

# МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

## Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

20\_\_ р.

### КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса

БТ12.00.00.03 шляхом структурно-параметричної оптимізації верстатного

пристрою для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції

Здобувача (ки) групи ТМ.м-21

(шифр групи)

Потомаха Данило Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Данило ПОТОМАХА

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівники

доцент, канд. техн. наук, доцент Артем СВТУХОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

доцент, доктор філософії Флорін ПОПІСТЕР

Консультант

з питань

охорони праці

ст. викладач, канд. техн. наук Віра ФАЛЬКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Олександр ІВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
**«Сумський державний університет»**

|                          |                                                                                 |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Інститут, факультет      | <i>TeSET</i>                                                                    |
| Кафедра                  | <i>технології машинобудування, верстатів та інструментів</i>                    |
| Освітньо-науковий рівень | <i>другий (магістерський)</i><br>(назва)                                        |
| Спеціальність            | <i>131 «Прикладна механіка»</i><br>(шифр і назва)                               |
| Освітня програма         | <i>«Технології машинобудування»</i><br>(назва освітньої програми, за наявності) |

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології  
машинобудування, верстатів та  
інструментів

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧА**

*Потомаха Данило Юрійович*  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) *Удосконалення технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса 6T12.00.00.03 шляхом структурно-параметричної оптимізації верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції*

керівник проєкту *Євтухов Артем Віталійович, канд. техн. наук, доцент*  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

*Попістер Флорін, доктор філософії, доцент*

затверджені наказом вищого навчального закладу від *04.12.2023* року № *1401-VI*

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) *15.12.2023* року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) \_\_\_\_\_

*3.1 Робоче креслення деталі «зубчасте колесо 6T12.00.00.03».*

*3.2 Річний обсяг випуску деталей – 2000 шт.*

*3.3 Базовий технологічний процес виготовлення «зубчастого колеса 6T12.00.00.03».*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

*4.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі*

*4.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі*

*4.3 Визначення типу виробництва та форми організації робіт*

*4.4 Аналіз технологічності конструкції деталі*

*4.5 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі*

*4.6 Розроблення перспективного технологічного процесу виготовлення деталі*

*4.7 Проєктування первинної заготовки*

4.8 Аналіз зубофрезерної операції

4.9 Проектування верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції

4.10 Дослідження, спрямоване на структурно-параметричну оптимізацію конструкції спроектованого верстатного пристрою

4.11 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення деталі

5.2 Креслення первинної заготовки

5.3 Креслення верстатного пристрою для установаження заготовки

6. Інша конструкторська та технологічна документація

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

| Розділ                                            | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                                   |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | Фалько В.В., старший викладач             |                |                  |
|                                                   |                                           |                |                  |

6. Дата видачі завдання «\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного проєкту (роботи)          | Строк виконання етапів проєкту (роботи) | Примітка |
|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|
| 1     | Технологічна частина                              | 30.11.2023                              |          |
| 2     | Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях | 05.12.2023                              |          |
| 3     | Оформлення пояснювальної записки                  | 07.12.2023                              |          |
| 4     | Оформлення креслень та презентації                | 15.12.2023                              |          |
|       |                                                   |                                         |          |

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівники роботи (проєкту)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Данило ПОТОМАХА**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Артем ЄВТУХОВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Флорін ПОПІСТЕР**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Записка: 75 с., 27 рис., 11 табл., 10 джерел.

Деталь «Зубчасте колесо 6Т12.00.00.03» входить до складу коробки швидкостей головного приводу верстату 6Т12. Верстати моделі 6Т12 призначені для виконання різноманітних фрезерних, свердлильних та розточувальних робіт при обробці деталей будь-якої форми зі сталі, чавуну, кольорових металів, їх сплавів та інших матеріалів. На даному верстаті можна виконувати фрезерування деталей середнього розміру та ваги.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі зубчастого колеса 6Т12.00.00.03 шляхом структурно-параметричної оптимізації верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення «зубчастого колеса 6Т12.00.00.03», зубофрезерна операція.

**Предмет дослідження** – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції, структура та параметри зубофрезерної операції.

**ВЕРСТАТ, ЗУБЧАСТЕ КОЛЕСО, ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ.**

## **ABSTRACT**

Note: 75 p., 27 figures, 11 tables, 10 sources.

The part "Gear wheel 6T12.00.00.03" is included in the gearbox of the main drive of the 6T12 machine. Machine tools of the 6T12 model are designed for performing various milling, drilling and boring operations when processing parts of any shape from steel, cast iron, non-ferrous metals, their alloys and other materials. This machine can be used to mill parts of medium size and weight.

*The purpose and objectives of the study.* The purpose of the study is to improve the manufacturing process of the gear wheel part 6T12.00.00.03 by means of structural and parametric optimization of the machine tool for basing and fixing the workpiece in the gear milling operation.

*The object of the research* - is the technological process of manufacturing "gear wheel 6T12.00.00.03", gear milling operation.

*The subject of the research* - is a machine tool for basing and fixing the workpiece on a tooth milling operation, the structure and parameters of a tooth milling operation.

*Scientific novelty.* As a result of the development of the machine tool, carrying out structural and parametric optimization, a static and dynamic analysis of the machine tool for basing and fixing the workpiece "gear wheel 6T12.00.00.03" in the gear milling operation was performed, which makes it possible to draw conclusions about the static and dynamic loads that arise on operations as a whole.

**MACHINE, GEAR WHEEL, HOB CUTTER MILLING MACHINE, MACHINE DEVICE STRUCTURAL-PARAMETRIC ANALYSIS.**

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                                                     | 8  |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ<br>ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....                                                                  | 11 |
| 1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх<br>конструктивних особливостей та умов експлуатації .....                     | 11 |
| 1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення<br>технологічних завдань щодо її виготовлення .....                       | 14 |
| 1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва .....                                                                              | 17 |
| 1.4 Аналіз технологічності деталі .....                                                                                                        | 18 |
| 1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі .....                                                                          | 20 |
| 1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу<br>виготовлення деталі .....                                                 | 25 |
| РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ<br>ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ .....                                                        | 26 |
| 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів оброблення заготовки та вибір<br>оптимального .....                                            | 26 |
| 2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок розмірів та формулювання<br>технічних вимог на виготовлення первинної заготовки .....          | 29 |
| 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення<br>заготовки .....                                                              | 34 |
| 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....                                                                             | 37 |
| 2.6 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій .....                                                                           | 41 |
| 2.7 Проєктування верстатного пристрою .....                                                                                                    | 42 |
| 2.8 Висновок .....                                                                                                                             | 51 |
| РОЗДІЛ 3 СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО<br>ПРИСТРОЮ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА<br>ЗУБОФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ ..... | 53 |
| 3.1 Актуальність дослідження, мета та методи дослідження.....                                                                                  | 53 |
| 3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та<br>динамічного аналізу.....                                            | 55 |

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3.3 Висновок .....            | 73 |
| ВИСНОВКИ.....                 | 74 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ..... | 75 |

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Деталь «Зубчасте колесо 6Т12.00.00.03» входить до складу коробки швидкостей головного приводу верстату 6Т12. Верстати моделі 6Т12 призначені для виконання різноманітних фрезерних, свердлильних та розточувальних робіт при обробці деталей будь-якої форми зі сталі, чавуну, кольорових металів, їх сплавів та інших матеріалів. На даному верстаті можна виконувати фрезерування деталей середнього розміру та ваги.

*Об'єкт дослідження* – технологічний процес виготовлення «зубчастого колеса 6Т12.00.00.03», зубофрезерна операція.

*Предмет дослідження* – верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції, структура та параметри зубофрезерної операції.

*Мета і задачі дослідження.* Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі зубчастого колеса 6Т12.00.00.03 шляхом структурно-параметричної оптимізації верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції.

Для досягнення мети було поставлено такі задачі:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі «зубчасте колесо»;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі «зубчасте колесо»;
- 3) спроектувати верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки «зубчасте колесо» на зубофрезерній операції
- 4) виконати статичний та динамічний аналіз спроектованого верстатного пристрою та за необхідності його структурно-параметричну оптимізацію. Сформулювати висновки та пропозиції щодо удосконалення конструкції пристрою.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Тема роботи пов'язана з науковими напрямком досліджень кафедри «Технологія



машинобудування» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічного оброблення заготовок деталей машин.

*Методи дослідження.* Для побудови твердотільної моделі спроектованого верстатного пристрою було використано пакет графічного інженерного дизайну «FUSION 360». Дослідження запропонованої конструкції верстатного пристрою методом статичного та динамічного аналізу виконано в комплексі комп'ютерного інженерного аналізу «ANSYS Workbench».

*Практичне значення* отриманих результатів полягає у тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень спроектовано прототип верстатного пристрою (токарного патрону) для базування та закріплення на зубофрезерній операції технологічного процесу виготовлення «зубчастого колеса». Правильність прийнятих проектних рішень перевірено методами статичного та динамічного аналізу, що дозволяє пропонувати зазначену конструкцію для впровадження в діюче виробництво.

*Апробація роботи.* Методики статичного та динамічного аналізу спроектованого верстатного пристрою впроваджені в навчальний процес в рамках вивчення вибіркової дисципліни «Комп'ютерний інженерний аналіз та оптимізація технологічних процесів і систем» циклу професійної та практичної підготовки здобувачів, які навчаються за ОПП «Технології машинобудування» (другий (магістерський) рівень вищої освіти).

*Публікації.* Проект тез доповідей «Комп'ютерний інженерний аналіз токарного патрону» на конференцію «Сучасні технології у промисловому виробництві, Суми, Сумський державний університет, 2024 р.» (заплановано видання у квітні 2024 р.).

*Особистий внесок автора.* Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі «зубчасте колесо 6Т12.00.00.03», запропоновано перспективний технологічний процес спрямований на обробку заготовки. Спроектовано верстатний пристрій. Виконано дослідження конструкції верстатного пристрою шляхом статичного та динамічного аналізу.

Сформульовано висновки щодо доцільності використання спроектованого верстатного пристрою на зубофрезерної операції загалом.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел з 10 найменувань, 75 сторінок основного тексту, 27 рисунків та 15 таблиць.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис їх конструктивних особливостей та умов експлуатації

Об'єктом роботи є технологічний процес виготовлення зубчастого колеса 6Т12.00.00.03, що входить до складу коробки швидкостей вертикального фрезерного верстата моделі 6Т12.

Верстати моделі 6Т12 призначені для виконання різноманітних фрезерних, свердлильних та розточувальних робіт при обробці деталей будь-якої форми зі сталі, чавуну, кольорових металів, їх сплавів та інших матеріалів. На даному верстаті можна виконувати фрезерування деталей середнього розміру та ваги. Верстат призначений для обробки різноманітних матеріалів в умовах серійного та індивідуального виробництва. На верстаті 6Т12 можна обробляти вертикальні і горизонтальні площини, пази, кути, нарізати зубчасті колеса торцевими, циліндричними, кінцевими, радіусними фрезами.

Короткий опис технічних характеристик верстата 6Т12 наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстату

| Назва параметру                                                         | Значення   |
|-------------------------------------------------------------------------|------------|
| Основні параметри верстату                                              |            |
| Розміри поверхні стола, мм                                              | 1250 x 320 |
| Найбільша маса оброблюваної деталі, кг                                  | 400        |
| Найбільший поздовжній хід стола (X), мм                                 | 800        |
| Найбільший поперечний хід стола (Y), мм                                 | 320        |
| Найбільший вертикальний хід стола (Z), мм                               | 420        |
| Відстань від осі шпинделя до вертикальних напрямних станини (виліт), мм | 380        |
| Шпиндель                                                                |            |
| Потужність приводу головного руху, кВт                                  | 7.5        |

## Продовження таблиці 1.1

| Назва параметру                                                                   | Значення       |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Частота обертання шпинделя, об/хв                                                 | 31,5...1600    |
| Кількість швидкостей шпинделя                                                     | 18             |
| Робочий стіл. Подача                                                              |                |
| Межі поздовжніх та поперечних подач столу (X, Y), мм/хв.                          | 12,5...1600    |
| Межі вертикальних подач столу (Z), мм/хв.                                         | 4,1...530      |
| Кількість подач стола(поздовжніх, поперечних, вертикальних)                       | 22             |
| Швидкість швидкого переміщень (поздовжніх, поперечних, вертикальних) X.Y/Z , м/хв | 4/1,330        |
| Переміщення стола на одне ділення лімба (поздовжніх, поперечних, вертикальних),мм | 0,05           |
| Привід та електрообладнання                                                       |                |
| Електродвигун головного руху, кВт                                                 | 7,5            |
| Габаритні розміри та маса верстату                                                |                |
| Габарити верстату( довжина ширина висота), мм                                     | 2280x1965x2265 |
| Маса верстату, кг                                                                 | 3250           |

Для передачі крутного моменту з ротора електродвигуна на шпиндель використовуємо прямозубу циліндричну зубчасту передачу. Але для того щоб регулювати кількість обертів , потрібно буде встановити до електродвигуну частотний перетворювач, щоб можна було виставляти визначені частоти обертів.

Зубчасте колесо 6T12.00.00.03 (див. креслення деталі у ДОДАТКУ А) встановлюється в коробці швидкостей приводу головного руху і служить для передачі крутного моменту між проміжним валом та робочим шпинделем. На рисунку 1.1, схематично зображено деталь в вузлі,  $Z_3=50$ . Для більш детального опису деталі створено таблицю опису її поверхонь та рисунок 1.2 з нумерацією поверхонь деталі.

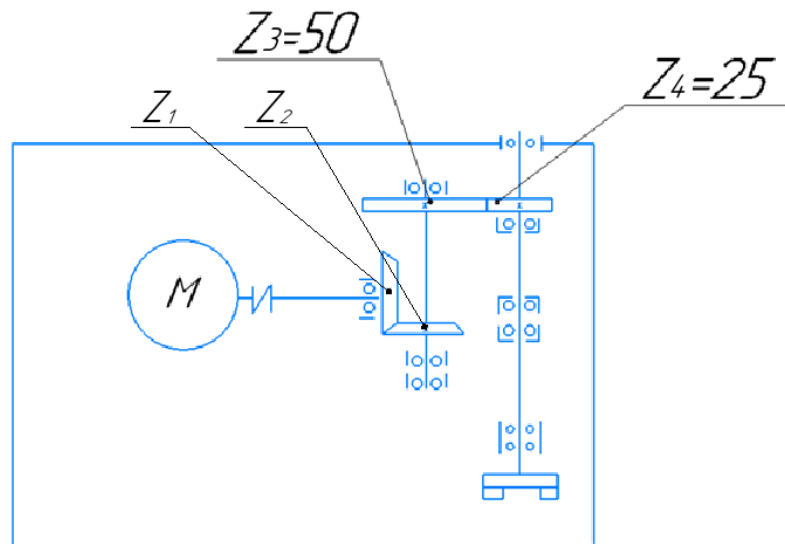


Рисунок 1.1 – Кінематична схема приводу головного руху після модернізації

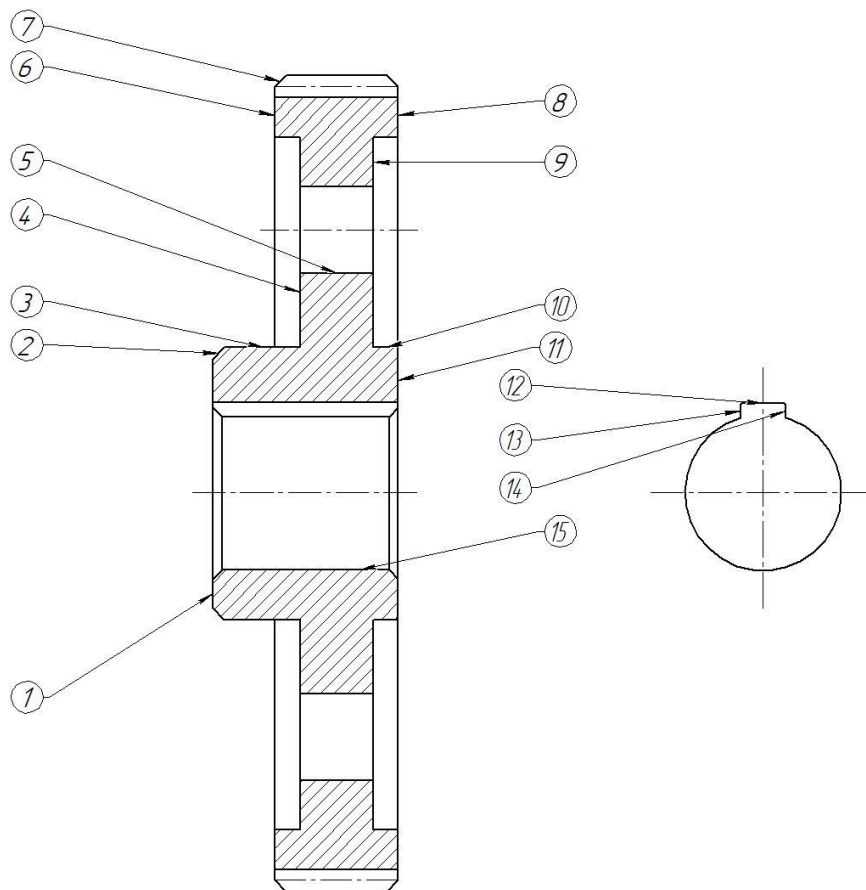


Рисунок 1.2 – Нумерація поверхонь деталі

Таблиця 1.2 – Опис поверхонь деталі

| Номер поверхні<br>(див. рис. 1.2) | Найменування поверхні              | Призначення, вид поверхні                                                                    |
|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                 | Торцева поверхня (плоска поверхня) | Вільна                                                                                       |
| 2                                 | Фасонна поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 3                                 | Зовнішня циліндрична поверхня      | Вільна                                                                                       |
| 4                                 | Торцева поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 5                                 | Внутрішня циліндрична поверхня     | Вільна                                                                                       |
| 6                                 | Торцева поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 7                                 | Бокова поверхня зубців             | Виконавча, передача крутного моменту                                                         |
| 8                                 | Торцева поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 9                                 | Торцева поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 10                                | Внутрішня циліндрична поверхня     | Вільна                                                                                       |
| 11                                | Торцева поверхня                   | Вільна                                                                                       |
| 12                                | Поверхня шпонкового пазу           | Вільна                                                                                       |
| 13                                | Поверхня шпонкового пазу           | Базова поверхня, використовується для базування колеса на валу, та передачі крутного моменту |
| 14                                | Поверхня шпонкового пазу           | Базова поверхня, використовується для базування колеса на валу, та передачі крутного моменту |
| 15                                | Внутрішня циліндрична поверхня     | Базова поверхня, використовується для базування колеса на валу                               |

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Зубчасте колесо 6Т12.00.00.03 є типовою деталлю та має форму циліндричного диска з наскрізним гладким центральним отвором, в якому розміщений шпонковий паз та зовнішнім зубчастим вінцем. Для зменшення ваги деталі в її конструкції передбачені вікна у вигляді наскрізних циліндричних отворів. За габаритних розмірів 260 мм (зовнішній діаметр), 85 мм (ширина), 56 мм (діаметр центрального отвору) вага деталі становить 3 кг. Модуль зубчастого зачеплення ( $m$ ) – 5, кількість зубців ( $Z$ ) – 50, кут нахилу лінії зубів ( $\beta$ ) –  $14^\circ$ , напрямок лінії зубів – лівий.

Матеріалом деталі є якісна середньовуглецева конструкційна сталь марки 45 ГОСТ 1050-\*, що є достатньо розповсюдженим матеріалом. Сталь 45 є широко затребувана в різних промислових галузях і масово застосовується в інжинірингу. Широке та різнопланове використання зумовлює її виробництво у вигляді листового, сортового та фасонного прокату. Через високий вміст вуглецю для сталі 45 характерні задовільна зварюваність та ймовірність появи в навколошовній зоні гарячих та холодних тріщин. Хімічний склад сталі 45 наведений в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 45

| C         | Si        | Mn        | P     | S      | Cr    | Ni    | Cu    |
|-----------|-----------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 0,42-0,50 | 0,17-0,37 | 0,50-0,80 | ≤0,30 | ≤0,035 | ≤0,25 | ≤0,30 | ≤0,30 |

Точність виготовлення деталі складається з точності розмірів, форми, відносного положення поверхонь деталі та шорсткості поверхонь. Вимоги щодо твердості деталі забезпечують зносостійкість і міцність деталі. Розглянемо технічні вимоги до основних поверхонь виробу задані конструктором згідно з таблицею 1.2 та рисунком 1.2.

Бокова поверхня зубців 7 є виконавчою поверхнею, що слугує для передачі крутного моменту (працює в умовах циклічних контактних навантажень, інтенсивного зношення), у зв'язку з чим до неї пред'явлені досить жорсткі вимоги щодо точності розмірів згідно зі ступенем точності 7-С, взаємного розміщення поверхонь (радіальне биття 0,03 мм), шорсткість поверхні – 1,6 мкм за критерієм Ra. Виконання таких жорстких технічних вимог спряє забезпеченню плавності руху, довговічності та інших експлуатаційних характеристик. Зубчастий вінець колеса зазнає великих навантажень, що призводить до інтенсивного зношення та викришування бокових поверхонь зубців. Для попередження зазначеного до бокових поверхонь зубців конструктор пред'являє вимогу щодо забезпечення твердості поверхонь на рівні 200–240 НВ.

Бокові поверхні 13, 14 шпонкового пазу є базовими та водночас виконавчими поверхнями які використовуються як для базування колеса на валу та і для передачі крутного моменту. На кресленні деталі до бокових поверхонь паза висуваються вимоги щодо точності розміру 10JS9, допуск паралельності пазу – 0,013 мм відносно центрального циліндричного отвору D56, допуск симетричності поверхонь – 0,052 мм відносно центрального циліндричного отвору D56, шорсткості поверхонь – 1,6 мкм за критерієм Ra. Виконання вимог взаємного розміщення поверхонь зокрема забезпечить рівномірне розподілення контактного навантаження на бокові поверхні паза, що зменшує інтенсивність їх зношення та руйнування.

Поверхня наскрізного циліндричного отвору 15 є базовою та служить для базування колеса на валу. Також поверхня отвору виконує функції вимірювальної бази для допусків радіального та торцевого биттів. Циліндричний отвір виконаний згідно з 7-м квалітетом точності. Посадка H7 дозволяє забезпечити щільний контакт поверхні колеса зі сполученою поверхнею вала, що у свою чергу забезпечує виконання експлуатаційних характеристик зубчастого зачеплення загалом. Шорсткість поверхні отвору регламентовано на рівні 1,6 мкм за критерієм Ra.



### 1.3 Характеристика типу та організаційної форми виробництва

Тип виробництва – це комплексна характеристика технологічних, організаційних і економічних особливостей машинобудівного виробництва, обумовлений його спеціалізацією, обсягом і сталістю номенклатури виробів, а також формою руху виробів по робочих місцях [1].

Кількісною характеристикою типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій  $K_{з.о}$ , що визначається як відношення всіх різних операцій, виконуваних підрозділом упродовж місяця, до загальної кількості робочих місць [1].

Розрахунок  $K_{з.о}$  виконаємо згідно з методикою [1]. Первинними даними для такого розрахунку є основний час по операціях базового технологічного процесу виготовлення деталі та річний обсяг випуску деталей. Первинні дані для обчислення  $K_{з.о}$  та результати розрахунку наведено в ДОДАТКУ Б.

Згідно з додатком Б для виробництва деталі 6Т12.00.00.03 за існуючих умов притаманний середньо-серійний тип виробництва ( $K_{з.о} = 12,49$ ), що характеризується обмеженою номенклатурою вироблюваної продукції, водночас вироби кожного найменування випускаються партіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових по розмірам виробів, що запускаються у виробництво одночасно та повторюються через певні відрізки часу. Середньо-серійне виробництво є найбільш поширеним типом виробництва, що характеризується використанням верстатів з ЧПК, обробних центрів, уніфікованих та стандартних різальних та вимірювальних інструментів тощо.

#### 1.4 Аналіз технологічності деталі

Об'єктом роботи є зубчасте колесо 6Т12.00.00.03, що можна віднести типових деталей, технологічні процеси виготовлення яких є досить поширеними, існує великий досвід їх реалізації, що є позитивною ознакою в аспекті технологічності.

До позитивних ознак технологічності деталі можна віднести її матеріал – сталь 45, яка є досить розповсюдженою та доступною, має велику кількість замінників (сталі 40Х, 50, 50Г2) та гарну оброблюваність різанням.

За своєю конфігурацією та габаритами досліджувана деталь є зручною для базування і закріплення під час оброблення на металорізальних верстатах, має високу жорсткість, що допускає застосування форсованих режимів різання.

Незначна маса готової деталі (3 кг) та заготовки (5 кг) також свідчить про технологічність виробу, оскільки не вимагає додаткових механізованих засобів для транспортування та завантаження.

Проставлення розмірів на кресленні є чітким і зрозумілим. Всі розміри поставлені від матеріальних баз, зручних для контролю, отже по постановці розмірів деталь технологічна.

До деяких поверхонь деталі надані жорсткі вимоги, що до допусків форми та розташування:

- Допуск паралельності бокових поверхонь пазу 110JS9 відносно отвору D56H7 складає 0,013 мм.
- Допуск симетричності бокових поверхонь пазу 110JS9 відносно отвору D56H7 складає 0,052 мм.
- Допуск радіального биття поверхні 185, відносно отвору D56H7 складає 0,04 мм.
- Допуск радіального биття поверхні ділильного діаметру зубчастого вінця d260, відносно отвору D56H7 складає 0,03 мм.

- Допуск радіального биття поверхні d260, відносно отвору D56H7 складає 0,03 мм.

Не всі поверхні деталі доступні для оброблення простими методами формоутворення. Зубчасте колесо має складні для отримання конструктивні елементи. Одним з таких елементів є зубчастий вінець. Зубчастий вінець є складним, комплексним елементом, що характеризується високою точністю розмірів поверхонь, взаємного розміщення, форми поверхонь, високою чистотою поверхонь та відносно низькою продуктивністю їх механічного оброблення. Для оброблення такого конструктивного елементу необхідні металорізальні верстати зубообробної групи, зубообробні різальні інструменти, специфічні вимірювальні інструменти. Все це характеризує зубчастий вінець як нетехнологічний елемент.

З точки зору кількісного оцінювання технологічності конструкції деталі інтерес викликає коефіцієнт використання матеріалу, що обчислюється за формулою

$$K_{в.м} = M_d / M_z,$$

де  $M_d = 3$  кг – маса готової деталі;

$M_z = 5,4$  кг – маса заготовки (згідно з базовою технологією отримання заготовки).

Отже

$$K_{в.м} = 3 / 5,4 = 0,55.$$

Величина коефіцієнта використання матеріалу загалом є досить високою, але для умов серійного виробництва бажаним є виконання умови  $K_{в.м} > 0,7$ . Отже за цим показником конструкцію деталі можна охарактеризувати як технологічну з оцінкою «задовільно».

Загалом оцінка технологічності конструкції деталі – «задовільно».

## 1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

### 005 Заготівельна операція

Заготовку отримано методом кування на молотах. Даний спосіб виробництва має на увазі вплив на заготовку багатотонних поковочних пресів, молотів, кувалд, які і надають їй необхідну форму, незважаючи на те, що метод кування не дозволяє отримати настільки точний виріб, як при штампуванні, в ряді випадків він буває більш доцільним.

### 010 Термічна.

Поліпшення (загартування та високий відпуск) для зниження внутрішніх напружень в об'ємі заготовки.

### 015 Технічний контроль.

Контроль розмірів відбувається в відділі контролю якості. Контроль розмірів, та властивостей заготовки, отриманої на заготівельній та термічній операціях.

### 020 Токарно-копіювальна.

#### Установ А

Обладнання: токарний багато-різцевий копіювальний напівавтомат, 1Н713.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон ГОСТ 2675-80 300 мм.

Базові розміри: D260, 188.

Ріжучі інструменти: різець прохідний PCLNR2020K12 T15K6 ГОСТ 3882-74. Різець розточувальний S10K-SDXCL07 T15K10 ГОСТ 3882-74.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

#### Установ Б

Обладнання: токарний багато-різцевий копіювальний напівавтомат, 1Н713.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон ГОСТ 2675-80 150 мм.

Базові розміри: D120; 188.

Ріжучі інструменти: різець прохідний PCLNR2020K12 T15K6 ГОСТ 3882-74. Різець розточний S10K-SDXCL07 T15K10 ГОСТ 3882-74.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

На даній операції майже всі поверхні оброблюються на чорно, та деякі з них на чисто. Чорнове обточування поверхонь 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11. Чорнове розточування отвору 15, та чистове розточування отвору 15. Чистове обточування поверхні 7.

Використання токарно-копіювальних верстатів надає змоги отримувати більш якісні деталі за точністю їх розмірів, але слід зазначити, що використання таких верстатів менш доцільне ніж використання верстатів з ЧПК. Для верстатів такої групи потрібно мати копір, з якого потім буде виходити обробка деталі, а для цього таку деталь-копір, потрібно виготовити, для кожної деталі це буде відповідний їй копір, що є часозатратно, та економічно затратно. Тому використання верстатів з ЧПК більш доцільне. Копіювальні верстати є менш гнучкими ніж верстати з ЧПК. Для закріплення заготовки на операції використовується самоцентруючий трьохкулачковий патрон з ручним приводом. Слід зазначити що використання таких верстатних пристроїв є низько ефективне, та низько продуктивне. Патрони з ручним приводом мають меншу силу закріплення ніж патрони з механізованим приводом, що при обробці може призвести до перекосів заготовки.

025 Розмічувальна.

Розмітити 6 отворів Ø40.

Розмічування характеризується низькою продуктивністю у зв'язку з використанням ручної праці, необхідністю залучення фахівців високої кваліфікації.

035 Вертикально-свердлильна.

Обладнання: Вертикально свердлильний верстат 2Н150.

Верстатний пристрій: лещата.

Базові розміри: D120; 188.

Ріжучі інструменти: спіральне свердло D40.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

На операції використовується вертикально-свердлильний верстат моделі 2Н150. За потреби, можна було використати свердлильно-радіальний при роботі на якому деталь знаходиться в нерухомому стані, а шпиндель переміщується. На даній операції виконується свердління 6 отворів, призначених для зменшення загальної ваги виробу. Для базування та закріплення заготовки, використовуються лещата, що є не найкращим рішенням: використання ручного приводу закріплення заготовки призводить до зниження продуктивності виробничого процесу; базування заготовки за циліндричними базовими поверхнями потребує застосування змінних губок призматичної форми.

040 Технологічний контроль.

Контроль розмірів відбувається в відділі контролю якості. Контроль розмірів, отриманої заготовки на токарно-копіювальній, вертикально-свердлильній операціях.

045 Вертикально протяжна.

Обладнання: вертикальний протяжний напівавтомат 7Б64.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон ГОСТ 2675-80 150мм.

Базові розміри: D120; 188.

Ріжучі інструменти: протяжка шпонкова шириною 6 мм, довжиною 95 мм, JS9 T15K6.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

На операції виконується чорнове та чистове протягування пазу (12, 13, 14) під шпонку.

Перевагою протягування є висока продуктивність процесу. За один прохід формується шпонковий паз із забезпеченням необхідної точності та якості поверхонь. До недоліків протягування можна віднести відносно високу вартість різального інструменту (протяжки), складність її обслуговування, необхідність задіяння специфічного верстатного обладнання.

050 Технологічний контроль.

Контроль розмірів, отриманої заготовки на вертикально протяжній операції.

055 Зубофрезерна.

Обладнання: зубофрезерний напівавтомат 53A80.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон ГОСТ 2675-80 200мм.

Базові розміри: D120; 188.

Ріжучі інструменти: трьохзахідна черв'ячна фреза  $m=5$ ,  $z=50$ .

Вимірювальний інструмент: універсальний зубомір.

На операції виконується фрезерування зубців (7), які служать для передачі крутного моменту у вузлі.

Перевагами зубофрезерування черв'ячною фрезою є можливість забезпечення високої кінематичної точності зубчастого з'єднання. Водночас зубофрезерування є відносно малопродуктивним процесом, що потребує використання вартісного різального інструмента (черв'ячної фрези) та специфічного зубообробного верстатного обладнання.

060 Технічний контроль.

Контроль властивостей деталі, та контроль розмірів на сформованих раніше поверхностях.

065 Термічна.

Термічне оброблення центрального отвору деталі для забезпечення зносостійкості його поверхні та підвищення ефективності подальшого внутрішнього шліфування.

070 Внутрішньо-шліфувальна.

Обладнання: внутрішньо-шліфувальний верстат 3A228B.

Верстатний пристрій: трьохкулачковий самоцентруючий патрон ГОСТ 2675-80 150 мм.

Базові розміри: D120; 188.

Ріжучі інструменти: шліф круг – ПП14Ф20НС17К1А Ø30.

Вимірювальний інструмент: Калібр пробка Ø56H7.

Оброблюваний отвір є конструкторською базою деталі. На операції виконується його фінішне шліфування для забезпечення необхідної точності діаметрального розміру, точності форми поверхні отвору та чистоти поверхні.

До недоліків абразивного шліфування можна віднести високу теплову напруженість процесу та низьку продуктивність порівняно з лезовим обробленням. Висока теплова напруженість шліфування часто призводить до втрати міцності в поверхневому шарі оброблюваної поверхні, її інтенсивного зношення та руйнування.

075 Технологічний контроль.

Виконується повний контроль деталі відносно точності розмірів, міцності, допусків посадки та розташування.

Загалом на більшості механічних операцій використовується старе обладнання, яке слід змінити для досягнення кращих результатів при виготовленні деталі.



## 1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Після детального аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі «шестерня 6Т12.00.00.03» можна записати такі висновки:

1) такому способу отримання заготовки як вільне кування на молотах притаманна низька точність поверхонь, великі припуски та напуски. При розробці нового технологічного процесу слід провести техніко-економічний аналіз, та якщо це доцільно обрати інший метод отримання заготовки;

2) 025 операція регламентована як «Розмічувальна», операція на якій верстатник вручну розмічує місця під обробку отворів. Така операція є досить не технологічно та затребуваною в високо-кваліфікованому робітнику. Для можливості усунення такої операції слід використовувати верстати групи ЧПК, або спеціалізовані верстатні пристрої;

3) операція 070 Внутрішньо-шліфувальна характеризується шліфуванням отвору  $\varnothing 56H7$  для базування деталі на валу. Але при такому виді шліфування поверхні, виникають дуже високі температури, що призводять до деформацію верхнього слою металу, та більш швидкому його руйнуванню в подальшому. Для усунення таких руйнувань слід розглянути виключення такого методу обробки з розроблюваного технологічного процесу, та подальшою зміною на інший;

4) в базовому технологічному процесі відсутні механічні операції відносно досягнення максимальної точності зубців, що є не найкращим рішенням тому, що після зубофрезерної обробки на поверхнях зубців залишаються задирки, та інші дефекти яких слід уникнути для більш отримання більш точного та якіснішого профілю зубців;

5) в базовому технологічному процесі запропоновано використання застарілого обладнання. З метою покращення точності виготовлення деталі слід, змінити використати більш новітнє обладнання з системою ЧПК, та механізовані приводи закріплення заготовки.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБЛЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів оброблення заготовки та вибір оптимального

Порівняння даного технологічного проекту с РОЗДІЛУ 1, та запропонованого технологічного процесу наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Порівняння заданого технологічного процесу та модернізованого

| Заданий        |                         | Перспективний  |                                   |
|----------------|-------------------------|----------------|-----------------------------------|
| Номер операції | Назва операції          | Номер операції | Назва операції                    |
| 005            | Заготівельна            | 005            | Оброблення тиском                 |
| 010            | Термічна                | 010            | Термічна                          |
| 015            | Технічний контроль      | 015            | Технічний контроль                |
| 020            | Токарно-копіювальна     | 020            | Токарна з ЧПК                     |
| 025            | Розмічувальна           | 025            | Токарна з ЧПК(тонке розточування) |
| 030            | Вертикально-свердлильна | 030            | Вертикально-протяжна з ЧПК        |
| 035            | Технічний контроль      | 035            | Зубофрезерна                      |
| 040            | Вертикально-протяжна    | 040            | Технічний контроль                |
| 045            | Технічний контроль      | 045            | Зубошевінгування                  |
| 050            | Зубофрезерна            | 050            | Вертикально-свердлильна з ЧПК     |
| 055            | Слюсарна                | 055            | Слюсарна                          |
| 060            | Технічний контроль      | 060            | Технічний контроль                |
| 065            | Термічна                |                |                                   |

продовження таблиці 2.1

| Номер операції | Назва операції         | Номер операції | Назва операції |
|----------------|------------------------|----------------|----------------|
| 070            | Внутрішньо-шліфувальна |                |                |
| 075            | Контроль розмірів      |                |                |

Виходячи с завдання, потрібно модернізувати базовий технологічний процес. В запропонованому технологічному процесі було змінено, обладнання, та верстати. Було змінено, та прибрано деякі операції базового технологічного процесу, з метою досягнення більшою продуктивності виготовлення деталі, та досягнення точності.

На заготівельній операції було змінено метод отримання заготовки, на більш продуктивний метод, штампування.

Металорізальні операції також зазнали модернізації. Операцію токарно-копіювальну, було змінено на токарну з ЧПК, було змінено обладнання , та ріжучі інструменти. Верстат типу 1Н713 було змінено на верстат з системою числового програмного керування HAAS TL-2, ріжучий інструмент було змінено на більш новітні, з можливістю зміни ріжучої пластини при необхідності.

Операцію вертикально-свердлильна, було змінено на вертикально-свердлильну з ЧПК, таким чином було змінено верстат 2Н150 на верстат BF850V.

На операції вертикально-протяжній було змінено верстат з 7Б64, на BM25.

Операція зубофрезерна, верстат змінено з 53А80, на Cornak Mill.

Деякі операцію контролю було прибрано з технологічного процесу, та замінено іншими, так як верстати з ЧПК, дають можливість робити контроль не знімаючи деталь с верстату.

Для досягнення точності базового отвору деталі ØD56H7 в базовому технологічному процесі було використано три операції, такі як: токарна з чпк, термічна, та внутрішньошліфувальна. В запропонованому технологічному процесі для покращення отримання точності та уникнення втрат властивостей деталі які виникають при шліфуванні, було змінено, операції, термічна та внутрішньошліфувальна на токарну з ЧПК(тонке розточування). Таким чином досягнута точність буде більшою ніж після шліфування, та не буде втрат відносно властивостей деталі.

В базовому технологічному процесі поверхня зубців підлягає одному виду обробки, зубофрезеруванню. Поверхні такого типу мають бути виконані максимально точно, але лише зубофрезерної обробки не достатньо. Тому з метою покращення отриманих поверхонь після зубофрезерування зубців було прийнято рішення провести додаткову обробку зубців на операції зубошевінгування.

## 2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок розмірів та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки

В базовому технологічному процесі було представлено отримання заготовки методом кування в молотах, так як метод є неактуальним в наш час, приймаємо новий метод отримання заготовки штампування із подальшою механічною обробкою. Метод виконання заготовки для деталі визначається призначенням та конструкцією деталі, матеріалом, технічними вимогами, масштабом та серійністю випуску, а також економічністю виготовлення. Деталь 6Т12.00.00.03 виготовляється зі сталі 45 штампуванням, тому конфігурація зовнішнього контуру та внутрішніх поверхонь не викликає значних труднощів при отриманні заготовки. В іншому деталь досить технологічна, допускає застосування високопродуктивних режимів обробки, має хороші базові поверхні для початкових операцій та досить проста по конструкції.

Виготовлення будь-якої деталі починається із заготовки, яка за допомогою механічної, пластичної, термічної, хімічної та іншої обробки доводиться до форми, розмірів та якості готової деталі, заданих конструктором. Порівнюючи різні методи отримання заготовки, такі як: штамповка та відливка, більш доцільніше вибрати штамповку.

Розрахунок собівартості для конкретних способів отримання заготовок, припускаючи, що чистова механічна обробка всім варіантів однакова, можна здійснювати за такими залежностями. Розрахунки для штампування та відливки наведені в додатку В.

Методом отримання заготовки приймаємо штампування в КГШП, нагрів заготовки в індукційній печі.

Вимоги, що пред'являються до заготовки:

- мінімальні припуски на обробку – знижується собівартість обробки за рахунок зменшення кількості проходів та переходів;
- раціональне розташування штампувальних ухилів;
- підвищена точність розмірів;
- мінімалізація або повне усунення дефектного шару, який призводить до збільшення припусків та витрат на різальний інструмент.

1. Вихідні данні до деталі:

1.1 Матеріал деталі – сталь 45.

1.2 Маса деталі – 3 кг.

2. Вихідні данні для розрахунку:

2.1 Маса поковки – 5.4 кг (розрахункова), розрахунковий коефіцієнт  $K_p = 1.8$  (див. додаток 3, ГОСТ 7505-89).

2.2 Клас точності – Т3 (див. додаток 1, ГОСТ 7505-89 [2]).

2.3 Група сталі – М2 (див табл. 1, ГОСТ 7505-89 [2]).

2.4 Ступінь складності С1 (див. додаток 2, ГОСТ 7505-89 [2]), розміри описує поковку фігури (циліндр), мм:

Максимальний діаметр – 260 (260 · 1,05)мм;

Максимальна ширина – 85 (85 · 1,05)мм, де 1,05 – коефіцієнт ступеня складності поковки;

Маса описаної фігури (розрахункова) – 5.4 кг.

$$\frac{G_a}{G_\phi} = \frac{3}{5,4} = 0,55$$

2.5 Конфігурація поверхності роз'єму штампу П (плоска) – (див. таблицю 1, ГОСТ 7505-89 [2]).

2.6 Вихідний індекс – 10 (див. таблицю 2, ГОСТ 7505-89 [2]).

3. Припуски та ковальські напуски.

3.1 Основні припуски на розміри (див. таблицю 3, ГОСТ 7505-89 [2]).

3 мм – діаметр 260 мм та чистота поверхні 3,2.

2,5 мм – діаметр 220 мм та чистота поверхні 12,5.

2 мм – діаметр 120 мм та чистота поверхні 12,5.

2 мм – діаметр отвору 40 мм та чистота поверхні 12,5.

3 мм – діаметр отвору 56H7 мм та чистота поверхні 1,6.

3 мм – ширина 38,5 мм та чистота поверхні 3,2.

3 мм – ширина 85 мм та чистота поверхні 3,2.

1,6 мм – ширина 10 мм та чистота поверхні 12,5.

3.2 Додаткові припуски, враховуючі:

Зміщення по поверхні роз'єму штампа – 0,3 мм (див. таблицю 4, ГОСТ 7505-89[2]).

Відхилення від площини – 0,3 мм (див. таблицю 5, ГОСТ 7505-89 [2]).

3.3 Штампувальний ухил

На зовнішній поверхні – не більше 5° тому приймаємо 5°;

На внутрішній поверхні - не більше 7° тому приймаємо 7° при  
потрібності.

4. Розмір поковки та їх допустимі відхилення.

4.1 Розмір поковки.

Зовнішня циліндрична поверхня  $260 + (3 \cdot 2) = 266$  мм.

Внутрішня циліндрична поверхня  $220 - (2,5 \cdot 2) = 215$  мм.

Зовнішня циліндрична поверхня  $120 + (2 \cdot 2) = 124$  мм.

Внутрішня циліндрична поверхня  $40 - (2 \cdot 2) = 36$  мм.

Внутрішня циліндрична поверхня  $56 - (3 \cdot 2) = 50$  мм.

Ширина  $38,5 + (3 \cdot 2) = 44,5$  мм.

Ширина  $85 + (3 \cdot 2) = 91$  мм.

Ширина  $10 + (1,6 \cdot 2) = 13,2$

- 4.2 Радіуси закруглення кутів приймаємо 3 мм (див. таблицю 7, ГОСТ 7505-89[2]).
- 4.3 Невказані граничні відхилення розмірів по – п. 5.5 ГОСТ 7505-89[2].
- 4.4 Невказані допуски радіусів заокруглення за – п. 5.23 ГОСТ 7505-89 [2].
- 4.5 Допустима величина остаточного облою 0,7мм – по п. 5.8 ГОСТ 7505-89 [2].
- 4.6 Допустимі відхилення від плоскості 0,6 мм – по п. 5.16 ГОСТ 7505-89 [2].
- 4.7 Допустимі відхилення від концентричності пробитого отвору відносно зовнішнього контуру поковки 0,8 мм (див. таблицю 12, ГОСТ 7505-89 [2]).
- 4.8 Допустиме зміщення по поверхні роз'єму штампку 0,6 мм (див. таблицю 9, ГОСТ 7505-89 [2]).
- 4.9 Допустима величина висоти задирок 3 мм по п. 5.10 ГОСТ 7505-89 [2].
- 4.10 Допустимі відхилення розмірів(див. таблицю 8 ГОСТ 7505-89 [2]):

діаметральні розміри  $d266 \frac{+1,3}{-0,7}$ ;  $D50 \frac{+0,5}{-0,9}$ ;

ширина  $l44,5 \frac{+1,1}{-0,5}$ ;  $l91 \frac{+1,1}{-0,5}$ .





## 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Для більш раціонального та технологічного досягнення точності розмірів деталі для кожної операції потребується чітке базування деталі на верстаті. Для кожної операції було обране базування деталі в верстатному пристрої, та верстатний пристрій в цілому.

Для початку зосередимо увагу на операції 035 Зубофрезерній. Ця операція є головною в технологічному процесі, бо головним елементом деталі є зубці, які виконується на даній операції. Для обробки деталі на зубофрезерному верстаті можна використати два методи базування. Один з методів це – базування деталі в трьохкулачковому патроні з упорів торець, більш детально зображено на рисунку 2.5.4. Та базування деталі на оправці з упором в торець, зображено на рисунку 2.5.5. Перевагою базування деталі в трьох кулачковому самоцентруючому патроні є надійність. Такий метод базування забезпечую більш жорстке базування деталі, яке в свою чергу дає змогу витримувати великі навантаження, та сили, які будуть діяти на кулачки та інші комплектуючі патрону в цілому. Також слід зазначити що одним з важливих факторів трьох кулачкового патрону є, змога само центрування деталі, а при базуванні на оправці такої змоги немає. Само центрування деталі дає змогу визначати чітке положення відносно інструменту та позбавити великих похибок при обробці.

Як висновок, для обробки деталі на зубофрезерній операції слід використовувати метод базування, в трьох кулачковому самоцентруючому патроні.

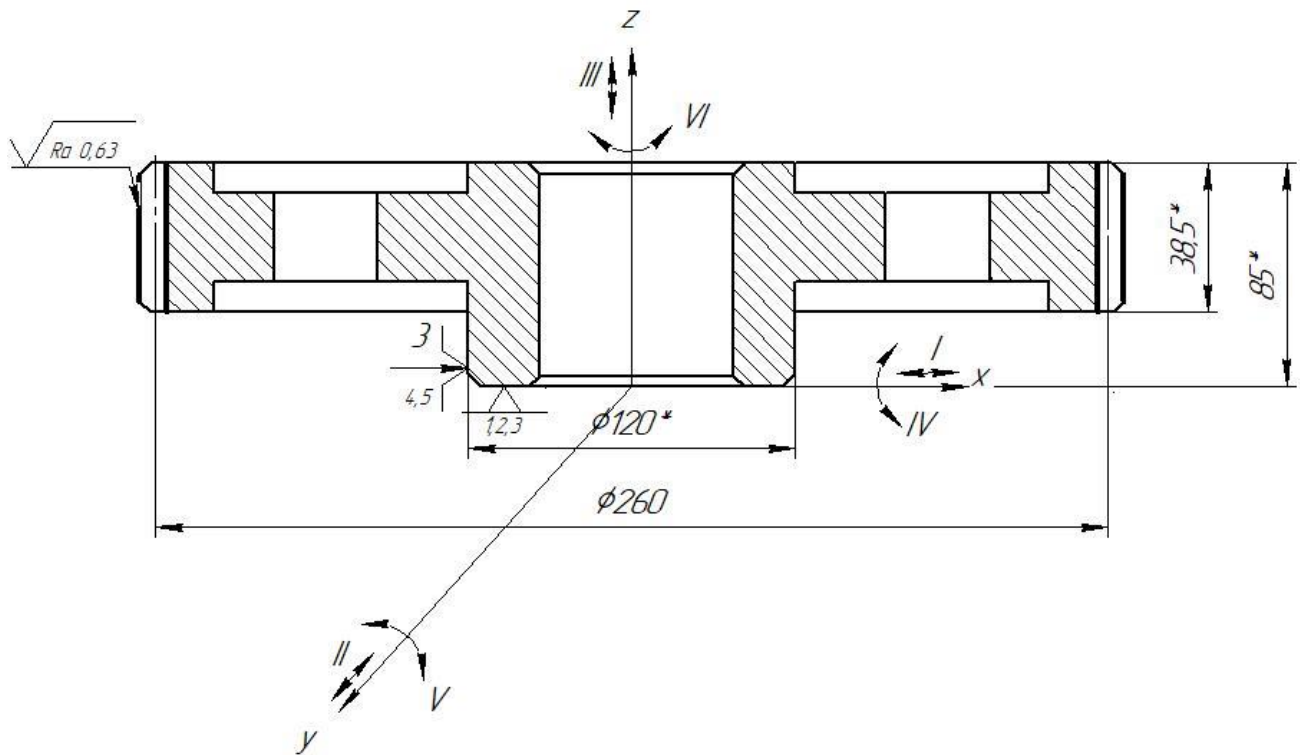


Рисунок 2.5.4 – Базування деталі в трьох кулачковому патроні

При закріпленні на зовнішній циліндричній поверхні  $\varnothing 120$ , формується подвійно опорна паза, та на торці 185 установча база ( таблиця 2.4.1, 2.4.2)

Таблиця 2.4.1 - Таблиця відповідності

| Зв'язки | Ступені свободи | Назва бази |
|---------|-----------------|------------|
| 1,2,3   | III, IV,V       | УБ         |
| 4,5     | I,II            | ПОБ        |

Таблиця 2.4.2 - Матриця зв'язків

|          | X | Y | Z | Бази     |
|----------|---|---|---|----------|
| 1        | 0 | 1 | 0 | ПНБ      |
| $\alpha$ | 0 | 1 | 1 |          |
| 1        | 1 | 0 | 1 | ОБ       |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
| 1        | 0 | 0 | 0 | Вакансія |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
|          | 1 | 2 | 2 |          |

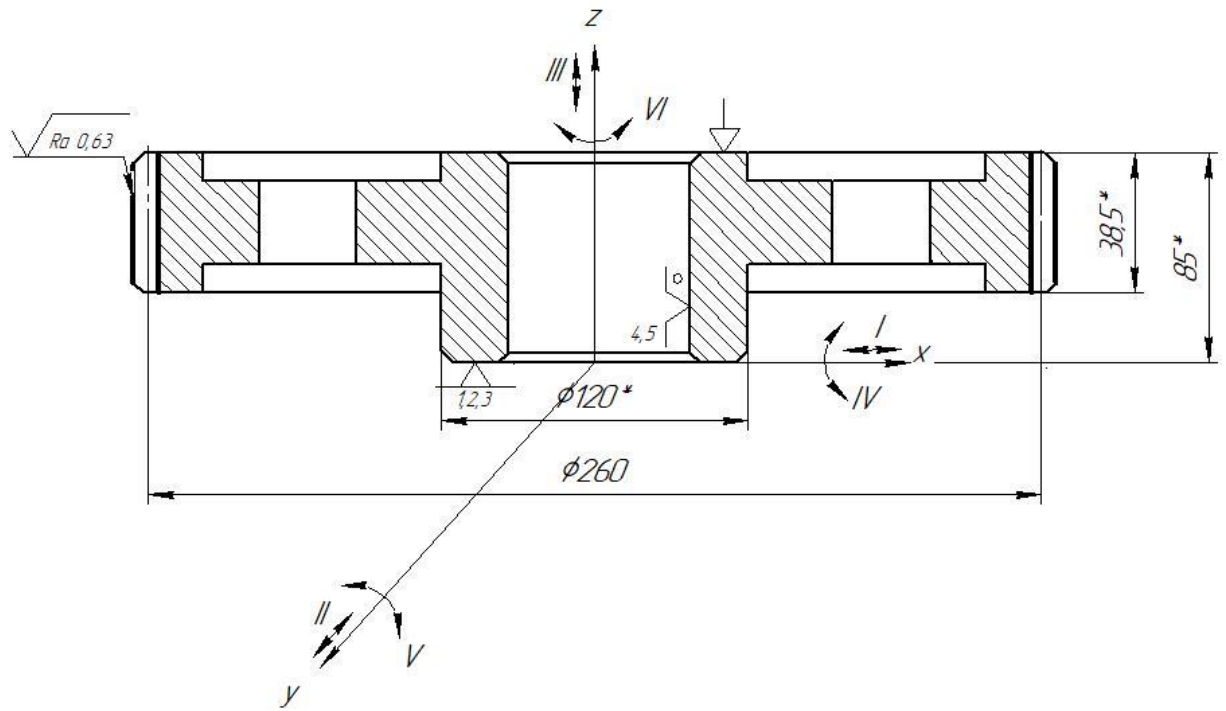


Рисунок 2.5.5 – Базування деталі на оправці

При закріпленні на зовнішній циліндричній поверхні  $\varnothing 120$ , формується подвійно опорна паза, та на торці 185 установча база ( таблиця 2.4.3, 2.4.4)

Таблиця 2.4.3 - Таблиця відповідності

| Зв'язки | Ступені свободи | Назва бази |
|---------|-----------------|------------|
| 1,2,3   | III, IV,V       | УБ         |
| 4,5     | I,II            | ПОБ        |

Таблиця 2.4.4 - Матриця зв'язків

|          | X | Y | Z | Бази     |
|----------|---|---|---|----------|
| 1        | 0 | 1 | 0 | ПНБ      |
| $\alpha$ | 0 | 1 | 1 |          |
| 1        | 1 | 0 | 1 | ОБ       |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
| 1        | 0 | 0 | 0 | Вакансія |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
|          | 1 | 2 | 2 |          |

Проведемо розрахунок похибки базування при використанні оправки за формулою:

$$E_6 = b_1 + b_2 + 2S_{min} \quad (2.4.1)$$

де:  $b_1$  – допуск на діаметр отвору;

$b_2$  – допуск на діаметр оправки;

$S_{min}$  – мінімальний зазор між отвором та оправкою.

Враховуючи що розмір отвору  $\emptyset 56H7$ , та діаметральний розмір оправки  $\emptyset 56g6$ , маємо такі данні для розрахунку:

$$E_6 = 0,03 + 0,019 + 0,01 = 0,059 \text{ мм}$$

Виходячи з розрахунку, похибка базування на оправці складає 0,059 мм, враховуючи такі дані слід зазначити, про відхилення від центру базового отвору при обробці на зубофрезерній операції, що може призвести до відхилення точності розміру зубчастого вінця, що є не бажаним. Тому на зубофрезерній операції слід використовувати трикулачковий патрон, бо похибка при базуванні в трикулачковому патроні буде дорівнювати 0.

Відносно інших металорізальних операцій слід зазначити що, на кожній операції виконується принцип постійності баз, спів падання баз, сумісності баз та сталості баз.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Основним критерієм при виборі обладнання є номінальна потужність приводу верстату, яка повинна перевищувати обчислену потужність різання, а також габарити заготовки, тобто можливість встановлення її на даному верстаті. Другою вимогою до обладнання є здатність забезпечити необхідні або близькі параметри режимів різання, частоту обертання шпинделя, подачу тощо. При цьому треба враховувати, що передавальні числа коробки швидкостей сучасних верстатів обрані за законом геометричної прогресії. Третій критерій вибору обладнання, його габарити, маса та вартість.

Для виготовлення деталі на токарній операції з ЧПК використовуємо верстат типу HAAS TL-2.

Таблиця 2.6 – Характеристика токарного верстату з ЧПК HAAS TL-2

| Найбільший<br>оброблювальний<br>діаметр, мм | Найбільший<br>хід<br>інструменту,<br>мм | Частота<br>обертів<br>шпинделю<br>об/хв | Подача,<br>мм/об | Потужність<br>головного<br>приводу,<br>кВт | Габарити,<br>мм<br>-довжина<br>-ширина<br>- висота | Маса,<br>т |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| 406                                         | 203                                     | 1800                                    | 11,4             | 7,5                                        | 2760<br>1740<br>2110                               | 2,6        |

Для виготовлення деталі на вертикально свердлильній з ЧПК використовуємо верстат типу BF850V.

Таблиця 2.6.1 – Характеристика верстату BF850V

| Найбільший<br>оброблювальний<br>діаметр, мм | Найбільший<br>хід<br>інструменту,<br>мм | Частота<br>обертів<br>шпинделю<br>об/хв | Подача,<br>мм/об | Потужність<br>головного<br>приводу,<br>кВт | Габарити,<br>мм<br>-довжина<br>-ширина<br>- висота | Маса,<br>т |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------|
| 80                                          | 350                                     | 12000                                   | 2,24             | 11                                         | 2700<br>2700<br>2920                               | 2,6        |

Для виготовлення деталі на вертикально протяжній операції використовуємо верстат типу VM25.

Таблиця 2.6.2 – Характеристика верстату VM25

| Номинальна сила тяги, кН | Найбільший хід інструменту, мм | Робоча швидкість, м/хв | Потужність головного приводу, кВт | Габарити, мм<br>-довжина<br>-ширина<br>- висота | Маса, т |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------------|---------|
| 50                       | 1000                           | 1,5...11,5             | 11                                | 2875<br>1350<br>3640                            | 5,05    |

Для виготовлення деталі на зубофрезерній операції використовуємо верстат типу ВСН-350NC22.

Таблиця 2.6.4 – Характеристика верстату ВСН-350NC22

| Макс. Розміри вінця, що нарізається, мм<br>Діаметр<br>Ширина<br>Модуль<br>Кут нахилу зуба | Діаметр фрези, мм | Частоти обертання фрези n, об/хв | Подача, мм/хв<br>поздовжня<br>радіальна | Потужність головного приводу, Nпр, кВт | Габарити, мм<br>-довжина<br>ширина<br>-висота | Маса, т. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|
| 80<br>100<br>1,5<br>±60                                                                   | 80                | 200...1600                       | 0,1-1,6<br>0,05-0,8                     | 1,5                                    | 1215<br>1195<br>1620                          | 2,1      |

Зубофрезерна операція є одною з найважливіших металорізальних операцій для виготовлення деталі «зубчасте колесо 6Т12.00.00.03», тому важливо використовувати нове та надійне обладнання для досягнення максимальної точності при обробці. Верстат ВСН-350NC22 напівавтомат зубофрезерний призначени для продукційної обробки прямозубих та косозубих зубчастих коліс, а також зірочок та черв'ячних коліс черв'ячними фрезами методом обкату. Характерними особливостями напівавтоматів є висока статична та динамічна жорсткість за рахунок раціональної форми

напрямних стійок та каретки супорта, збільшення жорсткості основних формо визначальних вузлів.

Для виготовлення деталі на зубошевінгувальній операції використовуємо вертикально зубошевінгувальний верстат з ЧПК моделі ВСН-732 NC22.

Таблиця 2.6.3 – Характеристика верстату ВСН-732NC22

|                                                             |                |
|-------------------------------------------------------------|----------------|
| Найбільший оброблюваний діаметр, мм                         | 320            |
| Найбільша довжина заготовки, мм                             | 500            |
| Найбільша ширина заготовки, мм                              | 150            |
| Модуль, мм                                                  | 8              |
| Найбільший номінальний ділильний діаметр шевру, мм/хона, мм | 260            |
| Потужність, кВт                                             | 7,5            |
| Габаритні розміри верстату, мм<br>(довжина, ширина, висота) | 1750x2200x2150 |



## 2.6 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Основною досліджуваною операцією запропонованого технологічного процесу є зубофрезерна. Розрахуємо режими різання на норми часу для зубофрезерної операції.

Базовою поверхнею на операції є зовнішня циліндрична поверхня  $d120$  мм, та ліва торцева поверхня  $185$  мм.

Фрезувати двухзахідною черв'ячною фрезою  $m=5$ ,  $z=50$  на діаметрі  $260$ .

Вибираємо подачу  $S=2$  мм/об.

Швидкість різання знаходимо за формулою[3]:

$$V = \frac{580 \cdot m^{0.5}}{T^{0.5} \cdot S^{0.85}}$$

(2.6.1)

де  $S$  – осьова подача фрези

$T$  – стійкість інструменту

$m$  – модуль колеса.

$$V = \frac{580 \cdot 5^{0.5}}{240^{0.5} \cdot 2^{0.85}} = 46 \text{ м/хв.}$$

Частоту обертів знаходимо за формулою[3]:

$$n = \frac{318,5 \cdot V}{D_i}$$

(2.6.2)

де  $D_i$  – діаметр фрези, мм.

$$n = \frac{318,5 \cdot 5 \cdot 46}{80} = 915 \text{ об/хв}$$

За паспортними даними верстату приймаємо частоту обертів  $n=800$  об/хв.

Необхідну потужність розраховуємо за формулою

$$N = \frac{0,124 \cdot S^{0.9} \cdot m^{1.7}}{D_i}$$

(2.6.3)

де  $S$  – осьова подача фрези

$D_i$  – діаметр фрези, мм

$m$  – модуль колеса.

$$N = \frac{0.124 \cdot 2^{0.9} \cdot 5^{1.7}}{80} = 44 \text{ Вт.}$$

Основний час знаходимо за формулою[4]:

$$T_o = \frac{L \cdot z}{n \cdot S_o \cdot K} \quad (2.6.4)$$

де  $n$  – частота обертів фрези;

$L$  – довжина робочого ходу

$z$  – кількість зубців деталі;

$S_o$  – подача;

$k$  – кількість заходів фрези.

$$T_o = \frac{110 \cdot 50}{800 \cdot 2 \cdot 2} = 1,71 \text{ хв.}$$

$$T_b = (0,01 \dots 0,2) T_o = 0,015 \cdot 1,71 = 0,026 \text{ хв,}$$

$$T_{об} = (1 \dots 6)\% T_o = 0,05 \cdot 1,71 = 0,08 \text{ хв,}$$

$$T_{\phi} = (4 \dots 8)\% (T_o + T_b) = 0,05 \cdot (1,71 + 0,026) = 0,086 \text{ хв,}$$

$$T_{шк} = 1,71 + 0,26 + 0,08 + 0,086 = 2,136 \text{ хв.}$$

## 2.7 Проектування верстатного пристрою

Згідно з завданням спроектуємо верстатний пристрій для базування та закріплення заготовки на операції зубофрезерній.

На даній операції виконують фрезерування зубців, зубчастого колеса, дотримуючись розмірів  $b=55\text{мм}$ ,  $m=5$ ,  $z=50$ .

Вибір базових поверхонь заготовки. Як технологічну базу що забезпечуватиме стійке положення заготовки, можна використати торцеву поверхню 185, яка є достатньо розвинутою ( може бути використана як установча база).

Як технологічну мазу також вибираємо зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 120$ , оскільки вона має просту циліндричну форму та є попередньо обробленою з достатньо високою точністю.

Під час базування пропонується встановити заготовку в трикулачковому самоцентруючому токарному патроні, дів рисунок 2.9.1

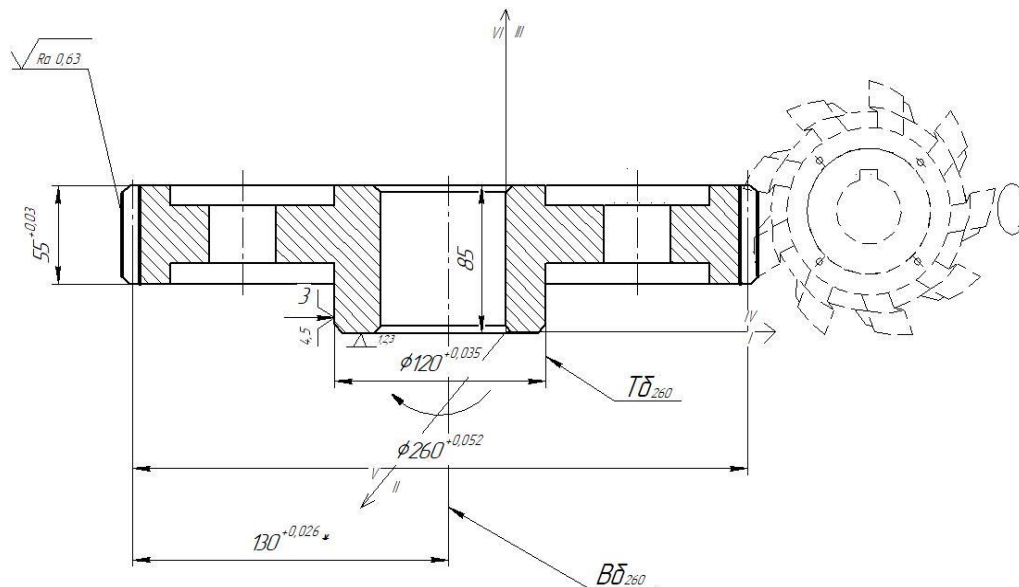


Рисунок 2.9.1 – Схема базування заготовки

При закріпленні на циліндрі  $\varnothing 120$ , формується подвійно опорна паза, та на торці 185 установка база ( таблиця 2.9.1, 2.9.2)

Таблиця 2.9.1 - Таблиця відповідності

| Зв'язки | Ступені свободи | Назва бази |
|---------|-----------------|------------|
| 1,2,3   | III, IV, V      | УБ         |
| 4,5     | I, II           | ПОБ        |

Таблиця 2.9.2 - Матриця зв'язків

|          | X | Y | Z | Бази     |
|----------|---|---|---|----------|
| 1        | 0 | 1 | 0 | ПНБ      |
| $\alpha$ | 0 | 1 | 1 |          |
| 1        | 1 | 0 | 1 | ОБ       |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
| 1        | 0 | 0 | 0 | Вакансія |
| $\alpha$ | 0 | 0 | 0 |          |
|          | 1 | 2 | 2 |          |

При базуванні заготовка позбавлятиметься 5-ти степенів свободи три з них це обертання навколо Y та X та поступальне переміщення навколо осі Z і дві–переміщення по X та Y.

Виконаємо аналіз пропонованої схеми базування з точки зору можливості забезпечення точності технологічних розмірів.

Точність розмірів зубців не залежить від обраної схеми базування, а визначається розмірами ріжучого інструменту ( черв'ячної фрези ) та степені його зношення.

Похибка базування в даному випадку дорівнюватиме допуску на розмір  $\varnothing 120^{+0,035}$  мм якій зв'яже технологічну базу та вимірювальну базу.

Похибка базування в даному випадку дорівнюватиме допуску на розмір  $\varnothing 120^{+0,035}$  мм якій зв'яже технологічну базу та вимірювальну базу.

$$E_{b_{260}} = 0,026 \text{ мм} < T_{260} = 0,035 \text{ мм}.$$

Таким чином забезпечення точність розміру 130 мм гарантується при використанні пропонованої схеми базування.

При фрезеруванні паза пропонується закріпити заготовку в трикулачковому самоцентруючому патроні. При такій схемі закріплення заготовку діятиме момент різання  $M_{кр}$ , який визначається тангенціальною складовою сили фрезерування  $P_z$  та плечем  $R$ , на якому вона діє.

Силам та моменту різання протидіятимуть сили та момент тертя. Так, сили тертя  $F_{тр}$  визначатимуться зусиллям закріплення заготовки  $P_z$  та

виникатимуть на зовнішній циліндричній поверхні заготовки  $\varnothing 120$ , яка контактує з робочими поверхнями кулачків пропонованого патрону. Момент тертя  $M_{тр}$  визначатиметься силами тертя  $F_{тр}$ , які діятимуть на плечі  $r$ .

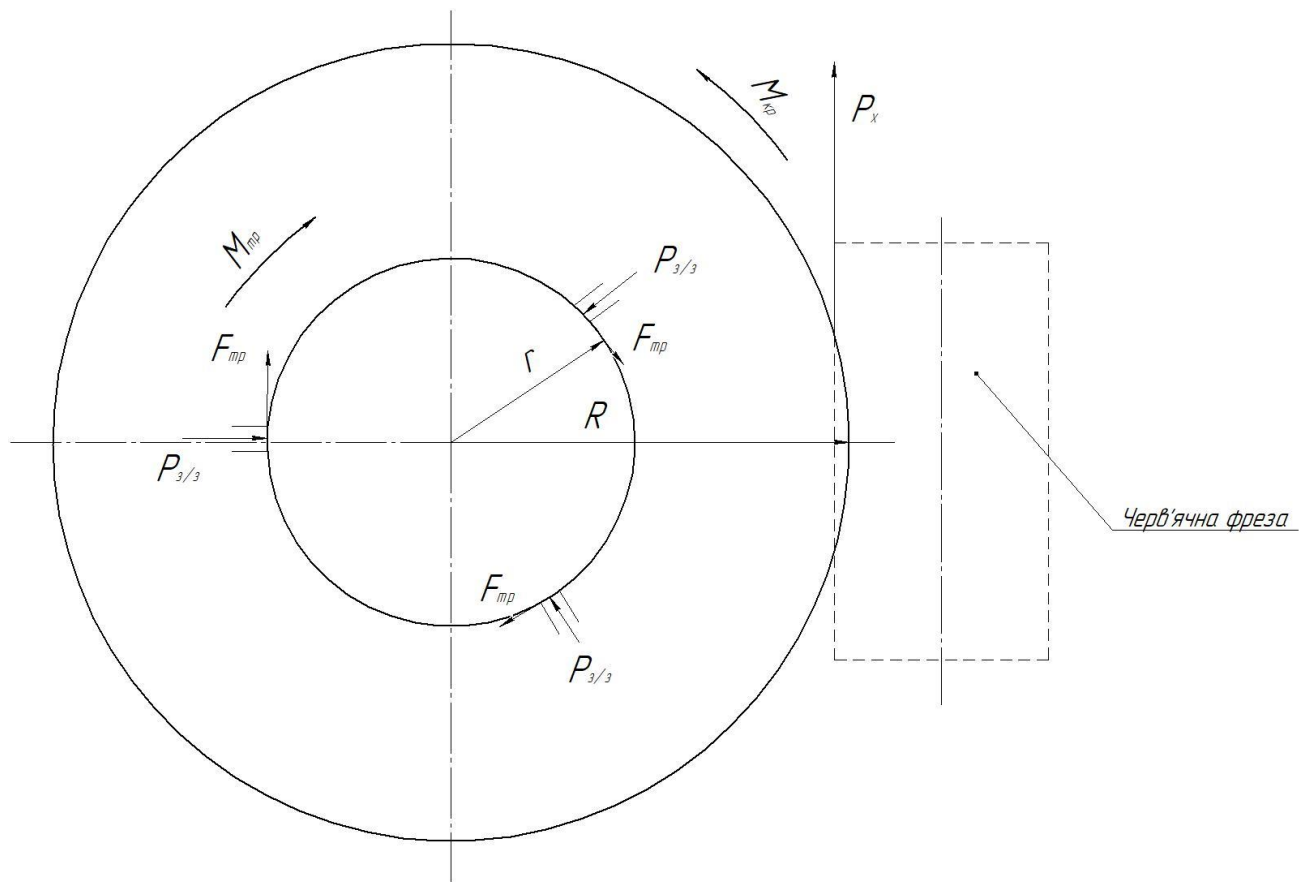


Рисунок 2.9.2 – Схема дії сил при обробці зубів

З урахуванням сказаного зусилля закріплення заготовки можна розрахувати за формулою:

$$M_{кр} = P_x \cdot R \quad (2.9.1)$$

$$M_{тр} = M_{кр} \cdot k_{зап}$$

$$P_3 \cdot f \cdot r = P_x \cdot R \cdot k_{зап}$$

$$P_3 = \frac{P_x \cdot R \cdot k_{зап}}{f \cdot r}$$

$f$  - коефіцієнти тертя. Беремо  $f = 0,2$

Коефіцієнт запасу визначимо відповідно за формулою:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.9.2)$$

де  $K_0$  - коефіцієнт гарантованого запасу  $K_0 = 1,5$ ;

$K_1$  - враховує збільшення сили різання за наявності випадкових нерівностей на оброблюваних поверхнях, для чорнової обробки

беремо  $K_1 = 1,5$ ;

$K_2$  - характеризує збільшення сил різання інструменту, для фрезерування торцевою фрезою заготовки та з урахуванням тангенціальної складової сили різання  $K_2 = 1,6$ ;

$K_3$  - враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні, фрезерування  $K_3 = 1$ ;

$K_4$  - характеризує постійність сили закріплення, для пневмо циліндру двусторонньої дії беремо  $K_4 = 1$ ;

$K_5$  - характеризує ергономіку затискних механізмів, при використанні механізованого приводу закріплення беремо  $K_5 = 1$ ;

$K_6$  - враховує наявність моменту який намагається повернути заготовку встановлену на плоскі постійні опори, за відсутності моменту  $K_6 = 1$ .

$$K = 1,5 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 1 = 2,4 = 2,5$$

Розрахуємо силу різання за формулою [2]:

Маючи те що фрезу ми використовуємо черв'ячну, а методичних вказівок на черв'ячну фрезу не має, то зсилаючись на дисертацію [2] по розрахунку сил різання для дискових фрез вказано, що порівняння сили різання дисковою фрезою та черв'ячною фрезою показує, що для однакових умов обробки і осьової подачі ця сила в РК-способі в 2.5-3.5 рази менша. Тоді з наведених діаграм зсилаючись на модуль фрези(див. рис. 2.9.2) приймаємо 700 Н.

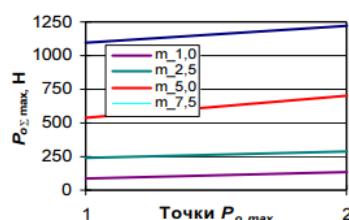


Рисунок 2.9.3 – Максимальна сумарна на дузі контакту сила різання на ділянці врізання і виходу фрези залежно від модуля

$$700 \cdot 3 = 2100\text{Н}$$

$$2100 \cdot 1.7 = 1235\text{H}$$

$$P_z = \frac{P_x \cdot R \cdot k_{\text{зап}}}{f \cdot r} \quad (2.9.3)$$

де  $C_p$ —коefficient різання

$t$ —глибина різання

$S_z$ —подача на зуб

$B$ —ширина фрезерування

$D$ —діаметр фрези

$n$ —обертишпінделя

$z$ —кількість зубів фрези

$$P_z = \frac{P_x \cdot R \cdot k_{\text{зап}}}{f \cdot r}$$

Отже

$$P = \frac{1235 \cdot 130 \cdot 2,5}{0,2 \cdot 60} = 33450 \text{ H}$$

При виборі механізованого приводу закріплення заготовки перевагу віддаємо пневмоциліндра двосторонньої дії. Як відомо, пневмоциліндри забезпечують стабільне осьове зусилля на штоку незалежно від ходу штока.

Для визначення необхідного осьового зусилля на штоку пневмоциліндра скористаємося схемою дії сили закріплення на осьовій сили на штоку приводу за умови використання передаточного пристрою клинового типу(див. рис. 6.2).

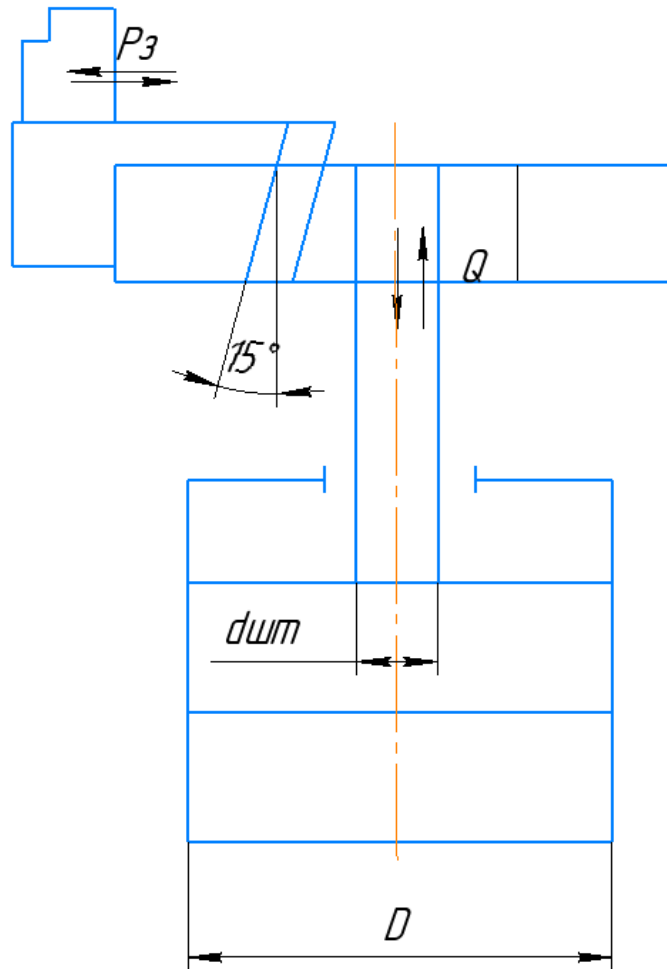


Рисунок 2.9.4 – Схема дії зусилля затиску та осьового зусилля на штоку пневмоциліндра

$$Q = \frac{P_3}{i_c} \quad (2.9.4)$$

де  $P_3$  – сила закріплення;

$i_c = 1,8$  – коефіцієнт.

$$Q = \frac{P_3}{i_c} = \frac{33450}{1,8} = 18580 \text{ Н}$$

Як відомо, величину осьового зусилля на штоці пневмоциліндру за умови подачі повітря до безштокової порожнини можна розрахувати за формулою:

$$Q = \frac{\pi(D^2 - d^2) \cdot p \cdot \eta}{4} \quad (2.9.5)$$

де  $D$  – діаметр пневмоциліндра;

$d = 50$  – діаметр штоку;



$p = 0,4 \text{ МПа}$  – тиск повітря у пневмомережі;

$\eta = 0,8$  – ККД.

Із формули для розрахунку осьової сили на штоці пневмоциліндру визначаємо розрахункову величину діаметра пневмоциліндру  $D$ :

$$Dp = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta} + d_{\text{шт}}^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18580}{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,8} + 40^2} = 203 \text{ мм}$$

де  $Q$  – сила на штоці

$p = 0,4 \text{ МПа}$  – тиск повітря у пневмомережі;

$\eta = 0,9$  – ККД;

$d = 40$  – діаметр штоку.

Визначимо розрахункові параметри, тобто ті параметри, які в найбільшій мірі впливають на досягнення заданих допусків оброблюваної деталі. У нашому випадку до розрахункових параметрів варто віднести точність взаємного розміщення основних і допоміжних конструкторських баз пристрою, а саме радіальне биття робочих поверхонь кулачків патрона відносно посадкової поверхні фланця. Ці параметри є однорідними з похибками, що обумовлені на кресленні деталі найбільш жорстким допуском на глибину оброблюваних зубців в розмір  $130^{+0,3}$  мм ( $T = 0,3$  мм).

Допустиму похибку виготовлення верстатного пристрою по радіальному биттю робочих поверхонь кулачків визначимо за формулою:

$$E_{\text{пр}} = T_{4.5} - K_T \sqrt{(K_{T_1} \cdot \varepsilon_{4.5})^2 + \varepsilon_{3\ 4.5}^2 + \varepsilon_{y\ 4.5}^2 + \varepsilon_{n\ 4.5}^2 + \varepsilon_{1\ 4.5}^2 + (K_{T_2} \cdot \omega_{4.5})^2 + \varepsilon_{\text{поз}\ 4.5}^2} \quad (2.9.6)$$

Де  $k_T=0,3$  - коефіцієнт який враховує можливе відхилення значень складових величин рівняння від нормального

$k_{T1}$ - коефіцієнт враховуючий зменшення  $k_1=1,2$ .

$E_6$ - похибка базування  $E_6= 0$ (див. розділ 2 цієї роботи).

$E_3$ - похибка закріплення  $E_3= 0$ .

$E_y$ - похибка установки оснащення на верстаті  $E_y= 0,020$  мм.

$E_{\text{п}}$ - похибка перекосу оснащення на верстаті  $E_{\text{п}}= 0$ .

$E_{\text{зн}}$ - похибка зносу установчих елементів оснащення  $E_{\text{зн}}= 0$ .

$E_{\text{поз}}$ - похибка позиційна  $E_{\text{поз}}= 0,02$  мм.

$K_{\text{T2}}$ - коефіцієнт який враховує можливість похибки при обробці  
 $k_{\text{T2}} = 0,6$ .

$\omega$ – середня точність обробки  $\omega = 0,02$  мм.

$$E_{\text{пр}} = 0,3 - 1,2\sqrt{(0,85 \cdot 0,11)^2 + 0 + 0,020 + 0 + 0 + (0,6 \cdot 0,02)^2 + 0,02} = 0,182\text{мм.}$$

Беремо найближчу стандартну величину радіального биття – 0,16 мм. З урахуванням сказаного покажемо на складальному кресленні пропонованого верстатного пристрою технічну вимогу з таким формулюванням: «Радіальне биття робочих поверхонь кулачків патрона відносно посадкової поверхні фланця – не більше 0,16 мм».

Будова та принцип дії верстатного пристрою.

Базовим елементом верстатного пристрою є корпус поз. 28. У радіальних пазах корпусу 28 розташовані три рухомі кулачки поз. 7 з рифленою поверхнею яких сполучаються змінні накладні кулачки поз. 13. Гвинти поз. 18 і сухарі поз. 14 слугують для фіксації накладних кулачків відносно рухомих кулачків в процесі налагодження патрона. В центральному отворі корпусу патрона розміщено клинову муфту поз. 9, яка має рухоме зачеплення з кулачками поз. 7 через поверхню, яка забезпечує клинове з'єднання під кутом  $15^\circ$  і приводиться в рух від штока приводу. При осьовому переміщенні муфти кулачки отримують радіальне переміщення і затискають або звільняють заготовку. Передавальне відношення переміщень клинового механізму 1:3,7. Форма клинового сполучення дозволяє легко виймати і замінювати кулачки. Для цього в муфті передбачено шестигранний отвір для ключа при повороті муфти проти годинникової стрілки на кут  $15^\circ$  кулачки

виводять із зачеплення і виймають. У робочому положенні муфта утримується штифтом, який одночасно служить упором, що обмежує поворот муфти при зміні кулачків. Пружні штифти утримують від випадання, коли вони виведені із зачеплення з муфтою. Втулка оберігає патрон від проникнення в нього бруду і стружки. Одночасно її конусний отвір використовується для установки напрямних втулок, упорів тощо.

Креслення верстатного пристрою наведено в додатку Д.

## 2.8 Висновок

Як висновок слід сказати, що зауваження, які було сформульовано аналізуючи базовий технологічний процес, виправлено, спроектовано новий технологічний процес виготовлення деталі «6Т12.00.00.03», зокрема:

- 1) проведено техніко-економічний аналіз для вибору методу отримання заготовки, та вибрано найбільш актуальний та технологічний метод її отримання;
- 2) стосовно операції «Розмічувальна». В запропонованому технологічному процесі ми можемо прийняти рішення про не використання такої операції. Використання верстатів з ЧПК, дає змогу точно по координатам визначити положення отворів та обробити їх;
- 3) в пункті 2.7 було спроектовано та розраховано верстатний пристрій для зубофрезерної операції;
- 4) замість двох операцій запропонованих в базовому технологічному процесі спрямованих на обробку отвору, термічна та внутрішньо-шліфувальна, було обрано «Токарну з ЧПК (тонке розточування)», тим самим при обробці матеріал не буде зазнавати високих температур та деформуватися;
- 5) в запропонований технологічний процес була внесена операція зубошевінгування, для забезпечення більшої точності зубів деталі, отриманих на зубофрезерній операції;

- 6) було розраховано режими різання та норми часу для зубофрезерної операції (див. пункт 2.6);
- 7) також змінено верстати та верстатні пристрої з метою точного базування деталей на операціях та отримання більшої точності деталі. Використання нових верстатних пристроїв з механізованим приводом, позбавить похибок базування на всіх операціях.

## РОЗДІЛ 3

# СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИБОРУ ДЛЯ БАЗУВАННЯ ТА ЗАКРІПЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ НА ЗУБОФРЕЗЕРНІЙ ОПЕРАЦІЇ

### 3.1 Актуальність дослідження, мета та методи дослідження

Сьогодні кожне підприємство використовує виробниче обладнання, яке в основному складається з приладдя для машин. Робочі місця повинні бути своєчасно оснащені такими пристроями, щоб забезпечити якість виробництва. Важливість та складність проектування верстатного пристрою як елемента замкненої технологічної обробної системи є основним питанням досягнення точності. Побудова параметрично-орієнтованих 3D-моделей і баз даних для конструкцій, що застосовується у виробництві, є однією з найважливіших функцій систем. Це дає змогу отримувати нові версії конструкції об'єкта дослідження, змінюючи лише обмежену кількість його параметрів. Конструкція верстатних пристроїв повинна задовольняти визначеним умовам виробництва та експлуатації і вибиратися з урахуванням різних факторів, що впливають на пристрій. Розрахунки на точність проводяться на етапі проектування приладу. Розрахунки на точність проводяться на етапі проектування приладу. Ці розрахунки не враховують можливості деформації заготовок і елементів пристрою, викликані дією сил різання під час роботи. Для оцінки стану системи «пристрій-заготовка» під впливом силових та інших факторів, використовуються спеціалізовані для цього програми, в яких виконується інженерний аналіз з використанням параметрично-орієнтованих 3D-моделей [6, 7,].

У зв'язку з наявною силовою взаємодією в системі «верстатний пристрій-заготовка» важливим напрямком дослідження є аналіз її напружено-деформованого стану. Напружено-деформований стан – це сукупність внутрішніх напружень і деформацій конструкції або її елемента, що виникають при дії на неї зовнішніх навантажень, температурних полів чи

інших факторів. Напружено-деформований стан визначається розрахунками та експериментальними методами у вигляді розподілу напружень, деформацій і переміщень в конструкції і є базою для оцінки статичної міцності і ресурсу конструкцій на всіх етапах їх життєвого циклу. Розрізняють загальний і локальний напружено-деформований стан. Загальний – визначається в силових елементах конструкції без урахування концентрації напружень, викликаних місцевими конструктивно-технологічними особливостями. Локальний – визначається поблизу концентратора напружень з урахуванням виду концентратора і прикладеного навантаження [6, 7, 8, 9, 10].

Іншим напрямком досліджень механічних конструкцій є модальний (динамічний) аналіз. Модальний аналіз використовується для обчислення величин власних або резонансних коливань, відносні зміщення геометрії під час вібрації моделі на цих частотах. Зазвичай інженерам потрібно знати ці власні частоти у випадках, коли структура піддається впливу збудливої сили. У цьому випадку деталь може резонувати і зруйнуватися, якщо частоти збудження збігатимуться з власними частотами структури. Навіть якщо частота збудження зміщена щодо власної частоти, вона може бути досить близька до неї за величиною для виникнення небажаних коливань [6, 7, 8, 9, 10].

Для пошуку слабких місць та оптимізації конструкції верстатного пристрою ми використовуємо програму Ansys Workbench для дослідження системи «пристрій-заготівка» шляхом статичного аналізу. Програмний комплекс Ansys Workbench є потужною системою для обчислення скінчено-елементних моделей інженерних конструкцій. Для статичного аналізу конструкцій верстатів будемо використовувати модуль Статичні конструкції (Static structural), який дозволяє досліджувати поведінку конструкцій, що працюють в умовах статичного навантаження [6, 7].

### 3.2 Дослідження конструкції верстатного пристрою методами статичного та динамічного аналізу

*Статичний аналіз.* Для базування та закріплення деталі 6Т12.00.00.03 при обробці зубців зубчатого колеса на зубофрезерній операції 035, яка виконується на зубофрезерному верстаті моделі ВСН-350NC22, спроектовано спеціальний верстатний пристрій з пневмоприводом для закріплення заготовки, що підвищить точність обробки в наслідок точності базування, та сили закріплення при зубофрезуванні, див. пункт 2.7.

Для статичного дослідження системи «пристрій-заготовка» було побудовано її твердотільну модель з використанням програми FUSION 360, див. рисунок 3.1.

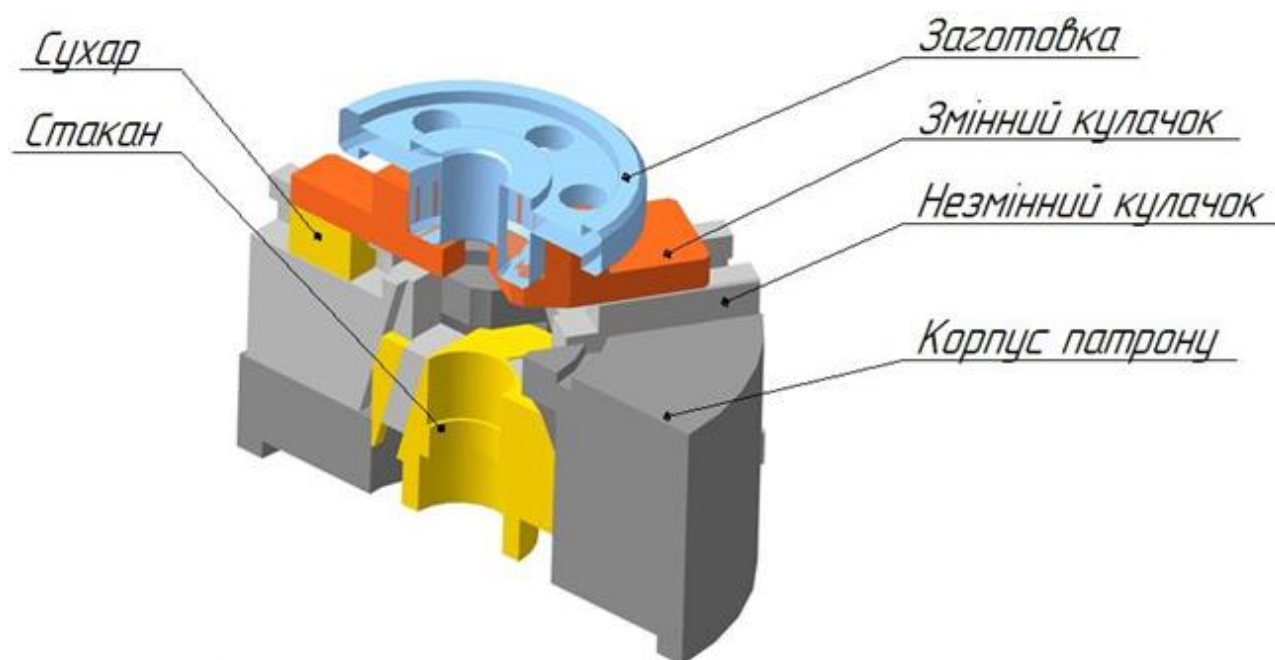


Рисунок 3.1 – Твердотільна модель системи «пристрій-заготовка» в розрізі

Як видно з рисунку, для досліджуваної системи увійшли тільки головні елементи, які виконують функції базування та закріплення, або є головними в складі замкненого силового ланцюга, що діє в системі пристрою в зв'язку з заготовкою.

Після завершення розробки твердотільної моделі її імпортують до модулю «Геометрія» Ansys Workbench, див. рисунок 3.2.

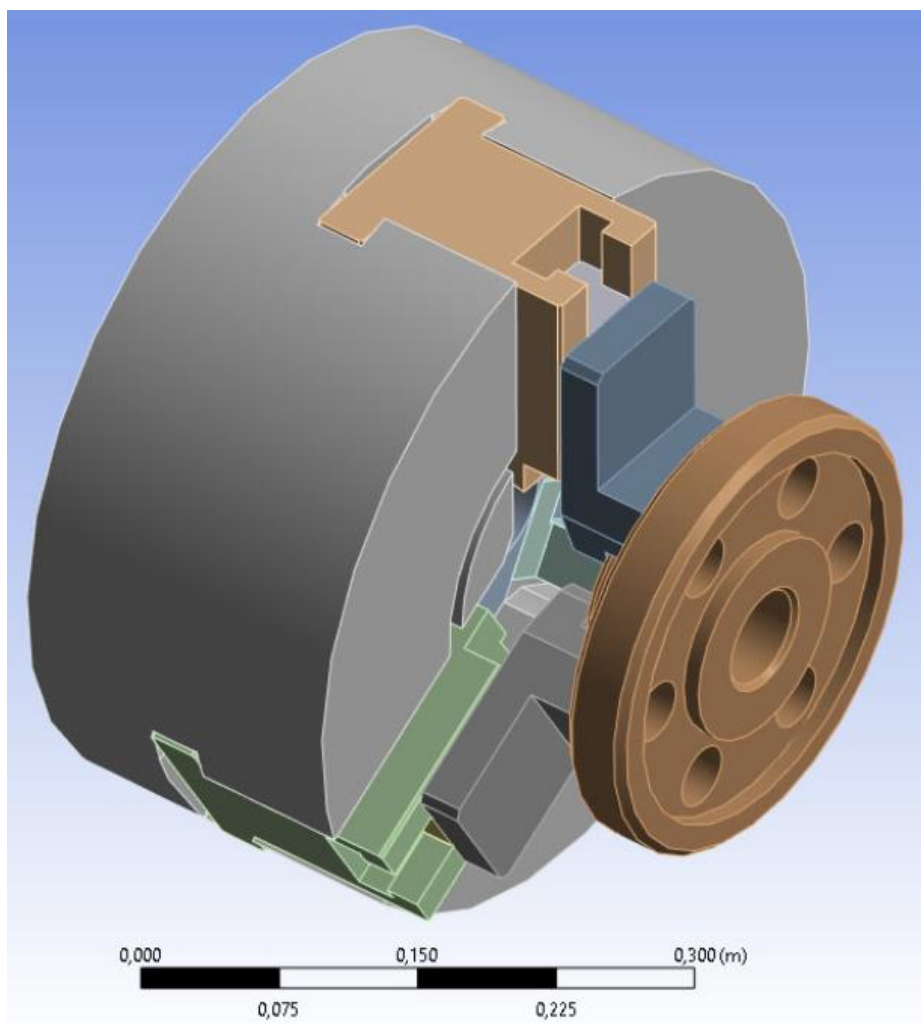


Рисунок 3.2 – Імпорт геометричної моделі до комплексу Ansys Workbench

Для отримання доцільних результатів розрахунку, необхідно встановити граничні умови, які застосовуються під час розрахунку, такі як фізичні та механічні властивості матеріалів компонентів системи та характеристики контактних поверхонь, (тертя ковзання, тертя кочення, відсутність тертя та інші), а також статичні навантаження які діють в системі.

Для досліджуваної моделі використовуємо властивості матеріалів, що задані в програмі Ansys Workbench за замовчуванням. Усі матеріали задані як конструкційні середньо вуглецеві сталі з межею міцності – 460 МПа, та модулем Юнга -  $2 \cdot 10^5$  МПа.



Умови контакту між поверхнями поверхнями стакану та корпусу пристрою (див. рисунок 3.3), між поверхнями стакану та незмінних кулачків (див. рисунок 3.4), заготовки та змінних кулачків (див. рисунок 3.5). Ці сполучення характеризуються як тертя ковзання (Frictional) з коефіцієнтом тертя 0,2.

Під час оброблення поверхні зубців зубчастого колеса з боку процесу фрезерування на деталь діє тангенціальна складова сили різання  $P_z = 33450$  Н (див. п. 2.7), яка утворює крутний момент, намагаючись повернути деталь в змінних кулачках навколо осі деталі(див. рисунок 3.6).

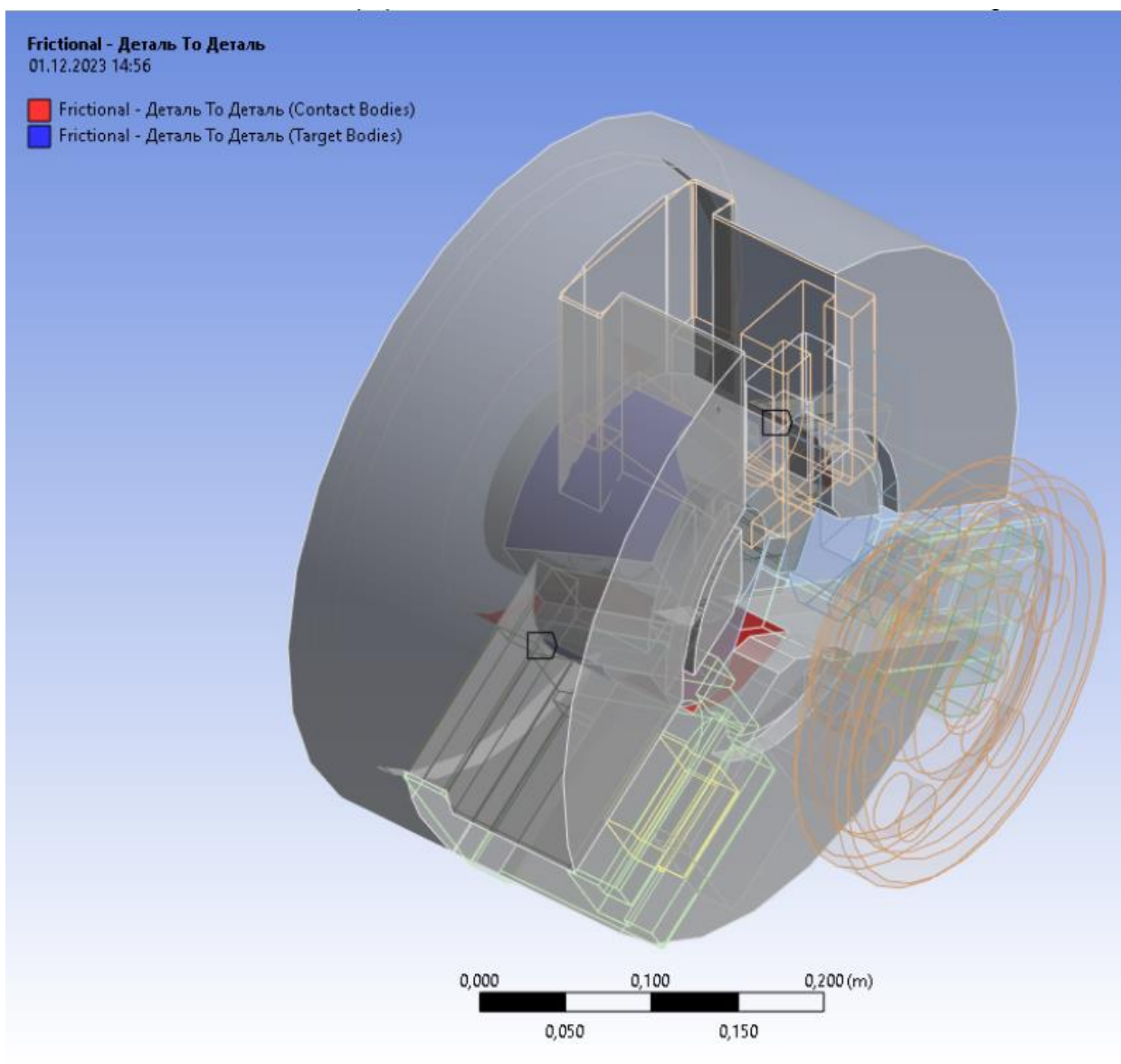


Рисунок 3.3 – Сполучення поверхні стакану з поверхнею корпусу пристрою

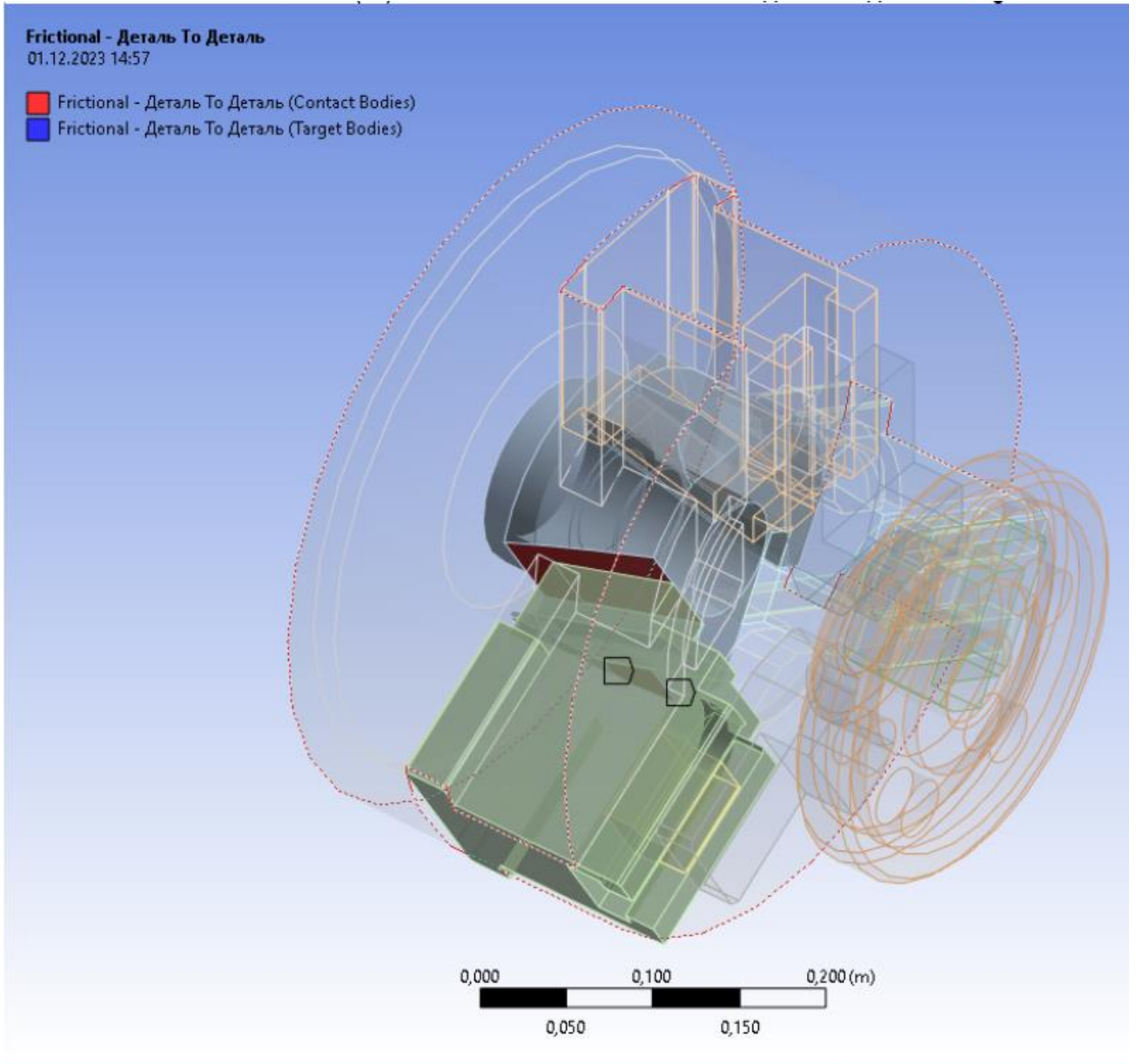


Рисунок 3.4 – Сполучення поверхні стакану з поверхнею незмінних клачків

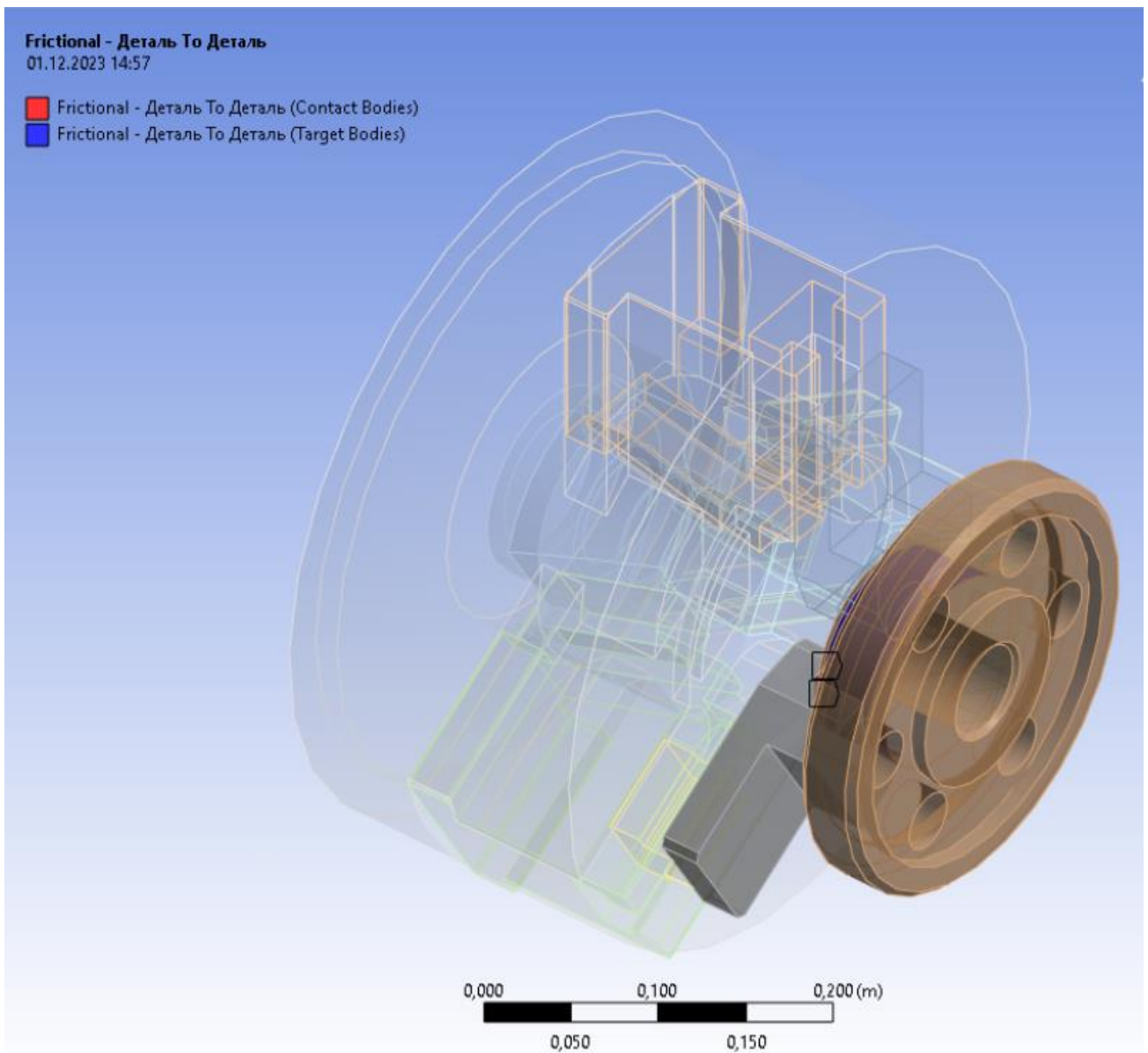


Рисунок 3.5 – Сполучення поверхні змінного кулачка та зовнішньої циліндричної поверхні деталі

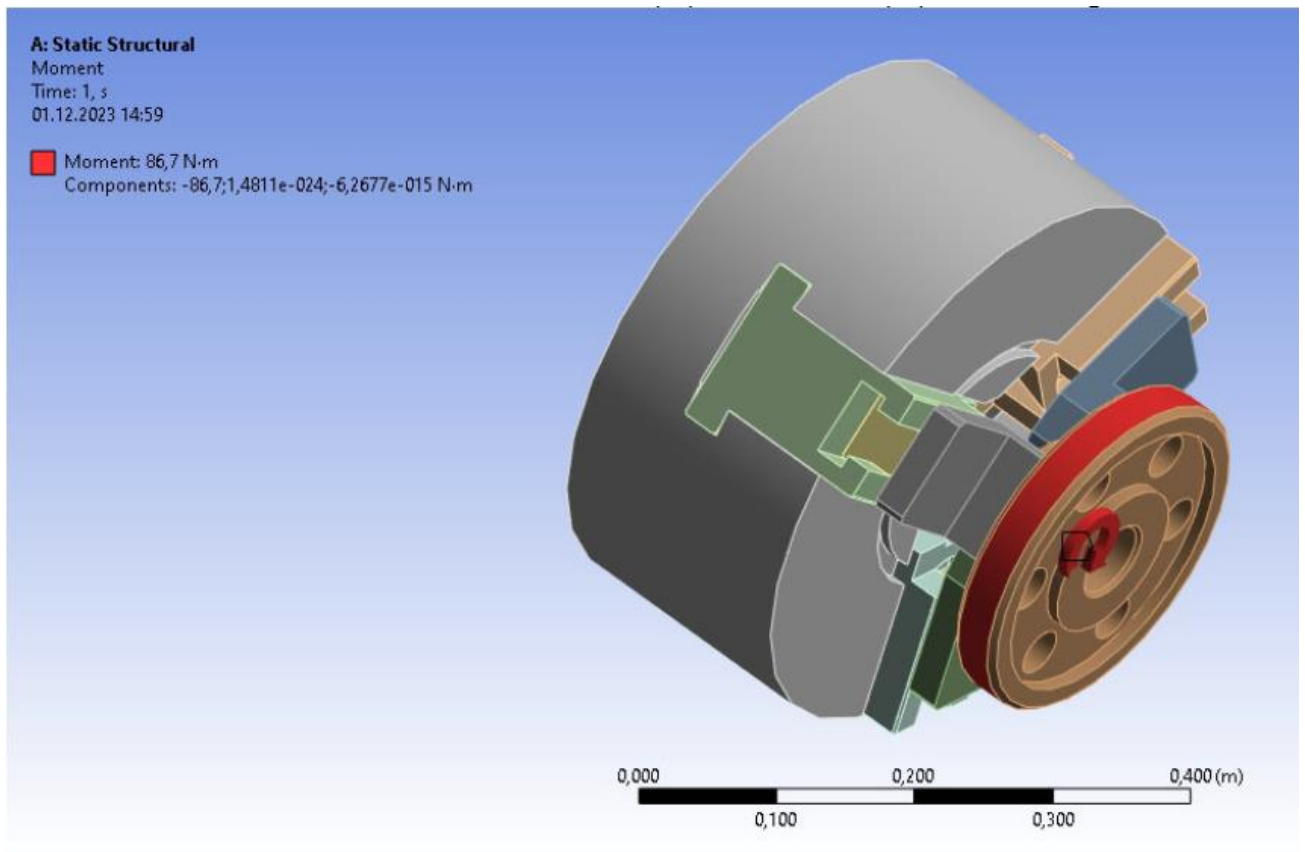


Рисунок 3.6 – Напрямок дії сили крутного моменту

Задаємо силу  $P_z$  як вектор сили (Force), що діє на поверхню стакану (див. рисунок 3.7). З боку приводу закріплення на стакан діє сила на штоку пневмокамери  $Q = 18580$  Н. Задаємо її як вектор сили, що діє на стакан зверху в низ (див. рисунок 3.7). При цьому задаємо жорстку фіксацію (Fixed Support) поверхні корпусу (див. рисунок 3.8).

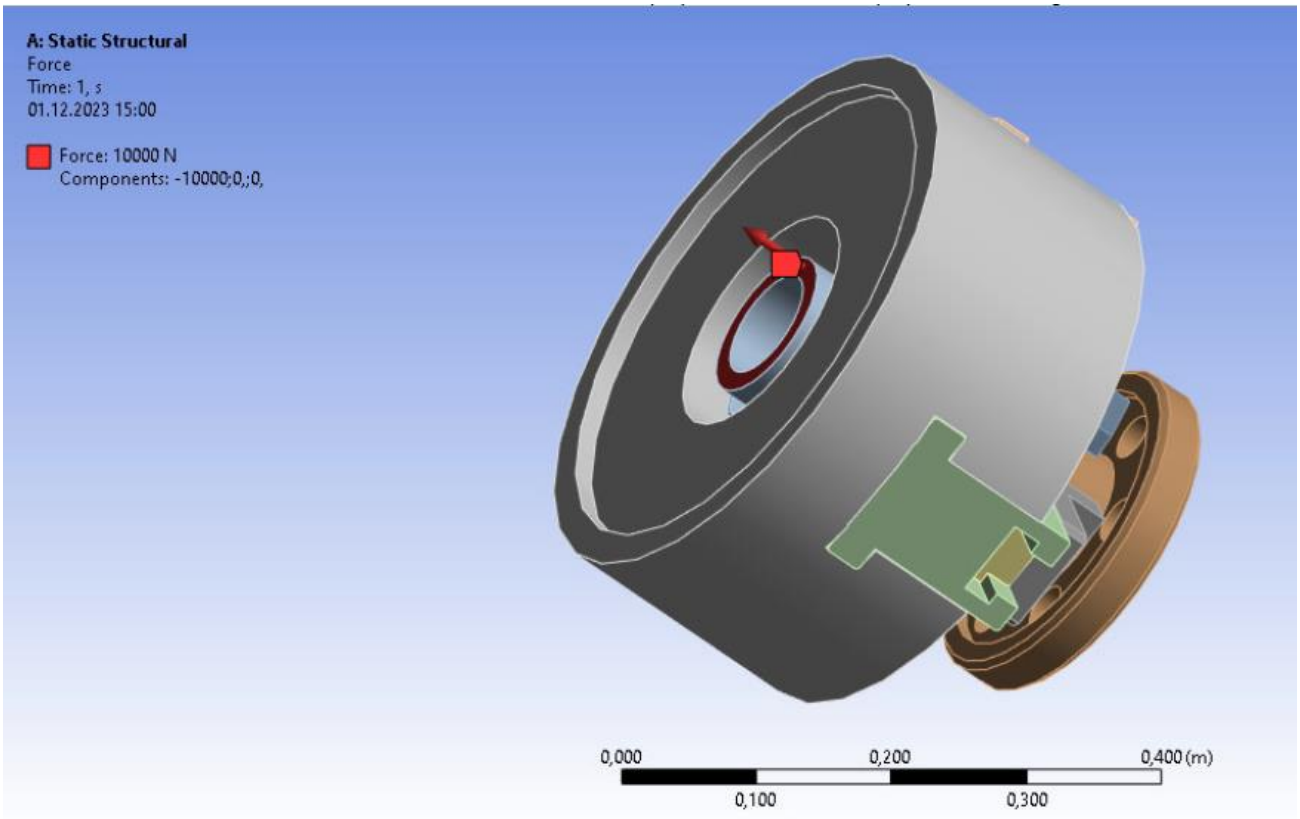


Рисунок 3.7 – Статичні навантаження, що діють в досліджуваній системі

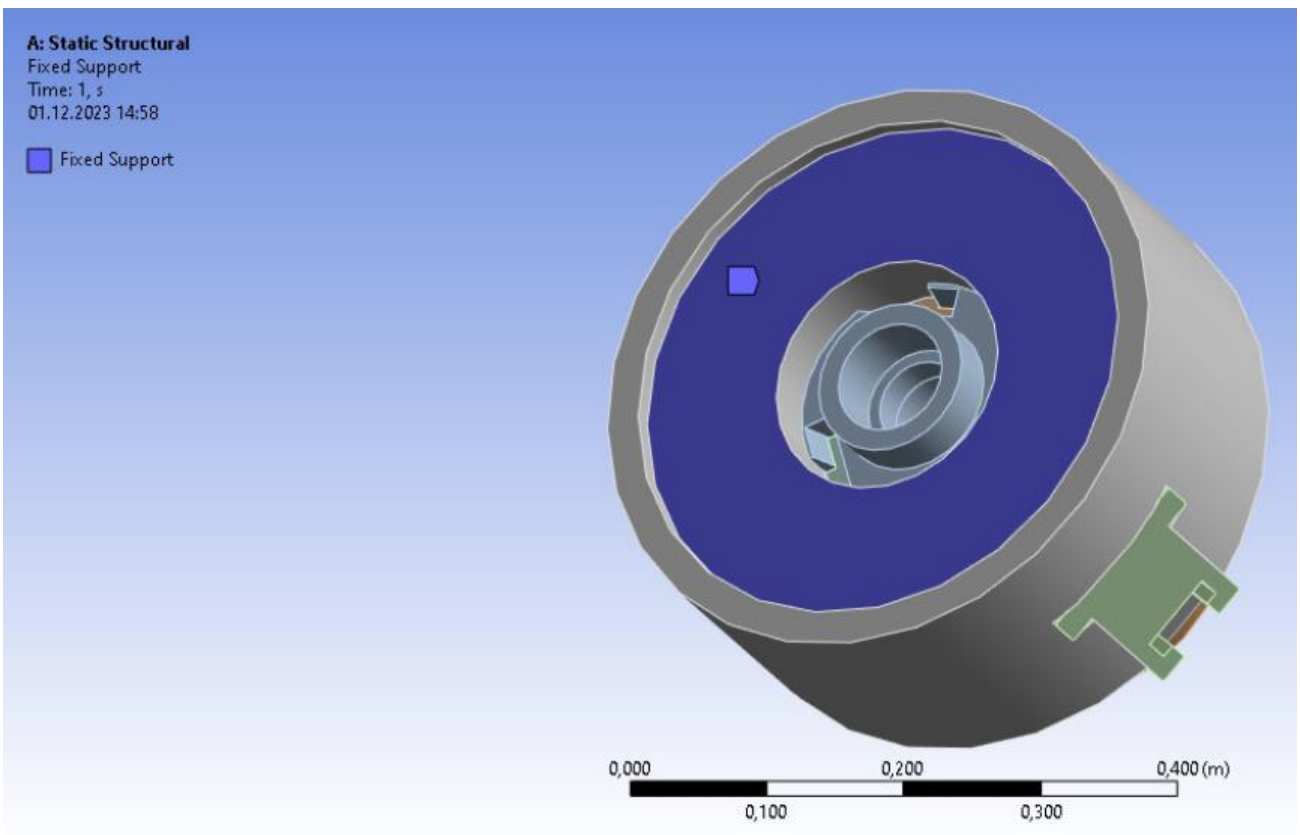


Рисунок 3.8 – Схема поверхні жорсткої фіксації (Fixed Support)



Для виконання розрахунку моделі необхідно побудувати скінчено-елементну сітку досліджуваної системи (див. рисунок 3.9): тип сітки – адаптивний, мінімальні грані елемента – 1,0 мм, кількість елементів – 13168.

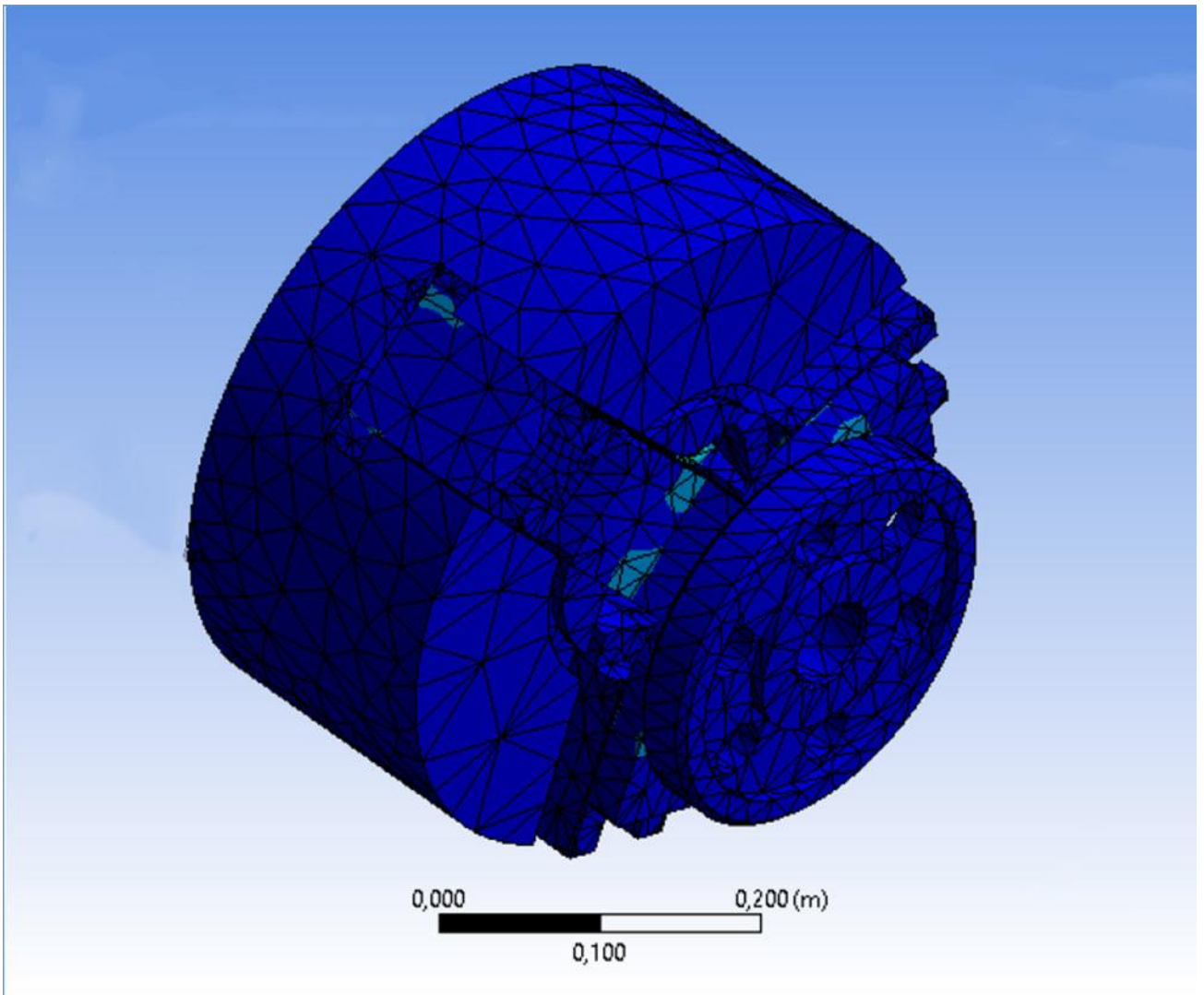


Рисунок 3.9 – Скінчено-елементна сітка досліджуваної системи

В результаті розрахунку моделі отримано епюри переміщень (Total Deformation), див. рисунок 3.10, 3.11, та внутрішніх напружень (Stress) елементів системи, див. рисунок 3.12, 3.13.

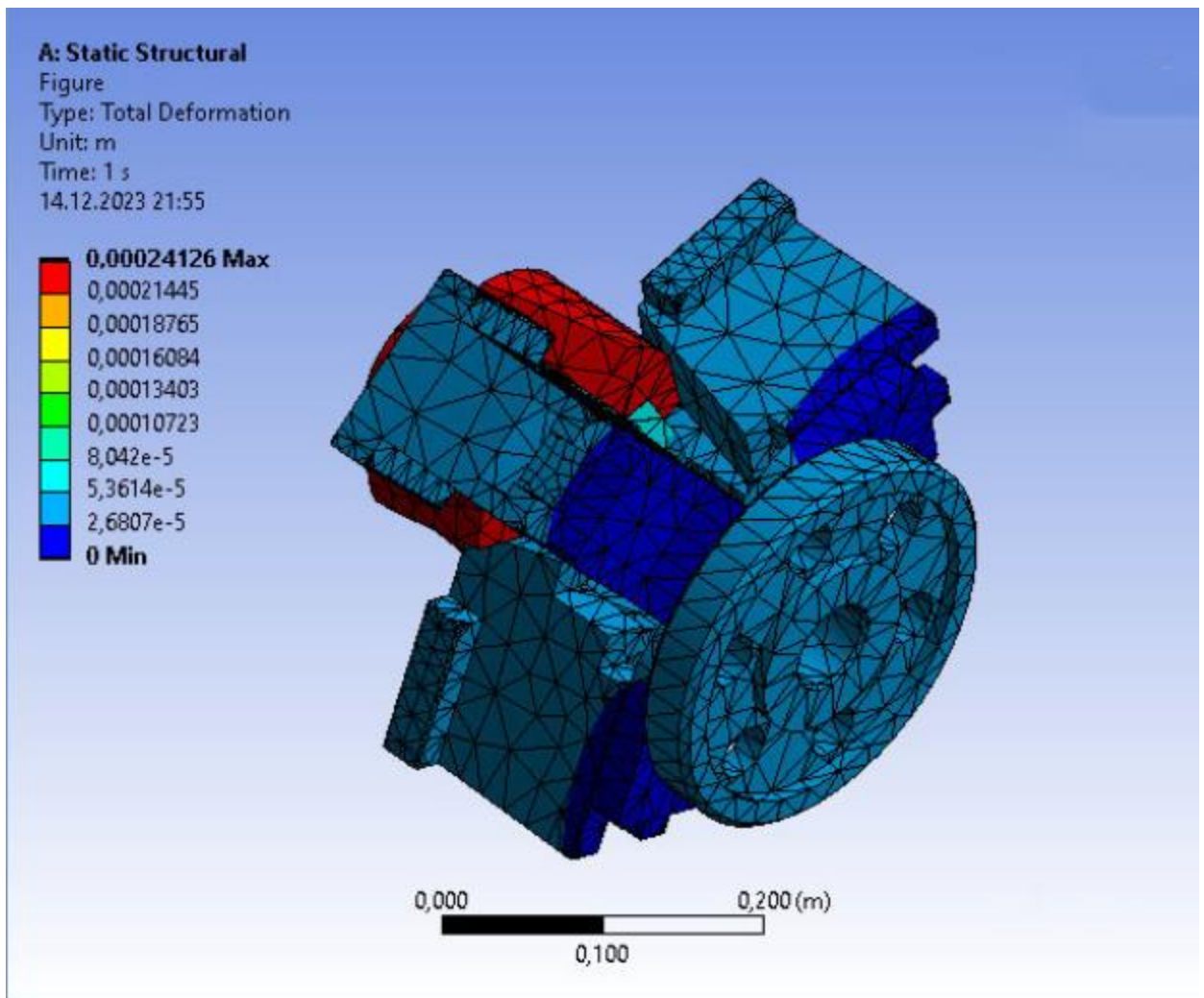


Рисунок 3.10 – Епюра переміщення системи (вид 1)

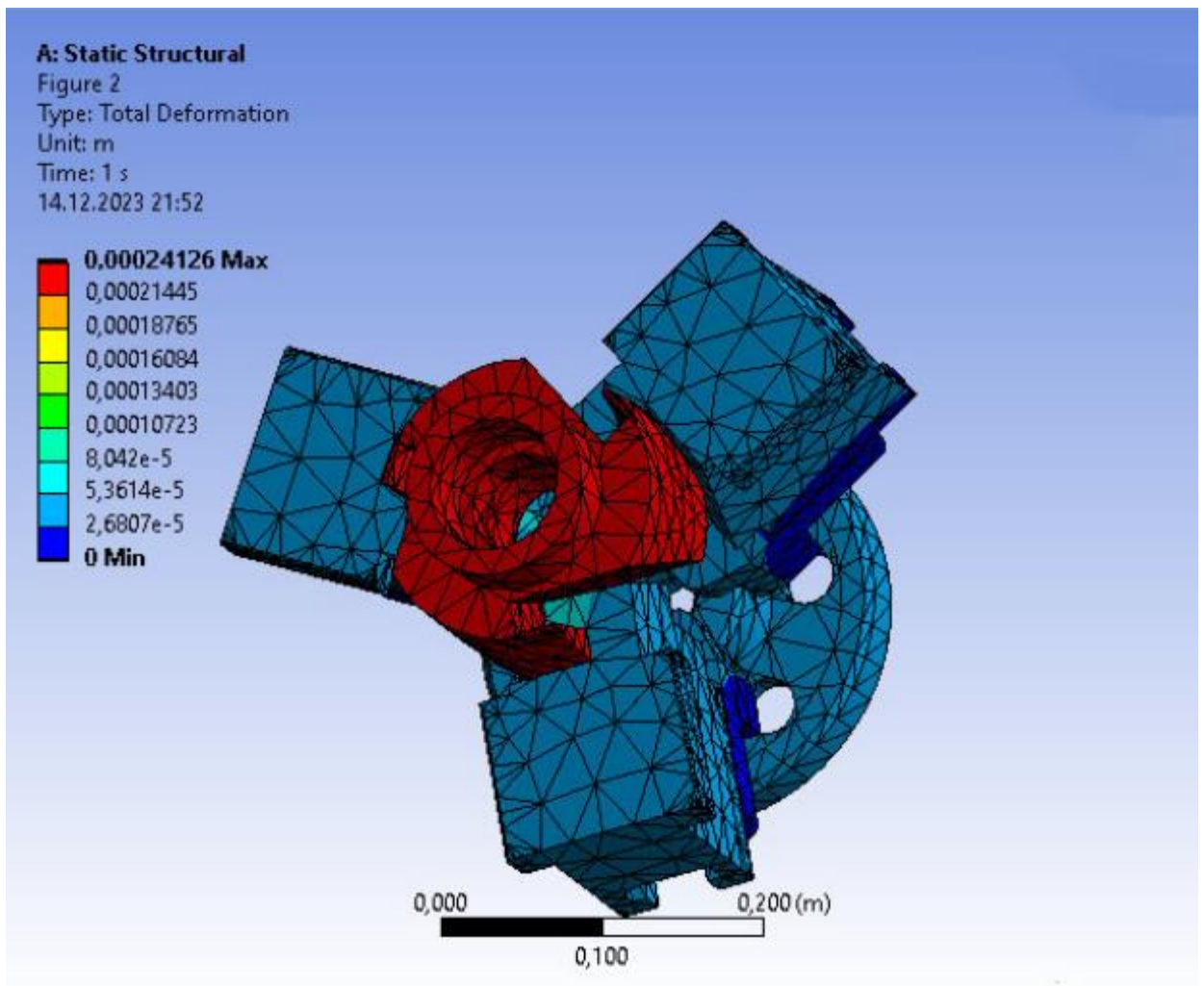


Рисунок 3.11 – Епюра переміщення системи (вид 2)



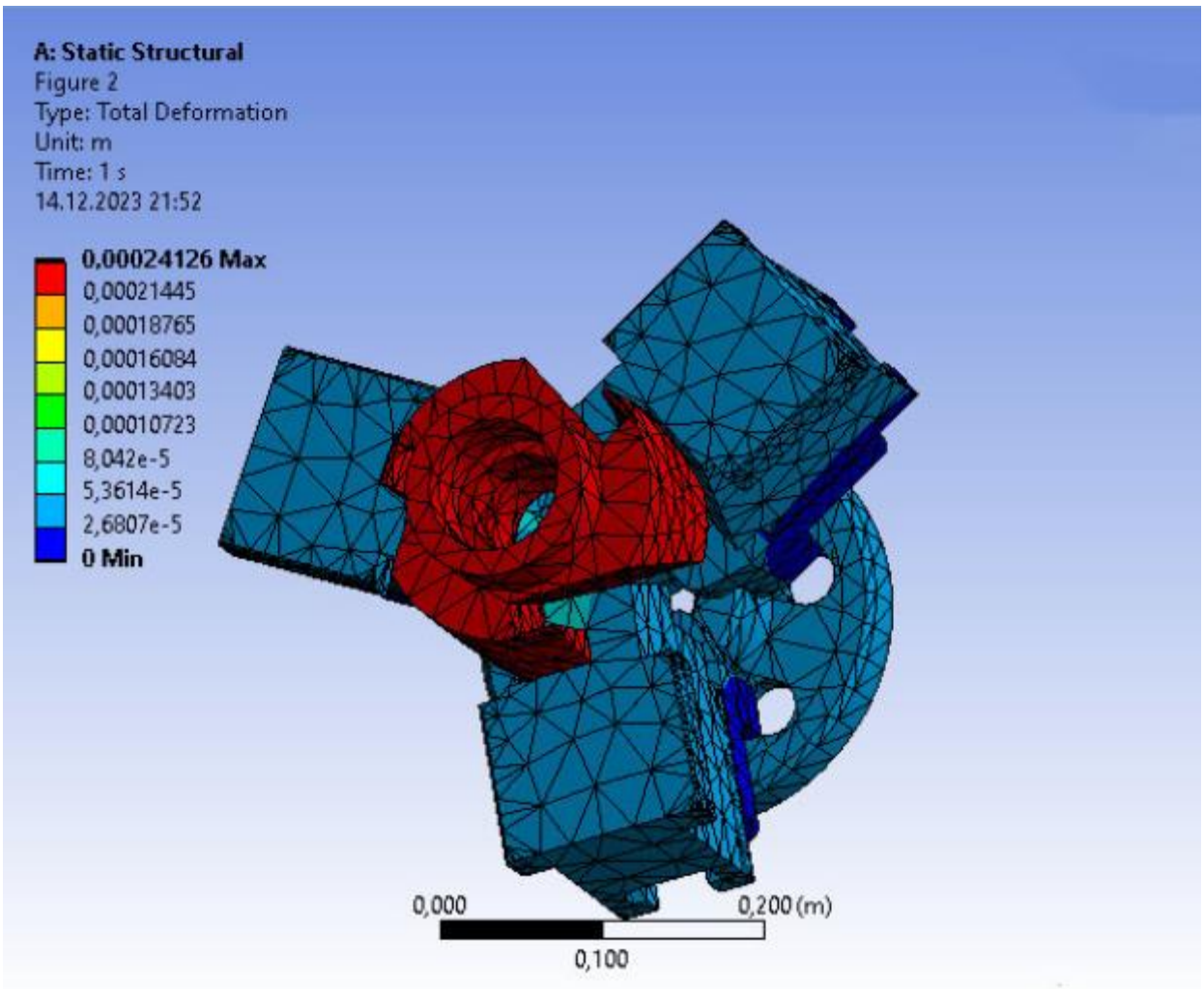


Рисунок 3.12 – Епюри внутрішніх напруг (вид 3)

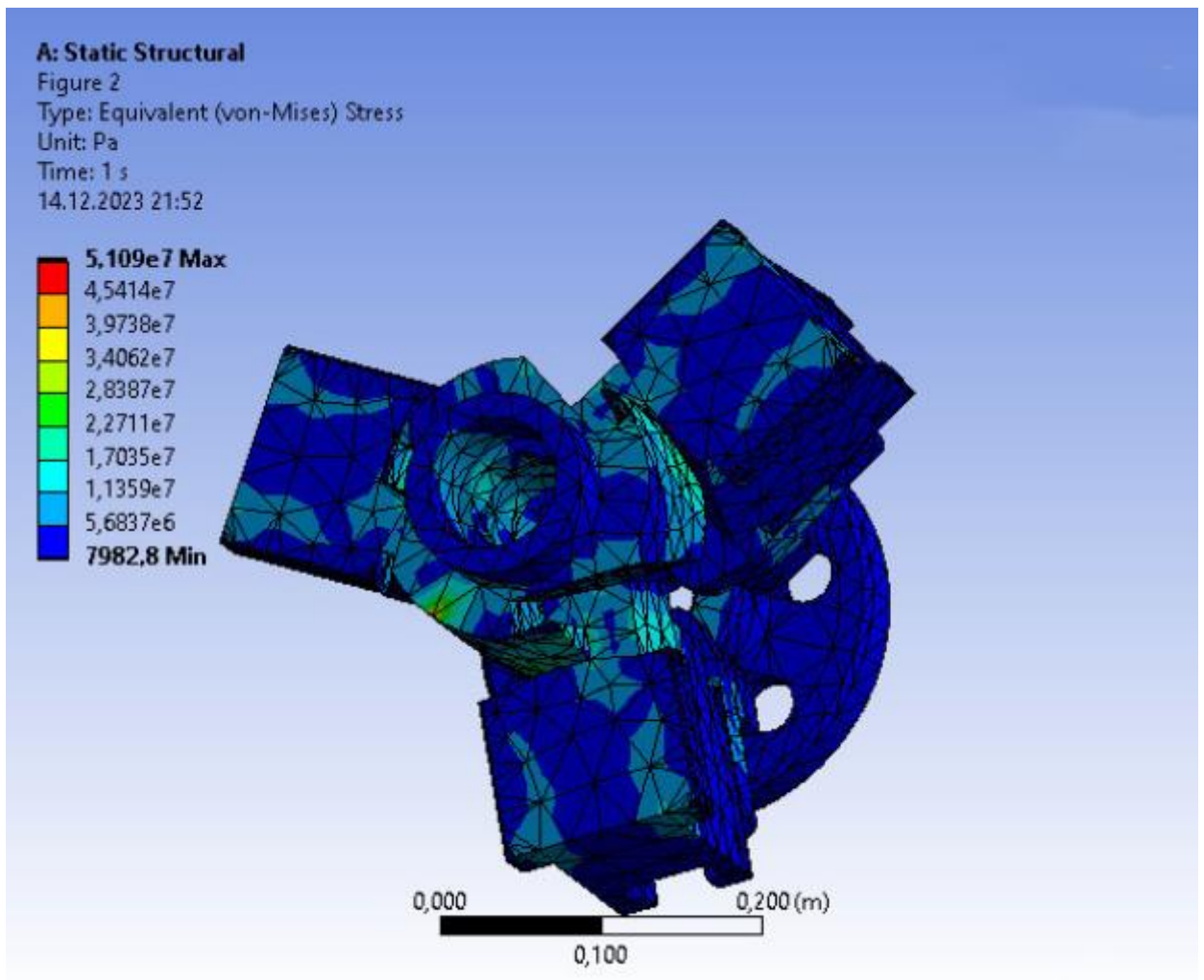


Рисунок 3.13 – Епюри внутрішніх напруг (вид 1)

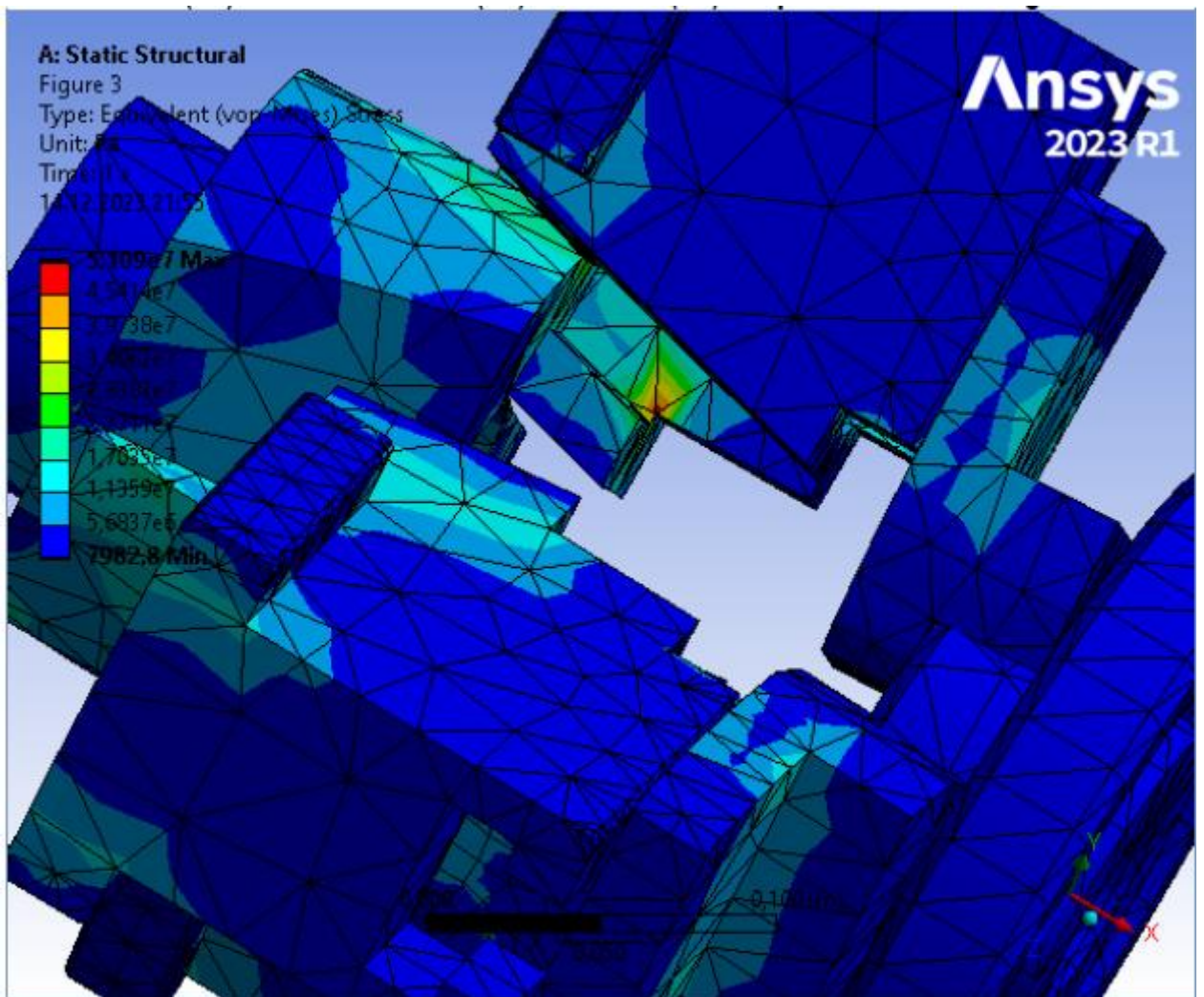


Рисунок 3.14 – Епюри внутрішніх напруг (вид 2)

Отже після проведених розрахунків епюр переміщення (Total Deformation) або переміщення системних елементів (див. рисунок 3.10, 3.11, 3.12) та внутрішніх напруг (Equivalent Stress) див. рисунок 3.13, 3.14, отримуємо розраховані дані.

З рисунків 3.10, 3.11, 3.12, максимального переміщення зазнає стакан, який слугую однією з головних деталей пристрою та становить 0,2 мм, що є дуже малим, та допустим значенням. При таких умовах положення заготовки під час обробки не змінне.

З рисунків 3.13, 3.14 отримуємо: внутрішні напруги досягають максимального рівню на бокових поверхнях стакану та становлять 51 МПа, що є не великою та допустимою величиною, бо не перевищує межі текучості матеріалу (250 МПа).

*Динамічний аналіз.* Щоб перевірити, чи можуть у досліджуваній конструкції виникнути резонансні явища, які характеризуються збільшенням амплітуди структурних коливань за умови, що частота деяких її вільних форм коливань збігається з частотою зовнішніх збурень, було проведено модальний аналіз структури системи «пристрій-заготовка». Модальний аналіз виконано з використанням модулю Modal Ansys Workbench. Добре відомо, що модальний аналіз конструкції може виявити її власні форми вібрації та відповідні частоти вібрації. Щоб виконати модальний аналіз системи «пристрій-заготовка», використаємо її твердотільну модель (див. рисунок 3.2). В якості граничних умов встановлюються типові властивості матеріалів елементів конструкції та жорстке закріплення основи поверхні корпусу пристрою.

Звідси отримуємо епюри деформації перших трьох форм власних вібрацій системи та відповідні частоти вібрації (див. рисунок 3.15, 3.16, 3.17).



**A: Modal**

Figure

Type: Total Deformation

Frequency: 1274, Hz

Unit: m

07.12.2023 20:07

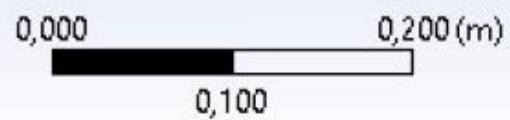
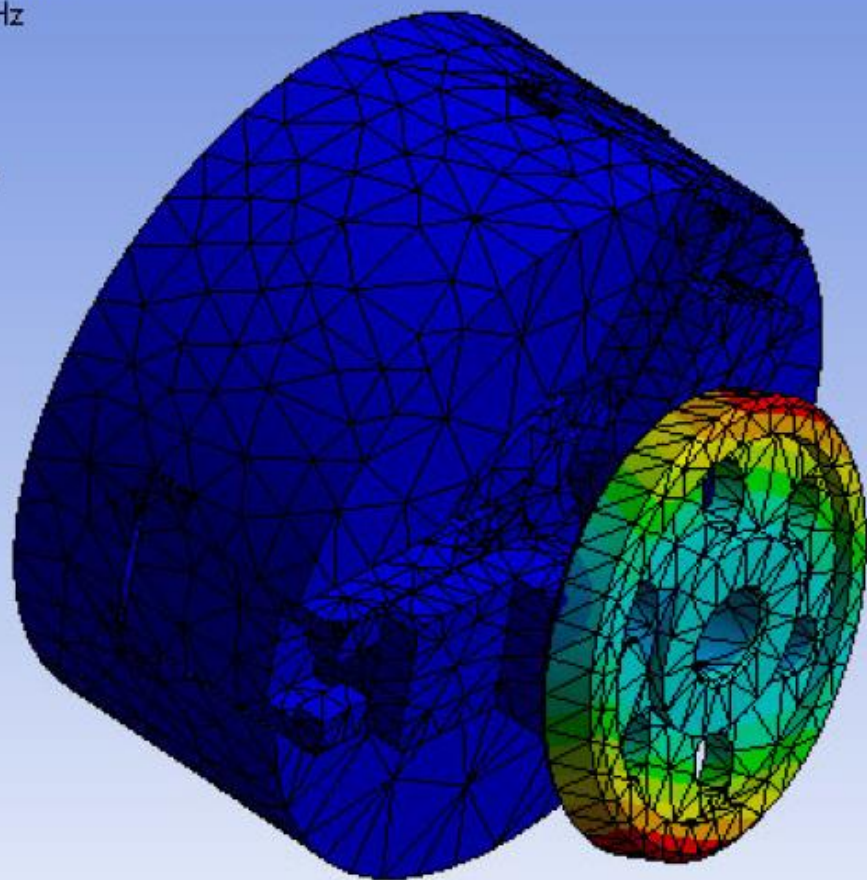


Рисунок 3.15 – Епюри 1-ї форми власних вібрацій системи

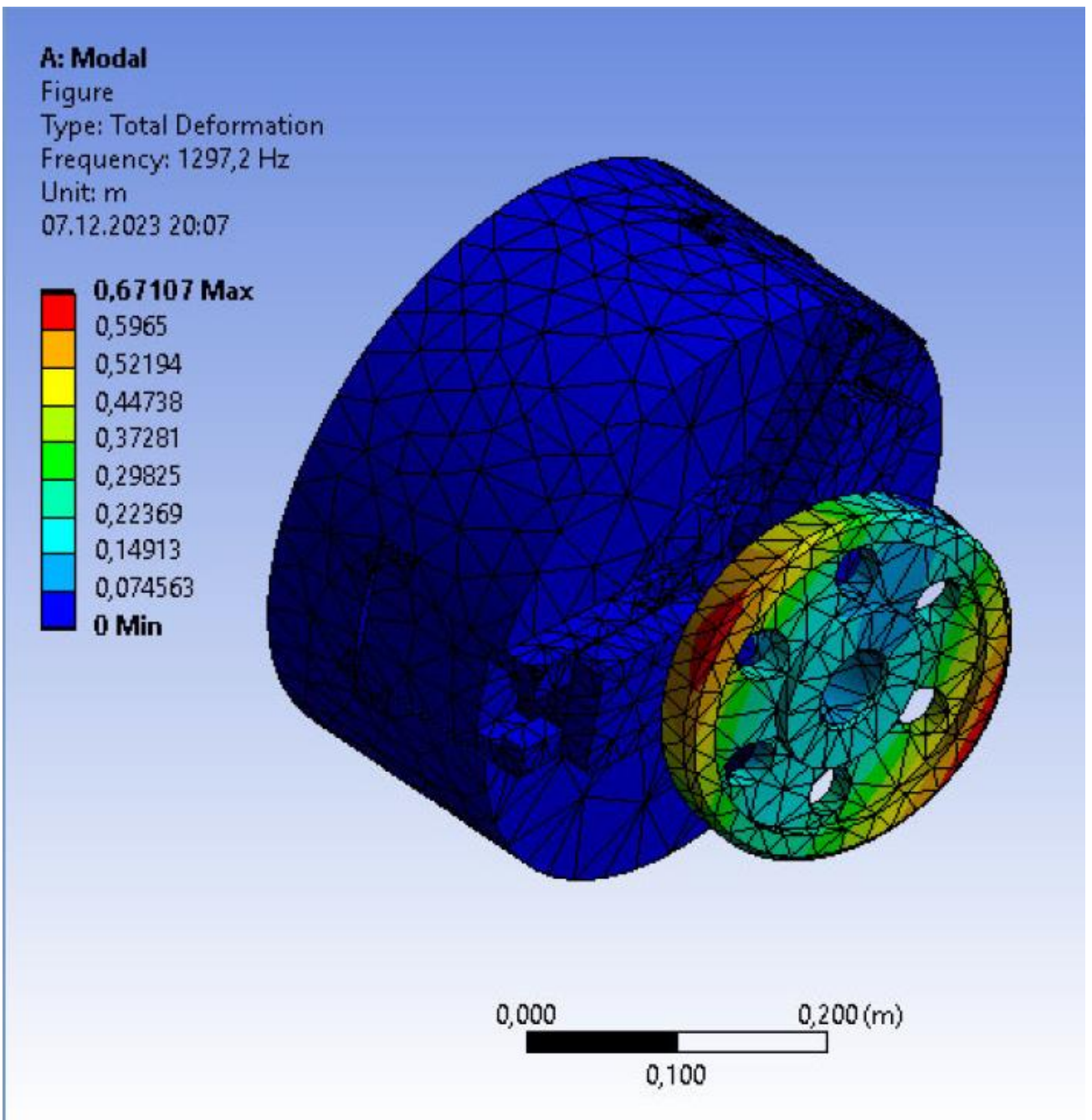


Рисунок 3.16 – Епюри 2-ї форми власних вібрацій системи

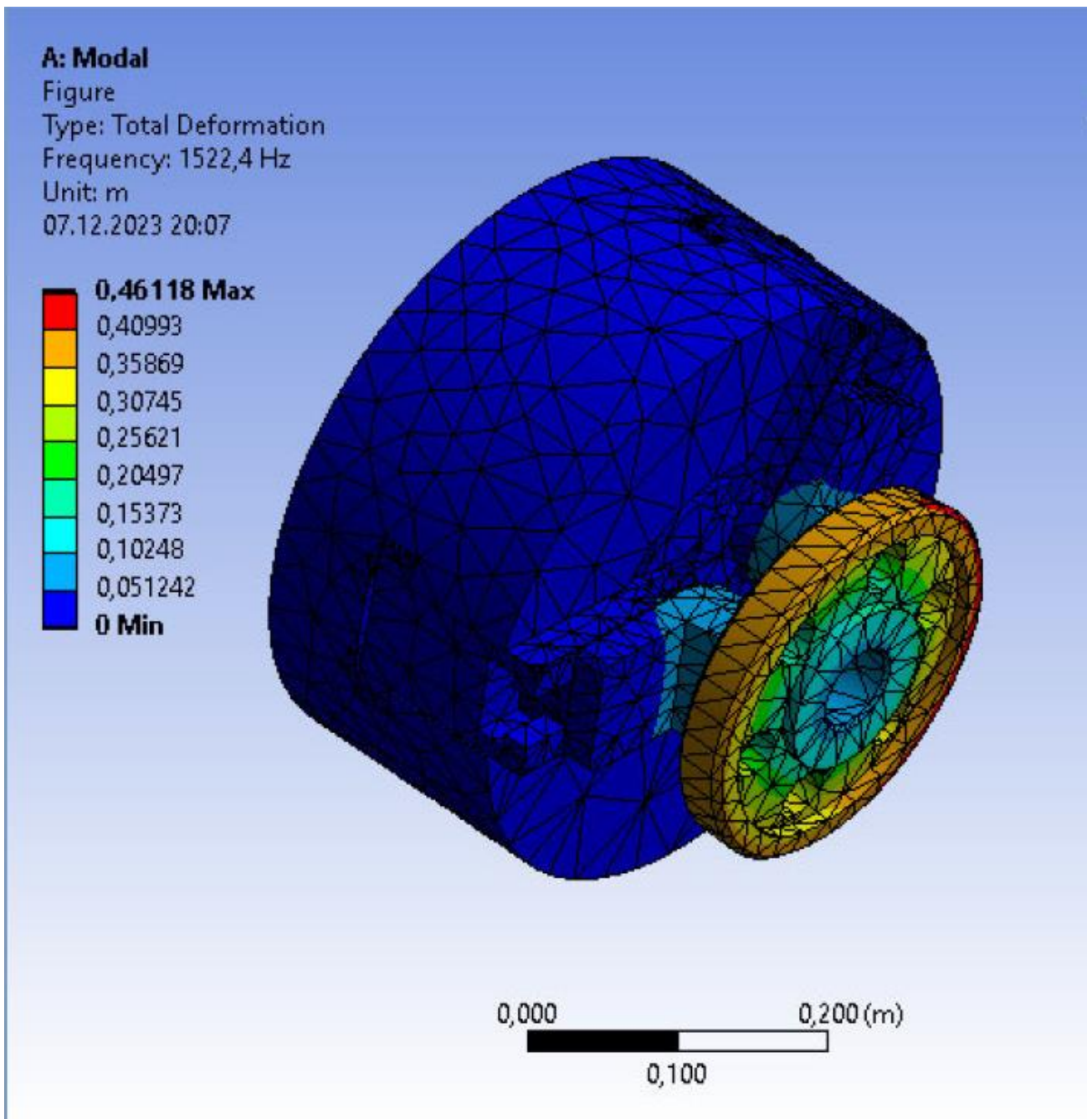


Рисунок 3.17 – Епюри 3-ї форми власних вібрацій системи

Перед тим як робити висновки відносно різних форм власних коливань системи треба зрозуміти які частоти вібрації діють на заготовку під час обробки. Для цього за формулою проведемо розрахунок кількості обертів фрези за секунду:

$$\frac{n}{60} = \frac{800}{60} = 13,3 \text{ об/с}$$

де  $n$  – кількість обертів фрези за хв.

Далі розрахуємо частоту коливань заготовки під час одночасного врізання 5-и зубів фрези:

$$13,3 \cdot 5 = 66,5 \text{ Гц}$$

5 – кількість зубців які одночасно врізаються в заготовку.

13,3 – частота обертів фрези за секунду.

Отже, роблячи висновки з рисунків 3.14, 3.15, 3.16 перша, друга та третя форми власних вібрацій відповідають коливанням заготовки під час обробки. Таким формам коливань відповідають частоти: 1-а форма 1274 Гц, 2-а форма 1297,2 Гц, 3-я форма 1522,4 Гц. З точки зору ймовірності резонансу, амплітуда таких частот коливань дуже висока порівняно з розрахованою, і не є небезпечною.

На рисунку 3.18 у виді діаграми зображено ряд частот власних коливань.

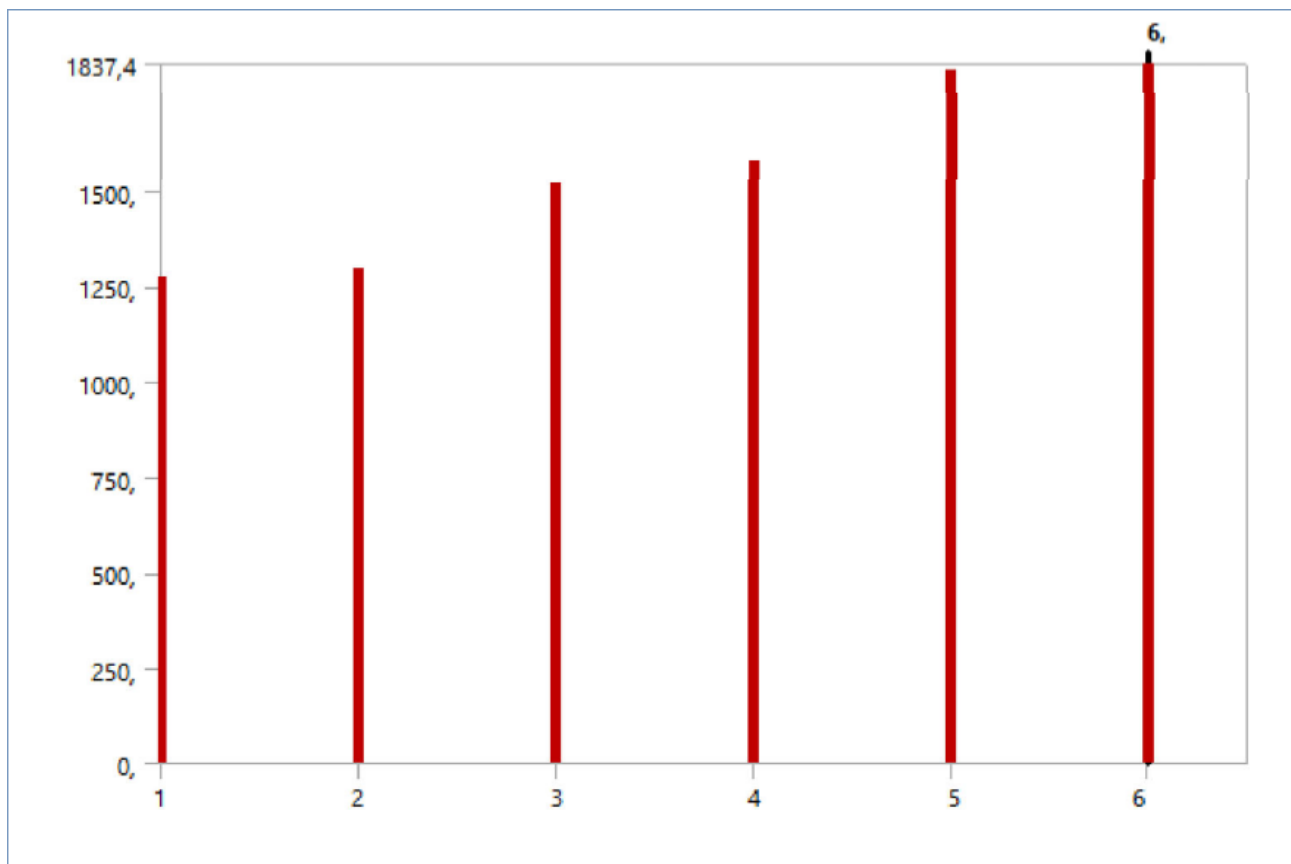


Рисунок 3.18 – Ряд частот власних форм коливань



### 3.3 Висновок

1. За результатами статичного аналізу системи «пристрій-заготовка» можемо зробити такі висновки. З рисунків 3.10, 3.11, 3.12, максимального переміщення зазнає стакан, який слугує однією з головних деталей пристрою та становить 0,2 мм, що є дуже малим, та допустим значенням. При таких умовах положення заготовки під час обробки є незмінним. За допомогою стакану з пневмоприводу передається сила, яка зводить кулачки та стискає деталь. Отже, переміщення стакану на 0,2 мм пояснюється його функціональним призначенням та не є високим значенням за прийнятих умов. З рисунків 3.13, 3.14 отримуємо: внутрішні напруження досягають максимального рівня на бокових поверхнях кулачків та становлять 51 МПа, що є не великою та допустимою величиною, бо не перевищує межі текучості матеріалу (250 МПа). Але, враховуючи те, що ці поверхні кулачків не впливають на точність базування та сили закріплення, слід зробити їх у формі галтелі (усунення концентраторів напружень), для забезпечення більшої міцності, та уникнення подальшого руйнування.

2. За результатами динамічного аналізу системи «пристрій-заготовка» можемо зробити такі висновки. З рисунків 3.14, 3.15, 3.16 перша, друга та третя форми власних коливань відповідають коливанням заготовки під час обробки. Таким формам коливань відповідають частоти: 1-а форма – 1274 Гц, 2-а форма – 1297,2 Гц, 3-я форма – 1522,4 Гц. Ймовірність резонансних явищ під час оброблення заготовки на зубофрезерній операції практично відсутня, оскільки усі три перші частоти власних коливань значно відрізняються від частоти робочого процесу (фрезерування), яка становить близько 67 Гц.

3. В результаті можна зробити такий висновок: спроектована в п. 2.6 цієї роботи конструкція токарного патрона є прийнятною та може бути рекомендована для впровадження в умовах діючого виробництва.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного аналізу базового технологічного процесу деталі «зубчасте колесо 6Т12.00.00.03», визначено недоліки щодо використання застарілого обладнання, та низький рівень використання засобів автоматизації та механізації. Сформульовано рекомендації стосовно вдосконалення перспективного технологічного процесу.

2. Спроектовано перспективний технологічний процес виготовлення деталі з урахуванням недоліків та рекомендацій відносно базового технологічного процесу.

3. Проведено статичний та динамічний аналіз моделі верстатного пристрою (системи «пристрій-заготовка») для базування та закріплення заготовки на зубофрезерній операції. За результатами дослідження можна зробити висновок про правильність прийнятих проєктних рішень та можливість використання запропонованої конструкції верстатного пристрою в умовах діючого виробництва.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / за ред. О.В. Горика. Харків, 2017. 448 с.
2. Громнюк С.І. Технологічне забезпечення якості нарізання зубчастих коліс радіально-коловим способом. Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2016. 175с.
3. Паливода Ю. Є. , Дячун А.Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник. Тернопіль, 2023. 148 с.
4. Бойко Ю. І., Литвиненко О. А. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. Київ: НУХТ, 2018. 195 с.
5. Паливода Ю. Є., Дячун А.Є., Лещук Р. Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
6. Ivanov, V., Dehtiarov, I., Evtuhov, A., Pavlenko, I., Ruban, A. (2021). Multiaxis Machining of Fork-Type Parts: Fixture Design and Numerical Simulation. In: Karabegović, I. (eds) New Technologies, Development and Application IV. NT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 233. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-75275-0_17)
7. Ivanov, V.; Botko, F.; Dehtiarov, I.; Kočiško, M.; Evtuhov, A.; Pavlenko, I.; Trojanowska, J. Development of Flexible Fixtures with Incomplete Locating: Connecting Rods Machining Case Study. *Machines* 2022, 10, 493.
8. Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. Опір матеріалів : підручник. Вища школа. 1993. 655 с.
9. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: навчальний посібник для студентів ВНЗ. Рекомендовано МОН. 2009. 380 с.
10. Дуб Я. І., Огирко І. В., Ясинський М. Ф. Напружено-деформований стан фото полімерних друк форм. Львів: ФМІ, 1987. 200 с.