

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення задньої

осі ОВ1000.02-001 шляхом інтенсифікації обробки поверхонь

низької шорсткості

Здобувача групи ТМ.м-31

(шифр групи)

Фесенка Євгенія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Євгеній ФЕСЕНКО

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

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

(підпис)

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

Інститут, факультет	факультет технічних систем і енергоефективних технологій
Кафедра	технології машинобудування, верстатів та інструментів
Освітньо-науковий рівень	другий (магістерський) (назва)
Спеціальність	131 – прикладна механіка (шифр і назва)
Освітня програма	технології машинобудування (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

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

**Фесенко Євгеній Олегович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу

виготовлення задньої осі ОВ1000.02-001 шляхом інтенсифікації обробки поверхонь низької шорсткості»

керівник проекту Дегтярьов Іван Михайлович канд. техн. наук, доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «12» листопада 2024 року за №1176-VI

2. Строк подання студентом роботи (проекту) «15» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (проекту)

Креслення деталі «Задня ось ОВ1000.02-001».

Типовий технологічний процес виготовлення деталі задня ось.

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

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

3. Виконати огляд проблем, що виникають при процесі поверхнево-пластичного деформування та запропонувати шляхи до їх вирішення.

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

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Фалько В. В., ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

6. Дата видачі завдання «25» вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Аналіз первинної інформації про деталь	01.10.2024	
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	15.10.2024	
3	Виконати огляд проблем, що виникають при процесі поверхнево-пластичного деформування та запропонувати шляхи до їх вирішення.	01.11.2024	
4	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	01.12.2024	
5	Формулювання загальних висновків	05.12.2024	
6	Підготовка доповіді	10.12.2024	
7	Підготовка презентації	10.12.2024	
8	Оформлення роботи	12.12.2024	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Євгеній ФЕСЕНКО**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи (проєкту)**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Іван ДЕГТЯРЬОВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 110 сторінках, включає 33 рисунки, 19 таблиць, бібліографії із 35 джерел.

Питання підвищення точності, якості оброблення і продуктивності завжди залишаються актуальними для машинобудування. Удосконалення розрахунків на міцність, призводить до все більшого випуску високоточних деталей недостатню твердість, одним із видів яких є осі з відношенням довжини до діаметра понад 10, отже процес поверхнево-пластичного деформування являє собою актуальну наукову і практичну завдання.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення задньої осі OB1000.02-001 шляхом інтенсифікації обробки поверхонь низької шорсткості.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі ось.

**Предмет дослідження** – операція накатування деталі ось.

**Методи дослідження.** Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. У для реалізації завдань графічної частини кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище AutoCAD Inventor, а для моделювання дослідження при накатуванні накатними роликami пакет ANSYS Workbench.

**Наукова новизна:** полягає у тому, що на основі досліджень напружено-деформованого стану, модального аналізу, а також запропонованої конструкції подвійного накатника для поверхонь осі визначено максимальні величини переміщень та напружень які виникають при накатуванні, а також частоти власних коливань яких треба уникати при обробленні.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ОСЬ, НАКАТУВАННЯ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ, РЕЖИМ РІЗАННЯ

## ABSTRACT

The explanatory note is 110 pages long and includes 33 figures, 19 tables, and a bibliography of 35 sources. The issue of increasing accuracy, processing quality, and productivity always remains relevant for mechanical engineering. The improvement of strength calculations leads to the increasing production of high-precision parts with insufficient hardness, one type of which are shafts with a length-to-diameter ratio of more than 10. Therefore, the process of surface plastic deformation is an urgent scientific and practical task.

The purpose of the study<sup>1</sup> is to improve the technological process of manufacturing the rear axle OB1000.02-001 by intensifying the processing of low-roughness surfaces.

The object of the study is the technological process of manufacturing the shaft part. The subject of the study is the rolling operation of the shaft part.

Research methods. The work was carried out using modern provisions of mechanical engineering technology and the design of advanced technological processes using CNC machines, cutting tools with replaceable indexable inserts, as well as progressive technological equipment. To implement the tasks of the graphic part of the qualification work, the AutoCAD Inventor software environment was used, and for modeling the research during rolling with rollers, the ANSYS Workbench package was used.

Scientific novelty: lies in the fact that based on the studies of the stress-strain state, modal analysis, and the proposed design of a double roller for shaft surfaces, the maximum values of displacements and stresses that occur during rolling were determined, as well as the natural frequencies that should be avoided during processing.

TECHNOLOGICAL PROCESS, SHAFT, ROLLING, MACHINE TOOL, CUTTING MODE

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі .....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації .....	7
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....	13
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва.....	17
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	18
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	19
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	21
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	22
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального .....	22
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки .....	25
2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення .....	29
2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	34
2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	39
2.6 Розрахунок режимів різання .....	40
2.7 Проектування засобів технологічного оснащення .....	46
Розділ 3 Наукове дослідження.....	65
3.1 Теоретичні відомості про поверхнево-пластичне деформування.....	65
3.2 Розробка конструкції прогресивного пристрою для поверхнево-пластичного деформування .....	72
3.3 Модальний аналіз верстатного пристрою .....	76
3.4 Висновок .....	81
Висновки .....	82
Список джерел посилань .....	84

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному машинобудуванні важливе значення надається розробці та впровадженню інноваційної техніки в різних сферах, що сприяє прискоренню науково-технічного розвитку країни. Перехід України до ринкової економіки зумовив значне зростання попиту на якісну, надійну та конкурентоспроможну продукцію, яку виробляє машинобудування та інші промислові галузі. Для досягнення високої якості продукції на підприємствах впроваджуються сучасні технології та прогресивне високопродуктивне обладнання.

У сучасних умовах, коли виробничі комплекси механічного оброблення постійно вдосконалюються, особливого значення набувають верстати з ЧПК. Вони забезпечують низку переваг порівняно з універсальним обладнанням:

- підвищення продуктивності в 1,5–5 разів у порівнянні з аналогами, які працюють із ручним керуванням.
- поєднання гнучкості універсального обладнання із точністю та ефективністю автоматизованих систем, що сприяє комплексній автоматизації серійного й одиничного виробництва.
- оснащення машинобудівних підприємств сучасними засобами електроніки та обчислювальної техніки.
- зменшення потреби у висококваліфікованих робітниках, адже підготовка до виробництва переноситься в інженерну сферу.
- скорочення часу на пригоночні роботи, оскільки деталі, виготовлені за однією програмою, є взаємозамінними.
- зменшення термінів переходу до виготовлення нових деталей завдяки централізованому запису програм і використанню універсальної технологічної оснастки.
- зниження тривалості виробничого циклу та зменшення обсягів незавершеного виробництва.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення задньої осі OB1000.02-001 шляхом інтенсифікації обробки поверхонь низької шорсткості.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі ось.

**Предмет дослідження** – операція накатування деталі ось.

**Методи дослідження.** Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. У для реалізації завдань графічної частини кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище AutoCAD Inventor, а для моделювання дослідження при накатуванні накатними роликами пакет ANSYS Workbench.

**Наукова новизна:** полягає у тому, що на основі досліджень напружено-деформованого стану, модального аналізу, а також запропонованої конструкції подвійного накатника для поверхонь осі визначено максимальні величини переміщень та напружень які виникають при накатуванні, а також частоти власних коливань яких треба уникати при обробленні.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Немає.

**Публікації.** Немає.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 110 сторінок, у тому числі 33 рисунка, 9 таблиць, бібліографії із 28 джерел на трьох сторінках.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Деталь «Задня ось» (100.10.114-05) є складовою частиною вузла «Колісна пара». Колісна пара – це ключовий елемент ходової системи залізничного транспорту, який забезпечує взаємодію рухомого складу з рейками. Колеса виконують функцію передачі вертикальних статичних навантажень (вага) та динамічних впливів на рейки. Колеса локомотивів, контактуючи з рейками, забезпечують виникнення поздовжніх горизонтальних сил, які формують тягу та гальмування. Крім того, колеса, направляючи рух складу в межах колії, передають горизонтальні напрямні сили. (Сили, які впливають на ходову частину локомотива, будуть детально розглянуті далі).

Головною особливістю ходових частин залізничного транспорту, що відрізняє їх від іншого наземного колісного транспорту, є жорстке з'єднання коліс з віссю. Усі елементи утворюють один вузол, який функціонує як єдине ціле й називається колісною парою.

Колісні пари, що складаються з осі та двох коліс, можуть мати різне розташування букс і підшипників, які передають вертикальні навантаження на вісь (рисунок 1.1 а). Вони можуть бути розміщені або на зовнішніх кінцях осі, званих шийками, і підтримуватися зовні коліс, або між колесами, де опорні шийки знаходяться всередині осі.

Перша схема полегшує обслуговування підшипників під час експлуатації, тому вона широко застосовується в багатьох типах рухомого складу, включно з тепловозами. Друга схема, яка менш зручна для обслуговування букс, використовується на паровозах, де зовнішня поверхня коліс оснащена елементами приводного механізму.

Колісні пари локомотивів мають тяговий привід, на відміну від вагонних. Їх осі виконують роль валів, які передають крутний момент на колеса через зубчасту

передачу (рисунок 1.1 б). Зубчасті колеса можуть забезпечувати симетричний двосторонній привід, характерний для електровозів. У тепловозах через складність розташування потужних тягових електродвигунів використовується бічний односторонній привід. У тепловозах із гідروпередачею та карданним приводом зубчасте колесо встановлюється ближче до середини осі (центральный привід).

Конструкція і технічний стан колісних пар значною мірою впливають на плавність руху тепловоза, рівномірність тягової сили, що реалізується, і опір під час руху. Ці фактори також визначають рівень безпеки руху. Типи, розміри та технічні вимоги до колісних пар регламентуються стандартами.

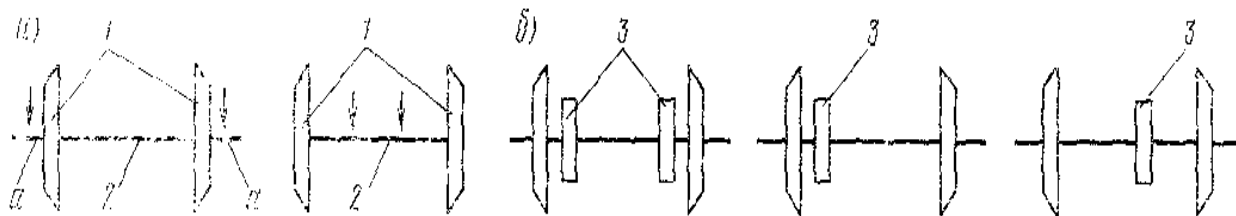


Рисунок 1.1 – Види колісних пар

Букси – це елементи ходової частини, які забезпечують зв'язок обертової осі колісної пари з рамою візка. Вони призначені для передачі вертикальних навантажень  $P$  (ваги візка чи локомотива) через підшипники (рисунок 1.3) на осі колісної пари. Крім того, букси передають поздовжні горизонтальні сили – тягові  $F$  або гальмівні  $B$  – від шийок осей до рами рухомого складу.

Також букси виконують функцію передачі бокових сил  $U$ , які виникають при русі по кривих ділянках колії. Для цього вони використовують, зокрема, упори (позначені як 1). Буксовий вузол – це комплекс деталей, що включає корпус букси з кришкою, підшипники, упори та ущільнювальні елементи.

Для аналізу розглянемо колісну пару 30.10.002 СБ (рис. 1.2).

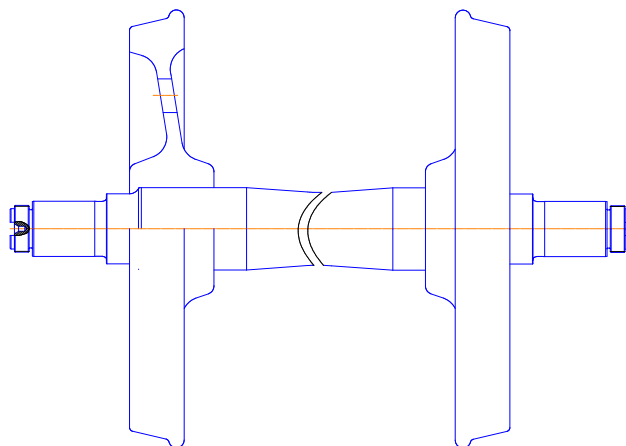


Рисунок 1.2 – «Колісна пара 30.10.002СБ»

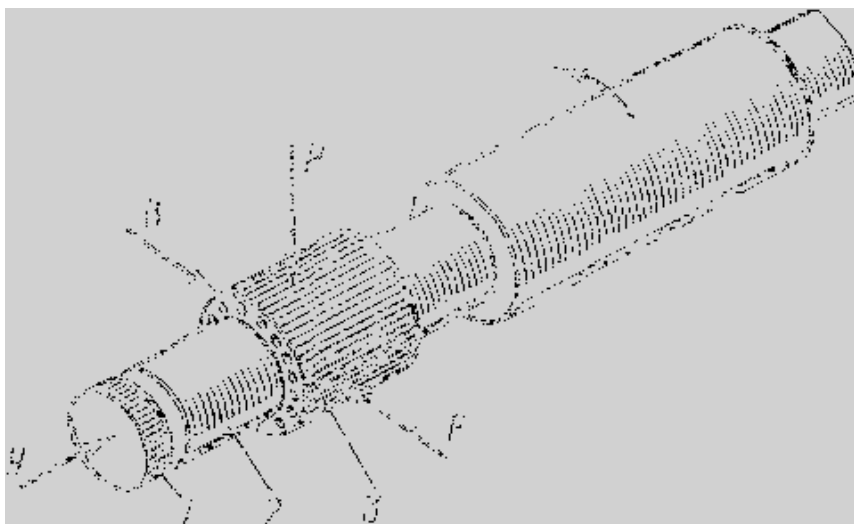


Рисунок 1.3 – Сили, що діють на шийку осі і підшипників

Основним елементом букс є підшипники, які забезпечують обертання шийок осей. Підшипники поділяються на два типи: ковзання і кочення. Підшипники ковзання характеризуються простотою конструкції, але потребують ретельного догляду під час експлуатації. Вони вимагають регулярного контролю за станом мастила та підбиття, але створюють більший опір руху. Подібні підшипники використовувалися лише в перших серійних повоєнних вітчизняних тепловозах моделей ТЕ1 і ТЕ2.

Сучасні тепловози оснащені буксами з роликівими підшипниками кочення. Вони відзначаються вищою надійністю, не потребують постійного догляду та забезпечують зменшений опір руху.

Вертикальне навантаження на букси, як правило, передається через пружні елементи, такі як пружини (3), які можуть використовуватися з балансирами (4) або без них (рис. 1.4). З'єднання букс із рамою локомотива або візка може здійснюватися різними способами. Найпоширенішим є варіант, коли корпус букси із вертикальними пазами встановлюється у вертикальні напрямні (кронштейни) рами (рис. 1.4, а).

При цьому сила тертя між корпусом букси та напрямними ускладнює її вертикальні переміщення, наприклад, під час проходження нерівностей на колії, що знижує плавність руху локомотива. У зв'язку з цим у сучасних тепловозах дедалі частіше використовуються повідкові букси, які не мають щелеп. Вони з'єднуються з рамою за допомогою шарнірних повідків (6) (рис. 1.4, б), що дозволяє їм рухатися не лише вертикально, а й здійснювати невеликі повороти навколо своєї осі завдяки пружності шарнірів.

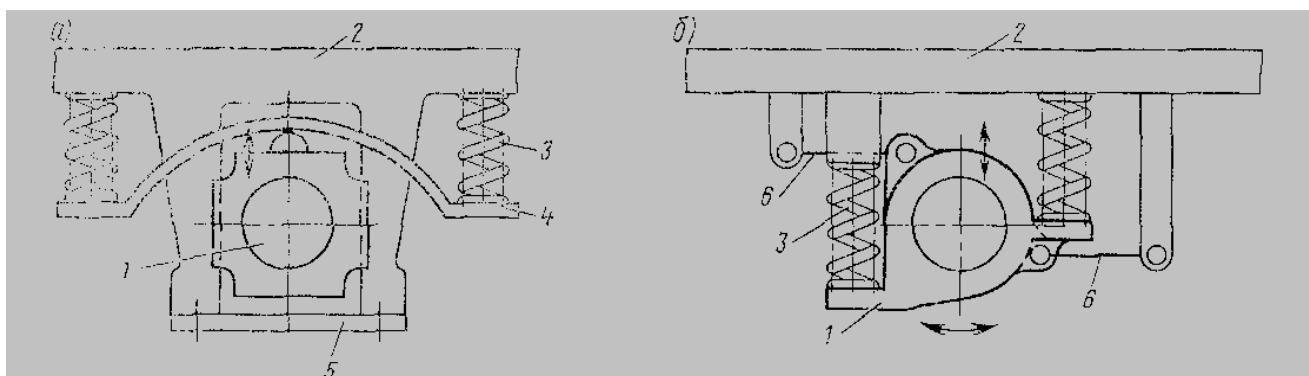


Рисунок 1.4 – Схема зєднань букс с рамою

Деталь «Задня ось ОВ1000.02-001» є основною в складальному вузлі «Колі-сна пара».

Аналіз службового призначення поверхонь деталі проводимо згідно складального креслення. На деталі «Задня ось» можна виділити такі поверхні (рис. 1.5):

- основні конструкторські – 4, 12;
- допоміжні конструкторські – 1, 2, 6, 10, 13, 14, 15, 16, 17;
- виконавчі – 4, 12, 6, 10;
- вільні поверхні – інші поверхні (служать для створення конфігурації, по-силення (жорсткості) конструкції деталі).

Розглядаючи вісь в складальному вузлі можна зробити висновок, що вона позбувається п'яти ступенів свободи (подвійна спрямовуюча і опорна бази), вакантними залишаються одна зв'язок: обертання уздовж осі деталі (вісь X). Матриці зв'язків і відповідностей наведені у вигляді таблиць 1.1 і 1.2.

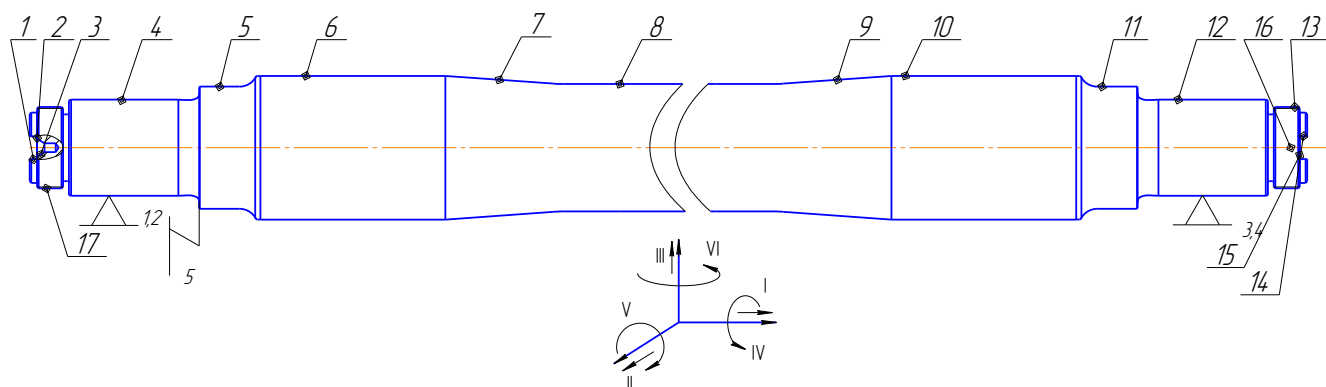


Рисунок 1.5 – Поверхні деталі «Задня ось ОВ1000.02-001»

Розглянемо службове призначення кожної поверхні деталі, а також технічні вимоги, що пред'являються до них:

1, 14 – бокова поверхня торцевої лиски, визначається розміром 31 (+0,34), шорсткістю  $R_a = 12,5$  мкм. Дана поверхня є базою для стопорної планки (планка фіксує гайку);

2, 15 – дно торцевої лиски, визначається розміром 8 (+0,5) мм і шорсткістю 12,5 мкм по тому ж критерію. Дана поверхня є так само базуючою для стопорної планки;

3, 16 – центрові отвори, виконують роль чистових баз, їх отримують на першій механічній операції (горизонтально-розточній) і в подальшому забезпечують принцип сталості баз при чорновому і чистовому точінні, накатці, шліфування. Виконуються по 14 квалітету, але з шорсткістю конусної (базуючої) поверхні  $R_a = 1,6$  мкм;

4, 12 – циліндрична поверхня  $\varnothing 130$  мм, шорсткістю  $R_a = 1,25$  мм. Дана поверхня служить для розміщення (напресовування, натяг в межах  $0,1 \div 0,15$  мм) на ній буксових підшипників;

5, 11 – циліндрична поверхня  $\varnothing 165 (-1,0)$  мм, шорсткістю  $Ra = 2,5$  мм. Між зовнішніми шийками і частинами знаходиться проміжна (розглянута) частина, що забезпечує поступовий перехід від діаметра шийки ( $\varnothing 130$ ) до діаметру подступичної частини ( $\varnothing 194$ ), отже дана ступінь зводить до мінімуму концентрацію напружень;

6, 10 – циліндрична поверхня  $\varnothing 194$  мм, шорсткістю  $Ra = 1,25$  мм. Дана поверхня служить для розміщення (напресовування, натяг в межах  $0,18 \div 0,3$  мм) на ній коліс, у колісної пари дотримується відстань між внутрішніми гранями бандажів – 1440 мм (дана вимога забезпечується при холодній або гарячій посадці коліс на вісь). Для уникнення корозії між віссю і колесами перед напресовкою вісь змащують тонким шаром (до 0,02 мм) лаком або клеєм;

7, 9 – галтелі, під даними поверхнями розглянемо всі галтелі «Задня ось». Під час експлуатації осі піддаються змінним навантаженням, через що матеріал працює в умовах втоми. Це вимагає особливої уваги до плавних переходів (галтелів) між ділянками різного діаметра, щоб уникнути концентрації напружень, які можуть стати причиною утворення втомних тріщин.

Для підвищення міцності поверхонь осей застосовують метод накатки, який виконується за допомогою сталевих загартованих роликів. При натисканні роликом на поверхню осі відбувається її зміцнення, що значно підвищує стійкість до втоми.

8 – циліндрична поверхня  $\varnothing 172 (+3)$  мм, шорсткістю  $Ra = 2,5$  мм. Дана поверхня є вільна і не виконує ніяких функцій, крім зв'язку «посадкових частин» під колеса і букси;

13, 16 – різь  $M100 \times 4 - 6h$ , з шорсткістю витків  $Ra = 2,5$  мкм. Дана поверхня служить для накручування стопорної гайки, яка в свою чергу виконує роль стяжки буксових підшипників.

Всі нерозглянуті поверхні є сполучними, і відповідно технічним вимогам на деталь допуски на дану категорію розмірів призначаються по 14 квалітету точності. Деталь «Задня ось» має круглий поперечний переріз з різними діаметрами по довжині в залежності від призначення її частин, важко навантажена, при роботі на неї діють знакозмінні навантаження.

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

Деталь «Задня ось» ОВ1000.02-001 є елементом типу валів, оскільки має співвідношення довжини до діаметра  $l/d > 1$  ( $2540/120 > 10$ ). Вона має високу жорсткість завдяки значній товщині стінок у зонах закріплення, що запобігає її деформації під впливом сил фіксації (наприклад, при використанні в трикулачкових патронах). Така жорсткість дозволяє застосовувати більш агресивні режими обробки на чорнових етапах.

Матеріалом для виготовлення деталі є легована сталь марки ОсВ, що містить 0,4% вуглецю, 1% хрома та решту — залізо. Для заміни можуть використовуватися сталі 45, 50 або 50Г2, фізико-механічні властивості яких представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Фізико-механічні властивості сталі ОсВ ГОСТ 4728-79

Матеріал	$\sigma_b$ , МПа	$\Psi$ , %	Твердість НВ	Хімічний склад, %					
				C	Si	Mn	Cr	S	P
ОсВ	600	40	163-168	0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,5- 0,8	0,8- 1,1	Дуже мала доля	
Сталь45	610	35	170-179	0,42- 0,50	0,17- 0,37	0,5- 0,8	<0,25		
Сталь50	605	35	196-202	0,47- 0,55	0,17- 0,37	0,5- 0,8	<0,25		
Сталь50Г2	585	25	167-207	0,46- 0,55	0,17- 0,37	1,4- 1,8	<0,25		

Вибір матеріалу для деталі був здійснений конструкторами не випадково, а з урахуванням вимог до її міцності та безвідмовної роботи протягом визначеного періоду. Сталь ОсВ є відмінним варіантом для таких умов, оскільки, хоча вона дорожча за сталь 45, її застосування критично необхідне для забезпечення стабільної та надійної роботи всієї колісної пари.

Аналіз технічних вимог до деталі «Ось», які були запропоновані конструктором:

- *Розмір забезпечується інструментом.* Ця вимога визначає отримання галтелів та інших дрібних елементів через геометрію ріжучого інструменту.
- *Розмір для довідок.* Це означає отримання точних розмірів, необхідних для складання, зазвичай для лінійних розмірів.
- Накатка осі повинна здійснюватися згідно з ГОСТ 30237-96. Вона повинна забезпечити підвищення поверхневої твердості на 22% мінімум, з поступовим зниженням твердості до початкового рівня при глибині наклепаного шару не менше 0,02-0,04 мм. Визначені вимоги до наклепаного шару включають:

1. Відсутність наклепаного шару на шиях і предподступочних частинах на довжині не більше 8 мм від торців, з подальшим поступовим збільшенням до необхідних параметрів на довжині 12÷14 мм.
2. На галтелях шийок наклепаний шар не повинен бути присутній на довжині до 3 мм від торця предподступочних частин, з подальшим поступовим збільшенням.
3. Зменшення глибини наклепаного шару на конусах подступочних частин.
4. Після накладки допускається шліфування поверхні шийок і предподступочних частин. Шліфувальний припуск не має перевищувати 0,4 мм на одну сторону.

Ця вимога визначає технологічні параметри для накатки, зокрема допустимі розміри незагартованих поверхонь, глибину наклепаного шару та припуски для подальшого шліфування. Дотримання цих норм дозволяє досягти необхідних показників твердості, міцності, зносостійкості та корозійної стійкості деталі, що забезпечує її довговічність у процесі експлуатації.

Допускаються наступні відхилення:

— Зсув отвору  $D$  щодо осі паза, що допускається на рівні позиційного допуску до 0,2 мм.



— Викошування або пошкодження різьби в отворах не більше ніж на одному витку у кожному отворі. Це впливає на якість різьблення, яке відіграє важливу роль в кріпленні.

— Напливи металу на торцях різьбової частини осі з боку шийки (до 0,4 мм) і з боку паза (до 1 мм), при забезпеченні необхідних розмірів Е і Ж у площині наплавів.

— Виступ з боку шийки в різьбовій канавці висотою до 0,7 мм і шириною не більше 2 мм, що не виходить за межі допустимих розмірів.

— Потовщення на середній частині осі після накатки не повинні перевищувати 1,0 мм в місцях перекриття роликів, що важливо для точності рухомого з'єднання.

— Напливи металу на торці підступічної частини осі до 0,4 мм і шириною до 2 мм.

— Світлові відблиски на поверхнях осі після шліфування, зберігаючи при цьому правильну твердість і параметри шорсткості.

— Зачистка наждачним папером або абразивними сегментами місць переходу між конусами підступічної частини на довжині до 16 мм, при дотриманні шорсткості.

— Зачистка поверхні підступічних частин осі з допустимими світловими відблисками глибиною до 0,007 мм від транспортування осі на автоматичній лінії.

— Не допускається повторна накатка місць після зачистки поздовжніх та звивистих рисок, з необхідною шорсткістю після слюсарної обробки.

— На торці осі в пазі має бути маркувальний керн глибиною від 0,5 до 1 мм і діаметром до 1,5 мм.

— На стінах паза вм'ятини не більше 0,4 мм глибиною, довжиною не більше 8 мм, або глибиною до 0,2 мм та довжиною не більше 14 мм від пальців патрона.

— Відбитки від контролю твердості по Роквеллу на підступічних частинах осі, глибиною до 0,2 мм, не більше трьох відбитків.

— Не проводити перевірку по одному витку різьблення, за умови забезпечення контакту з гайкою мінімум на п'яти витках.

— Шорсткість різьби має складати  $Ra=2,5$  мкм, що забезпечить правильний профіль витка і відповідну міцність різьблення. Зачистка першого витка різьби для забезпечення плавного накручування стопорної гайки.

— Допускається зміщення діаметра  $D$  щодо центрального конуса до 1 мм в межах допуску.

Виготовлення за штрихпунктирною лінією, що передбачає обробку для зняття матеріалу і подальшу накатку галтелів до точних розмірів.

При виготовленні осі за варіантом 2, з виносним елементом IV, маса складає 435 кг, в той час як за варіантом 1 або 3 – 419 кг.

Під час дефектоскопії осі не допускається наявність скупчення магнітного порошку, що вказує на необхідність забезпечення чистоти поверхонь осі від сторонніх часток, таких як пил, пісок чи порошок.

Інші технічні вимоги мають відповідати ГОСТ 22780-93, ГОСТ 30237-96 та ГОСТ 3027-96.

Розмір фасок  $H$  необхідно контролювати до проведення накатки або нарізки різьблення. Цей пункт враховує можливу деформацію фасок при нарізанні різьблення.

Допускається виготовлення фасок  $\Pi$  з величиною  $R1\div 2$  мм, що дозволяє згладжувати гострі кромки фасок або жолобників.

Можлива поява на поверхні  $P$  гвинтових ризиків від виходу різця, глибиною не більше 0,5 мм і шириною до 2 мм, що може статися при виході нарізного різця.

Діаметр  $D_0$  має бути в межах  $(164,9\div 165,0)$  мм.

Для осей, виготовлених не на автоматичних лініях, допускається радіальне биття підступочних частин осі відносно поверхні шийок до 0,2 мм. Це знижує вимоги щодо точності при серійному або одиничному виробництві.

Для деталей, не зазначених на кресленні, граничні відхилення розмірів відповідатимуть таким допускам: для отворів –  $H14$ , для валів –  $h14$ , а для лінійних розмірів –  $\pm IT12/2$ .

### **1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва**

Тип виробництва, що розраховується за допомогою ЕОМ, має відповідні вихідні дані, що наведені в додатку. Згідно з розрахунками, цей тип виробництва відноситься до малосерійного.

Дрібносерійне виробництво має схожі технологічні характеристики з одиничним, але з деякими відмінностями. Воно відрізняється більшою номенклатурою виробів, порівняно малим обсягом випуску та великою кількістю операцій, що виконуються на різних робочих місцях. Коефіцієнт закріплення операцій визначається як відношення кількості технологічних операцій, які виконуються або мають бути виконані протягом місяця, до кількості робочих місць. Згідно з ГОСТ 3.1108-74, коефіцієнт закріплення для дрібносерійного виробництва складає від 20 до 40 операцій.

За всіма технологічними та виробничими характеристиками, серійне виробництво займає проміжне положення між одиничним і масовим. Для цього виду виробництва використовуються як універсальні, так і спеціалізовані верстати, в тому числі з ЧПК та обробні центри, а також гнучкі автоматизовані системи з ЕОМ. Технологічне оснащення в основному універсальне, але інколи створюється спеціальне, з високою продуктивністю, що повинно бути обґрунтовано техніко-економічними розрахунками. Одним із способів підвищення коефіцієнта оснащеності є використання універсально-збірних технологічних систем, що легко налаштовуються. Для виготовлення заготовок використовуються гарячий і холодний прокат, лиття другого класу точності, а також точні штампи, доцільність яких також визначається через техніко-економічні розрахунки. Необхідну точність забезпечують як автоматичними методами, так і методами пробних ходів та вимірів, з частковим використанням розмітки.

У дрібносерійного виробництва кваліфікація робітників знаходиться між рівнями масового та одиничного виробництва. Вищу кваліфікацію мають робітники, що працюють на складних універсальних верстатах і займаються їх налаштуванням, а також оператори, які обслуговують налаштовані верстати.

Для складних та відповідальних заготовок розробляється детальна технологічна документація та технічне нормування. Водночас для простих заготовок застосовуються спрощені варіанти документації та статистичне нормування.

У серійному виробництві рекомендується організувати роботу за предметною формою, що передбачає розташування верстатів у порядку технологічних операцій для обробки однієї деталі. Деталі обробляються на верстатах партіями, при цьому час виконання операцій на різних верстатах може не збігатися. Після виготовлення деталі зберігаються біля верстатів до транспортування цілою партією або на спеціальних майданчиках для подальшого контролю.

Дрібносерійне виробництво має специфіку, де для кожного робочого місця згідно з ДСТУ 3.1108-2004 закріплено від 21 до 40 різних операцій.

#### **1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі**

Оцінка технологічності деталі «Задня ось» ОВ1000.02-001 за якісними показниками включає в себе:

1. **Оцінка матеріалу:** Деталь виготовлена зі сталі марки ОсВ, хімічний склад якої наведено в пункті 2. Як матеріал замітник використовується сталь 45 ГОСТ 1050-88, яка має подібні хімічні та фізико-механічні властивості. Цей матеріал має невисоку вартість завдяки легуванню лише 1% хрому, не є дефіцитним і піддається хорошій обробці різанням. Заміна на більш міцний або легкий матеріал призвела б до необґрунтованого підвищення собівартості або зниження функціональності деталі, тому цей матеріал є технологічним.
2. **Форма поверхонь:** Основна маса оброблюваних поверхонь є простими, що сприяє ефективності обробки. Деталь має масу 416 кг, що потребує використання допоміжних механізмів для транспортування та установки.
3. **Нетехнологічні елементи:**
  - Габарити та маса деталі ускладнюють її транспортування та установку.

- Накатка для ущільнення поверхневого шару є трудомістким процесом, що підвищує собівартість.
- Максимальний діаметр Ø209 мм вимагає потужний привід для обробки.
- Для виготовлення потрібне велике дороге обладнання.
- Нарізка різьблення M110x4-6h потребує спеціального ріжучого інструменту та є трудомістким процесом.
- Наявність складних галтелей вимагає використання дорогих токарних верстатів з ЧПК, що підвищує вартість основних фондів і амортизаційних витрат.

#### 4. Технологічні:

- Шорсткість поверхні циліндричних поверхонь деталі становить  $Ra = 1,25 \div 2,5$  мкм, що вимагає шліфування і додаткових витрат.
- Для базування та закріплення необхідно використовувати люнет, що також призводить до додаткових витрат.
- Биття торця Ø130 / Ø165 щодо бази С є не технологічним елементом, який потребує точної обробки на спеціалізованому обладнанні.
- Використання поковки V групи вимагає проведення обов'язкових випробувань на розтягнення та ударну в'язкість, що також призводить до додаткових витрат.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Для аналізу буде використано базовий технологічний процес виготовлення деталі «Задня ось», який включає загальноприйняті етапи оброблення. Процес виготовлення цієї деталі починається з кування на молотах для формування заготовки. Такий метод є найбільш раціональним, оскільки форма заготовки максимально наближена до форми готової деталі. Після кування заготовка піддається термічній обробці для зменшення зерна і зняття внутрішніх напружень, що виникли під час кування.

#### Основні етапи технологічного процесу:

1. **Кування:** Заготовка виготовляється методом кування на молотах, що дозволяє отримати деталь з близькою до готової форми.
2. **Термічна обробка:** Піддається термічній обробці для зменшення зерна і зняття внутрішніх напружень, а також для досягнення потрібної твердості.
3. **Розкроювання та випробування:** Заготовка розкроюється на зразки для випробувань на механічні властивості, такі як розтягнення, розрив і міжкристалічна корозія.
4. **Розточування та центрування:** На горизонтально-розточному верстаті здійснюється торцювання та центрування заготовки для підготовки чистових баз.
5. **Обробка ультразвуковим контролем (УЗК):** Під час токарної операції деталь проходить ультразвуковий контроль для перевірки на наявність дефектів.
6. **Шліфування:** На круглошліфувальному верстаті шліфуються шийки осі під підшипники букси.
7. **Контроль кольорової дефектоскопії:** Проводиться контроль кольоровою дефектоскопією для виявлення поверхневих дефектів.
8. **Фінальний контроль:** На останній операції здійснюється контроль всіх розмірів і допусків відповідно до креслення.

Таблиця 1.5 – Базовий технологічний процес

№ оп.	Найменування операції	Зміст операції	Базування	Обладнання
005	Обробка тиском			
010	Термічна	Досягнення твердості та міцності заготовки		Термічна піч
015	Виготовлення зразків	Обрізка та розкрій проби на зразки		
020	Технічний контроль	Дослідження зразків		
025	Горизонтально-розточна	Торцювання і центровка осі	На столі верстата в призмах	2636

			пристрою	
030	Токарна	Оброблення під УЗК	В центрах	1М63Б
035	Технічний контроль	УЗК	В центрах	
040	Токарна	Чистове точіння	В центрах	1М63Б
045	Токарно-накатна	Накатка шийок осі	В центрах	КЖ1844
050	Технічний контроль	Кольорова де- фектоскопія		
055	Круглошліфувальна	Шліфування шийок осі	В центрах	3М194
060	Технічний контроль	Контроль розмі- рів і допусків		
065	Слюсарна			

Після аналізу технологічного процесу можна зробити висновок, що механічна обробка охоплює більшість типів верстатів. Універсальне обладнання може бути замінене на верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), що дасть змогу значно знизити час обробки та усунути можливий вплив людського фактору.

### **1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі**

Якість виготовлення деталі значною мірою залежить від правильності її встановлення та фіксації на верстаті. Процес установки включає два етапи: базування, яке полягає в орієнтації заготовки відносно виконавчих механізмів верстата, інструменту чи траєкторії його руху, і закріплення, яке передбачає додаток зусиль для фіксації заготовки в досягнутому положенні.

Як висновок та пропозиція, необхідно розробити технологічний процес, базуючись на принципах машинобудівної технології, з використанням сучасних верстатів та обробних центрів з числовим програмним управлінням. Крім того, для таких верстатів слід розробити прогресивні заготовки з мінімальними припусками, розрахувати припуски для точних поверхонь та визначити оптимальне розташування баз під час механічних операцій.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

Для виконання цього етапу потрібні дані про стандартні маршрути оброблення поверхонь або їхніх груп. У багатьох випадках комплексні операції містять переходи, які неможливо виконати за одну установку. Тому слід прийняти рішення щодо принципу подальшого проектування: обрати підхід диференціації або концентрації операцій.

Під час розробки маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

— технологічні процеси бажано розробляти за принципом етапності, тобто спочатку виконуються чорнові операції, а потім чистові способи обробки;

— на першому етапі обробляються базові поверхні, які будуть використовуватися для подальших операцій;

— далі здійснюється оброблення поверхонь із найбільшим припуском і напуском, оскільки для цього застосовуються інтенсивні режими різання, що спричиняють значні сили різання;

— проводиться обробка поверхонь, на яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;

— найбільш точні поверхні обробляються на завершальному етапі.

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Ковка заготовки

010 Термічна обробка

015 Випробування зразків

020 Токарна чорнова

025 Токарна чистова



030 Шліфувальна  
035 Фрезерна  
040 Слюсарна  
045 Координатно-розточувальна

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Ковка заготовки  
010 Термічна обробка  
015 Випробування зразків  
020 Токарна чорнова  
025 Токарна чистова  
030 Фрезерна  
035 Координатно-розточувальна  
040 Шліфувальна  
045 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Ковка заготовки  
010 Термічна обробка  
015 Токарна чорнова  
020 Свердлильна  
025 Шліфувальна  
030 Випробування зразків  
035 Токарна чистова  
040 Слюсарна  
045 Координатно-розточувальна

Маршрут №2 є оптимальним вибором, оскільки у маршрутах №1 та №3 попередні фрезерні операції призводять до ударного навантаження під час подальшої чистової обробки. Це може спричинити поломку інструменту та появу дефектів на оброблюваних поверхнях.

Раціональність цього варіанту пояснюється тим, що точіння є більш продуктивним процесом порівняно з шліфуванням. До того ж, шорсткість поверхні, отриманої після гостріння, нижча, ніж у разі шліфування.

Найточніші зовнішні поверхні виконуються за 6-7 квалітетом, із забезпеченням шорсткості Ra 1,25 мкм.

Досягти необхідних параметрів точності та шорсткості можна різними способами.

Таблиця 2.1 - Варіанти обробки зовнішніх поверхонь

I варіант		II варіант	
	Точіння чорнове, IT12, Ra 12,5		Точіння чорнове, IT12, Ra 6,3
	Точіння напівчистове, IT10, Ra6.3		Точіння напівчистове, IT10, Ra 3,2
	Точіння напівчистове, IT9, Ra3.2		Точіння чистове, IT9, Ra2,5
	Точіння чистове, IT6, R0,63		Шліфування, IT6, 0,63

Обираємо другий варіант, оскільки шліфування є більш продуктивним процесом. Найточніші лінійні розміри деталі виконуються за 9-10 квалітетом точності, інші розміри — за 12 квалітетом. Шорсткість торців деталей (позиції 1, 14, 18, 23 на рисунку 1.1) становить Ra 2,5 мкм, а для решти поверхонь — Ra 6,3 мкм.

Для досягнення необхідних параметрів шорсткості виконуються такі етапи:

1. **Чорнове точіння:** забезпечує точність 12 квалітету та шорсткість Ra 6,3 мкм.

2. **Напівчистове точіння:** забезпечує точність 10 квалітету та шорсткість Ra 3,2 мкм.

3. **Чистове точіння:** забезпечує точність 9 квалітету та шорсткість Ra 2,5 мкм.

Для інших поверхонь, що мають 12 квалітет точності та шорсткість Ra 6,3 мкм, чорнової обробки є цілком достатньо.

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

Вибір технологічного процесу виготовлення заготовки впливає на обсяг витраченого матеріалу, якість і трудомісткість подальшої механічної обробки при виробництві деталі.

Тип заготовки визначається на основі аналізу креслення деталі, її матеріалу, технічних вимог до виготовлення, обсягу виробництва, розмірів і маси. Рішення приймається шляхом техніко-економічного порівняння кількох можливих варіантів.

Для виготовлення цієї деталі можна використовувати такі методи:

- прокат;
- кування на молотах.

Відповідно до маршруту технологічного процесу заводського варіанта, заготовкою для деталі «Задня ось» є прокат діаметром  $\varnothing 210$  мм і довжиною 2320 мм. Маса такої заготовки становить:

$$m = \rho \cdot v, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу,  $\rho = 7,85 \text{ г/см}^3$ ;

$V$  – об'єм заготовки,

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L; \quad (2.3)$$

$d$  – діаметр заготовки,  $d = 210$  мм;

$L$  – довжина заготовки,  $L = 2320$  мм.

$$V = \frac{3,14 \cdot 210^2}{4} \cdot 2320 = 80315 \text{ см}^3,$$

тоді

$$m_{\text{заг}} = 80315 \cdot 7,85 = 630472 \text{ г} = 630,5 \text{ кг}.$$

Собівартість проката:

$$S_{\text{заг}} = M + C_{\text{о.з.}}, \quad (2.5)$$

де  $M$  – затрати на матеріал заготовки, по формулі:

$$M = QS - (Q - q) \frac{S_{\text{отх}}}{1000}, \quad (2.6)$$

$S = 12$  грн – ціна 1 кг матеріала заготовки, грн;

$$M = 12 \cdot 630,5 - (630,5 - 416) \frac{900}{1000} = 7372,5 \text{ грн.} \quad (2.7)$$

$C_{\text{о.з.}}$  – технологічна собівартість операції правки, розрезки на штучные заготовки и определяется по формуле:

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{ум}}}{60 \cdot 100}, \quad (2.8)$$

де  $C_{\text{п.з.}}$  – приведені затрати на робочому місті правки (1667 коп/ч.), різки (1213 коп/ч.) коп/ч;

$T_{\text{ум}} = 160$  – штучний час виконання заготівельної операції, хв.

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{(1667 + 1213) \cdot 160}{60 \cdot 100} = 130,5 \text{ грн.} \quad (2.9)$$

$$S_{\text{заг}} = 7372,5 + 130,5 = 7503 \text{ грн.}$$

Так як «Задня ось» деталь відповідальна отже в прийнятому технологічному процесі заготовку будемо отримувати куванням на пресі, з наступною термічною обробкою, дана сталь ОсВ не схильна до відпускнуї крихкості.

Вихідні дані для розрахунку припусків:

Нагрівання заготовки – індукційний.

Матеріал – сталь ОсВ ГОСТ 4728-79.

Маса деталі – 416 кг.

Призначаємо припуски і граничні відхилення відповідно до ГОСТ 7062-70.

Ø194 мм - 15±3 мм; розмір заготовки 209±3 мм.

Ø172 мм - 13±3 мм; розмір заготовки 185±2,5 мм.

Ø130 мм - 10±2 мм; розмір заготовки 140±2 мм.

L=2294+130 =2424 мм 30/2±8,5 мм; розмір заготовки 2439±8,5

l=340 мм - 16±4 мм; розмір заготовки 356±4 мм.

l=221 мм - 15±3 мм; розмір заготовки 236±3 мм.

Визначимо масу заготовки:

Для кування на молотах приймемо масу деталі з урахуванням поправочного коефіцієнта  $K_p = 1,6$ , тоді маса заготовки буде визначатися як

$$m_{\text{заг}} = 1,6 m_{\text{дет}} = 1,6 \cdot 416 = 500 \text{ кг.}$$

Коефіцієнт використання заготовки:

$$K_3 = \frac{m_D}{m_3} \geq 0,7, \quad (2.10)$$

де  $m_D$  – маса деталі, кг;

$m_3$  – маса заготовки, кг;

0,7 – рівень технологічності ЕСТПП.

$$K_3 = \frac{416}{500} = 0,75.$$

$K_3 \geq 0,7$ , отримання заготовки технологічно.

Собівартість заготовки одержуваної куванням визначаємо за формулою:

$$S_{3AG} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_m \cdot K_c \cdot K \cdot \text{Ж}_{\%} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (2.11)$$

де  $C_i$  – базова вартість одної тони матеріала, грн.

$$C_i = 12000 \text{ грн}$$

$Q$  – маса заготовки, кг;

$q$  – маса готової деталі, кг

$K_T$  – коефіцієнт точності штамповки.

$$K_T = 1$$

$K_M$  – коефіцієнт впливу матеріала.

$$K_M = 1,22$$

$K_n$  – коефіцієнт групи серійності.

$$K_n = 0,95$$

$K_H$  – коефіцієнт групи складності.

$$K_H = 1,1$$

$K_B$  – коефіцієнт маси штамповки.

$$K_B = 0,98$$

$S_{отх}$  – ціна одної тони відходів, грн.

$$S_{отх} = 900 \text{ грн}$$

$$S_{заг} = \left( \frac{12000}{1000} \cdot 500 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 0,95 \cdot 1,1 \cdot 0,98 \right) - (500 - 416) \frac{900}{1000} = 7496,5 - 75,5 = 7421 \text{ грн.}$$

Останочне обґрунтування проведемо підрахував економічний ефект від метода отримання заготовки штамповкою:

$$\mathcal{E}_3 = (S_{заг1} - S_{заг2}) N, \quad (2.12)$$

де  $S_{заг2}$  – вартість заготовки з проката грн,

$S_{заг1}$  – вартість штампованої заготовки грн,

$N$  – річний обсяг випуска.

$$\mathcal{E}_3 = (7503 - 7421) 500 = 41000 \text{ грн.}$$

Ескіз заготовки на рисунку 2.1.

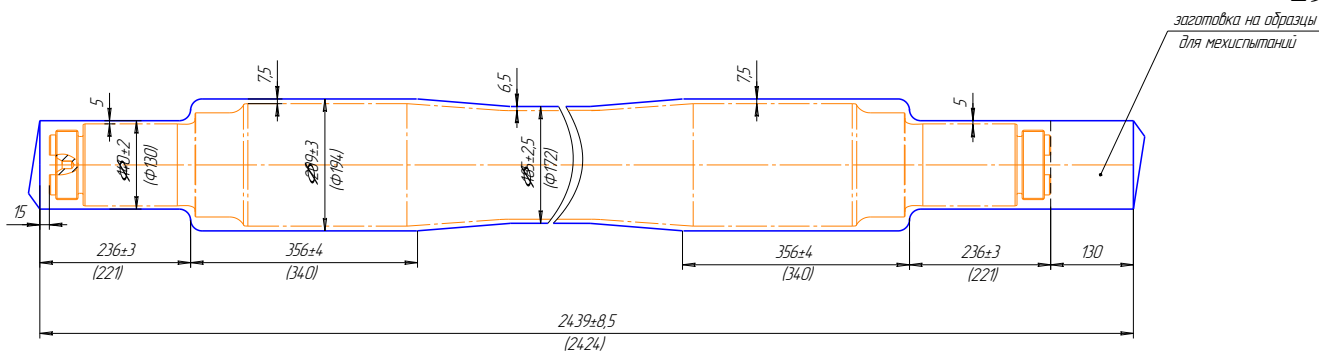


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку заготовки

Номінальний розмір елемента деталі, мм	Припуск	Допустимі відхилення розмірів заготовки, мм	Остаточний розмір елемента заготовки, мм
Ø194	15	±3	Ø209±3
Ø172	13	±3	Ø185±2,5
Ø130	10	±2	Ø140±2
2294	30	±8,5	2439±8,3
340	16	±4	356±4
221	15	±3	236±3

### 2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Існує багато методів обробки поверхонь, які забезпечують однакові технічні вимоги до якості, але значно відрізняються за собівартістю, що робить їх доцільними для різних типів виробництва. Під час обробки до деталей висуваються вимоги щодо точності, чистоти поверхні, взаємного розташування елементів та механічних властивостей матеріалу.

Аналіз і вибір схеми базування та закріплення заготовки є важливим етапом. Однією з головних причин браку є помилки в установці заготовки на столі верстата:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (2.7)$$

де  $\varepsilon_0$  – похибка базування;

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  – похибка пристрою.

Розглянемо можливу похибку базування заготовки під час горизонтально-розточувальної операції 025.

На цій операції заготовка обробляється у двох позиціях, які досягаються шляхом повороту столу розточувального верстата. Оброблення включає фрезерування торця осі, фрезерування паза, центрування та нарізання різьби в двох кріпильних отворах.

Доцільно використовувати базування заготовки у призмах з упором у торці.

Похибка базування на довжини  $L = 2309 \pm 0,875$  мм і  $L = 2294$  мм залежить від точності налаштування (повороту столу) верстата, оскільки збігаються вимірювальна та технологічна бази, тобто  $\varepsilon_6 = 0$ . Похибка базування для інших лінійних розмірів (глибини отворів, дна паза) буде зумовлена точністю позиціонування верстата, оскільки ці розміри відраховуються від торця, що формується в одній позиції.

У діаметральному напрямку похибка базування визначається за відповідною формулою:

$$\varepsilon_6 = \frac{T_{140}}{2} \frac{1}{\sin^2 \alpha} = \frac{4}{2} \frac{1}{\sin^2 45} = 2,8 \text{ мм.} \quad (2.8)$$



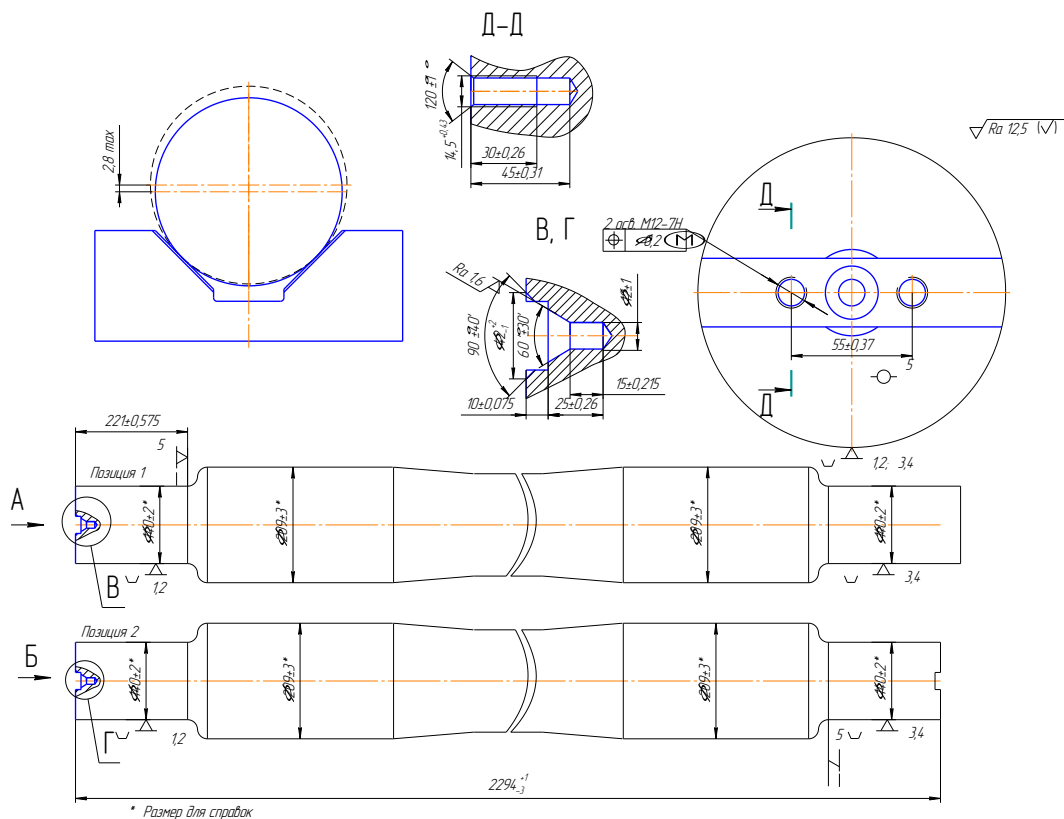


Рисунок 2.1 – Схема базування

Отже, при використанні цієї схеми базування спостерігається зміщення центрального отвору відносно осі зовнішньої циліндричної поверхні на 2,8 мм. Однак ця похибка буде усунена під час токарної операції, оскільки обробка виконуватиметься в центрах, що забезпечить формування діаметральних поверхонь відносно центрових отворів.

Дана схема базування передбачає використання подвійних напрямної та опорної баз, завдяки чому заготовка позбавляється п'яти ступенів свободи, залишаючи одну вільну — обертання навколо осі заготовки. У такій схемі похибка базування для розміру  $L = 221 \pm 0,575$  мм буде відсутня, оскільки технологічна і вимірювальна бази збігаються, тобто  $\epsilon_6 = 0$ .

Розглянемо альтернативну схему базування з іншими базувальними поверхнями. У цьому випадку похибка базування для розміру 221 дорівнюватиме допуску розміру  $2309 \pm 0,875$  мм, а  $\epsilon_6 = 1,75$   $\epsilon_6 = 1,75$   $\epsilon_6 = 1,75$  мм. Таким чином, застосування цієї схеми є недоцільним.

Перший варіант базування є більш раціональним.

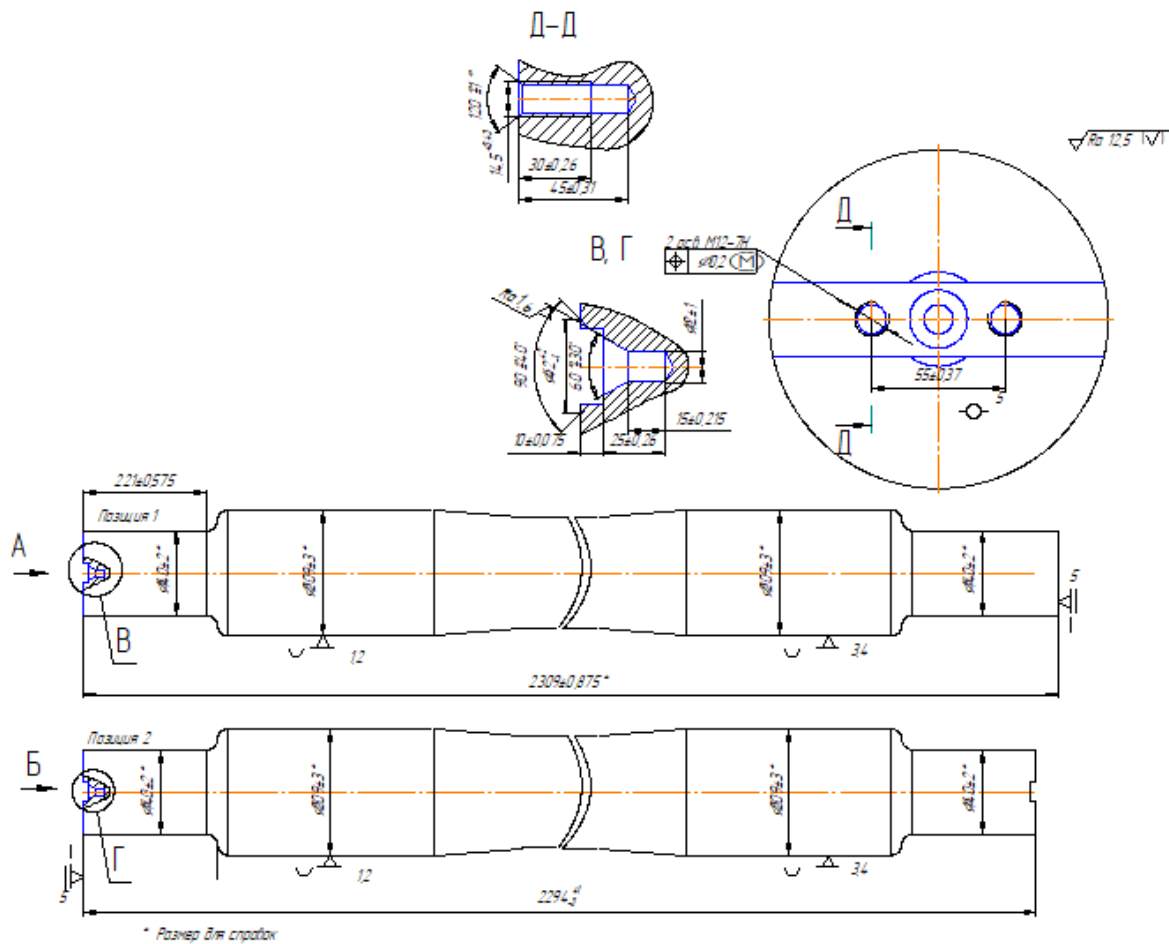


Рисунок 2.2 – Схема базування «Задньої осі» з упором в торець

Розглянемо можливу похибку базування заготовки на токарній з ЧПК операції 030.

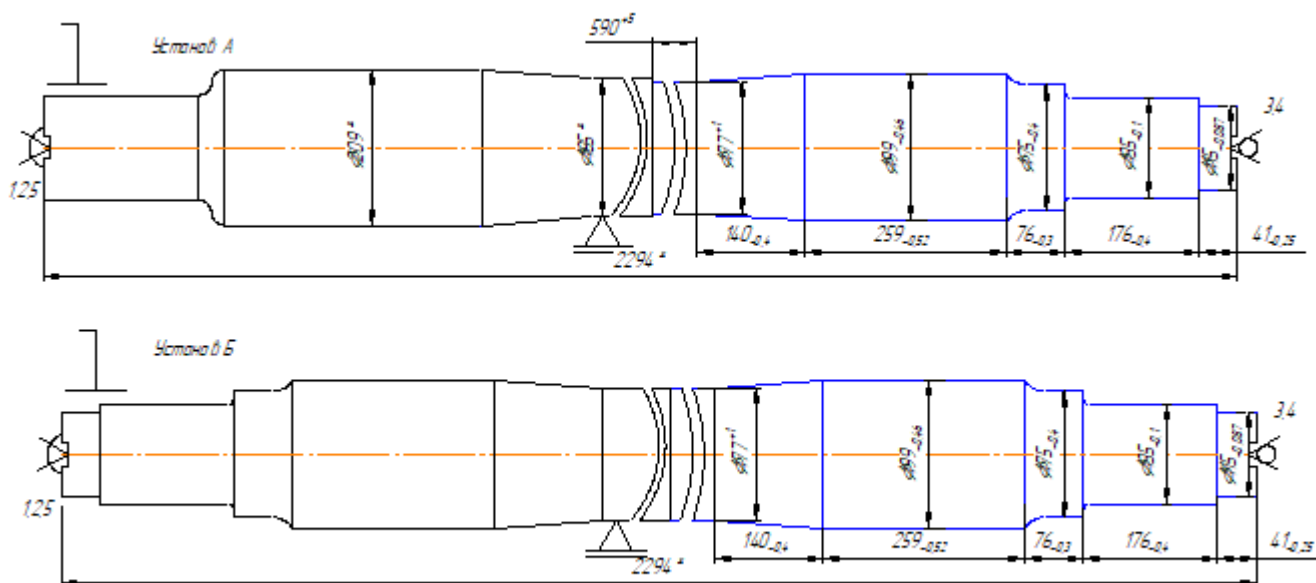


Рисунок 2.3 – Схема базування на токарній з ЧПК операції 030

Для виконання операції здійснюють чорнове точіння двох зовнішніх циліндричних поверхонь із залишком 2 мм на сторону, що передбачено для подальшого ультразвукового контролю.

Найефективнішою схемою базування вважається використання плаваючого й обертового центрів. Ця схема забезпечує усунення п'яти ступенів свободи заготовки за рахунок подвійної спрямувальної та опорної бази, залишаючи єдиний ступінь свободи — обертання навколо осі. Такий підхід зменшує похибки базування до допуску на розмір, що пов'язує вимірювальну та технологічну бази, тобто між лівим і правим торцями заготовки. Для розміру 2294 мм допустима похибка базування становить 4 мм. Щоб усунути цю похибку, потрібно на кожній деталі коригувати «нуль» верстата відносно правого торця.

При використанні схеми базування з жорстким і обертовим центрами принцип залишатиметься подібним (подвійна спрямувальна та опорна база), але до похибки базування додасться похибка центрування, яка дорівнює 0,2 мм. У цьому випадку загальна похибка складе 4,2 мм (рис. 2.3), що перевищує похибку попереднього варіанта. Тому для забезпечення більшої точності доцільно обрати першу схему базування.

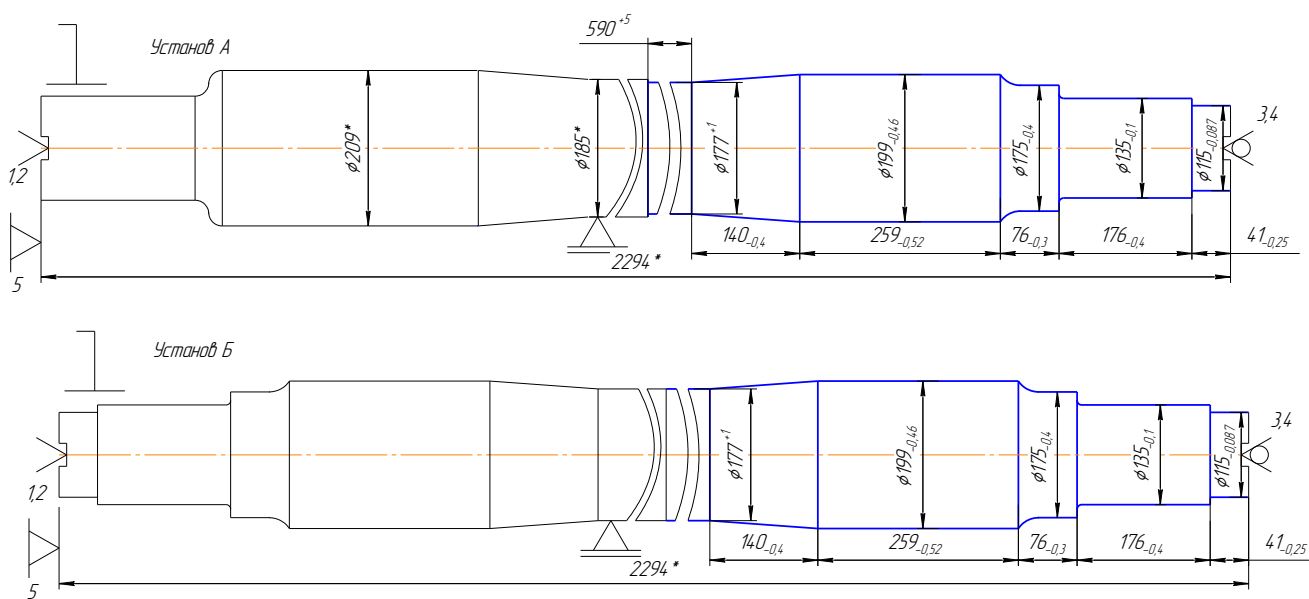


Рисунок 2.4 – Альтернативна схема базування на токарній з ЧПК

## 2.4 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

### Операція 025 - горизонтально-розточна з ЧПК

На виробництві обробка деталі «Задня ось» виконується на верстаті 2650Ф1. Це обладнання було обрано, враховуючи відповідність його габаритів до розмірів стола і заготовки.

Оскільки деталь «Задня ось» виготовляється в умовах дрібносерійного виробництва, перевагу віддали універсальному обладнанню з ЧПК. Це зумовлено широкою номенклатурою деталей, які обробляються, та коротким виробничим циклом.

Далі наведемо паспортні характеристики обраного обладнання:

Верстат горизонтально-розточний 2650 Ф1:

- тип компоновки верстата – В;
- діаметр висувного шпинделя – 160;
- конус для кріплення інструментів в висувному шпинделі метричний 80;
- розміри вбудованого (або знімного) поворотного столу – 2240x3500;
- найбільша маса оброблюваної заготовки – 16000кг;
- найбільше переміщення:
  - вертикальне шпиндельної бабки – 2500мм;
  - поздовжнє висувного шпинделя – 1250 мм;
  - радіального супорта – 250мм;

планшайби стола:

поздовжнє – 1250мм;

число швидкостей:

шпинделя – 23;

-частота обертання шпинделя –  $4 \div 800$  об/хв;

- подача:

- шпинделя –  $1,25 \div 1250$ мм/хв;
  - шпиндельної бабки –  $0,8 \div 800$  мм/хв;
  - столу (поздовжня і поперечна) - 0,8 - 800 мм / хв;
- потужність електродвигуна головного руху – 36 кВт;

-габаритні розміри:

- довжина – 11600 мм;
- ширина – 11650 мм;
- висота – 6700 мм;
- маса – 76400 кг

Як приклад розглянемо універсальне обладнання моделі 2636. Це обладнання не забезпечує усунення впливу «людського фактора» та потребує більше машинного часу для оброблення однакових поверхонь.

Верстат горизонтально – розточний моделі 2636.

- тип компоновки верстата – А;
- діаметр висувного шпинделя – 125;
- конус для кріплення інструментів в висувному шпинделі метричний 80;
- розміри вбудованого (або знімного) поворотного столу 1600x1800;
- найбільша маса оброблюваної заготовки – 8000кг;
- найбільше переміщення:
  - вертикальне шпиндельної бабки – 1400мм;
  - поздовжнє висувного шпинделя – 1000 мм;
  - радіального супорта – 200мм;

планшайби стола:

- поздовжнє – 1600 мм;
- поперечне – 1800мм;

- частота обертів:

- шпинделя –  $6,3 \div 1000$  об/хв;
- планшайби –  $4 \div 200$  об/хв;

- подача:

- шпинделя –  $1,6 \div 1600$  мм/хв;
- шпиндельної бабки –  $1 \div 1000$  мм/хв;
- столу (поздовжня і поперечна) –  $1 \div 1000$  мм/хв;
- радіального супорта –  $0,63 \div 630$  мм/хв;

- дискретність завдання розмірів – 0,01;

- потужність електродвигуна головного руху – 19 кВт;

- габаритні розміри:

- довжина – 8160 мм;
- ширина – 5070 мм;
- висота – 4805 мм.

### **Операція 030 - токарна з ЧПК**

На цій операції виконують чорнове точіння всіх зовнішніх поверхонь осі із залишком для подальшого чистового оброблення.

### **Вибір металорізального верстата**

Для обробки деталі «Задня ось» на виробництві застосовують універсальний токарно-гвинторізний верстат 16К25. Вибір цього обладнання базується на таких критеріях:

- Технологічні методи обробки поверхонь:

Для точіння зазначених поверхонь було розглянуто кілька моделей токарних верстатів. У результаті аналізу обрано верстат 1М63БФ101 із подовженою станиною, обладнаний системою ЧПУ [4].

- Потужність двигуна: Верстат оснащено двигуном потужністю 15 кВт, що забезпечує достатню продуктивність для виконання необхідних операцій.

- Габарити робочого простору: Обладнання дозволяє обробляти заготовки діаметром до 350 мм і довжиною до 2800 мм, що відповідає розмірам деталі.

- Тип виробництва: Умови дрібносерійного виробництва передбачають перевагу універсального обладнання з ЧПУ, яким є модель 1М63БФ101.

Основні технічні характеристики токарного верстата 1М63БФ101:

1. Найбільший діаметр оброблюваної заготовки над станиною – 630 мм, над супортом – 350 мм;

2. Максимальна довжина оброблюваної заготовки – 2800 мм;

3. Крок нарізаємої метричної різьби  $1 \div 224$  мм;

4. Частота обертання шпинделя  $10 \div 1250$  хв<sup>-1</sup>;

5. Подача:

- поздовжня  $0,06 \div 1,0$  мм/об (безступінчата);
- поперечна  $0,024 \div 0,31$  мм/об (безступінчата);

6. Потужність електродвигуна приводу головного руху – 15 кВт.

### **Операція 055 — Круглошліфувальна**

На цій операції виконується шліфування шийок осі під підшипники букси.

#### **Вибір обладнання**

Для обробки поверхонь обрано круглошліфувальний верстат моделі 3М194, виходячи з таких критеріїв:

- Технологічні методи обробки: після аналізу кількох моделей круглошліфувальних верстатів обрано модель 3М194 [4], яка найкраще відповідає вимогам обробки.

- Потужність двигуна: верстат оснащено двигуном потужністю 25 кВт, що забезпечує достатню ефективність для шліфувальних операцій.

- Габарити робочого простору: обладнання дозволяє обробляти заготовки діаметром до 400 мм і довжиною до 4000 мм, що забезпечує можливість встановлення вала. Максимальний діаметр шліфування становить 350 мм, що відповідає розмірам поверхонь осі.

- Тип виробництва: для умов дрібносерійного виробництва оптимальним вибором є універсальне обладнання. Верстат 3М194, який є напівавтоматом, повністю відповідає цим вимогам.

- Кількість інструментів: верстат оснащено одним шліфувальним кругом, якого достатньо для обробки всіх поверхонь заготовки при двох установках.

Паспортні дані круглошлифовального верстата моделі 3М194:

- тип компоновки верстата – А;

- діаметр оброблюваної заготовки – до 350 мм;

- розміри столу – 4000х1000;

- найбільша довжина оброблюваної заготовки – 4000мм;

- найбільше переміщення:

- найбільше – 4240 мм;

- на одну поділку лімба – 0,005 мм;

- частота обертання заготовки: 12÷120 об / хв;

- частота обертання кола: 600÷1300 об / хв;

- потужність електродвигуна головного руху – 25 кВт;

- габаритні розміри:

- довжина – 14065 мм;
- ширина – 3615 мм;
- висота – 2450 мм;
- маса – 34600 кг.



## **2.5 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів**

З огляду на дрібносерійний тип виробництва, найдоцільніше використовувати систему універсально-складальних пристроїв (УСП) відповідно до вимог ГОСТ 14.305.

### **Операція 025 - горизонтально-розточна з ЧПК**

Для операцій застосовуємо наступні види технологічної оснастки: пристрій спеціальний.

Різальний інструмент:

- фреза торцева 2214-0271, матеріал ріжучої частини твердий сплав Т15К6 ГОСТ 24359-80;
- фреза кінцева 1524-2356 Р6М5 ГОСТ 17026-71;
- свердло 2301-0409 Р6М5, ГОСТ 2091-77;
- свердло 2301-0400 Р6М5 ГОСТ 2091-77;
- зенковки 0356-7893 Р6М5 ГОСТ 22641-80;
- зенковки 0356-7862 Р6М5 ГОСТ 22641-80;
- зенковки 0356-7925 Р6М5 ГОСТ 22641-80;
- мітчик 035-2620-0510 ГОСТ 326681.

Вимірювальний інструмент:

- рулетка 3000 мм, ГОСТ 427-75;
- штангенциркуль ШЦ - I - 125 - 0,1 ГОСТ 166 - 89;
- шаблон спеціальний;
- калібр-пробка М12-7Н ПР / НЕ ГОСТ 17756-72.

Допоміжний інструмент:

- оправлення 6221 - 0033 ГОСТ 13041 - 83;
- оправлення 6221-0052 ГОСТ 13041-83;
- патрон різьбові 191221030 ТУ2035-681-79;
- пристосування спеціальне.

### **Операція 030 - токарна з ЧПК**

Як верстатний пристрій застосовуємо:

- центр плаваючий А-1-5-У ЧПУ ГОСТ 2576-79;

- центр обертається А-1-7-У ЧПУ ГОСТ 8742-75;
- патрон повідковий МН4050-62 ГОСТ 24351-80;

Різальний інструмент:

- різець PERBR2525L12 T5K10 ГОСТ 3882-71 (чорнові ходи) Р – тип механічного кріплення пластини – підтиск важелем через отвір для пластинок з отверстієм, Е – форма пластини ромбическая з кутом при вершині дорівнює 75, R – головний кут в плані, що дорівнює 75, В – задній кут, рівний 5, R – виконання – праве, 2525 – перетин державки 25x25 мм, L – довжина різця – 140 мм, 12 – довжина різальної кромки – 12 мм.

Вимірювальний інструмент: штангенциркулі ШЦ-ІІ-320-0,1, ШЦ-ІІ-600-0,1 ГОСТ 166-89.

### **Операція 055 - Круглошліфувальна**

Як верстатний пристрій застосовуємо жорсткий центр А-1-4-У ГОСТ 2573-85 (2), хомутик ГОСТ 7107-79.

Різальний інструмент – шліфувальний круг ПП 600x100x127 24АМ20 СМ23 К1 40м/с<sup>2</sup> кл А ГОСТ 2424-83 (коло типу ПП D = 600мм, Н = 100мм, d = 127 мм, з титаністого електрокорунду марки 24А, твердістю СМ12, структурою – 3, на керамічній зв'язці [4]).

Для контролю шийок вала в дрібносерійне виробництво застосовують мікрометр 100-150 ГОСТ 6507-90.

## **2.6 Розрахунок режимів різання**

### **Операція 025 - горизонтально-розточна з ЧПК**

Розрахуємо аналітичним методом фрезерування торця.

Вихідні дані: оброблюваний матеріал Сталь ОСВ ГОСТ4728-96, матеріал різучої частини Т15К6, обробка з охолодженням (МОР – емульсія).

Глибина різання  $t = 3$  мм.

Обираємо подачу на зуб по карті 161 [6], при  $t = 3$  мм,  $D_{\phi} = (1,25-1,5)$

$V = 1,3(140) = 182$  мм, приймаємо  $D_{\phi} = 200$  мм,  $S_z = 0,13$  мм/зуб.

Дане значення не коригуємо, так як верстат має безступінчасту подачу.

Переводимо подачу на зуб в хвилинну подачу по формулі:

$$S_{x\delta} = S_z \cdot n,$$

де  $z = 20$  – кількість зубів фрези;

$n = 100$  об/хв – оберти фрези.

$$S_{x\delta} = 0,13 \cdot 20 \cdot 100 = 260 \text{ мм/хв.}$$

Швидкість різання визначаємо по формулі [4]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^g}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} K_v,$$

де  $C_v = 46,7$ ,  $g = 0,45$ ,  $x = 0,5$ ,  $y = 0,5$ ,  $u = 0,1$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,33$  – коефіцієнти і показники в формулі швидкості різання;

$D = 200$  мм – діаметр фрези;

$T = 70$  хв – стійкість різального інструмента [4];

$B = 140$  мм – ширина фрезерування;

$K_v$  – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{Mv} K_{IIV} K_{IV},$$

$$K_{Mv} = Kr(750/\sigma_B)^{nv} = 1,0 (750/450)^{-0,9} = 0,63;$$

$K_r = 1,0$  – коефіцієнт для матеріала інструмента;

$n_v = -0,9$  – показник ступеня;

$K_{IIV} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{IV} = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує інструментальний матеріал на швидкість різання;

$$K_v = 0,63 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,63.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$$V := \frac{46,7 \cdot 200^{0,45} \cdot 0,63}{70^{0,33} \cdot 3^{0,5} \cdot 0,13^{0,5} \cdot 140^{0,1} \cdot 20^{0,1}}$$

$$V = 56 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi D} \quad (2.12)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 56}{3,14 \cdot 200} = 89,2 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання за паспортом верстата і перераховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2.13)$$

$$V = \frac{3.14 \cdot 100 \cdot 200}{1000} = 62,8 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання по формулі:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n z}{D^g n^w} K_{mp}; \quad (2.14)$$

де  $C_p = 68,2$ ,  $g = 0,86$ ,  $x = 0,86$ ,  $y = 0,72$ ,  $u = 1,0$ ,  $w = 0$  – коефіцієнти і показники в формулі сили різання;

$K_{mp} = (\sigma_B / 750)^n = (450 / 750)^{0.35} = 0,83$  – поправочний коефіцієнт, що враховує властивість матеріалу;

де  $n = 0,35$  – показник ступеню [4].

З урахуванням поправочних коефіцієнтів сила буде рівна:

$$P := \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 3^{0.86} \cdot 0.13^{0.72} \cdot 140^{1.0} \cdot 0.83 \cdot 20}{200^{0.86} \cdot 100^0}$$

$$P_z = 9850 \text{ Н.}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} \quad (2.15)$$

$$N = \frac{9850 \cdot 62,8}{1020 \cdot 60} = 10,1 \text{ кВт.}$$

Обробка здійсненна, тому що необхідна потужність менше потужності верстата ( $N_B = N_\eta = 36 \cdot 0,85 = 30,6$  кВт). Обробка здійсненна для найбільш енергоємного переходу, отже інші переходи будуть здійсненні без труднощів.

Визначаємо основний час, тобто час на безпосередню обробку за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S \cdot n} \quad (2.16)$$

де  $L = l + l_1 = 140 + 205 = 345$  мм – робочий хід інструмента;

$l = 140$  мм – діаметр торця;

$l_l = 5+200=205$  мм – врізання і перебіг.

$$T_o = \frac{345}{260} = 1,33 \text{ хв.}$$

На інші переходи заносимо в таблицю.

$$T_{шт-к} = 7,28+35/47=7,87 \text{ хв.}$$

### **Операція 030 - токарна з ЧПК**

На цій операції виконується чорнове точіння зовнішніх поверхонь (обдирання). Для аналізу використовується аналітичний метод розрахунку чорнового точіння найбільшого діаметра  $\varnothing 199$  мм. Початковий діаметр заготовки становить  $\varnothing 209$  мм, яка надходить для обробки на токарний верстат із ЧПК.

- Матеріал різальної частини різця: Т5К10.
- Оброблюваний матеріал: сталь ОСВ.
- МОР (мастильно-охолоджувальна рідина): емульсія.
- Метод обробки: виконання операції в центрах із підтиском заднім центром, передача обертання через поводок.

### **Рекомендації для чорнкової обробки**

Згідно з таблицею [8], для обробки цього матеріалу ріжучим інструментом із Т5К10 рекомендовані такі режими різання:

- глибина  $t=0,5\div 2,0$  мм, приймаємо  $t= 1,0$  мм;
- приймаємо  $S= 0,7$  мм/об з урахуванням поправочних коефіцієнтів:

$K_{Sd}=0,8$  – перетин державки;

$K_{SN}=0,8$  – міцність різальної частини;

$K_{SM}=1,25$  – механічні властивості матеріалу;

$K_{SY}=0,9$  – схема установки;

$K_{SP}=1,0$  – стан поверхні;

$K_{S\phi}=1,0$  – геометрія різця;

$S_{доп}=1,0$  мм/об – допустима подача.

$$S=S_{доп} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SN} \cdot K_{SM} \cdot K_{SY} \cdot K_{SP} \cdot K_{S\phi} = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,7 \text{ мм/об};$$

- стійкість РІ  $T = 40$  хв;
- кількість проходів  $i = 2$ .

- швидкість різання визначаємо по формулі:

$$V = \frac{C_v}{T_t^{m_t} \cdot S_s^y} K_v$$

Обираємо значення коефіцієнтів і показників ступенів:

- $C_v = 340, x = 0,15, y = 0,45, m = 0,20;$
- $K_v = K_{mv} K_{nv} K_{uv} = 1 \cdot 0,8 \cdot 1,4 = 1,12.$

$$V = \frac{340}{40^{0,2} \cdot 1,0^{0,15} \cdot 0,7^{0,45}} \cdot 1,12$$

$$V = 135,3 \text{ м/хв};$$

Частоту обертання шпинделя визначимо по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 135,3}{3,14 \cdot 209} = 206 \text{ хв}^{-1};$$

Приймаємо частоту  $n_{пр} = 200 \text{ хв}^{-1}$ . Тоді по формулі,

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 209 \cdot 200}{1000} = 131,3 \text{ м/хв}; \quad (2.17)$$

Силу різання визначаємо:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p;$$

Обираємо значення коефіцієнтів і показників степенів:

- $C_p = 204, x = 1,0, y = 0,75, n = 0;$
- $K_p = K_{mp} = 1.$

$$P_z = 10 \cdot 204 \cdot 1^{1,0} \cdot 0,7^{0,75} \cdot 131,3^0 \cdot 1 = 1428 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1428 \cdot 131,3}{1020 \cdot 60} = 3,8 \text{ кВт}. \quad (2.18)$$

Таблиця 2.8 – Таблиця режимів

Переход	$t$ , мм	$i$	$S$ , мм/об	$V$ , м/ хв	$n$ , об/ хв	$T_0$ , хв
Операція 025 – Горизонтально-розточна						
Позиція I						
Фрезерувати торець	3	5	0,13	62,8	100	6,65
Фрезерувати паз	31	1	0,08	78,5	1000	0,43
Свердлити отвір $\varnothing 12$	6	1	0,22	18,8	500	0,28
Зенкувати отвір $\varnothing 12$	6,5	1	0,22	23,5	300	0,22
Свердлити отвір $\varnothing 10,2$	5,1	1	0,22	19,2	600	$0,37 \times 2 = 0,74$
Зенкувати отвір $\varnothing 10,2$	1,5	1	0,22	19,2	600	$0,04 \times 2 = 0,08$
Нарізати різьбу М12-7Н	0,75	2	1,75	18,8	500	$0,08 \times 2 = 1,6$
Зенкувати торець	2	1	0,22	29,2	300	0,15
Позиція II						
Фрезерувати торець	3	5	0,13	62,8	100	6,65
Фрезерувати паз	31	1	0,08	78,5	1000	0,43
Свердлити отвір 12	6	1	0,22	18,8	500	0,28
Зенкувати отвір 12	6,5	1	0,22	23,5	300	0,22
Свердлити отв. $\varnothing 10,2$	5,1	1	0,22	19,2	600	$0,37 \times 2 = 0,74$
Зенкувати отвір $\varnothing 10,2$	1,5	1	0,22	19,2	600	$0,04 \times 2 = 0,08$
Нарізати різьбу М12-7Н	0,75	2	1,75	18,8	500	$0,08 \times 2 = 1,6$
Зенкувати торець	2	1	0,22	29,2	300	0,15
$\sum T_0$						20,3

Операція 030 – Токарна з ЧПК						
Установ А						
Точити $\varnothing 135$	1	2	0,7	131,8	300	2,1
Точити $\varnothing 115$	2	5	0,7	127,1	300	1,2
Точити $\varnothing 175$	2,5	5	0,7	124,9	200	2,9
Точити $\varnothing 199$	1	2	0,7	131,3	200	4,9
Конус	1	2	0,7	131,3	200	2,0
Точити $\varnothing 177$	1	2	0,7	116,1	200	8,5
Установ Б						
Точити $\varnothing 135$	1	2	0,7	131,8	300	2,1
Точити $\varnothing 115$	2	5	0,7	127,1	300	1,2
Точити $\varnothing 175$	2,5	5	0,7	124,9	200	2,9
Точити $\varnothing 199$	1	2	0,7	131,3	200	4,9
Конус	1	2	0,7	131,3	200	2,0
Точити $\varnothing 177$	1	2	0,7	116,1	200	8,5
$\sum T_o$						43,2

## 2.7 Проектування засобів технологічного оснащення

### Проектування пристрою для фрезерної операції на верстатах із ЧПК

Рівень розвитку технологій значно впливає на стан і перспективи виробництва. Від нього залежить продуктивність праці, ефективність використання матеріальних і енергетичних ресурсів, якість продукції та інші важливі показники. Для подальшого розвитку машинобудування, яке є основою національної економіки, необхідно розробляти нові технологічні процеси, удосконалювати наявні методи та шукати більш ефективні способи обробки й зміцнення деталей машин, а також їх складання у готові вироби.

Особливу увагу зараз приділяють зменшенню частки ручної праці. Завдяки стрімкому розвитку електроніки створено й активно впроваджено автоматичне обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), яке базується на мікропроцесорах. Одне таке обладнання з ЧПК здатне замінити працю 3–4



робітників, автоматизована лінія — до 30 осіб, а повністю автоматизована ділянка — до 60. Саме тому розвиток новітніх технологій і обладнання сьогодні є ключовим напрямком.

Паралельно з удосконаленням обчислювальної техніки розвивається і роботизація виробництва. Роботизовані системи дедалі частіше замінюють людей на важких, одноманітних і шкідливих роботах.

### **Обґрунтування створення пристрою та вибір його системи**

У базовому технологічному процесі обробка торців здійснюється на універсальному розточувальному обладнанні. В оновленому технологічному процесі планується замінити цей верстат на модель 2560Ф1 із ЧПК. Таке вдосконалення зменшить собівартість виробництва завдяки скороченню основного часу (зокрема, через автоматичний вихід шпинделя до заданих точок і автоматичну обробку). Виконання операцій буде здійснюватися на верстаті з ЧПК із використанням пристрою з пневматичним приводом.

Використання спеціалізованого пристрою з механізованим приводом дозволить:

- знизити кваліфікаційні вимоги до оператора,
- зменшити трудомісткість обробки,
- забезпечити стабільну точність параметрів операції,
- підвищити продуктивність,
- покращити умови праці робітників завдяки автоматизації роботи пристрою.

Система координат пристрою буде відповідати системі координат багатоцільового верстата з ЧПК.

### **Уточнення мети операції та оцінка результатів**

Метою технологічної операції є підвищення ефективності, зменшення витрат часу й забезпечення стабільної якості обробки. Очікувані результати включають покращення кількісних і якісних показників виконання виробничих завдань.

### **Точність розмірів**

Згідно з технічними вимогами креслення, граничні відхилення визначено як H14, h14, IT14/2. Відповідно до [17, с. 46, табл. 3.2], визначено допуски для діаметральних і лінійних розмірів. Торець виготовлено з розміром 2294 мм, паз має глибину 10-1 мм і ширину 31+0,34 мм. Допуски на глибину монтажних отворів M12-7H та центрових не вказані, оскільки зазначено лише мінімальний розмір, тому їх не розглядаємо — ці розміри не є критичними.

Допуски на виконувані розміри відповідають:

- розмір 2294 мм – приблизно 14-му квалітету (допуск 4,4 мм),
- розмір 10-1 мм – приблизно 16-му квалітету (допуск 0,9 мм),
- розмір 31+0,34 мм – приблизно 13-му квалітету (допуск 0,39 мм).

Допуск на кутові розміри не зазначено в кресленні, тому його визначено за [17] та відповідно до ГОСТ 8908-81. Граничні відхилення становлять  $\pm 30'$  (AT16/2).

Різьба виконується з допуском 7H, що відповідає середньому класу точності за [17].

### **Точність форми**

Найточніший розмір у межах цієї операції — ширина паза 31+0,34 мм. Конструктором не визначено точність форми, тому допуск прямолінійності оцінюється як 60% від допуску на розмір. Виходячи з цього, допуск прямолінійності становить:  $T=0,6 \cdot 0,34=0,204$  мм  $T = 0,6 \cdot 0,34 = 0,204$  мм,  $T=0,6 \cdot 0,34=0,204$  мм. Округлюємо до 0,2 мм, що відповідає 14-му ступеню точності. Відхилення від площинності стінки паза наведено на рисунку.

### **Точність розташування поверхонь**

Допуск симетричності бічних поверхонь паза визначено конструктором як  $T=0,1$  мм, що відповідає 10-му ступеню точності. Приклад відхилення бічної поверхні паза щодо симетрії показано на рисунку.

### **Шорсткість оброблених поверхонь**

Шорсткість бічних поверхонь паза становить  $Ra=6,3$  мкм, а дна паза —  $Ra=12,5$  мкм.

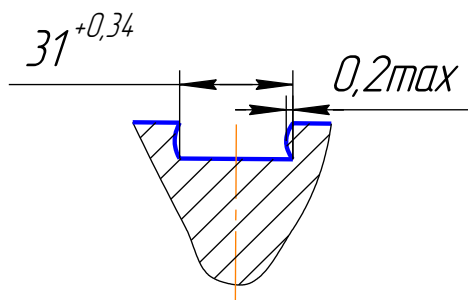


Рисунок 2.11 – Приклад відхилення бічної поверхні паза від площинності

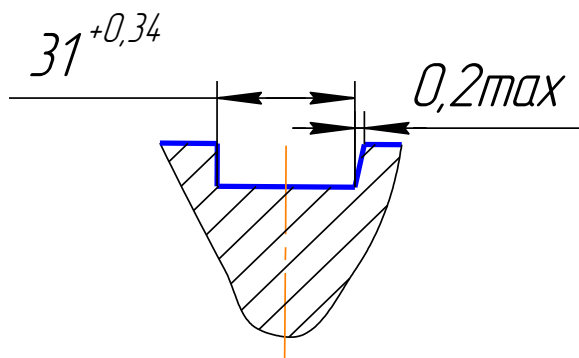


Рисунок 2.12 – Приклад відхилення бічної поверхні паза від симетричності

### **Аналіз кількісних та якісних характеристик заготовки, що надходить на обробку**

На горизонтально-розточувальну операцію заготовка постачається після ковальської обробки, виконаної відповідно до креслення (рис. 3). Перед початком операції з заготовки відрізають пробу для проведення механічних випробувань матеріалу. Процес різання здійснюється в лабораторії за допомогою стрічкопильного обладнання. У результаті довжина заготовки становить  $2324 \pm 8,5$  мм.

На операції проводиться обробка всіх торцевих поверхонь, яка включає:

- фрезерування торця,
- фрезерування канавки,
- центрування заготовки,
- свердління монтажних отворів.

Щоб мінімізувати похибки базування, базові поверхні вибирають з мінімальними розмірами, оскільки допуски на них будуть також меншими. У

цьому випадку обрано поверхню з розміром  $\varnothing 140 \pm 2$  мм, що забезпечує кращу точність базування.

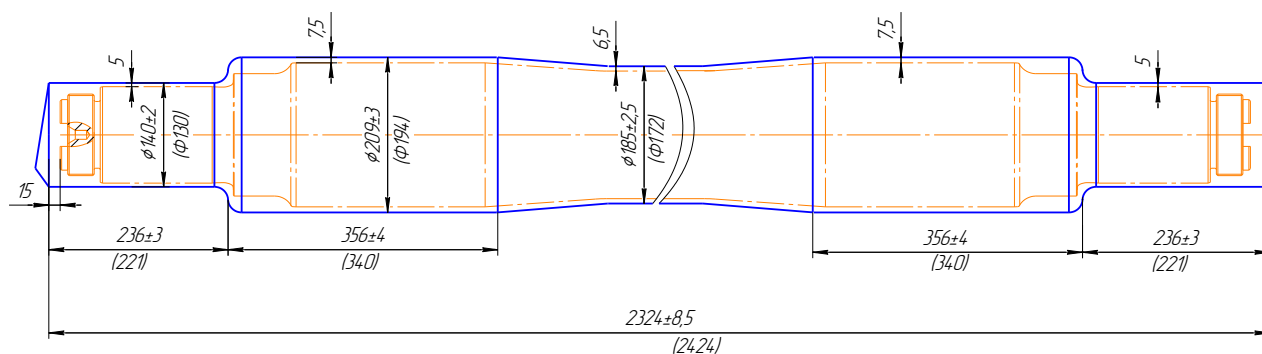


Рисунок 2.13 – Ескіз заготовки

### Аналіз базових поверхонь

#### Точність розмірів

Для базування використовуються такі поверхні:

- торцева поверхня (опорна база) має розмір  $236 \pm 3$  мм;
- діаметральні поверхні (подвійна напрямна база) виконані з розміром  $\varnothing 140 \pm 2$  мм.

Допуски на ці розміри визначені відповідно до вимог ГОСТ 8479-70 «Кування ковані на молотах».

#### Точність форми

• **Площинність торця:** допуск площинності торця  $236 \pm 3$  мм становить 60% від допуску розміру, тобто  $T = 0,6 \cdot 6 = 3,6$  мм. Приймаємо 2 мкм, що відповідає 16-му ступеню точності згідно з ГОСТ 24643-81.

• **Циліндричність та профіль поздовжнього перерізу:** Для поверхні  $\varnothing 140 \pm 2$  мм допуск визначається як 30% від допуску розміру:  $T = 0,3 \cdot 4 = 1,2$  мм = 1200 мкм. Це відповідає 16-му ступеню точності.

Графічні приклади відхилень від циліндричності та профілю поздовжнього перерізу наведено на рисунках 4 і 5.

#### Точність розташування

• **Перпендикулярність торця:** Допуск перпендикулярності торця щодо осі заготовки становить 60% від допуску розміру  $236 \pm 3$  мм:  $T = 0,6 \cdot 6 = 3,6$  мм. Приймаємо 2 мм, що відповідає 16-му ступеню точності.

• **Співвісність:** Допуск співвісності для поверхні  $\varnothing 140 \pm 2$  мм також становить  $T = 3,6$  мм, приймаємо 3 мм, що відповідає 16-му ступеню точності.

### **Шорсткість поверхонь**

Шорсткість кованих поверхонь складає  $Ra = 50$  мкм.

### **Умови виготовлення та експлуатації пристрою**

• **Річна програма:** передбачає виготовлення 100 деталей, що визначає дрібносерійний тип виробництва.

• **Такт випуску:** за умови роботи у дві зміни такт випуску однієї деталі становить 470 хвилин, що вказує на інтенсивне використання пристрою.

• **Термін експлуатації:** пристрій має забезпечити виконання 5000 циклів протягом 5 років (60 місяців).

Верстат обладнаний системою охолодження. Відведення стружки здійснюється оператором під час вимкнення обладнання.

• **Обслуговування:** пристрій обслуговується верстатником 4-го розряду.

• **Безпека:** Захисний кожух з екраном запобігає розлітання стружки та потраплянню мастильно-охолоджувальної рідини на оператора.

Складання переліку функцій, що реалізуються

0. Переміщення і попередня орієнтація заготовки.

1. Базування заготовки.

2. Закріплення заготовки.

3. Базування пристрою на верстаті.

4. Закріплення пристрою на верстаті.

5. Підведення і відведення енергоносія.

6. Освіта вихідної сили для закріплення.

7. Управління енергоносієм.

8. Обробка заготовки.

9. Створення безпечних умов праці

10. Об'єднання функціональних вузлів.

## Вибір прототипів і обґрунтування схеми базування

З огляду на умови виконання функцій та вимоги до результатів їх реалізації, розробник здійснює пошук прототипів серед наявних технічних рішень. Перевагу варто надавати стандартним технічним елементам, які вже підтвердили свою ефективність у практичному використанні. Розробка нових конструктивних елементів функціональних вузлів повинна бути підкріплена вагомими аргументами та обґрунтуванням.

### Схема базування та її обґрунтування

Однією з основних причин дефектів у виробництві є похибки під час встановлення заготовки на столі верстата.

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (3.1)$$

де  $\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування;

$\varepsilon_3$  – похибка закріплення;

$\varepsilon_{np}$  – похибка пристрою.

Розглянемо можливу похибку базування заготовки на даній операції.

### Базування та похибки при обробленні

На цій операції оброблення заготовки виконується в двох позиціях, що досягається шляхом повороту столу розточувального верстата. Процес включає фрезерування торця осі, обробку паза, центрування та нарізання різі у двох кріпильних отворах.

Для забезпечення точності доцільно використовувати базування заготовки у призмах із упором у торцеву поверхню.

### Аналіз похибок базування

#### 1. Лінійні розміри:

○ Для довжин  $L=2309\pm 0,875$  мм та  $L=2294$  мм, похибка базування зводиться до похибки налаштування точності повороту столу верстата. Оскільки вимірювальна та технологічна бази збігаються, похибка базування дорівнює  $\varepsilon_{\delta} = 0$ .

○ Для інших лінійних розмірів, таких як глибина отворів чи дно паза, похибка базування залежить від точності позиціонування верстата. Це обумовлено тим, що ці розміри задаються від торця, обробленого в одній позиції.

2. **Діаметральний напрямок:** у цьому напрямку похибка базування розраховується за відповідною формулою, враховуючи точність налаштування та фіксації заготовки у призмах.

Таким чином, раціональне базування дозволяє мінімізувати похибки та забезпечити високу точність обробки.

$$\varepsilon_{\delta} = \frac{T_{140}}{2} \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{4}{2} \frac{1}{\sin 45} = 2,8 \text{ мм.}$$

При такій схемі базування заготовки виникає зміщення центрального отвору відносно осі зовнішньої циліндричної поверхні, яке становить 2,8 мм. Однак ця похибка буде усунута на токарній операції, оскільки обробка виконуватиметься в центрах. У цьому випадку діаметральні поверхні будуть оброблені відносно центрових отворів, забезпечуючи необхідну точність.

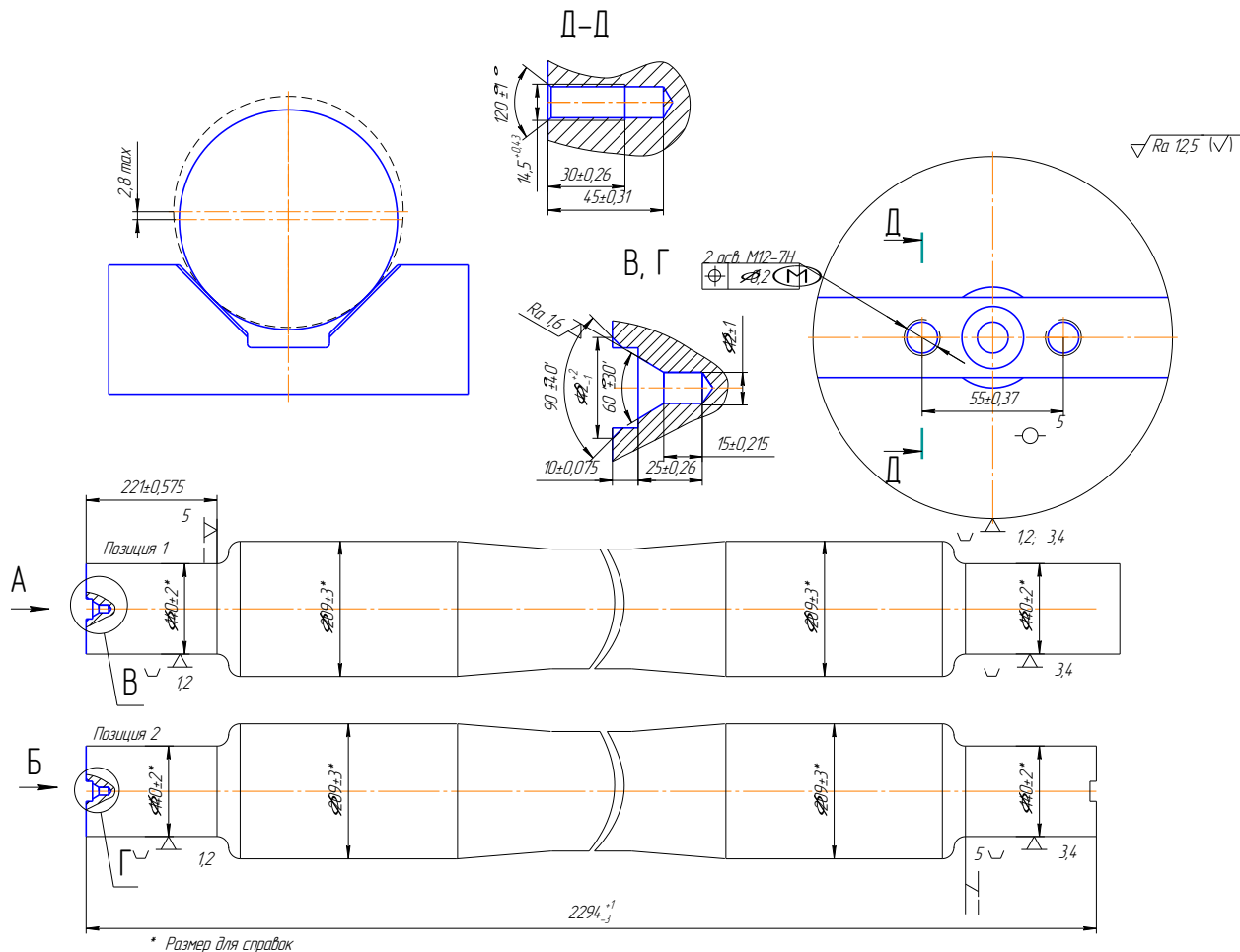


Рисунок 2.13 – Схема базування на горизонтально розточній операції

Ця схема базування використовує подвійну напрямну та опорну бази, що забезпечує фіксацію заготовки з усуненням п'яти ступенів свободи. Незалежною залишається лише можливість обертання навколо осі заготовки. У такій конфігурації похибка базування для розмірів  $L=221\pm 0,575$  мм дорівнює нулю, оскільки технологічна і вимірювальна бази збігаються ( $\varepsilon_{\delta} = 6$  мм).

Для паза похибка базування також зводиться до нуля ( $\varepsilon_{\delta} = 0$ ), оскільки можливе зміщення на ширину паза 34 мм (відносно осі заготовки) буде компенсовано на подальших токарних операціях. Ці операції виконуються в центрах, отриманих одночасно з пазом, що забезпечує точність розташування.

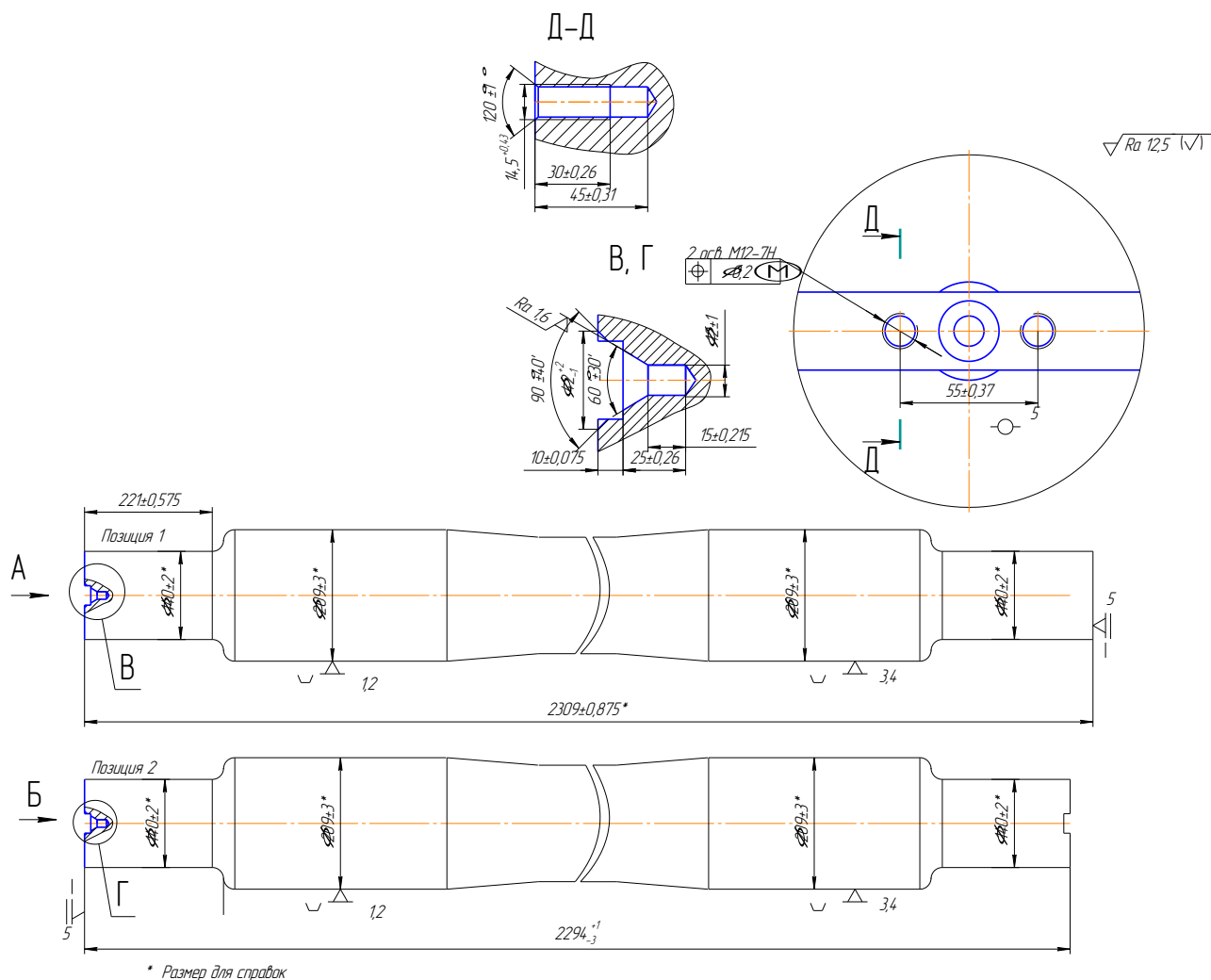


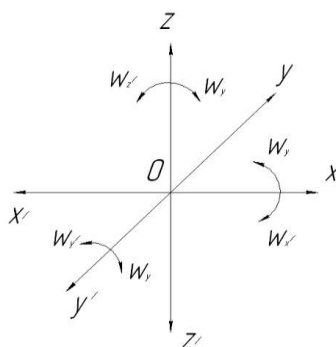
Рисунок 2.14 – Схема базування «Задня ось» з упором в торець



Розглянемо альтернативну схему базування з іншими базовими поверхнями (рис. 2.14). У цьому випадку похибка базування для розміру 221 мм буде дорівнювати допуску на розмір  $2309 \pm 0,875$  мм, тобто  $\varepsilon_{\delta} = 1,75$  мм. Таким чином, використання цієї схеми вважається недоцільним.

Перший варіант базування є більш раціональним.

Розробка і обґрунтування схеми закріплення



Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega'_x$	$\omega_y$	$\omega'_y$	$\omega_z$	$\omega'_z$
Спосіб реалізації	Реакція	R		R	R		R			R	R	R	R
	Сила закріплення					W							
	Сила тертя		F(W)					F(W)	F(W)				

### Аналіз структури полів збурюючих сил

Для оцінки впливу збурюючих сил побудуємо графічну модель їх взаємодії з прийнятою схемою базування. На схемі зображено процес фрезерування торцевою фрезою, оскільки саме під час цього виду обробки виникають найбільші зусилля. Розрахунок сил виконуватимемо для цього етапу.

Як видно з рисунка, поля збурюючих сил залишаються неврівноваженими, що вимагає розробки програми додаткових сил закріплення.

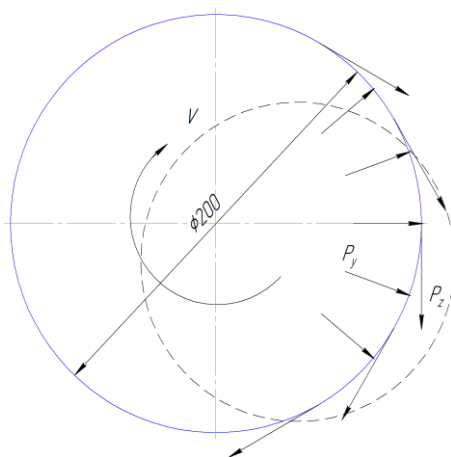


Рисунок 2.16 – Структура поля збурюючих сил за складовими

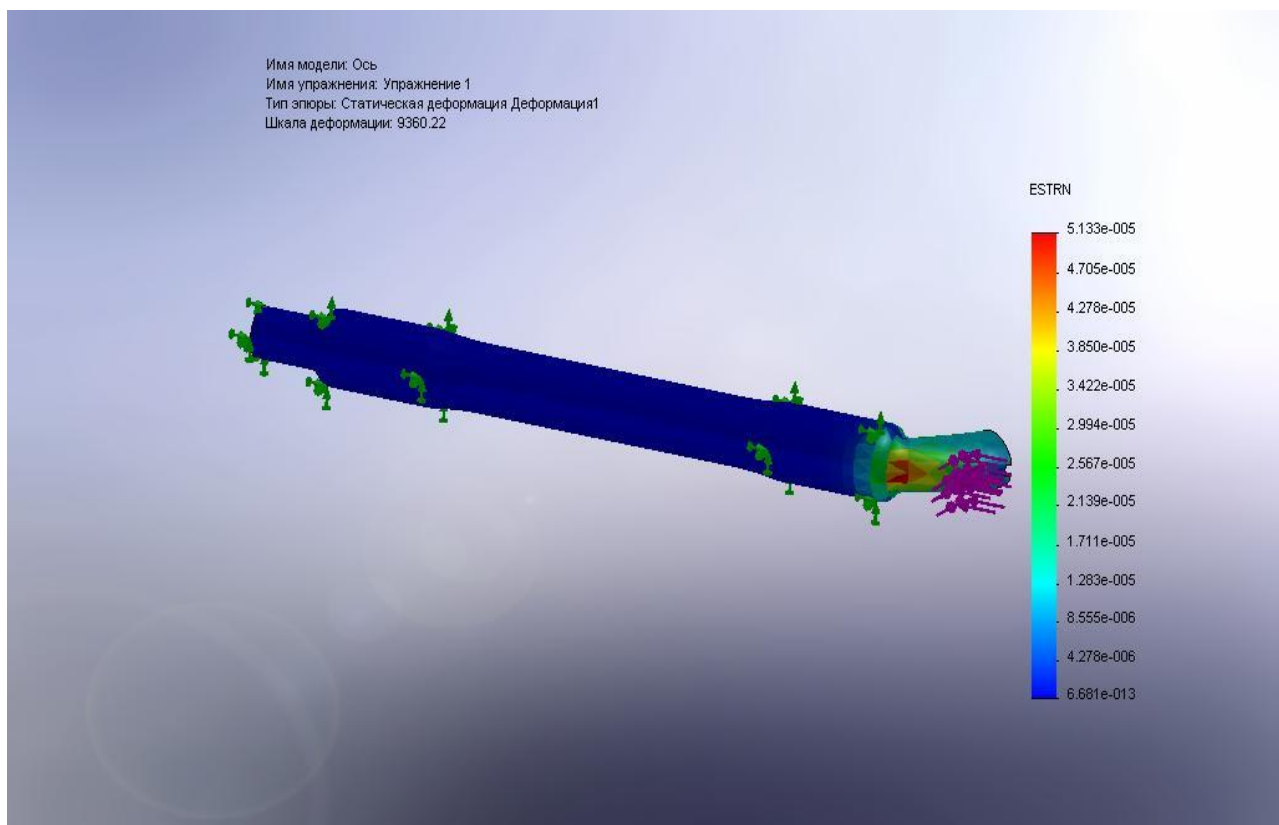


Рисунок 2.17 – Структура поля призначені врівноважити сил, створюваних затискним механізмом

### Аналіз структури полів врівноважених сил

Як видно з рисунка, складові сили залишаються невірноваженими, що потребує розробки додаткових закріплюючих зусиль. Розрахунок загального зусилля закріплення слід виконувати з урахуванням умов, які запобігають провороту під впливом моменту, створюваного силами. Відповідна схема наведена на рисунку.

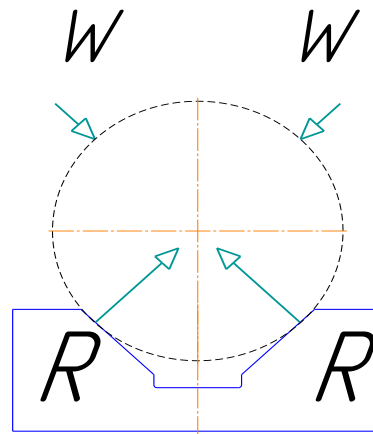


Рисунок 2.18 – Схема дії сил ПУС прикладених до деталі

Розрахунок сил закріплення.

Розрахуємо аналітичним методом фрезерування торця.

Вихідні дані: оброблюваний матеріал Сталь ОСВ ГОСТ4728-96, матеріал різальної частини Т15К6, обробка з охолодженням (МОР – емульсія).

Глибина різання  $t = 3$  мм.

Вибираємо подачу на зуб по карті, при  $t = 3$  мм,  $D = (1,25-1,5) B = 1,3 (140) = 182$  мм, приймаємо  $D = 200$  мм.

$$S_z = 0,13 \text{ мм/зуб.}$$

Це значення не коректуємо так як верстат має безступінчасте подачу.

Переводимо подачу на зуб в хвилинну подачу по формулі:

$$S_M = S_z z n,$$

де  $z = 20$  – кількість зубів фрези;

$n = 100$  об/хв – оберти фрези.

$$S_M = 0,13 \cdot 20 \cdot 100 = 260 \text{ мм/хв.}$$

Визначаємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^g}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y B^u \cdot z^p} K_v, \quad (2.10)$$

де  $C_v = 46,7$ ,  $g = 0,45$ ,  $x = 0,5$ ,  $y = 0,5$ ,  $u = 0,1$ ,  $p = 0,1$ ,  $m = 0,33$  – коефіцієнти і показники у формулі швидкості різання;

$D = 200$  мм – діаметр фрези;

$T = 70$  хв – стійкість різального інструмента;

$B = 140$  мм – ширина фрезерування;

$K_v$  - поправочний коефіцієнт на швидкість різання, що враховує фактичні умови різання і визначається за формулою:

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{ПV} \cdot K_{ИV},$$

де  $K_{MV} = K_r(750/\sigma_B)^{n_v} = 1,0 (750/450)^{-0,9} = 0,63$ ;

$K_r = 1,0$  – коефіцієнт для матеріалу інструменту;

$n_v = -0,9$  – показник ступеня;

$K_v = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки на швидкість різання;

$K_{ИV} = 1,0$  – коефіцієнт що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання;

$$K_v = 0,63 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,63.$$

З урахуванням поправочних коефіцієнтів визначаємо швидкість різання:

$$V := \frac{46.7 \cdot 200^{0.45} \cdot 0.63}{70^{0.33} \cdot 3^{0.5} \cdot 0.13^{0.5} \cdot 140^{0.1} \cdot 20^{0.1}},$$

$$V = 56 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot 56}{3,14 \cdot 200} = 89,2 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо значення частоти обертання шпинделя з паспортом верстата  $n = 100$  об/хв. З урахуванням прийнятої частоти швидкість різання визначаємо за формулою.

$$V = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 100}{1000} = 62,8 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання по формулі:

$$P_z = \frac{10 C_p t^x S_z^y B^n z}{D^g n^w} K_{mp};$$

де  $C_p = 68,2$ ,  $g = 0,86$ ,  $x = 0,86$ ,  $y = 0,72$ ,  $u = 1,0$ ,  $w = 0$  – коефіцієнти і показники у формулі сили різання;

$K_{mp} = (\sigma_B/750)^n = (450/750)^{0,35} = 0,83$  – поправочний коефіцієнт що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності;

де  $n = 0,35$  – показник ступеня.

З урахуванням поправочних коефіцієнтів сила різання буде дорівнює:

$$P := \frac{10 \cdot 68.2 \cdot 3^{0.86} \cdot 0.13^{0.72} \cdot 140^{1.0} \cdot 0.83 \cdot 20}{200^{0.86} \cdot 100^0}$$

$$P_z = 2850 \text{ Н.}$$

Потужність різання визначається за формулою:

$$N = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60} \quad (2.21)$$

$$N = \frac{2850 \cdot 62,8}{1020 \cdot 60} = 2,9 \text{ кВт.}$$

Момент різання визначається за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100}, \quad (2.22)$$

де  $D = 200$  мм – діаметр фрези,

тоді:

$$M_{кр} = \frac{2850 \cdot 200}{2 \cdot 100} = 2850 \text{ Нм.}$$

Знайдемо необхідну силу затиску з умови не провороту визначаємо за формулою:

$$W = \frac{kM}{fR + fR \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}}, \quad (2.23)$$

де  $W$  – радіальна сила затиску ;

$R = 70$  мм – діаметри заготовки визначають площу контакту (тертя);

$K$  – коефіцієнт запасу. Величина коефіцієнта залежить від умов обробки деталі на верстаті:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.24)$$

де  $K_0 = 1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу при всіх випадках оброблення;

$K_1 = 1$  – коефіцієнт, що залежить від виду поверхні деталі (необроблена або оброблена);

$K_2 = 1,5$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструменту;

$K_3 = 1$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при обробленні переривчастих поверхонь на деталі;

$K_4 = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску від силового приводу пристрою;

$K_5 = 1,1$  – коефіцієнт, що враховується при наявності моментів, що прагнуть повернути оброблювану деталь навколо її осі;  $K = 1$  – коефіцієнт, що враховує ергономіку ручних ЗМ;

Тоді:

$$K = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1 = 2,5;$$

$f_1 = f_2 = 0,16$  – коефіцієнт тертя між деталлю і установочними затискними елементами пристрою;

$\alpha = 90^\circ$  – кут призми, тоді:

$$W = \frac{2,5 \cdot 2850}{0,16 \cdot 0,70 + 0,16 \cdot 0,70 \frac{1}{\sin 45}} = 37109 \text{ Н.}$$

Зусилля буде розкладатися на дві сили  $W = 37109/2 = 18554 \text{ Н}$ , які будуть діяти з двох сторін заготовки. У свою чергу зусилля з кожного боку буде розкладений на дві,  $W = 18554/2 = 9277 \text{ Н}$ , спрямовані протилежно реакцій.

Розрахунок на міцність:

Для розрахунку на міцність приймається деталь – прихват. Для неї розраховується на міцність при згині. Матеріал деталі – Сталь 45.

Умова міцності при вигині:

$$\sigma_{и \max} = M_{и \max} / W_x \leq [\sigma_{и}] \quad (2.28)$$

де  $M_{и \max}$  – максимальний згинальний момент, Нм

$W_x$  – осьовий момент опору перерізу, Нм

$[\sigma_{и}]$  – допустиме напруження,  $\text{кН/см}^2$

Напруга, що допускається:

$$[\sigma_{и}] = 350 \text{ МПа} = 35 \text{ кН/см}^2$$

Визначення максимального згинального моменту:

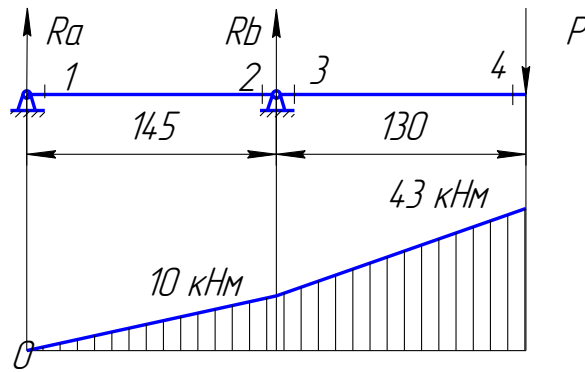


Рисунок 2.22 – Епюра згинальних моментів

Розрахунок реакцій опор:

$$\Sigma M_A = P \cdot 275 - R_B \cdot 145 = 0,$$

$$R_B = P \cdot 275 / 145 = 8317 \cdot 275 / 145 = 16634 \text{ Н}$$

$$\Sigma M_B = R_A \cdot 145 - P \cdot 130 = 0,$$

$$R_A = P \cdot 130 / 145 = 7456 \text{ Н.}$$

Розраховується згинаючий момент:

$$M_{зг}(1) = 0;$$

$$M_{зг}(2) = R_A \cdot 145 = 7456 \cdot 145 = 1081210 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг}(3) = M_{зг}(2) = 1081210 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_{зг}(4) = R_A \cdot 275 + R_B \cdot 145 = 8317 \cdot 275 + 16634 \cdot 145 = 4699105 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

За найбільшим значенням згинального моменту  $M_{зг}$  вибирається небезпечний перетин. На епюрі згинальних моментів видно, що найбільший згинальний момент  $M_{i4\max} = 4699 \text{ кН} \times \text{мм} = 469,9 \text{ кН} \times \text{см}$

Максимальна напруга при вигині:

$$\sigma_{и\max} = M_{зг\max} / W_x \leq [\sigma_{и}]$$

Звідси:

$$W_x \geq M_{зг\max} / [\sigma_{и}]$$

$$W_x = 469,9 / 35 = 13 \text{ см}^3$$

Приймається поперечний переріз деталі - прямокутник,  $4 \times 4 = 16 \text{ см}^3$

Такий перетин прийнято з конструктивних міркувань.

### Обґрунтування вибору приводу

Для реалізації розкріплення і закріплення заготовки при даній схемі раціонально вибрати пневмоциліндр однобічної дії з діаметром поршня визначається за формулою [7 с. 238]:

$$D = \sqrt{\frac{4(Q+q)}{p\pi}},$$

де  $Q = 8317$  Н – вихідне зусилля, що розвивається пневмоциліндром, Н;

$p = 0,6$  МПа – тиск;

$q = 100$  Н – сила пружини.

$$D = \sqrt{\frac{4(8317+100)}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 10^6}} = 0,136 \text{ м,}$$

приймаємо 140 мм.

Розрахуємо отримується зусилля на штоку.

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} p - q \quad (2.24)$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot 0,14^2}{4} 0,6 \cdot 10^6 - 100 = 9131 \text{ Н.}$$

### Точнісні розрахунки пристрою

Перед початком розрахунку точності визначаються ключові параметри, які найбільше впливають на досягнення необхідних допусків для оброблюваної деталі. У цьому випадку такими параметрами є точність взаємного розташування основних і допоміжних конструктивних баз пристрою. Проаналізуємо похибку зміщення осей призм, а відповідно й осі заготовки. Похибка за цим параметром обчислюється за такою формулою:

$$E_{\text{пр}} \leq T_{31} - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_6)^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{\text{II}}^2 + E_{\text{И5}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + E_{\text{поз}}^2}, \quad (2.25)$$

де  $K_T = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливе відступ від нормального розподілу окремих складових;

$K_{T1} = 0,85$  – коефіцієнт, що враховує можливе відступ від нормального розподілу допусків базових поверхонь;



$E_6 = 0$  мкм – похибка базування (див. пункт вище);

$E_3 = 500$  мкм – похибка закріплення [13];

$E_y = 70$  мкм – похибка установки пристосування на верстаті визначається за формулою:

$$E_y = \frac{L_d S}{l}, \quad (2.26)$$

$L_d = 2324$  мм – довжина оброблюваної деталі;

$S = 0,064$  мм – найбільший зазор між направляючої шпонкою пристосування і пазом столу верстата;

$l = 2070$  мм – відстань між шпонками;

$$E_y = \frac{2324 \cdot 0,064}{2070} = 0,07 \text{ мм.}$$

$E_{\Pi} = 0$  мкм – похибка перекосу інструменту (відсутні направляючі елементи пристрою);

$E_{\text{зн}} = 3,2$  мкм – похибка, що виникає внаслідок зносу настановних елементів

$$E_{\text{зн}} = \beta \cdot N = 0,002 \cdot 2070 = 4,1 \text{ мкм;}$$

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

$\omega = 160$  мкм – середня економічна точність обробки [15];

$E_{\text{ПОЗ}} = 0$  мкм – похибка позиціонування інструменту [15].

Тоді похибка пристрою складе

$$E_{\text{пр}} = 340 - 1,2 \sqrt{(0,85 \cdot 0)^2 + 500^2 + 70^2 + 0^2 + 4,1^2 + (0,6 \cdot 160)^2 + 0^2} = 340 - 77 = 263 \text{ мкм.}$$

На основі отриманих даних встановлено допуск на відхилення осі заготовки відносно осі пристрою, який становить 250 мкм. У межах цього допуску похибка виникає внаслідок сумування окремих похибок взаємного розташування елементів пристрою.

## 2.8 Висновки

У розділі, присвяченому вдосконаленню технологічного процесу виготовлення деталі «Задня ось», в якості заготовки було обрано поковку, виготовлену на пресах, оскільки це економічно доцільніше порівняно з поковкою на молотах.

У ході роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі, внесено зміни для його оптимізації, зокрема змінено послідовність операцій та замінено універсальне обладнання на верстати з ЧПК.

Виконано аналіз схем базування та закріплення заготовки на операціях із визначенням похибок базування. Розраховано припуски аналітичним методом для найбільш точної поверхні, підібрано відповідні верстати, оснащення, режими різання та здійснено технічне нормування операцій.

Розроблено верстатний пристрій для горизонтально-розточувальної операції з ЧПК, оснащений пневматичним приводом, що дозволяє зменшити допоміжний час і підвищити надійність процесу. На основі розрахунків створено комплект технологічної документації. Спроектований спеціальний верстатний пристрій для фрезерно-центрувальної операції з пневматичним приводом, що дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити надійність процесу.

## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Теоретичні відомості про поверхнево-пластичне деформування

Зміцнення здійснюється для підвищення втомної міцності, твердості поверхневого шару металу та створення в ньому напруг стиснення, а також для формування контрольованого мікрорельєфу. Зміцнювальну обробку накаткою застосовують на завершальних етапах технологічного процесу після чорної абразивної обробки.

У процесі поверхнево-пластичного деформування (ППД) покращуються характеристики матеріалу, такі як втомна міцність і поверхнева твердість, але водночас знижується пластичність. Обкатка виконується за допомогою одного або кількох вільно обертових роликів, які притискаються до оброблюваної поверхні під тиском. У результаті пластичної деформації формується наклеп поверхневого шару, створюються залишкові напруги стиску, змінюється структура матеріалу, а твердість збільшується.

При обкатці роликом відбувається зминання виступів, що залишилися після попередньої обробки, і заповнення западин, що підвищує чистоту поверхні на 2-3 класи та зменшує діаметр заготовки на величину зім'ятих виступів. Обкатку циліндричних поверхонь зазвичай виконують на токарних або револьверних верстатах, а плоских — на стругальних. Також використовуються спеціалізовані верстати, наприклад, для обробки колісних пар рухомого складу.

Конструкція пристроїв для обробки залежить від типу верстата, форми та розмірів заготовки, а також від кількості та характеристик роликів. Кількість роликів визначають залежно від жорсткості заготовки та призначення обкатки. Для жорстких заготовок використовують одно-роликові пристрої, однак вони створюють значні односторонні радіальні зусилля, що можуть призводити до швидкого зносу вузлів верстата та деформації заготовки, знижуючи точність обробки. Двох-, трьох- та чотирьох-роликові накатки позбавлені цих недоліків.

Робочі поверхні роликів повинні мати твердість HRC 58÷62 і виготовляються зі сталей марок X12, X12M, ХВГ, 5ХНМ, У10, У12. Для підвищення зносостійкості на робочі поверхні рекомендується наплавляти твердий сплав.

Форма та розміри роликів значно впливають на якість обробки. Наприклад, ролики із циліндричною стрічкою використовуються для поверхонь з вільним виходом по довжині. Ширина стрічки для дрібних деталей становить  $2\div 5$  мм, а для великих —  $12\div 15$  мм, але вона завжди повинна бути не меншою, ніж подвоєна подача. Для забезпечення однакових умов обкатки при прямому та зворотному ходах кути забірної частини виконують приблизно  $5^\circ$ , а перехід від циліндричної частини до конусу — плавним.

Ролики з комбінованим профілем дозволяють обробляти різні елементи деталей. Наприклад, профіль "г" використовують для перехідних радіусів, профіль "б" — для циліндричних поверхонь, а профіль "а" — для торцевих поверхонь.

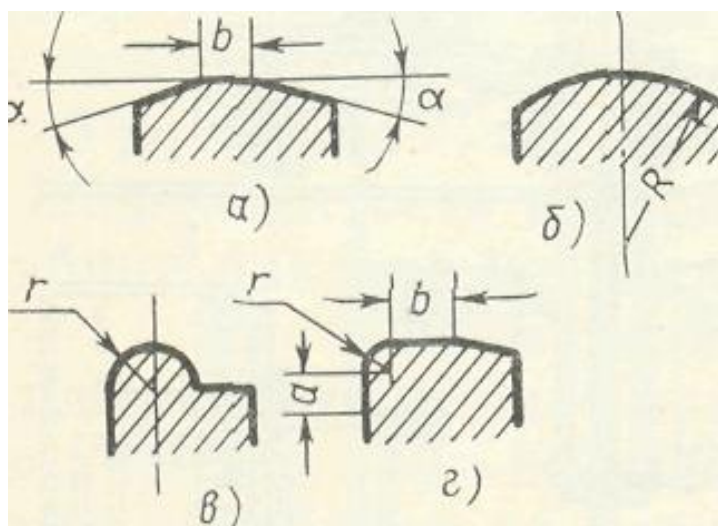


Рисунок 3.1 – Робочі профілі роликів

### Вибір діаметра і ширини роликів

Параметри роликів визначаються конструктивними особливостями. Для деталей діаметром до 75 мм рекомендоване співвідношення між діаметром ролика та оброблюваною деталлю не повинно перевищувати 4. При збільшенні діаметра деталі це співвідношення зменшується.

### Зміцнення металу

У незагартованій сталі зміцнення відбувається за рахунок змін у структурі та структурних недосконалостей, таких як дислокації, вакансії тощо. Ці процеси супроводжуються дробленням блоків і формуванням мікронапряг. У загартованій сталі додатково відбувається часткове перетворення залишкового аустеніту в мар-

тенсит і виділення дисперсних карбідних частинок. Поверхнева деформація спричиняє зміщення у зернах, пружні спотворення кристалічної решітки та зміни розмірів і форми зерен.

Інтенсивність наклепу (зміцнення) залежить від твердості сталі: у незагартованій сталі твердість може зрости до 80%, у загартованій — до 30%. Глибина зміцненого шару зазвичай становить  $1 \div 2$  мм. Дослідження показують, що обкатка заготовок пружинним дротом 2-го класу значно підвищує їхню витривалість. Це пояснюється створенням у поверхневому шарі напружень стиску, які компенсують вплив дефектів та неоднорідності матеріалу.

### **Конструкція установки**

Установка кріпиться на напрямних поперечної подачі супорта токарного верстата і складається з двох роликів, закріплених на кронштейнах. Ролики переміщуються завдяки штоку гідроциліндра, забезпечуючи підведення та притиснення до оброблюваної поверхні. Гідроциліндр отримує привід від гідростанції, а зусилля притиснення контролюється манометром.

Оброблювану деталь закріплюють на токарному верстаті. Після підведення роликів включають механізм обертання деталі, далі гідропривід і здійснюють накатку. Після завершення операції ролики відводяться, а оброблена деталь знімається. У результаті обробки зменшується шорсткість і підвищується твердість поверхні.

### **Сучасні тенденції в машинобудуванні**

Вітчизняне машинобудування активно модернізується, зосереджуючи увагу на впровадженні сучасних технологій, переважно за рахунок імпортного обладнання. Значна увага приділяється дрібносерійному виробництву та покращенню якості продукції, яка випускається у великих обсягах.

Сучасні технологічні процеси повинні враховувати екологічність, включаючи зниження матеріаломісткості та енергоємності. Процеси фінішної обробки, такі як поверхнево-пластичне деформування (ППД), стають більш популярними завдяки можливості обробки без мастильно-охолоджувальних рідин, що підвищує екологічність виробництва.

### **Виклики для масового виробництва**

У масовому виробництві, наприклад, в автомобілебудуванні, важливо забезпечити стабільність технологічного процесу та виконання високих вимог до точності й якості. Для досягнення цього потрібна ретельна науково-дослідницька підготовка, особливо для безперервного виготовлення великої кількості деталей.

### Перспективи методів ППД

Методи поверхнево-пластичного деформування залишаються актуальними у фінішній обробці деталей. Вони передбачають силовий контакт деформуючого інструменту з поверхнею заготовки під час їхнього відносного руху, що сприяє підвищенню характеристик міцності та якості поверхні.

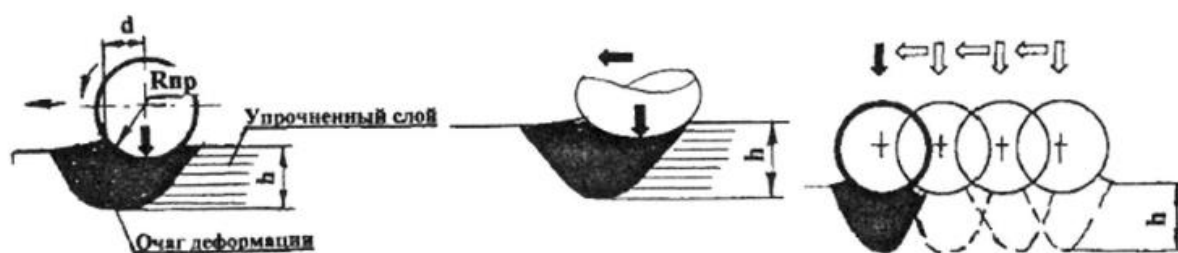


Рисунок 3.2 – Основні схеми взаємодії деформуючого елемента з оброблюваної поверхнею: *a* – кочення; *b* – ковзання; *в* – впровадження

### Процес поверхнево-пластичного деформування (ППД)

ППД виконується без зняття стружки за рахунок деформування мікронерівностей і прилеглих до поверхні шарів матеріалу. Основні переваги:

1. Зниження шорсткості — інтенсивне вигладжування поверхневих нерівностей.
2. Зміцнення поверхневого шару — підвищення мікротвердості, утворення залишкових стискаючих напружень.
3. Виключення забруднення поверхні абразивними частинками.
4. Формування мікрорельєфу — частково або повністю регулярного.

Завдяки високій продуктивності, простоті реалізації та техніко-економічній ефективності методи ППД знайшли широке застосування в різних галузях промисловості.

## Класифікація методів ППД

Відповідно до ГОСТ 18296-72, існує вісім основних груп процесів ППД, які розрізняються за схемою силового впливу на деталь. Найбільшого поширення набули статичні методи, зокрема:

- Дорнування.
- Вигладжування.
- Обкатка.

Статичні методи забезпечують безперервну взаємодію інструменту із заготовлею під час їх відносного руху. Їх популярність обумовлена простотою виконання та стабільністю процесу.

### Вигладжування

Вигладжування — це один із найпростіших і продуктивних способів ППД. Його переваги:

- Досягнення шорсткості  $Ra = 0,32 \dots 0,1$  мкм.
- Підвищення мікротвердості оброблюваного шару.
- Утворення стискаючих залишкових напружень.

Процес алмазного вигладжування є кінематично аналогічним точінню, але замість різця використовується алмазний виглажувач. Він пластично деформує поверхню, вирівнюючи її та зміцнюючи.

### Вплив на довговічність деталей

Поверхневі шари деталей піддаються найбільшим експлуатаційним навантаженням, тому їхні характеристики визначають надійність та довговічність машин. Методи ППД є ефективними для зміцнення поверхневих шарів, що позитивно впливає на:

- Зносостійкість.
- Міцність.
- Герметичність.

Дослідження показали:

- Одинцов Л.Г. встановив, що після 43 000 км пробігу знос поршневих пальців, оброблених алмазним вигладжуванням, був на 60–93% меншим порівняно з необробленими.

- Барац Я.І. запропонував застосування ППД із нанесенням регулярного мікрорельєфу для підвищення властивостей тертьових пар.

### **Регулярний мікрорельєф**

Використання регулярного мікрорельєфу дозволяє покращити експлуатаційні характеристики поверхонь, зокрема герметичність і зносостійкість.

ППД — це прогресивний метод обробки, що підвищує якість поверхонь, збільшує їхню зносостійкість і довговічність. Його застосування забезпечує значний економічний ефект і високу технологічну надійність у масовому та серійному виробництві.

### **Зносостійкість деталей, що працюють на тертя**

Деталі, які працюють на тертя, включають резинOMETALЕВІ пари, наприклад, шийки валів, що контактують із ущільненнями. Для оцінки зносостійкості поверхонь із різними методами обробки (шліфування, полірування, алмазне вигладжування) були проведені випробування зразків зі сталі 40Х.

### **Результати досліджень:**

1. Поверхні, оброблені алмазним вигладжуванням, мають:
  - Знос у 1,5–2 рази менший порівняно з поліруванням.
  - Знос у 5 разів менший порівняно з шліфуванням.
2. Для підвищення довговічності опор бурових доліт і різбових з'єднань застосовують:
  - Деформаційно-електрохімічну обробку, що поєднує ППД і нанесення твердосмазочного покриття.
  - Переваги:
    - Підвищення мікротвердості в 1,5–2 рази.
    - Зменшення інтенсивності зносу на 33–53%.
    - Збільшення контактної витривалості на 54%.

### **Новий підхід до обробки поверхонь**

З метою підвищення довговічності пар тертя запропоновано нанесення антифрикційного композиту методом фрикційного переносу. Особливості:

- Термостійкість покриття до 870 К.



- Позитивний ефект на герметичність і зносостійкість контактуючих поверхонь.

### **Обробно-зміцнюючі методи**

1. Метод обкатки кулькою для незагартованих валів:
  - Забезпечує оптимальний баланс між міцністю та довговічністю.
  - Рекомендується для пар тертя в умовах високих навантажень.
2. Роликове розкочування або створення регулярного мікрорельєфу (РМР) для втулок.
3. Методи, описані Д.Д. Папшевою:
  - Обробка кулькою.
  - Ультразвукове зміцнення.
  - Зміцнення обертовими механічними щітками для сталей і титанових сплавів.

### **Результати для титанових сплавів**

- При зміцненні щітками сплаву ПТЗВ ( $\sigma_B = 650\text{--}900$  МПа):
  - Приріст твердості 15–30%.
  - Товщина зміцненого шару 0,1–0,3 мм.
  - Зниження середнього арифметичного відхилення мікропрофілю в 1,2–1,4 рази.
  - Зменшення зносу на 30–40%.
  - Скорочення часу підробітки в 1,5–2,2 рази.

### **Підвищення довговічності через залишкові напруги**

- Оптимальні поля залишкових напружень підвищують витривалість виробів.

### **Метод термопластичного зміцнення:**

- Включає два етапи:
  1. Визначення температурного поля.
  2. Розрахунок залишкових напруг і пластичних деформацій.

Комбіновані методи зміцнення, такі як ППД, нанесення антифрикційних композитів та термопластичне зміцнення, дозволяють значно підвищити зносостійкість і довговічність деталей машин.

## 3.2 Розробка конструкції прогресивного пристрою для поверхнево-пластичного деформування

Нововведення в технології поверхнево-пластичного деформування

Поверхнево-пластичне деформування (ППД) зазвичай виконується за допомогою ролика або кульки і потребує кількох проходів. Для підвищення ефективності процесу запропоновано нову конструкцію накатної головки (рис. 3.1).

### Конструкція накатної головки

#### 1. Кулька:

- Закріплена у змінному корпусі.
- Оснащена пружиною із розрахованою силою, що залежить від:
  - Глибини накатування.
  - Матеріалу деталі.
- Матеріал кульки: швидкорізальна сталь Р6М5.
- Твердість кульки: 60–63 HRC.
- Функція: забезпечує первинне накатування поверхні.

#### 2. Твердосплавний елемент:

- Розташований у корпусі після кульки.
- Має сферичний кінець із шорсткістю Ra 0,1 мкм.
- Матеріал: сплав ВК8.
- Функція:
  - Згладжування (або «виходжування») поверхні.
  - Забезпечення якісної обробки за один прохід.

Переваги конструкції

#### 1. Зменшення кількості проходів:

- Замість двох етапів обробки виконується один.

#### 2. Покращення якості поверхні:

- Значне зменшення шорсткості.
- Підвищення експлуатаційної надійності деталі.

#### 3. Економічність:

- Скорочення часу обробки.
- Зниження витрат на додаткові інструменти чи проходи.

Запропонована конструкція накатної головки, що об'єднує функції кульки та твердосплавного елемента, є перспективним рішенням для підвищення продуктивності й якості процесу ППД. Її використання дозволить отримувати більш гладку і надійну поверхню, зменшити кількість обробних операцій і підвищити довговічність деталей.

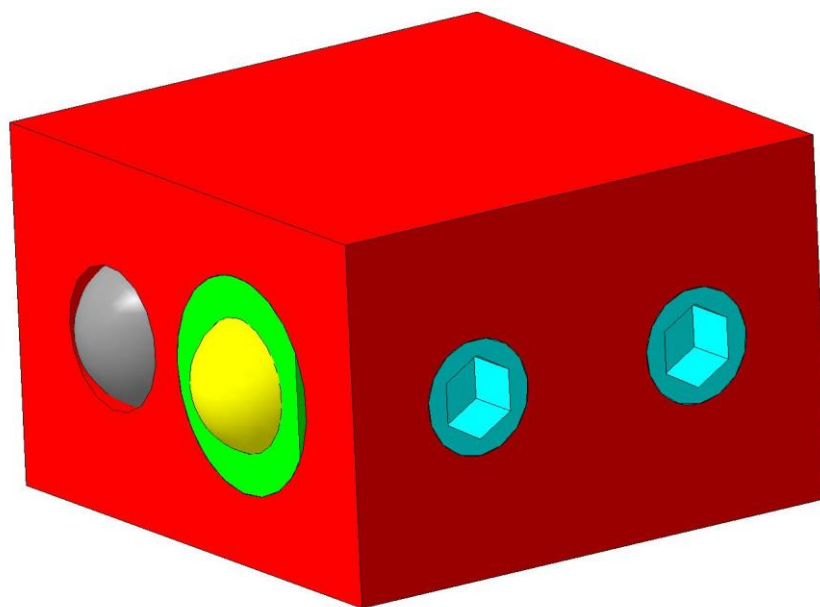


Рисунок 3.1 – Конструкція накатної головки

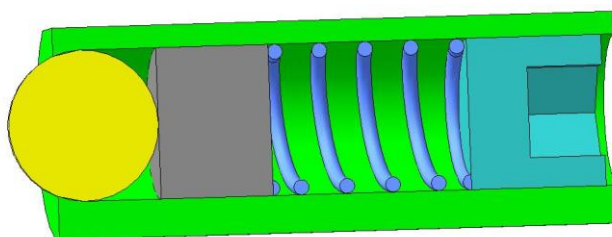


Рисунок 3.2 – Перша ступень накатника

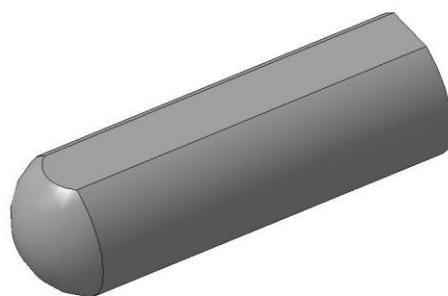


Рисунок 3.3 – Твердосплавний елемент

Для розробленого інструмента необхідно провести аналіз напружено-деформованого стану (НДС) з метою оцінки міцності конструкції. Це передбачає визначення максимальних напружень та їх порівняння з допустимими значеннями для матеріалу. Дослідження НДС дозволяє виявити ділянки з високою концентрацією напружень та потенційні точки руйнування.

Для фіксації призматичного корпусу було обрано метод зовнішнього затиску. За допомогою програмного комплексу ANSYS було проведено чисельне моделювання, в результаті якого отримано розподіл переміщень та напружень у конструкції. Результати розрахунків наведено на рисунках 3.4÷3.8, де представлені схеми навантаження, скінченно-елементна сітка та ізолінії переміщень та напружень.

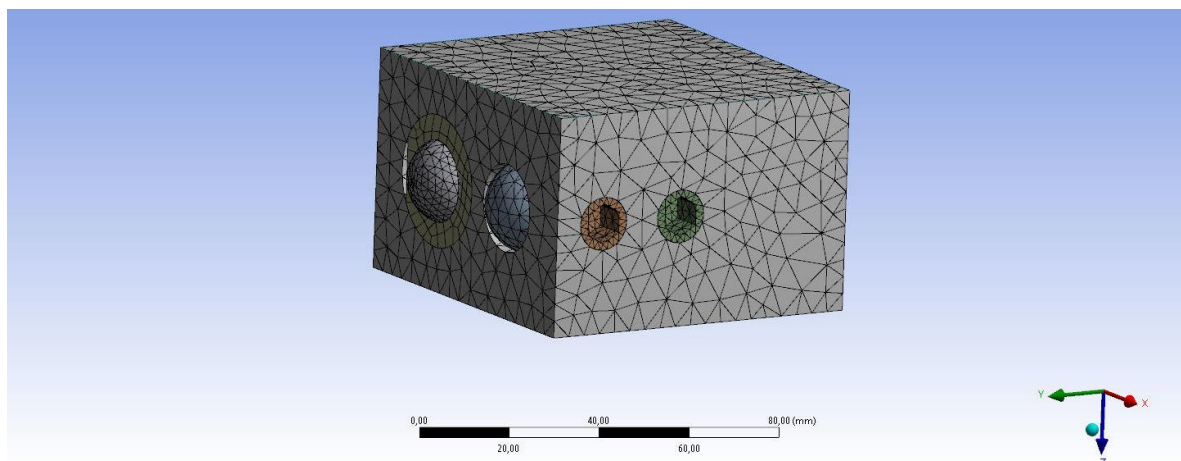
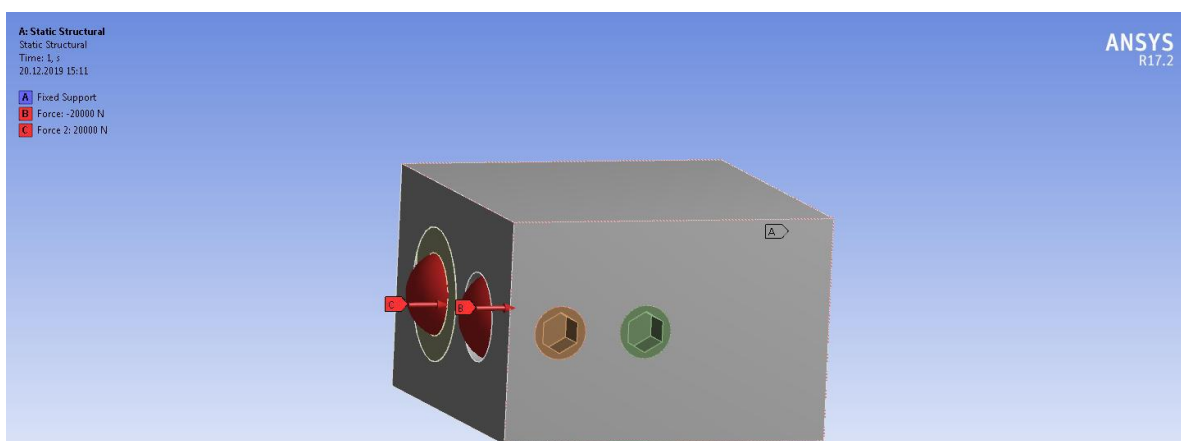


Рисунок 3.4 – Скінченно елементна сітка накатної головки



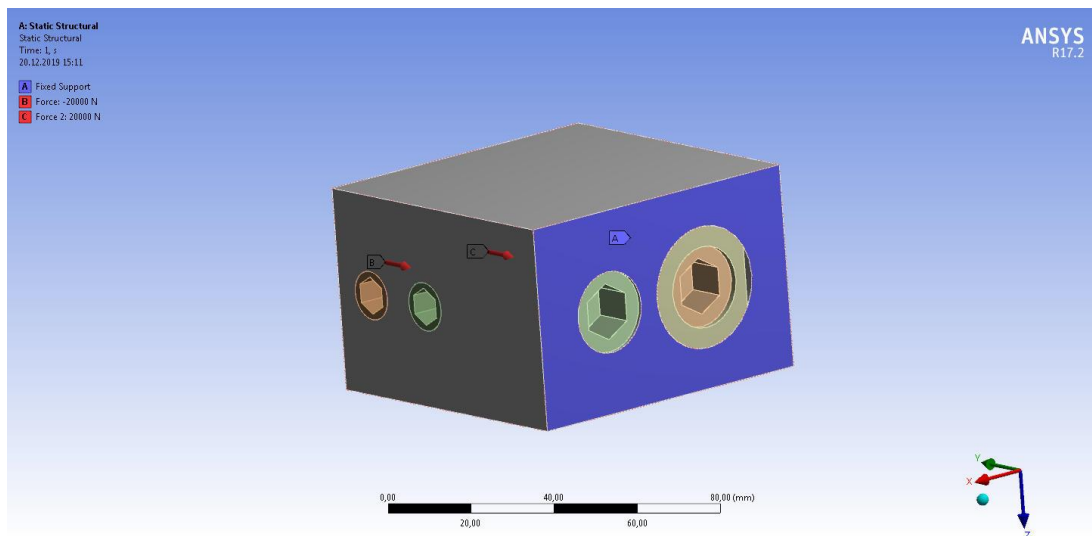


Рисунок 3.5 – Схема навантажень

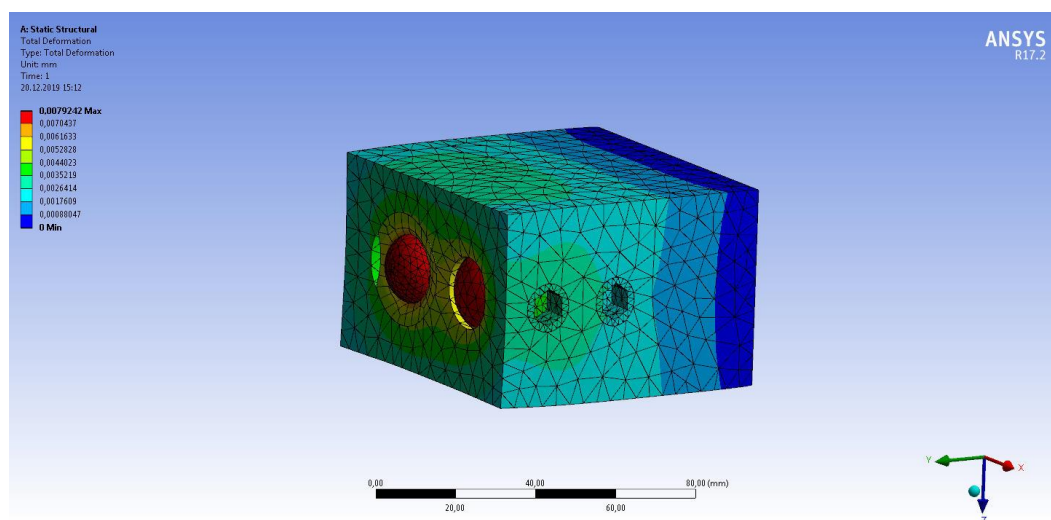


Рисунок 3.6 – Загальні переміщення елементів

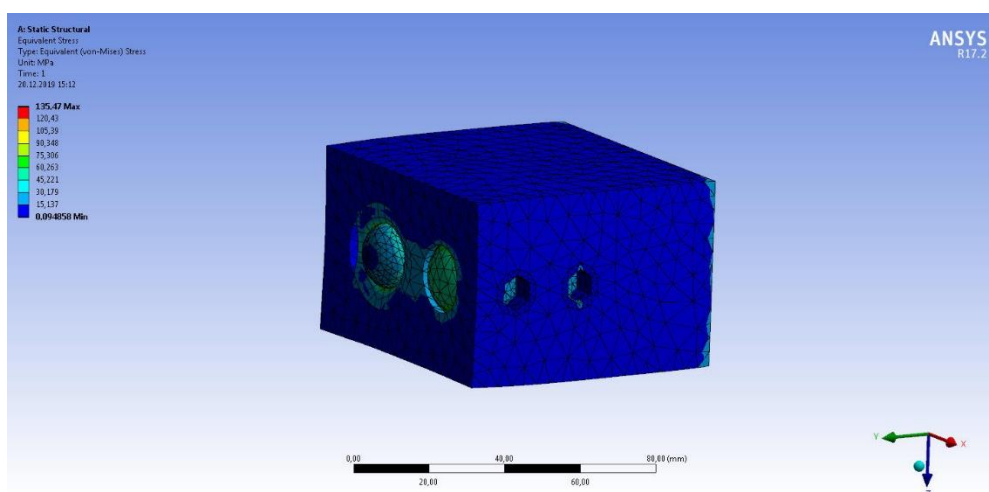


Рисунок 3.7 – Напруження елементів накатної оправки

Результати розрахунків свідчать про те, що деформації елементів оправки не перевищують допустимого значення 0,015 мм, а максимальні напруження не

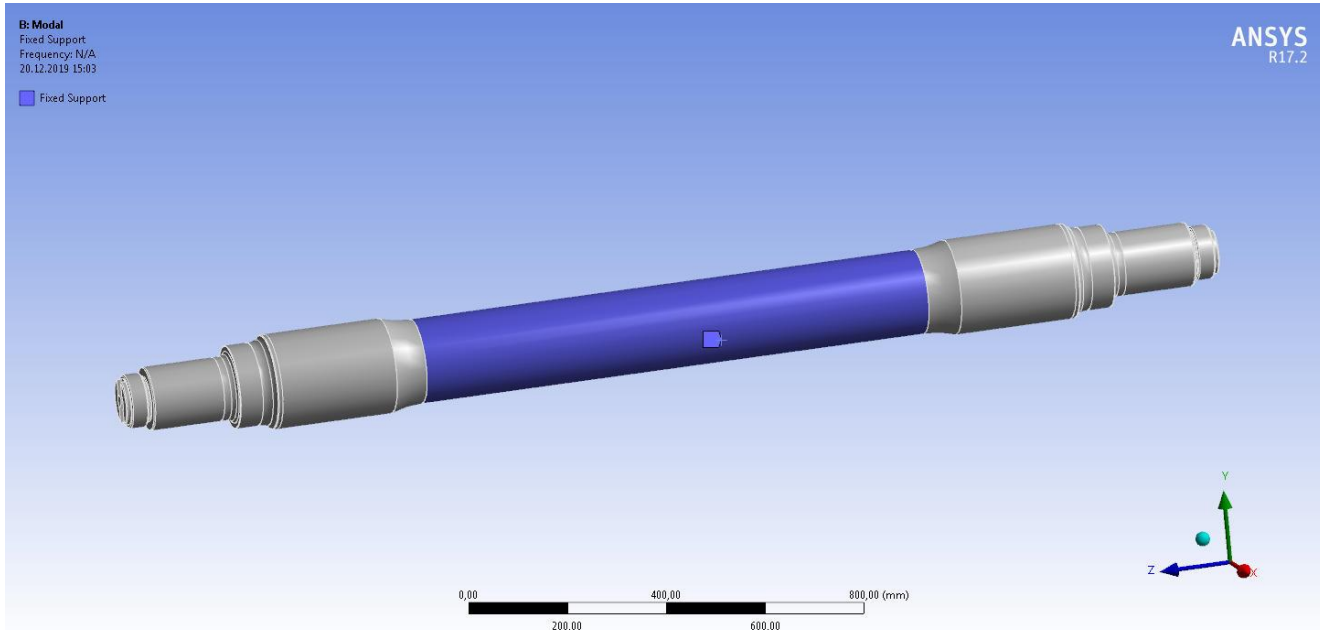
досягають критичного рівня 135 МПа. Це вказує на те, що конструкція оправки повністю відповідає вимогам міцності та жорсткості, що дозволяє використовувати її для обробки деталей з матеріалів, для яких зазначені значення є нормою.

### **3.3 Модальний аналіз верстатного пристрою**

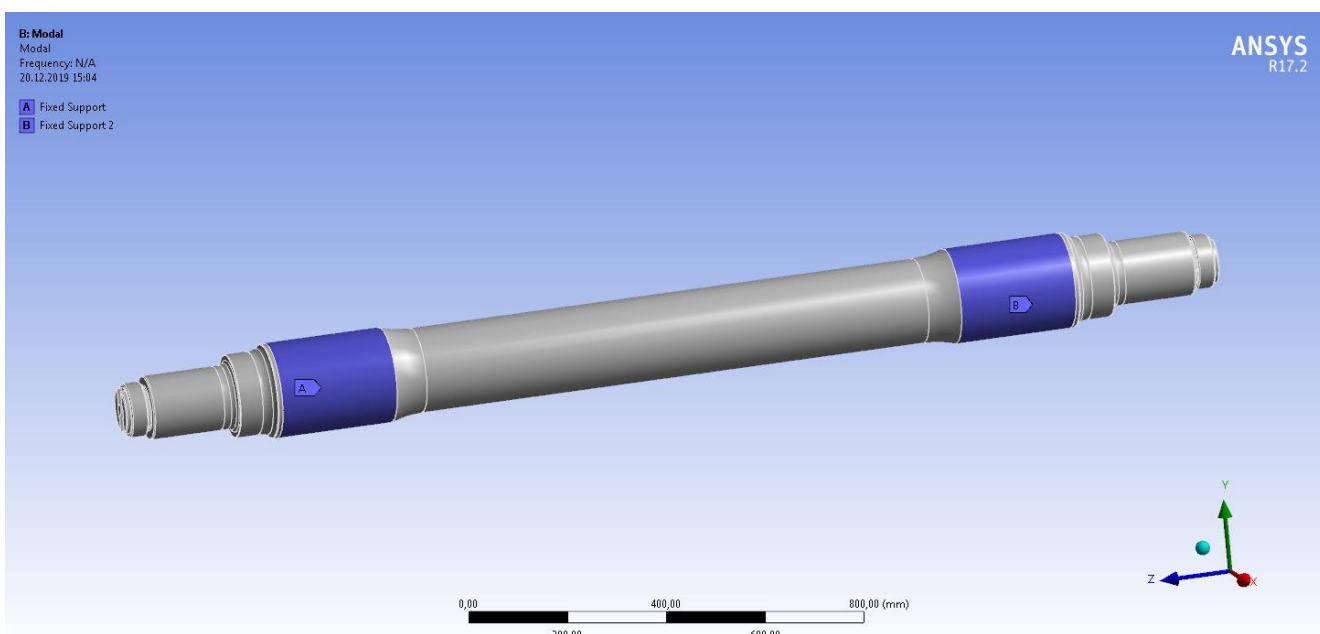
Оскільки деталь «Задня ось» має значне співвідношення довжини до діаметра, вона виявляє недостатню жорсткість. Це створює ризик виникнення резонансних коливань під час процесу накатування, що може негативно вплинути на якість обробки та довговічність інструмента. Для уникнення цього явища необхідно забезпечити, щоб частота обертання деталі не збігалася з її власними частотами коливань. З цією метою за допомогою модуля Modal Analysis в ANSYS Workbench було проведено аналіз вібраційних характеристик деталі «Задня ось». Отримані дані про власні частоти дозволили підібрати оптимальний режим роботи верстата, при якому резонанс виключений.

Для детального аналізу впливу способу закріплення на вібраційні характеристики деталі «Задня ось» було розглянуто два варіанти: одноточкове закріплення за допомогою одного люнета, розташованого в центрі деталі, та двоточкове закріплення за допомогою двох люнетів, встановлених на шийках.

Результати модального аналізу для кожного з варіантів закріплення наведено у таблицях 3.1 та 3.2, а відповідні форми власних коливань проілюстровано на рисунках 3.10÷3.12 для першого варіанту та 3.13÷3.15 для другого. Схеми розташування люнетів для обох варіантів закріплення подано на рисунках 3.8 та 3.9 відповідно.



з одним люнетом



з двома люнетами

Рисунок 3.8 – Схема закріплення з одним та двома люнетами

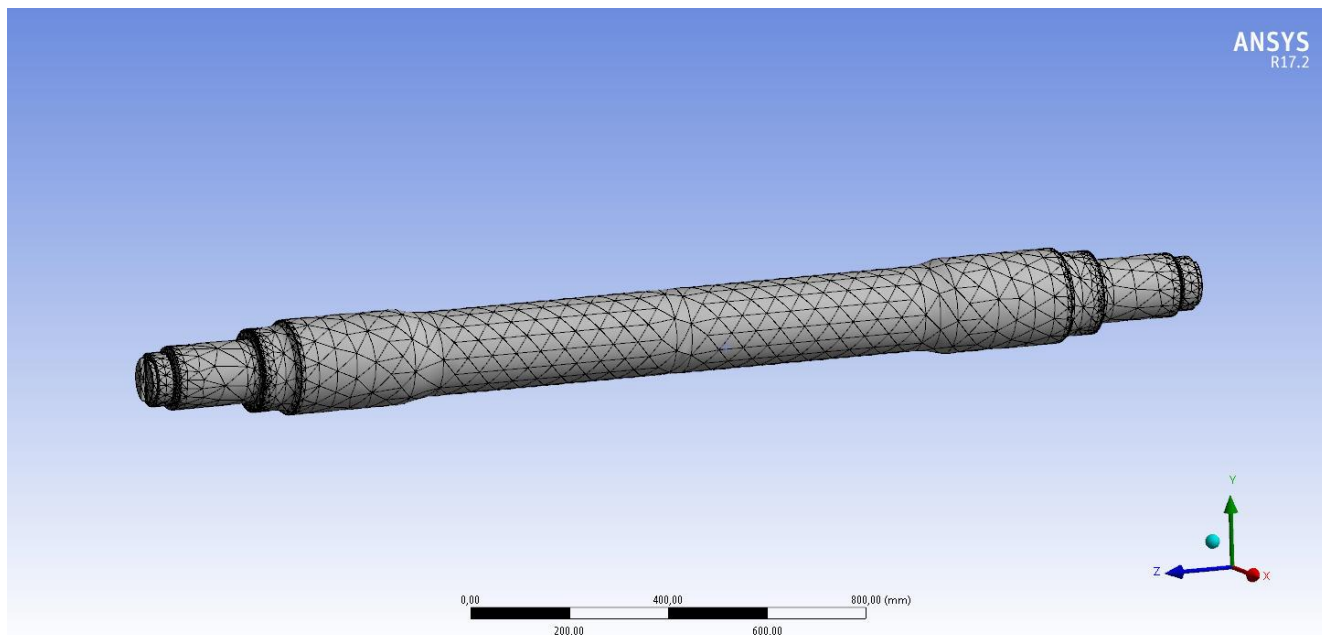


Рисунок 3.9 – Скінчноелементна сітка осі

Результати аналізу дозволяють за необхідності відлаштуватися від резонансу.

Таблиця 3.1 – Порівняльна таблиця частот власних коливань (1-й варіант)

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота обертання деталі при накатуванні, Гц
439	440	441	20

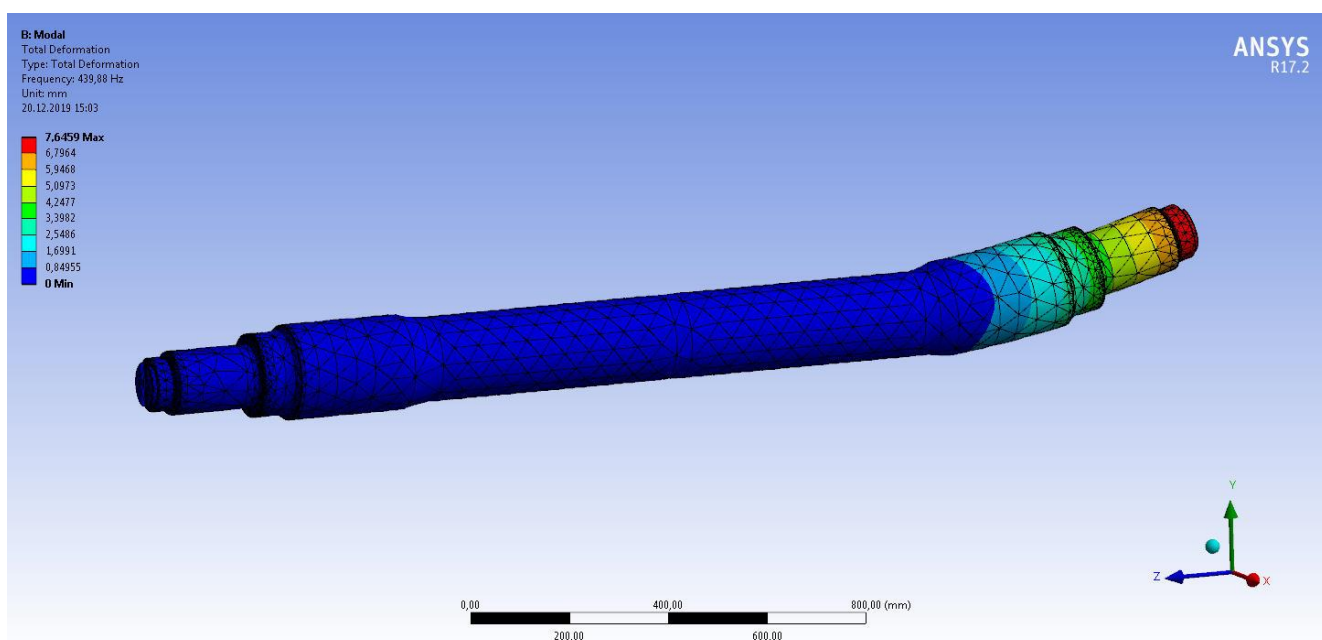


Рисунок 3.10 – Ілюстрація 1-шої частоти (1-й варіант закріплення)



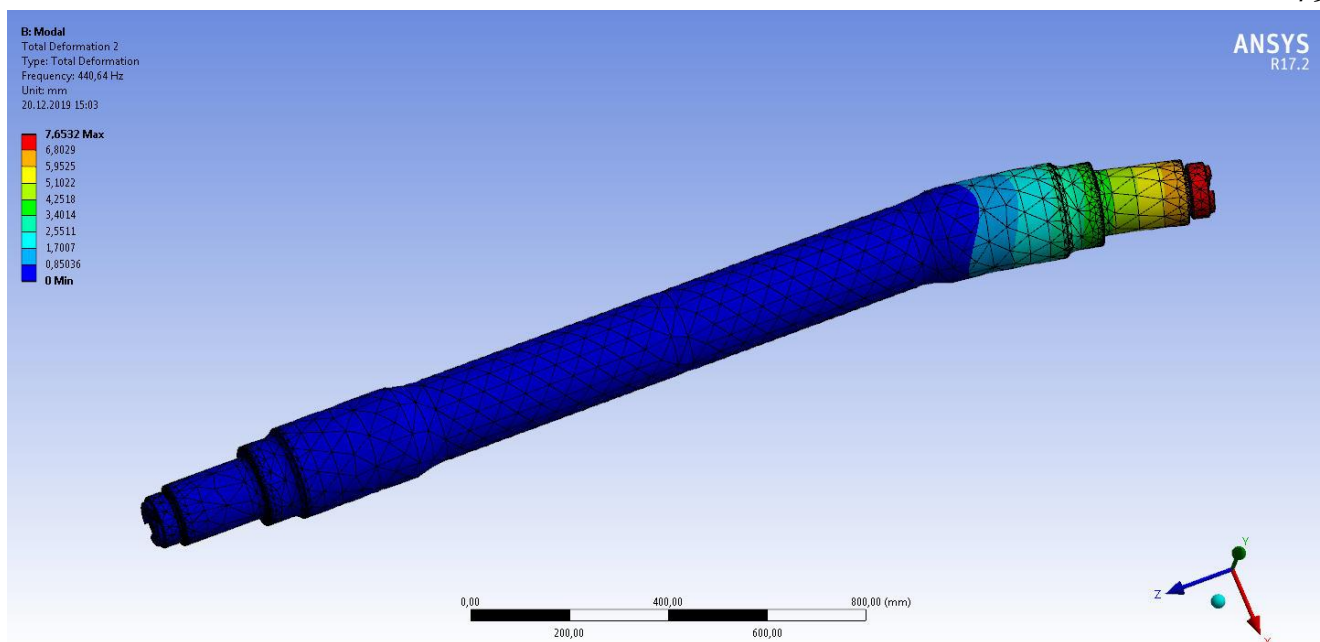


Рисунок 3.11 – Ілюстрація 2-ї частоти (1-й варіант закріплення)

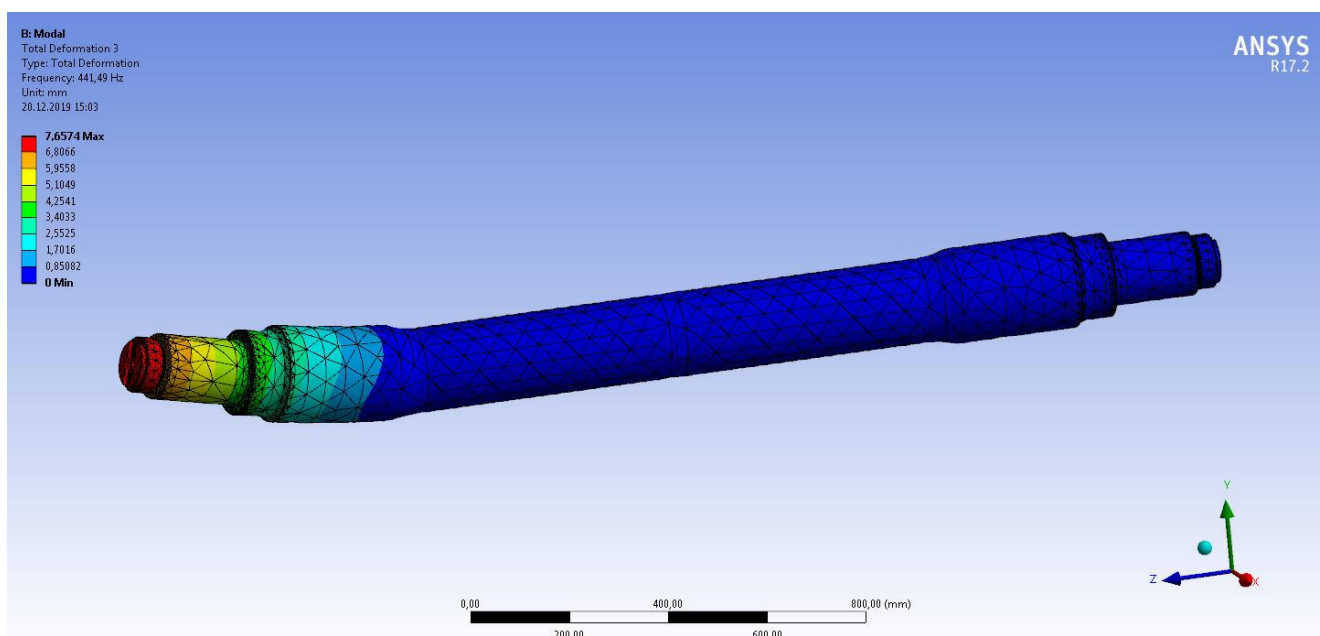


Рисунок 3.12 – Ілюстрація 3-ї частоти (1-й варіант закріплення)

Таблиця 3.2 – Порівняльна таблиця частот власних коливань (2-й варіант)

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота Гц	Частота обертання деталі при накатуванні, Гц
506	506	1253	20

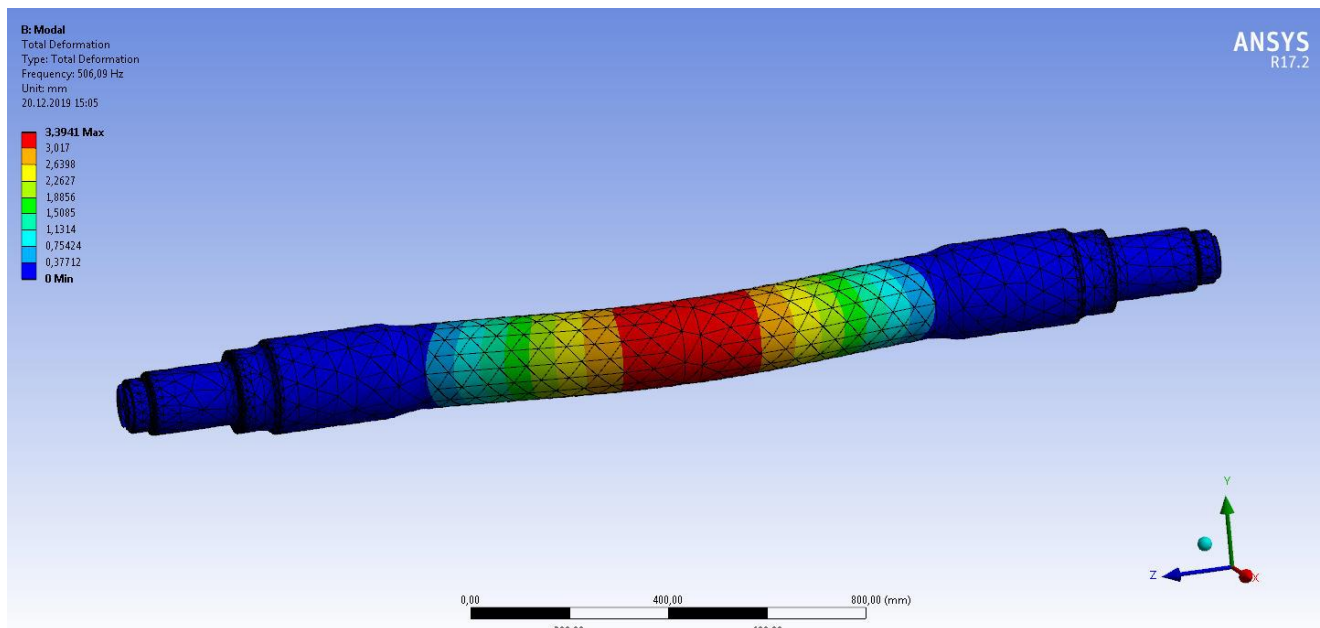


Рисунок 3.13 – Ілюстрація 1-шої частоти (2-й варіант закріплення)

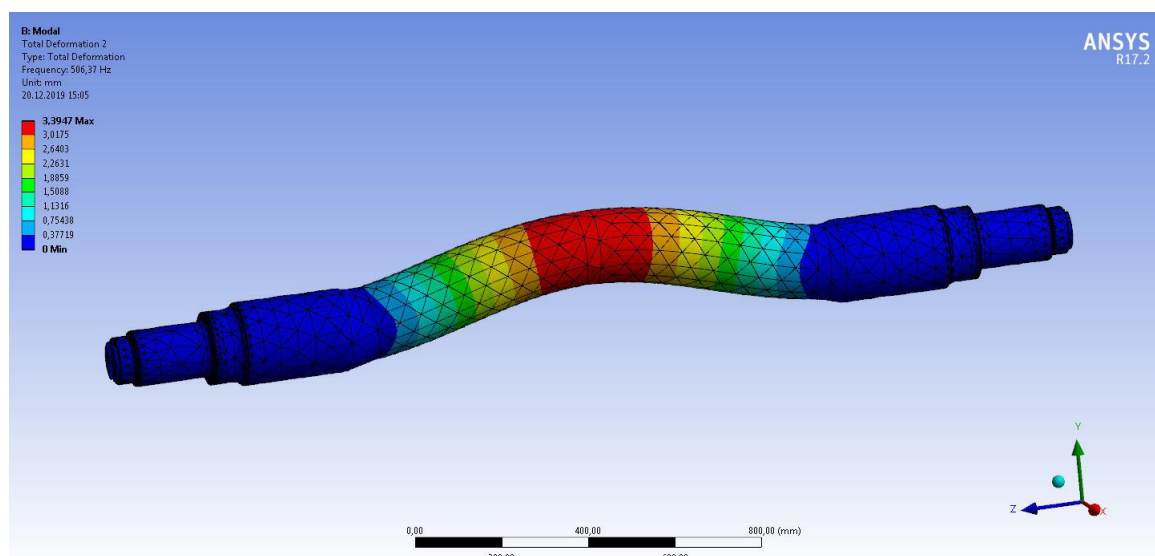


Рисунок 3.14 – Ілюстрація 2-ї частоти (2-й варіант закріплення)

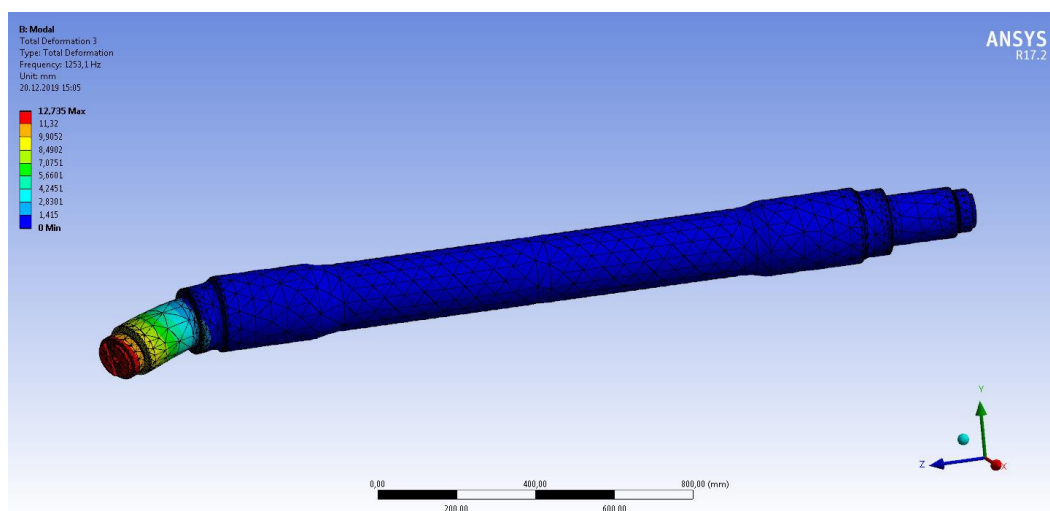


Рисунок 3.15 – Ілюстрація 3-ї частоти (2-й варіант закріплення)

Аналіз даних, наведених у таблицях 3.1 та 3.2, свідчить про відсутність ризику виникнення резонансних явищ під час процесу накатування для обох розглянутих схем закріплення деталі «Ось». Перші критичні частоти коливань, які становлять 439 Гц та 506 Гц відповідно, суттєво перевищують робочу частоту процесу накатування (20 Гц). Це свідчить про достатню жорсткість конструкції та відсутність необхідності коригувати параметри технологічного процесу.

### **3.4 Висновок**

1. Проведений аналіз сучасних технологій проектування та застосування верстатних пристроїв, а також теоретичних основ фрезерної обробки дозволив сформулювати вимоги до удосконаленого пневматичного верстатного пристрою. На основі отриманих результатів було розроблено нову конструкцію, яка відповідає сучасним вимогам виробництва.

2. З урахуванням сучасних алгоритмів проектування та рекомендацій щодо оптимізації верстатних пристроїв було розроблено нову конструкцію для виконання фрезерно-центрувальних операцій. Для детального аналізу та подальших досліджень створено тривимірну комп'ютерну модель розробленого пристрою.

3. За допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench було проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану та модальний аналіз розробленого верстатного пристрою. Результати моделювання показали, що введення вікна в конструкції прихвату не призведе до зниження міцності, але дозволить зменшити масу виробу. На основі отриманих даних було внесено відповідні зміни до конструкторської документації. Максимальні значення напружень і переміщень у конструкції не перевищують допустимих норм.

4. Проведені дослідження підтвердили відсутність резонансних явищ у конструкції верстатного пристрою. Це дозволяє зробити висновок про те, що розроблений пристрій забезпечить необхідну точність та продуктивність при виконанні технологічних операцій.

## ВИСНОВКИ

Тема дипломного проекту – удосконалення технологічного процесу виготовлення задньої осі ОВ1000.02-001 шляхом інтенсифікації обробки поверхонь низької шорсткості.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано наступний обсяг робіт.

Під час аналізу службового призначення деталі було детально вивчено її геометричні характеристики, матеріал, а також взаємодію з іншими елементами машини. Було проведено комплексне дослідження технологічності конструкції згідно з вимогами Єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПШ). Крім того, було виконано поглиблений аналіз технічних вимог до деталі, включаючи вивчення властивостей сталі 0сВ та порівняння вимог конструктора із загальноприйнятими стандартами.

Був визначений тип виробництва – дрібносерійний і визначена партія запуску.

В якості заготовки була прийнята поковка кована на пресах, так як альтернативи даному способу в заданих виробничих умовах і при великих габаритах деталі немає.

Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою методу професора Кована на найбільш точну зовнішню циліндричну поверхню.

Існуючий технологічний процес виготовлення деталі був ретельно проаналізований та оптимізований шляхом зміни послідовності операцій та заміни універсального обладнання на сучасні верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). Було спроектовано спеціалізований верстатний пристрій для виконання операції горизонтального розточування на верстаті з ЧПК. Для токарних та круглошліфувальних операцій розроблені детальні технологічні карти.

В рамках науково-дослідної частини було проведено розрахунок міцності накатної головки та визначено її граничні характеристики. Крім того, виконаний модальний аналіз деталі, що дозволив встановити відсутність ризику виникнення резонансних явищ під час процесу накатування.

У розділі «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» виконано розрахунок освітленості робочої зони, який дозволяє забезпечити сприятливі для робітників умови.

**СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

16. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // *Computer-Aided Design*. – 2014. – Vol. 46. – P. 160–169.
17. Finite element modelling and analysis of workpiece-fixture system / N. M. Kumbhar, G. S. Patil, S. S. Mohite, M. A. Sutar // *International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering*. – 2012. – Vol. 2. – P. 60–65.
18. Asante J. N. A combined contact elasticity and finite element-based model for contact load and pressure distribution calculation in a frictional workpiece-fixture system / J. N. Asante // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2008. – Vol. 39. – P. 578–588.
19. Multi-objective optimization design of a fixture layout considering locator displacement and force–deformation / Z.Liu, M. Wang, K. Wang, X. Mei // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2012. – Vol. 67. – P. 1267–1279.
20. Machining fixture layout design for milling operation using FEA, ANN and RSM / M.Vasundara, K. P. Padmahaban, M. Sabareeswaran, N. RajGanesh // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 38. – P. 1693–1703.
21. Li B. Optimal Fixture Design Accounting for the Effect of Workpiece Dynamics / B. Li, S. Melkote // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2001. – Vol. 28. – P. 701–707.
22. Nalbandh A. H. Fixture design optimization using genetic algorithm-a review / A. H. Nalbandh, C. C. Rajyaguru // *Journal of information, knowledge and research in mechanical engineering*. – 2013. – Vol. 2. – P. 466–471.
23. Amaral N. Finite Element Analysis Study on Fixtured Workpiece Deformation: Bachelor of Science Thesis – Worcester, USA, 2000. – 109 p.
24. Papastathis T. N. Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2010.
25. Zheng Z. Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2018.
26. Clamping force optimization for minimum deformation of workpiece by dynamic analysis of workpiece-fixture system / S.Selvakumar, K. P. Arulshri,



K. P. Padmanaban, K. S. Sasikumar // World Applied Sciences Journal. – 2019. – Vol. 9. – P. 614–626.

27. Machining fixture layout design for milling operation using FEA, ANN and RSM / M. Vasundara, K. P. Padmanaban, M. Sabareeswaran, M. RajGanesh // Procedia Engineering. – 2022, Vol. 38. P. 1693–1703.

28. Experimental and numerical fretting fatigue using a new test fixture / S. L. Sunde, B. Haugen, F. Berto // International Journal of Fatigue. – 2021, Vol. 143. P. 106011–106025.