

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедри

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«_____» грудня 2021 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
ВАЛА-ШЕСТЕРНІ СНТ 00.00.36 ДВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ
ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Максим ЛАЗАРЄВ

Керівник

Анна НЕШТА

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра технології машинобудування верстатів та інструментів
(повна назва кафедри, (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)
(освітній рівень)

на тему *«Удосконалення технологічного процесу виготовлення
вала-шестерні СНТ 00.00.36 ДВ шляхом модернізації верстатного
пристрою для зубофрезерної операції»*

Виконав: студент II курсу, групи ТМ.м-01
спеціальності:

131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми:

«Технології машинобудування»
(назва освітньої програми)

Максим ЛАЗАРСВ
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник Анна НЕШТА
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ

«Сумський державний університет»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

Віталій ІВАНОВ

«__» _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ

ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТА

Лазарєв Максим Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу виготовлення
вала-шестерні СНТ 00.00.36 дв шляхом модернізації
верстатного пристрою для зубофрезерної операції»

керівник проекту Нешта Анна Олександрівна, старший викладач
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «1» листопада 2021 року № 0911-VI

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «16» грудня 2021 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Креслення деталі «Вал-шестерня СНТ 00.00.36 ДВ»
Базовий технологічний процес виготовлення деталі

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

1. Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня».

2. Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня».

3. Науково-дослідна частина.

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

4.1 Креслення вихідної заготовки
4.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі
4.3 Креслення операційного налагодження
4.4 Креслення верстатного пристрою
4.5 Креслення контрольно-вимірального приладу
5. Інша конструкторська та технологічна документація
Комплект документів на технологічний процес виготовлення деталі «Вал-шестерня»

5. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «__»_____2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	25.09.2021	
2	<i>Удосконалення технологічного процесу виготовлення</i>	10.09.2021	
3	<i>Науково-дослідна частина</i>	15.10.2021	
4	<i>Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях</i>	27.11.2021	
5	<i>Формулювання загальних висновків</i>	03.12.2021	
6	<i>Підготовка доповіді</i>	12.12.2021	
7	<i>Підготовка презентації</i>	12.12.2021	
8	<i>Оформлення роботи</i>	14.12.2021	

Студент

_____ (підпис)

Максим ЛАЗАРЄВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Анна НЕШТА

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Робота магістра містить: 113 сторінок, 30 таблиць, чотири додатків, 25 рисунків, бібліографії з 20 джерел на двох сторінках.

Мета роботи. Підвищення ефективності процесу та зменшення часу оброблення вала-шестерні СНТ 00.00.36 ДВ на зубофрезерній операції.

Для виконання данної мети було поставлено та вирішено такі завдання:
1) виконати аналіз типового технологічного процесу виготовлення вала-шестерні; 2) запропонувати шляхи удосконалення технологічного процесу; 3) розробити верстатний пристрій для високопродуктивного оброблення шліців та зубців вала-шестерні із достатньою точністю; 4) виконати чисельне моделювання запропонованої конструкції верстатного пристрою та теоретично перевірити її працездатність.

Об'єкт дослідження: технологічний процес виготовлення деталі «Вал-шестерня СНТ 00.00.36 ДВ».

Предмет дослідження: верстатний пристрій для зубофрезерної операції.

Наукова новизна: за допомогою чисельного моделювання з використанням методів параметричної оптимізації теоретично доведено працездатність запропонованого верстатного пристрою для зубофрезерної операції за критеріями напружено-деформованого стану та модального аналізу.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ЗАГОТОВКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНІЧНЕ НОРМУВАННЯ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ

ABSTRACT

The master's work consists of 113 pages, 30 tables, 25 figures, four appendices, bibliographies from 20 sources on two pages.

The purpose of the work. Improving the efficiency of the process and reducing the processing time of the gear shaft CHT 00.00.36 ДБ on gear milling operation.

To achieve this goal, the following tasks were set and solved: 1) perform an analysis of the typical technological process of manufacturing a gear shaft; 2) suggest ways to improve the technological process; 3) to develop a machine tool for high-performance machining of slots and teeth of the gear shaft with sufficient accuracy; 4) perform numerical modeling of the proposed design of the machine tool and theoretically check its efficiency.

The object of study: the technological process of making the part gear shaft CHT 00.00.36 ДБ.

The subject of study: machine tool for gear milling operation.

Scientific novelty: with the help of numerical modeling using the methods of parametric optimization theoretically proved the efficiency of the proposed machine tool for gear milling operation on the criteria of stress-strain state and modal analysis.

GEAR SHAFT, WORKPIECE, TECHNOLOGICAL PROCESS, CUTTING MODES, TECHNICAL STANDARDIZATION, MACHINE DEVICE

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ	
ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання	6
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі	11
1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	17
1.5 Аналіз базового технологічного процесу	19
1.6 Висновок	20
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	21
2.1 Вибір способу одержання заготовки та розроблення технічних вимог до неї.....	21
2.2 Аналіз та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	25
2.3 Складання маршруту технологічного процесу виготовлення деталі	32
2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів	34
2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	38
2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку	42
2.7 Розрахунок режимів різання	49
2.8 Технічне нормування операцій.....	65
2.9 Проектування верстатного пристрою	71
2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	85
2.11 Висновок	96
РОЗДІЛ 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ	
ЗУБОФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ	98
3.1 Опис конструкції пристрою	98

3.2 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою.....	100
3.3 Модальний аналіз верстатного пристрою	105
3.4 Висновок	109
Висновки	110
Перелік джерел посилання	112
Додатки.....	114

ВСТУП

Актуальність роботи. Машинобудування є однією з провідних галузей промисловості. Це пов'язано з тим, що всі процеси пов'язані з машинобудуванням, тому ця галузь з розвитком новітніх технологій мусить розробляти нові технологічні процеси. В даний час помічається швидке і багаторазове ускладнення машин, об'єднання їх у великі комплекси, зменшення їх металоємності і підвищення потужності. З підвищенням зносостійкості деталей машин зменшуються витрати матеріалів на їх виготовлення, зменшується кількість працівників і трудомісткість при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті. Розробляються способи оптимізації технологічних процесів, спрямованих на досягнення необхідної точності, продуктивності та економічності виготовлення при забезпеченні високих експлуатаційних якостей та надійності роботи машини. Деталь вал-шестерня СНТ 00.00.36 ДВ є однією з основних складових затвору зворотнього DN 700 PN 100. Технологічний процес оброблення даної деталі досить складний та трудомісткий, тому його удосконалення із застосуванням методик проектування та інженерного аналізу є актуальним завданням.

Мета та завдання роботи. Підвищення ефективності процесу та зменшення часу оброблення вала-шестерні СНТ 00.00.36 ДВ на зубофрезерній операції.

Для досягнення заданої мети були поставлені наступні **завдання**:

- 1) виконати аналіз типового технологічного процесу виготовлення вала-шестерні;
- 2) запропонувати шляхи удосконалення технологічного процесу;
- 3) розробити верстатний пристрій для високопродуктивного оброблення шліців та зубців вала-шестерні із достатньою точністю;
- 4) виконати чисельне моделювання запропонованої конструкції верстатного пристрою та теоретично перевірити її працездатність.

Об'єкт дослідження. Технологічний процес виготовлення деталі «Вал-шестерня СНТ 00.00.36 ДВ».

Предмет дослідження. деталь «Вал-шестерня СНТ 00.00.36 ДВ» виробу затвор зворотний $D_N 700 P_N 100$.

Методи дослідження. Аналіз і удосконалення технологічного процесу, систематизація і узагальнення отриманої інформації, розроблення верстатного пристрою і дослідження його конструкції методами напружено-деформованого стану та модального аналізу за допомогою використання пакету математичного аналізу ANSYS Workbench.

Наукова новизна. За допомогою чисельного моделювання з використанням методів параметричної оптимізації теоретично доведено працездатність запропонованого верстатного пристрою для зубофрезерної операції за критеріями напружено-деформованого стану та модального аналізу.

Практичне значення отриманих результатів. Запропонована конструкція верстатного пристрою для зубофрезерної операції може бути застосована на підприємстві, де виготовляють вал-шестерню СНТ 00.00.36 ДВ, що підвищить продуктивність оброблення та скоротить час виконання операції.

Особистий внесок здобувача. Дослідження виконані особисто. Аналіз отриманих результатів виконано спільно з науковим керівником роботи.

Апробація роботи. Немає.

Публікації. Немає.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, трьох розділів, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг роботи магістра становить

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1.1 Аналіз службового призначення виробу, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її використання

Затвор зворотний $D_N 700 P_N 100$ призначений для запобігання зворотного потоку середовища (рідини, газу) і забезпечення безпечної роботи устаткування і обслуговуючого персоналу. Затвор пропускає потік рідини (газу) в одному напрямку і запобігає її рух в протилежному, діючи при цьому автоматично. За допомогою затвора зворотного можливо захистити різне обладнання, трубопроводи, насоси, збільшити тривалість роботи обладнання, а також істотно обмежити витікання робочого середовища з системи при руйнуванні її ділянки.

Після стискання пружини і відкриття запірнього елемента вода починає вільно переміщатися через зворотний клапан в потрібному напрямку.

Якщо рівень тиску робочого потоку рідини в трубопроводі падає або вода починає рухатися не в тому напрямку, пружинний механізм клапана повертає запірний елемент в закритий стан.

Установка затвора проводиться як на горизонтальних надземних і підземних ділянках трубопроводів.

Затвор виготовляється в кліматичному виконанні УХЛ1 (для районів з помірним і холодним кліматом) за умовами ГОСТ 15150.

Затвор за умовами монтажу виконаний з патрубками під приварення. Оброблення кромek приєднуваних патрубків затвора виконується під конкретну трубу, зазначену в паспорті на виріб. Затвор герметичний по відношенню до зовнішнього середовища.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики затвору зворотнього $D_N 700 P_N 100$
за [4]:

Назва технічних характеристик	Показники
1. Діаметр номінальний, D_N , мм	700
2. Тиск номінальний, P_N , МПа	100
3. Робоче середовище	природний газ
4. Швидкість робочого середовища, м/с	5...20
5. Температура робочого середовища, К (°C)	213...353 (-60...80)
6. Температура навколишнього середовища, К (°C)	213...318 (-60...40)
7. Гідравлічні втрати в затворі на номінальному режимі (швидкість робочого середовища - 10 м/с, тиск 7,5 МПа, температура 50 °C), МПа, не більше	0,01
8. Протікання через запірний диск затвора при односторонньому перепаді тиску 8,0 МПа з боку зворотного потоку робочого середовища (при випробуванні водою), $\text{см}^3/\text{хв}$, не більше	20
9. Кут повороту запірного диска, °, не більше	84
10. Зусилля здвигу запірного диска, кгс, не більше	30
11. Маса затвора, кг, не більше	3100
12. Матеріал основних виробів	Сталь 09Г2С

Затвор складається з наступних основних одиниць і деталей:

- 1 – корпусу 1;
- 2 – кришок 4 і 6;
- 3 – пристрою запірного 2;
- 4 – трубопроводу 19;
- 5 – демпфера 9;
- 6 – вала торсіонного 16.

Корпус затвора 1 виконаний суцільнозварним і служить для розміщення основних складальних одиниць, що входять до складу затвора, у верхній частині корпусу виконаний люк, що закривається кришками 4 і 6.

В люку виконаний отвір, заглушений пробкою 15, який служить для стравлювання тиску газу з порожнини, розташованої між кільцями

ущільнювачів 14 кришки 6. Зовні на фланцях, прикріплених до корпусу, встановлені демпфери 9.

У нижній частині корпусу виконаний отвір для зливу конденсату і води після гідровипробувань, яке глушиться пробкою 7. Опорою корпусу служить піддон 17.

Кришка люка 6 являє собою деталь сферичної форми, у верхній частині якої приварені дві стропувальні сержки, а також виконаний отвір для заглушення пробкою 11. Ущільнення кришки відносно корпусу 1 здійснюється за допомогою кілець ущільнювачів 14.

Пристрій запірний 2 служить для запобігання зворотного потоку робочого середовища і складається з наступних основних складальних одиниць і деталей:

- 1 – фланця 6;
- 2 – важеля 4;
- 3 – диска запірного 3;
- 4 – вала 10;
- 5 – опори 11.

Фланець 6 являє собою деталь циліндричної форми на якій розташовані всі деталі, що входять до складу запірного пристрою.

У верхній частині фланця 6 розташована опора 11, в підшипниках ковзання якої встановлений вал 10, з'єднаний з важелем 4 за допомогою шліцевого з'єднання. На кінцях валу 10 виконані шліци.

Фіксація запірного диска від проворота відносно важеля 4 здійснюється за допомогою двох шпильок 2, вкручених в бобишки диска і проходять через отвори, виконані в ребрах важеля, і гайок 1.

Запірний диск 3, який є робочим органом затвора, являє собою деталь сегментної форми.

У нижній частині диска встановлено крило 5, а також упор 16 з амортизуючою накладкою 17. З'єднання запірного диска і важеля 4 здійснюється за допомогою сферичного шарніра. На диску приварені 4 стропувальні сержки.

Демпфер 9 призначений для зменшення ударних навантажень на корпус затвора при спрацьовуванні запірною диска. Демпфіруючим середовищем є транспортувальний природний газ. Демпфер складається з наступних основних складальних одиниць і деталей:

- 1 – кришки 6;
- 2 – корпусу 3;
- 3 – перегородки 10;
- 4 – лопатей 8.

Корпус 3 суцільнозварний, всередині якого встановлені дві нерухомо закріплені перегородки 10 і обертається втулка 12 з діаметрально розташованими на ній лопатями 8.

Забезпечення мінімального зазору між обертовими лопатями і корпусом, втулкою і перегородками здійснюється за допомогою пружних ущільнень 7 і 11.

Герметичність демпфера щодо зовнішнього середовища здійснюється за допомогою кільця ущільнювача 2.

З торця на демпфер встановлюється захисний кожух 25, на якому є напис "Відкриваючи, переконайся у відсутності тиску".

Трубопроводи 19 призначені для підведення транспортується робочого середовища у внутрішню порожнину демпферів. При відсутності робочого середовища запірний диск знаходиться в закритому положенні під дією власної маси.

Наявність потоку робочого середовища призводить до його відкриття. При цьому крутний момент, що виникає на валу запірною пристрою 2, передається на втулки демпферів 9 за допомогою муфт 23 і торсіонних валів.

При зниженні швидкості потоку робочого середовища або виникнення зворотного потоку газу запірний диск закривається і замикає прохідний перетин затвора. При цьому зменшення ударних навантажень на корпус затвора забезпечується за рахунок стиснення газу, що знаходиться в робочій порожнині корпусу демпфера.

У процесі складання необхідно виконувати наступні роботи:

- зробити змащення сполучених поверхонь, що труться, з'єднань деталей, вузлів і ущільнюючих гумових кілець 14 мастилом ЦИА ТИМ-221;
- не допускати механічних пошкоджень ущільнювачами та направляючих поверхонь;
- ретельно виробляти затяжку і контровку кріплення вузлів і деталей затвора. Момент затяжки – 0...15 Н/м.

Одним з найголовніших елементів затвора зворотного $D_N 700 P_N 100$ це деталь вал-шестерня.

Службове призначення вала-шестерні у виробі затвор зворотний. Вал-шестерня знаходиться у запірному пристрої і призначений для з'єднання ричага з корпусом шляхом шліцьового з'єднання. Вал закріплюється в підшипниках ковзання на опорі. Завдяки цьому з'єднанню запірний пристрій запобігає зворотному потоку робочого середовища.

Поверхні деталі призначені:

- базування за поверхнями $\varnothing 105f7$ в підшипниках ковзання, розміщених в опорах затвора;
- базування за шліцями d-20x112a11x125e8x9h9 важеля;
- зубчаті поверхні призначені для передачі крутного моменту;

У вузлі вал-шестерня позбавляється 6-ти ступенів вільності, мають місце три технологічні бази: подвійна напрямна база, якою являються зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 105f7$ – позбавляє 4-ьох ступенів вільності; опорна база, торці $\varnothing 80h11$ – одного ступеня вільності; опорна база, зубчасті вінці – одного ступеня вільності.

В процесі роботи вал-шестерня зазнає значних контактних навантажень.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Технічні вимоги на виготовлення деталі визначаються її службовим призначенням. В цілому оформлення креслення Вал-шестерня відповідає загальноприйнятим стандартам. На кресленні зображений один поздовжній вид деталі, що є цілком достатнім для тіл обертання. Додатково на кресленні вказано один переріз і один виносний елемент. Проставлені технічні вимоги за стандартами: ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.305, ГОСТ 2.307.

Розстановка розмірів, їх допусків, точності форми і взаємного розташування поверхонь, шорсткості – вірна, і дає повне уявлення про конфігурацію розглянутої деталі.

Деталь Вал-шестерня являє собою тіло обертання з відношенням $l/d=620/125=4,96$. Найбільш точними поверхнями деталі є зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 125e8$, зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 105f7$. Найбільш високу шорсткість мають циліндричні поверхні $\varnothing 105f7$ – Ra 0,8 мкм.

Отже, деталь Вал-шестерня відноситься до типу деталей – вали. Цей вал цілісний, ступінчастий, жорсткий.

Деталь Вал-шестерня представлена на рисунку 1.1.

Матеріал деталі – конструкційна сталь 38ХА ГОСТ 4543.

Призначення – виготовлення черв'яків, зубчатих колеіс, шестерень, валів, осей, шатунних болтів та ін.

Хімічний склад і механічні властивості сталі представлені в таблиці 1.2 і таблиці 1.3 відповідно [5].

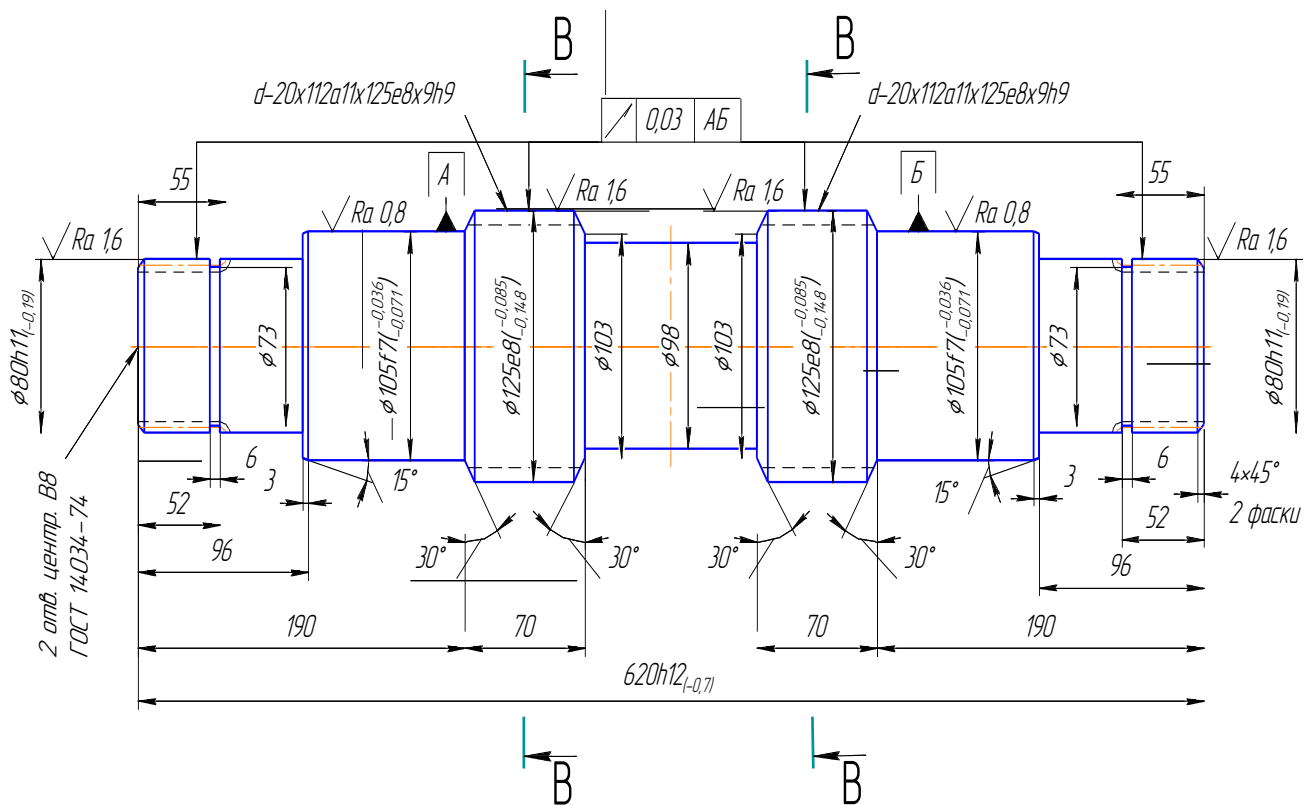


Рисунок 1.1 – Деталь Вал-шестерня

Таблица 1.2 – Хімічний склад сталі 38ХА, у відсотках

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
				не більше			
0,35...0,42	0,17...0,37	0,50...0,80	0,80...1,10	0,025	0,025	0,30	0,30

Таблица 1.3 – Механічні властивості сталі 38ХА

Термообробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	ψ	KCU, Дж/см ²	HB
		МПа		%			
		не менше					
Нормалізація	500-800	245	470	15	30	34	143-179
	300-500	275	530	15	32	29	156-197

Продовження таблиці 1.3

Термообробка	Переріз, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ
		МПа		%			
		не менше					
Нормалізація	До 100	315	570	17	38	39	167-207
	100-300			14	35	34	
Гартування, відпуск	300-500	315	570	12	30	29	167-207
	500-800			11			
Нормалізація	До 100	345	590	18	45	59	174-217
	100-300	345		17	40	54	
	300-500			14	38	49	
Гартування, відпуск	До 100	395	615	17	45	59	187-229
	100-300			15	40	54	
	300-500			13	35	49	
	До 100	440		635	16	45	
100-300		14	40		54		
	До 100	490	655	16	45	59	212-248
	100-300			13	40	54	

Технологічні властивості сталі 38ХА за [5]:

Температура кування, °С: початку 1240°, кінця 780°.

Зварюваність – важкозварювальна, рекомендується зварювання плавленням з попереднім підігрівом і наступною термообробкою.

Обробка різанням – $\sigma_B=930$ МПа, $K_{V_{тв.спл}}=0,7$; $K_{V_{б.ст}}=0,8$.

Флокеночутливість – чутлива.

Схильність до відпускнуї крижкості – схильна.

На кресленні присутні допуски радіального биття відносно поверхонь А і Б – 0,03 мм. Виконання даних допусків дозволить точно розташувати Вал-шестерню в корпусі і точно збазувати ричаг на валу. Недотримання вимоги призведе до перекосу та відповідно – заїдання вала, збільшення навантаження на підшипникові вузли з послідуочим розбиттям підшипників.

Особливих вимог до твердості деталі немає, до поверхонь задана твердість НВ 167...207.

Шорсткість поверхонь забезпечуємо правильним підбором режимів різання, правильної геометрії інструменту, змащувально-охолоджувальною рідиною, а також жорсткістю технологічної системи (верстат, пристосування, інструмент, деталь). Найбільший вплив на висоту мікронерівностей має подача. Тому обрану подачу перевіряємо по можливості досягнення необхідної шорсткості поверхні. Найбільш точну шорсткість мають зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 105f7 - Ra0,8$ мкм. Недотримання вимог шорсткості тягне за собою похибку установки деталей розміщених на валу.

1.3 Визначення типу виробництва та форми його організації

Тип виробництва – це сумарна характеристика технологічних, організаційних та економічних особливостей машинобудівного виробництва, обумовлена його спеціалізацією, обсягом і сталістю номенклатури виробів, а також формою руху виробів по робочих місцях.

Виходячи з річної програми випуску $N = 1000$ шт. і маси деталі понад 37,6 кг визначається тип виробництва табличним методом, в якому виготовляється деталь – середньосерійний тип виробництва за [6].

Визначимо кількість деталей в партії для одночасного запуску у виробництво за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} \quad (1.1)$$

де N – річна програма, шт.;

a – періодичність запуску в днях (рекомендовано періодичність 3,6,12, 24 дні).

Призначаємо 6 днів.

$$n = \frac{1000 \cdot 12}{254} = 47,24 \approx 50 \text{ шт}$$

Цей тип виробництва характеризується обмеженою номенклатурою продукції, що випускається, при цьому вироби кожного найменування випускаються певними партіями, що повторюються через певні відрізки часу.

Серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим виробництвом. При серійному виробництві деталі виготовляються партіями, що складаються з однойменних, однотипних за конструкцією і однакових за розмірами виробів, що запускаються у виробництві одночасно. Основним принципом цього виду виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком як в обробці деталей, так і в складанні.

У серійному виробництві залежно від кількості виробів у серії, їх характеру і трудомісткості, частоти повторюваності серії протягом року розрізняють виробництво дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне.

Серійне виробництво характеризується тим, що за кожним робочим місцем закріплено від 11 до 20 операцій. Характерно широке використання верстатів з ЧПК, пов'язаних транспортними пристроями і керовані засобами ЕОМ.

Середньосерійне виробництво є найбільш поширеним типом виробництва. На машинобудівних підприємствах середньосерійного типу виробництва виготовляється досить велика номенклатура виробів, хоча й більш обмежена ніж в одиничному виробництві. Частина виробів є спорідненими конструктивно-технологічними ознаками.

Іншою ознакою середньосерійного виробництва є повторюваність випуску виробів. Це дозволяє організувати випуск продукції більш-менш ритмічно. Випуск виробів у великих або відносно великих кількостях дозволяє проводити значну уніфікацію виробів і технологічних процесів; виготовляти стандартні або нормалізовані деталі, що входять до конструктивні ряди, великими партіями, що зменшує їх собівартість

Відносно великі розміри програм випуску однотипних виробів, стабільність конструкції, уніфікація деталей дозволяють використовувати для їх виготовлення разом з універсальним спеціальне високопродуктивне обладнання та спеціальне оснащення.

Оскільки в серійному виробництві випуск виробів повторюється, економічно доцільно розробляти технологічні процеси обробки і збірки детально; представляти кожну операцію у вигляді переходів; встановлювати режими обробки, точні назви верстатів і спеціального оснащення і технічні норми часу.

Організація праці в серійному виробництві відрізняється високою спеціалізацією. За кожним робочим місцем закріплюється виконання декількох певних деталеоперацій. Це дозволяє робітникові добре освоїти інструмент, пристосування і весь процес обробки; набути навичок і вдосконалити прийоми обробки. Так як в серійному виробництві застосовується велика кількість складного обладнання та спеціального оснащення, налагодження устаткування здійснюється спеціальними робочими-наладчиками.

Особливості серійного виробництва обумовлюють економічну доцільність випуску продукції по циклічно повторюється графіком. При цьому виникають необхідні умови для встановлення суворого порядку чергування виробів в цехах, на виробничих ділянках і робочих місцях. Технологічне оснащення в основному універсальна. Великого поширення набули універсальні збірні переналагоджувані пристосування, що дозволяють істотно підвищити коефіцієнт оснащення виробництва. Ріжучий інструмент: в основному стандартний, рідше – спеціальний.

Вимірювальний інструмент: в основному спеціальний, рідше – стандартний. Технічне нормування робіт ведеться за допомогою розрахунку. Технологічна документація детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації для простих заготовок. Для них використовується гарячий і

холодний прокат, лиття, поковки і штампування. Необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів, рідше – методом пробних ходів і замірів.

Характеристика заданого типу виробництва представлена у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристика типу виробництва

Показники	Тип виробництва
	Середньосерійне
Номенклатура виробів	Обмежена
Характер випуску	Періодичний, серіями
Повторюваність виробництва	Місячна
Устаткування й оснащення	Універсальне і спеціальне
Кваліфікація робітників	Всі кваліфікації
Собівартість виробу	Не дуже висока
Розташування обладнання	По групах
Спеціалізація робочих	Обмежена

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Один із факторів, який значно впливає на характер технологічного процесу, є технологічність конструкції машини та її деталей. Технологічністю називають сукупність властивостей конструкції, які визначають можливість досягнення оптимальних матеріальних затрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості та умов виконання роботи ГОСТ 14.205.

Оцінку технологічності конструкції проводимо по якісним показникам. Якісна оцінка проводиться на етапі вивчення конструкції деталі та технологічних вимог на виготовлення та прийом.

Деталь «Вал-шестерня», відноситься до тіл обертання, виготовляється із сталі 38ХА ГОСТ 4543. Проаналізувавши матеріал, використаний для виготовлення деталі, то він добре піддається лезовій обробці. В якості заміників

даної марки сталі можна використовувати наступні марки сталей: Сталь 40X, 35X, 40XH.

Маса готової деталі становить 37,6 кг, тому на механічних операціях треба застосовувати допоміжні підйомні механізми (кран-балки, мостові крани), що збільшує допоміжний час та відповідно собівартість готової деталі. За масою деталь технологічна. Габарити деталі дорівнюють $\text{Ø}125 \times 620$ мм. Розміри робочої зони для обробки такої деталі повинні бути великі, так як застосовуване обладнання має великі габарити. Обладнання нормальної точності, тому його обслуговування має не велику вартість.

Креслення деталі виконане відповідно до ГОСТу, на ньому вказана достатня кількість видів і розрізів. Креслення можна прочитати без ускладнень. По даному пункту деталь технологічна.

Деталь «Вал» має як точні поверхні 6-9 квалітети із шорсткістю Ra 0,8-3,2 мкм, так і грубі квалітети 14 із шорсткістю Ra 12,5, тому для забезпечення відповідної якості потрібна відповідна кількість операцій. Все це відбивається на собівартості виробу в цілому. Допуски радіального биття досягаються завдяки принципам сумісності і постійності баз. Для отримання даних вимог треба використовувати точне чистове обладнання, достатню кількість операцій та переходів (чорнові та чистові), відповідні режими різання та технологічну оснастку. Вартість готової деталі збільшиться, тому що буде використовуватися точне обладнання, технологічна оснастка (вимірювальний інструмент та пристосування).

З точки зору зручності базування дана деталь є не технологічною, так як необхідне застосування спеціальних пристроїв на певних стадіях обробки.

До нетехнологічних конструктивних елементів даної деталі можна віднести фаски $3 \times 15^\circ$ і під 30° (отримують за допомогою верстатів з ЧПК) і зубчаті поверхні (обробляються черв'ячними фрезами з використанням спеціальних поворотних пристроїв).

З аналізу деталі на технологічність можна зробити висновок, що для заданого типу виробництва вона технологічна, хоча має деякі нетехнологічні елементи, але їх можна отримати за допомогою спеціального устаткування, пристосувань і різального інструменту.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу

В цьому пункті розглянемо технологічний процес виготовлення деталі «Вал-шестерня СНТ 00.36 ДВ».

Технологічний процес складено відповідно до виконання технічних вимог додержання даної деталі (дивись таблицю 1.4)

Таблиця 1.4 – Базовий технологічний процес

Номер операції	Найменування операції	Короткий зміст операції	Обладнання
1	2	3	4
005	Заготівельна		
010	Термічна		
015	Контрольна ВТК		Стіл ВТК
020	Горизонтально-розточна	Фрезерування торців і центрування отворів	2М615
025	Контрольна ВТК		Стіл ВТК
030	Токарно-гвинторізна	Чорнова обробка деталі	16К20
035	Токарно-гвинторізна	Напівчистова обробка деталі	16К20
040	Токарна з ЧПК	Чистова обробка деталі	16К20Ф3
045	Контрольна ВТК		Стіл ВТК
050	Розміточна		
055	Зубофрезерна	Фрезерування шліців і зубчатих вінців	5312В
060	Контрольна		Стіл ВТК
065	Промивальна		Ванна
070	Маркувальна		

1.6 Висновок

За результатами проведеного аналізу базового технологічного процесу встановлено:

- призначення конструктивних особливостей деталі «Вал-шестерня» указує на раціональність конструкції деталі і відповідає технічним вимогам на виробництво;

- існуючий технологічний процес зорієнтований на застосування застарілого обладнання і його можна покращити за допомогою більш сучасного устаткування.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Вибір способу одержання заготовки та розроблення технічних вимог до неї

Основною умовою раціональної технології є максимальне приближення форми та розмірів заготовки до форми готової деталі. Основними методами утворення форми заготовок або їх основних поверхонь являються лиття, обробка тиском, формування, обробка різанням, наплавлення, металізація, напилювання, заливка рідким металом.

В базовому технологічному процесі виготовлення деталі Вал-шестерня заготовка отримана поковкою кованою на молотах.

Переваги ковки:

- можливість виготовлення великогабаритних поковок масою до 300 ... 400 т при використанні порівняно малопотужного обладнання (мінімальна маса – кілька десятків грам);
- застосування універсального устаткування і оснащення дозволяють отримати поковки широкого асортименту;
- поліпшується якість металу, його механічні властивості (пластичність, ударна в'язкість).

Недоліки ковки:

- низька продуктивність;
- великі припуски, допуски, напуски, що викликає великий обсяг механічної обробки .

Залежно від матеріалу деталі, типу виробництва, розмірів і конфігурації деталі пропонується метод отримання заготовки: штамповка на горизонтально-кувальній машині (ГКМ).

Переваги штамповки на ГKM:

- можливість штампування поковок без обля, що виключає необхідність застосування обрізного преса;
- відсутність штампувальних ухилів на зовнішній поверхні поковки, що дозволяє підвищити коефіцієнт вагової точності (КBT) і коефіцієнт використання металу (КBM) при штампуванні;
- виконання робочих інструментів у вигляді вставок в штампах дозволяє підвищити стійкість зношування, а також їх швидку заміну, що зменшує вартість інструменту і всього штампа в цілому;
- можливість виконувати штампування як з мірних заготовок, так і з прутка, що дозволяє зменшити витрати металу.

Недоліки штамповки на ГKM:

- необхідність застосування прокату підвищеної точності;
- обмежене число форм поковок (циліндричні);
- відносно низька стійкість ставок штампа;
- необхідність очищення проката від окалини;
- відносно висока вартість машини (в 1,5 рази дорожче КГШП аналогічної потужності).

Для визначення припусків табличним способом проводяться такі розрахунки за [7]:

Клас точності поковки – T4.

Група сталі – M2.

Коефіцієнт для визначення орієнтовної маси поковки $K_p=1,3$.

Орієнтовна (розрахункова) маса поковки визначається за формулою:

$$m_3^p = m_d \cdot K_p, \quad (2.1)$$

$$m_3^p = 37,6 \cdot 1,3 = 48,9 \text{ кг.}$$

Для визначення ступеня складності необхідно визначити відношення маси G_{Π} поковки до маси G_{Φ} геометричної фігури.

Маса геометричної фігури (циліндра) визначається за формулою:

$$G_{\Phi} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H, \quad (2.2)$$

де D – діаметр циліндра (найбільший діаметр деталі), $D = 0,125$ м;

H – висота циліндра (довжина деталі), $H = 0,620$ м.

$$D = 125 \cdot 1,05 = 131 \text{ мм.}$$

$$H = 620 \cdot 1,05 = 651 \text{ мм.}$$

$$G_{\Phi} = 7850 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,131^2}{4} \cdot 0,651 = 68,8 \text{ кг.}$$

Тоді відношення фігур $G_{\Pi}/G_{\Phi}=48,9/68,8=0,71$.

Ступінь складності – С1.

Вихідний індекс – 15.

Конфігурація поверхні рознімання штампа – П (плоска).

Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості R_a , який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються основні припуски на механічну обробку, допуски і допустимі відхилення лінійних розмірів та допустимі припуски.

Основні припуски на розміри, мм:

діаметр 80 мм і чистота поверхні 1,6 мкм – 2,3

діаметр 80 мм і чистота поверхні 1,6 мкм – 2,3

діаметр 105 мм і чистота поверхні 0,8 мкм – 2,7

діаметр 105 мм і чистота поверхні 0,8 мкм – 2,7

діаметр 125 мм і чистота поверхні 1,6 мкм – 2,5

діаметр 125 мм і чистота поверхні 1,6 мкм – 2,5
 діаметр 98 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 1,9
 довжина 96 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 1,9
 довжина 96 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 1,9
 довжина 190 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 2,2
 довжина 190 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 2,2
 довжина 70 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 1,9
 довжина 70 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 1,9
 довжина 620 мм і чистота поверхні 12,5 мкм – 2,6

Додаткові припуски, що враховують зміщення по поверхні рознімання штампа, мм – 0,5.

Розміри поковки, мм:

діаметр $80 + (2,3+0,5) \cdot 2 = 85,6$ – приймаємо 86
 діаметр $80 + (2,3+0,5) \cdot 2 = 85,6$ – приймаємо 86
 діаметр $105 + (2,7+0,5) \cdot 2 = 111,4$ – приймаємо 111
 діаметр $105 + (2,7+0,5) \cdot 2 = 111,4$ – приймаємо 111
 діаметр $125 + (2,5+0,5) \cdot 2 = 131$ – приймаємо 131
 діаметр $125 + (2,5+0,5) \cdot 2 = 131$ – приймаємо 131
 діаметр $98 + (1,9+0,5) \cdot 2 = 102,8$ – приймаємо 103
 довжина $96+2,6-1,9+0,5-0,5 = 96,7$ – приймаємо 97
 довжина $96+2,6-1,9+0,5-0,5 = 96,7$ – приймаємо 97
 довжина $190+2,6-2,2+0,5-0,5 = 190,4$ – приймаємо 191
 довжина $190+2,6-2,2+0,5-0,5 = 190,4$ – приймаємо 191
 довжина $70+1,9+2,2+0,5+0,5 = 75,1$ – приймаємо 75
 довжина $70+1,9+2,2+0,5+0,5 = 75,1$ – приймаємо 75
 довжина $620+(2,6+0,5) \cdot 2 = 626,2$ – приймаємо 626

Результати розрахунків припусків і допусків з граничними відхиленнями розмірів зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Зведена таблиця для визначення розмірів заготовки, мм

Розмір деталі	Чистота поверхні	Припуск	Додатковий припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Приймаємий розмір заготовки	Фактичний припуск
Ø 80	1,6	2,3	0,5	Ø 85,6	Ø 86	3,0
Ø 80	1,6	2,3	0,5	Ø 85,6	Ø 86	3,0
Ø 105	0,8	2,7	0,5	Ø 111,4	Ø 111	3,0
Ø 105	0,8	2,7	0,5	Ø 111,4	Ø 111	3,0
Ø 98	12,5	1,9	0,5	Ø 102,8	Ø 103	2,5
Ø 125	1,6	2,5	0,5	Ø 131	Ø 131	3,0
Ø 125	1,6	2,5	0,5	Ø 131	Ø 131	3,0
L96	12,5	1,9	0,5	L96,7	L97	2,0
L96	12,5	1,9	0,5	L96,7	L97	2,0
L190	12,5	2,2	0,5	L190,4	L191	2,0
L190	12,5	2,2	0,5	L190,4	L191	2,0
L70	12,5	1,9	0,5	L75,1	L75	3,0
L70	12,5	1,9	0,5	L75,1	L75	3,0
L620	12,5	2,6	0,5	L626,2	L626	3,0

Дізнавшись розміри заготовки, можна знайти масу заготовки за допомогою програми «Компас-3D»: $m_3 = 44,9$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою:

$$K_B = \frac{m_d}{m_3}, \quad (2.3)$$

де m_d – маса деталі, $m_d=37,6$ кг.

$$K_B = \frac{37,6}{44,9} = 0,84$$

2.2 Аналіз та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Для розгляду цього питання в якості технологічної операції були прийняті операції – 055 і 060 токарна з ЧПК. На даній операції обробляються поверхні, виділені на рисунку 2.1.

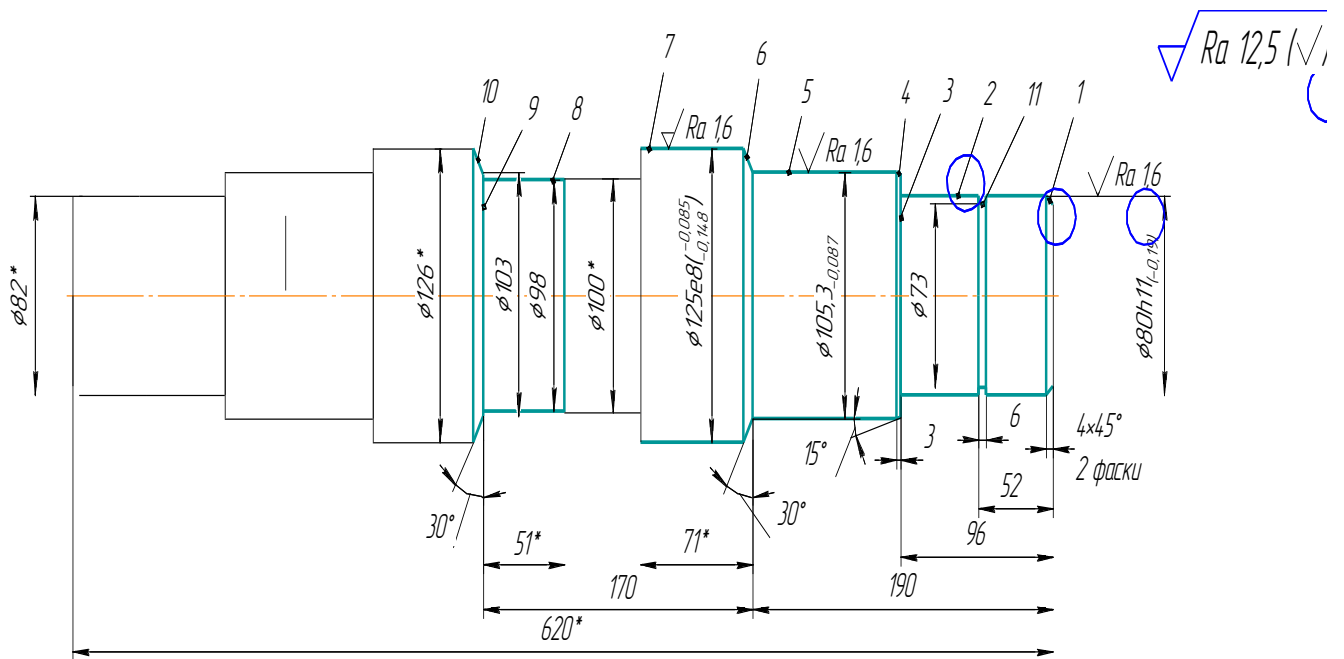


Рисунок 2.1 – Операційний ескіз (операція 055 і 060)

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в центрах, тому що відсутні інші альтернативні рішення. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь, забезпечують обробку деталі на інших операціях без зміни баз (принцип постійності баз).

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- подвійна направляюча – лівий і правий центровий отвір, позбавляють деталь 4-х ступенів вільності: переміщення вздовж осей X і Y і обертань навколо осей X і Y;

- опорна – торець уступу, позбавляє деталь одного ступеня вільності: переміщення вздовж осі Z.

Приклад базування приведений на рисунку 2.2, також додано таблицю відповідності 2.2 та матрицю зв'язків 2.3.

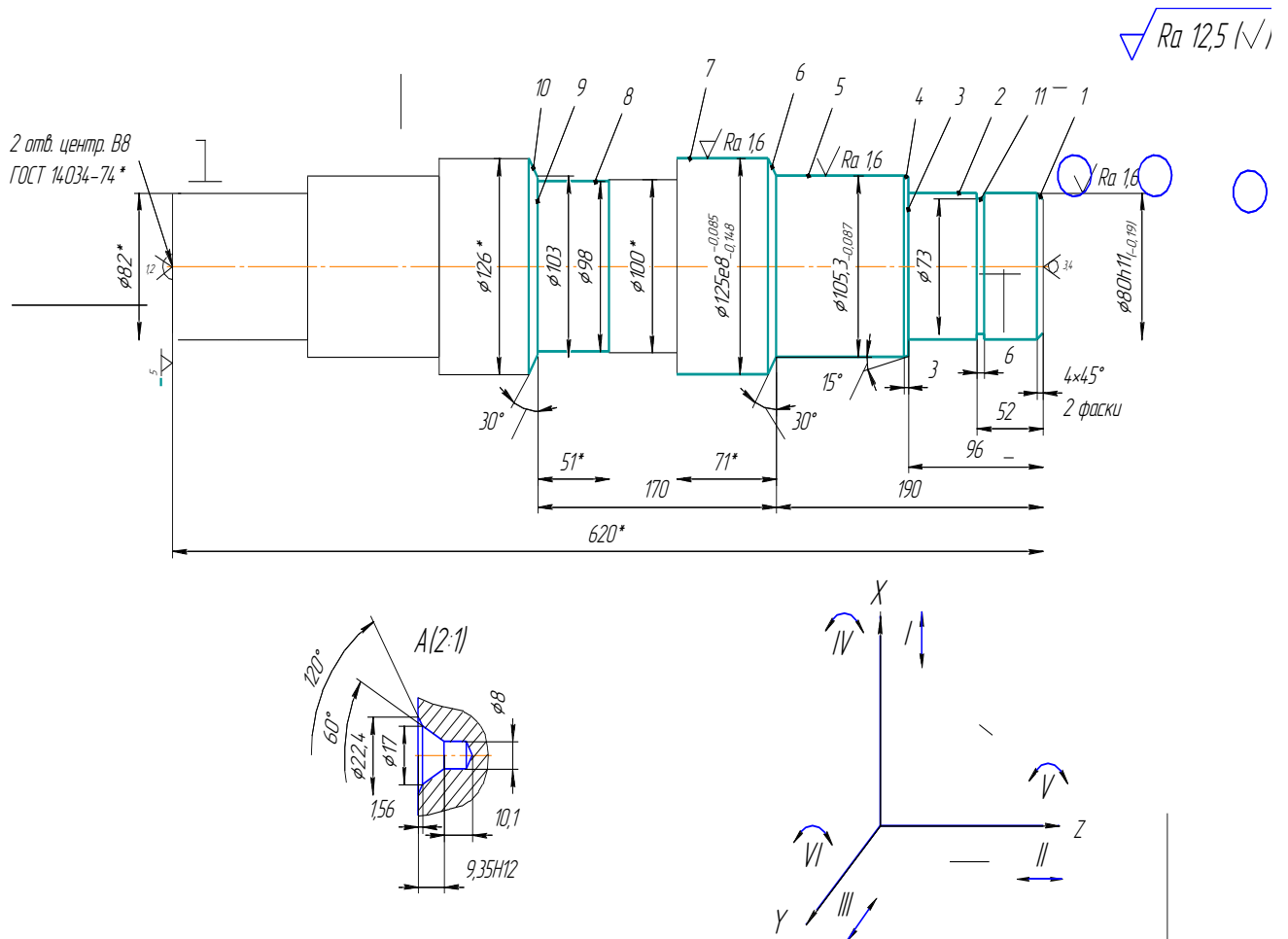


Рисунок 2.2 – Схема базування Вала-шестерні на токарних операціях з ЧПК 055 і 060

Таблиця 2.2 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Назва бази
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	—

Таблиця 2.3 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
<i>l</i>	1	1	0	ПНБ
<i>α</i>	1	1	0	
<i>l</i>	0	0	1	ОБ
<i>α</i>	0	0	0	
				—
Σ	2	2	1	5 ступенів

Розглянемо варіанти схем базування на зубофрезерній операції 070. На даній операції фрезується зубчатий вінець, показаний на рисунку 2.3.

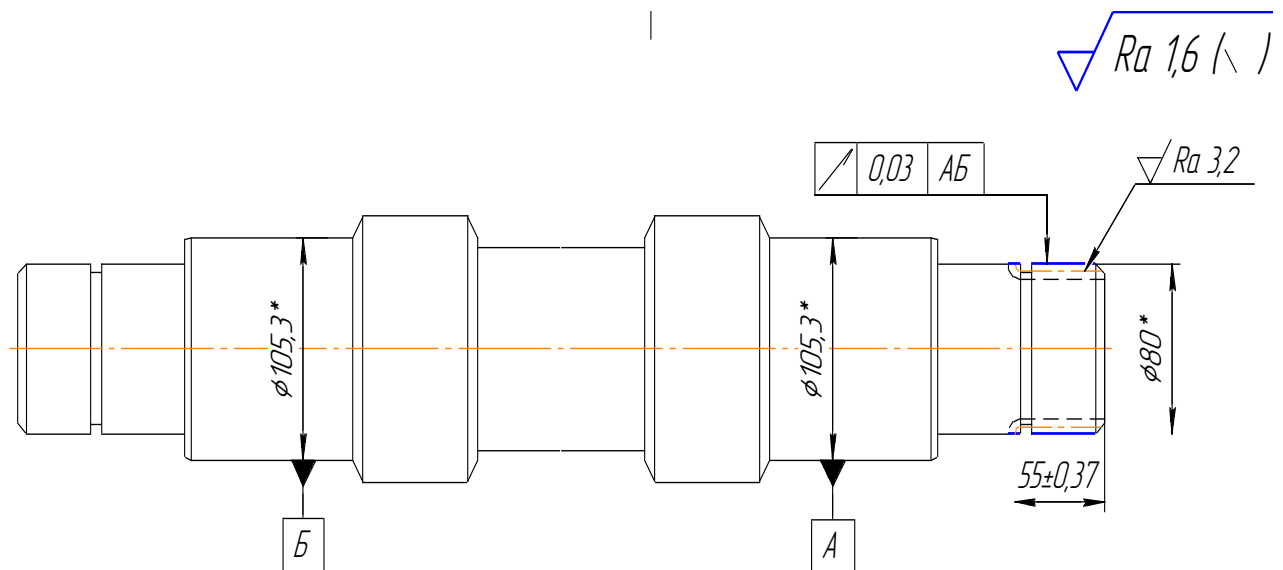


Рисунок 2.3 – Операційний ескіз (операція 070)

Проаналізувавши поверхні, обирається спосіб базування в центрах, тому що відсутні інші альтернативні рішення. Зазначені поверхні є доступними, не заважають доступу ріжучого інструменту до оброблюваних поверхонь, забезпечують обробку деталі на інших операціях без зміни баз (принцип постійності баз).

На даній операції заготовка позбавляється 5 ступенів вільності. При цьому виникають дві бази:

- подвійна направляюча – лівий і правий центровий отвір, позбавляють деталь 4-х ступенів вільності: переміщення вздовж осей X і Y і обертань навколо осей X і Y;
- опорна – торець уступу, позбавляє деталь одного ступеня вільності: переміщення вздовж осі Z.

Приклад базування приведений на рисунку 2.4, також додано таблицю відповідності 2.4 та матрицю зв'язків 2.5.

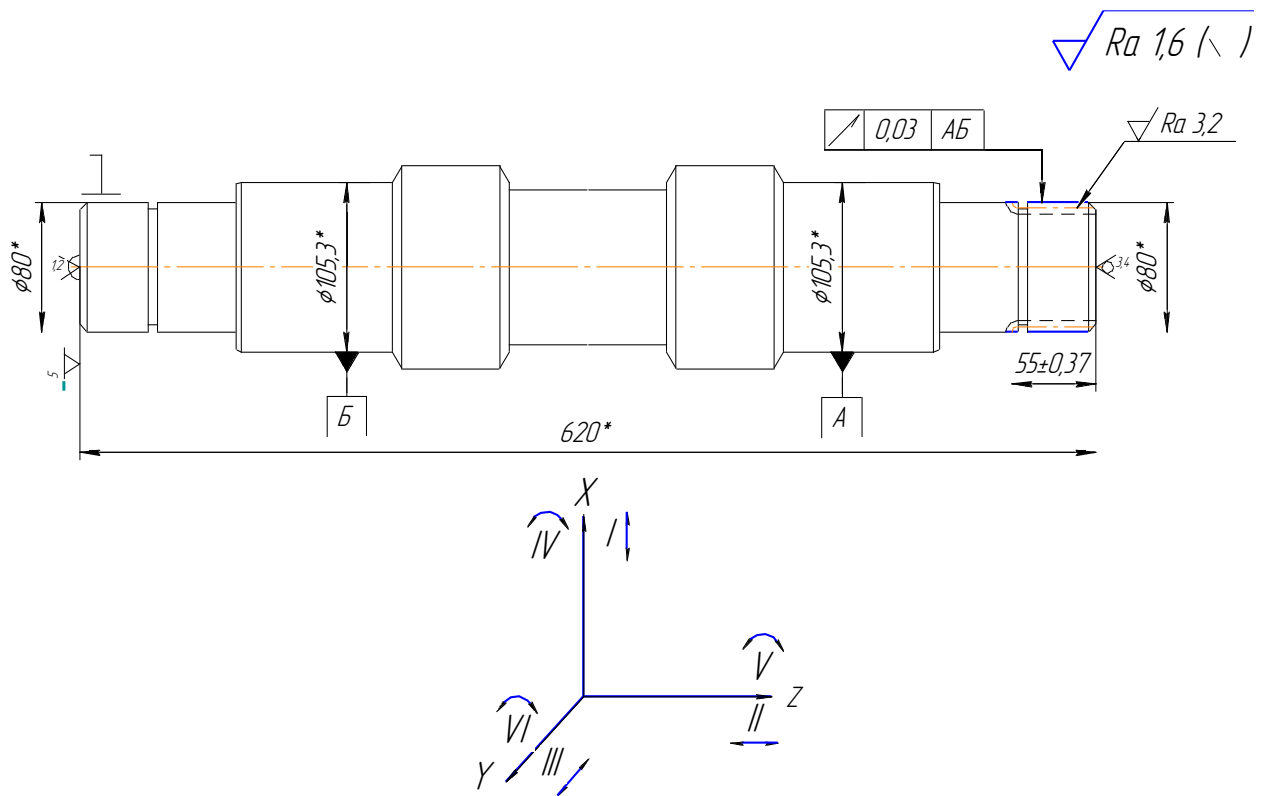


Рисунок 2.4 – Схема базування Вала-шестерні на зубофрезерній операції 070

Таблиця 2.4 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Степені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	–

Таблиця 2.5 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
<i>l</i>	1	1	0	ПНБ
<i>α</i>	1	1	0	
<i>l</i>	0	0	1	ОБ
<i>α</i>	0	0	0	
<i>l</i>	0	0	0	–
<i>α</i>	0	0	0	
Σ	2	2	1	5 ступенів

Розглянемо варіанти схем базування на фрезерно-центрувальній операції 030. На даній операції фрезеруються торці і центруються отвори, показані на рисунку 2.5.

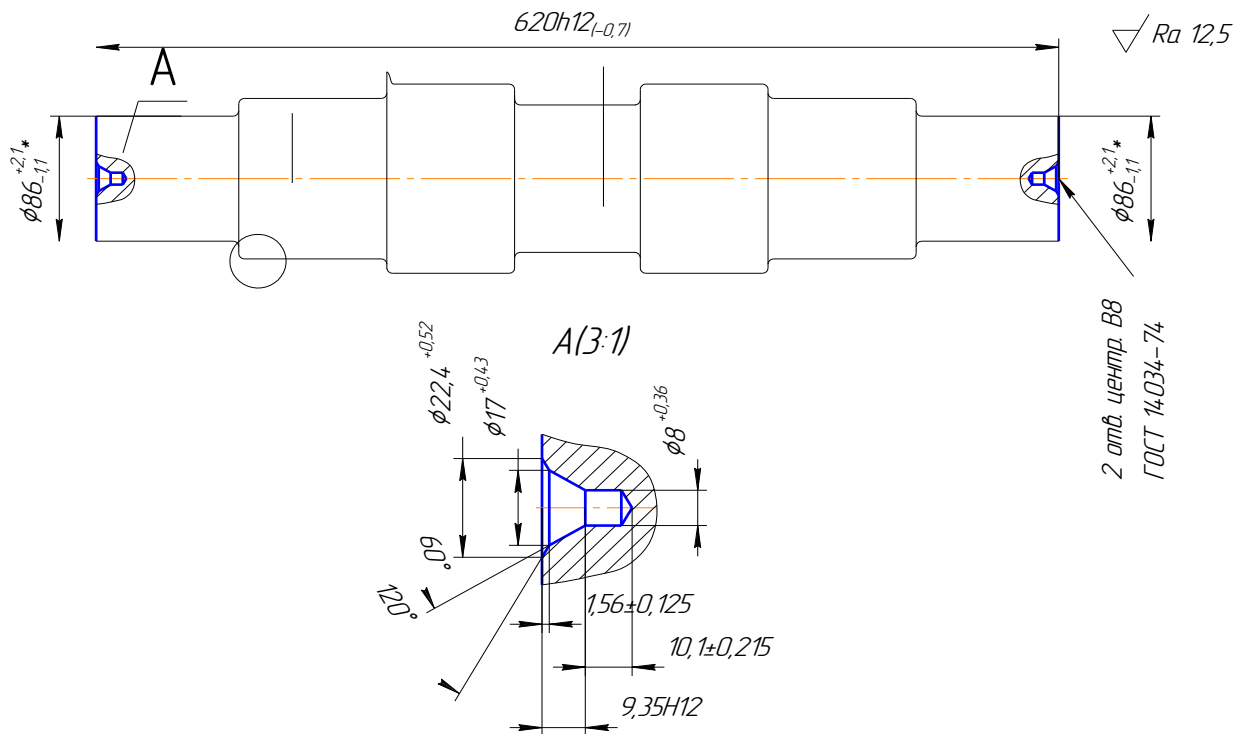


Рисунок 2.5 – Ескіз фрезерно-центрувальної операції 030

Проаналізувавши поверхні деталі, дійшли висновку, що на даній операції можна застосувати зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 111$ і торець довжиною 191, тому що відсутні інші альтернативні рішення базових поверхонь. Зазначені поверхні достатньо розвинені, використовуються тільки один раз на першій операції, не мають ливники й інші особливості заготовок. Крім того, застосування цих поверхонь не перешкоджають доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

При базуванні деталі в призмах деталь позбавляється 5 ступенів волі. Мають місце 2 технологічні бази:

- подвійна направляюча - циліндричні поверхні $\varnothing 111$, позбавляє деталь 4-х ступенів волі: поступального переміщення уздовж осей Y і Z і обертання навколо осей Y і Z;

- опорна, торець уступа, позбавляє деталь однієї ступені вільності: поступального переміщення уздовж осі X.

Дана схема базування показана на рисунку 2.6, також додано таблицю відповідності 2.6 та матрицю зв'язків 2.7

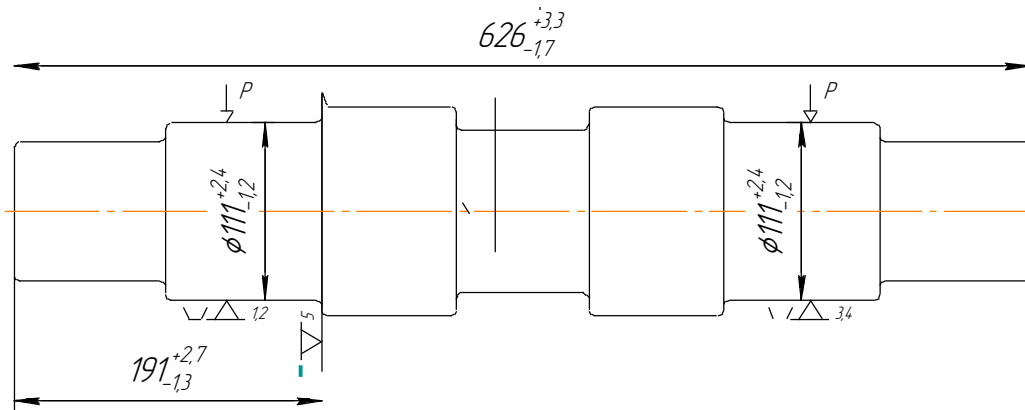


Рисунок 2.6 – Схема базування вала-шестерні на фрезерно-центрувальній операції 030

Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Найменування баз
1, 2, 3, 4	I, III, IV, VI	ПНБ
5	II	ОБ
6	V	–

Таблиця 2.7 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Найменування баз
l	1	1	0	ПНБ
α	1	1	0	
l	0	0	1	ОБ
α	0	0	0	
l	0	0	0	–
α	0	0	0	
Σ	2	2	1	5 ступенів

Під час установки заготовки по зовнішнім циліндричним поверхням у призмах виникає похибка базування, яка визначає ексцентриситет між центром зовнішньої циліндричної поверхні та віссю оброблюваного центрального отвору :

$$\varepsilon_6 = \frac{T_D}{2} \cdot \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2.4)$$

де T_D – допуск розміра деталі, $T_D=3,6$ мм;

α - кут між образуючими призми, $\alpha = 90^\circ$

$$\varepsilon_6 = \frac{3,6}{2} \cdot \frac{1}{\sin 45^\circ} = 2,55 \text{ мм}$$

Дана похибка базування на точність розмірів не впливає, а може вплинути лише на подальший перерозподіл припуску.

2.3 Складання маршруту технологічного процесу виготовлення деталі

Проектування технологічного процесу потребує чіткого аналізу деталі, їх поверхонь, необхідно звернути увагу на службове призначення, вимоги і умови експлуатації.

В таблиці 2.8 наведено запропонований маршрут обробки.

Таблиця 2.8 – Запропонований маршрут обробки деталі

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Базування	Обладнання
005	Заготівельна	Штамповка на ГKM		ГKM
010	Контрольна ВTK	Контроль розмірів заготовки		Стіл ВTK
015	Термічна	Гартування з високим відпуском		Піч газова ТП- 61
020	Контрольна ВTK	Контроль твердості та структури заготовки		Стіл ВTK
025	Маркувальна	Маркування деталі		Стіл маркувальника

Продовження таблиці 2.8

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Базування	Обладнання
030	Фрезерно-центрувальна	Фрезерування торців і центрування отворів	Зовнішні циліндричні поверхні з упором в торець	2Г942
035	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів		Стіл ВТК
040	Токарно-гвинторізна	Чорнова обробка поверхонь	Центрові отвори і упор в крайній торець	СА6140
045	Токарно-гвинторізна	Чорнова обробка поверхонь	Центрові отвори і упор в крайній торець	СА6140
050	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів		Стіл ВТК
055	Токарна з ЧПК	Чистова обробка поверхонь	Центрові отвори і упор в крайній торець	СКЕ6136Z
060	Токарна з ЧПК	Чистова обробка поверхонь	Центрові отвори і упор в крайній торець	СКЕ6136Z
065	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів і допусків радіального биття		Стіл ВТК
070	Зубофрезерна	Фрезерування зубців	Центрові отвори і упор в крайній торець	5350
075	Зубофрезерна	Фрезерування зубців	Центрові отвори і упор в крайній торець	5350
080	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів		Стіл ВТК

Продовження таблиці 2.8

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Базування	Обладнання
085	Зубофрезерна	Фрезерування шліців	Центрові отвори і упор в крайній торець	5350
090	Слюсарна	Зняти заусенці з поверхонь деталі		Стіл слюсарний
095	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів		Стіл ВТК
100	Круглошліфувальна	Шліфування поверхонь	Центрові отвори і упор в крайній торець	M1320E
105	Контрольна ВТК	Контроль отриманих розмірів		Стіл ВТК
110	Маркувальна	Маркування ударним способом		Стіл маркувальника

2.4 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Для виконання операцій 055 і 060 токарна з ЧПК вибираємо токарний верстат з ЧПК мод. СКЕ6136Z. Система ЧПК: «WL4T».

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції (на операції проводиться точіння зовнішніх поверхонь і точіння канавок) прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Технічна характеристика верстата мод. СКЕ6136Z

Характеристика	Величина
Максимальний діаметр встановлюваного виробу, мм	360
Ширина напрямних, мм	300
Максимальна оброблювана довжина, мм	750
Діаметр виробу над супортом, мм	180
Поперечні переміщення, мм	205
Поздовжні переміщення, мм	620
Конус шпинделя	A2-6/D6
Діаметр патрона, мм	200
Характеристика	Величина
Конус отвору шпинделя	M6
Діапазон швидкостей шпинделя, об / хв	20...650
Частотно-регульований привід, об / хв	75...2500
Ступені швидкості шпинделя	2 діапазона
Потужність частотно-регульованого сервомотора, кВт	5,5
Швидкі переміщення осей X / Z, м / хв	4/5
Точність позиціонування револьверної головки, мм	0,008
Час зміни інструменту - верт. 4х позиц. револьверна головка, с	2,1
Час зміни інструменту - горизонт. 6х позиц. револьверна головка, с	2,1
Конус пінолі, мм	M4
Висування пінолі задньої бабки, мм	130
Діаметр пінолі, мм	60
Маса, кг	1600
Габаритні розміри, мм	2300x1480x1520

Проаналізувавши технічні характеристики верстата на операціях 055 і 060 токарна з ЧПК, будемо використовувати верстат мод. СКЕ6136Z, тому що його технічні характеристики та технологічні можливості повністю забезпечують безперешкодну обробку деталі.

Для фрезерування зубчатого вінця на операції 070 використовуємо зубофрезерний верстат моделі 5350.

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічна характеристика верстата 5350

Характеристика	Величина
Найменший і найбільший нарізуваний модуль, мм	2...6
Найбільший діаметр фрезерування, мм	150
Висота центів, мм	250
Відстань між центрами, мм	750
Найбільша довжина фрезерування	675
Межі частот обертання шпинделя, об / хв	80...250
Кількість частот обертання шпинделя	6
Межі подач, мм / об	0,63...5
Кількість подач	12
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	6,5
Габарити верстата, мм:	
довжина	2345
ширина	1550
висота	1650
Мага, кг	3650

Для виконання операцій 030 фрезерно-центрувальна було обрано фрезерно-центрувальний верстат 2Г942. Верстат призначений для обробки торців деталей типу валів у серійному та масовому виробництві з наявністю автоматичних завантажувальних пристроїв та з можливістю використання у складі автоматичних ліній. Основні операції, які виконуються на верстаті:

- а) фрезерування торців;
- б) свердлення центрових отворів з двох боків.

Крім того, на верстаті може проводитися обточування шийок; зняття фасок на кінцях валів, суцільна цековка до діаметра 40 мм та розточування.

Приводи подач свердлильних та фрезерних шпинделів та затискання деталей, а також упори заготовок гідравлічні.

Фрезерування торців, свердління центрових отворів та обточування базових шийок виконується за одне установлення деталі, що забезпечує високу точність баз для подальшої обробки.

Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики фрезерно-центрувального верстата 2Г942

Характеристика	Величина
Межі довжин оброблюваних деталей, мм:	100...1000
Межі діаметрів деталей, що встановлюються в лещатах, мм	20...160
Діаметри застосовуваних центрувальних свердл, мм: - стандартних типа А и R - стандартних типа В - спеціальних	3,15...12 2...12 до 12
Найбільший діаметр свердління, мм	16
Найбільший діаметр фрезерування, мм	150
Найбільший діаметр встановлюваної фрези, мм:	200
Найбільший діаметр шийок, що обточуються, мм	100
Найбільший діаметр отворів, що розточуються, мм	100
Довжина обточуваних шийок	40
Кількість шпинделів	4
Межі частот обертання шпинделів, об/хв: - свердлильного - фрезерного	159...1588 130...740
Межі безступінчастих подач свердлильного шпинделя, мм/хв	20...2000
Межі безступінчастих подач фрезерного шпинделя, мм/хв	20...2000
Хід пінолі свердлильного шпинделя, мм	100
Габаритні розміри, мм:	3970x1750x2000
Маса, кг	6000
Максимальна потужність, кВт: - фрезерної бабки - свердлильної бабки	11 4

2.5 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

На операцію 055 і 060 токарна з ЧПК вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення Вала-шестерні в центрах використовуємо паводковий патрон діаметром $D=200$ мм, виконання 1. Позначення: Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571.

Передача руху заготовці здійснюється через хомутик. Вибираємо хомутик для заготовок діаметром від 80 до 100 мм. Позначення: Хомутик 7107-0045 ГОСТ 2578.

Призначаємо центр верстатний обертовий типу А, виконання 1 з конусом Морзе 4, нормальної серії підвищеної точності. Позначення: Центр А-1-4-НП ЧПК ГОСТ 8742. Центр плаваючий.

Для обробки зовнішніх поверхонь використовуємо різець токарний прохідний з механічним кріпленням підтисканням важелем через отвір тврдосплавної непереточуваної ромбічної пластинки з ріжучою кромкою 12,7 мм і кутом в плані 95° , задній кут пластинки 0° , правий, перерізом $H \times B = 20 \times 20$ мм, довжиною 125 мм. Позначення: Різець PCLNR 2020 K12 T15K6.

Для обробки канавок використовуємо різець спеціальний канавковий для точіння канавки b_6 з напайною пластиною з тврдого сплаву T15K6.

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166-89 і штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166. Для контролю поверхонь $\varnothing 105,3$ і $\varnothing 140e8$ використовуємо мікрометр МК-150-1 ГОСТ 6507.

На операцію 075 зубофрезерна вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення Вала-шестерні в центрах використовуємо паводковий патрон діаметром $D=200$ мм, виконання 1. Позначення: Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571.

Передача руху заготовці здійснюється через хомутик. Вибираємо хомутик для заготовок діаметром від 80 до 100 мм. Позначення: Хомутик 7107-0045 ГОСТ 2578.

Призначаємо центр верстатний обертовий типу А, виконання 1 з конусом Морзе 5, нормальної серії підвищеної точності. Позначення: Центр А-1-5-НП ГОСТ 8742. Центр плаваючий.

Для фрезерування зубчатого вінця застосовуємо фрезу черв'ячну цільну $\varnothing 100$ мм, модулем 2,5 мм із швидкорізальної сталі Р6М5, точність В. Позначення: Фреза 2510-4284 В Р6М5 ГОСТ 9324. Для її закріплення використовуємо оправку. Позначення: Оправка 6225-0170 ГОСТ 15068.

Для контролю розмірів використовуємо контрольно-вимірювальний пристрій.

На операцію 030 фрезерно-центровальна вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

На фрезерно-центрувальній операції вибираємо механізований пристрій спеціальний для закріплення заготовки. Застосування спеціалізованого пристрою з механізованим приводом, дозволить знизити трудомісткість операції, зменшити штучний час, підвищити стабільність точності параметрів операції.

Орієнтовно у заданих умовах слід визнати найбільш раціональною систему нерозбірних спеціальних пристроїв (НСП). Тому приймаємо спеціальний пристрій для фрезерно-центрувальної операції, який складається з призми і прихватів з механізованим приводом, що знизить допоміжний час на виконання операції.

Для фрезерування торців використовуємо фрези торцеві насадні з механічним кріпленням п'ятигранних твердосплавних пластин марки Т15К6 діаметром $D = 125$ мм з числом зубів $z = 8$. Позначення: Фреза 2214-0273 Т15К6 ГОСТ 26595 (2 шт.)

Для центрування отворів використовуємо свердла центрувальні комбіновані типу В діаметром $d = 8$ мм, виконання 1 зі швидкорізальної сталі

Р6М5. Позначення: Свердло центрувальне 2317-0168 Р6М5 ГОСТ 14952 (2 шт.).

Для затиску торцевої фрези використовується оправка з конічним хвостовиком без лапки і торцьовими шпонками з конусом Морзе 4, діаметром $d=40$ мм, довжиною $l=32$ мм. Позначення: Оправка 6220-0030 ГОСТ 13788 (2 шт.).

Для центрування використовується свердлильний патрон трьохкулачковий з ключом типорозміру 16, з конусним отвором В18. Позначення: Патрон 16-В18 ГОСТ 8522 (2 шт.).

Для закріплення свердл використовуємо оправка з конусом Морзе 4 для свердлильних патронів з конусним отвором В18. Позначення: Оправка 6039-0014 ГОСТ 2682 (2 штуки).

Для контролю розмірів використовуємо штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166 і штангенциркуль ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166. Для контролю кутів центрових отворів використовуємо кутомір з ноніусом ГОСТ 5378.

Зведемо до таблиці 2.12 верстатний пристрій, ріжучий, вимірювальний та допоміжний інструмент, який використовується при механічній обробці на операціях 055, 060, 070.

Таблиця 2.12 – Ріжучий та вимірювальний інструмент, що використовується при обробці на операціях 055 і 060 токарних з ЧПК, 070 зубофрезерна і 030 фрезерно-центрувальна

Номер та зміст переходу	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Верстатний пристрій	Вимірювальний інструмент
Точіння поверхонь	Різець PCLNR2020K12; Різець спеціальний канавковий	Центр плаваючий; Центр обертвий ГОСТ 8742	Паводковий патрон 7108-0021 ГОСТ 2571	Штангенциркуль ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166; Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166; Мікрометр МК-150-1 ГОСТ 6507
Фрезерування зубчатого вінця	Фреза 2510-4284 В Р6М5 ГОСТ 9324.	Оправка ГОСТ 15068; Центр плаваючий; Центр обертвий ГОСТ 8742	Паводковий патрон 7108-0021 ГОСТ 2571	Контрольно-вимірювальний пристрій для контролю зубів;
Фрезерування торців і центрування отворів	Фреза 2214-0273 Т15К6 ГОСТ 26595 (2 шт.); Свердло центрувальне 2317-0168 Р6М5 ГОСТ 14952 (2 шт.).	Оправка 6220-0030 ГОСТ 13788 (2 шт.); Патрон 16-В18 ГОСТ 8522 (2 шт.); Оправка 6039-0014 ГОСТ 2682 (2 шт.)	Призми і прихвати	ШЦ-I-150-0,1 ГОСТ 166; ШЦ-III-630-0,1 ГОСТ 166; кутомір з ноніусом ГОСТ 5378

2.6 Розрахунок припусків на механічну обробку

Величина припуску впливає на собівартість виготовлення деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати праці, витрата матеріалу та інші виробничі витрати, а при зменшеному доводиться підвищувати точність заготовки, що також збільшує собівартість виготовлення деталі.

Для отримання деталей більш високої якості необхідно при кожному технологічному переході механічної обробки заготовки передбачати виробничі похибки, що характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розташування поверхонь. Всі ці відхилення повинні знаходитися в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок, що виникають при конкретних умовах обробки заготовки.

Згідно завдання проводиться розрахунок припусків аналітичним методом для зовнішньої поверхні тіла обертання $\varnothing 105f7$. Маршрут обробки даної поверхні вибирається за [8 с.188, таблиця 25] і зводиться в таблицю 2. 13.

Таблиця 2.13 – Маршрут обробки поверхні

Назва стадії	Квалітет	Допустимі відхилення розмірів
Заготівельна	T4	+2,4 -1,2
Точіння чорнове	h14	0 -0,87
Точіння чистове	h9	0 -0,087
Шліфування	f7	-0,036 -0,071

Обробка поверхонь ведеться на токарному верстаті з ЧПК модель СКЕ6136Z при цьому закріплення ведеться в центрах. Величина мінімального

припуску при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск) визначається за формулою:

$$2Z_{\min i} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right) \quad (2.5)$$

- де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей профілю на попередньому переході (операції), мкм;
 h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції) (обезуглерожений або вибілений шар), мкм;
 ρ_{i-1} – сумарні значення просторових відхилень форми на попередньому переході (операції), мкм;
 ε_{yi} – похибка установки заготовки на виконуваному переході (операції), мкм.

Висота мікронерівностей Rz і глибина дефектного шару h вибираються за таблицями:

- Для заготовки: $Rz = 320$ мкм; $h = 350$ мкм;
- По переходах:
 - а) точіння чорнове: $Rz = 50$ мкм; $h = 50$ мкм;
 - б) чистове точіння: $Rz = 25$ мкм; $h = 25$ мкм.
 - в) шліфування: $Rz = 5$ мкм; $h = 5$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень форми заготовки при обробці в центрах зовнішніх поверхонь визначається за формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{км}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2}, \quad (2.6)$$

- де $\rho_{\text{км}}$ – місцева кривизна заготовки, мкм;

$\rho_{\text{ц}}$ – похибка зацентрування штамповки, мкм.

Місцева кривизна заготовки при установці в центрах визначається за формулою:

$$\rho_{\text{км}} = \Delta_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}}, \quad (2.7)$$

де $\Delta_{\text{к}}$ – допустима питома кривизна поковок типу валів, за [8] с.170, таблиця 6: $\Delta_{\text{к}}=1$ мкм/мм;

$L_{\text{к}}$ – відстань від перетину, для якого визначається кривизна, до опори при установці в центрах, $L_{\text{к}}=96$ мм.

$$\rho_{\text{км}} = 1 \cdot 96 = 96 \text{ мкм.}$$

Похибка зацентрування поковки визначається за формулою:

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25 \cdot \sqrt{\delta^2 + 1}, \quad (2.8)$$

де δ - допуск на діаметр базової поверхні заготовки, використаної при зацентруванні, $\delta=3600$ мкм. (див. п. 2.2).

$$\rho_{\text{ц}} = 0,25 \cdot \sqrt{3600^2 + 1} = 900 \text{ мкм.}$$

Підставивши розраховані значення в формулу, отримуємо:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{900^2 + 96^2} = 905 \text{ мкм.}$$

Величина значення просторових відхилень форми заготовки після виконання переходу (операції) визначається за формулою:

$$\rho_i = \rho_{\text{заг}} \times K_y, \quad (2.9)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення.

Коефіцієнт уточнення:

- для точіння чорнового: $K_y = 0,06$;

- для точіння чистового: $K_y = 0,04$;

Тоді сумарні значення просторових відхилень форми по переходах рівні:

$$\rho_{\text{чорн}} = 905 \times 0,060 = 50 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{ч}} = 905 \times 0,040 = 40 \text{ мкм}.$$

Необхідне положення заготовки в робочій зоні верстата досягається в процесі її встановлення. Процес установки містить базування і закріплення. Відхилення положення заготовки, що виникає при базуванні називається похибкою базування, а при закріпленні – похибкою закріплення.

Обробка відбувається в центрах, тому похибка установки ε_y для всіх переходів відсутня $\varepsilon_y = 0$.

Елементи припуску заносяться до таблиці 2.3.

Підставивши вибрані (Rz , h і ρ) значення в формулу визначаються мінімальні припуски на відповідних переходах:

$$2Z_{\text{min чорн}} = 2(320+350+905)=3,210 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{min чист}} = 2(50+50+50)=0,30 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{min шл}} = 2(25+25+40)=0,18 \text{ мм}.$$

Допуск заготовки $\delta_{\text{заг}}$ визначений в п.1.4 і дорівнює $\delta_{\text{заг}}=4,0$ мм ($ES=2,4$ мм; $EI=1,2$ мм).

Допуски по переходам:

- для точіння чорнового: $\delta_{\text{чорн}}=0,87$ мм ($ES=0$ мм; $EI=-0,87$);

- для точіння чистового: $\delta_{\text{чист}}=0,087$ мм ($ES=0$ мм; $EI=-0,087$);

- для шліфування: $\delta_{\text{шл}}=0,035$ мм ($ES=-0,036$ мм; $EI=-0,071$).

Розміри поверхні після шліфування визначаються за формулами:

$$d_{\text{мак шл}} = d_{\text{ном шл}} - ES_{\text{шл}}, \quad (2.10)$$

$$d_{\text{мак шл}} = 105 - 0,036 = 104,964 \text{ мм},$$

$$d_{\text{мін шл}} = d_{\text{ном шл}} - EI_{\text{шл}}, \quad (2.11)$$

$$d_{\text{мін шл}} = 105,0 - 0,071 = 104,929 \text{ мм}.$$

Номінальний і максимальний припуски на шліфування визначаються за формулами:

$$2Z_{\text{ном шл}} = 2Z_{\text{мін шл}} + \delta_{\text{чист}} - es_{\text{шл}} \quad (2.12)$$

$$2Z_{\text{ном шл}} = 0,180 + 0,087 - 0,036 = 0,231 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{мак шл}} = 2Z_{\text{мін шл}} + \delta_{\text{чист}} + \delta_{\text{шл}}, \quad (2.13)$$

$$2Z_{\text{мак шл}} = 0,180 + 0,087 + 0,035 = 0,302 \text{ мм}.$$

Розміри поверхні після точіння чистового визначаються за формулами:

$$d_{\text{мін чист}} = d_{\text{мак шл}} + 2Z_{\text{мін шл}}, \quad (2.14)$$

$$d_{\min \text{ чист}} = 104,964 + 0,18 = 105,144 \text{ мм.}$$

$$d_{\max \text{ чист}} = d_{\min \text{ чист}} + \delta_{\text{чист}}, \quad (2.15)$$

$$d_{\max \text{ чист}} = 105,144 + 0,087 = 105,231 \text{ мм.}$$

Номинальний і максимальний припуски на точіння чистове визначаються за формулами:

$$2Z_{\text{ном чист}} = 2Z_{\min \text{ чист}} + \delta_{\text{чорн}}, \quad (2.16)$$

$$2Z_{\text{ном чист}} = 0,30 + 0,87 = 1,17 \text{ мм,}$$

$$2Z_{\max \text{ чист}} = 2Z_{\text{ном чист}} + \delta_{\text{чист}}, \quad (2.17)$$

$$2Z_{\max \text{ чист}} = 1,17 + 0,087 = 1,257 \text{ мм.}$$

Розміри поверхні після точіння чорнового визначаються за формулами:

$$d_{\min \text{ чорн}} = d_{\text{ном чист}=\max \text{ чист}} + 2Z_{\min \text{ чист}}, \quad (2.18)$$

$$d_{\min \text{ чорн}} = 105,231 + 0,30 = 105,531 \text{ мм,}$$

$$d_{\max \text{ чорн}=\text{ном чорн}} = d_{\min \text{ чорн}} + \delta_{\text{чорн}}, \quad (2.19)$$

$$d_{\max \text{ чорн}=\text{ном чорн}} = 105,531 + 0,87 = 106,401 \text{ мм.}$$

Номинальний і максимальний припуски на точіння чорнове визначаються за формулами:

$$2Z_{\text{ном чорн}} = 2Z_{\text{мін чорн}} + ei_{\text{заг}}, \quad (2.20)$$

$$2Z_{\text{ном чорн}} = 3,21 + 1,2 = 4,41 \text{ мм},$$

$$2Z_{\text{мак чорн}} = 2Z_{\text{ном чорн}} + \delta_{\text{чорн}} + es_{\text{заг}}, \quad (2.21)$$

$$2Z_{\text{мак чорн}} = 4,41 + 0,87 + 2,4 = 7,68 \text{ мм}.$$

Розміри поверхні заготовки визначаються за формулами:

$$d_{\text{мін заг}} = d_{\text{ном чорн}} + 2Z_{\text{мін чорн}}, \quad (2.22)$$

$$d_{\text{мін заг}} = 106,401 + 3,21 = 109,611 \text{ мм}.$$

Приймаємо мінімальний діаметр заготовки 109,8 мм.

$$d_{\text{ном заг}} = d_{\text{мін заг}} + ei_{\text{заг}}, \quad (2.23)$$

$$d_{\text{ном заг}} = 109,8 + 1,2 = 111 \text{ мм},$$

$$d_{\text{мак заг}} = d_{\text{ном заг}} + es_{\text{заг}}, \quad (2.24)$$

$$d_{\text{мін заг}} = 111 + 2,4 = 113,4 \text{ мм}.$$

Розраховані значення номінальних і максимальних припусків і проміжних розмірів зводяться до таблиці 2.14.

Розрахунок загального припуску на обробку поверхні проводиться за формулою:

$$2Z_{\text{ном.заг.}} = 2Z_{\text{ном.м.п.}} \quad (2.24)$$

де $2Z_{\text{ном.м.п.}}$ – сума номінальних міжопераційних припусків, мм.

$$2Z_{\text{ном.м.п.}} = 4,41 + 1,17 + 0,231 = 5,811 \text{ мм.}$$

Приймаємо $2Z_{\text{ном.м.п.}} = 6 \text{ мм.}$

Таблиця 2.14 - Вихідні та розрахункові дані на заданий розмір

Технологічні операції (переходи)	Елементи припуску, МКМ				Розрахунок припусків, мм			Розрахунок розмірів, мм		
	Rz _{i-1}	h _{i-1}	ρ _{i-1}	ε _{yi}	2Z _{min}	2Z _{ном}	2Z _{max}	d _{min}	d _{ном}	d _{max}
Заготівельна	320	350	905	-	-	-	-	109,8	111	113,4
Точіння чорнове	50	50	50	-	3,21	4,41	7,68	105,531	106,401	106,401
Точіння чистове	25	25	40	-	0,30	1,17	1,257	105,144	105,231	105,231
Шліфування	-	-	-	-	0,18	0,231	0,302	104,929	105	104,964

2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операцій 055 і 060 токарна з ЧПК. Розрахунково-аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні Ø125e8, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом [9, 10].

Вихідні дані: діаметр поверхні – 125 мм, матеріал заготовки – сталь 38ХА з межею міцності $\sigma_B=930$ МПа; матеріал ріжучої частини різця Т15К6, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на ГКМ.

Визначимо глибину різання:

$$t = \frac{D_3 - D_{\text{обт}}}{2} \quad (2.25)$$

де D_3 – діаметр в стані заготовки;

$D_{\text{обт}}$ – діаметр після точіння.

$$t = \frac{126 - 125}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

Визначимо подачу:

$$S = 0,25 \text{ мм/об}$$

Стійкість інструменту $T = 60$ хв. Визначимо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v \quad (2.26)$$

де $C_v=420$; $x=0,15$; $y=0,20$; $m=0,20$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання.

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.27)$$

де K_M – поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал;

K_t – поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал;

K_n – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання.

$$K_v = 0,8 \cdot 1,05 \cdot 1,0 = 0,84$$

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,25^{0,2}} \cdot 0,84 = 227,75 \text{ м/хв}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.28)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 227,75}{3,14 \cdot 126} = 575,65 \text{ об/хв.}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстата $n = 500$ об/хв.

Визначимо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.29)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 126 \cdot 500}{1000} = 197,82 \text{ м/хв.}$$

Визначимо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.30)$$

де $C_p = 300$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі.

K_p – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання, розраховується за формулою:

$$K_p = K_m \cdot K_\varphi \cdot K_\gamma \cdot K_\lambda \cdot K_r \quad (2.31)$$

де $K_m = 1,17$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності;

$K_\varphi = 0,94$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив головного кута в плані на силові залежності;

$K_\gamma = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив переднього кута на силові залежності;

$K_\lambda = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив кута нахилу головного леза на силові залежності;

$K_r = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, який враховує вплив радіуса при вершині на силові залежності.

$$K_p = 1,17 \cdot 0,94 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,10.$$

Враховуючи поправочні коефіцієнти отримуємо:

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^{1,0} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 197,82^{-0,15} \cdot 1,10 = 263,9 \text{ Н}$$

Визначимо потужність необхідну для обробки за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.32)$$

$$N = \frac{263,9 \cdot 197,82}{1020 \cdot 60} = 0,85 \text{ кВт}$$

За паспортними даними верстата мод. СКЕ6136Z: потужність електродвигуна $N_{\text{ел}} = 5,5$ кВт; ККД верстата $\eta=0,8$. Потужність шпинделя верстата визначається за формулою:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{ел}} \cdot \eta \quad (2.33)$$

$$N_{\text{шп}} = 5,5 \cdot 0,8 = 4,4 \text{ кВт}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого ($0,85 \text{ кВт} < 4,4 \text{ кВт}$), отже обробка на верстаті мод. СКЕ6136Z буде забезпечена.

Визначимо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{s \cdot n} \quad (2.34)$$

де $l_1^* = \text{ctg} \varphi \cdot t = \text{ctg} 60^\circ \cdot 0,5 = 0,29$ мм – величина врізання різця;
 $l_1^{**} = 2$ мм – виліт перебігу.

$$T_o = \frac{66,9 + 0,29 + 2}{0,25 \cdot 500} = 0,55 \text{ хв.}$$

Розглянемо обробку інших поверхонь. На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [5, 6]. Обрані режими заносимо до таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Режими різання визначені за табличним методом для токарної операції 055 і 060

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, м/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Фаска 4x45°	1	4,0	0,40	216,03	800	7	0,021
Поверхня Ø80	1	1,0	0,25	216,03	800	92	0,49
Горець Ø80/Ø105,3	1	1,0	0,40	208,11	630	10,7	0,04
Фаска 3x15°	1	3,0	0,40	208,5	630	3,1	0,01
Поверхня Ø105,3	1	0,55	0,25	208,5	630	91	0,59
Фаска 30°	2	2,5	0,35	197,82	500	20,2	0,23
Поверхня Ø125	1	0,5	0,25	197,82	500	63	0,50
Поверхня Ø98	1	1,0	0,50	197,82	630	51	0,16
Горець Ø98/Ø103	1	1,0	0,40	203,75	630	2,5	0,01
Фаска 30°	2	2,5	0,35	197,82	500	22	0,25
Канавка б6	1	6,0	0,16	125,6	500	5,5	0,08
Всього	-	-	-	-	-	-	2,38

Розрахунок режиму різання будемо проводити для операції 070 зубофрезерна. Аналітичним методом розрахуємо режим різання для фрезерування зубчатого вінця шириною $B = 55$ мм.

Вихідні дані: діаметр поверхні – 80 мм, матеріал заготовки – сталь 38ХА з межею міцності $\sigma_B = 930$ МПа; Черв'ячна чистова фреза: $D_{фр} = 71$ мм, $m = 2,5$; матеріал ріжучої частини різця Р6М5, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на ГKM.

Розрахуємо глибину різання

Нарізаємо зуби за один робочий хід. У цьому випадку глибина різання буде дорівнює висоті зуба:

$$t = h = 2,25 \cdot m = 2,25 \cdot 2,5 = 5,63 \text{ мм.}$$

Розрахунок подачі

Подача при одноразовому остаточному нарізуванні циліндричних коліс черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі нормальної продуктивності за [11]

с.148, карта 3-2: при модулі $m=2,5$, числу зубів деталі $z=30$ і числу заходів фрези $\varepsilon=1$ подача $S_{0\text{табл.}}=2,1$ мм/об.

Подача, з урахуванням поправочного коефіцієнта визначається за формулою:

$$S_o = S_o \cdot K_s, \quad (2.35)$$

де K_s – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу, $K_s=1,0$

$$S_o = 2,1 \cdot 1,0 = 2,1 \text{ мм/об.}$$

Коригуємо подачу за паспортними даними верстата мод. 5350:
 $S_o = 2,0$ мм/об.

Період стійкості черв'ячної фрези модуля $m = 2,5$ мм при обробці заготовки зі сталі рекомендується $T = 240$ хв за [11] с.303, додаток 3.

Швидкість різання при одноразовому остаточному нарізуванні циліндричних коліс черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі нормальної продуктивності за [11] с.148, карта 3-2: при модулі $m = 2,5$ і числі заходів фрези $\varepsilon=1$, $V_{\text{табл.}}=45$ м/хв.

Швидкість різання, з урахуванням поправочного коефіцієнта визначається за формулою:

$$V_{\text{фр}} = V_{\text{табл.}} \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.36)$$

де K_1 – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу: $K_1=1,0$

K_2 – коефіцієнт, що залежить від стійкості інструменту: $K_2 = 1,0$

$$V_{\text{фр}} = 45 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 45 \text{ мм/об}$$

Частота обертання фрези, відповідна знайденій швидкості головного руху різання визначається за формулою:

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{фр}}}{\pi \cdot D_{\text{фр}}} \quad (2.37)$$

$$n_{\text{фр}} = \frac{1000 \cdot 45}{3,14 \cdot 71} = 201,84 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання $n = 200$ об/хв.

Дійсна швидкість головного руху різання визначається за формулою:

$$V_{\text{фр}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{фр}} \cdot n_{\text{фр}}}{1000} \quad (2.38)$$

$$V_{\text{фр}} = \frac{3,14 \cdot 71 \cdot 200}{1000} = 44,59 \text{ м/хв}$$

Знаходимо потужність, затрачену на різання за [11]. При одноразовому остаточному нарізуванні циліндричних коліс черв'ячними фрезами зі швидкорізальної сталі нормальної продуктивності з подачею $S_o = 2,0$ мм/об і модулем $m=2,5$ мм, $N_{\text{табл.}}=1,8$ кВт.

Потужність різання, з урахуванням поправочного коефіцієнта визначається за формулою :

$$N = N_{\text{табл.}} \cdot K_N, \quad (2.39)$$

де K_N – коефіцієнт, що залежить від оброблюваного матеріалу: $K_N=1,0$

$$N = 1,8 \cdot 1,0 = 1,8 \text{ кВт.}$$

За паспортними даними верстата мод. 5350: потужність електродвигуна $N = 6,5 \text{ кВт}$; ККД верстата $\eta = 0,8$. Тоді потужність шпинделя верстата дорівнює:

$$N_{\text{шп}} = 6,5 \cdot 0,8 = 5,2 \text{ кВт.}$$

Розрахункове значення потужності не перевищує допустимого ($1,8 \text{ кВт} < 5,2 \text{ кВт}$), отже обробка на верстаті мод. 5350 буде забезпечена.

Основний час визначається за формулою:

$$T_o = \frac{(B+l+l_1) \cdot z}{n \cdot S_o \cdot \varepsilon}, \quad (2.40)$$

де B – ширина фрезерування, мм;

l – глибина врізання фрези, мм

$$l = \sqrt{t(D_{\text{фр}} - t)} \quad (2.41)$$

$$l = \sqrt{5,63 \cdot (71 - 5,63)} = 19,18 \text{ мм}$$

де l_1 – величина перебігу, $l_1 = 0$ мм (зубчатий вінець закритий);

z – число зубів зубчатого вінця, $z = 30$;

ε – число заходів фрези, $\varepsilon = 1$.

Тоді, основний технологічний час при фрезеруванні:

$$T_o = \frac{(55+19,18) \cdot 30}{200 \cdot 2,0 \cdot 1} = 5,56 \text{ хв.}$$

Зводимо розрахунки у таблицю 6.11

Таблиця 2.16 – Режими різання визначені за табличним методом для зубофрезерної операції 070

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Зубчатий вінець	1	5,63	2,0	44,59	200	74,18	5,56

Розрахунок режиму різання будемо проводити для операції 030 фрезерно-центрувальна. Аналітичним методом розрахуємо режим різання для фрезерування торців довжиною 620 і аналогічно для центрування отворів

Вихідні дані: діаметр поверхні – 86 мм, матеріал заготовки – сталь 38ХА з межею міцності $\sigma_B=930$ МПа; Черв'ячна чистова фреза: $D_{фр}=71$ мм, $m=2,5$; матеріал ріжучої частини різця Р6М5, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка штампована на ГKM.

Перший перехід. Проведемо розрахунок режимів різання аналітичним методом для фрезерування торців довжиною 620.

Глибина різання дорівнює $t=3$ мм.

Подача складатиме $S=0,1$ мм/зуб (з урахуванням поправочних коефіцієнтів) [9, с.285].

Стійкість ріжучого інструменту $T=180$ хв [9, табл.40, с.290].

Знаходимо швидкість різання за формулою [9, с.282]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} K_v, \quad (2.42)$$

де $C_V=332$, $g=0,2$, $x=0,1$, $y=0,4$, $m=0,2$, $u=0,2$, $p=0$ – коефіцієнти та показники в формулі швидкості різання [9, табл.39, с.286];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання та знаходиться за формулою [9, с.282]:

$$K_V = K_{MV}K_{ПV}K_{IV}, \quad (2.43)$$

де K_{MV} - поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив фізико-механічні властивості оброблює мого матеріала [9, табл.3, с.262];

$K_{ПV} = 0,9$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий поверхню заготовки [9, табл.5, с.263];

$K_{IV} = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив інструментального матеріалу [9, табл.6, с.263].

Коефіцієнт K_{MV} розраховується за формулою [9, табл.1, с.261]:

$$K_{MV} = K_r(750/\sigma_B)^{n_V}, \quad (2.44)$$

де $K_r = 1,0$ – коефіцієнт, враховуючий групу сталі [9, табл.2, с.262];

$n_V = 1,0$ – показник степені [9, табл.2, с.262].

$$K_{MV} = 1,0 \cdot (750/930)^{1,0} = 0,8.$$

$$K_V = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,72.$$

З урахуванням показників знаходимо швидкість різання:

$$V = \frac{332 \cdot 125^{0,2}}{180^{0,2} \cdot 3^{0,1} \cdot 0,1^{0,4} \cdot 86^{0,2} \cdot 8^0} \cdot 0,72 = 205,2 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 205,2}{3,14 \cdot 125} = 522 \text{ об/хв.}$$

Коректуємо значення обертання шпинделя з паспортним $n_{\text{пр}} = 500$ об/мин.

З урахуванням прийнятого значення розраховуємо фактичну швидкість різання:

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 500}{1000} = 196,25 \text{ м/хв}$$

Визначимо хвилинну подачу:

$$S_M = S_Z n. \quad (2.45)$$

$$S_M = 0,1 \cdot 8 \cdot 500 = 400 \text{ мм/хв}$$

Головна складова сили різання при фрезеруванні визначається за формулою:

$$P_Z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D_{\text{фр}}^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (2.46)$$

де C_p – коефіцієнт, по [9] с.291, таблиця 41: $C_p = 825$;

x, y, n, q, w – показники ступеня, по [9] с.291, таблиця 41: $x=1,0$; $y=0,75$;
 $n=1,1$; $q=1,3$; $w=0,2$;

t – глибина фрезерування, $t=3,0$ мм;

S_z – подача на один зуб при фрезеруванні, $S_z=0,1$ мм/зуб;

B – ширина фрезерування, $B=86,0$ мм;

z – кількість зубів фрези, $z=8$;

n – частота обертання шпинделя, $n = 500$ об/хв;

K_{MP} – поправочний коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (2.47)$$

де σ_B – тимчасовий опір, для сталі 38ХА, $\sigma_B = 930$ МПа;

n – показник ступеня, по [3] с.264, таблиця 9, $n=0,3$.

$$K_{MP} = \left(\frac{930}{750} \right)^{0,3} = 1,07$$

Знаючи всі складові, визначаємо головну складову сили різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot 825 \cdot 3,0^{1,0} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 86^{1,1 \cdot 8}}{125^{1,3} \cdot 500^{0,2}} \cdot 1,07 = 2742 \text{ Н.}$$

Визначаємо ефективну потужність різання за формулою:

$$N_e = \frac{P_z V}{60 \cdot 1020}$$

$$N_e = \frac{2742 \cdot 196,25}{60 \cdot 1020} = 8,46 \text{ кН}$$

Для можливості реалізації обробки на верстаті має виконуватись умова:

$$N_p < N_d \cdot \eta$$

де N_d – потужність верстата, 11 кВт;
 η – коефіцієнт корисної дії верстата, 0,85.

$$N_d \cdot \eta = 11 \cdot 0,85 = 9,35 \text{ кВт}$$

Так як $8,46 \text{ кВт} < 9,35 \text{ кВт}$, тому умова виконується і обробка буде можлива.

Основний час роботи визначаємо за формулою, хв:

$$T_o = \frac{L}{S_M} \quad (2.48)$$

де L – повна довжина обробки, мм;

$$L = D_{\text{заг}} + y + \Delta$$

де y – величина врізання, мм;

Δ – величина перебігу, $\Delta = 1 \dots 5$ мм, приймаємо $\Delta = 5$ мм.

$$y = \frac{D}{2}$$

$$y = \frac{125}{2} = 62,5 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{86+62,5+5}{400} = 0,38 \text{ хв.}$$

Назначаємо режими різання для свердління центрових отворів [10].

Вибираємо свердло центрувальне Р6М5 діаметром 8 мм ГОСТ 14952.

Глибина різання для свердлування дорівнює половині діаметра свердла, тобто $t = \frac{8}{2} = 4$ мм.

Вибираємо подачу на оберт свердла для свердлення комбінованими центрувальними свердлами: $S_o = 0,1$ мм/об.

Вибираємо швидкість різання для комбінованих центрувальних свердл: $V_T = 24$ м/хв.

Визначимо розрахункове значення швидкості різання з урахуванням поправочних коефіцієнтів для різних умов роботи залежно від:

$$V_p = V_T K_{MV} K_{IV} K_{IIV}, \quad (2.49)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, котрий враховує групу і механічну характеристику сталі, $K_{MV} = 0,8$, сталь 38ХА $\sigma_b = 930$ МПа. [10];

K_{IV} – коефіцієнт, котрий враховує довжину отвору, $K_{IV} = 1$, до 3D [10];

K_{IIV} – коефіцієнт, котрий враховує матеріал інструмента, $K_{IIV} = 1$, Р6М5 [10].

$$V_p = 24 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 19,2 \text{ м/хв.}$$

Визначимо кількість обертів шпинделя за формулою (6.15):

$$n = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 8} = 764 \text{ об/хв}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя згідно до паспорту верстату, $n = 800$ об/хв.

Визначаємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$v = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 800}{1000} = 20,1 \text{ об/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу за формулою:

$$S_m = 0,1 \cdot 800 = 80 \text{ мм/хв.}$$

Вибираємо потужність, що витрачається на різання за [10], для заданих умов різання: $N_{\text{різ}} = 1 \text{ кВт}$.

Перевіряємо чи виконується умова $N_{\text{різ}} < N_{\text{шп}}$.

$$1 < 11 \text{ кВт.}$$

Умова виконується тому обробка можлива.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_o \cdot n_d}, \quad (2.50)$$

де L – повна довжина свердління, мм.

$$L = l + y + \Delta, \quad (2.51)$$

де l – довжина отвору, мм;

y – величина врізання, мм.

$$y = 0,4 \times D = 0,4 \times 8 = 3,2 \text{ мм}$$

Δ – величина перебігу, $\Delta = 0 \text{ мм}$, тому що отвір глухий.

$$L = l + y + \Delta = 19,45 + 3,2 = 22,65 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{22,65}{80} = 0,28 \text{ хв.}$$

Сумарний час, витрачений на операцію:

$$T_o = 0,38 + 0,28 = 0,66 \text{ хв}$$

Зводимо розрахунки у таблицю 6.12

Таблиця 2.17 – Режими різання визначені за табличним методом для фрезерно-центрувальної операції 030

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	To, хв
1	2	3	4	5	6	7	8
Фрезерування торців	1	3	0,8	196,25	500	153,5	0,38
Центрування отворів	1	4	0,1	20,1	800	22,65	0,28
Всього	-	-	-	-	-	-	0,66

2.8. Технічне нормування операції

В основі розрахунків продуктивності праці лежить технічне нормування операцій. З цією метою розраховують технічні норми штучно-калькуляційного часу, так як раніше було визначено тип виробництва – середньосерійне. Технічне нормування будемо проводити для операції токарна з ЧПК. Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу. Метою даного нормування є визначення норми штучно-калькуляційного часу на операції 055 і 060 [12].

Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 2.15

Основний час: $T_o = 2,38 \text{ хв.}$

Визначаємо допоміжний час, для операцій 055 і 060, за формулою:

$$T_d = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}} \quad (2.52)$$

де $T_{\text{вст}} = 2,2$ хв – час на установку і зняття заготовки;

$T_{\text{кв}} = 0,42$ хв – допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата;

$T_{\text{вим}} = 0,86$ хв – час на вимірювання.

$$T_d = 2,2 + 0,42 + 0,86 = 3,48 \text{ хв} \quad (2.53)$$

Оперативний час розраховуємо за формулою:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d \quad (2.54)$$

$$T_{\text{оп}} = 2,38 + 3,48 = 5,86 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу:

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot 0,08 \quad (2.55)$$

$$T_{\text{дод}} = 5,86 \cdot 0,08 = 0,47 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучний час за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}} \quad (2.56)$$

$$T_{\text{шт}} = 5,86 + 0,47 = 6,33 \text{ хв.}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N} \quad (2.57)$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заклучний час, що складається з часу:

- 1) на отримання креслення і наряду, $T = 4$ хв;
- 2) на ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 2$ хв;
- 3) інструктаж майстра, $T = 2$ хв;
- 4) отримання основного та допоміжного інструменту, верстатного пристрою та заготовки, $T = 9$ хв.
- 5) час на встановлення вихідних режимів роботи станка, $T = 0,15$ хв;
- 6) час налаштування пристрою для подачі ЗОР: $T = 0,20$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 4 + 2 + 2 + 9 + 0,15 + 0,2 = 17,35 \text{ хв}$$

$N = 50$ шт. – кількість деталей у партії

$$T_{\text{шк-к}} = 6,33 + \frac{17,35}{50} = 7,03 \text{ хв.}$$

Операція «Зубофрезерна»

Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 2.16.

Основний час $T_0 = 5,56$ хв.

Нормування операції «Зубофрезерна» проводимо згідно формул для операції токарна з ЧПК.

Визначаємо допоміжний час за формулою:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{вст}} + T_{\text{кв}} + T_{\text{вим}}, \quad (2.58)$$

де $T_{\text{вст}} = 1,54$ хв – час на установку і зняття заготовки;

$T_{\text{кв}} = 1,18$ хв – допоміжний час, пов'язаний з керуванням верстата;

$T_{\text{вим}} = 0,95$ хв – час на вимірювання.

$$T_{\text{д}} = 1,54 + 1,18 + 0,95 = 3,67 \text{ хв}$$

Сума основного і допоміжного часу становить час оперативної роботи $T_{\text{оп}}$ за формулою:

$$T_{\text{оп}} = 5,56 + 3,67 = 9,23 \text{ хв}$$

Визначаємо додатковий час за формулою:

$$T_{\text{дод}} = 9,23 \cdot 0,08 = 0,74 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучний час за формулою:

$$T_{\text{шт}} = 9,23 + 0,74 = 9,97 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}, \quad (2.59)$$

де $T_{\text{п-з}}$ – підготовчо-заключний час, що складається з часу:

- 1) на отримання креслення і наряду, $T = 6$ хв;
- 2) на ознайомлення з роботою та кресленням, $T = 2$ хв;
- 3) на інструктаж майстра, $T = 2$ хв;
- 4) на отримання інструменту, верстатного пристрою та заготовки $T = 8$ хв.

$$T_{\text{п-з}} = 6+2+2+8=18 \text{ хв}$$

$N = 50$ шт. – кількість деталей у партії

$$T_{\text{шк-к}} = 9,97 + \frac{18}{50} = 10,33 \text{ хв}$$

Операція «Фрезерно-центрувальна»

Дані щодо режимів різання та основного часу обираємо з таблиці 2.17.

Розрахунки проводимо аналогічно попереднім операціям

Основний час $T_0 = 0,66$ хв.

Норма штучного часу визначається за формулою , хв:

$$T_{\text{шт}} = T_0 + T_d + T_{\text{обс}} + T_{\text{відп}}, \quad (2.60)$$

де T_d – норма допоміжного часу, хв;

$T_{\text{обс}}$ – норма часу на обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{відп}}$ – норма часу на відпочинок та особисті потреби, хв. Норма допоміжного часу визначається за формулою, хв:

$$T_d = T_{\text{уст}} + T_{\text{пк}} + T_{\text{вим}}, \quad (2.61)$$

де $T_{\text{уст}}$ – норма часу на установлення, закріплення і зняття заготовки підйомним краном, $T_{\text{уст}} = 1,4$ хв;

$T_{\text{пк}}$ – час приймання керування $T_{\text{пк}}$

Час на вмикання верстата – 0,02 хв, підвести та відвести інструменти від деталі – $2 \times 0,06$ хв.

$$T_{\text{пк}} = 0,02 + 2 \times 0,06 = 0,14 \text{ хв}$$

$T_{\text{вим}}$ – норма часу на вимірювання: $T_{\text{вим}} = 0,38$ хв

$$T_d = 1,4 + 0,14 + 0,38 = 1,92 \text{ хв}$$

Норма часу на обслуговування робочого місця визначається:

$$T_{\text{обс}} = 0,035(T_o + T_d) = 0,035(0,66 + 1,92) = 0,09 \text{ хв}$$

Норма часу на відпочинок та особисті потреби визначається:

$$T_{\text{відп}} = 0,04(T_o + T_d) = 0,04(0,66 + 1,92) = 0,10 \text{ хв}$$

$$T_{\text{шт}} = 0,66 + 1,92 + 0,09 + 0,1 = 2,77 \text{ хв}$$

Норма підготовчо-заключного часу визначається:

Підготовчо-заключний час на налагодження верстата – 12 хв, отримання інструмента та пристрою до початку і після закінчення обробки – 10 хв.

$$T_{\text{пз}} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Розраховуємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шк-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{N}$$

де N – кількість деталей у партії, $N = 50$ шт.

$$T_{\text{шк-к}} = 2,77 + \frac{22}{50} = 3,21 \text{ хв.}$$

2.9 Проектування верстатного пристрою

Даний пристрій проектуємо на операцію 030 фрезерно-центровальну (див. рисунок 2.7). На операції здійснюється фрезерування торців і свердління центрових отворів. Мета операції полягає в створенні чистових баз для наступних операцій.

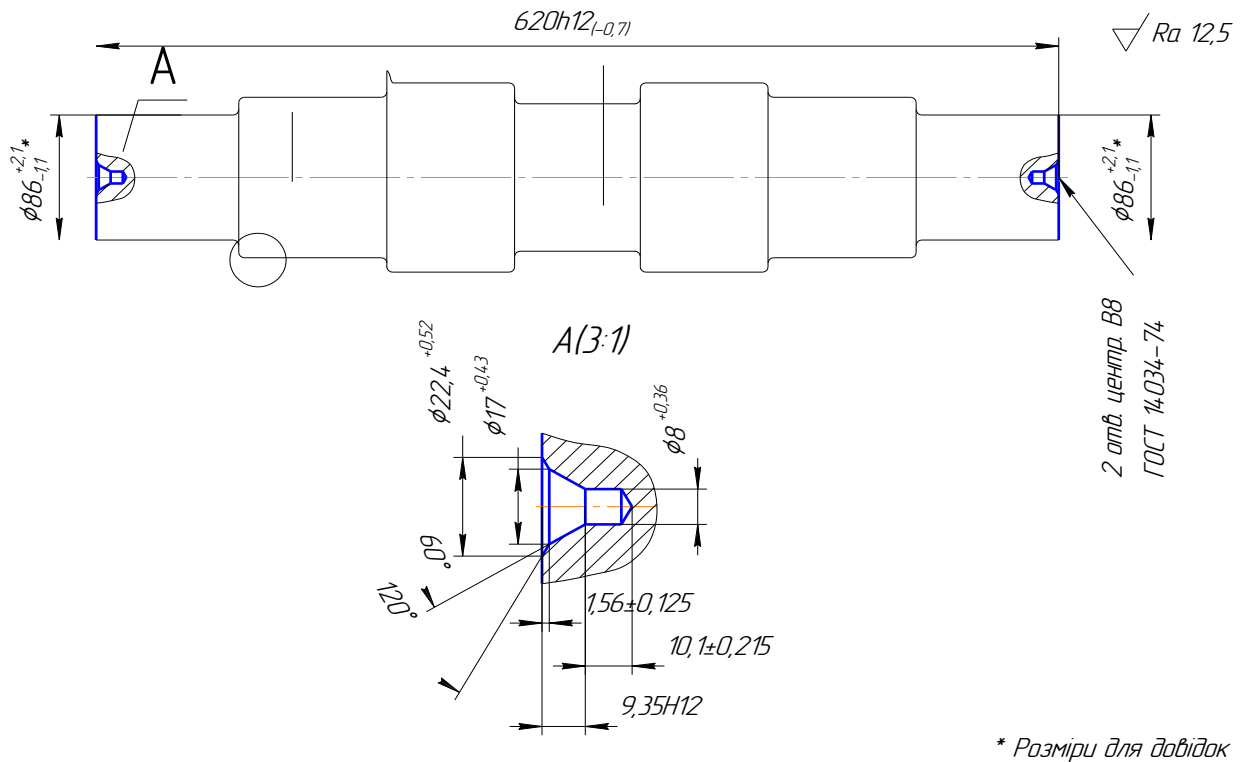


Рисунок 2.7 – Ескіз фрезерно-центрувальної операції 030

Застосування спеціального пристрою з механізованим приводом дозволить знизити трудомісткість обробки, собівартості виготовлення деталі, розширення технологічних можливостей верстату, зменшення часу на установку і закріплення деталі, покращення умов праці, підвищення безпеки праці, підвищення продуктивності праці.

Обробка буде здійснюватися на фрезерно-центровальному верстаті мод. 2Г942. Технічна характеристика верстата приведена в таблиці 2.11.

На даній операції формуються три лінійних розміри: лінійний (620H12, 9,35H12 (2 поверхні), 2 діаметральних ($\varnothing 8$), 4 кутових (60° (2), 120° (2)).

Розмір 1620 на кресленні повинен бути оброблений з точністю IT12. Значення допуску $T_{620} = 700$ мкм.

Два розміри 9,35H12 повинні бути оброблені з точністю IT12. Значення допуску: $T_{9,35} = 150$ мкм.

Розмір $\varnothing 8$ заданий вільним, то відповідно до технічних вимог деталі допуск беремо за 14 квалітетом точності: $T_{\varnothing 8} = 360$ мкм;

Відхилення на кут фаски 60° відповідають $\pm \frac{IT16}{2}$ (ГОСТ 8908) і обмежуються граничними відхиленнями $60^\circ \pm 1^\circ$. Аналогічно для фаски 120° відхилення складає $120^\circ \pm 1^\circ$.

Оскільки на кресленні не міститься допуск форми, то для рівня геометричної точності А не зазначений допуск площинності приймаємо в межах 60% на допуск розміру 620 мм:

$$T_{620} = 0,6 \cdot T_{620} = 0,6 \cdot 700 = 420 \text{ мкм}$$

Згідно таблиць допусків форми приймаємо найближче стандартне значення допуску площинності $T_{620} = 300$ мкм, що відповідає 12 ступеню точності.

На кресленні не міститься допуск торцевого биття, тому для рівня геометричної точності А не зазначений допуск торцевого биття становить в межах 60% на суму допусків 620 і 191 мм:

Значення в межах допуску на розмір 60%:

$$T_{620} = 0,6 \cdot (T_{620} + T_{191}) = 0,6 \cdot (0,7 + 4,0) = 2,82 \text{ мкм}$$

Найближче стандартне значення допуску торцевого биття $T = 3,0$ мкм, що відповідає 16 ступеню точності.

Шорсткість оброблюваних поверхонь, що зазначена на кресленні, має значення $Ra = 12,5$ мкм.

На даній операції використовуються призми, тому у якості базових поверхонь заготовки під час фрезерування торців і центрування отворів виступають зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 111$ і торець 191 (див. рисунок 2.6).

Відповідно до креслення заготовки поверхні $\varnothing 111$ виготовлені по класу точності Т4. Значення допуску: $T_{\varnothing 111} = 3,6$ мм. Довжина торця 191 також виготовлена з класом точності Т4. Значення допуску $T_{191} = 4,0$ мм.

Похибка форми циліндричних поверхонь $\varnothing 111$ характеризується відхиленням від круглості та циліндричності. Оскільки допуск циліндричності та круглості не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він може бути встановлений у межах допуску на розмір:

$$T_{\varnothing 111} = 0,3 \cdot 3,6 = 1,08 \text{ мкм}$$

Приймаємо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості: $T_{\varnothing 111} = 1,0$ мм, що відповідає 16 ступеню точності [13, с. 110].

Похибка форми торця 191 характеризується відхиленням від площинності. Оскільки допуск площинності не вказано в технічних вимогах і на кресленні деталі, то він також може бути встановлений у межах допуску на розмір.

$$T_{191} = 0,6 \cdot 4,0 = 2,4 \text{ мм}$$

Приймаємо найближче стандартне значення допуску площинності: $T_{191} = 1,2$ мм, що відповідає 16 ступеню точності [13, с. 107].

Розглянемо можливі похибки по радіальному биттю для поверхонь $\varnothing 111$ і биття торця довжиною 191.

$$T_{\varnothing 111} = 0,6 \cdot 3,6 = 2,16 \text{ мм}$$

Приймаємо націблизьче стандартне значення $T_{\varnothing 111} = 2,5$ мм, що відповідає 16 ступеню точності.

Для торця довжиною 1191:

$$T_{191} = 0,6 \cdot 4,0 = 2,4 \text{ мм,}$$

Найблизьче стандартне значення $T_{191} = 2,0$ мм, що відповідає 16 ступеню точності.

Шорсткість поверхонь, зазначена на кресленні, має значення $Ra = 25$ мкм.

Розроблення та обґрунтування варіантів схем базування та закріплення

Схема базування заготовки розглядалась раніше в пункті 2.2 Заготовка установлюється в призмах з упором в торець деталі. В результаті виникають дві бази (подвійна направляюча і опорна бази), які позбавляють деталь 5 ступенів вільності, одна ступінь вільності залишається вакантною.

Як зазначалося раніше похибка базування не впливає на точність розмірів, а може вплинути лише на подальший перерозподіл припуску.

Розробка та обґрунтування схеми закріплення та типу силоутворюючого механізму

Аналіз структури полів збурюючих сил

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил та поля зрівноважуючих сил будуюмо графічну модель збурюючих сил (рисунок 7.3) взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

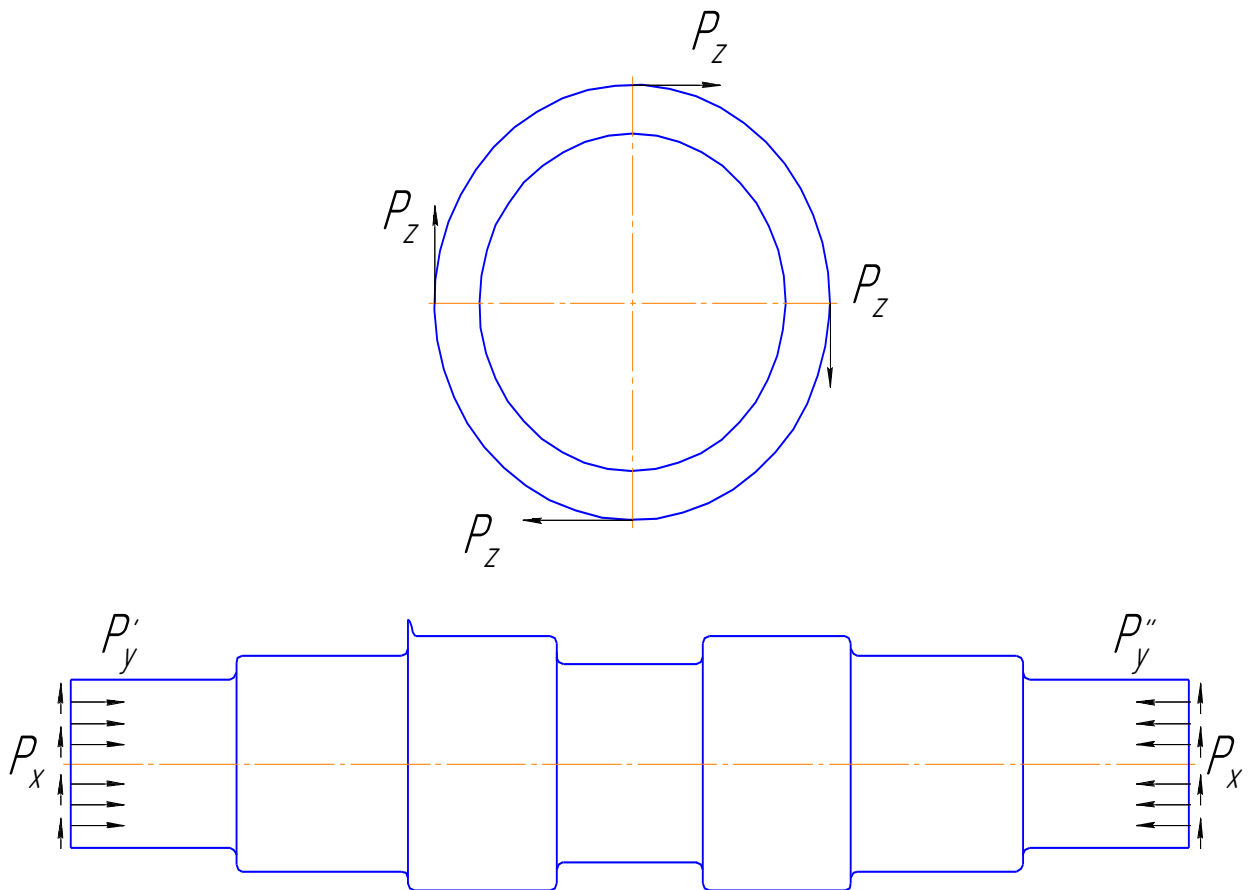


Рисунок 2.7 – Структура поля збурюючих сил

Аналіз структури полів зрівноважувальних сил

З рисунку 2.7 бачимо, що складова P_y' поля збурюючих сил зрівноважується силою P_y'' ($P_y' = P_y''$). Інші складові поля збурюючих сил не зрівноважені та потребують прикладання додаткових сил закріплення. При такій схемі базування доцільно застосовувати зажимний пристрій з призмами, який створює поле зрівноважувальних сил, що й представлено на рисунку 2.8.

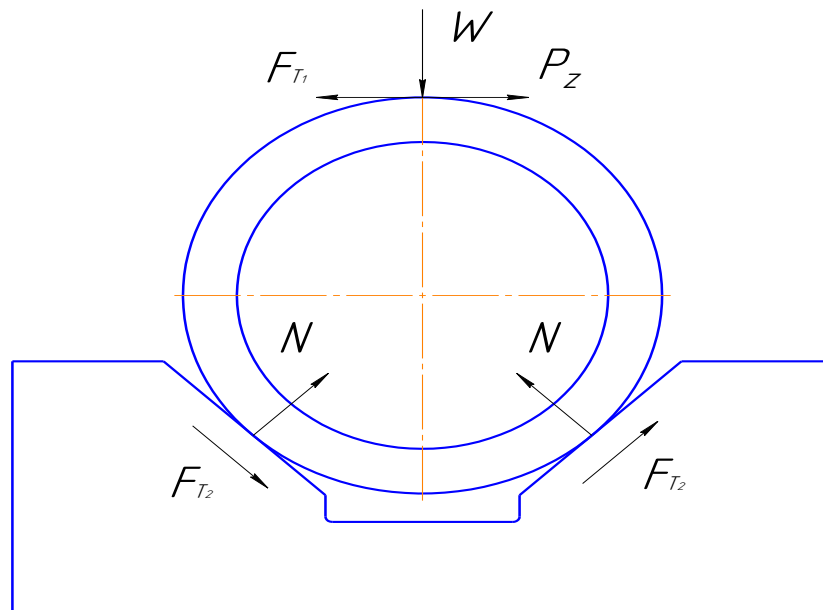


Рисунок 2.8 – Структура поля зрівноважувальних сил

Для аналізу структури та якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, будемо таблицю однобічних зв'язків.

Таблиця 2.18 – Однобічні зв'язки

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_y	ω'_y	ω_z	ω'_z
Спосіб реалізації	Реакція	-	R	R	R	-	R	-	-	R	R	R	R
	Сила закріплення	-	-	-	-	W	-	-	-	-	-	-	-
	Сила тертя	$F_{тр}$	-	-	-	-	-	$F_{тр}$	$F_{тр}$	-	-	-	-

З умови непроворота заготовки [9, с. 83] для циліндричної заготовки діаметром бази D встановленої в призмі з кутом α і навантаженої крутним моментом сила закріплення W визначається за формулою:

$$W = \frac{2 \cdot K \cdot M_{кр}}{D \cdot \left(f_2 + \frac{f_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right)}, \quad (2.62)$$

- де K – коефіцієнт запасу;
- $M_{кр}$ – крутний момент, діючий на заготовку при фрезеруванні, Н·м;
- D – діаметр заготовки, м;
- f_1, f_2 – коефіцієнти тертя відповідно в місцях контакту заготовки з опорами і затискними елементами, за [9] с.85, таблиця 10 при контакті необробленої заготовки з опорами і затискними елементами пристрою $f_1 = f_2 = 0,20$.

Коефіцієнт запасу K вводять в формули при обчисленні сили W для забезпечення надійного закріплення заготовки, за [9] с.85:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.63)$$

- де K_0 – коефіцієнт гарантованого запасу, $K_0 = 1,5$;
- K_1 – коефіцієнт, враховуючий збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях, при чистовій обробці, $K_1 = 1,0$;
- K_2 – коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту, $K_2 = 1,6$;
- K_3 – коефіцієнт, враховуючий збільшення сил різання при переривчастому точінні і торцевому фрезеруванні, $K_3 = 1,2$;
- K_4 – коефіцієнт, що характеризує сталість сили закріплення, при використанні пневмокамер подвійної дії, $K_4 = 1,0$;
- K_5 – коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних затискних

механізмів, $K_5 = 1,0$;

K_6 – коефіцієнт враховують тільки при наявності моментів, які прагнуть повернути заготовку, $K_6 = 1,5$.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 4,32$$

Крутний момент, при фрезеруванні ([9], с.290) розраховується по формулі:

$$M_{\text{кр}} = \frac{P_z \cdot D_{\text{фр}}}{2 \cdot 1000}, \quad (2.64)$$

де P_z – головна складова сили різання при фрезеруванні-окружна сила, Н;
 $D_{\text{фр}}$ – діаметр фрези, $D = 125$ мм.

Головна складова сили різання при фрезеруванні $P_z = 2742$ Н (див. п. 2.7).

Знаходимо всі величини:

$$M_{\text{кр}} = \frac{2742 \cdot 125}{2 \cdot 1000} = 172 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$W = \frac{2 \cdot 4,32 \cdot 172}{0,111 \cdot \left(0,2 + \frac{0,2}{\sin \frac{90^\circ}{2}}\right)} = 27728 \text{ Н}.$$

В даному пристрої використовується дві пневмокамери, тому силу закріплення ділимо на два $W = 13864$ Н. За цією силою виконується розрахунок пристрою для фрезерування.

Затиск заготовки виконується при подачі стиснутого повітря в безштокову порожнину пневмокамери двосторонньої дії. При цьому сила на штоці розраховується по формулі [13, таблиця 5.3, с. 114]:

$$Q_P = \left(\frac{\pi}{16}\right) \cdot (D + D_1)^2 \cdot p, \quad (2.65)$$

де D – діаметр діафрагми усередині пневмокамери, мм
 D_1 – зовнішній діаметр опорного диска, мм;
 p – тиск стиснутого повітря, $p=0,63$ МПа.

У спроектованому пристрої присутній важільний механізм, який реалізовує функцію механізму підсилювача величини сили закріплення. Схема представлена на рисунку 2.9.

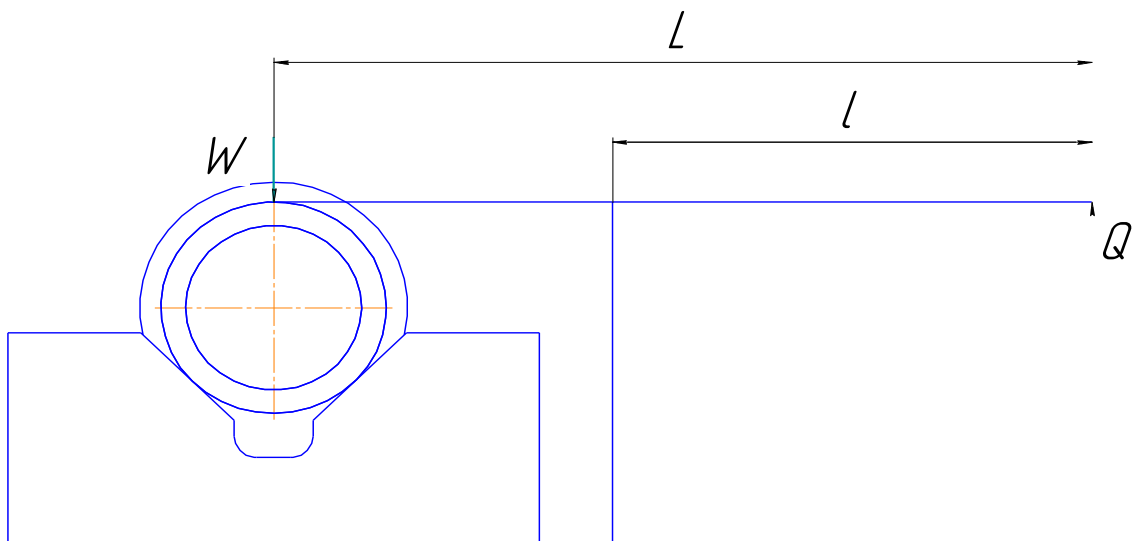


Рисунок 2.9 - Схема роботи передаточного механізму

Згідно рис. 2.9 сила на штоці пневмокамери розраховується за формулою:

$$Q_p = \frac{P_3 \cdot (L-l)}{l}, \quad (2.68)$$

де l – довжина плеча прижима, наприклад $l = 160$ мм;
 L – довжина прихвата, наприклад $L = 270$ мм.

$$Q_P = \frac{13864 \cdot (270 - 160)}{160} = 9532 \text{ Н}$$

Діаметр опорного диска діафрагми [13, таблиця 5.3, с. 115] визначається за формулою:

$$D_1 = D - 2h - (2 \div 4) \quad (2.69)$$

де $h=4-8$ мм – товщина діафрагми (приймаю $h=5$ мм).

$$\text{Тоді: } D_1 = D - 2 \cdot 5 - 4 = D - 14 \text{ (мм)}$$

Підставляючи співвідношення формули (7.12) у формулу (7.10), маємо наступне вираження:

$$Q = 0,196 \cdot p \cdot (D + (D - 14))^2 \quad (2.70)$$

Урахувавши те, що необхідна сила затиску дорівнює $Q=9532$ Н, а тиск стисненого повітря $p=0,63$ МПа, маємо:

$$9532 = 0,196 \cdot 0,63 (2D - 14)^2$$

Вирішуємо квадратне рівняння:

$$0,49 \cdot D^2 - 6,91 \cdot D - 9507,79 = 0$$

$$D = \frac{6,91^2 + 4 \cdot 0,49 \cdot 9507,79}{2 \cdot 0,49} = 18683,02 > 0$$

$$D_1 = \frac{6,91 - \sqrt{18683,02}}{2 \cdot 0,49} < 0$$

$$D_2 = \frac{6,91 + \sqrt{18683,02}}{2 \cdot 0,49} = 146,38 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення діаметра пневмокамери $D=160$ мм. Тоді діаметр опорного диска рівний : $d=160-2 \cdot 5-4=146$ (мм).

Дійсна сила на штоці пневмокамери визначається по формулі:

$$Q = \frac{\pi}{16} \cdot (160 + 146)^2 \cdot 0,63 = 11576 \text{ Н.}$$

Дійсна сила закріплення заготовки:

$$W = (11576 \cdot 160) / 110 = 16838 \text{ Н.}$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, а, отже, пристрій забезпечує фіксоване положення при обробці.

За [13, таблиця 5.4, с. 116] приймаємо діаметр штока $d=20$ мм.

Оптимальна довжина ходу штока пневмокамери визначається по формулі:

$$l = 0,22 \cdot D \quad (2.71)$$

Тоді, $l=0,22 \times 250=35,2$ мм. Приймаємо $l=36$ мм.

Розрахунок точності параметрів пристрою

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою [14, с. 26]:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\Pi}^2 + \varepsilon_{3H}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2} \quad (2.72)$$

де $T = 3,0$ мм – найбільший жорсткий допуск розміру, що одержують на даній операції (торець довжиною 191);

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

$K_{T1} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;

$\varepsilon_6 = 2550$ мкм – похибка базування заготовки в пристрої (дивись пункт 6);

$\varepsilon_3 = 0$ мкм – похибка закріплення, виникає в результаті зсуву оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили (привод механізований).

$\varepsilon_y = 20$ мкм – похибка установлення пристрою на верстаті (середнє значення похибки, що рекомендують). [14, с. 28]

$\varepsilon_{II} = 0$ мкм – похибка перекосу інструмента (кондукторні втулки не використовуються).

$\varepsilon_{зн}$ – похибка, що виникає внаслідок зношування встановлювальних елементів пристрою. Визначається за формулою:

$$\varepsilon_{зн} = \beta_1 \cdot N^n, \quad (2.73)$$

де, $\beta_1 = 0,5$ – постійний коефіцієнт, що залежить від виду встановлювальних елементів і умов контакту поверхонь [14, табл. 3.6 с.41];

$n = 0,4 \div 0,6$, призначаємо приблизно $n = 0,5$.

$N = 2000$ шт – кількість контактів заготовки з опорою;

$$\varepsilon_{зн} = 0,5 \cdot 2000^{0,5} = 22 \text{ мкм}$$

$K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки.

$\omega = 280$ мкм – середня економічна точність обробки (допуск по 10 квалітету на розмір 620).

$\varepsilon_{\text{поз}} = 0$ мкм – похибка позиціонування (використовується для верстатів із ЧПК, в нашому випадку відсутня). [14, с. 44]

Підставляємо значення:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 3000 - 1,2\sqrt{(0,8 \cdot 2550)^2 + 0 + 20^2 + 0 + 22^2 + (0,6 \cdot 280)^2 + 0} = 3000 - 2456 = 544 \text{ мкм}$$

З урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності $\varepsilon_{\text{пр}} = 500$ мкм [15, с.109].

Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що відхилення від паралельності спільної горизонтальної осі настановних призм відносно нижньої площини корпусу не більше – 0,5 мм.

Принцип роботи пристрою

Пристрій в зборі повинен задовольняти технічним вимогам креслення загального виду й забезпечувати якісну обробку заготовки по заданим розмірам.

Всі деталі й вузли пристрою піддати візуальному контролю, а виявлені дефекти усунути:

Складання пристрою здійснюється в наступній послідовності:

1. Діафрагму поз. 5 з'єднати з опорними дисками поз. 4, зверху вкласти підкладку поз. 12, далі в отвір опорних дисків вставити шток поз. 15 і з нижньої сторони притиснути шайбою поз. 23 і загвинтити гайкою поз. 19.

2. Складену діафрагму встановити в нижню частину корпусу поз.8 і зверху накласти верхню частину корпусу (в якому попередньо запресована втулка поз. 1, в якій установлені кільця поз. 21) і закріпити гвинтами поз. 17 і штифтами поз. 26 до плити поз. 9.

3. До плити поз. 9 за допомогою гвинтів поз. 18 і штифтів поз. 27 закріпити призми опорні поз. 10. Провести точну вивірку призм опорних поз. 10 відносно загальної площини.

4. На плиту поз. 9 загвинтити стійку поз. 14.

5. Для установки пристрою на столі верстата установити на плиті поз. 9 шпонки поз. 25 і закріпити їх гвинтами поз. 16.

6. На стійці поз. 14 установити прихват поз. 11, попередньо протягнувши в отвір прихвата гвинт поз. 3, кільце поз. 6, шайбу поз. 24, пружину поз. 13 і гайку поз. 20.

7. На шток поз. 15 устанавлюємо прихват поз. 11 і затискаємо його кільцем поз. 7 і гайкою поз. 2.

Експлуатація пристрою:

1. Установити і закріпити пристрій на верстаті з урахуванням нульової точки верстата.

2. Зняти з пристрою рим-болти поз. 22.

3. Підготувати базові поверхні до установки заготовки.

4. Установити заготовку в призми опорні поз. 10. На шток поз. 15 установити прихват пристрою поз. 11.

5. Поворотом рукоятки провести закріплення заготовки.

6. Обробити заготовку.

7. Поворотом рукоятки у зворотну сторону відкріпити заготовку. Зняти прихват поз. 11 зі штока поз. 15.

8. Пристрій зберігати на дерев'яній основі. Вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимо.

2.10 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

Відповідно до завдання необхідно спроектувати КВП для контролю радіального биття поверхонь $\varnothing 125e8$ і $\varnothing 80h11$ деталі «Вал-шестерня» після обробки заготовки на токарному верстаті (див. креслення деталі).

В технологічному процесі заготовка оброблялася на токарному верстаті з ЧПК і базувалася в центрах. Застосування контрольного пристрою дозволяє забезпечити об'єктивність, точність та продуктивність операції контролю. Контроль радіального биття поверхонь здійснюється альтеративним методом із застосуванням жорстких центрів токарного верстата і магнітної індикаторної стійки. Контроль биття поверхонь виконується поперемінно і великий вплив на якість контролю надають суб'єктивні особливості оператора.

В цілому контроль радіального биття не викликає труднощів, оскільки простановка відхилень розташування поверхонь вірна і є досить розвинені і точні базові поверхні. Принцип суміщення баз не виконується, на кресленні допуск биттів проставляється відносно зовнішніх циліндричних поверхонь $\varnothing 105f7$, однак вал на всіх операціях ТП оброблюється в центрах, звідки вісь центрів співпадає з віссю деталі, тому контроль буде дотриманий.

Для поверхонь $\varnothing 80h11$ допуск на радіальне биття в 0,03 мм відповідає найближчому меншому стандартному значенню допуску в 0,025 мм по 6-ому ступеню точності по ГОСТ 24643 [2], для поверхонь $\varnothing 125e8$ допуск відповідає стандартному 0,03 мм по 6-ому ступеню точності відповідно. Для розрахунків приймаємо найменший допуск на радіальне биття 0,025 мм, що відповідає 6-ому ступеню точності.

Продукція, що випускається за своїми техніко-економічними показниками повинна відповідати сучасним вимогам ГОСТ, ОСТ, ТУ. Таку продукцію відносять до 1-ї категорії якості. Обмежимося 3-й категорією контролю [3]. Виробництво подібного технологічного класу деталей можна вважати давно засвоєним і усталеним. Тому приймається нормальний режим контролю

ГОСТ 20736. Установимо показники операції контролю: за обсягом - суцільний контроль; за часом - постійний, за структурою - однократний.

З урахуванням цього при випуску запланованого обсягу продукції необхідно перевірити радіальне биття поверхонь для 1000 деталей.

Радіальне биття поверхонь визначається сумарним відхиленням від циліндричності поверхонь і відхиленням від співвісності відносно базової осі і чисельно дорівнює різниці найбільшої і найменшої відстані від точок реального профілю поверхонь обертання до базової осі в розрізі площиною, перпендикулярною до базової осі.

Контроль радіального биття можна виконувати на всій довжині поверхні, не доходячи по 6 – 8 мм до лівого чи правого торців розглядуваних поверхонь деталі (див. рис. 2.10).

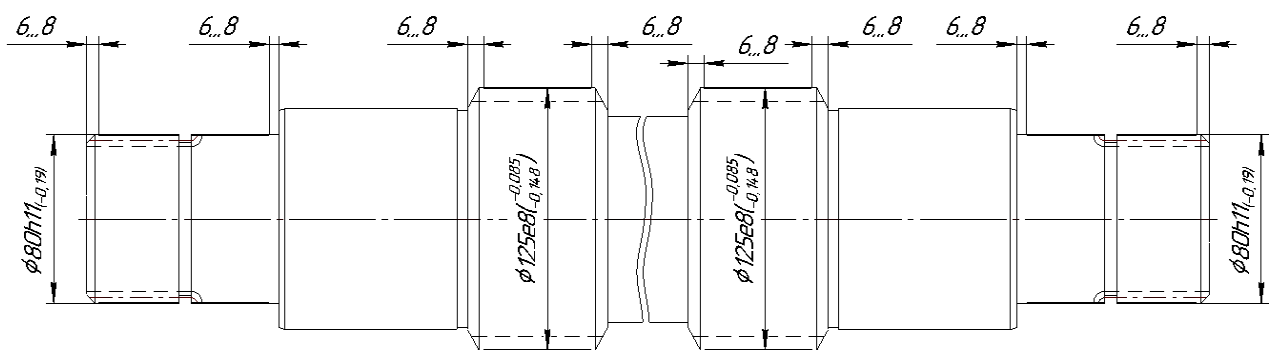


Рисунок 2.10 – Вибір контрольних точок

Контроль заданих параметрів здійснюється після токарної обробки перед фрезеруванням зубів.

Деталь за конструктивними особливостями відноситься до тіл обертання, за технологічними – до класу валів. Це ступінчатий вал з перепадами діаметрів від $\varnothing 80$ до $\varnothing 125$ мм із загальною довжиною 620 мм, що забезпечує відношення довжини L до діаметру D : $L/D=620/125=4,96$. Таким чином вал достатньо жорсткий і надійний в експлуатації. Маса деталі – 37,6 кг.

«Вал-шестерня» виготовляється із висоякісної легованої конструкційної сталі 38ХА ГОСТ 4543. Данна сталь застосовується для деталей з високою міцністю і в'язкістю для виготовлення черв'яків, зубчатих коліс, шестерень, валів, осей, шатунних болтів та ін. Особливих вимог до твердості деталі немає, до поверхонь задана твердість НВ 167...207, густина $Q = 7,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, межа текучості $\sigma_T = 780 \cdot 10^6 \text{ Па}$, відносне подовження $\delta_5 = 12\%$, межа міцності $\sigma_B = 930 \cdot 10^6 \text{ Па}$ [4].

Із всієї сукупності поверхонь, утворюючих деталь, на роль базових претендують центрові отвори. Це обумовлено можливістю використання їх на всіх операціях ТП (принцип постійності баз).

Проаналізувавши точнісні параметри центрових отворів, необхідно відзначити, що їх робочі поверхні виконані під кутом 60° і мають шорсткість – 0,4 мкм за критерієм Ra ГОСТ 2789. Таким чином, можна прийти до висновку, що якість базових поверхонь забезпечить необхідне положення контрольованої деталі в процесі контролю.

На рисунку 2.11 представлена схема базування контрольованої деталі. При базуванні деталі в центрах вал позбавляється 5 ступенів волі. Мають місце 2 технологічні бази:

- установча - лівий центровий отвір, позбавляє деталь 3-х ступенів волі: поступального переміщення вздовж осі X і обертання навколо осей Z і Y;
- подвійна опорна - правий центровий отвір, позбавляє деталь 2-х ступенів вільності: поступальних переміщень вздовж осей Z і Y.

Вакантним залишається обертання навколо власної осі X.

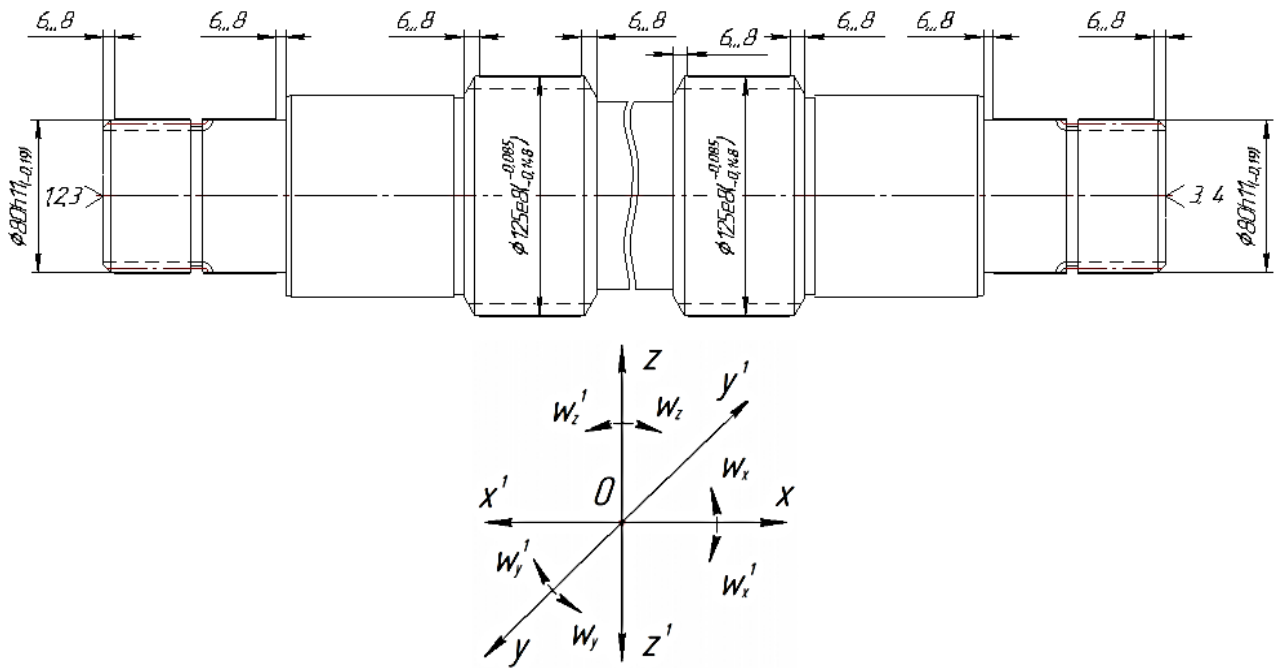


Рисунок 2.11 – Схема базування деталі «Вал-шестерня»

Якщо тепер побудуємо таблицю жорстких односторонніх координатних зв'язків (таблиця 2.19), то побачимо, що при такій схемі базування деталь позбавлена 10 односторонніх зв'язків ($x, x', y, y', z, z', \omega_z, \omega'_z, \omega_y, \omega'_y$) і залишилися тільки два з них (ω_x, ω'_x). Оскільки обрана схема базування дозволила поєднати конструкторську і вимірювальну бази, тому для контрольованих параметрів $\epsilon_6 = 0$.

Таблиця 2.19 – Таблиця жорстких односторонніх координатних зв'язків

Характер зв'язку	Індекс односторонньої координати											
	x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	ω'_x	ω_z	ω'_z	ω_y	ω'_y
Реакція зв'язку	R	R	R	R	R	R	–	–	R	R	R	R

Деталь в процесі контролю радіального биття поверхонь розміщена горизонтально і закріплена в центрах, при цьому закріплення правим центром вздовж осі буде незначним. Вал при закріпленні не випробовує тих деформацій,

які могли би вплинути на контроль параметрів, тому похибка закріплення $\varepsilon_3=0$.

Контроль заданого параметра буде проводитися безпосередньо на токарній дільниці, на робочому місці, розташованому поруч з верстатом. Температура в робочій зоні - $t = 20^{\circ}\pm 5^{\circ}$ С; відносна вологість повітря - $\varphi_n = 80\%$; атмосферний тиск - $P_{ат} = 86...106$ кПа; швидкість руху повітря - $V_n \leq 0,5$ м/с; частота вібрацій, що викликається верстатами, $f = 20-30$ Гц. Основним фактором, що визначає працездатність зору, є освітлення. Точність контролю радіального биття вимагає досить високої напруги очей, тому для нормальної роботи разом із загальним $E_{\phi}=100$ люкс, призначаємо місцеве освітлення з $E_{\phi} = 2000$ люкс [5].

З можливих альтернатив прямого і непрямого методу віддаємо перевагу прямому методу, оскільки його простіше зробити при контролі радіальних биттів контрольованих поверхонь «вала-шестерні». При цьому немає необхідності в перерахунку контрольованого параметра і отримується точність цілком достатня для допуску, що перевіряється.

При виборі контактного або безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі високі і контрольовані поверхні без деформацій і змінань можуть сприйняти значне вимірювальне зусилля. При цьому вимірювальне зусилля сприятиме видаленню бруду і сторонніх тіл з місця вимірювання.

Для забезпечення точкового контакту призначаємо наконечник сферичної форми з радіусом не менше 2 мм.

Враховуючи значну твердість контрольованої поверхні, геометричні параметри наконечника, орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 5 Н. В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначатиметься за формулою:

$$\Delta_{зyc} = 0,43 \cdot K \sqrt[3]{\frac{P_{зyc}^2}{r}} \quad (2.74)$$

де $\Delta_{зус}$ – величина похибки контактної деформації, мкм;

K – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального наконечника.

Для сталі $K = 1,00$;

$P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус сфери наконечника, мм

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot 0,81 \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,6 \text{ мкм}$$

Деталь контролюється при повороті на 360° , що характерно для динамічного методу контролю.

З двох можливих методів абсолютного і відносного - кращий другий (відносний), так як він надає більш широкі можливості для різних конструктивних рішень, дозволяє здійснити більш точні вимірювання.

Налаштування КВП буде проводитися без еталонної деталі.

Використовуємо пасивний метод контролю, вал буде контролюватися після токарної обробки. Це дає змогу провести контроль точніше, так як відсутні можливі температурні деформації.

КВП повинен мати шкальний відліковий пристрій, який забезпечує достатню точність відліку без надмірного напруження зору.

Приймаємо механічний принцип перетворення вимірювальної інформації. Це рішення зумовлене контактним методом контролю. На його користь говорить великий арсенал технічних засобів, що пройшли багаторічну апробацію на точність і надійність роботи на робочих місцях контролерів ВТК.

Вибір засобу вимірювання повинен забезпечувати найменшу собівартість при заданій точності та надійності, тому почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і надійнісних характеристик, якими має володіти ЗВ.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина

допуску ІТ контрольованого параметра, зокрема, радіального биття контрольованих поверхонь:

$$[\Delta_{\text{вим.}}]=K \cdot IT, \quad (2.75)$$

де K – залежить від квалітету або степені точності контрольованого параметра і може приймати від 0,2 до 0,35. Для 6-го ступеня точності з допуском в 25 мкм приймаємо $K = 0,3$ [7].

$$[\Delta_{\text{вим.}}]=0,3 \cdot 25 = 7,5 \text{ мкм.}$$

Визначимо допустиму інструментальну похибку для контролю радіального биття [6]:

$$[\Delta_{\text{ін.}}]=0,7 \cdot [\Delta_{\text{вим.}}],$$

$$[\Delta_{\text{ін.}}] = 0,7 \cdot 7,5 = 5,25 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки ЗВ розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки ЗВ. Приймаємо: $[C] = [\Delta_{\text{ін}}] = 5 \text{ мкм.}$

Інтервал поділки шкали $[a]$ беремо 1,0 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань ЗВ. Необхідно враховувати умови, в яких буде працювати КВП, і перш за все освітленість (див. пункт 5.8).

Межа вимірювання за шкалою $[A]$ повинна перевищувати допуск ІТ, щоб зняття показань не викликало труднощів. Приймаємо [6]:

$$[A] = 4 \cdot IT = 4 \cdot 25 = 100 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювання приладу (діапазон вимірювань) визначається вимогами експлуатації. Приймаємо $[B]=0,3 \text{ мм.}$

Вимірювальне зусилля $[P_{зyc}]$ обумовлюється характером контрольованих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля прийнято в пункті 6. Оскільки обмеження на його величину відсутні, приймаємо $[P_{зyc}] = 5$ Н. Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлюємо величиною $[\Delta P_{зyc}] = 1$ Н.

Основним нормованим показником надійності ЗВ є напрацювання $t(P)$ до першої відмови при ймовірності безвідмовної роботи P . Відповідно до РД 50-650-87 обговоримо кількість циклів вимірювань, що забезпечує задану кількість контрольних операцій (див. пункт 5.1):

$$[t(P)] = 2000 \cdot 4 = 8000 \text{ циклів.}$$

Ймовірністю безвідмовної роботи задамося $[P] = 0,85$, виходячи із можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування.

Згідно з усталеними цінами на контрольно-вимірювальні засоби вітчизняного і імпортного виробництва, встановимо витрати на придбання ЗВ: $[Ц] = 1000$ грн.

Після того, як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним і надійнісним показникам, можна приступити до пошуку ЗВ. Прийнятним вважається ЗВ, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим:

$$\Delta_{in} \leq [\Delta_{in}]; P_{зyc} \leq [P_{зyc}]; c \leq [c]; A \geq [A]; a \geq [a];$$

$$B \geq [B]; P \geq [P]; \Delta P \leq [\Delta P]; t(P) \geq [t(P)]; Ц \leq [Ц].$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів і таблиць технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних голівок.

Виходячи із вище перелічених допустимих метрологічних характеристик ЗВ вибираємо індикатор часового типу моделі TESA YR 01410410 з ціною поділки 0,001 мм фірми TESA з наступними характеристиками:

- ціна поділки шкали – 1 мкм;
- діапазон індикації – 1 мм;
- діаметр циферблата – 58 мм;
- відстань між поділками шкали – 1,5 мм;
- вимірювальне зусилля – 1,7 Н;
- діапазон загальної похибки вимірювання – 4 мкм;
- повторюваність (поле розкидування) – 1 мкм.

Зіставивши ці значення з допустимими, приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\Delta_{in} = 0,004 < 0,005 = [\Delta_{in}];$$

$$C = 0,001 < 0,005 = [C];$$

$$a = 1,5 \text{ мм} > 1,0 \text{ мм} = [a];$$

$$A = 0,5 \text{ мм} > 0,1 \text{ мм} = [A];$$

$$P_{зус} = 1,7 \text{ Н} < 5 \text{ Н} = [P_{зус}];$$

$$\Delta P = 0,4 \text{ Н} < 1,0 \text{ Н} = [\Delta P];$$

$$B = 1,0 \text{ мм} > 0,3 \text{ мм} = [B];$$

$$P = 0,9 > 0,85 = [P];$$

$$t(P) = 100000 > 8000 = [t(P)];$$

$$Ц = 800 \text{ грн} < 1000 \text{ грн} = [Ц].$$

Інші ЗВ мають надлишкову точність і меншу надійність, тому для нашого КВП найбільш відповідним вважаємо індикатор часового типу моделі TESA YR 01410410.

У процесі контрольної операції реалізуються наступні функції:

- 1) базування і закріплення контрольованої деталі;
- 2) установка і закріплення ЗВ;
- 3) прийом, передача і перетворення вимірювальної інформації;
- 4) переміщення ЗВ в робочу позицію;
- 5) об'єднання функціональних вузлів в єдиний виріб.

Горизонтальна схема компоновання є найбільш зручною для конкретних умов контролю (див. рис. 2.12). Вона забезпечує компактність і жорсткість

пристрою. Досягається зручність установлення деталі на вимірювальну позицію. Забезпечується найкоротший шлях проходження сигналу від точки вимірювання до шкали.

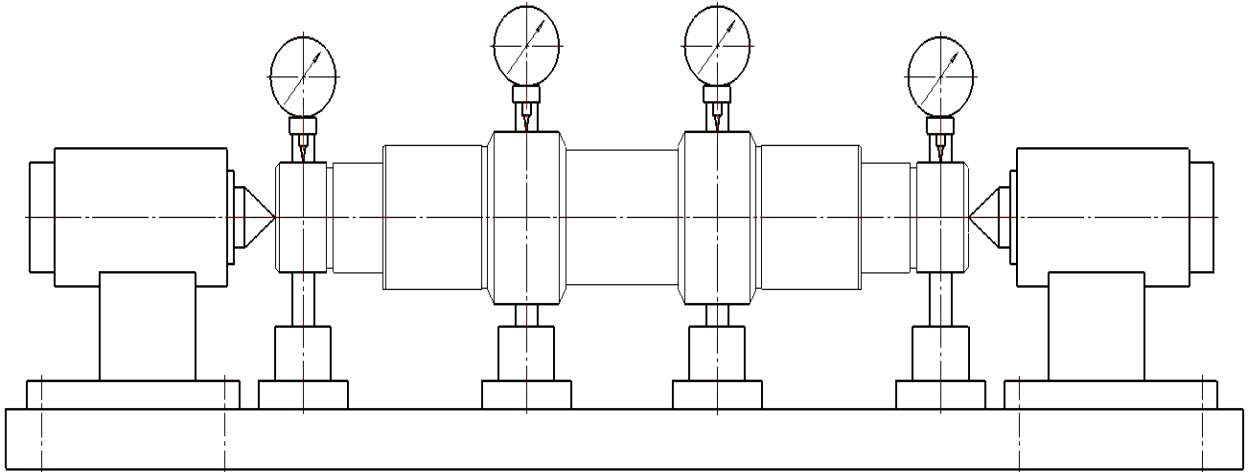


Рисунок 2.12 – Компонувальна схема КВП

При контролі радіального биття контрольованих поверхонь «вала-шестерні» сумарну фактичну похибку КВП можна визначити за формулою:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{\varepsilon^2 + \Delta_{\text{пер.пр.}}^2 + \Delta_{\text{е}}^2 + \Delta_{\text{ін}}^2 + \Delta_{\text{т}}^2 + \Delta_{\text{в.зус.}}^2}, \quad (2.76)$$

де ε – похибка положення контрольованої деталі в пристрої визначається як:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \quad (2.77)$$

ε_6 - похибка базування. У нашому випадку для базування в центрах при контролі радіального биття вона відсутня;

ε_3 - похибка закріплення. Оскільки для закріплення деталі використовуємо жорсткі centru з незначним зусиллям закріплення, то похибка закріплення відсутня;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - неточність виготовлення елементів пристрою, що беруть участь у формуванні розмірного ланцюга. У нашому випадку на контроль заданих параметрів це не впливає;

$$\varepsilon = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2} = 0 \text{ мкм}$$

$\Delta_{\text{пер.пр.}}$ - похибка передавального пристрою. Оскільки в конструкції нашого КВП передавальні пристрої відсутні, то $\Delta_{\text{р}} = 0$;

Δ_e - похибка виготовлення еталонної деталі, приймаємо за дод. 3:
 $\Delta_e = 5 \text{ мкм}$;

$\Delta_{\text{ін}}$ - похибка обраного ЗВ, $\Delta_{\text{ін}} = 4 \text{ мкм}$;

$\Delta_{\text{в.зус}}$ - похибка, що викликається вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації поверхні деталі дорівнює:

$$\Delta_{\text{в.зус}} = 0,43 \cdot 1,0 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,7^2}{1,5}} = 0,53 \text{ мкм}$$

Δ_t - похибка, викликана зміною температури навколишнього середовища.

Оскільки контроль здійснюється на столі ВТК, після вирівнювання температур контрольованої деталі і КВП, $\Delta_t = 0$.

У підсумку, підставивши знайдені значення елементарних похибок, отримаємо:

$$\varepsilon_{\text{КВП}} = \sqrt{0^2 + 0^2 + 5^2 + 4^2 + 0^2 + 0,53^2} = 6,42 \text{ мкм} < 7,5 \text{ мкм} = [\delta_{\text{вим}}]$$

В результаті спроектований КВП для контролю радіального биття буде працездатним.

Опис роботи КВП

Спроектований КВП складається з литої плити 4, по краях якої за допомогою чотирьох гвинтів 10 і чотирьох штифтів 15 встановлені і закріплені передня 2 і задня 1 бабки пристрою, в яких знаходяться обертові центри. У середній частині плити 4 за допомогою чотирьох гвинтів 9 і чотирьох штифтів 14 закріплено чотири індикаторних стійки 6, на яких, в свою чергу, встановлені індикатори 11, закріплених за допомогою гвинта 3.

Спроектований пристрій працює наступним чином.

Контрольована «вал-шестерня» встановлюється центровими отворами в обертових центрах пристрою. Потім до контрольованих поверхонь $\phi 80h11$ і $\phi 125e8$ підводяться вимірювальні наконечники індикаторів 11 і після повороту деталі на 360° по різниці найбільшого і найменшого показань кожного з індикаторів і судять про величину радіального биття контрольованих поверхонь.

2.11 Висновок

В результаті аналізу базового технологічного процесу виготовлення деталі було спроектовано перспективний маршрут механічного оброблення заготовки, що враховує останні досягнення науки та техніки:

1. Шляхом техніко-економічного аналізу обґрунтовано вибір способу отримання вихідної заготовки – штамповка на ГKM.
2. Розроблено раціональний маршрут оброблення заготовки, який враховує принципи поетапності, суміщення та постійності технологічних баз.
3. З використанням аналітичного методу проф. В.М. Кована уточнено операційні припуски та розміри для оброки зовнішньої циліндричної поверхні діаметром $\phi 105f7$.

4. Обґрунтовано вибір схем базування, металорізальних верстатів та оснастки на комплексну та довбальну технологічні операції. для зазначених операцій визначені раціональні режими різання та технічні норми часу.

5. Спроектовано спеціальний верстатний пристрій для фрезерно-центрувальної операції.

6. Спроектовано контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття.

РОЗДІЛ 3

МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗУБОФРЕЗЕРНОЇ ОПЕРАЦІЇ

3.1 Опис конструкції пристрою

Відповідно до завдання було спроектовано верстатний пристрій для зубофрезерних операцій, на яких відбувається фрезерування зубців $\text{Ø}80\text{h}11$ (2 місця) та шліців $d-20 \times 112 \times a11 \times 125 \times e8 \times 9 \times h9$ (2 місця). На даній операції Вал-шестерня базується і закріплюється в центрах, крутний момент передається через поводковий патрон. Даний пристрій показаний на рисунку 3.1.

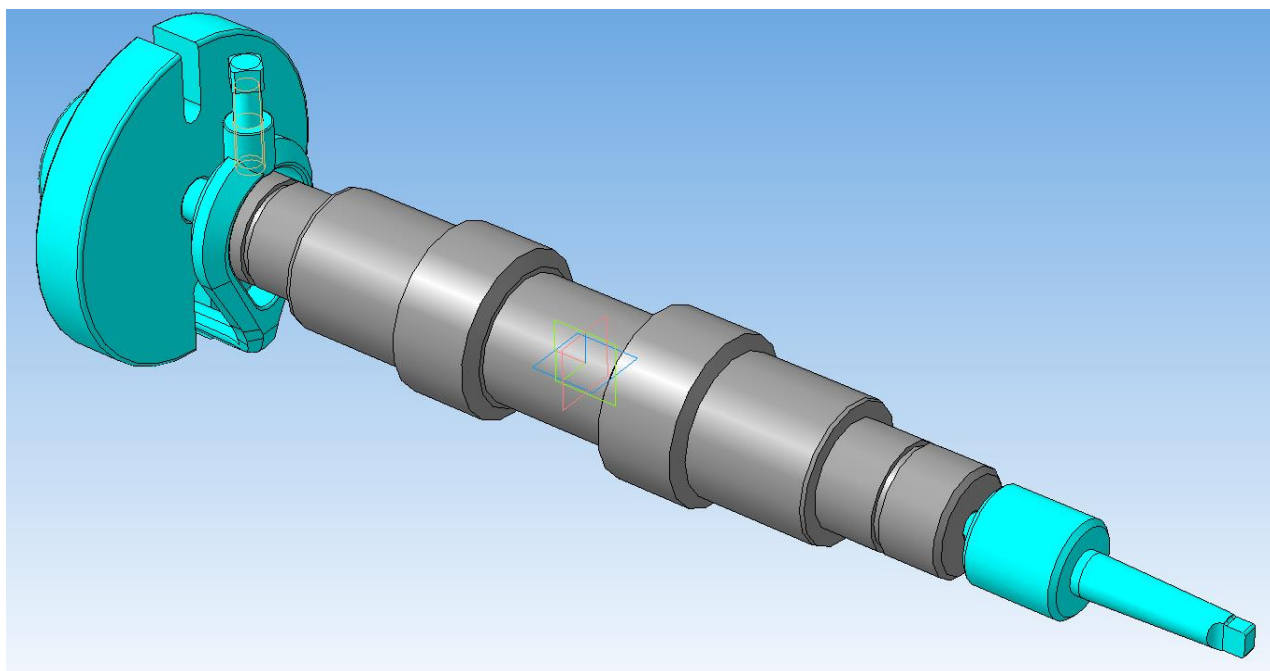


Рисунок 3.1 – Розроблений верстатний пристрій з установленою деталлю

Спроекований пристрій складається із поводкового патрону, хомутика, який закріплюється в патроні, гвинта, двох центрів, один з яких упорний (зліва) і один центр обертовий (справа). Хомутик закріплюється своїм хвостовиком в патроні, в якому наявні спеціальні для цього пази.

Спроекований верстатний пристрій (ВП) працює наступним чином.

Вал проходить через попередньо закріплений хомутик і встановлюється в передній центр, потім підтискається заднім центром до упору. Для передачі крутного моменту використовується хомутик, у який загвинчується установлювальний гвинт, який підтискає деталь.

Обробка здійснюється на шліцефрезерному верстаті 5350, технічні характеристики наведені в таблиці 2.10.

Пристрій буде працювати при таких умовах: робоча температура навколишнього середовища $t=20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск $P_{\text{ат}}=86\dots 106\text{кПа}$, швидкість руху повітря – 0,5 м/с, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс.

При проектуванні верстатного пристрою були висунуті три основні вимоги, котрі можна трактувати як протиріччя:

а) висока точність пристрою, залежить від його достатньою жорсткості
б) для забезпечення високої жорсткості, треба збільшувати габаритні розміри складових елементів верстатного пристрою.

в) при збільшенні габаритних розмірів, збільшується матеріальні витрати (так звана металомісткість), відповідно зростає собівартість такого верстатного пристрою. Також є обмеження і розмірів ВП, тому що його потрібно встановлювати на верстат, якщо це неможливо зробити вручну, то потрібно використовувати підйомно-транспортні механізми. Габарити ВП повинні не заважати безперешкодним рухам робочих органів верстату, і безпосередньо процесу обробки деталі.

Щоб вирішити вищенаведені вимоги, потрібно застосувати методи оптимізації. Сьогодні розвиток комп'ютерних технологій дає змогу інженерам використовувати автоматизовані засоби оптимізації, які забезпечують точний розрахунок конструкцій на міцність, проаналізувати напружено-деформований стан (НДС), визначати власні частоти верстатного пристрою.

3.2 Дослідження напружено-деформованого стану запропонованого верстатного пристрою

Виконаємо дослідження напружено-деформованого стану (НДС), для того щоб визначити оптимальні розміри верстатного пристрою (ВП) і чи буде забезпечена якісна обробка деталі. При цьому раніше уже були визначені похибки верстатного пристрою, котрі виникають у процесі обробки. Граничні значення похибок обмежені згідно з кресленням деталі «Вал-шестерня».

Дослідження НДС верстатного пристрою передбачає перевірку на міцність, виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження мають значення більші ніж критичні для конкретного виду матеріалу та якщо вони будуть наявні, потрібне удосконалення конструкції ВП. В ході дослідження виконувалась перевірка еквівалентних напружень, котрі виникають у місцях контакту між встановлювально-затискними елементами пристрою та деталлю внаслідок дії сил закріплення, сили різання та крутного моменту.

Механічні властивості матеріалів, котрі використані у моделі показані у табл. 3.1. Характеристики матеріалів елементів моделі беремо за замовчуванням, як для аналогу середньовуглецевої сталі 40 ГОСТ 1050. Режими різання, для яких виконувалось дослідження показані у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів заготовки та елементів верстатного пристрою

Матеріал	Межа міцності, МПа	Коефіцієнт Пуассона, μ	Густина ρ , кг/м ³	Модуль Юнга, МПа	Границя Текучості, МПа	Твердість НВ
Сталь 38ХА ГОСТ 4543	930	0,29	7850	$1,96 \cdot 10^5$	780	207
Сталь 40 ГОСТ 1050	590	0,29	7850	$2 \cdot 10^5$	345	170

Таблиця 3.2 – Режим обробки шліцьових та зубчастих поверхонь

Поверхня	t, мм	S ₀ , мм/об	n, об/хв	V, м/хв	S _п , мм/хв	Мкр, Н·м	v, Гц	Ne, кВт
Зубчасті вінці	5,63	2,0	200	44,59	400	87,7	3,33	1,8
Шліци	6,5	1,2	125	54,95	150	249,5	2,08	3,2

По вирішенню поставлених задач по оптимізаційному алгоритму, була проведена розробка та побудова скінчено-елементної розрахункової моделі верстатного пристрою. Відповідають реальним схемам закріплення із зовнішнім навантаженням силові та кінематичні граничні умови моделі верстатного пристрою. Закріплення реалізовується по хвостовику обертового центра та задньому торцю поводкової план-шайби. Шляхом об'єднання вузлів складові елементи верстатного пристрою зв'язані між собою жорстко. Поверхні котрі зафіксовані і зв'язані між собою за рахунок сил тертя наявна можливість переміщення між цими поверхнями з відповідним коефіцієнтом тертя.

Побудова скінчено-елементної сітки здійснюється в програмному комплексі ANSYS (рис. 3.2) здійснюється в автоматичному режимі. Параметри сітки: мінімальна довжина елемента – 0,43610 мм, загальна кількість скінчених елементів – 46185.

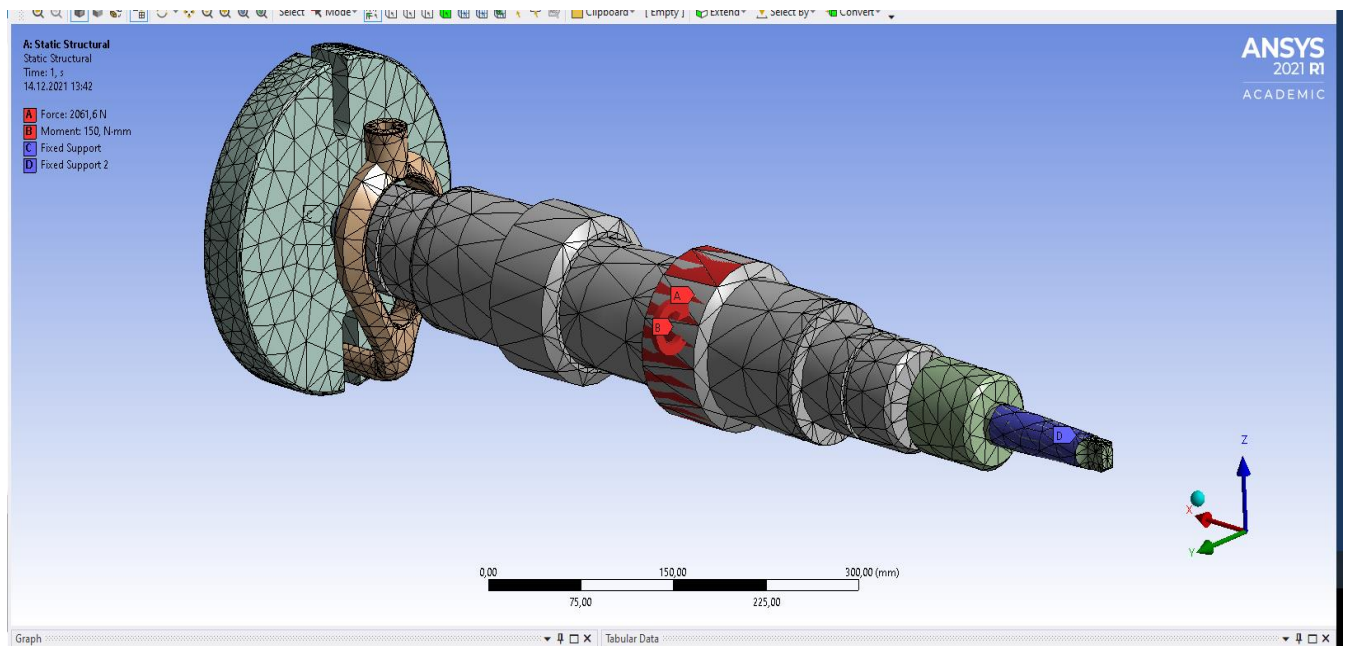


Рисунок 3.2 – Скінчено-елементна сітка досліджуваної деталі та верстатного пристрою

За допомогою програмного комплексу ANSYS були змодельовані умови оброблення Вала-шестерні, а саме – фрезерування шліцьових та зубчастих поверхонь. Прикладення складових сил різання та крутного моменту відображені на рисунку 3.3. Отримані результати напружень та загальних переміщень та по деформаційним складовим по осям X та Y (рис.3.4-3.7), котрі будуть у деталях і місцях їх контактування. Показники максимальних еквівалентних напружень, визначені за гіпотезою Мізеса та максимальних переміщень, які виникли в процесі моделювання механічної обробки. Допускаються переміщення елементів верстатного із вказанням типу контактів, коефіцієнтів тертя між складовими елементами верстатного пристрою із вказанням типу контактів і контактних пар з їхніми характеристиками, важливі також коефіцієнти тертя між елементами.

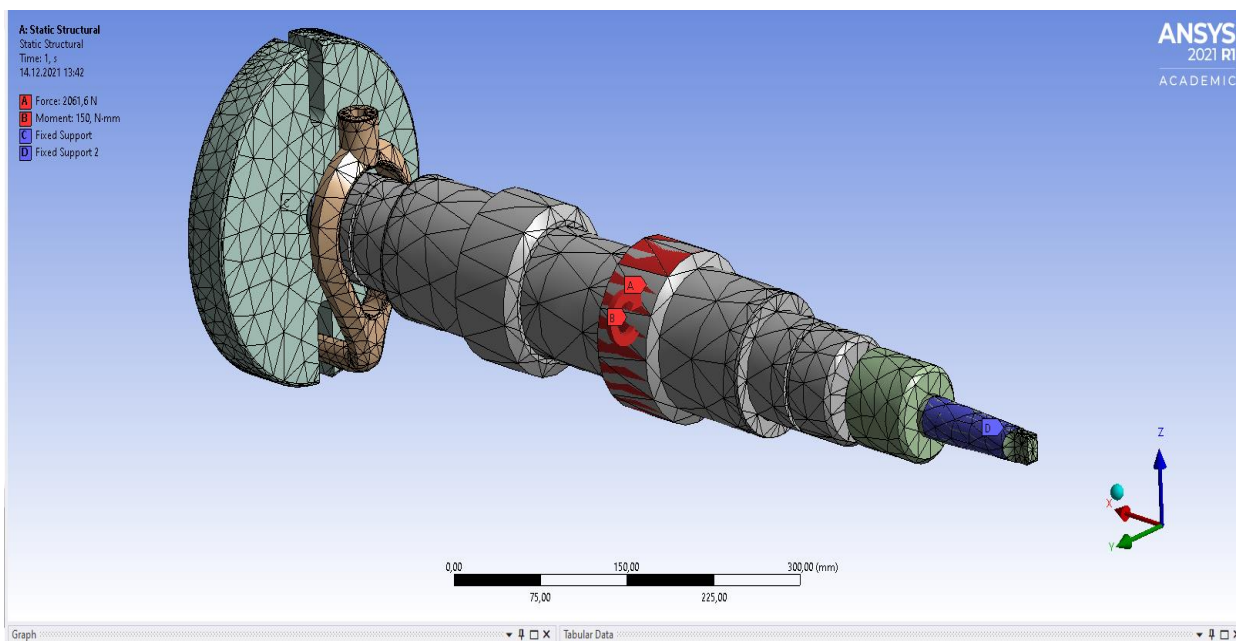


Рисунок 3.3 – Схема навантажень від сил різання та крутного моменту

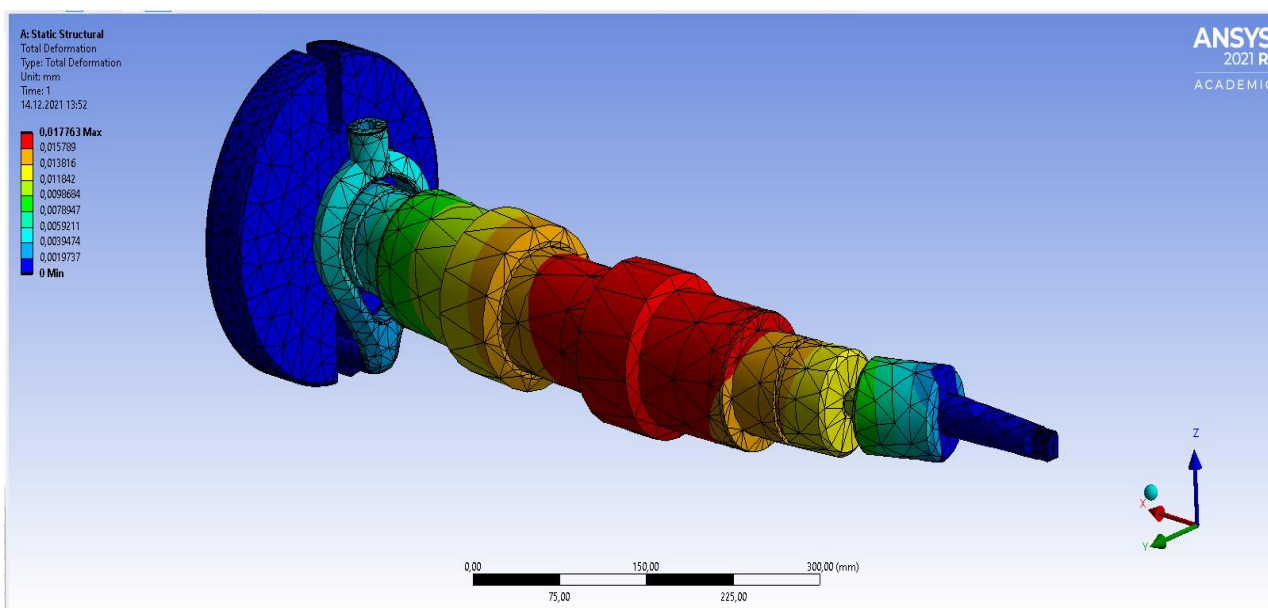


Рисунок 3.4 – Переміщення елементів системи «верстатний пристрій-деталь»

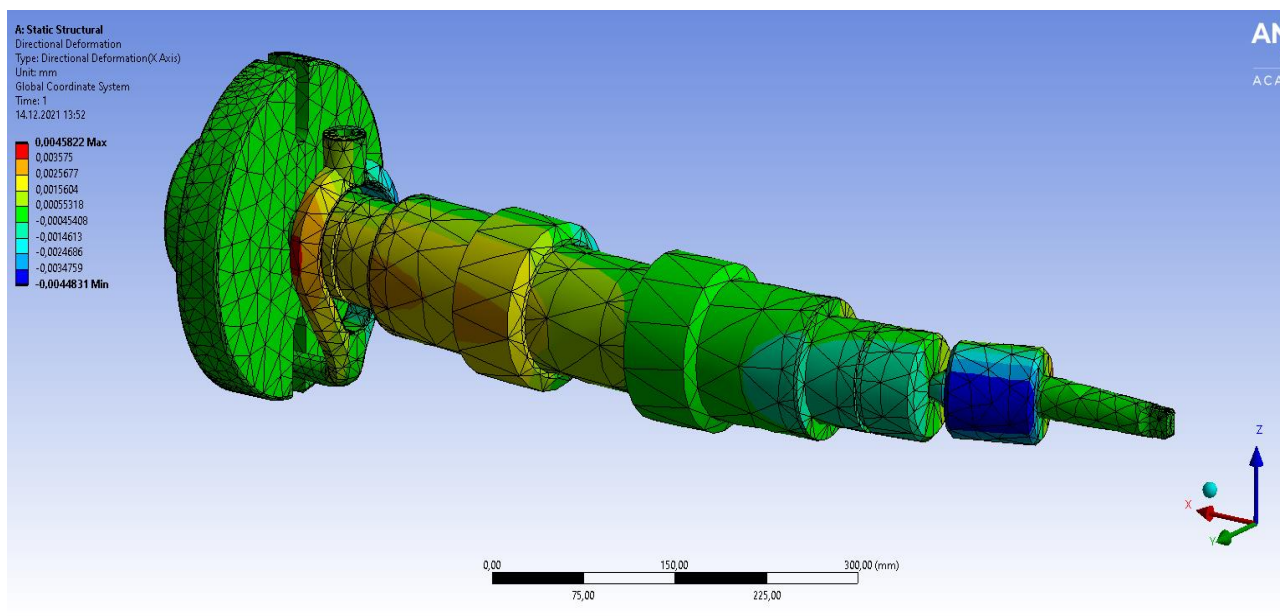


Рисунок 3.5 – Переміщення по осі X елементів системи «верстатний пристрій-деталь»

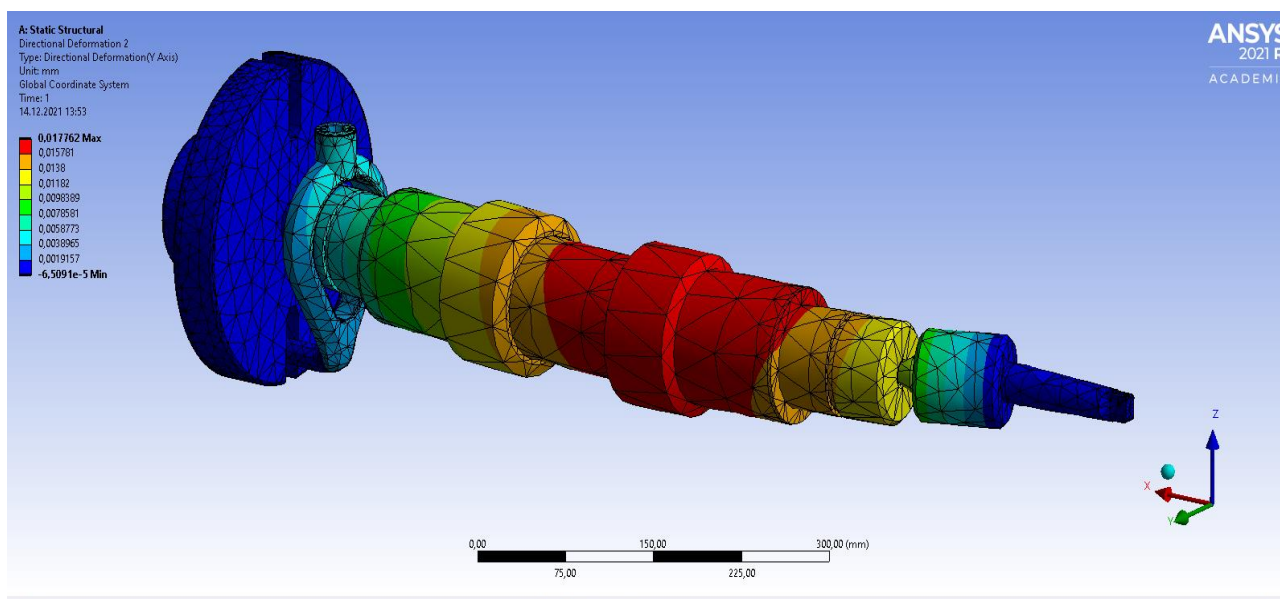


Рисунок 3.6 – Переміщення по осі Y елементів системи «верстатний пристрій-деталь»

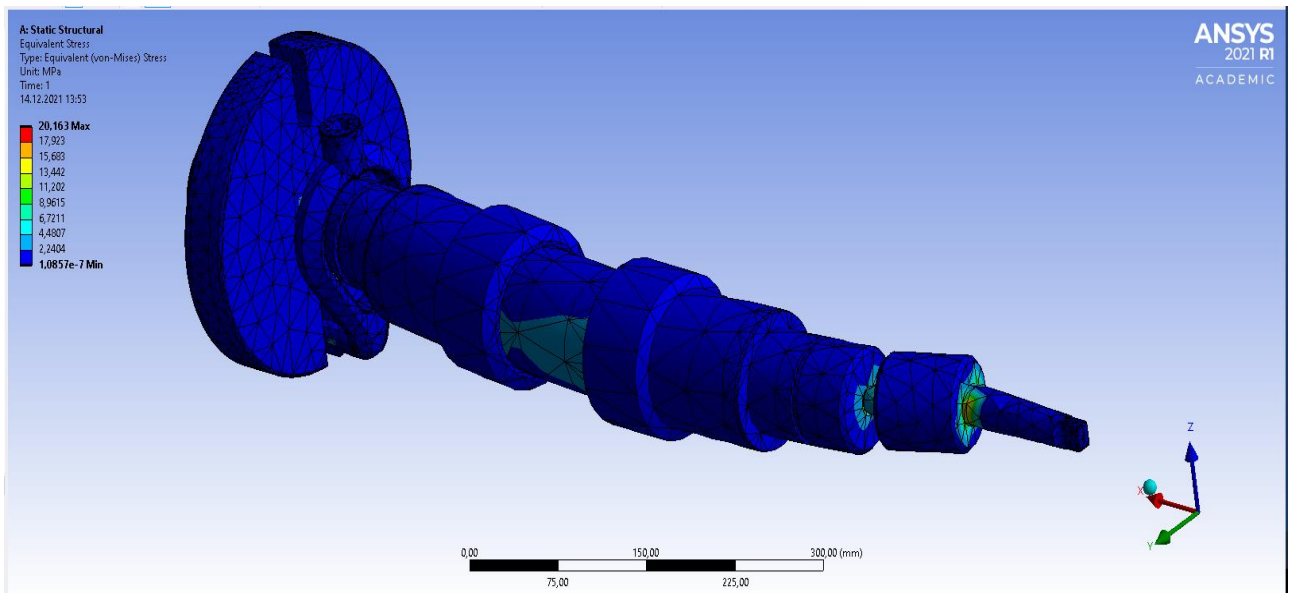


Рисунок 3.7 – Напруження елементів системи «верстатний пристрій-деталь»

Таблиця 3.3 – Результати чисельного моделювання у програмному комплексі ANSYS для розробленого верстатного пристрою

Технологічний перехід	Максимальні переміщення, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
Фрезерування зубців	0,011	0,3	16,5	590
Фрезерування шліців	0,018	0,11	20,2	590

3.3 Модальний аналіз верстатного пристрою

При механічній обробці деталей, можливе виникнення такого явища як резонанс – це сильне зростання амплітуди вимушеного коливання у разі, коли частота зовнішньої сили збігається з власною частотою коливань.

Тобто, треба щоб частота власних коливань верстатного пристрою, не співпадала з частотою процесу різання. Тому треба за допомогою програми ANSYS визначити частоти власних коливань спроектованого верстатного

пристрою, а потім отримані результати порівняти з частотою коливань механічної обробки, і уникнути від виникнення резонансу.

Побудова скінчено-елементної сітки здійснюється в програмному комплексі ANSYS (рис. 3.8) здійснюється в автоматичному режимі. Параметри сітки: мінімальна довжина елемента – 0,53256 мм, загальна кількість скінчених елементів – 64328.

Результати-рисунок з виглядом форм коливань системи «Верстатний пристрій – деталь» показані на рисунках 3.9-3.11.

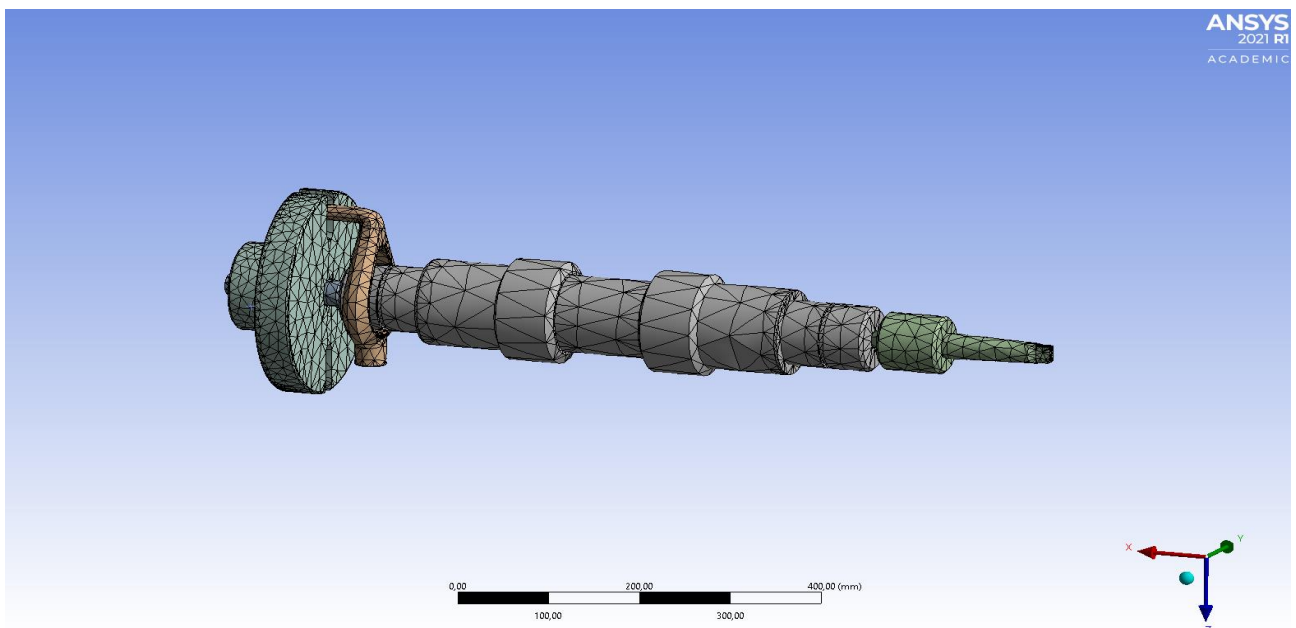


Рисунок 3.8 – Скінчено-елементна сітка досліджуваної деталі та верстатного пристрою

В результаті розрахунку моделі було отримано епюри 3-х перших форм власних коливань досліджуваної конструкції виконання 1 (рисунки 3.9–3.11): частота власних коливань 1-ї форми – 330,29 Гц, 2-ї форми – 342,06 Гц, 3-ї форми – 513,62 Гц.

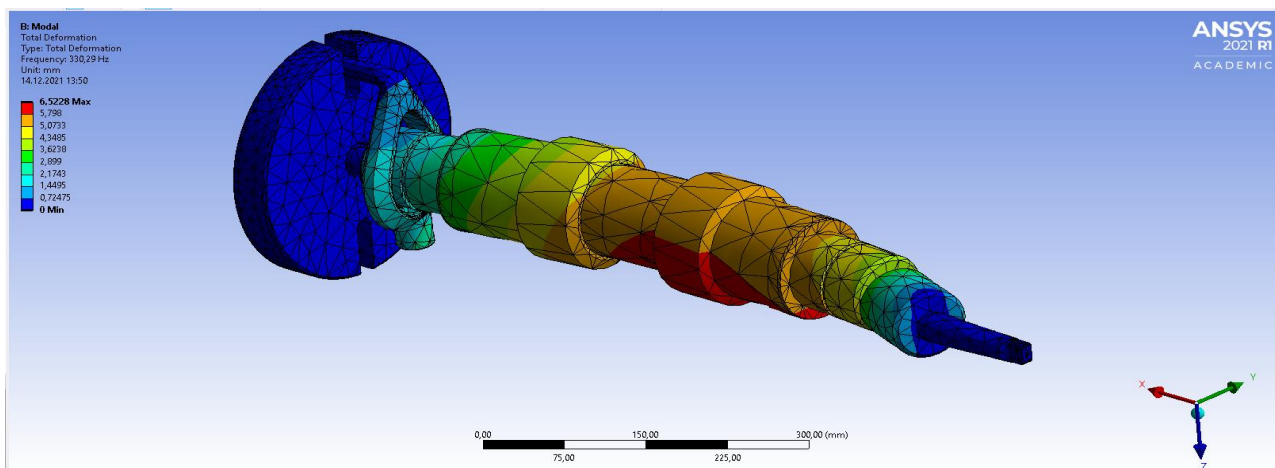


Рисунок 3.9 – Епюра 1-ї форми власних коливань

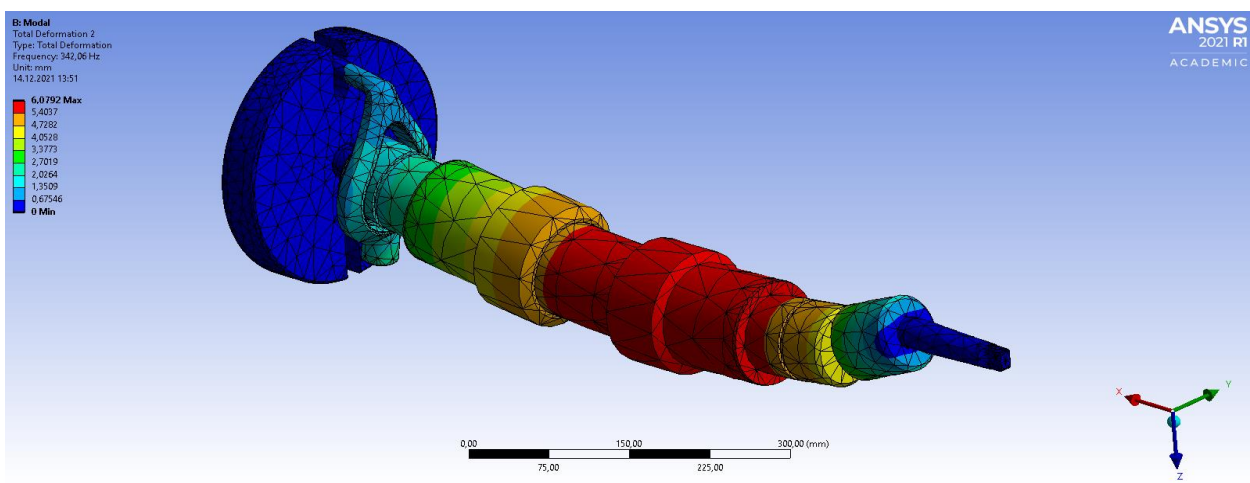


Рисунок 3.10 – Епюра 2-ї форми власних коливань

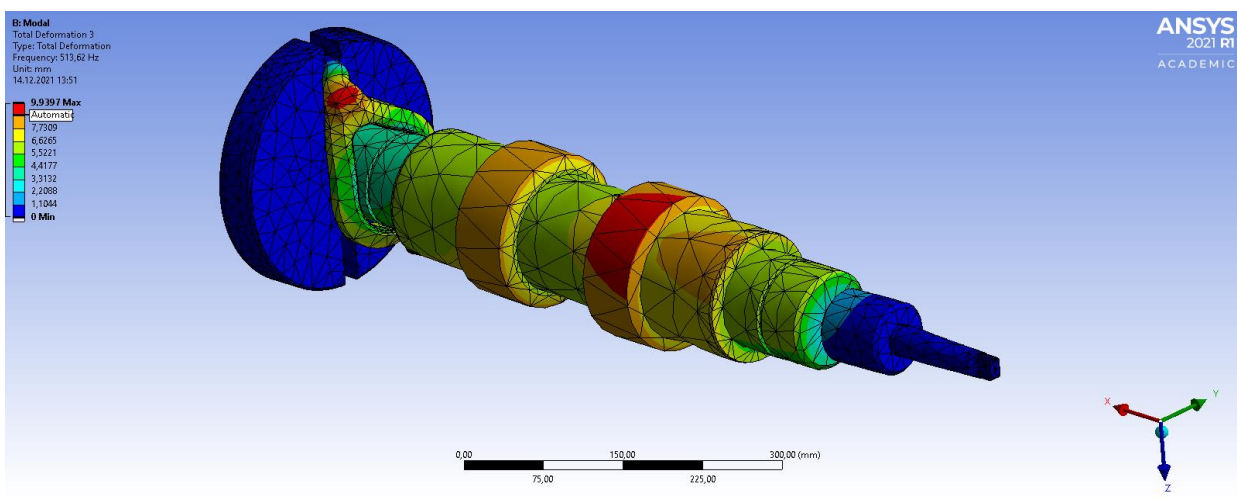


Рисунок 3.11 – Епюра 3-ї форми власних коливань

Аналіз рисунка 3.9 показав, що 1-ша форма коливань досліджуваної конструкції відповідає коливанням верстатного пристрою і деталі під час її встановлення (при фрезеруванні шліцьової поверхні).

Згідно з рисунками 3.10 та 3.11 маємо 2-гу та 3-тю форми власних коливань, яким відповідає коливання пристрою в системі з оброблюваною деталлю у взаємно перпендикулярних напрямках.

Як бачимо, усі три перші частоти власних коливань є досить високими: 1-ї форми – 330,29 Гц, 2-ї форми – 342,06 Гц, 3-ї форми – 513,62 Гц.

За умови виникнення резонансу в першу чергу обертовий центр разом з деталлю збільшить амплітуду своїх коливань, що може негативно вплинути на результати фрезерної операції. Однак, для виникнення резонансу в конструкції ВП необхідно, щоб в безпосередній близькості від місця його розташування було розміщено джерело вимушених коливань з частотою, близькою 300 Гц (18000 хв^{-1}).

Джерелом таких вимушених коливань на механічній дільниці може бути процес різання (оброблення), двигуни приводів верстатів тощо. Аналіз режимів різання згідно з прийнятою технологією виготовлення деталі показав, що під час оброблення заготовки процес різання реалізується зі значно меншими частотами і відповідно обертами шпинделя (від 80 до 300 об/хв). Таким чином, ймовірність виникнення резонансу практично відсутня.

Таблиця 3.4 – Порівняльна таблиця власних частот, котрі виникають у процесі механічної обробки

Перша критична частота, Гц	Друга критична частота, Гц	Третя критична частота, Гц	Частота процесу фрезерування, Гц
330,29	342,06	513,62	3,33

Аналізуючи дані таблиці 3.4 можна зробити висновок, що резонанс не виникне, тому що перша критична частота власних коливань ВП суттєво вища за максимальну частоту процесу різання. В доведення цього висновку, ще одним доказом є те, що числові значення першої та другої критичної частот дуже близькі за значеннями, тому можна сказати, що розрахунок проведений вірно, і спроектована модель є адекватною. Динамічної жорсткості верстатного пристрою вистачить для обробки.

3.4 Висновок

В ході наукового дослідження визначили максимальні величини напружень та переміщень, власні частоти коливань, після отримали показники менші від граничних із суттєвим запасом, то було прийнято рішення залишити обраний режим різання без змін (табл. 3.2). Аналізуючи отримані результати чисельного моделювання, можна зробити висновок, що проводити обробку на обраному режимі можливо із мінімальними переміщеннями, котрі не перевищують допустимих, із дотриманням вимог щодо точності обробки заданих конструктором без виникнення явища резонансу, тобто жорсткості у ВП вистачає, а значить це доводить доцільність компоновки та розмірів у спроектованому верстатному пристрої.

ВИСНОВКИ

Тема дипломного проекту – удосконалення технологічного процесу виготовлення вала-шестерні СНТ 00.00.36 ДВ шляхом модернізації верстатного пристрою для зубофрезерної операції.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступний обсяг робіт.

При аналізі службового призначення були відображені основні технічні характеристики і призначення машини. Для самої деталі був проведений аналіз усіх її поверхонь, а також функцій, виконуваних ними.

При аналізі технічних вимог були описані властивості сталі, а також були проаналізовані всі вимоги, пропонувані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам.

Був визначений тип виробництва – середньосерійний і визначена партія запуску.

В якості заготовки була прийнята штамповка на ГKM, так як це найкращий спосіб при заданому типі виробництва і при великих габаритах деталі.

Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою методу професора В.М. Кована для найбільш точної зовнішньої циліндричної поверхні.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення.

Спроектований спеціальний верстатний пристрій для фрезерно-центрувальної операції. Для операцій токарна з ЧПК, зубофрезерна та фрезерно-центрувальна розроблені карти операційного налагодження.

У розділі «науково-дослідна частина» визначено максимальні величини переміщень та напружень для запропонованої конструкції ВП, та встановлено можливість застосування розрахованого режиму різання без ризику руйнування конструкції. Виконаний модальний аналіз конструкції ВП та визначені критичні

частоти коливань, які порівняні із частотою процесу обробки та встановлено, що при даних режимах обробки резонанс не виникне.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни «Теоретичні основи технології виробництва та складання машин» і «Технологія машинобудування» за напрямком підготовки 6.0902 «Інженерна механіка» зі спеціальностей: 7.0902202 «Технологія машинобудування», 7.090203 «Металорізальні верстати», 7.090204 «Інструментальне виробництво для студентів денної та заочної форм навчання. Укладачі: Захаркін О. У., Євтухов В. Г., 2000

2. Горбацевич А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая шк., 1983. – 256 с.

3. Методичні вказівки до виконання розділу «Аналіз службового призначення виробів та технічних вимог до них» в обов'язковому домашньому завданні, випускній роботі бакалавра, курсовому проекті зі спеціальності та дипломному проекті для студентів спеціальностей: 7.090202, 6.090202, 6.090203, 6.090204, 6.090209, 6.090220, 6.090515, 6.090520 усіх форм навчання / укладачі: О.О. Топоров, О. У. Захаркін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2000. – 30 с.

4. «Затвор зворотний $D_N 700 P_N 100$. Паспорт».

5. Марочник сталей и сплавов /В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.: под ред. В.Г. Сорокина - М.: Машиностроение, 1989 - 640 с.

6. Добрыднёв И.С. Курсовое проектирование по предмету «Технология машиностроения»: Учебн. пособие для техникумов по специальности «Обработка металлов резанием». - М.: Машиностроение, 1985. 184 с., ил.

7. ГОСТ 7505 «Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски».

8. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. 656 с., ил.

9. Справочник технолога - машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. 496 с., ил.

10. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, часть 1, Нормативы режимов резания, М.: Экономика, 1990. 421 с.

11. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов. Справочник. Изд. 3-е, пререраб. и доп. М.: Машиностроение. 1972. - 408 с., ил.

12. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, часть 1, Нормативы времени, М: Экономика. 1991. - 421 с.

13. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1 / В. И. Анурьев ; Под ред. И. Н. Жестковой. 9-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2006. – 928 с.

14. Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка”/Укладач П.В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – Ч.1. – 52с.

15. Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора: Справочник-Л.: Машиностроение, Ленингр. отд - ние, 1983.- 464 с.

16. Маталин А. А. Технология машиностроения / А. А. Маталин. – Ленинград: Машиностроение, 1985. – 496 с.

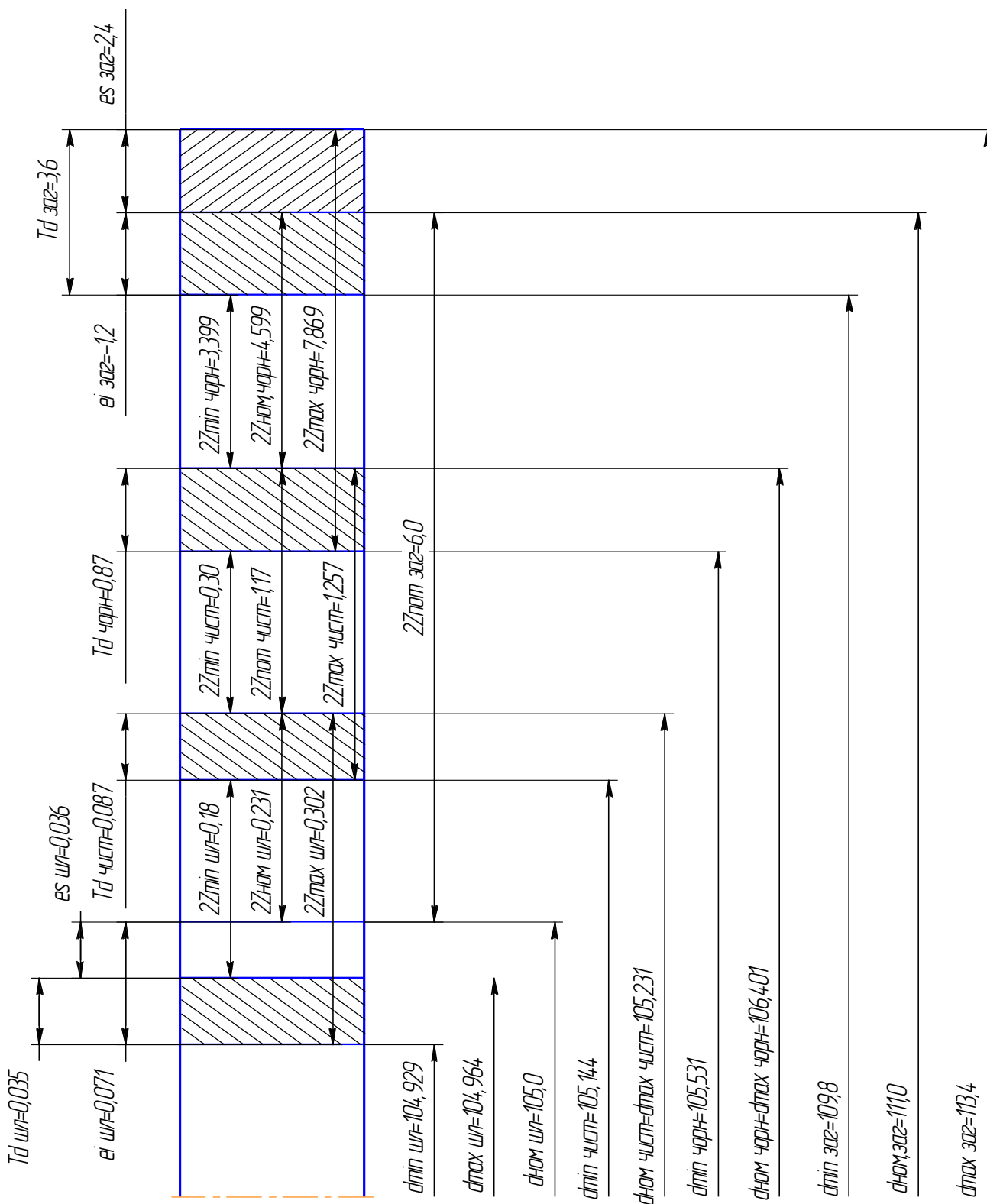
17. ГОСТ 2.109 ЕСКД. Основные требования к чертежам.

18. ГОСТ 2.305-2008 ЕСКД. Изображения – виды, разрезы, сечения.

19. ГОСТ 2.307 ЕСКД. Нанесение размеров и предельных отклонений.

20. ГОСТ 7505 «Поковки сталні штаповані. Допуски, припуски і ковальські напуски».

ДОДАТОК Б
СХЕМА РОЗТАШУВАННЯ ПРИПУСКІВ І ДОПУСКІВ
НА РОЗМІР $\varnothing 105f7(-0,036;-0,071)$



ДОДАТОК В
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ
(ОПЕРАЦІЯ 030 ФРЕЗЕРНО-ЦЕНТРОВАЛЬНА)

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A1			ТМ 18510228-07-00.00 СК	Складальне креслення		
<i>Деталі</i>						
БК	1		ТМ 18510228-07-00.01	Втулка	2	
БК	2		ТМ 18510228-07-00.02	Гайка	2	
БК	3		ТМ 18510228-07-00.03	Гвинт	2	
БК	4		ТМ 18510228-07-00.04	Диск сталевий	4	
БК	5		ТМ 18510228-07-00.05	Діафрагма	2	
БК	6		ТМ 18510228-07-00.06	Кільце	2	
БК	7		ТМ 18510228-07-00.07	Кільце	2	
БК	8		ТМ 18510228-07-00.08	Корпус	2	
БК	9		ТМ 18510228-07-00.09	Плита	2	
БК	10		ТМ 18510228-07-00.10	Призма опорна	2	
БК	11		ТМ 18510228-07-00.11	Прихват	2	
БК	12		ТМ 18510228-07-00.12	Підкладка	2	
БК	13		ТМ 18510228-07-00.13	Пружина	2	
БК	14		ТМ 18510228-07-00.14	Стійка	2	
БК	15		ТМ 18510228-07-00.15	Шток	2	
<i>Стандартні вироби</i>						
		16		Гвинт М8х30.88		
				ГОСТ 11738	2	
		17		Гвинт М8х65.88		
				ГОСТ 11738	14	
ТМ 20510176-07-00.00 СК						
Ізм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лит.	Лист
Разраб.		Лазарев М.С.				1
Проб.		Нешта А.О.				2
Н.контр.		Івченко О.В.			СумДУ, ТМ.М-01	
Чтв.		Іванов В.О.				
Пристрій для				фрезерно-центровальної операції		
Копіював				Формат А4		

ДОДАТОК Г
СПЕЦИФІКАЦІЯ НА КВП

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A1			ТМ 20510176-08-00.00 СК	Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1	ТМ 20510176-08-00.01	Бабка задня	1	
		2	ТМ 20510176-08-00.02	Бабка передня	1	
				Деталі		
		3	ТМ 20510176-08-00.03	Гвинт	1	
		4	ТМ 20510176-08-00.04	Плита	1	
		5	ТМ 20510176-08-00.05	Пружина	4	
		6	ТМ 20510176-08-00.06	Стійка індикаторна	4	
		7	ТМ 20510176-08-00.07	Штифт	8	
				Стандартні вироби		
		8		Гайка М20 ГОСТ 5915	4	
		9		Гвинт А.М8-6дх30 ГОСТ 11644	4	
		10		Гвинт А.М12-6дх30 ГОСТ 1491	4	
		11		Індикатор TESA YR 01410410	4	
		12		Рим-болт М10 ГОСТ 4751	2	
		13		Шайба 20 ГОСТ 22355	4	
		14		Штифт 6h8x40 ГОСТ 3128	4	
		15		Штифт 10h8x40 ГОСТ 3128	4	
ТМ 20510176-08-00.00 СК						
	Изм. / Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разрад.	Лазарєв М.С.			Лит.	Лист
	Пров.	Нешта А.О.				1
	Н.контр.	Івченко О.В.			Листов	1
	Утв.	Іванов В.О.			СумДУ, Т.М-01	
Контрольно-вимірювальний пристрій						

Копіювал

Формат А4