати отвір	5/10	3,15	1	-	80	250	4,9	0,2	0,18
4. Свердлити отвір $\varnothing 18,5$	59/70	10,5	1	-	14	160	9,3	2,5	2,25
5. Зенкерувати отвір $\varnothing 21,75$	59/60	1,62	1	-	40	160	10,9	0,75	0,65
6. Зенкувати фаску $1,6 \times 45^\circ$	1,6/5	1,6	1	-	40	160	10	0,06	0,7
7. Розвернути отвір $\varnothing 22F8$	59/60	0,12	1	-	40	125	8,6	0,75	0,3
010 Вертикально-свердлильна									
1. Зенкувати фаску $0,5 \times 45^\circ$	0,5/5	0,5	1	-	вручну	180	12,4	0,46	0,7
015 Радіально-свердлильна									
1. Зенкувати фаску $\varnothing 65$ і $45^\circ$	4/15	4	1	-	вручну	125	29	2,4	1,5
020 Горизонтально-фрезерна									
1. Фрезерувати площину М10	20/120	2	1	-	80	500	62,8	1,5	1,4
025 Радіально-свердлильна									
1. Свердлити отвір $\varnothing 8,95$	10/40	4,4 7	1	0,08	-	400	11,3	1,25	0,67
2. Зенкувати фаску в отворі	1/10	1	1	вручну	-	250	8,6	0,8	0,16

## Продовження таблиці 2.5

030 Вертикально-фрезерна									
1. Фрезерувати площину в р-р 58, 12	18/28	2	1	0,15	530	355	31,4	0,1	2,4
035 Горизонтально-фрезерна									
1. Фрезерувати деталь в 32,5h13, 23	55/90	2	1	-	160	200	76	0,75	0,19
040 Горизонтально-фрезерна									
1. Фрезерувати паз в р-р 20, 10, 15	100/15 0	2	1	-	63	100	6,3	12,5	0,39
045 Вертикально-фрезерна									
1. Фрезерувати деталь в р-р 18 і 20	250/27 0	2	1	-	63	400	51	8,7	0,9
050 Вертикально-свердлувальна з ЧПК									
1. Свердлити отвір Ø8H11 до Ø7	42/60	3,5	1	0,2	-	1000	21,9	0,45	0,25
2. Зенкерувати отвір в р-р Ø8H11	42/58	0,5	1	0,2	-	500	12	0,68	0,25
3. Розсвердлити отвір до Ø20	32/49	6	1	0,2	-	250	17	1,00	2,14
4. Розсвердлити отвір до Ø27	32/44	3,5	1	0,2	-	250	20	0,8	2,18
5. Цекувати отвір в р-р Ø27	32/44	-	1	0,2	-	250	20	0,8	1,3
6. Розсвердлити отвір до Ø28,5	32/44	0,7 5	1	0,2	-	250	24	0,98	2,18
7. Нарізати різьбу М30×1,5-6H	8/39	0,7 5	1	0,2	-	315	29	0,83	0,18

**2.6 Розрахунок технічних норм часу при виконанні операції**

Технічні норми часу встановлюються розрахунково-аналітичним способом.

«Штучний час на операцію рахується за формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_{\partial} + T_{обсл} + T_{відп} = T_{он} + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (2.11)$$

де  $T_o$  – основний (машинний) час, хв.;

$T_{\partial}$  – допоміжний час, хв.;

$T_{обсл}$ ,  $T_{відп}$  – час на обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби, хв.;

$T_{он}$  – оперативний час, хв.

Сума основного і допоміжного часу складає оперативний час.

$$T_{он} = T_o + T_{\partial} \quad (2.12)$$

При серійному виробництві додатково розраховують підготовчо-заклучний і штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + \frac{T_{нз}}{n}, \quad (2.13)$$

де  $n$  – величина партії деталей» [9].

Розраховуємо норму часу на операцію 020 – Горизонтально-фрезерна

Основний час на операцію:  $T_o = 1,50$  хв.

Підраховуємо об'єм допоміжної роботи і час на її виконання:

– встановити заготовку в пристрій і зняти після виконання операції:

$$T_{уст} = 0,48 \text{ хв [9];}$$

– допоміжний час, зв'язаний з управлінням верстатом:

$$T_{уп} = 0,20 \text{ хв [9];}$$

– допоміжний час, який необхідний на вимірювання деталі після проведення операції:

$$T_{вим} = 0,12 \text{ хв [9].}$$

Загальний допоміжний час:

$$T_{\partial} = T_{уст} + T_{упр} + T_{вим} = 0,48 + 0,20 + 0,12 = 0,80 \text{ хв.}$$

Оперативний час на операцію:

$$T_{оп} = 1,5 + 0,80 = 2,3 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця  $T_{обсл}$  складає 4% від оперативного часу:

$$T_{обсл} = 0,04 \cdot 2,3 = 0,092 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби  $T_{відп}$  складає 4% від оперативного часу [9]:

$$T_{відп} = 0,04 \cdot 2,3 = 0,092 \text{ хв.}$$

Штучний час на операцію:

$$T_{шт} = 2,3 + 0,092 + 0,092 = 2,484 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заключний час:

$$T_{нз} = 24 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = 2,484 + \frac{24}{100} = 2,72 \text{ хв.}$$

Аналогічно проводимо розрахунки на другі операції і дані записуємо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок штучного часу по операціях технологічного процесу

№ опер.	$T_o$ , хв	$T_{уст}$ , хв	$T_{унр}$ , хв	$T_{вим}$ , хв	$T_{он}$ , хв	$T_{обсл}$ , хв	$T_{відп}$ , хв	$T_{ум}$ , хв	$T_{пз}$ , хв	$T_{ум-к}$ , хв
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
005	7,56	0,83	0,82	0,56	9,76	0,70	0,70	9,87	53,15	10,23
010	0,46	0,30	0,14	-	0,90	0,02	0,02	0,94	39	1,16
015	2,40	0,39	0,14	0,10	3,03	0,107	0,107	3,24	39	3,30
020	1,50	0,48	0,12	0,20	2,30	0,09	0,09	2,48	24	2,72
025	2,05	0,63	0,20	0,26	3,14	0,056	0,086	3,31	39	3,40
030	0,10	0,23	0,28	0,26	1,05	0,034	0,034	1,12	41	1,33
035	1,50	0,57	0,28	0,10	2,45	0,098	0,098	2,64	41	2,73
040	12,50	0,23	0,28	0,42	13,40	0,068	0,068	13,54	41	13,71
045	8,70	0,23	0,28	0,10	9,31	0,044	0,044	9,40	41	9,59
050	4,74	0,80	0,96	0,42	6,92	0,223	0,223	7,37	39	8,19

## 2.7 Висновки до розділу 2

1. Запропоновано новий технологічний процес оброблення деталі «Вилка перемикання верхня 214.008» в якому застосовано верстати з ЧПК та проведено скорочення технологічних операцій.

2. Проведено розрахунки по вибору заготовки, розраховано аналітично припуски, режими різання та проведено нормування технологічного процесу

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

### 3.1. Проектування пристрою для фрезерування

#### 3.1.1 Схема базування та вибір установочних елементів



Рисунок 3.1 – Схема базування при фрезеруванні

Вибираємо базові елементи у вигляді пальця, який звільняють заготовку двої ступенів вільності та упора. Базовим елементом також слугує площина корпусу пристрою, яка забирає три ступеня вільності (рис. 3.1).

#### 3.1.2 Розрахунок сили закріплення та приводу пристрою

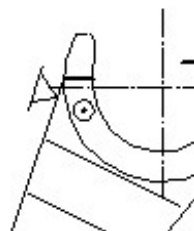
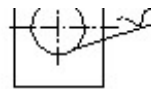


Рисунок 3.2 – Схема базування та закріплення при фрезеруванні

Сила різання:  $P_z = 509$  Н (див. розділ 2).

Розрахунковий тиск стиснутого повітря –  $p = 0,4$  МПа.

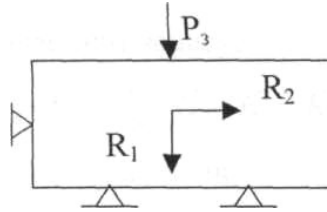


Рисунок 33 – Розрахункова схема визначення сили затиску

Визначаємо основні параметри пневмоциліндра двосторонньої дії пристосування:

$$P_3 = \frac{(k_{заг} R_2 + 0,5 R_1 (f_1 - f_2))}{(f_1 + f_2)}, \quad (3.2)$$

де  $R_1, R_2$  – складові сили різання, які відповідно притискають заготовку до опори та зсуває її в бік, Н;

$k_{заг}$  – коефіцієнт запасу.

$$k_{заг} = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (3.3)$$

де  $k_0 = 1,5$ ;  $k_1 = 1$ ;  $k_2 = 1,2$ ;  $k_3 = 1,2$ ;  $k_4 = 1,4$ ;  $k_5 = 1,0$ ;  $k_6 = 1,0$

$$k_{заг} = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 5,05.$$

$f_1, f_2$  – коефіцієнти тертя заготовки з установочними та затискними елементами, приймаємо  $f_1 = 0,2, f_2 = 0,2$  [12].

Визначаємо складові сили різання, розклавши її дію на вектори сил:

$$P_n = 0,4 P_z = 0,4 \cdot 509 = 203,6 \text{ Н};$$

$$P_v = 0,8 P_z = 0,8 \cdot 509 = 336 \text{ Н};$$

$$P_y = 0,4 P_z = 0,4 \cdot 509 = 203,6 \text{ Н};$$

$$P_x = 0,5P_z = 0,5 \cdot 509 = 254,5 \text{ Н};$$

$$R_1 = P_v = 356 \text{ Н};$$

$$R_2 = \sqrt{P_x^2 + P_n^2} = \sqrt{203^2 + 254^2} = 325 \text{ Н};$$

$$P_3 = \frac{(5,05 \cdot 325 + 0,5 \cdot 356(0,2_1 - 0,2))}{(0,2 + 0,2)} = 3282 \text{ Н}.$$

Визначаємо розрахунковий діаметр пневмоциліндра:

$$D_n = \sqrt{\frac{4P_3}{\pi p \eta}}, \quad (3.4)$$

де  $\eta$  – ККД пневмоциліндра, приймаємо  $\eta = 0,80$ .

$$D_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 3282}{3,14 \cdot 0,39 \cdot 0,80}} = 97,15 \text{ мм}.$$

Приймаємо діаметр циліндра відповідно до номенклатури виготовлення, тобто  $D_o = 100$  мм.

Визначаємо дійсну силу затиску за формулою:

$$W_o = \frac{\pi D_o^2 p \eta}{4} = \frac{3,14 \cdot 100^2 \cdot 0,39 \cdot 0,80}{4} = 3327 \text{ Н}. \quad (3.5)$$

Визначаємо час спрацювання пневмоциліндра:

$$T_{cn} = \frac{D_o \cdot l_x}{d_0^2 \cdot V_c} = \frac{100 \cdot 40}{25^2 \cdot 180} = 0,14 \text{ с}. \quad (3.6)$$

### 3.1.3 Розрахунок елементів пристрою на міцність

З аналізу конструкції пристрою визначено найбільш навантажений елемент - виточку на штоці під швидкозмінну шайбу  $\varnothing 14$ . Проведемо розрахунок за напруженнями на зріз [17].

«Розрахунок на зріз ведемо за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{Q}{F_{зр}} \leq [\tau]_{зр}, \quad (3.7)$$

де  $F_{зр}$  – площа зрізу.

$Q = 3327 \text{ Н}$  – сила на штокові.

Розрахунок площі зрізу ведемо за формулою:

$$F_{зр} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,4^2}{4} = 1,54 \text{ см}^2$$

Розрахунок напружень ведемо за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{3327}{1,54} = 2160 \text{ Н/см}^2 < [\tau]_{зр}$$

де  $[\tau]_{зр} = 4500 \text{ Н/см}^2$ , що є допустимою умовою» [17].

### 3.1.4 Розрахунок на точність

Точність розміщення оброблюваної поверхні впливає на якість експлуатації деталі і залежить від точності пристосування. Розміщення поверхні деталі при її механічній обробці залежить як від роботи верстата, так і від положення деталі в пристосуванні відносно верстата та різального інструмента.

При визначенні похибок встановлення необхідно враховувати пружні деформації, зношування пристосувань та їх нагрівання, точність базування, похибки налагоджування та ін.

Пристосування повинно забезпечувати необхідне положення заготовки відносно інструменту. Для партії заготовок це положення не є постійним, а буває з полем розсіювання в деяких межах. Величину поля розсіювання положень установочних баз заготовки для даного виконуваного розміру відносно інструменту називають похибкою. установки  $\varepsilon_y$ , що визначає відхилення фактично досягнутого розташування заготовки від заданого і підраховують в залежності від похибок базування  $\varepsilon_0$ , закріплення  $\varepsilon_3$  і розташування  $\varepsilon_{np}$  заготовки.

Ці похибки мають різний характер:

$\varepsilon_0$  – випадкова похибка;  $\varepsilon_3$  – включає як випадкову, яка складає основну  $\varepsilon_{30}$  складову похибки, так і систематичну, спричинену зміною форми поверхні контакту установочного елемента при його зношуванні  $\varepsilon_{3n}$ ;  $\varepsilon_{np}$  – включає систематичну похибку внаслідок зношування установочних елементів  $\varepsilon_u$  і систематичні похибки, спричинені похибками виготовлення та складання установочних елементів  $\varepsilon_n$ , а також похибками встановлення і фіксації пристосування на верстаті  $\varepsilon_{yc}$ .

Розрахунок фрезерного пристрою на точність будемо робити для забезпечення ним розміру з допуском  $\delta = 0,033$  мм.

Для забезпечення необхідної точності обробки деталі дотримуються умови:  $\varepsilon_\Sigma < T$ , тобто сумарна похибка  $\varepsilon_\Sigma$  обробки повинна бути на 10-15% менша допуску, витриманого найбільш точно параметру.

Сумарна похибка дорівнює:

$$\varepsilon_\Sigma = K \sqrt{\varepsilon_c^2 + \varepsilon_{p.p}^2 + \varepsilon_{py}^2 + \varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_{pi}^2 + \varepsilon_i^2 + \varepsilon_{pn}^2 + \varepsilon_{iz}^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_{y\delta}^2} \quad (3.8)$$

де  $\varepsilon_i = 0,012$  мкм; [4];  $\varepsilon_{py} = 0,008$  мкм;  $\varepsilon_\delta = 0,012$ ;  $\varepsilon_{pn} = 0,012$  мкм;  $\varepsilon_3 = 0,016$  мм [1];  $\varepsilon_{pi} = 0,12$ ;  $\varepsilon_n = 0,008$ ;  $\varepsilon_{y\delta} = 0,015$  мкм;  $K = 1,1$ .

$$\varepsilon_{\Sigma} = 1,1\sqrt{0,008^2 + 0,008^2 + 0,011^2 + 0,025^2 + 0,01^2 + 0,015^2} = 0,031 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{\Sigma} = 0,031 \text{ мм} < \delta = 0,033 \text{ мм.}$$

Таким чином точність пристрою задовільняє умови обробки деталі.

### 3.1.5 Опис роботи пристрою для фрезерування

Дане пристосування призначене для обробки одночасно двох деталей вилки перключення. Воно кріпиться до стола верстату болтами до Т-подібних пазів. Для орієнтації пристосування на верстаті служать напрямні шпонки (рис. 3.4).

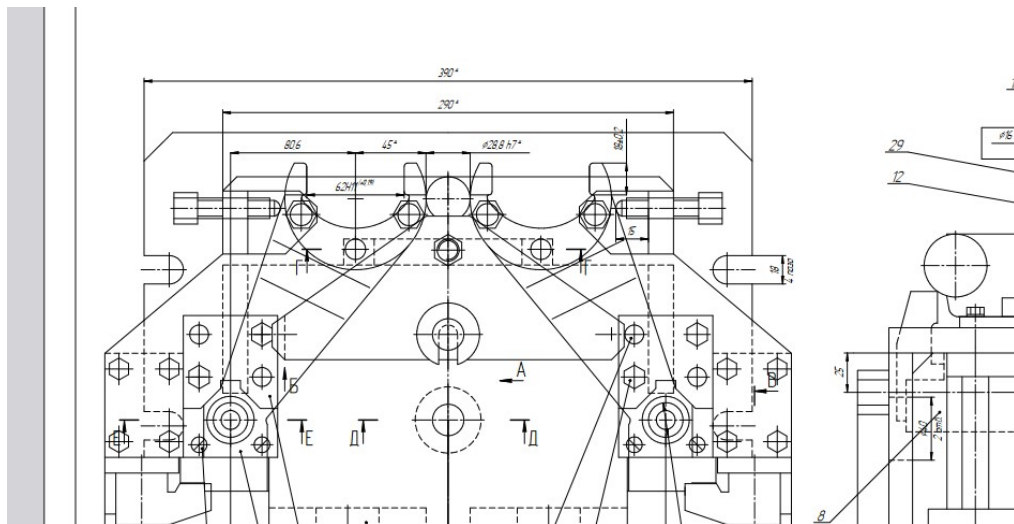


Рисунок 3.4 – Схема верстатного пристрою для фрезерування

Тип приводу для створення сил затиску – пневмопривод. Дві вилки – праву і ліву встановлюємо отворами  $\varnothing 22$  мм на високі пальці до упору на горизонтальну площину. Висоту пальця відносно приспособлення регулюємо гвинтом. Друга частина деталі (зона лапок) встановлюється на опорні пластини. Лапки фіксуються штифтами для запобігання прокручування деталі навколо вісі отвору  $\varnothing 22$  мм. Дві деталі затискаються спеціальним притиском і для запобігання його зсуву передбачаємо спеціальну стійку. Пневмоциліндр включаємо після насадження на шток швидкознімної шайби. Після обробки

поверхонь *D* деталі знімаються з приспособлення, перевстановлюються другою стороною і обробляють поверхні *E*.

### 3.2 Пристрій для зняття фаски $0,5 \times 45^\circ$ мм в отворі $\varnothing 22 F8$ мм

Пристрій для зняття фасок не рахуємо на точність, тому що фаска отримується інструментом, який самоцентрується по отвору. Потрібний розмір фаски отримуємо без затиску деталі в приспособленні тому, що сили різання незначні та крутний момент малий.

Приспособлення (рис. 3.5) призначене для виконання зняття фасок в отворі на операції 025 і кріпиться до стола верстата болтами, які кріпляться в Т-подібних пазах верстату і пазах плити приспособлення. Деталь отвором  $\varnothing 22$  мм встановлюється на палець і впирається в плиту, яка регулюється для точного встановлення деталі в приспособленні. Лапки деталі встановлюються на опори і впираються в спеціальний упор для запобігання прокручування деталі навколо осі отвору  $\varnothing 22$  мм..

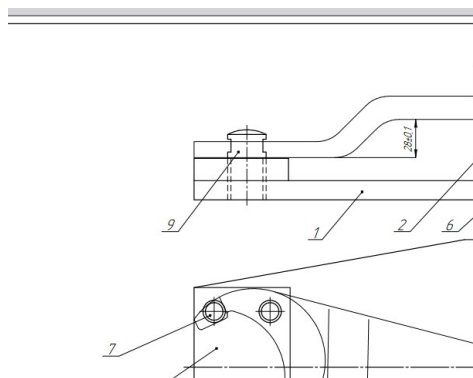


Рисунок 3.5 – Схема верстатного пристрою для зняття фаски  $0,5 \times 45^\circ$

### 3.3 Проектування контрольного пристрою

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

Висока якість деталей машин забезпечується технологічними процесами їх механічної обробки і контролю. Процес контролю деталей призначається одночасно з проектуванням технологічного процесу обробки і є його складовою частиною. Однією з найбільш складних та відповідальних контрольних устаткування є контрольні пристрої.

Контрольні пристрої служать для перевірки точності виконання розмірів, форми та взаємного розміщення поверхонь деталей та вузлів машин. Вони знаходять широке використання для вимірювання деталей у процесі їх обробки, при налагодженні верстатів та верстатних пристосувань, для поопераційного і прикінцевого контролю деталей. Потреба в контрольних пристроях особливо велика при виготовленні деталей з високою точністю. При проектуванні контрольних пристроїв потрібно чітко визначити, чи буде контроль деталей здійснюватися вибірково, чи 100% відносно виробничої програми.

При стійких технологічних процесах, коли забезпечується однорідність якості деталей, процес вимірювання може бути вибірковою, що знижує вимоги до продуктивності контрольних пристроїв. А при нестійких технологічних процесах, які не забезпечують однорідності деталей, при сортуванні деталей на розмірні групи для складання методом групового підбору та в інших випадках, коли міряють всі 100% оброблених деталей, потрібна висока продуктивність контрольних пристроїв.

При поточковому виробництві пропускна здатність контрольних пристроїв повинна бути обов'язково вищою від продуктивності виробничої лінії для того, щоб виключити затримки виробничого процесу з вини контролю. Контрольні пристрої як прості, так і автоматичні, повинні бути вигідними для експлуатації, простими у виготовленні, надійними при тривалій роботі та економічно доцільними.

Пристрій призначений для контролю таких розмірів:  $58 \pm 0,23$  мм,  $80,6 \pm 0,1$  мм,  $164,7 \pm 0,25$  мм та  $\varnothing 62^{+0,19}$  мм.

### 3.3.2 Вибір методу та схеми контролю параметрів виробу

Контрольними пристроями перевіряють:

- а) лінійні розміри – зовнішні та внутрішні діаметри у деталей типу валів, втулок та ін., висоту, глибину та ширину різноманітних елементів деталей;
- б) геометричну форму поверхонь – циліндричність, прямолінійність, площинність, криволінійність форми та ін.;
- в) взаємне розміщення поверхонь між собою – паралельність, симетричність, кутове розміщення;
- г) розміри деталей при необхідності їх сортування на окремі групи або класи в межах заданого допуску;
- д) взаємне положення осей (биття) різних поверхонь;
- е) окремі параметри зачеплення зубчастих та черв'ячних коліс і параметри гвинтових з'єднань.

На контрольно-вимірних пристроях перевіряють також багато інших розмірів деталей з різноманітними допусками і квалітетами точності. При цьому основні вимоги, що ставлять до контрольно-вимірних пристроїв, визначаються необхідністю забезпечення оптимальної точності і продуктивності операції технологічного контролю.

Для контролю параметрів виробу приймаємо схему контролю розмірів:  $58 \pm 0,23$  мм,  $80,6 \pm 0,1$  мм,  $164,7 \pm 0,25$  мм та  $\varnothing 62^{+0,19}$  мм. за допомогою шаблонних валіків та пальця і щупа.

### 3.3.3 Розрахунок пристрою на точність

«Допустима похибка вимірювання пристрою визначається за формулою [12]:

$$\xi_{\text{д.вим.}} = 0,3T, \quad (3.9)$$

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

Похибка пристрою,

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\varepsilon_y^2 + \varepsilon_{зн}^2 + \varepsilon_B^2} \quad (3.10)$$

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

$$\varepsilon_y = 0 \text{ мм}$$

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

$\varepsilon_B$  – похибка вимірювального пристрою, мкм;

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  $\varepsilon_{пр} = 0,013$  мм менше ніж допустима похибка  $\varepsilon_{доп} = 0,015$  мм., тобто пристрій придатний для контролю» [14].

### 3.3.4 Принцип роботи пристрою

Пристрій призначений для контролю таких розмірів:  $58 \pm 0,23$  мм,  $80,6 \pm 0,1$  мм,  $164,7 \pm 0,25$  мм та  $\varnothing 62^{+0,19}$  мм. Деталь отвором  $\varnothing 22$  мм встановлюється на палець і загвинчується гвинтом в отвір деталі М10 і отвір в пальці приспособлення. Лапки деталі встановлюються на плиту. Пробка, якою контролюється розмір  $\varnothing 62^{+0,19}$  мм встановлюється на другий палець.

Деталь вважається придатною, якщо вона вільно заходить на палець 3, а гвинт 4 загвинчується в деталь і палець. Щуп  $b = 0,5$  мм не повинен заходити в зазор між поверхнею  $A$  деталі і  $B$  плити 1.

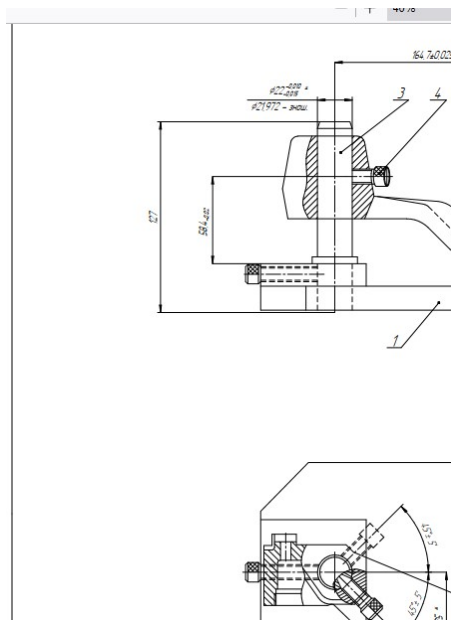


Рисунок 3.6 – Схема контрольного пристрою

### 3.5 Висновки до розділу 3

У конструкторському розділі розроблено та розраховано верстатні пристрої для фрезерування поверхонь, пристрій для зняття фасок та контрольний пристрій для контролю розмірів деталі.

## РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ

### 4.1. Аналіз конструкції деталі «Вилка перемикачів верхня 214.008» у середовищі SolidWorks

«На сьогодні тривимірні моделі механізмів і машин активно використовуються не лише для створення конструкторської та технологічної документації, але й для проведення інженерного аналізу за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Якість геометричних моделей відіграє ключову роль у забезпеченні точності та можливості отримання надійних результатів таких аналізів. Тому створення простих і оптимізованих геометричних моделей технічних об'єктів, позбавлених зайвих елементів, є важливим завданням сучасного проектування.

SolidWorks, розроблений компанією SolidWorks Corp. (США), являє собою потужний інструмент для проектування, який повністю відповідає потребам щоденної роботи інженера-конструктора. Ця платформа служить базою для створення інтегрованої системи автоматизації підприємства, дозволяючи здійснювати наскрізний процес від проектування і інженерного аналізу до підготовки виробництва виробів будь-якої складності та функціонального призначення. Програма не має обмежень на кількість компонентів у складних збірках, надає широкі можливості для створення конструкторської документації, роботи з листовим металом та розробки фотореалістичних зображень. Крім того, SolidWorks повністю відповідає стандартам ЄСКД у частині оформлення конструкторської документації. Програма SolidWorks – це система автоматизованого проектування механічних вузлів на основі окремих елементів.

Об'ємна або твердотільна модель є найповнішою формою геометричної моделі, що використовується в системах автоматизованого проектування. Вона охоплює всю геометрію каркасів і поверхонь, необхідну для детального опису кромки та граней моделі. Окрім геометричних характеристик, модель також включає інформацію топології, яка пов'язана із геометрією. Наприклад, до топології належить визначення того, які грані (поверхні) утворюють певну кромку (криву) та якими саме вони є. Завдяки цьому принципу операції, як-от

округлення, виконуються шляхом простого вибору кромки або зазначення радіуса. Твердотільна модель у SolidWorks має повний зв'язок із кресленнями деталей і складальними кресленнями, що на них посилаються.

Зміни, внесені в модель, автоматично відображаються у пов'язаних із нею кресленнях та збірках. Аналогічно, модифікації, виконані в кресленнях або збірках, синхронізуються із самою моделлю. Система SolidWorks підтримує різноманітні геометричні взаємозв'язки, такі як паралельність, перпендикулярність, горизонтальність, вертикальність та концентричність, що є лише частиною доступних обмежень» [19].

Метою досліджень є інженерний аналіз конструктивних параметрів деталі Вилка перемикачів верхня 214.008 на міцність та можливих переміщень елементів деталі при впливі робочих навантажень.

«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 методом аналізу кінцевих елементів (FEA) – це дискретизація проєктованих компонентів в тверде тіло, оболонку або балковий елемент, що використовує лінійний аналіз напружень для визначення реакції деталей і вузлів під впливом: - сили; - тиску; - прискорення; - температури. - контакт між компонентами.

Будь-який вид аналізу здійснюється у декілька етапів. Перелічимо необхідні для виконання аналізу кроки. 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].

Тривимірну модель деталі Вилка перемикач верхня 214.008 створюємо за допомогою програмного продукту SolidWorks, яка представлена на рис. 4.1.

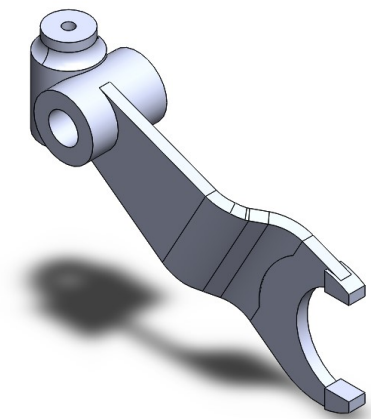


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд тривимірної моделі деталі Вилка перемикач верхня 214.008

#### **4.1.1 Розбиття моделі Вилка перемикач верхня 214.008 на скінчені елементи**

«Користувач визначає параметри дискретизації – середній розмір скінченого елемента та, при необхідності, зони з більш мількою сіткою. Крім того, можливо дозволити системі самостійно керувати розмірами комірок у зонах із різкою зміною геометрії» [18]. У нашому випадку концентратором зусиль у деталі Вилка перемикач верхня 214.008 будуть місця закріплення її на осі та  $V$  – подібна поверхня вилки.

Після успішного створення 3D моделі з'явиться діалог управління настройками генерації кінцево-елементної сітки, після закінчення якого утворюється сіткова модель з тетраедрів, апроксимуючу тривимірну модель 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.

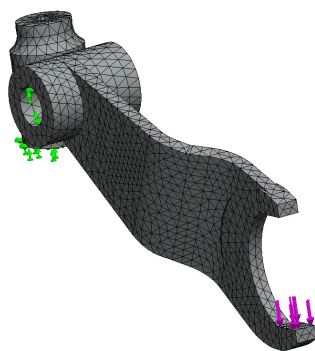


Рисунок 4.2 – Сітка деталі Вилка перемикавання верхня 214.008, побудована методом кінцевих елементів

«У SolidWorks аналізі є дві можливості завдання матеріалу деталі для виконання аналізу. За умовчанням, в розрахунку використовуються характеристики матеріалу «з операції». Призначимо для нашої моделі матеріал виготовлення деталі Сталь 40 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 – кріпильний отвір та торець (рис. 4.3).

#### 4.1.2 Визначення переміщень окремих поверхонь деталі Вилка перемикавання верхня 214.008

Навантаження виникає в процесі перемикавання блока шестерен у виробу та прикладатиметься до торцевої поверхні деталі та отвору під час роботи деталі у вузлі (рис. 4.3) та створюють перміщення елементів. При значних зміщеннях можливе заклинювання рухомих вузлів.

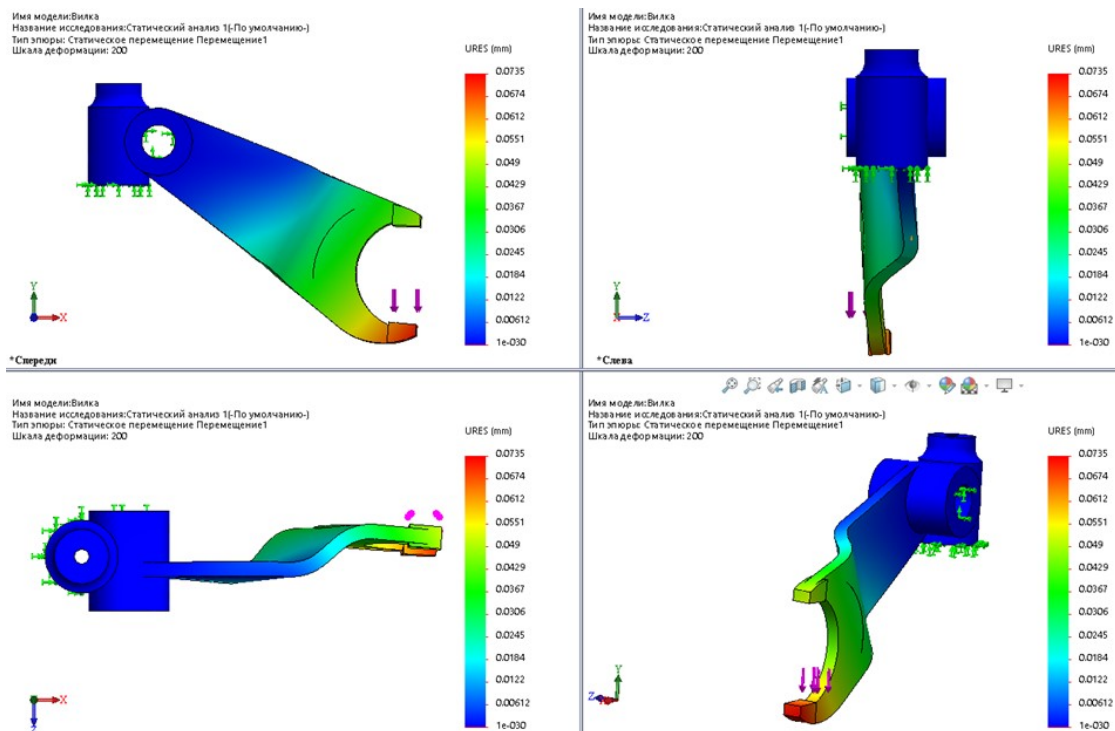


Рисунок 4.3 – Переміщення елементів деталі Вилка перемикавання верхня 214.008 під дією робочих навантажень

Встановлено, що під дією робочих навантажень максимальні переміщення основних поверхонь складають – 0,0735 мм

### 4.1.3. Методика розрахунків на міцність елементів деталі Вилка перемикавання верхня 214.008

«Розглянемо лінійний навантажені стан (з однією віссю) – коли з трьох головних напружень тільки одне не дорівнює нулю. У цьому напруженому стані знаходяться деталі при розтягу, стисканні, чистому згині [18].

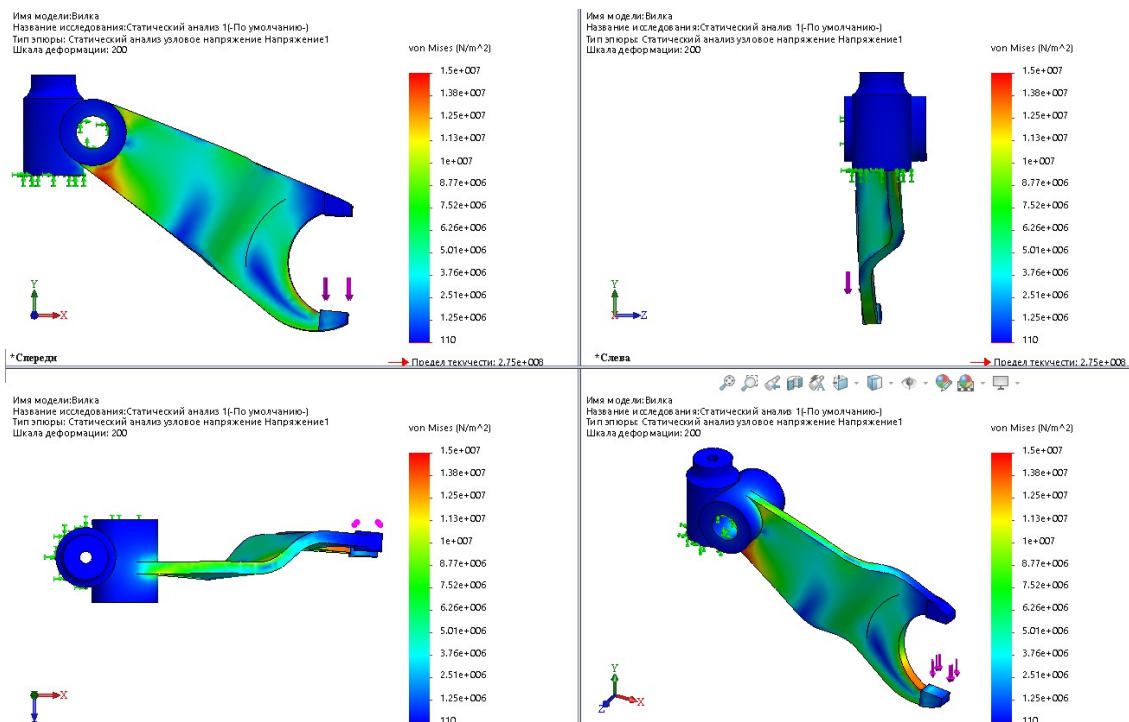


Рисунок 4.4 – Напруження в елементах деталі Вилка перемикавання верхня 214.008

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».

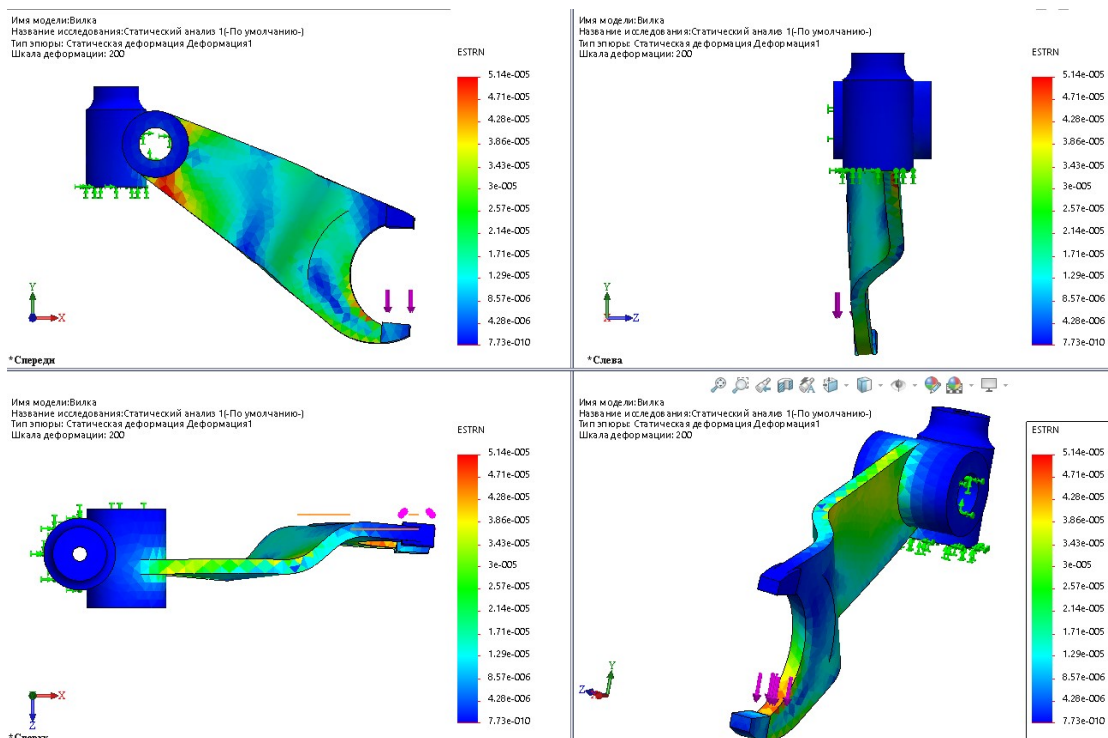


Рисунок 4.5 – Результати аналізу (деформація) деталі Вилка перемикання верхня 214.008

#### 4.2. Висновки до розділу 4

Провівши аналіз конструктивних параметрів деталі при робочому навантаженні виявлено в деяких зонах максимальні напруження по Мізесу 0,015 МПа, та максимальні переміщення 0,00514 мм, що є в межах допустимої норми.

Отже деталь Вилка перемикання верхня 214.008 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

«Охорона праці – це система законодавчих актів і норм, які направлені на забезпечення безпеки праці, і відповідних їм соціально-економічних, організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних міроприємств.

Повністю безпечних та нешкідливих виробництв не існує. Задача охорони праці – звести до мінімальної ймовірності ураження чи професійного захворювання робітника з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні умови виробництва характеризуються, як правило, наявністю деяких небезпек.

Загальне керівництво роботою по техніці безпеки і виробничою санітарією на машинобудівних підприємствах і відповідальність за дотримання законодавства по охороні праці, виконання правил, норм та інструкцій по техніці безпеки і виробничої санітарії в цілому по заводі покладаються на директора і головного інженера підприємства» [18].

### **5.1 Організація транспортних і завантажувальних робіт для заготовок та деталей в цеху**

«Піднімально-транспортні та вантажно-розвантажувальні роботи є важливими та трудомісткими елементами виробничих процесів машинобудівних заводів, а тому від їх організації та оснащення в значній мірі залежить загальний рівень продуктивності праці на підприємстві, рівень витрат виробництва та умов праці робітників.

Основними видами піднімально-транспортного обладнання для міжкорпусного, міжцехового та внутрішньо-цехового переміщення та транспортування є: залізничний та автомобільний транспорт, кранове обладнання, підвісний транспорт, конвеєри та транспортери, піднімально-транспортні засоби автоматичної дії для серійного та масового виробництва й складів.

Розміщення та характер роботи піднімально-транспортного обладнання на

машинобудівних заводах можна представити наступним чином: матеріали, які надходять на підприємство залізничною дорогою, розвантажують за допомогою конвеєра чи поворотного крана; частина вантажів надходять безпосередньо в механоскладальні цехи, де розвантаження проводиться за допомогою кран-балки або мостовим краном; поворотні крани та безрейкові візки доставляють матеріали до технологічних машин; транспортування заготовок та напівфабрикатів від верстату до верстату здійснюють за допомогою конвеєрів або подібних машин; видалення стружки від верстатів проводять шнековими транспортерами; зі складальних конвеєрів вузли та готові вироби перевозяться автомобільним чи іншим транспортом. З цього можна зрозуміти, яка висока насиченість на сучасних заводах транспортно-піднімальними пристроями.

Для внутрішньо-цехового транспортування використовуються:

- а) електронавантажувачі та електровізки з піднімальною платформою або піднімальними вилами вантажопідйомністю до 0,5 т та швидкістю переміщення 3-7 км/год;
- б) електроштабелери напільні в тому числі з висувними вилами та поворотним вантажопідйомником з висотою піднімання 3-4,5 м, вантажопідйомністю до 0,1-2,0 т та швидкістю переміщення 3-7 км/год;
- в) ручні візки з піднімальною платформою та вилочні з гідропідйомом з висотою піднімання до 1500 мм, вантажопідйомністю до 0,3-1,25 т.

Мостові та підвісні однобалочні крани вантажопідйомністю до 5 т використовують в якості технологічного транспорту, а також для завантажувально-розвантажувальних робіт всередині цеху та складів. Підвісні кран-балки в порівнянні з кран-балками опорного типу мають ряд переваг: вони не потребують встановлення колон для підкранових шляхів, що збільшує корисну площу цеху; мають малі габарити по вертикалі, що дозволяє отримати більшу висоту піднімання вантажу» [18].

« Піднімально-транспортні механізми можуть експлуатуватись тільки при повній справності, в тому числі, якщо вони безаварійно можуть витримати

граничне робоче навантаження протягом тривалого періоду часу. Справність та міцність піднімально-транспортних механізмів визначають при технічному огляді перед запуском їх в експлуатацію та після того періодично не рідше ніж через 12 місяців необхідно проводити ретельний огляду пристроїв та їх окремих вузлів, статичні та динамічні випробування. При перевірці перевіряється наявність та справність запобіжних та блокуючих пристроїв і огорож, зубчастих та черв'ячних передач, гальм, стан кріплень, кінцевих обмежень, перил та інше; в електричних піднімально-транспортних механізмах при огляді перевіряється стан заземлення, наявність огорожень і блокувань, які перешкоджають випадковому дотиканню до струмоведучих частин електричного обладнання. Статичне випробування передбачає перевірку загальної міцності пристрою, справності гальм на механізмі піднімання, а для стрілових кранів – стійкість проти перекидання.

При уведенні в експлуатацію вже встановлених чи виготовлених кранів, а також після реконструкції чи капітального ремонту статичне випробування проводиться навантаженням, яке на 25 % перевищує вантажопідйомність крана.

Динамічне випробування проводиться в тому випадку, якщо результати статичного випробування є задовільними. Це випробування зводиться до багатократного піднімання та опускання вантажу, який перевищує робоче навантаження на 10 % » [18].

«Результати випробувань фіксують в спеціальному журналі, який заводиться на кожен піднімально-транспортний пристрій.

Обслуговування і керування піднімально-транспортним пристроєм може вважатись зручним, якщо робота кранівника (оператора) буде невтомлюваною та безпечною, якщо будуть виключені фізичні та зорові перенавантаження, а також забруднення тіла та одягу працюючих. Все це повинно враховуватись при проектуванні піднімально-транспортних пристроїв.

Для безпеки праці велике значення має правильне закріплення вантажу, який піднімається, оскільки при його переміщені можливий самовільний зсув канатів чи ланцюгів, що може привести до падіння вантажу та травм людей. Щоб уникнути цього під гострі грані вантажу в місці контакту з ним каната чи

ланцюга підкладають спеціальні прокладки з дерева, войлоку, гуми. При переміщенні дрібних деталей не рекомендується транспортувати їх в тарі без бортів чи завантажувати тару вище бортів» [18].

## 5.2 Визначення рівня шуму в цеху. Заходи для його зниження

«За сучасних умов боротьба з шумом є технічно-складною, комплексною, дорогою. Важливо знижувати шум у джерелі його виникнення, створювати безшумні або мал шумні машини і технологічні процеси, транспортне і промислове устаткування, починаючи ще зі стадії проектування.

При цьому розраховується очікувана величина шуму, розробляються заходи щодо зниження шуму до допустимого рівня. Гігієністи вважають верхньою межею шуму для роботи в цехах машинобудівного виробництва 60 дБА.

Рівень звукової потужності визначають за формулою:

$$L_p = L_{cp} + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_1}, \quad (5.1)$$

де  $L_{cp}$  – середній рівень шуму, який діє на поверхню площею  $S$ .

Розрізняють два види нормування виробничого шуму: санітарно-гігієнічне і технічне. Перше регулює рівень шуму з огляду його дії на організм людини. Норматив житлово-побутового шуму - 40 дБА вдень, 30 дБА - вночі. Технічне нормування стандартизує існуючі або очікувані шумові характеристики устаткування об'єкта. Друге повинне забезпечити вимоги першого. Вухом людини звукові хвилі частотою нижче 16 Гц сприймає не як звук, а як вібрацію.

Соціальний характер проблеми забруднення середовища шумом і визначає те, що боротьба з ним – завдання не тільки технічне, а й суспільне. У проблемі взаємодії людського суспільства і природи важливе місце посідає свідомість й

активна боротьба з шумовим забрудненням довкілля. На пристосування до сильного шуму організм людини витрачає велику кількість енергії, перенапружується нервова система, виникають втома, нервовий і психічний розлади» [18].

«Особливо важко переносяться раптові різкі високочастотні звуки. При рівні шуму понад 80 дБА послаблюється слух, виникають нервово-психічні захворювання, виразка шлунку, гіпертонія, підвищується агресивність. Дуже сильний шум (понад 110 дБА) призводить до так званого шумового сп'яніння, а потім — до руйнування тканин тіла, перш за все — слухового апарату.

Для зниження шуму можна використовувати наступні методи:

- зменшення шуму в джерелі;
- зміна направленості шуму;
- раціональне планування підприємств і цехів, акустична обробка приміщень;
- зменшення шуму на шляху його розповсюдження.

Часто неекономічно, а інколи практично неможливо зменшити шум до допустимих величин загально технічними методами, тому основними методами запобігання професійних захворювань є засоби індивідуального захисту.

До засобів індивідуального захисту відносяться вкладиші (вставлені в слуховий канал м'які тампони з ультразвукового полотна) – зниження шуму 5-20 дБ, навушники – зниження шуму 10 – 40 дБ і шлеми – зниження шуму більше 120 дБ» [18].

### **5.3 Вибір і розрахунок віброізоляторів для встановлення верстатів**

«Віброізоляція використовується для зменшення передачі коливань від джерела збудження до об'єкту, який необхідно захистити, за допомогою пристроїв, що встановлюються між ними. Віброізоляція здійснюється шляхом введення в коливальну систему додаткового пружного зв'язку, який

перешкоджає передачі вібрації від машини - джерела коливань до основи або суміжних елементів конструкції, цей пружний зв'язок може також використовуватись для послаблення передачі коливань від основи на людину, або на машину, яку необхідно захистити.

Ефективність віброізоляції визначають коефіцієнтом передачі КП, який показує відношення амплітуди вібропереміщення, віброшвидкості, віброприскорення об'єкта, який захищається або діючої на нього сили, до амплітуди тої ж величини джерела збудження при гармонійній вібрації. Розраховується коефіцієнт передачі за формулою:

$$КП = \frac{F_{т.осн}}{F_{т.маш}}, \quad (5.2)$$

де  $F_{т.осн}$  - амплітуда вібропереміщення, віброшвидкості, віброприскорення об'єкта, який захищається;

$F_{т.маш}$  - амплітуда джерела збудження тої ж величини при гармонійній вібрації.

Чим менше значення цього співвідношення, тим вища віброізоляція. Коефіцієнт передачі в системах, де можна знехтувати тертям, можна розрахувати за формулою:

$$КП = \frac{1}{(f - f_o)^2} - 1, \quad (5.3)$$

де  $f$  - частота збудження коливальної системи;

$f_o$  - власна частота коливань системи.

Звичайно ефективність віброізоляції визначають в децибелах:

$$\Delta L = 20 \lg \frac{1}{k_{II}}. \quad (5.4)$$

Вираз для власної частоти в герцах з врахуванням того, що  $\frac{mg}{q} = x_{cm}$ ,

можна представити у вигляді:

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{q}{m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{qg}{mg}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{x_{cm}}}, \quad (5.5)$$

де  $x_{cm}$  - статична осадка системи на віброізоляторах під тиском власної ваги» [18].

«Чим більша статична усадка, тим нижча власна частота і тим ефективніша віброізоляція. Однак ця умова протирічить економічним, а в деяких випадках, і технічним можливостям, оскільки приводить до складних і дорогих конструкцій віброізоляторів з великими габаритами, а система на таких віброізоляторах набуває надто великої рухомості в окремих степенях вільності. Тому в даному випадку необхідно знаходити розумний компроміс між гігієнічними, технічними, економічними вимогами. Таким чином, чим вища частота вібрації, тим легше здійснити віброізоляцію. Звідси впливає, що існує оптимальне співвідношення між частотою збудження і власною частотою коливань системи. Воно складає  $\frac{f}{f_o} = 3 \div 4$ , що відповідає  $KП = \frac{1}{8} \div \frac{1}{15}$ .

Для віброізоляції стаціонарних машин з вертикальною змушуючою силою в машинобудуванні частіше всього застосовують віброізолюючі опори типу пружних прокладок або пружин (рисунок 5.1). Можливе їх суміщене використання (комбіновані віброізолятори).

Пружинні віброізолятори в порівнянні з прокладками мають ряд переваг. Вони можуть застосовуватись для ізоляції коливань як низьких, так і високих частот (забезпечують будь-яку деформацію), довше зберігають постійність пружних властивостей в часі, добре протидіють дії масла і температури, відносно малогабаритні. Однак, вони можуть пропускати коливання високих частот, оскільки матеріал пружин (сталь) має малі внутрішні втрати, а у вказаному діапазоні знаходяться резонансні частоти пружин. Тому, в такому

випадку, пружинні віброізолятори рекомендується встановлювати на прокладки із пружних матеріалів типу гуми (комбінований віброізолятор)» [18].

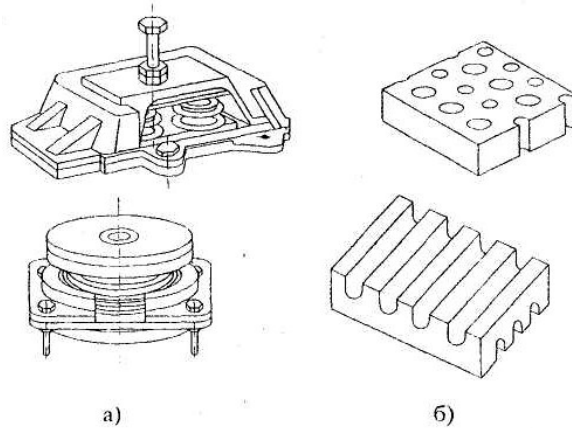


Рисунок 5.1 Віброізолюючі опори: а) пружинні; б) гумові віброізолятори

«При використанні віброізоляторів типу гумових прокладок слід приймати міри для забезпечення деформації в горизонтальній площині. Тому гумові віброізолятори повинні або мати форму ребристих чи пористих плит, або розбиватись на ряд паралельно встановлених елементів

Будь-яка машина, поставлена на віброізолятори, має шість ступенів вільності, оскільки може здійснювати коливання в трьох взаємно перпендикулярних площинах простору, а також здійснювати обертовий рух в тих самих площинах.

Розрахунок системи з шістьма ступенями вільності досить складний. На практиці віброізоляції машин обмежуються в більшості випадків розрахунком тільки вертикальних коливань. Розрахунок віброізоляторів зводиться до визначення необхідної жорсткості гумових прокладок або пружин і визначення їх параметрів: числа витків і діаметра дроту пружини; висоти, площі і числа гумових прокладок; перевірки на відсутність в них резонансних явищ і стійкості.

В тому випадку, коли параметри вібрації невідомі, необхідно виконувати умову:  $\frac{f}{f_0} = 3 \div 4$ .

Значення частоти дії збуджуючої сили визначають за параметрами робочого процесу. Для різних типів машин з числом робочих циклів  $n$  для електроприводів частота обертання  $n$  хв<sup>-1</sup> значення розраховується за формулою:

$$f = \frac{n}{60}. \quad (5.6)$$

За відомим значенням  $f$  знаходять  $f_0$  (Гц):

$$f_0 = \frac{f}{3 \div 4}. \quad (5.7)$$

Використовуючи зв'язок між статичною осадкою  $x_{cm}$  і частотою власних коливань системи  $f_0$ , можна побудувати графік залежності для визначення  $x_{cm}$  по заданому значенню коефіцієнта КП. Графік будується в логарифмічних координатах. Для необхідного значення  $f_0$  визначають потрібну статичну усадку системи і проводять розрахунок параметрів ізоляторів» [18].

«Для гумових прокладок розраховують потрібну висоту віброізоляторів

$$h = x_{cm} \frac{E}{\sigma}, \quad (5.8)$$

де  $E$  - динамічний модуль пружності, для гуми складає  $E = 2 \cdot 10^7$  Па;

$\sigma$  - допустиме напруження стиску матеріалу прокладки, для гуми  $\sigma = 4 \cdot 10^6$  Па.

Товщина віброізолюючої прокладки повинна відповідати умові

$$h < \frac{\lambda \cdot n}{2}, \quad (5.9)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі ізольованих коливань;  
 $u=1, 2, 3, \dots$

В іншому випадку в прокладці виникають резонансні коливання. Для визначення площі віброізолюючої прокладки служить формула:

$$S = \frac{m \cdot g}{\sigma \cdot N}, \quad (5.10)$$

де  $m$  - маса агрегату, кг;  
 $N$  - число прокладок.

Розмір поперечного перерізу прокладки  $A$  знаходять із умови:  $h \leq A \leq 8h$ .

Розрахунок пружинних ізоляторів зводиться до визначення зусилля, що сприймає кожна з пружин при робочій деформації за формулою:

$$P_2 = \frac{m}{N \cdot n}, \quad (5.11)$$

де  $m$  - маса агрегата, кг;  
 $N$  - кількість віброопор агрегата;  
 $n$  - кількість пружин в опорі.

Потім вибирають пружину, що має необхідні параметри» [18].

«Визначають жорсткість пружини по залежності:  $z = \frac{P_3}{\omega_3}$ , де  $\omega_3$  - максимальна деформація пружини, ( $\omega_3 = 20 \div 40$  мм), та кількість робочих витків:  $n = \frac{z_1}{z}$  де  $z$  - жорсткість одного витка.

В ливарних цехах сучасних машинобудівних підприємств вибивка відливоч проходить механізованим способом на вібраційних машинах різної потужності.

Принцип роботи вібротришарів полягає в тому, що з допомогою так званих пневматичних вібраторів корпус і рами машини приводяться в віброуючий стан, в результаті якого відливки звільняються від формовочної суміші, яка після відповідної обробки повторно використовується.

Для звільнення від формовочної суміші заготовок використовуємо транспоруючу вибивну решітку моделі 31244, грузопідйомність якої 100 кг, частота коливань  $960 \text{ хв}^{-1}$ , маса агрегату 3 т, число опор – 6, кількість пружин в опорі – 3. Коефіцієнт передачі КП = 1,0» [18].

1. Розрахунок гумових віброізоляторів.

Визначаємо частоту робочих циклів агрегату:

$$f = \frac{960}{60} = 16 \text{ Гц}$$

Знаходимо власну частоту коливань системи:

$$f_{o\max} = \frac{f}{3} = \frac{16}{3} = 5,3 \text{ Гц};$$

$$f_{o\min} = \frac{f}{4} = \frac{16}{4} = 4 \text{ Гц}.$$

Приймаємо  $f_o = 5 \text{ Гц}$ .

За графіком залежності коефіцієнта передачі від статичної осадки і частоти обертання знаходимо необхідну статичну осадку системи:  $x_{cm} = 2,1 \text{ см}$ .

Визначаємо необхідну висоту гумових віброізоляторів за формулою (9.8)

$$h = 2,1 \cdot 10^{-2} \frac{2 \cdot 10^7}{4 \cdot 10^6} = 0,11 \text{ м}.$$

Визначаємо площу одного віброісольатора за формулою (9.10)

$$S = \frac{9000 \cdot 9,8}{4 \cdot 10^6 \cdot 8} = 27,56 \text{ м}^2.$$

## 2. Розрахунок пружинних віброізоляторів.

Для забезпечення віброізоляції приймаємо двопружинний віброізолятор.

Визначаємо зусилля, яке сприймає кожна пружина за формулою

$$P_2 = \frac{90000}{8 \cdot 3} = 3750H.$$

Підбираємо пружину 181, для якої  $P_3 = 400$  кгс;  $d = 8,0$  мм;  $z_1 = 80,861$  кгс/мм.

Визначаємо жорсткість пружини

$$Z = \frac{4000}{30} = 133H / см.$$

Кількість робочих витків буде складати

$$n = \frac{z_1}{z} = \frac{80,860}{13,3} = 6,1.$$

Приймаємо  $n = 6$ .

Отже для забезпечення віброізоляції вібраційної машини можна використовувати гумові віброізолятори площею  $27,56 \text{ м}^2$  і висотою  $0,11$  м, або пружинні віброізолятори - пружини номер 181, з кількістю робочих витків – [18].

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В дипломній роботі вдосконалено технологічний процес виготовлення деталі «Вилка перемикачів верхня 214.008» із застосуванням сучасних верстатів з ЧПК. 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 кування на пресах.

В конструкторському розділі спроектовано та виконано розрахунки верстатного пристрою для фрезерування та зняття фасок. 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 0,015 МПа, та максимальні переміщення елементів конструкції деталі на 0,00514 мм., що є в межах допустимої норми.

В розділі охорони праці приведено вимоги до організації транспортних і завантажувальних робіт для заготовок та деталей в цеху. Наведено методичку розрахунку віброізоляторів.

В додатках приведено технологічний процес виготовлення деталі «Вилка перемикачів верхня 214.008», специфікації та керуючу програму на верстат з ЧПК.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Добрянський С. С., Малафєєв 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.: ВПОЛ, 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 «ХПІ», 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.
20. Паспорт верстата ГФ2171.С5 с ЧПУ

**ДОДАТКИ**