

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 апарата, що направляє**

НЗ2.1300.007-03 шляхом інтенсифікації оброблення каналів на вертикально-

фрезерній з ЧПК операції

Здобувача групи

ТМ.м-21

(шифр групи)

Плис Віктора Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Віктор ПЛИС

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

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

(підпис)

Консультант
з питань охоро-
ни 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)

Суми – 2023

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

<i>Інститут, факультет</i>	<u><i>технічних систем та енергоефективних технологій</i></u>
<i>Кафедра</i>	<u><i>технології машинобудування, верстатів та інструментів</i></u>
<i>Освітньо-науковий рівень</i>	<u><i>другий (магістерський)</i></u>
<i>Спеціальність</i>	<u><i>131 «Прикладна механіка»</i></u>
	<i>(шифр і назва)</i>
<i>Освітня програма</i>	<u><i>«Технології машинобудування»</i></u>
	<i>(шифр і назва)</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

_____ Віталій ІВАНОВ

« » грудня 2023 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Плис Віктор Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення апарата, що направляє НЗ2.1300.007-03 шляхом інтенсифікації оброблення каналів на вертикально-фрезерній з ЧПК операції
керівник проєкту *Дегтярьов Іван Михайлович, к.т.н. доцент*

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «10» листопада 2023 року №1049-VI

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) «17» грудня 2023 року

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) _____

- Креслення деталі «Апарат, що направляє».

- Типовий технологічний процес виготовлення деталі апарат, що направляє.

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

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

3. Розробити конструкцію верстатного пристрою та виконати його дослідження

4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
ОП та БВНС	Фалько В.В. ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

6. Дата видачі завдання «25» вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вступ	25.09.2023	Виконано
2	1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.	10.09.2023	Виконано
3	2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.	15.10.2023	Виконано
4	3. Розробити конструкцію верстатного пристрою та виконати його дослідження.	27.11.2023	Виконано
5	4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	03.12.2023	Виконано
6	Висновки.	11.12.2023	Виконано
7	Оформлення роботи.	12.12.2023	Виконано
8	Оформлення слайдів у форматі Power Point	14.12.2023	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Віктор ПЛИС

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Іван ДЕГТЯРЬОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 60 сторінках, включає 24 рисунки, 11 таблиць, бібліографії із 31 джерела.

При виконанні механічної обробки деталей типу апарат, що направляє найбільш трудомістким є оброблення каналів. Оброблення каналів на фрезерних верстатах із застосуванням поворотного столу і синусної плити супроводжується низькою жорсткістю цієї конструкції, що вимагає великої кількості проходів. Також виникає необхідність перезакріплення оброблюваної деталі, оскільки її вихідне закріплення недостатнє для безперешкодної обробки усіх каналів через особливість конструкції самого апарату, що направляє. Підвищення продуктивності можна досягти зменшенням кількості проходів, але це неминуче призведе до збільшення глибини різання. При цьому зростуть сили різання, що буде супроводжуватись виникненням додаткових вібрацій. Характерний профіль каналів апаратів, що направляють забезпечує виконання ними службового призначення, проте саме цей геометричний елемент становить найбільші складнощі у процесі обробки.

Метою дослідження є вдосконалення технологічного процесу оброблення каналів апаратів, що направляють за рахунок розроблення прогресивного верстатного пристрою для обробки на вертикально-фрезерному верстаті з ЧПК.

Об'єкт дослідження: технологічний процес оброблення апарата, що направляє.

Предмет дослідження: верстатний пристрій для установа апарата, що направляє на вертикально-фрезерній з ЧПК операції.

Наукова новизна: за допомогою методик проведення інженерного аналізу та досліджень розроблено та теоретично перевірено конструкцію спеціального верстатного пристрою для оброблення каналів апарату, що направляє кінцевою фрезою на вертикально-фрезерному верстаті із ЧПК. Встановлено величини напружень та переміщень, а також частоти власних коливань чисельними методами.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, АПАРАТ, ЩО НАПРАВЛЯЄ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ, КАНАВКИ.

ABSTRACT

The explanatory note is made on 60 pages, includes 24 drawings, 11 tables, bibliography from 31 sources.

When performing mechanical processing of parts such as the device that directs, the most time-consuming is the processing of channels. The processing of channels on milling machines using a rotary table and a sine plate is accompanied by the low rigidity of this design, which requires a large number of passes. There is also a need to re-fix the processed part, since its original fixing is insufficient for smooth processing of all channels due to the design feature of the guiding device itself. An increase in productivity can be achieved by reducing the number of passes, but this will inevitably lead to an increase in the depth of cut. At the same time, the cutting forces will increase, which will be accompanied by the appearance of additional vibrations. The characteristic profile of the channels of the directing devices ensures that they fulfill their official purpose, but this geometric element is the most difficult in the processing process.

The purpose of the study is to improve the technological process of processing the channels of the directing devices due to the development of a progressive machine tool for processing on a vertical milling machine with CNC.

Object of research: the technological process of processing the directing device.

The subject of the study: a machine tool for setting up a device that directs a vertical milling operation from a CNC machine.

Scientific novelty: with the help of methods of engineering analysis and research, the design of a special machine tool for processing the channels of the device, which directs the end mill on a vertical milling machine with CNC, was developed and theoretically verified. The magnitudes of stresses and displacements, as well as the frequency of natural oscillations, were determined by numerical methods.

TECHNOLOGICAL PROCESS, APPARATUS THAT DIRECTS, PRODUCTIVITY, MACHINE DEVICE, GROOVES.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
Розділ 1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі	9
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації	9
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	10
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва.....	11
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	12
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	13
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	14
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	16
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	16
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки	17
2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення	20
2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	23
2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів	24
2.6 Розрахунок режимів різання	25
2.7 Проектування засобів технологічного оснащення	30
2.8 Висновки	40
Розділ 3 Наукове дослідження	42
3.1 Аналіз стану досліджень у галузі розроблення верстатних пристроїв.....	42
3.2 Розроблення 3d моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерне дослідження методом скінчено-елементного аналізу	45
3.3 Висновок	53
Висновки	55
Список джерел посилань	57

ВСТУП

Актуальність теми

Машинобудівна галузь впливає на розвиток всіх сфер економіки та визначає технічний прогрес країни та суспільства. На виробничих підприємствах активно ведеться пошук шляхів підвищення продуктивності праці, що виявляється у впровадженні новітніх та більш ефективних технологічних процесів. Одним із ключових аспектів є постійна робота над зменшенням основного та допоміжного часу на кожному етапі виробничого процесу для підвищення загальної продуктивності.

Мінімізація часу оброблення полягає в оптимізації етапів або компонентів процесу, на які витрачається значно більше часу, ніж на інші переходи в межах тієї ж операції. Основною метою є пошук та усунення так званих "вузьких місць", тобто переходів на яких витрачається багато часу.

Оброблення каналів на фрезерних верстатах із застосуванням поворотного столу і синусної плити супроводжується низькою жорсткістю цієї конструкції, що вимагає великої кількості проходів. Також виникає необхідність перезакріплення оброблюваної деталі, оскільки її вихідне закріплення недостатнє для безперешкодної обробки усіх каналів через особливість конструкції самого апарату, що направляє. Підвищення продуктивності можна досягти зменшенням кількості проходів, але це неминуче призведе до збільшення глибини різання. При цьому зростуть сили різання, що буде супроводжуватись виникненням додаткових вібрацій. Характерний профіль каналів апаратів, що направляють забезпечує виконання ними службового призначення, проте саме цей геометричний елемент становить найбільші складнощі у процесі обробки.

Тому для підвищення конкурентоздатності продукції, що випускається на підприємствах України актуальним завданням є зниження собівартості та підвищення продуктивності оброблення деталей типу апарат, що направляє, що містять канали специфічної форми.

Впровадження нових підходів у обробленні є одним зі шляхів підвищення продуктивності та зниження собівартості обробки. Основна метою є забезпечення

максимальної жорсткості за рахунок верстатного пристрою і застосування фрезерних верстатів з ЧПК. Основною задачею пристрою повинне бути забезпечення надійності і жорсткості при фрезерному обробленні з великими глибинами різання. Розроблення та дослідження на точність, міцність і жорсткість верстатного пристрою для оброблення каналів при максимальному зломі метала за одиницю часу являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу оброблення каналів апаратів, що направляють за рахунок розроблення прогресивного верстатного пристрою для обробки на фрезерному верстаті з ЧПК.

Об'єкт дослідження: технологічний процес оброблення апарата, що направляє.

Предмет дослідження: верстатний пристрій для установа апарата, що направляє на фрезерній з ЧПК операції.

Методи дослідження. Результати дослідження ґрунтуються на теоретичних засадах машинобудування, теорії різання, різальних інструментів та чисельного моделювання. Крім того, для виконання роботи використовувалось комп'ютерне моделювання в середовищі SolidWorks.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра. Результати даної роботи впроваджено у науково-дослідній роботі за фінансуванням МОН України ДР № 51.20.01-23/25.ЗП-01. Виконана доповідь на Міжнародній науково-технічній конференції «Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні» м. Одеса, Україна в режимі онлайн.

Публікації. Плис В.С. Удосконалення технологічного процесу виготовлення апарата, що направляє, шляхом інтенсифікації оброблення каналів на вертикально-фрезерній з ЧПК операції. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Одеса, 6-7 грудня 2023 р. – Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2023. – 270 с.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи становить 100 сторінок.

ліфікаційної роботи магістра становить 60 сторінок, у тому числі 24 рисунки, 11 таблиць, бібліографії із 31 джерела на чотирьох сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Деталь «Апарат, що направляє» НЗ2.1300.007-03, креслення якої наведено в додатку А, що запропонована для кваліфікаційної роботи є однією з найважливіших деталей насоса ЦН 35/410 і входить до складу гідродинамічного вузла насосу.

Насос типу ЦН 35/400 – відцентровий, секційний, шести-ступінчатий, призначений для перекачування діхлоретану на виробництві «хлорвінілу». Принцип роботи насоса полягає в наступному: робоча рідина при визначеному тиску через усмоктувальний патрубок потрапляє в робоче колесо, де за рахунок поля відцентрових сил одержує визначену енергію тиску й енергію швидкості. Після чого рідина поступає в апарат, що направляє, який призначений для часткового перетворення енергії швидкості в енергію тиску, підведення рідини до робочого колеса наступної ступені і далі. Після направляючого апарата останньої ступені рідина потрапляє в напірний патрубок.

Гідродинамічний вузол насосу важливий для оптимізації руху рідини, зменшення втрат тиску, уникнення кавітації, налаштування гідродинамічного профілю та забезпечення стабільності роботи насосу. Його призначення - забезпечити ефективну та надійну роботу насосної системи.

Деталь «Апарат, що направляє» призначена для направлення потоку робочого середовища (в нашому випадку діхлоретану) у відповідному напрямку для забезпечення оптимального функціонування насосу. Апарат, що направляє включає канали, які направляють рух рідини так, щоб забезпечити ефективний вхід робочого середовища у насос і підвищити його продуктивність. Це важливий компонент гідродинамічного вузла, який допомагає оптимізувати роботу насосу та забезпечує його ефективне функціонування в системі перекачування рідини.

Конструктивними особливостями деталі можна вважати шість каналів, які мають складний профіль.

Деталь при під час роботи зазнає дії відцентрових сил, гідродинамічного опору, а також активних навантажень зносу та тертя.

Деталь встановлена в насосі, який виготовлений у кліматичному виконанні "УХЛ" (Для мікрокліматичних районів з помірним і холодним кліматом) категорії розміщення 2 (для експлуатації під навісом або у приміщеннях, де коливання температури й вологості повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі і є порівняно вільний доступ зовнішнього повітря, наприклад, у наметах, кузовах, причепах, металевих приміщеннях без теплоізоляції) згідно ГОСТ 15150-69.

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

Дана деталь «Апарат, що направляє» НЗ2.1300.007-03 відноситься до деталей типу дисків, так як відношення $l/d < 1$ ($44/290 < 1$). Деталь сама по собі не є достатньо жорсткою, так як має досить невелику товщину стінок в районі поверхонь закріплення, тобто може деформуватися під дією сил закріплення (наприклад, притискними пластинами). Для використання більш інтенсивних режимів обробки на чорнових операціях необхідно закріпити деталь максимально запобігаючи деформаціям, але при цьому досить жорстко.

Матеріал деталі – корозійностійка сталь 20Х13 ДСТУ 5632-2016, яка є важкооброблюваним матеріалом, відзначається складністю обробки, що вимагає використання інструментів із високим ресурсом стійкості для досягнення оптимальних швидкостей різання. Цей матеріал також досить пластичний і в'язкий, що вимагає використання різальних інструментів із великими передніми кутами та малим радіусом при вершині.

Для проведення аналізу в даному пункті розглянемо поверхні каналів апарату, зокрема радіуси R125 і R62, які мають шорсткість за критерієм Ra 3,2 мкм. Ці радіуси призначені для направлення рідини в нагнітальний трубопровід через секцію, що здійснюється наявністю шести каналів, і для

забезпечення службового призначення деталі загалом вимоги до поверхні обґрунтовані.

До цієї поверхні не застосовується особливих вимог щодо точності форми і розташування, але, звісно, велика розбіжність у позиційному розташуванні каналів не допускається, так як це може привести до коливань напору в нагнітальному трубопроводі.

З урахуванням складності конфігурації каналів та їх розташування, оптимальним рішенням є використання фрезерного верстату з ЧПК або обробного центру для їх оброблення, але при цьому треба виконати раціональне оптимальне розміщення заготовки, щоб забезпечити високу точність, ефективність та раціональність виробничого процесу.

Загалом, креслення відповідає всім вимогам ЄСКД. На ньому присутня достатня кількість видів і перерізів для розуміння форми деталі та особливостей її виготовлення, а також наведені всі необхідні розміри.

1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається за стандартом ГОСТ 3.1108-74 за допомогою коефіцієнта закріплення операцій $K_{з.о.}$.

Розрахуємо коефіцієнт $K_{з.о.}$ використовуючи ЕОМ. У якості початкових даних використаємо норми часу з виготовлення деталі за базовим технологічним процесом на конкретних операціях (табл. 1.1). Час, вказаний у таблиці, лише для механічних операцій. Річний обсяг виробництва – 300 штук.

Таблиця 1.1 – Дані з базового технологічного процесу виготовлення деталі

Номер операції	Найменування операції	Штучно-калькуляційний час, хв
040	Токарна	20
050	Шліфувальна	5
060	Фрезерна	40
065	Фрезерна	30
090	Токарна	10

Результати розрахунку, наведені в додатку Б, показують, що $K_{3.0} = 37$, отже, тип виробництва – дрібносерійний, і доцільно обрати групову форму організації робіт.

У груповій формі організації робіт відзначається обробка заготовок відбувається невеликими партіями, заготовками в основному є прокат і поковки, рідше штампування і лиття. Використовується спеціалізоване і універсальне устаткування. Зазвичай використовуються універсальні верстати, але досить широко використовуються і верстати з ЧПК. Устаткування розташовується відповідно до технологічних груп. Різальний та вимірювальний інструмент використовують як стандартний, так і спеціалізований.

Кваліфікація робітників при такому типі виробництва значно вища, ніж при масовому виробництві, але нижча за середню кваліфікацію робітників при одиничному виробництві.

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

В цьому пункті виконаємо аналіз технологічності деталі «Апарат, що направляє» НЗ2.1300.007-03 в рамках нашого наукового дослідження. Розглянемо наступні пункти аналізу технологічності оброблення шести торцевих каналів апарату:

– матеріал деталі. Апарат, що направляє виготовлений з корозійностійкої сталі марки 20Х13 згідно ДСТУ 5632-2016. Так як матеріал легований 13% хрому, то він дуже складний в оброблюванні і потребує використання інструментів зі спеціальним покриттям і зміну режимів оброблення в сторону їх зменшення, що нетехнологічно. Силкові фактори дуже важливі під час оброблення і вимагають використання більш потужних верстатів для досягнення максимальної ефективності;

– технологічність геометричних форм поверхонь. Оброблення шести каналів може бути виконане стандартними кінцевими фрезами, що в цілому є технологічним, однак для забезпечення зняття максимальних припусків за мінімум проходів необхідно використовувати фрезерний верстат із ЧПК досить великої поту-

жності. Неможливість застосування стандартних циклів при написанні керуючої програми робить деталь нетехнологічною за цим показником;

– проставлення розмірів. Щодо розмірів каналів, то на кресленні достатня кількість розмірів, але для можливості написання програми оператором безпосередньо на верстаті з ЧПК на самому кресленні варто було б зробити окремий вивносний елемент всіх каналів з проставленням координат опорних точок профілю. Також на кресленні вказано захід на обробку каналу $\varnothing 11$ мм, що вимагає обробки фрезою $\varnothing 10$ мм за два проходи, що теж нетехнологічно, але поряд стоїть розмір мінімальної ширини каналу 12,5 мм, тому можна застосувати фрезу діаметром 12 мм, що буде більш продуктивно.

– правильність обґрунтування прийнятих значень граничних відхилень. На поверхнях каналів не проставлені граничні відхилення, відповідно допуски на ці поверхні за 14-м квалітетом. Це вимагає лише один етап обробки, що в свою чергу характеризує технологічність деталі.

1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Будемо виконувати даний пункт на основі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність етапів механічної обробки відповідає загальноприйнятим критеріям побудови технологічного процесу виготовлення деталей такого типу, проте він має свої недоліки, які слід врахувати.

Розглянемо недоліки типового технологічного процесу оброблення каналів деталі більш детально.

В базовому технологічному процесі оброблення каналів здійснювалось на вертикально-фрезерному верстаті моделі 6P13 із застосуванням поворотного столу і синусної плити. Таким чином, деталь встановлювалась горизонтально на стіл з ексцентриситетом до осі його обертання і оберталась, а також рухалась разом зі столом верстата у процесі різання. Також для здійснення обробки скосу каналу апарат разом із поворотним столом встановлювались під необхідним кутом за допомогою синусної плити. Це все займало дуже багато часу, аж 105 хвилин, за типовим технологічним процесом виготовлення, через те, що при даній схемі уста-

новлення не вистачало жорсткості технологічній системі, а саме верстатному пристрою, адже поворотний стіл і синусна плита хоча і розраховані на такий вид обробки, але при цьому суттєво втрачається жорсткість плюс виникає необхідність перезакріплення заготовки. Через наявність вібрацій під час оброблення неможливо застосовувати прогресивні різальні інструменти із твердого сплаву. Верстат 6P13 також є морально застарілим з повільним як для сьогодення переміщенням робочих органів, малою жорсткістю та зношеністю враховуючи його вік.

З урахуванням усіх факторів, що не дозволяють здійснювати прогресивну обробку деталі, пропонується використовувати фрезерний верстат з ЧПК вертикального компоновання, при цьому під час оброблення заготовка буде розміщуватись горизонтально у спеціальному верстатному пристрої з пневматичним приводом для зменшення консольності і вібрацій в процесі оброблення, що в свою чергу також зменшить час на установку заготовки. Зменшення вібрацій під час оброблення дає нам змогу використовувати фрези зі спеціальним покриттям, що підвищить загальну продуктивність, якість і точність оброблення за рахунок підвищення періоду стійкості інструменту і дасть нам змогу збільшити швидкість і глибину різання.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

Враховуючи результати проведеного аналізу у попередніх етапах, можна сформулювати проміжні висновки стосовно існуючої ситуації у технологічному процесі оброблення шести каналів на торці деталі апарат, що направляє для переходу до виконання наступного розділу:

- в базовому технологічному процесі використовуються застарілі верстати і верстані пристрої, а також вимірювальні і різальні інструменти;
- деталь виготовлена з корозійностійкої сталі, тому є певні обмеження при виборі режимів оброблення;
- схему встановлення та закріплення деталі, що використовується в базовому технологічному процесі, можна вважати нераціональною, бо вона не забезпечує необхідну жорсткість системи.

Враховуючи тип виробництва і перелічені вище недоліки пропоную наступне:

- використовувати фрезерний верстат з ЧПК вертикального компонування з можливістю доукомплектування поворотним столом для оброблення каналів, а також можливості виготовлення інших виробів при дрібносерійному типі виробництва;

- змінити схему базування і закріплення заготовки при обробці;

- спроектувати спеціальний верстатний пристрій з пневматичним приводом, на якому заготовка буде розташовуватись горизонтально і оброблюватись без перезакріплення з одного установа;

- використовувати фрези зі спеціальним покриттям для оброблення корозійностійких сталей;

- використовувати шаблони для контролю геометричної форми каналів.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Виконання даного етапу базується на знаннях типових маршрутів обробки поверхонь чи груп поверхонь.

Потрібно визначитись з принципом подальшого проєктування, так як досить часто переходи, які не можна виконати за один установ, зводять до укрупнених операцій.

Враховуючи рекомендації [1], спроектуємо декілька різних технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний.

Маршрут №1:

005 Заготівельна

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова. Чорнове точіння

020 Токарна чистова. Чистове точіння

025 Шліфувальна

030 Вертикально-фрезерна

035 Вертикально-фрезерна

040 Слюсарна

Маршрут №2:

005 Заготівельна

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова. Чорнове точіння

020 Вертикально-фрезерна

025 Токарна чистова. Чистове точіння

030 Вертикально-фрезерна

035 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова. Чорнове точіння

020 Вертикально-фрезерна з ЧПК. Фрезерування каналів

025 Слюсарна.

030 Токарна чистова. Чистове точіння

Аналізуючи три варіанти можна зробити висновок, що маршрут №3 найбільш раціональний з точки зору виготовлення деталі, так як перші два не враховували конфігурацію деталі і складність обробки, а також маршрут №3 найбільш компактний, що і є ознакою дрібносерійного типу виробництва.

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

В цьому пункті розглянемо основні способи отримання заготовки, які підходять для нашої деталі, і визначимо найбільш ефективний. Враховуючи те, що деталь не є тілом обертання і встановлена в гідродинамічному вузлі насосу стаціонарно, то немає дуже жорстких вимог до способу отримання заготовки. Найбільш простими і ефективними способами є отримання заготовки з прокату або куванням на молотах.

Розглянемо перший варіант отримання заготовки з прокату, як це відбувається при одиничному виробництві в базовому техпроцесі. Заготовка має розміри $\varnothing 300$ мм, товщина 60 мм, при цьому маса заготовки складає 32,5 кг. Попередньо заготовка обточується на чорновій токарній операції, вирізається центральна частина заготовки $\varnothing 200$ мм, залишається заготовки типу «кільце» з припусками на діаметральні та лінійні розміри 4 ± 1 мм.

Другим варіантом розглянемо спосіб отримання заготовки вільним куванням на молотах. Даний метод є більш точним, тому що форма і розміри максима-

льно наближені до геометричних розмірів, тобто треба знімати набагато меншу кількість матеріалу, що в свою чергу економить час і ресурси.

Розрахуємо розміри заготовки за другим варіантом її отримання і визначимо масу.

Тип поковки – кільце розкатне [ГОСТ 7829-70], так як $H < D$, $d > 0,5D$.

Згідно [16] визначимо припуски і граничні відхилення:

- на діаметр $D=290$ мм припуск 12 мм, граничні відхилення ± 3 мм;
- на діаметр $d=210$ мм припуск 16 мм, граничні відхилення ± 3 мм;
- на лінійний розмір $H=44$ мм припуск 8 мм, граничні відхилення ± 2 мм.

Згідно [16] визначимо допускаємий ковочний ухил:

- для зовнішніх поверхонь 1:20, отже $- 5^\circ$;
- для внутрішніх поверхонь аналогічно $- 5^\circ$.

Розрахуємо розміри поковки:

$$D = 290 + 12 = 302 \pm 3 \text{ мм};$$

$$d = 210 - 16 = 194 \pm 3 \text{ мм};$$

$$H = 44 + 8 = 52 \pm 2 \text{ мм}.$$

Для розрахунку маси заготовки була побудована 3D модель за визначеними згідно [16] параметрами із заданим матеріалом. Маса розрахованої заготовки складає 16,77 кг.

Розрахуємо вартість заготовок для двох варіантів.

Спочатку розрахуємо вартість заготовки, отриманої з прокату, за формулою:

$$S_{\text{заг1}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q_2 \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн.} \quad (2.1)$$

де $C_i = 120000$ грн. – ціна 1 т прокату;

$Q_2 = 32,5$ кг – маса заготовки в базовому технологічному процесі;

$k_T = 1$ – коефіцієнт, який залежить від точності заготовки;

$k_M = 1,79$ – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу (сталь 20X13);

$k_C = 0,9$ – коефіцієнт, який залежить від групи складності (II група);

$k_B = 0,75$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки (сталь 20X13);

$k_{II} = 1$ – коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва;

$q = 4,79$ кг – маса готової деталі;

$S_{відх} = 16000$ грн. – ціна 1т відходів.

$$S_{зар1} = \left(\frac{120000}{1000} \cdot 32,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 1,79 \cdot 1 \right) - (32,5 - 4,79) \cdot \frac{16000}{1000} = 4268,815 \approx 4269 \text{ грн.}$$

$$K_{M1} = \frac{4,79}{32,5} = 0,147.$$

Розрахуємо вартість заготовки, одержаної вільним куванням на молотах.

Вартість штампованої заготовки визначаємо за формулою 2.3:

де $C_i = 190000$ грн. – ціна 1т поковок;

$Q_2 = 16,77$ кг – маса поковки;

$k_T = 1$ – коефіцієнт, який залежить від точності заготовки;

$k_M = 1,79$ – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу (сталь 20X13);

$k_c = 0,9$ – коефіцієнт, який залежить від групи складності (II група);

$k_B = 0,75$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу заготовки (сталь 20X13);

$k_{II} = 1$ – коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва;

$$S_{зар1} = \left(\frac{190000}{1000} \cdot 16,77 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,8 \cdot 1,79 \cdot 1 \right) - (16,77 - 4,79) \cdot \frac{16000}{1000} = 1214,82 \approx 1215 \text{ грн.}$$

$$K_{M2} = \frac{4,79}{16,77} = 0,286.$$

Якщо порівняти ці два варіанти отримання заготовки, то неозброєним оком видно, що маса поковки (другий варіант отримання заготовки) значно менша, ніж маса прокату (перший, базовий варіант отримання заготовки), вартість заготовки також в рази нижча при її отриманні вільним куванням на молотах, а коефіцієнт використання матеріалу майже в 2 рази вищий.

З розрахунків видно, що використання заготовки отриманої вільним куванням на молотах набагато вигідніше в умовах дрібносерійного виробництва, ніж використання заготовки, одержаної з прокату. Не має сенсу проводити розрахунок вартості чорнової обробки заготовки з прокату, так як вона суттєвого не вплине

на собівартість виготовлення деталі, а вартість заготовки отриманої вільним куванням на молотах в 3,5 рази нижча вартості заготовки з прокату.

Таким чином, в якості заготовки для деталі «Апарат, що направляє» НЗ2.1300.007-03 обираємо заготовку, отриману вільним куванням на молотах.

Сформуємо технічні вимоги для креслення заготовки:

1. Поковка Гр. II (III) 20Х13 НВ 197-235 ГОСТ 8479-70.
2. Незазначені радіуси заокруглень – $R 4...6$ мм.
3. Допустимий ковочний ухил – 5° .
4. Маркувати номер замовлення, номер позиції шрифтом 5 ГОСТ 2930-62.
5. Шорсткість поверхонь поковки $Ra 100$ мкм.

На рисунку 2.1 представлено ескіз заготовки.

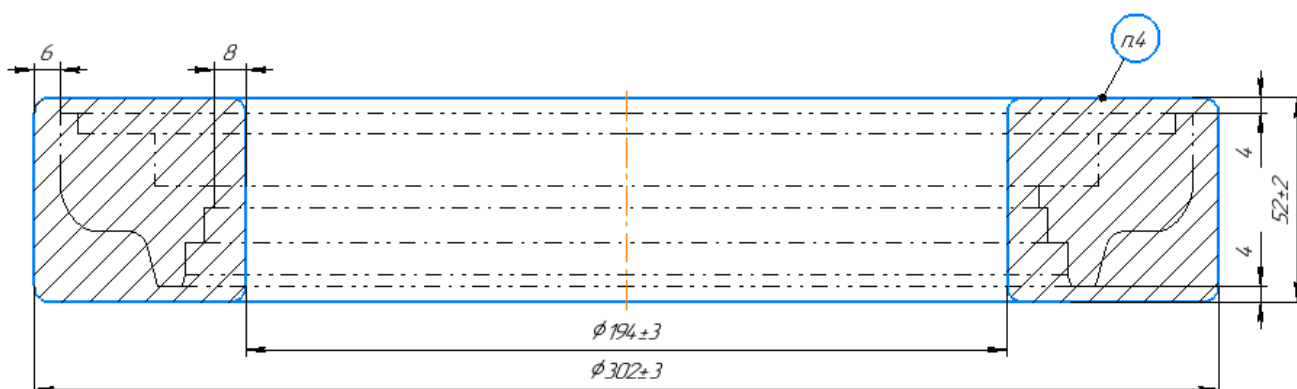


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

В даному пункті магістерської роботи розглянемо операцію 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК технологічного процесу, на яку буде спроектовано і досліджено верстатний пристрій.

Розглянемо і порівняємо дві схеми базування на даній операції, а також виберемо більш правильну з точки зору жорсткості при обробленні і похибки базування.

Перший варіант базування деталі на операції 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК технологічного процесу зображено на першому операційному ескізі (рисунок 2.2).

На цій операції в даному варіанті встановлення заготовки установочною базою (3 ступені волі) є торець заготовки діаметром 213 мм на глибині 19,4 мм, подвійною опорною (2 ступені волі) – діаметр 213 заготовки. Закріплення відбувається за рахунок розтискання оправки і контакту її із заготовкою по діаметру 213 мм.

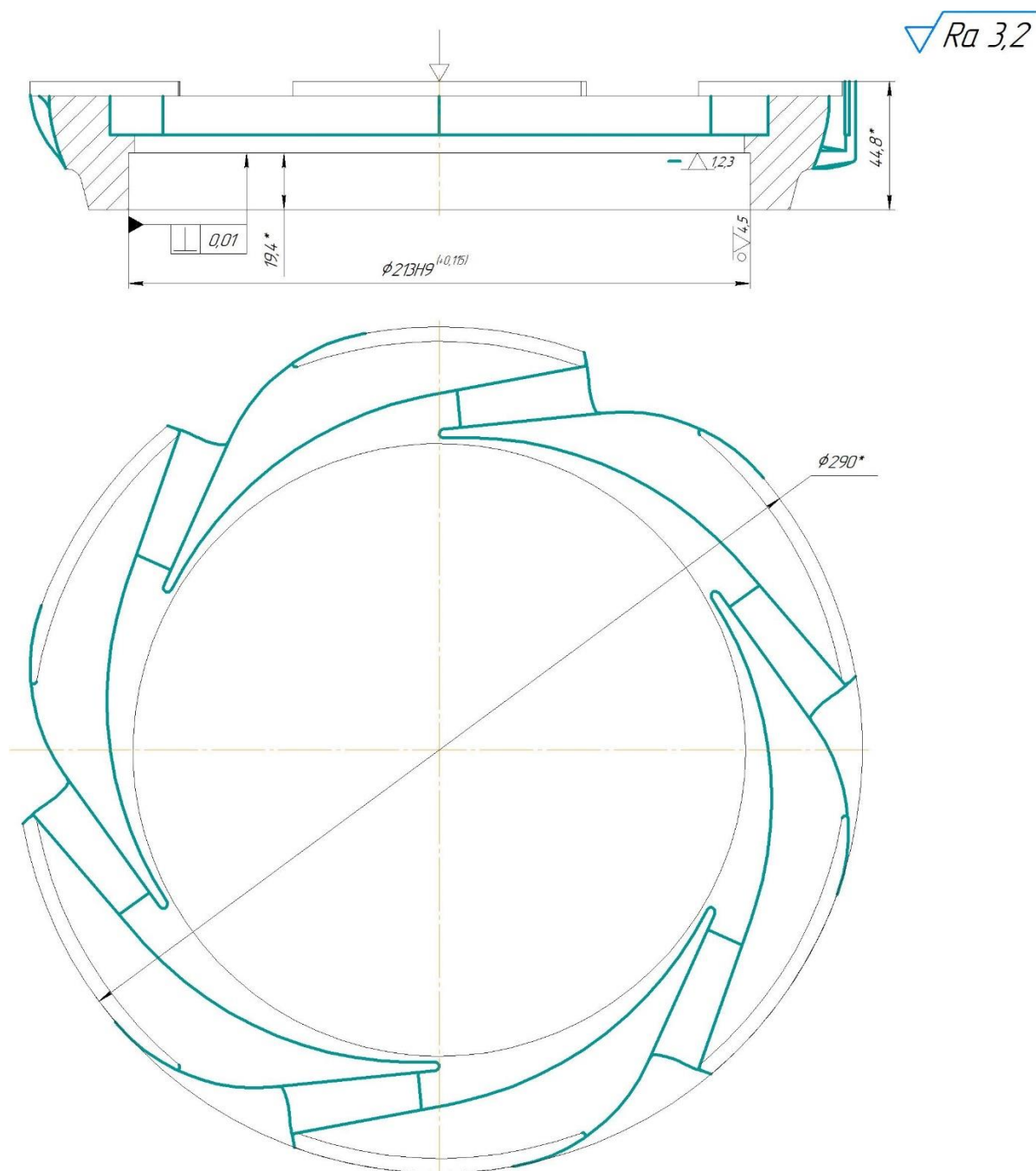


Рисунок 2.2 – Операційний ескіз вертикально-фрезерної з ЧПК операції (варіант 1)

Другий варіант базування деталі на операції 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК технологічного процесу зображено на другому операційному ескізі (рисунок 2.3).

В цьому варіанті встановлення заготовки установчою базою (3 ступені волі) є торець заготовки, подвійною опорною (2 ступені волі) – діаметр 213 заготовки. Закріплення відбувається за рахунок притискання заготовки до пристосування зверху.

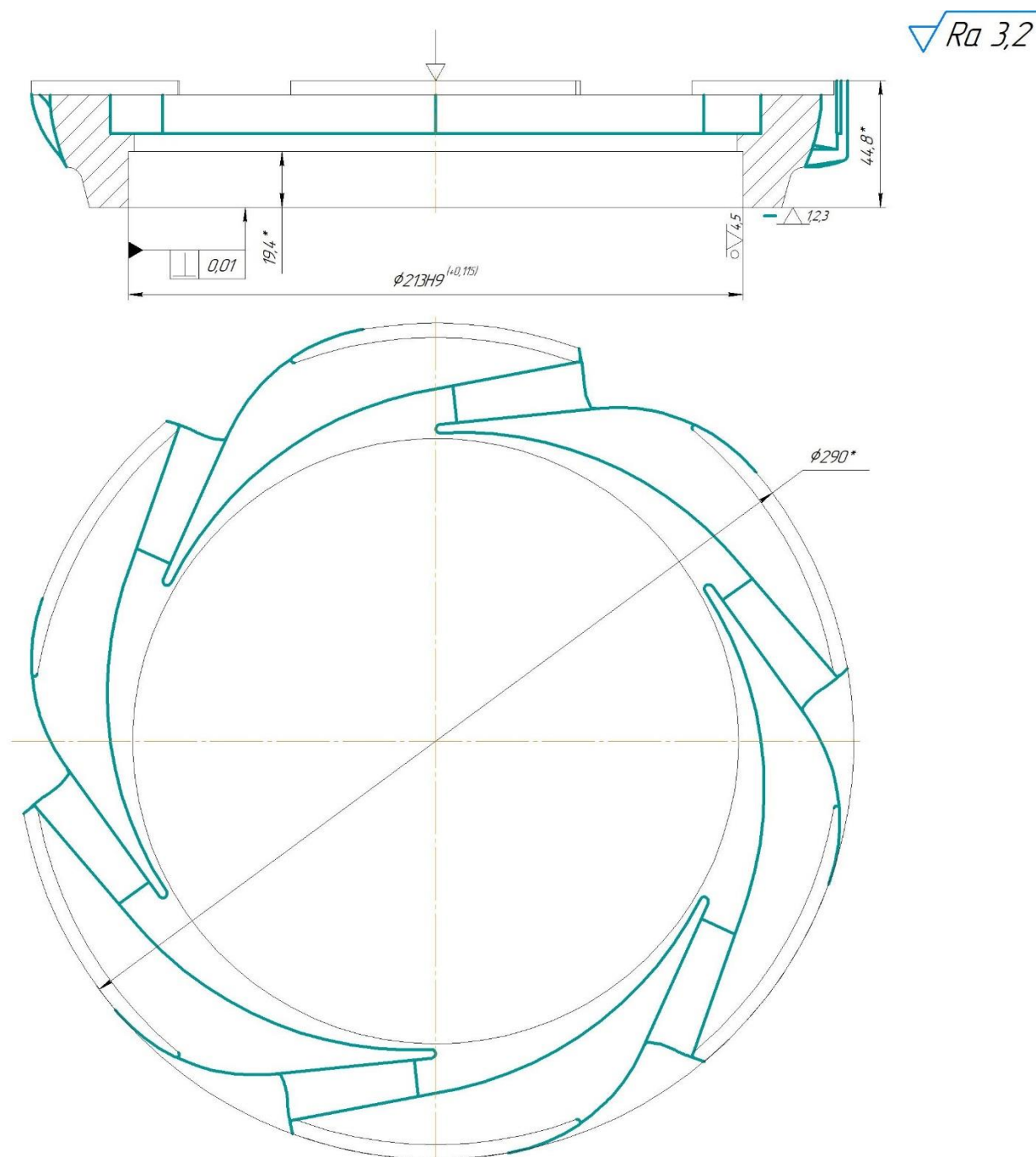


Рисунок 2.3 – Операційний ескіз вертикально-фрезерної з ЧПК операції (варіант 2)

Проаналізувавши обидві схеми базування і закріплення деталі з точки зору зручності і надійності встановлення більш доцільно буде прийняти перший варіант, показаний на рисунку 2.2, проте необхідно вирахувати похибку базування

для обох варіантів. Розглянемо розмір $13,5 \pm 0,215$, на який впливатиме похибка базування:

- перший варіант $\varepsilon_{\delta 13,5} = T_{13,5} = 0,43 > T_{6,1} = 0,36$ мм – отже, в цьому варіанті браку не буде;
- другий варіант $\varepsilon_{\delta 13,5} = T_{13,5} = 0,43 < T_{44,8} + T_5 = 0,62 + 0,3 = 0,92$ мм – отже, в цьому варіанті можливе виникнення браку.

Остаточню обираємо перший варіант базування, так як він забезпечить необхідну точність розмірів і максимально зменшить вірогідність виникнення браку.

2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для операції 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК пропоную використовувати вертикально-фрезерний з ЧПК верстат моделі MIKRON VCE 800 pro, характеристики якого були взяті з інтернету.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд вертикально-фрезерного верстату з ЧПК
MIKRON VCE 800 pro

Порівнюючи технічні дані даного обладнання з технологічними методами обробки поверхонь на даній операції, а саме фрезерування каналів, можна зробити

висновок, що даний вертикально-фрезерний з ЧПК верстат відповідає усім пред'явленим вимогам і придатний для використання на даній операції. Потужність обраного верстата 18,5 кВт, що цілком достатньо для виконання операції.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики вертикально-фрезерного верстата моделі MIKRON VCE 800 pro

Параметри	Значення параметрів
Виробник	MIKRON
Модель	VCE 800 pro
Рік виробництва	2009
Система управління	HEIDENHAIN TNCi 530
Переміщення по осі X (мм)	800
Переміщення по осі Y (мм)	500
Переміщення по осі Z (мм)	540
Розмір столу (мм)	910 x 500
Макс. навантаження на стіл, кг	1000
Автоматично змінних інструментів (шт)	24
Тип інструментального конуса	SK 40
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В)	3000 x 2300 x 2500
Вага верстата (кг)	5000
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	18,5

Розміри столу дозволяють без проблем встановити наш верстатний пристрій і виконати фрезерування каналів.

2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

Для даних виробничих умов, в яких буде виготовлятися деталь, найбільш доцільно застосовувати універсальні пристрої якщо це є можливим.

Для базування і закріплення деталі під час фрезерування каналів в якості пристрою будемо використовувати спеціальний, який буде проєктуватися в подальшому в учбових цілях.

Для оброблення заданих поверхонь застосовуємо наступні ріжучі інструменти:

– фреза кінцева 2223-3274 BK8 ДСТУ 23248-2008 – для чорнової обробки каналів;

– фреза кінцева 2223-3115 BK6OM ДСТУ 23248-2008 – для чистової обробки каналів.

Поверхні каналів на даній операції обробляються за 14-м квалітетом, тому, відповідно до рекомендацій у якості інструментального матеріалу по [5] були прийняті тверді сплави BK8 та BK6OM з покриттям їх нітридом титану.

При обробленні застосовуємо змашувально-охолоджуючу рідину 7-10% УНІЗОР-М ТУ38-101197-2011 для здійснення оброблення з більш високими швидкостями та забезпечення стійкості.

На даній операції також передбачаємо застосування допоміжних інструментів, а саме патрон цанговий ISO 50 ER40 DIN 2080.

Контроль розмірів на даній операції здійснюємо за допомогою універсального вимірювального інструменту, а саме ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ 166-2009, та шаблону спеціального для контролю радіусів каналів.

2.6 Розрахунок режимів різання

Виконаємо розрахунок режимів різання на операції 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК аналітичним методом на чорнове фрезерування каналів, по [5], а решту розрахуємо таблично і результати зведемо в табл. 2.2 за рис. 2.2.

Вихідні дані: на вертикально-фрезерному верстаті проводиться фрезерування каналів на циліндричній поверхні деталі. Матеріалом є сталь 20X13 з межею міцності σ_B – 530 МПа.

Геометричні параметри кінцевої фрези:

– головний кут в плані $\varphi = 90^\circ$;

- число зубів фрези $z = 4$;
- матеріал фрези – твердий сплав ВК8;
- діаметр фрези $d = 12$ мм.

Глибина різання $t = 4$ мм.

Ширина фрезерування $B = 12$ мм.

Подача при фрезеруванні:

$S_z = 0,03$ мм/зуб – таблицна подача на зуб при чорновій стадії обробки [4];

Оборотна подача:

$$S_o = S_z \cdot z, \quad (2.2)$$

Отже,

$$S_o = 0,03 \cdot 4 = 0,12 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання розраховуємо за відомою формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v, \quad (2.3)$$

де C_v, q, y, x, u, p, m – коефіцієнти які залежать від оброблюваного та інструментального матеріалів [5]

$$C_v = 108;$$

$$q = 0,2;$$

$$y = 0,3;$$

$$x = 0,06;$$

$$u = 0,3;$$

$$p = 0,1;$$

$$m = 0,27;$$

$T = 180$ хв – період стійкості фрези для обробки сталі 20Х13 ДСТУ 5632-2016 [5];

K_v – загальний поправочний коефіцієнт.

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV}, \quad (2.4)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу [5];

$K_{HV} = 1,0$ – коефіцієнт на матеріал фрези [5];

$K_{IV} = 1,0$ – коефіцієнт, який залежить від стану поверхні заготовки [5].

Коефіцієнт K_{MV} визначаємо:

де $n_V = 1,0$ – показник ступеня, що враховує групу оброблюваності сталі [5];

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{530}\right)^{1,0} = 1,14.$$

Визначаємо загальний поправочний коефіцієнт K_v за формулою 2.4:

$$K_v = 1,14 \cdot 1 \cdot 1 = 1,14.$$

Визначаємо швидкість різання за формулою 2.3:

$$V = \frac{108 \cdot 12^{0,2}}{180^{0,27} \cdot 4^{0,06} \cdot 0,03^{0,3} \cdot 12^{0,3} \cdot 4^{0,1}} \cdot 1,14 = 71,43 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо частоту обертання шпинделя при даній швидкості різання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 71,43}{3,14 \cdot 12} = 1813 \text{ об/хв.}$$

Подачу $S = 0,12$ мм/об і частоту обертання шпинделя $n = 1813$ об/хв не треба округляти, бо за паспортними даними верстат має безступінчасте регулювання.

Визначаємо силу різання:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{u,z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (2.5)$$

де $K_{MP} = 0,83$ – коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності [5];

C_p, q, y, x, u, w – коефіцієнти у формулі сили різання, що залежить від виду оброблення, оброблюваного та інструментального матеріалів [5];

$$C_p = 82;$$

$$q = 0,86;$$

$$y = 0,6;$$

$$x = 0,75;$$

$$u = 1;$$

$$w = 0,1;$$

Визначаємо силу різання за формулою 2.5:

$$P_z = \frac{10 \cdot 82 \cdot 4^{0,75} \cdot 0,03^{0,6} \cdot 12^{1,4}}{12^{0,86} \cdot 1813^{0,1}} \cdot 0,83 = 682 \text{ Н.}$$

Максимальна сила подачі столу верстата 25000 Н, отже привід подач витримає.

Потужність різання при фрезеруванні визначаємо за формулою 2.6:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{682 \cdot 71,43}{1020 \cdot 60} = 2,97 \text{ кВт.} \quad (2.6)$$

Потужність різання під час оброблення не перевищує потужності верстата

$$N = 2,97 < N_B \cdot \eta = 11 \cdot 0,9 = 9,9 \text{ кВт,}$$

отже оброблення можливе.

Визначаємо основний час T_o за формулою за умови, що згідно з кресленням довжина каналу по середній лінії, а саме там де буде проходити траєкторія інструменту складає приблизно 170 мм:

$$T_o = \frac{L \cdot i}{n \cdot S_o} = \frac{184 \cdot 4}{1813 \cdot 0,12} = 3,38 \text{ хв.} \quad (2.7)$$

Довжина робочого ходу інструмента: $L = 170 + 12 + 2 = 184 \text{ мм.}$

Розрахунок режимів різання на чистові переходи здійснюємо табличним методом по [5].

Таблиця 2.2 – Таблиця режимів різання

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки					L, мм	T _o , мин	Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
Операція 020 – вертикально-фрезерна з ЧПК								
Фрезерувати 6 каналів начорно	4	0,12	1813	71,43	24	185	20,28	Аналітичний
Фрезерувати 6 каналів начисто	0,2	0,06	2117	88,16	6	185	7,83	Табличний

Виконаємо технічне нормування за [5].

Основний час на операції з табл. 2.2 складає 28,11 хв.

Визначаємо допоміжний час T_g на 020 операції за формулою:

$$T_B = T_{в.уст} + T_{в.оп} + T_{в.вим}, \text{ хв} \quad (2.8)$$

де $T_{в.уст} = 1,3$ хв – час на установку і зняття заготовки [6];

$T_{в.оп} = 2,6$ хв – час для здійснення операції;

$T_{в.вим} = 1,7$ хв – час на вимірювання.

Тоді допоміжний час T_g за формулою 2.8:

$$T_B = 1,3 + 2,6 + 1,7 = 5,6 \text{ хв.}$$

Визначення штучного часу $T_{шт}$:

$$T_{шт} = (\sum T_o + T_B \cdot K_{ТВ}) \cdot (1 + a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}/100), \text{ хв} \quad (2.9)$$

де $a_{огр.} + a_{тех.} + a_{отл.}$ – час на обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби, що дорівнює 8% [6];

$K_{ме} = 1,23$ – поправочний коефіцієнт на допоміжний час в залежності від розміру партії оброблюваних деталей і серійності виробництва.

Тоді штучний час $T_{шт}$:

$$T_{шт} = (28,11 + 5,6 \cdot 1,23) \cdot \left(1 + \frac{14}{100}\right) = 39,89 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = \left(T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п.з.}}}{N} \right), \text{ хв} \quad (2.10)$$

де $N=29$ шт. – кількість деталей в партії;

$T_{\text{пз}}=21$ хв – підготовчо-заключний час, хв.

Тоді штучно-калькуляційний $T_{\text{шт-к}}$ час за формулою 2.10:

$$T_{\text{шт-к}} = \left(39,89 + \frac{21}{29} \right) = 40,61 \text{ хв.}$$

2.7 Проєктування засобів технологічного оснащення

В магістерській роботі розробляється пристрій для обробки деталі – «Апарат, що направляє» на операції 020 Вертикально-фрезерна з ЧПК.

Уточнення цілі технологічної операції. На розглянутій операції будуть фрезеруватися канали апарату, що направляє. Аналізуючи розмірну точність поверхонь, розглянемо поверхню, що має найменший допуск – стінку початку каналу, що має товщину 3 мм.

Розмірна точність. Відомо, що номінальний розмір поверхні складає 3 мм, квалітет розмірної точності – 14, поле допуску – h.

Верхнє відхилення es: 0 мм;

Нижня відхилення ei: -0,3 мм;

Допуск $T_{3h14}=0,3$ мм.

Точність форми і розташування оброблюваних поверхонь.

Точність форми. На цьому етапі обробки вимоги до точності форми обробленої поверхні не регламентовані. Водночас характерними відхиленнями є відхилення форми профілю поздовжнього перерізу.

Визначимо їх значення для рівня нормальної відносної точки A (30% допуску, що встановлюється на розмір поверхні).

$$T = 0,3 \cdot 0,3 = 0,09 \text{ мм}$$

Найближчим стандартним значенням допуску форми профілю поздовжнього перерізу в нашому випадку є 0,08 мм, що відповідає 11-му ступеню точності.

Шорсткість оброблюваних поверхонь

Поверхня після обробки на цій операції повинна мати шорсткість, що відповідає 3,2 мкм за критерієм Ra.

Визначення умов виготовлення і експлуатації проєктуємого пристрою.

Для дрібносерійного типу виробництва рекомендується використовувати пристрій з пневматичним приводом.

Використання даного пристрою з пневматичним приводом дозволить покращити точність виготовлення, знизити трудомісткість обробки, підвищити продуктивність праці, знизити час виготовлення та дозволить залучити до обробки працівника з нижчим рівнем кваліфікації.

Використання розроблюваного пристрою дає можливість встановлювати заготовку на операції за рахунок наявності спеціального установчого елемента – оправки-цанги $\varnothing 213h9$ без попередньої вивірки. Базування деталі по верхньому торцю оправки дозволить отримувати однакові лінійні розміри на всіх деталях партії без виконання прив'язки інструментів при встановленні наступної деталі.

Розробка та обґрунтування схеми базування.

Обираємо встановлюючу базову поверхню.

На операції 020 вертикально-фрезерна з ЧПК здійснюється фрезерування. В пункті 2.3 розраховувались похибки базування, а також була прийнята схема базування за першим варіантом (рис. 2.5).

Обираємо подвійну опорну базову поверхню.

Для цього потрібно розглянути можливість забезпечення точності виконання розмірів з точки зору наявності чи відсутності похибок базування в радіальному напрямку.

Розрахунок похибок

Розрахуємо похибку базування заготовки враховуючи наявність зазору між базовою поверхнею заготовки $\varnothing 213H9$ та оправкою-цангою в базовому елементі пристрою $\varnothing 213h9$. Так як заготовка буде встановлюватися спочатку із зазором, а потім буде її центрування та закріплення за рахунок розтискання пелюстоків оправки-цанги, то і зазору у їх з'єднанні не буде.

Допустима похибка $\varepsilon_{\text{доп}}=0,3$ дорівнюватиме допуску на товщину стінки каналу.

$\varepsilon_{\text{доп}} \geq \varepsilon_{\text{б}}, 0,3 \geq 0$ - умова виконується, а значить при обробці каналів при даному варіанті базування необхідна точність буде досягнута.

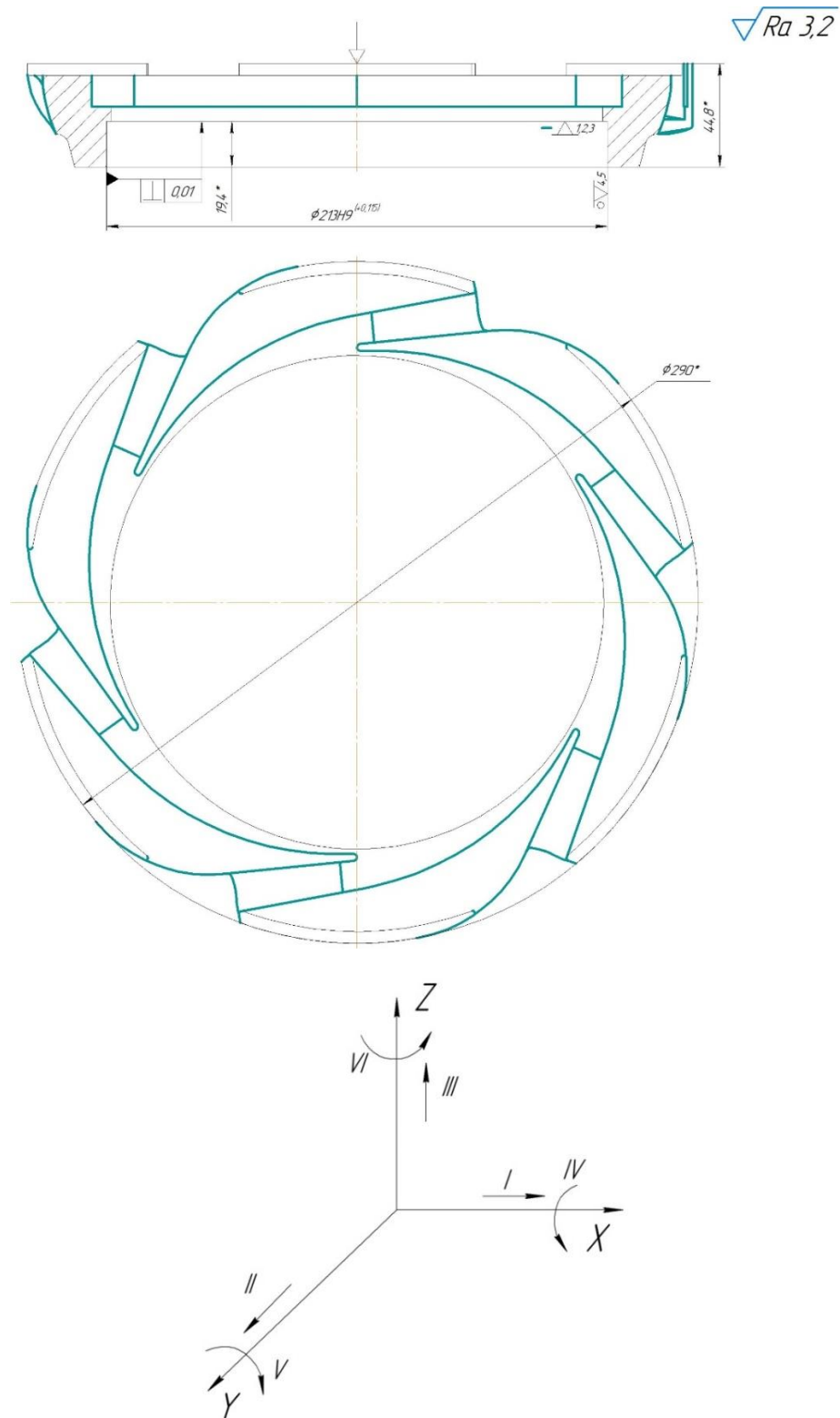


Рисунок 2.5 – Схема базування заготовки в пристрої

Більше полишати заготовку ступенів волі не доцільно, бо вона є тілом обертання.

Обрана схема базування заготовки є прийнятною для забезпечення усіх розмірів, які зображені на ескізі оброблення (рис. 2.5).

При базуванні деталі в спроектованому пристрої на вертикально-фрезерній з ЧПК операції (рис. 2.5) деталь позбавлена 5 ступенів волі. Мають місце дві технологічні бази: установча та подвійна опорна.

Зв'язки, що забезпечуються базами, та позбавлені ступені волі приведені в таблиці.

Таблиця 2.3 – Зв'язки, забезпечувані базами

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	III, IV, V
ПОБ	4,5	I, II

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків.

	X	Y	Z	
УБ	0	0	1	↔
	1	1	0	○
ПОБ	1	1	0	↔
	0	0	0	○

Побудова функціональної структури пристрою.

Із набору наведених функцій виділимо ті, що реалізуються при перебігу оперативного часу: 0, 1, 2, 5, 6, 7 і 10. Функції 3, 4 і 8 впливають на підготовчо-заклучний час, а функції 8 та 11 не роблять прямого впливу на штучний час.

Відповідно до нормативів часу, складемо структуру потоку функцій, що будуть реалізовані послідовно. Хоч і найбільш тривалою за часом, але єдиною можливістю обробки заготовки на даній операції, враховуючи дрібносерійний тип виробництва, є послідовна структура реалізації потоку функцій, при цьому не

можливе суміщення переходів і обробка ведеться переважно стандартним ріжучим інструментом.

Функціональна структура проектування пристрою показана на рисунку 2.6.

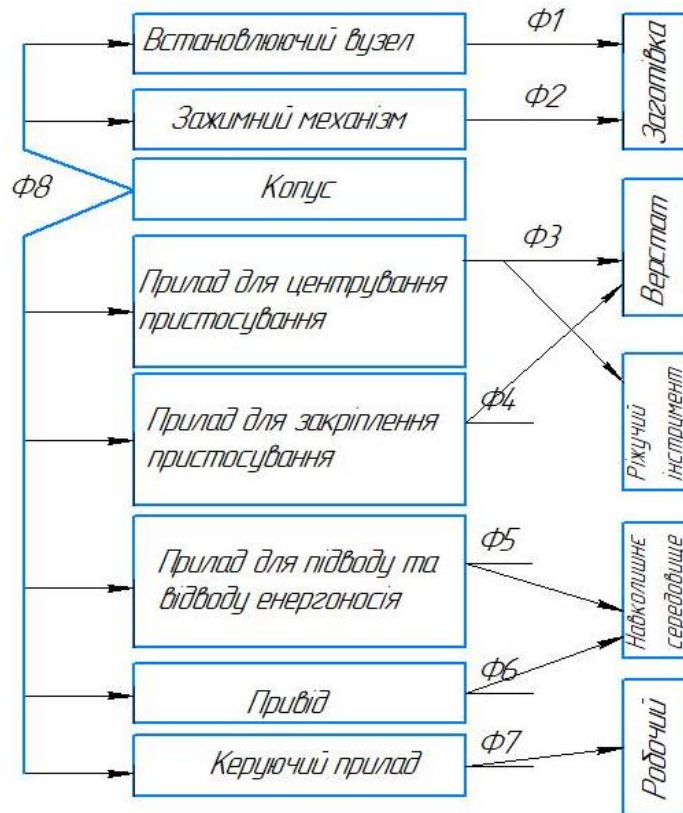


Рисунок 2.6 – Функціональна структура спроектованого пристрою Розробка та обґрунтування схеми закріплення.

Аналіз структури полів збудуючих та зрівноважуючих сил наведені на рисунках 2.7 і 2.8.

Розрахунок сил закріплення.

Для циліндричної заготовки з діаметром бази D (213 мм), встановленої на оправку та навантаженої крутним моментом, за умови непровороту заготовки, силу закріплення P_3 визначимо за формулою:

Визначаємо коефіцієнт запасу K :

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.12)$$

де $K_0=1,5$ - постійний коефіцієнт запасу при всіх випадках обробки;

$K_1=1,0$ - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки - оброблена або необроблена;

$K_2=1,3$ - коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструменту;

$K_3=1,0$ - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання при обробці поверхонь, що перериваються на деталі;

$K_4=1,0$ - коефіцієнт, який враховує сталість сили затиску, який розвивається приводом пристрою;

$K_5=1,0$ - коефіцієнт, який враховує зручне розміщення рукоятки для ручних затискних пристроїв;

$K_6 = 1,5$ - коефіцієнт, що враховується при наявності моментів, які намагаються повернути оброблювану заготовку навколо її осі.

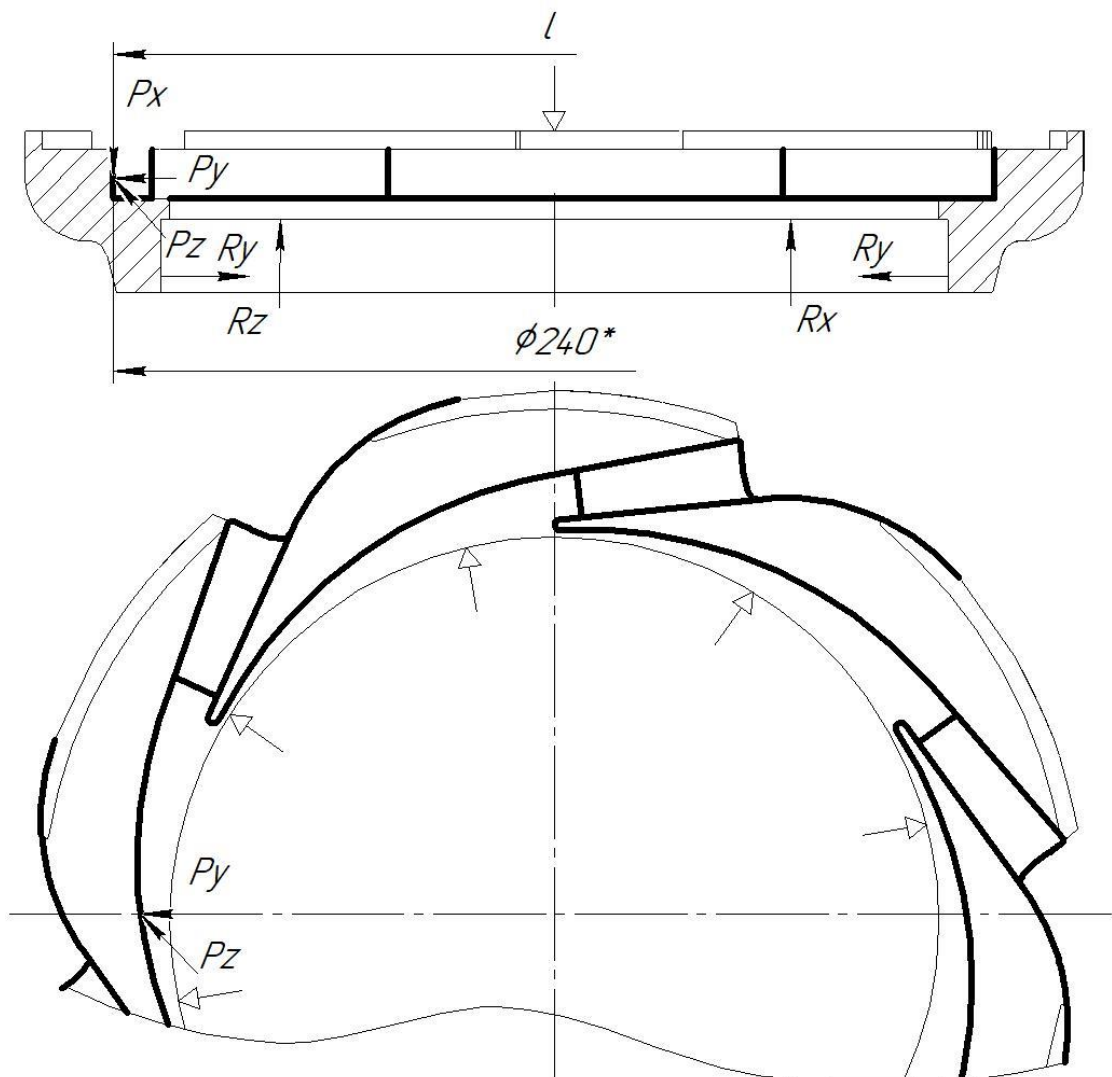


Рисунок 2.7 – Схема поля збурюючих сил

За формулою 2.12:

$$K=1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5=3,25$$

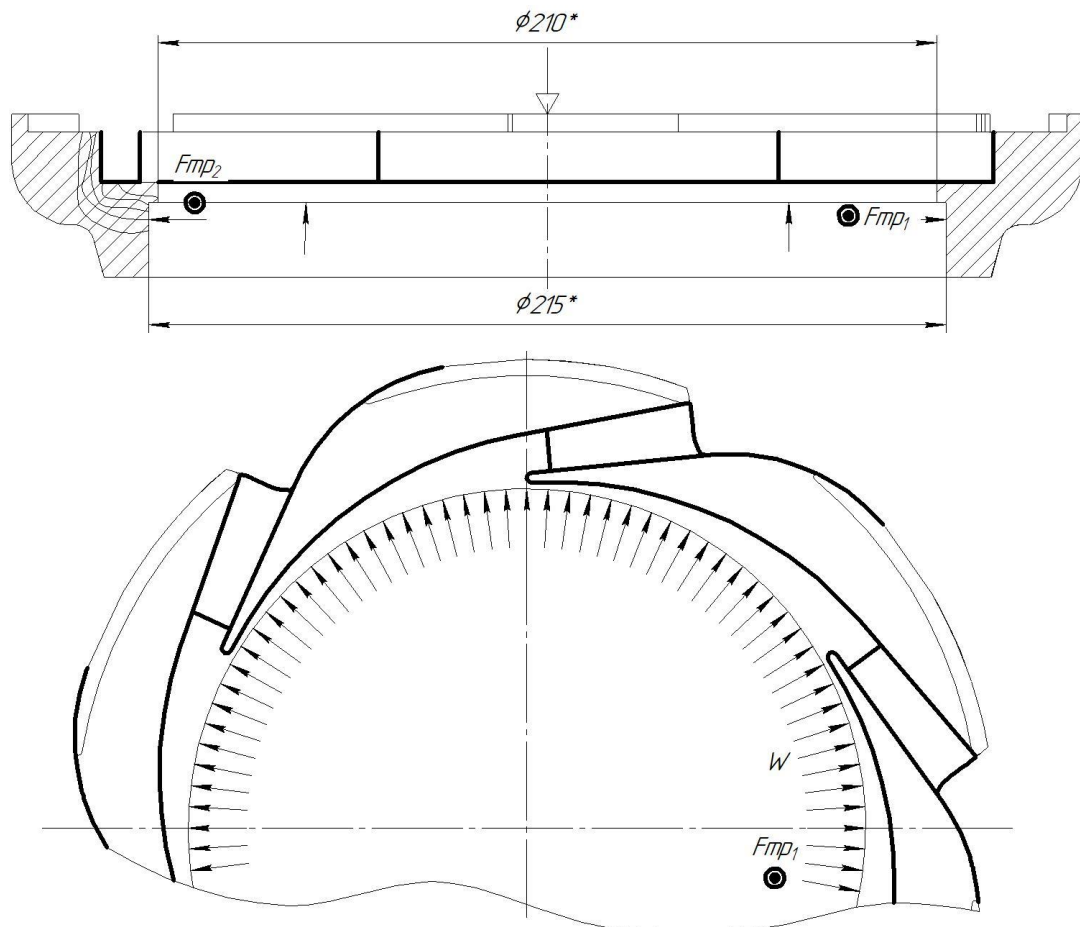


Рисунок 2.8 – Схема поля зрівноважуючих сил

З рисунку 2.8 складемо рівняння сил та моментів і визначимо силу W .

Сили тертя $F_{тр1}$ и $F_{тр2}$ діятимуть на середньому діаметрі опорних площин.

Запишемо умову $M_{тр} > M$.

Перетворимо $M_{тр} = K \cdot l \cdot P_y$ (з рис. 2.8).

$$F_{mm1} \times \left(\frac{R_1 + \frac{210}{2}}{2} \right) + F_{mm2} \times \left(\frac{R_2 + \frac{215}{2}}{2} \right) = K \times l \times P_y$$

$$W \times f_1 \left(\frac{R_1 + \frac{210}{2}}{2} \right) + W \times f_2 \times \left(\frac{R_2 + \frac{215}{2}}{2} \right) = K \times l \times P_y$$

$$R_1 = \frac{Dm}{2} = \frac{215}{2} = 107,5 \text{ мм},$$

де D_m - зовнішній діаметр оправки-цанги.

$$R_2 = 210/2 = 105 \text{ мм}$$

$$l = 240/2 = 120 \text{ мм}$$

$f_1 = f_2 = 0,25$ – коефіцієнти тертя по площинах оправка-цанга – деталь та деталь-торець оправки-цанги відповідно.

Розрахуємо силу закріплення W :

$$W = \frac{K \times l \times P_y}{f \times \left(\left(R_1 + \frac{210}{2} \right) + \left(R_2 + \frac{215}{2} \right) \right)} = \frac{2 \times 3,25 \times 120 \times 682}{0,25 \left((107,5 + 105) + (107,5 + 105) \right)} = 6714 \text{ Н} .$$

Вибір і розрахунок силового приводу.

При проектуванні пристосування в учбових цілях в якості пневмоприводу обираємо пневмокамеру через її дешевизну.

Дійсна сила на поршні пневмокамери розраховується за формулою:

$$W = \frac{\pi(D+d)^2}{16} \cdot p \quad (2.13)$$

де: p – розрахунковий тиск, $p=0,4$ МПа;

D – діаметр пневмокамери;

d – діаметр штока, 25 мм;

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{16Q}{\pi \cdot p}} \quad (2.14)$$

$$D = \sqrt{25 + \frac{16 \cdot 6714}{3,14 \cdot 0,4}} = 241 \text{ (мм)}$$

Приймаємо $D=250$ мм по стандарту.

Товщину діафрагми h_D обирають залежно від її діаметра D_D : $h_D = 4 \dots 8$ мм, приймаємо товщину 8 мм.

Дійсну силу на штоку можна розрахувати за формулою:

$$W = \frac{3,14}{16} (250^2 + 25^2) \cdot 0,4 \cdot = 7211(H)$$

Дійсна сила на штоку перевищує силу, необхідну для затиску заготовки, а значить пристрій без проблем забезпечить фіксоване положення заготовки при обробці.

В даному пристрої використана стандартна пневмокамера, в якій діаметр дорівнює 250 мм, діаметр штока - 25 мм.

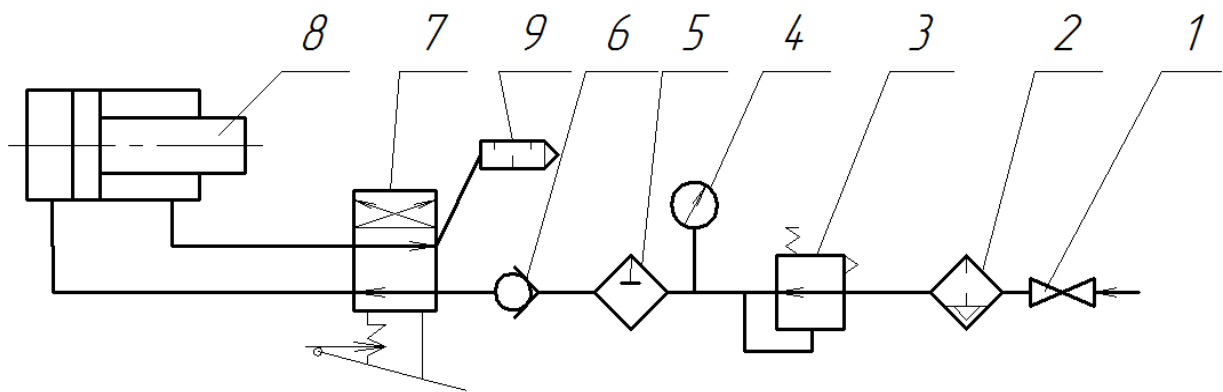


Рисунок 2.9 – Схема підключення до пневмомережі

Похибку пристрою можна розрахувати за формулою (2.15). Більшість складових, які входять у дану формулу, представляють собою поля розсіювання випадкових величин, отже їх треба підсумувати за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{np} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{noz}^2} \quad (2.12)$$

Розглянемо більш детально складові, які входять до складу даної формули:

$T = 0,3$ мкм – допуск розташування до розміру, найбільш жорсткий з тих, які отримують на даній операції;

$K_T = 1,2$ – коефіцієнт, який враховує можливий відступ від нормального закону розподілу випадкових величин окремих складових;

$K_{T1} = 0$ – коефіцієнт, який враховує зменшення граничного значення похибки базування. $K_{T1} = 0,8 - 0,85$ ($K_{T1} = 0$ якщо похибка базування дорівнює нулю);

$\varepsilon_6 = 0$ мкм – приймаємо похибку рівну нулю, бо використовується принцип суміщення баз;

$\varepsilon_3 = 0$ мкм – оскільки при закріпленні заготовки в конусну оправку під дією сил закріплення не існує ймовірності перекосу в осьовому напрямі, приймаємо похибку закріплення рівну 0 мкм;

$\varepsilon_y = 0$ мкм – приймаємо рівну 0, оскільки похибка установки не матиме впливу на технологічні вимоги до даної операції;

$\varepsilon_{\Pi} = 0$ мкм – похибка перекосу інструменту. Приймаємо 0, так як використовується інструмент – фреза кінцева, у якого не може бути перекосу в процесі оброблення;

$\varepsilon_u = 0$ мкм – похибка зношування дорівнює нулю, так як ми приймаємо умову рівномірного зношування інструменту [4];

$K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт, який враховує можливість появи похибки оброблення;

$\omega = 80$ мкм – точність обробки, що досягається економічно;

$\varepsilon_{\text{поз}} = 0$ мкм - приймаємо рівну нулю, так як дана похибка не впливає на технологічні вимоги на даній операції;

Підставивши дані, розрахуємо похибку пристрою:

$$\varepsilon_{np} = 0,3 - 1,2\sqrt{(0 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0,00^2 + (0,6 \cdot 0,08)^2 + 0^2} = 0,095 \text{ мм}$$

Зі стандартного ряду приймаємо $\varepsilon_{np} = 0,08$ мм і призначаємо дану точнісну вимогу як вимогу на радіальне биття зовнішніх поверхонь оправки-цанги до базової поверхні пристрою.

Складання та експлуатація пристрою.

Пристрій в зборі повинен відповідати технічним вимогам креслення загального його вигляду і забезпечувати високоякісну обробку заготовки згідно вказаних розмірів.

Складання пристрою. Деталі та вузли пристрою повинні бути піддані візуальному контролю, а виявлені дефекти повинні бути усунені.

1. На стіл верстата по шпонкам 21 встановлюється корпус 2 з пневмокамерою і штоком 7.

2. До корпусу пригвинчується оправка-цанга 3.

3. Після цього встановлюється конічна пробка 8.

4. Конічна пробка пригвинчується гайкою 9.

5. Після цього приєднуються рукави 22 за допомогою хомутів 23.

Експлуатація пристрою.

1. Встановити, закріпити пристрій на верстаті.

2. Підготувати базові поверхні пристрою до установки заготовки.

3. Встановити заготовку на оправку-цангу до упора в торець.

4. Повернути важіль пневморозподільника в положення «Відкрито».

5. Виконати обробку заготовки.

6. Повернути важіль пневморозподільника в положення «Закрито».

7. Зняти заготовку.

8. Виконувати пункти 1-7 технічних вимог в процесі експлуатації пристрою.

Зберігати пристрій на дерев'яній основі, захистивши від впливу атмосферних опадів та агресивних середовищ.

2.8 Висновки

З метою вдосконалення технологічного процесу в даному розділі для виготовлення деталі «Апарат, що направляє» в якості заготовки була обрана заготовка, отримана вільним куванням на молотах (поковка), так як вона економічно вигідніша, ніж заготовка з прокату і це доведено розрахунками.

З метою покращення заводського технологічного процесу виготовлення деталі типу «Апарат, що направляє» проведено його аналіз та запропоновано альтернативний більш вдосконалений технологічний процес, який включає заміну універсального фрезерного обладнання на фрезерне з ЧПК обладнання, а також спроектовано спеціальний пристрій замість універсального.

Для аналізу в даному пункті була обрана вертикально-фрезерна з ЧПК операція з альтернативного технологічного процесу, для якої були обрані верстат і оснащення, розглянуто схеми базування та закріплення заготовки із визначенням похибок базування. Також був виконаний розрахунок режимів різання і нормування операції.

Спроектовано спеціальний верстатний пристрій для вертикально-фрезерної з ЧПК операції з пневматичним приводом та цанговим типом фіксації заготовки, що дозволяє підвищити надійність процесу, зменшити вірогідність виникнення виробничого браку через похибку встановлення чи закріплення заготовки, а також скоротити допоміжний час.

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Аналіз стану досліджень у галузі розроблення верстатних пристроїв

В даний момент в світі активно вивчаються різні методи та стратегії для проектування та вдосконалення верстатних пристроїв (ВП), призначених для полегшення механічної обробки деталей різних типів. Для аналізу поточного стану наукових досліджень у галузі розробки ВП та визначення найактуальніших напрямків досліджень, розглядаються основні підходи до їх проектування. Зокрема, об'єктом досліджень є жорсткість, точність, гнучкість та оптимізація конструкцій ВП.

В публікації [17] запропонована обчислювальна термомеханічна модель для прогнозування спотворень деталей складної форми, виготовлених шляхом адитивного виробництва та експериментально доведено, що даним методом Selective Laser Melting можливе отримання таких деталей, але при цьому є реальні відхилення форми, що наразі не дозволяє повністю виключити механічне оброблення із технологічного процесу.

В роботі [18] представлено алгоритм керування процесом руху різального інструменту з оптимальним адаптивним регулятором на основі поліноміальної апроксимації вихідних параметрів у різних модифікаціях для оптимізації траєкторії руху і зменшення основного часу оброблення.

Автор публікації [19] розглядає вплив динамічного управління швидкості шпинделя і подачі на підвищення терміну служби інструменту та зменшення часу обробки поверхонь складної форми з важкорізаних матеріалів. Запропоновано новий метод обчислення швидкості шпинделя та подачі на основі реальних параметрів контролера шпинделя, а також метод розрахунку ефективного радіуса різання для досягнення постійної швидкості різання через динамічний контроль швидкості шпинделя.

У статті [20] пропонується новий метод придушення вібрації та деформації під час дзеркального фрезерування тонкостінних заготовок за допомогою магнітного опорного пристосування. Розроблене пристосування здатне затискати зону

фрезерування в режимі реального часу, забезпечуючи контрольовану силу тиску повітря, що сприяє поліпшенню динамічних характеристик і динамічного відгуку заготовки під час обробки.

Автори роботи [21] описують метод діагностики та виявлення причин відхилень розмірів заготовок під час механічної обробки. Використовується компонентний аналіз на основі виробничих даних та моделювання для ідентифікації та усунення дефектів у кріпленні пристосувань. Головна мета полягає в покращенні точності та якості виробничих процесів. У роботі [22] представлено багатоцільовий підхід до синтезу кріплення в механічній обробці. Автори розглядають параметри ефективності, такі як точність локалізації, від'єднання локаторів, деформація заготовки та інші, і використовують оптимізацію за допомогою вдосконаленого алгоритму моделювання відпалу. Підхід ефективно застосовується для автоматизації вибору кріплення для призматичних заготовок у механічній обробці.

В публікації [23] пропонується метод оцінки частотних характеристик заготовки для зменшення вібрації при фрезеруванні тонких стінок. Автори пропонують використання методу проб і помилок для визначення оптимального розташування опорних пристосувань. Застосування цього методу підтверджує його ефективність у пригніченні вібрації, що підтверджується результатами випробувань.

У дослідженні [24] розглядається модель прогнозування динамічного відгуку системи тонкостінної заготовки, зокрема тонкостінної лопаті в аерокосмічній промисловості під час фрезерування. Модель базується на концепції еквівалентної тонкостінної пластини з магнітореологічною опорою демпфування, враховуючи комплексні обмеження та використовуючи метод Лагранжа. Експерименти підтверджують, що впровадження запропонованого підходу із застосуванням магнітореологічного демпфування покращує точність прогнозування вібраційного зміщення на 26,43%.

В публікації [25] розглядається новий спосіб кріплення деталей під час їх обробки. Традиційне кріплення може призводити до деформації та вібрацій, особливо коли обробляються деталі з великою гнучкістю. Запропонована концепція використання гнучких штифтів, які дозволяють деталям вільно амортизуватися під

час обробки. Це зменшує силу затиску і деформацію деталі і полегшує обробку, що підтверджується експериментально.

У публікації [26] досліджується вплив термічного ефекту при торцевому фрезеруванні на точність обробки і пропонуються ефективні методи проектування пристосувань для зменшення похибок, викликаних нагріванням різання. Аналізується вплив тепла на похибки площинності та пропонуються методи їх зменшення.

Автори даної роботи [27] проводять оптимізацію пристосувань для обробки тонкостінних компонентів у сфері аеронавігації. Використовуючи методи оптимізації топології, вони моделюють системи пристосувань як з елементів оболонки, так і з суцільних елементів, змінюючи їх конструкцію в залежності від локальних характеристик жорсткості компонента. Результатом роботи є розробка нової змішаної суцільно-решітчастої конструкції пристосування, що визначає новий метод проектування кріплень з урахуванням бажаної функціональності деталі.

В роботі [28] пропонується новий метод пригнічення стукітних вібрацій у процесі фрезерування слабжорсткої заготовки. Використовується рухоме пристосування, яке забезпечує додаткову жорсткість і демпфування миттєвого контакту з заготовкою, пригнічуючи стукітні вібрації протягом усього процесу. Математичне моделювання ґрунтується на технології розділеного складання конструкції та теорії фрактального контакту, а результати підтверджені серією випробувань на фрезеруванні з опорою та без опори рухомого пристосування.

В статті [29] розглядається метод оптимізації розташування кріплень для деталей із листового металу. Використовуються багатоцільовий підхід та сурогатна модель Крігінга, а також багатоцільова батарея алгоритмів (МОВА). Розташування кріплень розглядається як проектна змінна, з цільовими функціями - загальною деформацією та максимальною деформацією листового металу. Метод тестується на двооб'єктивній оптимізації розташування арматури для частини з листового металу.

В публікації [30] розглядається використання адаптивного процесу обробки з ЧПК для досягнення високої точності при обробці лопатей реактивного двигуна з

майже сітчастою формою. Основний акцент статті - на проектуванні та виготовленні обробного пристосування, яке ефективно контролює деформацію леза, забезпечуючи точність обробки. Результати підтверджують високу ефективність пристосування під час обробки з ЧПК.

В роботі [31] представлено використання розумних пристроїв для полегшення процесів обробки матеріалів та поліпшення якості виробів. Описано проект INTEFIX, що працює над інтелектуальними пристроями для зменшення вібрацій та підвищення точності у виробництві. Також представлено два приклади розумних пристроїв для вдосконалення обробки тонкостінних та об'ємних деталей. Загальний висновок полягає в тому, що ці пристрої відіграють ключову роль у виробництві для досягнення оптимальних результатів.

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що в даний час науковці зосереджуються на розрахунках та розробці моделей ВП із використанням чисельних методів. Головний акцент робиться на вдосконаленні точності механічної обробки при зміні параметрів ВП та режимів різання. Також досліджуються системи в контексті коливань та вібрацій під час контакту інструменту з заготовкою з використанням різноманітних генетичних алгоритмів. Відзначається, що потрібно приділити більше уваги підвищенню жорсткості спеціальних ВП і зменшенню їх металомісткості при забезпеченні необхідної точності обробки деталей типу апарат, що направляє, зокрема його каналів, що представляє собою актуальну задачу для дослідження в магістерській роботі.

3.2 Розроблення 3D моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерне дослідження методом скінчено-елементного аналізу

Для проведення розрахунків чисельного моделювання для початку була побудована 3D модель верстатного пристрою разом із деталлю (рисунок 3.1).

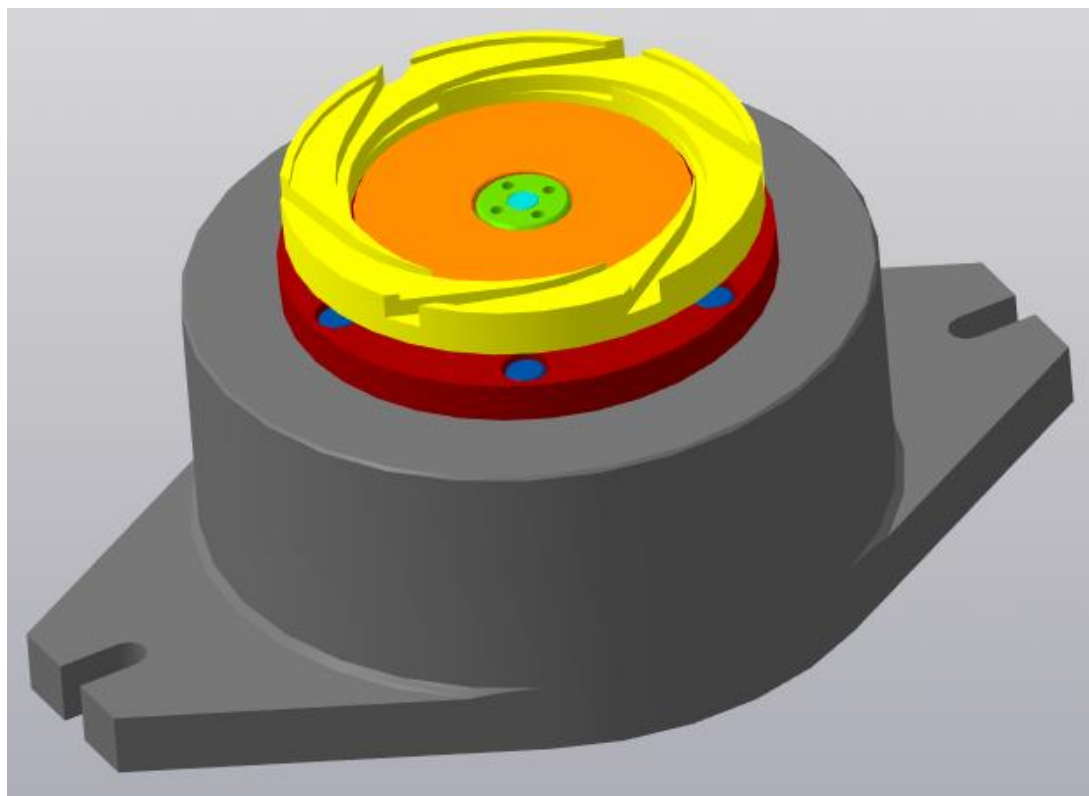


Рисунок 3.1 – Спроектований верстатний пристрій та закріплена деталь

Для кращого розуміння представлена на рисунку 3.2 представлена модель у розрізі. При побудові моделі максимально спрощувались усі елементи з метою пришвидшення розрахунків без втрати їх точності.

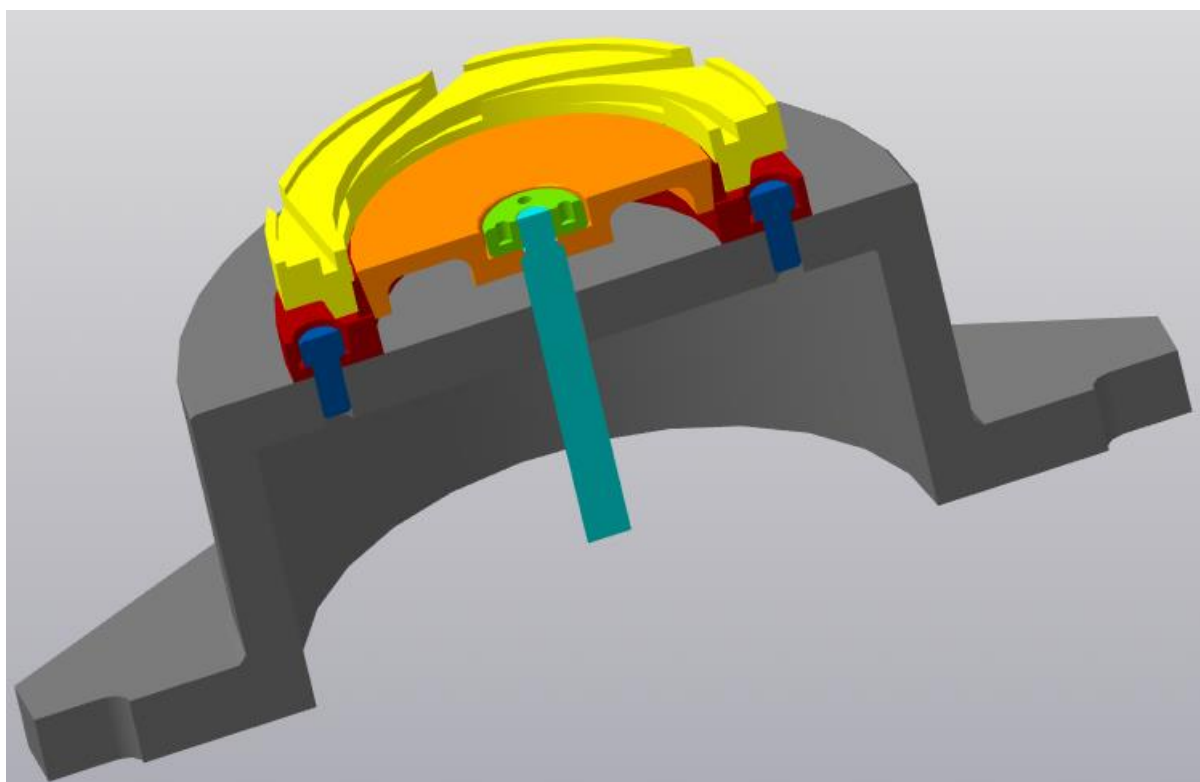


Рисунок 3.2 – Спроектований верстатний пристрій (в розрізі)

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконується для деталей ВП, які безпосередньо будуть впливати на показники точності і міцності та відповідати всім точнісним параметрам для обробки деталі. НДС також необхідний для виявлення напружень більших за допустимі для конкретного матеріалу, концентраторів напружень та елементів, де при наявності надлишкових напружень необхідно удосконалення конструкції. На даному етапі досліджень перевіряються еквівалентні напруження, які виникають у місцях контакту установлювально-затискних елементів із заготовкою у результаті дії сил закріплення та дії силових факторів в процесі різання (моменти та сили різання), а також умови для деталей із конкретних матеріалів за допустимими напруженнями.

Для виконання дослідження використовувався програмний комплекс ANSYS Workbench, де визначались частоти власних коливань, які ми пізніше порівнюємо з частотами, що можуть виникнути при обробленні заготовки. За допомогою цих результатів ми отримуємо можливість за необхідності удосконалити ВП, підвищити його точність або запобігти явищу резонансу. Враховуючи, що усі деталі проєктуемого ВП виготовлені зі сталі 45, то механічні властивості матеріалу, які використовується у моделі, наступні:

- модуль пружності E , ГПа – 200;
- густина ρ , кг/м³ – 7850;
- коефіцієнт Пуассона μ – 0,3;
- границя міцності при стисненні $[\sigma_{ст}]$, МПа – 950;
- границя міцності при розтягуванні $[\sigma_{розт}]$, МПа – 950;
- границя текучості σ_T , МПа – 726.

Обов'язковою умовою для виключення можливих переміщень під час моделювання було закріплення ВП за нижню поверхню основи, що імітує встановлення на стіл вертикально-фрезерного з ЧПК верстата, а також об'єднання всіх поверхонь між собою шляхом об'єднання вузлів з типом контакту «Bonded». Контакти типу «Frictional» задані в місцях посадок із указанням параметрів тертя враховуючи технічні характеристики кожної з них. Ілюстрація скінчено-елементної сітки ВП відображені на рисунку 3.3. Це зроблено для більш якісного відображення

можливих деформацій та для отримання більш точних результатів. На рисунку 3.4 представлені ілюстрації напружень, які виникають при закріпленні та фрезеруванні заготовки, а на рисунках 3.5 – 3.8 представлені деформації загальні і по осям X, Y, Z відповідно. На рисунках 3.9 – 3.11 відображено форми власних коливань досліджуваного спроектованого верстатного пристрою.

Проаналізувавши отримані результати та величини коливань, при яких відбуваються деформації, можна зробити висновок, що спроектований ВП буде нормально функціонувати, а точності, отримані при аналізі, не виходитимуть за межі допусків, так як найбільш точний розмір на даній операції – ширина каналу в найтоншому його місці 12,5 (+0,43; 0) мм, а загальні деформації не перевищують 0,06 мм. Максимальні напруження під час чисельного моделювання показали 70 МПа, що менше допустимих для матеріалів деталей пристрою.

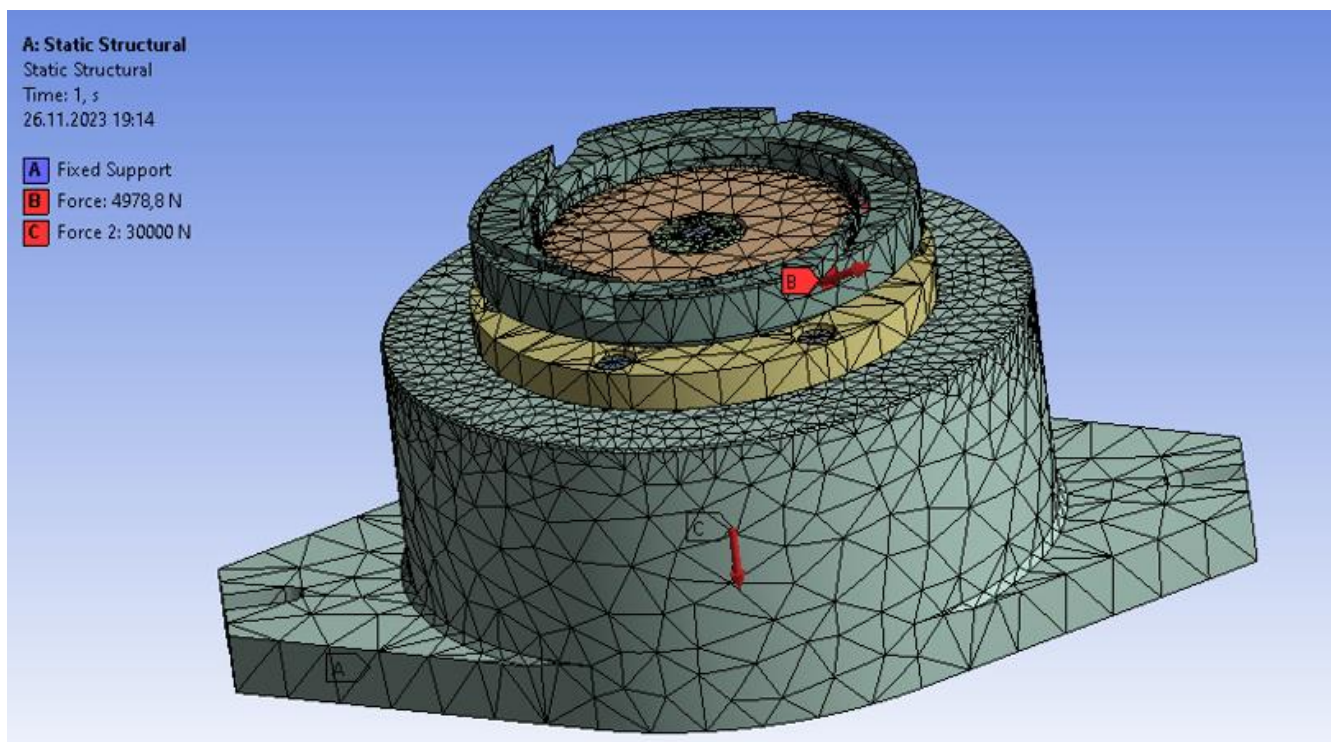


Рисунок 3.3 – Верстатний пристрій із скінчено-елементною сіткою та навантаженнями

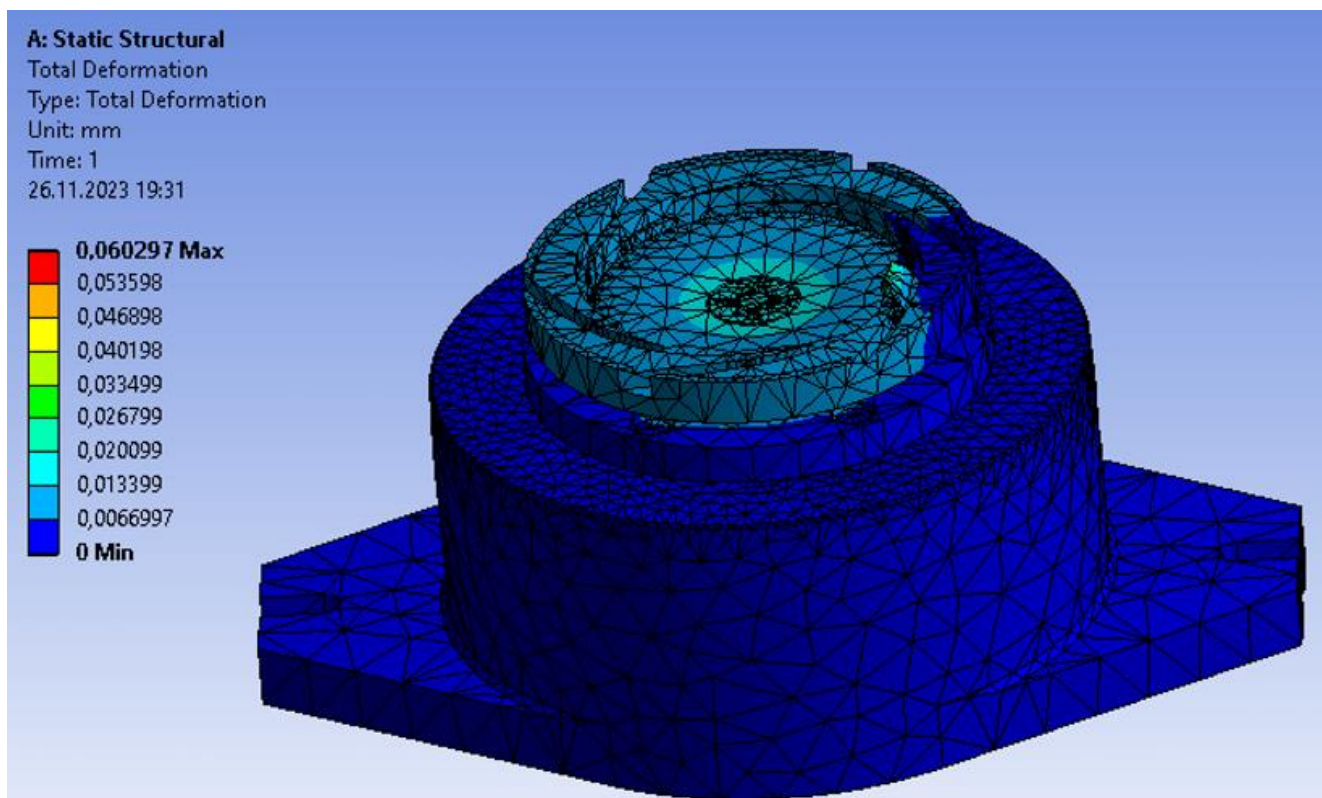


Рисунок 3.4 – Ілюстрація максимальних напружень при фрезеруванні

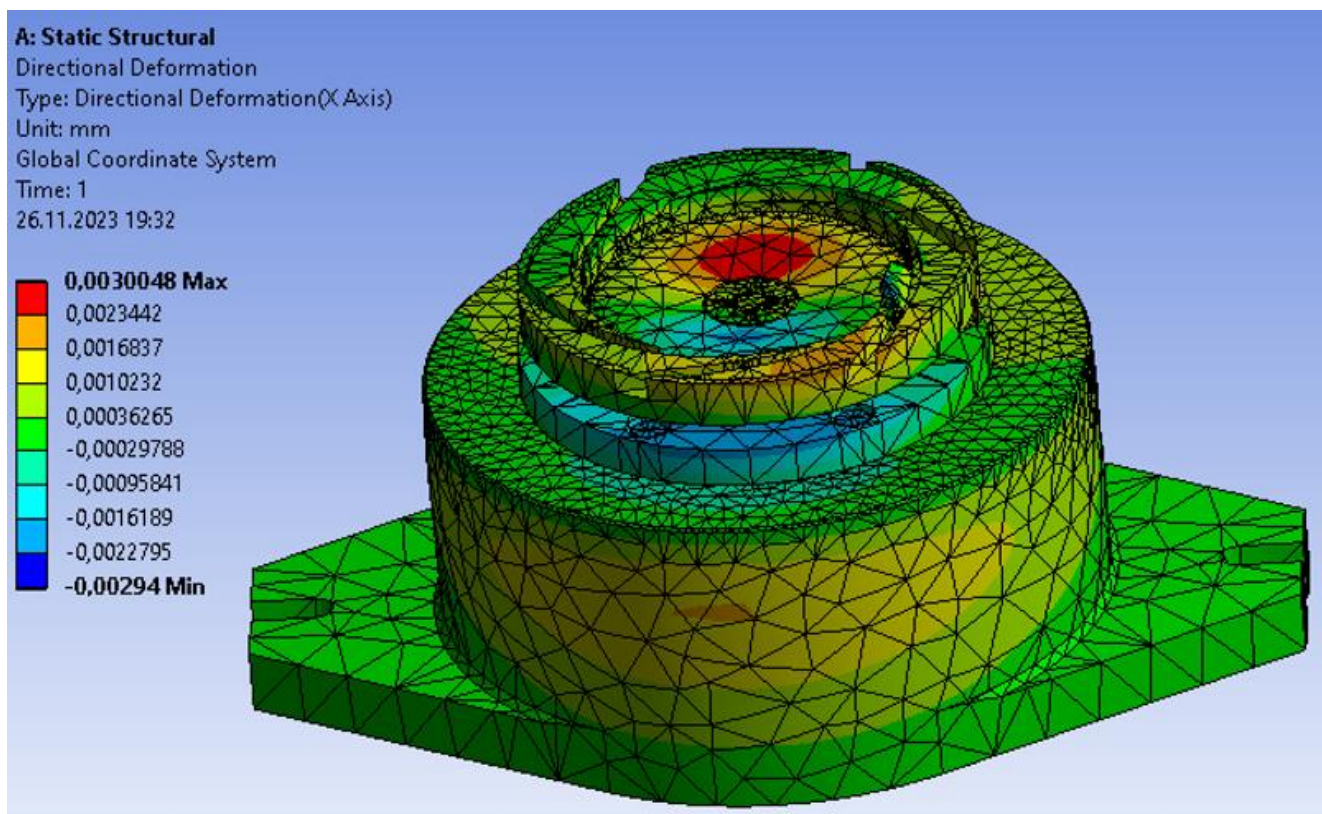


Рисунок 3.5 – Ілюстрація максимальних загальних переміщень при фрезеруванні

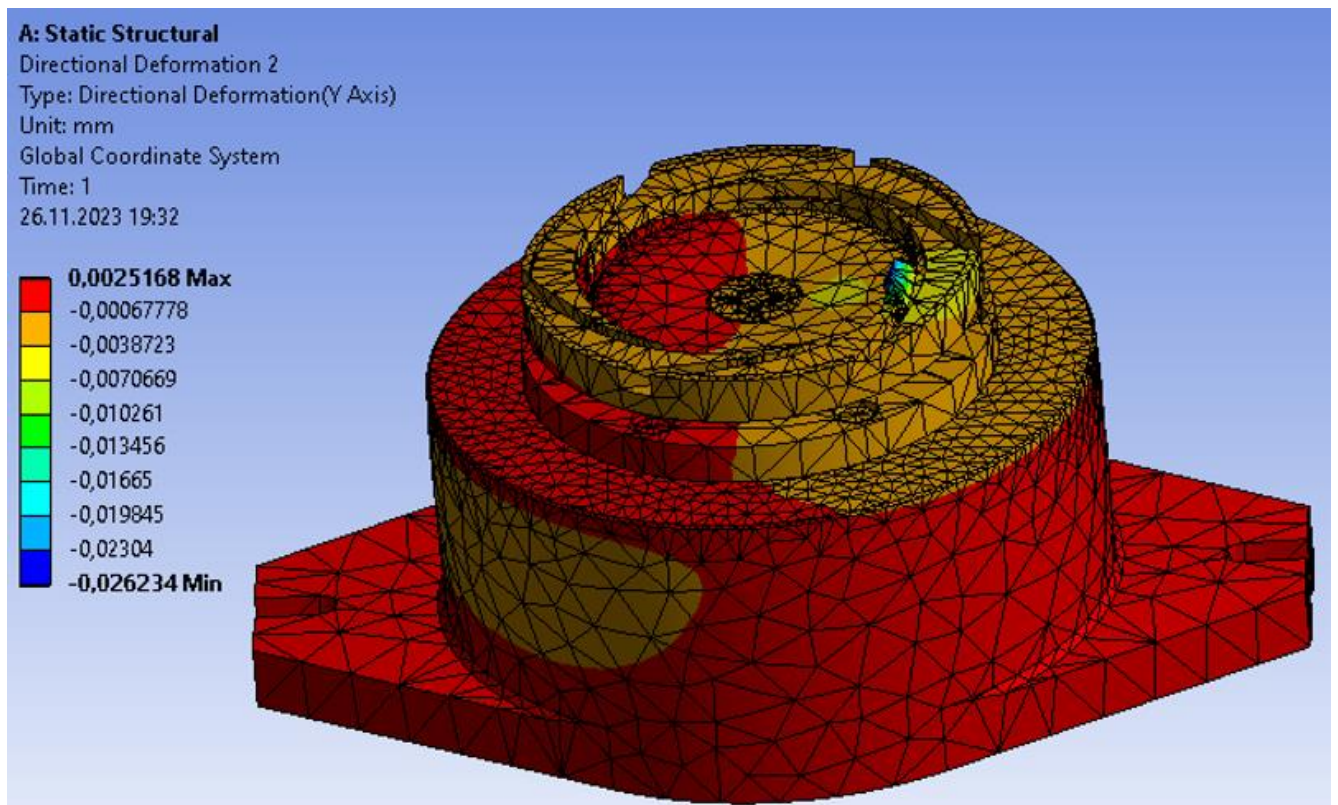


Рисунок 3.6 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі X при фрезеруванні

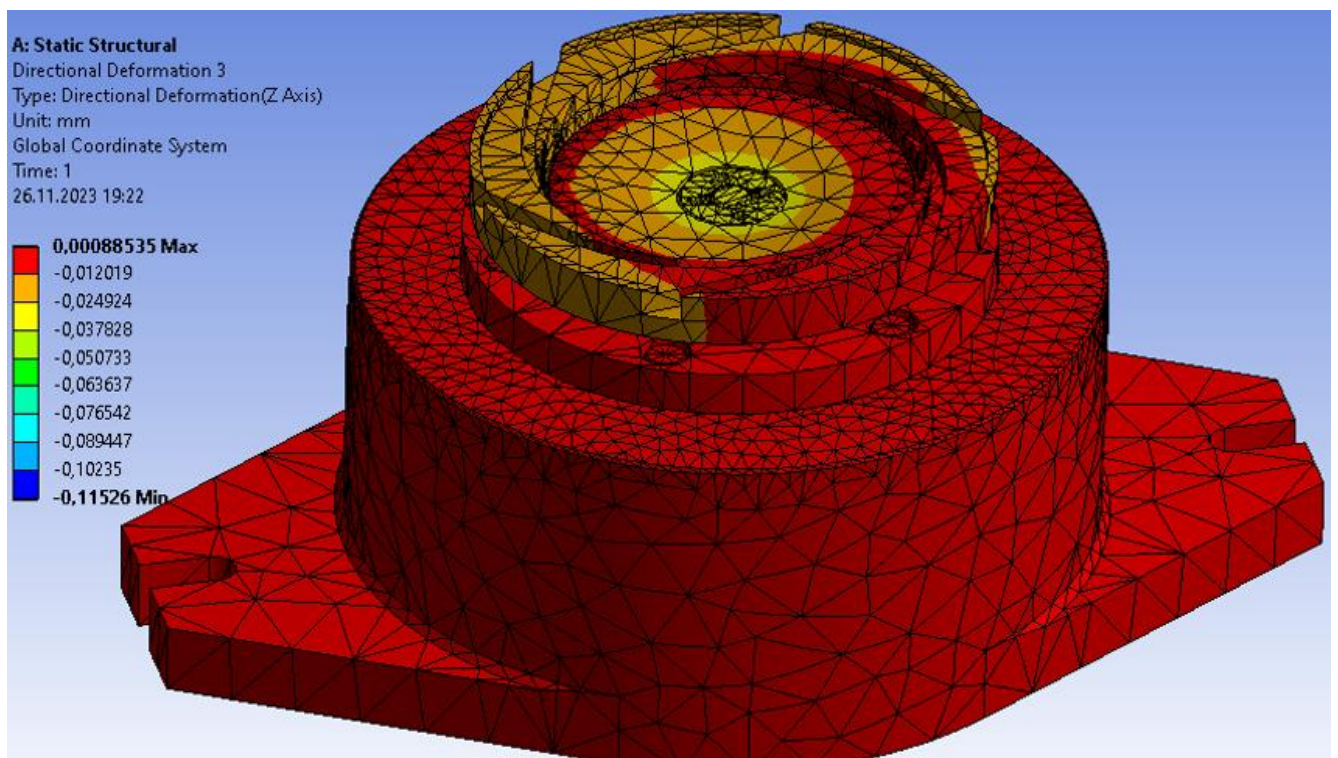


Рисунок 3.7 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі Y при фрезеруванні

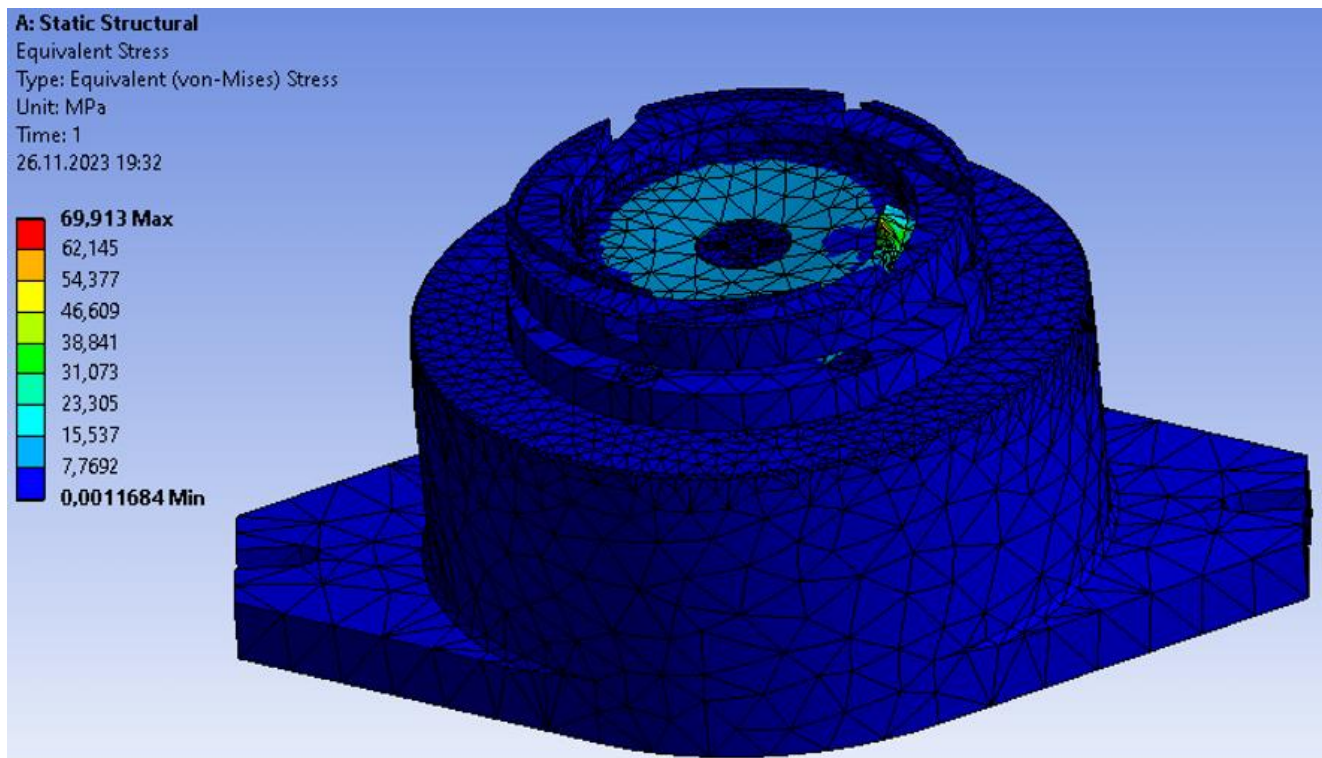


Рисунок 3.8 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі Z при фрезеруванні

Щоб уникнути виникнення явища резонансу при фрезеруванні каналів апарату, що направляє частота власних коливань елементів ВП не повинна співпадати з частотою процесу різання. Цю проблему можна вирішити призначивши інші режими різання. Для цього за допомогою функції Modal Analysis і вбудованого в програмному комплексі ANSYS модуля і визначають частоти власних коливань верстатного пристрою, що досліджується та порівнюють з частотами, які виникають у процесі механічної обробки. При необхідності результати цього аналізу дозволяють скорегувати вихідні дані для уникнення явища резонансу. На рисунках 3.6 – 3.8 зображені форми власних коливань досліджуваної системи «ВП– заготовка».

Отже, визначимо величини коливань за результатами інженерного дослідження частот (мод):

- 1-ша критична частота, Гц – 1072;
- 2-га критична частота, Гц – 1074;
- 3-я критична частота, Гц – 1509.

Максимальна частота процесу різання на даній операції не перевищує 141 Гц, що значно менше за значення моди №1, тому при обробці не буде виникати резонанс.

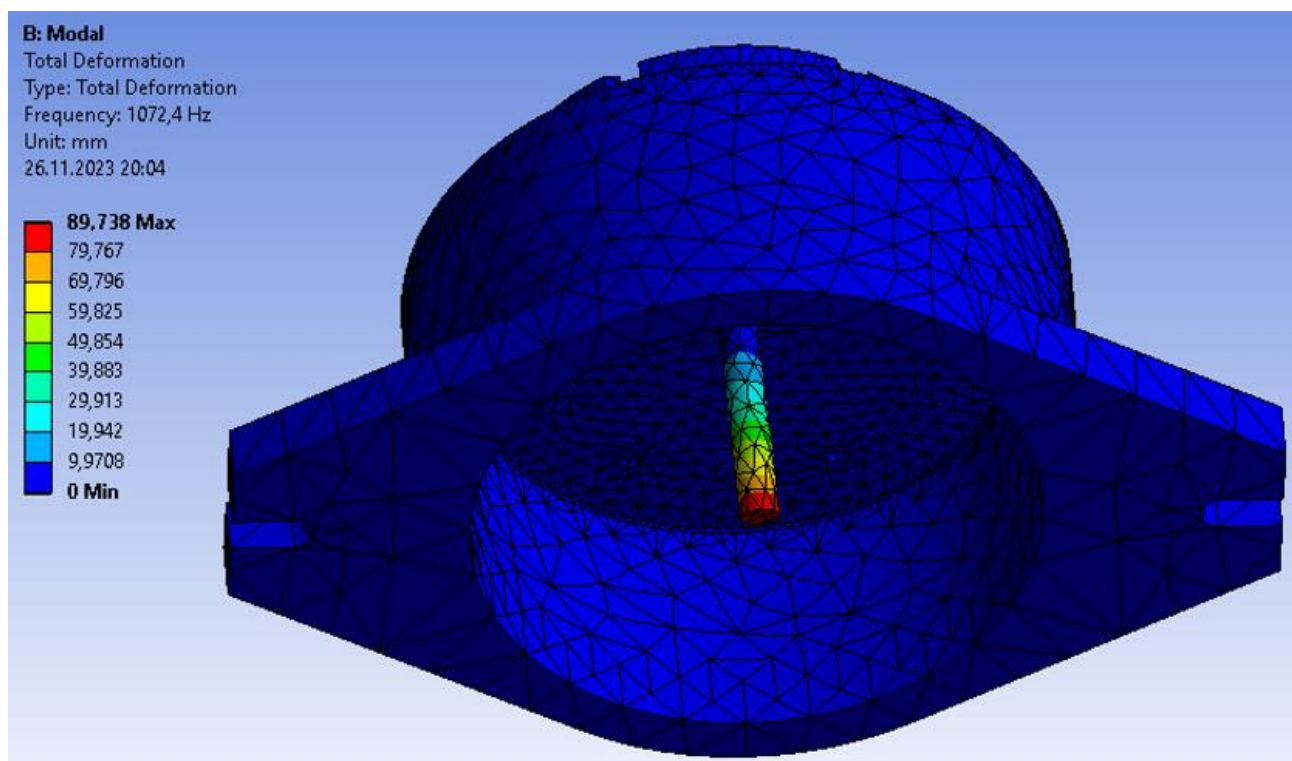


Рисунок 3.9 – Ілюстрація 1-шої критичної частоти ВП

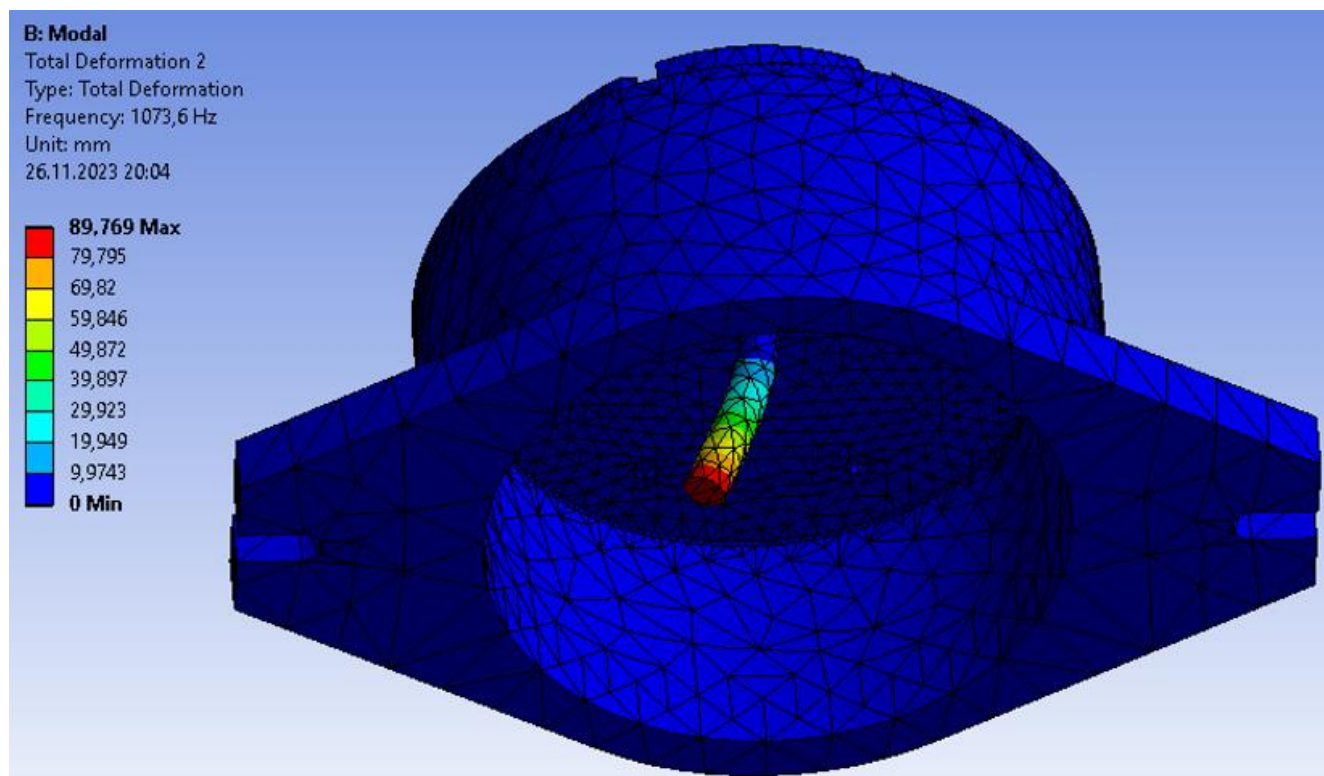


Рисунок 3.10 – Ілюстрація 2-ї критичної частоти ВП

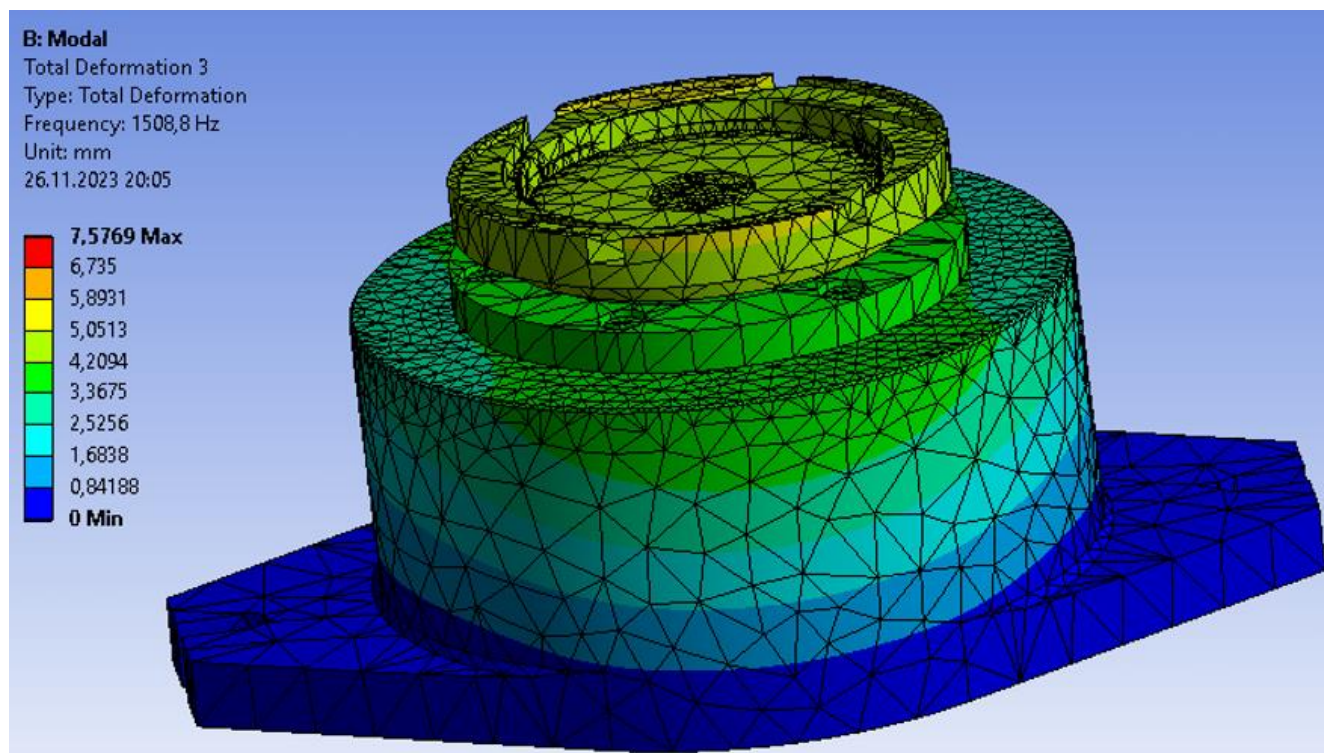


Рисунок 3.11 – Ілюстрація 3-ї критичної частоти ВП

Оскільки перша критична частота власних коливань ВП набагато вища за максимальну частоту процесу різання, то очевидно, що для запропонованої конструкції ВП резонанс не виникне.

Величини коливань 1-ї та 2-ї частот (рисунки 3.9 і 3.10) складають 1072 Гц та 1074 Гц відповідно і є дуже близькими за значенням, а це свідчить про адекватність моделі і вірне виконання розрахунків. На рисунках можна побачити, що відбувається лише коливання штоку, який був винесений для зручності прикладання тягового зусилля, проте в реальних умовах його коливання будуть відсутні, бо шток буде з'єднаний з пневмокамерою. Отже, реальні коливання будуть лише на не досяжній при обробленні третій критичній частоті. За результатами модального аналізу можна припустити, що в реальних умовах динамічна жорсткість спроектованого ВП буде достатньою для виконання механічного оброблення без виникнення явища резонансу.

3.3 Висновок

1. Вивчивши нові методики і проаналізувавши сучасні роботи зі створення, удосконалення та застосування різноманітних верстатних пристроїв, вико-

нано кількісний та якісний аналіз вертикально-фрезерної з ЧПК операції із запропонованого альтернативного технологічного процесу, що дозволило в свою чергу перейти до проєктування удосконаленого ВП пневматичної дії.

2. Базуючись на рекомендаціях проєктування та алгоритмах розрахунку сконструйовано ВП для фрезерування каналів апарату, що направляє, а також створена його 3D модель для подальшого аналізу та досліджень.

3. За допомогою програмного забезпечення Ansys Workbench виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану і модальний аналіз, виявлено максимальні переміщення і максимальні напруження, що задовольняють усі вимоги.

4. За результатами визначених величини коливань можна зробити висновок, що резонансу не виникне і спроектований ВП можна використовувати на вертикально-фрезерній з ЧПК операції для отримання необхідної точності і забезпечення максимальної продуктивності, чого не вистачало в проаналізованому базовому технологічному процесі.

ВИСНОВКИ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – Удосконалення технологічного процесу виготовлення апарата, що направляє, НЗ2.1300.007-03 шляхом інтенсифікації оброблення каналів на вертикально-фрезерній з ЧПК операції.

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було реалізовано наступний обсяг робіт:

- проаналізовано первинну інформацію, включаючи характеристики і особливості машини, вузла, деталі, технічні вимоги до виготовлення деталі, визначено тип виробництва і виконаний прорахунок деталі на технологічність, а також проаналізовано базовий технологічний процес, виявлено недоліки і сформульовано завдання на його вдосконалення;

- запропоновано вдосконалення базового технологічного процесу виготовлення деталі шляхом підбору альтернативного оптимального маршруту оброблення, розрахована більш економічно і технологічно вигідна первинна заготовка, призначені схеми базування, що забезпечують мінімальні похибки та дотримання умов виконання розмірів на операції, що проаналізована. Для цієї операції підібраний сучасний вертикально-фрезерний з ЧПК верстат, різальний інструмент і розраховані режими оброблення, а також підібраний необхідний вимірювальний інструмент;

- спроектовано та перевірено за допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench верстатний пристрій для досліджуваної операції вдосконаленого альтернативного технологічного процесу.

Базовий технологічний процес запропоновано замінити на вдосконалений альтернативний, в якому зменшена кількість і змінена послідовність операцій, а замість універсального обладнання використовується більш сучасне з обладнання ЧПК. В якості заготовки замість прокату було обрано поковку отриману вільним куванням на молотах, спроектовано ВП пневматичної дії, а також розроблена карта операційного налагодження для цієї ж операції.

В розділі «Наукове дослідження» проаналізовані літературні джерела і цей аналіз свідчить про те, що в даний час науковці зосереджуються на розрахунках та розробці моделей ВП із використанням чисельних методів, а головний акцент робиться на вдосконаленні точності механічної обробки при зміні параметрів ВП та режимів різання. Базуючись на рекомендаціях проєктування та алгоритмах розрахунку сконструйовано ВП для фрезерування каналів апарату, що направляє, створена його 3D модель, для якої визначені максимальні напруження, переміщення та частоти коливань. За результатами визначених величин коливань можна зробити висновок, що резонансу не виникне і спроектований ВП можна використовувати на вертикально-фрезерній з ЧПК операції для отримання необхідної точності і забезпечення максимальної продуктивності, чого не вистачало в базовому технологічному процесі.

Також у роботі виконано розрахунок природнього і штучного освітлення цеху де буде оброблятися досліджувана деталь та у додатку розглянуто питання з «Охорони праці та безпека у надзвичайних ситуаціях».

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
4. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
5. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.
6. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В. Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102с.
7. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю.Б. Капаціла, Ів.Б. Гевко. – Тернопіль: ТНТУ , 2016. – 156 с.

8. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення важелів та вилок : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ , 2013. – 56 с.

9. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення валів : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 198 с.

10. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.

11. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» / укладачі : Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 136 с.

12. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

13. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

14. Паливода Ю. Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / укладачі : Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.

15. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.

16. ГОСТ 7829-70 Поковки з вуглецевої і легованої сталі, що виготовляються куванням на молотах. Припуски і допуски.

17. Shape distortion prediction in complex 3D parts induced during the selective laser melting process / Dimitrios Bompos, Julien Chaves-Jacob, Jean-Michel Sprauel // CIRP Annals. – 2020, Vol. 69, Iss. 1. P. 517-520.

18. Tool path optimization in complex geometry parts machining process / Nikolay Baranov, Alexander Feofanov // Materials Today: Proceedings. – 2021, Vol. 38, Pt 4. P. 1364-1366.

19. Increasing tool life and machining performance by dynamic spindle speed control along toolpaths for milling complex shape parts / Petr Vavruska, Filip Bartos, Michal Stejskal, Matej Pesice, Pavel Zeman, Petr Heinrich // Journal of Manufacturing Processes. – 2023, Vol. 99. P. 283-297.

20. Vibration and deformation suppression in mirror milling of thin-walled workpiece through a magnetic follow-up support fixture / Yu Tian, Juliang Xiao, Sijiang Liu, Shijun Ma, Haitao Liu, Tian Huang // Journal of Manufacturing Processes. – 2023, Vol. 99. P. 168-183.

21. Diagnosis of multiple fixture faults in machining processes using designated component analysis / Jaime Camelio, S. Jack Hu, Weiping Zhong // Journal of Manufacturing Systems. – 2004, Vol. 23, Iss. 4. P. 309-315.

22. Multi-Objective Approach to Automated Fixture Synthesis Incorporating Deep Neural Network for Deformation Evaluation / Taqiaden Alshameri, Heng Ding, Yude Dong, Zhu Yiheng, Jin Hui, Ahmed Maqram // Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. – 2023, Vol. 84. Art. 102579.

23. Estimation of supporting fixture receptance for thin-walled milling / K. Mori, A. Matsubara // CIRP Annals. – 2022, Vol. 71, Iss. 1. P. 333-336.

24. Dynamic response prediction model of thin-wall workpiece-fixture system with magnetorheological damping in milling / Junjin Ma, Yunfei Li, Dinghua Zhang, Bo Zhao, Geng Wang, Xiaoyan Pang // Journal of Manufacturing Processes. – 2022, Vol. 74. P. 500-510.

25. Conformable fixture systems with flexure pins for improved workpiece damping / Oliver Craig, Javier Picavea, Andres Gameros, Dragos Axinte, Stewart Lowth // *Journal of Manufacturing Processes*. – 2020, Vol. 50. P. 638-652.

26. Optimization of fixture design with consideration of thermal deformation in face milling / Ying Huang, Tetsutaro Hoshi // *Journal of Manufacturing Systems*. – 2001, Vol. 19, Iss. 5. P. 332-340.

27. Optimization of Machining Fixture for Aeronautical Thin-walled Components / M. Calabrese, T. Primo, A. Del Prete // *Procedia CIRP*. – 2017, Vol. 60. P. 32-37.

28. Chatter suppression in the milling process of the weakly-rigid workpiece through a moving fixture / Min Wan, Xue-Bin Dang, Wei-Hong Zhang, Yun Yang // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2022, Vol. 299. Art. 117293.

29. Multi-objective optimization of fixture locating layout for sheet metal part using Kriging and MOBA / Bo Yang, Zhongqi Wang, Yuan Yang, Shuoshuo Qing, Chen Liu, Feng Gao // *Procedia CIRP*. – 2022, Vol. 112. P. 418-423.

30. Machining fixture for adaptive CNC machining process of near-net-shaped jet engine blade / Dongbo WU, Hui WANG, Jinsong PENG, Kaiyao ZHANG, Jie YU, Xuesong ZHENG, Yunhai CHEN // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2020, Vol. 33, Iss. 4. P. 1311-1328.

31. Intelligent Fixtures for High Performance Machining / Hans-Christian Möhring, Petra Wiederkehr // *Procedia CIRP*. – 2016, Vol. 46. P. 383-390.