

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 корпусу  
оправки СПЗ12.00.56-001 шляхом розроблення верстатного  
пристрою для комплексної з ЧПК операції»

Здобувача групи

ТМ.м-31

(шифр групи)

Соловйова Дениса Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

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

Денис СОЛОВЙОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

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

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

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

(підпис)

Суми – 2024

**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) <small>(назва)</small>
Спеціальність	131 – прикладна механіка <small>(шифр і назва)</small>
Освітня програма	технології машинобудування <small>(назва освітньої програми, за наявності)</small>

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року

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

**Соловйов Денис Андрійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу

виготовлення корпусу оправки СПЗ12.00.56-001 шляхом розроблення верстатного пристрою для комплексної з ЧПК операції»

керівник проекту Дегтярьов Іван Михайлович канд. техн. наук, доцент, 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 «Корпус оправки СПЗ12.00.56-001».

Типовий технологічний процес виготовлення деталі корпусу оправки.

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

розробити)

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.
2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.
3. Проектування верстатного пристрою для комплексної з ЧПК операції.
4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «25» вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Аналіз первинної інформації про деталь	01.10.2024	
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	15.10.2024	
3	Розроблення верстатного пристрою	01.11.2024	
4	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	01.12.2024	
5	Формулювання загальних висновків	10.12.2024	
6	Підготовка доповіді	12.12.2024	
7	Підготовка презентації	12.12.2024	
8	Оформлення роботи	14.12.2024	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Денис СОЛОВЙОВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи (проекту)**

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Іван ДЕГТЯРЬОВ**

\_\_\_\_\_ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 114 сторінках, включає 20 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 14 джерел.

Питання підвищення точності, якості обробки та продуктивності завжди залишаються актуальними для машинобудування. Застосування багатокординатних верстатів із ЧПК набуває все більшого поширення в останні роки, адже дозволяє застосовувати їх для оброблення складнопрофільних поверхонь з високою точністю за одне установлення, отже дослідження багатокординатного оброблення складнопрофільних деталей являє собою актуальну наукову і практичну задачу.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу оправки СПЗ12.00.56-001 шляхом розроблення верстатного пристрою для комплексної з ЧПК операції.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі корпусу оправки.

**Предмет дослідження** – верстатний пристрій для оброблення деталі корпусу оправки.

**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 – пакет ANSYS.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, КОРПУС ОПРАВКИ, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ, БАЗУВАННЯ

## **ABSTRACT**

The explanatory note was made on 114 pages, includes 20 figures, 12 tables, bibliographies from 14 sources.

The question of improving accuracy, processing quality, and productivity remains relevant in mechanical engineering. The use of multi-axis CNC machines has become increasingly widespread in recent years, as they allow for the processing of complex surfaces with high accuracy in a single setup, therefore, the study of multi-axis machining of complex parts is a relevant scientific and practical task.

The aim of the study is to improve the technological process of manufacturing the mandrel body CII312.00.56-001 by developing a machine fixture for a complex CNC operation.

The object of the study is the technological process of manufacturing the jig body part.

The subject of the study is a machine fixture for machining the jig body part.

Research methods. The work was carried out using modern principles of mechanical engineering technology and the design of advanced technological processes using CNC machines, cutting tools with replaceable indexable inserts, and advanced 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 ANSYS package.

**TECHNOLOGICAL PROCESS, MANDREL BODY, MACHINE FIXTURE,  
FIXTURING**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації .....	6
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....	10
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва .....	14
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	15
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	17
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	26
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	28
2.1 Вибір оптимального маршруту оброблення деталі .....	28
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки ...	31
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання .....	36
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення .....	43
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	48
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів .....	51
2.7 Розрахунок режимів різання .....	53
2.8 Технічне нормування операцій.....	63
2.9 Проектування засобів технологічного оснащення .....	65
2.10 Висновки .....	75
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	77
3.1 Особливості оброблення складнопрофільних поверхонь.....	77

3.2 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерний аналіз .....	78
3.3 Аналіз власних частот верстатного пристрою .....	83
3.4 Висновки .....	86
ВИСНОВКИ.....	87
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	88

## ВСТУП

**Актуальність теми.** У сучасному машинобудуванні особливий акцент робиться на впровадженні новітніх технологій і обладнання в усіх сферах промисловості для стимулювання науково-технічного прогресу країни. Перехід України до ринкової економіки спричинив підвищення попиту на якісну, надійну та конкурентоспроможну продукцію, що виробляється підприємствами машинобудівного комплексу та інших галузей. Задля досягнення цієї мети підприємства активно інтегрують сучасні технології та високопродуктивне обладнання.

Значного значення у цьому контексті набуває застосування верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК), які демонструють низку переваг у порівнянні з традиційним універсальним обладнанням, а саме:

- продуктивність верстатів із ЧПК зростає у 1,5–5 разів порівняно з верстатами ручного управління;
- поєднується універсальність обладнання з високою точністю та продуктивністю автоматизованих верстатів;
- відбувається модернізація машинобудування на основі сучасної електроніки й обчислювальної техніки;
- зменшується потреба у висококваліфікованих робітниках, переносячи акцент на інженерну працю;
- скорочуються терміни підготовки виробництва завдяки використанню універсальної оснастки й централізованої розробки програм;
- забезпечується взаємозамінність деталей, що мінімізує пригоночні роботи під час складання;
- зменшується час виготовлення деталей і обсяг незавершеного виробництва.

На основі існуючого заводського технологічного процесу, з урахуванням змін типу виробництва, було розроблено вдосконалений техпроцес. У ньому реалізовано прогресивні методи отримання заготовок, сучасне обладнання, а також нові ріжучі та вимірювальні інструменти. В межах роботи виконано нормування операцій механічної обробки, а також створено керуючі програми для верстатів із



ЧПК. Особливу увагу приділено вдосконаленню технології виготовлення свердильної головки, зокрема деталі «Корпус оправки» СПЗ12.00.56-001. Усе це обґрунтовує актуальність розгляду цього питання в дипломному проєкті.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу оправки СПЗ12.00.56-001 шляхом розроблення верстатного пристрою для комплексної з ЧПК операції.

**Об'єкт дослідження** – технологічний процес виготовлення деталі корпусу оправки.

**Предмет дослідження** – верстатний пристрій для оброблення деталі корпусу оправки.

**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 – пакет ANSYS.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Не має.

**Публікації.** Не має.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 114 сторінок, у тому числі 20 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 154 джерел на двох сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Глибоке свердління – це спеціалізована технологія, яка дозволяє створювати отвори малого або великого діаметра (від 1 мм до 1500 мм) з глибиною, що у кілька разів перевищує діаметр отвору. Зокрема, це співвідношення може досягати понад 200:1. Інструмент, який застосовується для глибокого свердління, зазвичай складається з подовжувача у вигляді стебла (часто трубчастої форми) та головки з однією або кількома ріжучими пластинами.

Важливою перевагою цієї методики є постійна подача мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) під тиском, яка одночасно забезпечує ефективне охолодження та видалення стружки. Це дозволяє свердлити отвори значної глибини без необхідності переривання процесу для очищення. Таким чином, свердло не виймається з отвору, а стружка відводиться автоматично.

##### Основні способи глибокого свердління

- Технологія ВТА (або STS): цей метод використовує однотрубну систему, у якій МОР подається у кільцевий зазор між інструментом і стінками отвору. Видалення стружки відбувається через внутрішній канал інструмента.
- Ежекторний метод: відрізняється конструкцією інструмента, що складається з двох концентричних труб. Рідина подається між трубами, охолоджуючи головку, а потім разом зі стружкою повертається через внутрішню трубу.

Технологія ВТА передбачає використання спеціального пристрою для подачі МОР, що забезпечує ефективне видалення стружки навіть під час свердління глибоких отворів.

##### Ежекторне глибоке свердління

Ежекторний метод глибокого свердління є модифікацією технології ВТА. У

цьому способі використовують свердло зі стеблом, що складається з двох концентричних труб: зовнішньої та внутрішньої. Мастильно-охолоджувальна рідина (МОР) подається через пристрій подачі в кільцевий зазор між цими трубами. Попадаючи до зони свердління, МОР омиває зовнішню поверхню головки, охолоджуючи її. Потім рідина разом зі стружкою повертається через внутрішню трубу, яка виконує функцію каналу для відведення.

Для свердління за технологією ВТА застосовують спеціалізовані інструменти, що суттєво відрізняються від стандартних, таких як спіральні свердла або однокромочні інструменти. Конструкція таких свердел включає:

- Свердлильну головку, яка обертається навколо своєї осі та оснащена різальною частиною з однією або кількома ріжучими пластинами.
- Порожнистий канал усередині головки для зворотного руху МОР і стружки.
- Ріжучі пластини, розташовані асиметрично щодо осі обертання. Вони можуть бути змінними (кріпляться за допомогою гвинтів або затискачів) або стаціонарно закріпленими. Для свердел малого діаметра часто застосовують припаяні ріжучі вставки.

#### Конструкція ріжучих пластин

Ріжуча пластина має клиноподібну форму, що створює високе тиск на матеріал заготовки. Основні елементи пластини включають:

- Головну ріжучу кромку, яка виконує більшу частину різання.
- Допоміжну ріжучу кромку, що утворює перехід до вершини різця.
- Передню поверхню, по якій сходять стружка.
- Скіс ріжучої кромки, утворений передньою та задньою поверхнями.

Область перетину головної та допоміжної кромки називається вершиною різця, яка зазвичай має невеликий радіус. Ця геометрія забезпечує ефективність процесу різання, стабільність стружкоутворення та довговічність інструменту.

У процесі свердління механічна обробка проводиться за рахунок різального руху по колу, тобто взаємного переміщення по колу інструменту і заготовки при

наявності руху подачі в напрямку осі обертання. Ріжучі пластини в інструменті для глибокого свердління за технологією ВТА завжди розташовуються таким чином, щоб їх передня поверхня прилягала до стружкоприємному отвору. Стружка збирається в цей отвір і разом з МОР виноситься з цього від

Головка свердлильного інструменту для глибокого свердління призначена для автоматичного центрування всередині виконуваного отвору. Для цього на корпусі свердлильної головки, зовні в зоні свердління, встановлено направляючі планки або опорні пластини. Ці елементи розташовані паралельно осі обертання й мають зовнішні контактні зони, що забезпечують стабільну опору. Контактні зони, разом із допоміжною ріжучою кромкою (або її передньою частиною в напрямку подачі), сприяють точному напрямленню головки в отворі.

Щоб зменшити сили тертя між внутрішньою поверхнею отвору та направляючими планками або допоміжною ріжучою кромкою, їх оснащують витонченими ділянками або затилковками. Закруглені елементи (зазвичай із радіусом меншим за радіус отвору) допомагають знизити зношування, а їхня конусність дозволяє направляти свердлильну головку лише в передній зоні. За наявності двох направляючих планок формується дві точки опори, а округлена зона створює третю.

#### Аналіз конструкції свердлильної головки

Запропонована деталь — корпус головки — є основною складовою свердлильного інструменту, що використовується на великогабаритних токарних верстатах (типи 16K50, 1A660, 1A670 тощо). Також її можна встановлювати на вертикально-свердлильні верстати (2Г175) або вертикально-фрезерні консольні верстати (тип 6P13) для обробки отворів у складних для обробки матеріалах.

Зазвичай встановлення свердлильної головки здійснюється шляхом нагвинчування її на оправку за допомогою спеціального ключа, після чого оправка кріпиться до шпинделя верстата. Максимальна глибина оброблюваного отвору обмежена довжиною інструменту (до 160 мм). Для створення більш глибоких отворів (до 6000 мм) застосовують спеціальні подовжувальні вставки.

Свердлильна головка розроблена для роботи з твердими й важкооброблюваними матеріалами. Для цього вона може бути оснащена твердосплавними ріжучими пластинами з таких матеріалів, як ВК8, ВК10, ТТ17К9, ТТ7К12, ТТ21К9 та інших, залежно від завдань.

Виріб складається з таких деталей як: корпус (2) - головна деталь у виробі до якої кріпляться три ріжучі пластини (3,4), також в комплект збірки входять три спеціальних гвинта М5-7Н (6) і чотири гвинти М6-7Н (8). У комплект збірки також входять напрямні, які поділяються на чотири опорних направляючих (1) одну направляючу (7). Зі стандартних виробів для збірки необхідний болт М4х10 ГОСТ 7805-70. Даними головками свердлять дуже глибокі отвори (до 6000мм) на підприємстві ДП «УБіВТ».

При свердлінні глибоких отворів діаметром 80 мм виникають дуже великі сили різання і високі температури в зоні різання, які негативно впливають на ріжучу частину інструменту.

Для зменшення шкідливого впливу цих факторів на деталі «Корпус оправки» є канали для підведення мастильно-охолоджувальної рідини і відведення стружки із зони різання. При роботі в таких умовах не дивно, що до виробу і деталей пред'являються такі вимоги як дуже жорсткі допуски на виконавчі і приєднувальні розміри (6-7квалітет), тому що при складанні головки сверлильної необхідно врахувати розташування різальних крайок пластин, яке передбачено конструкторами для отримання обробленого отвору Ø80 мм.

Деталь «Корпус оправки» в виробі головка сверлильна призначена для кріплення на передньому кінці ріжучих пластин, які повинні при правильному закріпленні забезпечувати розмір 80-0,03 мм. Також деталь має в своєму активі всі базові поверхні необхідні для правильного базування виробу на вертикально-свердлильних, вертикально-фрезерних і токарних верстатах за допомогою спеціальної оправлення. Також «Корпус» призначений для підведення мастильно-охолоджувальної рідини в зону різання і виведення стружки.

Умови експлуатації.

Деталь «Корпус оправки» при роботі в вузлі відчуває ударні і циклічні навантаження, які виникають у момент свердління. Навантаження сприймають витки різи, що працюють на зминання та зріз.

Деталь при роботі знаходиться у мастильно-охолоджуваній рідині, що полегшує контактний тиск на поверхні та зменшує зношування різальних пластин.

Деталь і виріб, також як верстат цілому експлуатується в помірних умовах в діапазоні температур від  $-25$  до  $+35$  °С.

Сама деталь і виріб при роботі створюють шум на рівні 60-70 Дб.

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

Основними поверхнями на деталі є:

- Розточування  $\varnothing 71^{+0,03}$  мм, яка є посадковим місцем при кріпленні виробу на оправлення.

- Різьба з кроком  $P = 40$  мм, за рахунок якої деталь утримується на оправці. Утримання відбувається за рахунок великої площі контакту витків різьби «Корпусу» з витками різьби оправки.

Конструкція виробу та склад деталей

Свердлильна головка складається з таких основних елементів:

- Корпус оправки (2) — головна деталь, до якої кріпляться три різучі пластини (3, 4).
- Комплект збірки включає:
  - Три спеціальних гвинти М5-7Н (6);
  - Чотири гвинти М6-7Н (8);
  - Чотири опорні напрямні (1);
  - Одну допоміжну напрямну (7).
- Для монтажу використовуються стандартні болти М4х10 згідно ГОСТ 7805-70.

Дані головки застосовуються для створення дуже глибоких отворів (до 6000 мм) у важкооброблюваних матеріалах на підприємстві ДП «УБіВТ».

Робота в умовах високих навантажень

При свердлінні отворів діаметром 80 мм в зоні різання виникають:

- Високі температури;
- Значні сили різання, які впливають на ріжучі елементи.

Щоб зменшити вплив цих факторів, конструкція «Корпусу» передбачає канали для:

- Подачі мастильно-охолоджувальної рідини (МОР) в зону різання;
- Виведення стружки.

Для забезпечення точності обробки та правильного розташування ріжучих пластин, у виробі дотримуються жорсткі допуски (6–7 квалітет) на виконувальні й приєднувальні розміри. Це дозволяє отримувати оброблені отвори діаметром  $\varnothing 80 \pm 0,03$  мм.

Функції «Корпусу оправки»

1. Кріплення ріжучих пластин:

○ Забезпечує правильну фіксацію пластин, щоб досягти необхідної точності обробки.

2. Базування виробу:

○ Має базові поверхні, що дозволяють коректно встановлювати головку на вертикально-свердлильних, вертикально-фрезерних і токарних верстатах.

3. Забезпечення охолодження та виведення стружки:

Канали «Корпусу оправки» спрямовані на ефективну подачу МОР і відведення стружки.

Умови експлуатації

- Навантаження:
  - Деталь зазнає ударних і циклічних навантажень під час свердління.
  - Основні зусилля припадають на витки різі, що працюють на зминання й зріз.

- Робоче середовище:
  - Постійний контакт із МОР зменшує тиск і зношування ріжучих елементів.
- Температурний діапазон:
  - Виріб працює за температури від  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Рівень шуму:
  - Головка створює шум на рівні 60–70 дБ.

Допоміжними поверхнями на даній деталі є: - Поверхні трьох пазів шпон, два з яких оброблені по шостому квалітету і один з дванадцятого квалітету точності. Вони необхідні для кріплення трьох напрямних. Напрявні необхідні, для того щоб уникнути відведення «Головки свердлильної» при роботі. - Три місця під пластини є також допоміжними поверхнями, так як вони визначають положення пластин в процесі роботи виробу. Місця кріплення пластин мають жорсткі вимоги по точності і шорсткості. Виконавчими поверхнями на деталі виступаю різьбові отвори М6-7Н і М4-7Н, призначені для утримування напрямних і пластин в пазах за допомогою гвинтів.

Опис допоміжних і виконавчих поверхонь деталі:

#### 1. Допоміжні поверхні:

Поверхні трьох пазів під шпонки:

Два паза виконані з точністю шостого квалітету, один — з точністю дванадцятого квалітету.

▪ Ці поверхні забезпечують кріплення трьох напрямних, які запобігають відведенню свердлильної головки під час роботи.

◦ Три місця для кріплення пластин:

▪ Визначають точне положення ріжучих пластин під час обробки.

▪ Поверхні мають жорсткі вимоги до точності обробки та шорсткості, щоб забезпечити надійність і стабільність закріплення пластин.

#### 2. Виконавчі поверхні:

◦ Різьбові отвори:



- М6-7Н і М4-7Н, призначені для фіксації напрямних і пластин у пазах.
- Ці отвори є ключовими елементами для забезпечення функціональності вузла, утримуючи деталі на місці за допомогою гвинтів.

Вільні поверхні на деталі це:

- Вікна R8 і R18мм, необхідні для подачі МОР і відведення стружки.
- Внутрішня циліндрична поверхня Ø50 і шорсткістю Ra6,3.
- Канавка, шириною 16 мм, необхідна для виходу нарізного різця.
- Лиски, шириною 16 мм, які необхідні для закріплення виробу на верстаті.

Решта поверхонь є вільними, тобто виготовляються з допуском 14-го квалітету.

Матеріалом деталі «Корпус оправки» є сталь 40Х, яка містить 0,4% вуглецю і 1% хрому. Матеріали замітники – сталь 38ХА, сталь 40ХН, сталь 40ХФА, сталь 45Х, сталь 50Х дані про фізико-механічні властивості яких наведені в таблиці, а про хімічний склад в таблиці 1.5 [3].

Згідно з технічними вимогами, які вказані на кресленні деталі «Корпус» необхідно виконати деталь з твердістю 40...44HRC.

Другим пунктом в технічних вимогах повинно було б бути зазначено, що не вказані граничні відхилення розмірів на кресленні деталі необхідно обробляти з точністю 14-го квалітету. Всі отвори або охоплюють поверхні з полем допуску Н14, всі вали або охоплюються поверхні з полем допуску h14, а всі лінійні розміри з допуском 14-го квалітету і полем допуску симетричним в обидві сторони щодо номінального розміру, таким чином спростилося би креслення.

Третім пунктом у вимогах ставиться, що розміри та кромки у каналах необхідно притупити радіусом не більше 5 мм.

Четвертим пунктом зазначається необхідність покрити деталь Хім. окс. прм за ГОСТ 9.305-85.

П'ятим пунктом зазначається необхідність виконання розмірів за довідками. Ці розміри не контролюються, а перевіряються умовно.

Шостим пунктом вказано необхідність виконати розміри гнізд, забезпечивши розташування ріжучих кромок згідно схеми.

Присутність на деталі жорстких допусків форми і розташування поверхонь роблять її нетехнологічною за цим показником. Допуски, що проставлені на кресленні досягаються на шліфувальній операції.

На деталі є декілька нетехнологічних конструктивних елементів, а саме шпонокві пази та отвір на циліндричній поверхні. Для отримання їхв умовах дрібносерійного виробництва доцільно застосовувати верстати з ЧПК та спеціальні верстатні пристрої.

Способи отримання заготовки можуть бути лише пластичне деформування, так як у технічних вимогах вказана група поковок.

В цілому ж креслення виконане з усіма вимогами ЄСКД, за винятком деяких неточностей зазначених вище. На кресленні досить видів і розрізів для подання форми деталі і можливості її виготовлення, також вказані всі розміри.

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

Тип виробництва за ГОСТ 3.1108 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій  $K_{з.о.}$ , який показує відношення всіх різних технологічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць.

Оскільки в завданні вказано тип виробництва — дрібносерійний, то форму організації робіт вибираємо групову. Ця форма характерна для дрібносерійного та середньосерійного типів виробництва. Заготовки обробляються невеликими партіями, однак час обробки не погоджено.

Дрібносерійне виробництво є підвидом серійного виробництва, яке є основним типом сучасного машинобудівного виробництва. Підприємства цього типу випускають близько 70% продукції машинобудування країни. Воно характеризується тим, що заготовки для нього в основному отримуються методом кування або

лиття в піщано-глинисті форми (рідше точне лиття або штампування). Для цього використовуються як універсальні, так і спеціалізовані верстати. Широко застосовуються верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК). В дрібносерійному виробництві організація робіт зазвичай групова, з розміщенням устаткування по технологічним групам, враховуючи розташування цехів. Ріжучий інструмент може бути як стандартним, так і спеціальним, для обробки поверхонь з великою номенклатурою або складною конструкцією. Мірятьний інструмент також може бути стандартним або виготовленим на замовлення.

Середня кваліфікація робітників у такому виробництві вища, ніж у масовому, але нижча, ніж у одиничному. Тут працюють як висококваліфіковані фахівці, які працюють на складних універсальних верстатах, так і робітники, що виконують налаштування верстатів.

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

Оцінка технологічності деталі за якісними показниками є:

- оцінка по технологічності матеріалу, з якого виготовлена деталь. Дана деталь виготовлена зі сталі марки 40Х, хімічний склад наведено. Матеріалом заміником для цієї сталі є сталь 45, яка близька до вихідного матеріалу за хімічним складом і фізико-механічними властивостями.

Вартість даного матеріалу невисока, так як сталь легована лише 1% хрому. Даний матеріал не є дефіцитним, що добре для постачальників.

Вартість даного матеріалу невисока, так як сталь легована лише 1% хрому. Даний матеріал не є дефіцитним, що добре для постачальників.

Існує два критерії оцінки технологічності - це кількісний і якісний критерії.

До якісного критерію належать такі показники:

- Матеріал деталі.
- Базування і закріплення деталі.
- Проставлення розмірів.
- Допуски форми і взаємного розташування.

- Конструктивні нетехнологічні елементи.
- Можливі способи отримання заготовки.

Дослідження матеріалів, які можуть замінити сталь 40Х, вказує на достатній рівень технологічності деталі за цим критерієм. Однак, аналіз технологічного процесу виявив недоліки в системі базування та закріплення деталі на дев'яти з п'ятнадцяти операцій, що негативно впливає на загальну технологічність. Система розміроутворення, заснована на проставленні розмірів від правого торця, є зручною для контролю та унеможливорює накопичення похибок. Використання різноманітних вимірювальних інструментів (штангельциркуля, калібрів, мікрометрів тощо) підтверджує цей висновок.

Однак, наявність жорстких допусків на форму та взаємне розташування поверхонь (торцеве биття 0,016 мм, співвісність 0,016 мм, площинність 0,01 мм) ускладнює технологічний процес і вимагає застосування високоточних методів обробки.

На деталі існує багато нетехнологічних конструктивних елементів:

- три шпонкових паза: 2 паза і 1 паз 12Н12;
- різьбові отвори розташовані на лівому торці деталі під кутом  $5^\circ$  до осі;
- різьблення з кроком  $P = 40\text{мм}$ ;
- заокруглення різного радіусу R18 і R8мм;
- складні в обробці місця під пластини.

Аналіз можливих технологічних процесів виготовлення заготовки деталі (ковка, прокат, лиття, штампування на молотах та гідравлічних пресах) показав, що найбільш ефективним є штампування на гідравлічному пресі. Цей метод дозволяє значно зменшити кількість відходів матеріалу, скоротити тривалість механічної обробки та підвищити стійкість інструменту. Широкий спектр можливих технологічних процесів свідчить про високий рівень технологічності деталі. Загалом, конструкція деталі відповідає сучасним вимогам технологічності і на даному етапі розвитку виробництва не потребує суттєвої доробки без погіршення її функціональних характеристик.

Таблиця 1.1 - Значення квалітетів точності і шорсткості.

Найменування поверхні	Кількість	Точність	Шорсткість
1. Зовнішні циліндричні			
Ø76	1	6	0,8
2. Внутрішні циліндричні			
Ø50	1	14	6,3
Ø71	1	7	0,8
Ø66,2	1	7	0,8
Ø70,6	1	7	1,6
3. Інші			
Довжина 165	2	14	1,6
Торець 140	1	14	6,3
Канавка 16	2	14	6,3
Торець 5	1	14	6,3
Ухил 5°	1	14	6,3
Ухил 20°	1	14	6,3
Фаска 0,2×45°	3	14	6,3
2 паза по 16			
Бокові поверхні	4	6	1,6
Дно	2	14	1,6
Паз 12Н12			
Бокові поверхні	2	12	1,6
Дно	1	14	1,6
Різь с шагом 40	1	14	1,6
Різь М4-7Н	2	14	3,2
Різь М6-7Н	4	14	3,2
Радіуси R3	6	14	1,6
Радіуси R8и R18	2	14	6,3

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі здійснювався на основі маршрутного технологічного процесу, наведеного в таблиці 1.2. Першою операцією є точіння зовнішнього діаметра заготовки, який надалі використовується

як базова поверхня для всіх наступних операцій.

Маршрутний технологічний процес включає такі операції: точіння, свердління, розточування, нарізання різьби, шліфування. Для виконання кожної операції використовуються відповідні інструменти та обладнання, а також встановлюються необхідні допуски та шорсткість поверхні. Такий підхід до побудови технологічного процесу відповідає загальноприйнятій послідовності технологічних переходів і забезпечує високу точність виготовлення деталі.

Таблиця 1.2 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Корпус оправки»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	Молот М 132
010	Термічна	Термічна піч
015	Токарно-гвинторізна	16К20
020	Контрольна	Стіл ВТК
025	Токарно-гвинторізна	16К20
030	Горизонтально-розточувальна	2622
035	Розміточна	Розміточна плита
040	Вертикально-фрезерна	6Р13
045	Координатно-розточувальна	2Е450
050	Круглошліфувальна	3М150
055	Слюсарна	Слюсарний стіл
060	Контрольна	Стіл ВТК

#### 005 Заготівельна

На ВАТ СНВО в якості заготовки використовується кована заготовка, отримана в цеху №19 на кувальному молоті М132.

Допоміжні інструменти: кліщі ТП98.

Отримана заготовка при цьому є циліндр з розмірами  $\varnothing 82 \times 2$  мм довжиною 186 мм, маса поковки 7,9 кг.

010 Термічна (отжиг)

Нагрівання заготовки до температури 800-850 ° С і охолодження в печі.

Устаткування: Газова піч Г-134.

Техоснастка: кліщі ТП - 98.

015 Контроль ВТК

На даній операції на приладі типу Роквелла вимірюється твердість заготовки і перевіряється марка стали.

Техоснастка: прилад типу Роквелла, зразки твердості.

020 Токарно - гвинторізний (чорнова)

На даній операції використовується обладнання: токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.

Базування (на першому установі): деталь базується в прямих кулачках при цьому виникне подвійна напрямна база, позбавляє деталь 4-х ступенів свободи. На другому установі деталь базується в довгих марнування кулачках при цьому виникне подвійна напрямна база, позбавляє деталь чотирьох ступенів свободи і опорна база (торець деталі) позбавляє деталь одного ступеня свободи.

Техоснастка: трьохкулачковий патрон  $d250$  мм 7102-0071-2-1 ГОСТ24351-80, кулачки калені, кулачки сирі розточені на довжину 80 і  $d 80$  мм.

Допоміжний інструмент: патрон свердлильний ГОСТ14077-80.

На даній операції виробляється чорнова обробка деталі з припуском 3 мм під термообробку. Обробка ведеться з двох встановивши.

На першому установі застосовується ріжучий інструмент: різець прохідний упорний MCLCR2525K12 з матеріалу Т5К10.

На другому установі застосовують наступний різальний інструмент: різець прохідний упорний MCLCR2525K12 з матеріалу Т5К10, свердло центровоч-ве  $\varnothing 4$  мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ14952-75, спіральне свердло  $\varnothing 42$  мм

ГОСТ10903-77, прохідний упорний розточний різець S25RMCKCR12 з твердого сплаву Т5К10.

Як вимірювального інструмента на операції використовують: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2ГОСТ 166-89 і лінійка ШП 250x5 по ГОСТ 8026-75.

025 Контроль ВТК

Контроль всіх розмірів.

Обладнання: стіл ОТК.

Міряльний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89 і лінійка ШП 250x5 по ГОСТ 8026-75.

030 Маркувальна

Маркувати номер замовлення, номер листа, номер позиції ударним способом шрифтом 3 ... 5 ГОСТ 2930 - 62.

Обладнання: стіл ОТК, набір клейм, молоток ГОСТ 2310 - 77.

035 Координатно-розточна з ЧПУ

На даній операції використовується координатно-розточний з ЧПУ верстат моделі 2E450AФ1.

Базування: на даній операції деталь базується в спеціальному пристосуванні, таким чином на циліндричній поверхні виникає подвійна напрямна база, а на торці - опорна.

Техоснастка: пристосування спеціальне.

Допоміжний інструмент: оправлення для фрези П5-1284.

На даній операції відбувається фрезерування двох вікон в розміри R8, R18мм за програмою.

Ріжучий інструмент: кінцева фреза Ø5 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ18372-73 і свердло спіральне Ø6 зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ10903-77.

Вимірювальний інструмент: для контролю радіусів вікон R8мм і R18мм застосовують шаблони R8мм і R18мм ГОСТ4126-86.

040 Контроль ВТК



Контроль розмірів вікон.

Обладнання: стіл ОТК.

Вимірювальний інструмент: шаблони R8мм і R18мм ГОСТ4126-86.

045 Термічна (гартування)

На даній операції заготовка нагрівається до температури 550°- 600°С і занурюється у ванну з гарячою олією, де і відбувається загартування до твердості 40 ... 42HRC.

Техоснастка: Газова піч Г-134, кліщі ТП - 98, ємність з гарячою мінеральною олією (100 °).

050 Контроль ВТК

Візуальний контроль після термообробки.

055 Токарно-гвинторізний (напівчистова)

Операція виконується на токарно-гвинторізний верстаті моделі 16К20.

Базування деталі на даній операції відбувається в довгих марнування кулачках при цьому на циліндричній поверхні виникне подвійна напрямна база і опорна база (торець деталі).

Техоснастка: патрон трикулачні d250 мм 7102-0071-2-1 ГОСТ24351-80, кулачки довгі, розточені на діаметр 80 і довжину 60мм.

Допоміжний інструмент: патрон свердлильний ГОСТ14077-80.

На даній операції виробляється остаточна обробка поверхонь 12-14 квалітетів, зацентровка деталі, а також напівчистова обробка поверхонь деталі вимагають подальшої механічної обробки. Обробка ведеться на двох установах.

На першому установі застосовується ріжучий інструмент: прохідний упорний різець MCLCR2525K12 з матеріалу T15K6, свердло центровочне Ø4 мм зі швидкорізальної сталі P6M5 ГОСТ14952-75.

На другому установі застосовується ріжучий інструмент: різець прохідний упорний MCLCR2525K12 з матеріалу T15K6, прохідний упорний розточний різець S25RMCKCR12 з твердого сплаву T15K6, спеціальний канавковий різець (довжина ріжучої кромки 5 мм) з твердого сплаву T5K10, спеціальний різець.

### 080 Контроль ВТК

Контроль проміжних розмірів пазів.

Обладнання: стіл ОТК.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89, шаблони радісно ГОСТ4126-86.

### 085 Круглошліфувальна

Устаткування: круглошліфувальний верстат моделі 3М151.

Базування: на даній операції деталь позбавляється 5-ти ступенів свободи, базами будуть - подвійна направляюча - вісь деталі (позбавляє деталь 4-х ступенів свободи). Опорна база-жорсткий центр позбавляє деталь одного ступеня свободи.

Техоснастка: центр жорсткий ГОСТ2575-79, центр обертовий грибковий ГОСТ8742-75. Для передачі крутного моменту використовують планшайбу з пальцем.

На даній операції виробляється шліфування зовнішнього діаметра 76h6.

Ріжучий інструмент: шліфувальний круг Е950С1К5ПП150х20х50 ГОСТ 2424-83.

Вимірювальний інструмент: зразки шорсткості ГОСТ9378-75, індикатор годинникового типу ІЧ02 кл.0 ГОСТ517-68 з ціною поділки 0,005 мм і калібр скоба для перевірки діаметра 76h6 ГОСТ 18362-73.

### 090 Контроль ВТК

Контроль розміру  $\varnothing 76h6$ .

Обладнання: стіл ОТК.

Вимірювальний інструмент: калібр-скоба  $\varnothing 76h6$  ГОСТ18362-73, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75.

### 095 Токарно-гвинторізна (чистова)

Обладнання: токарно-гвинторізний верстат моделі 16К20.

Базування: на даній операції деталь базується в довгих розточених кулачках при цьому на діаметрі 76h6 виникне подвійна напрямна база, а на торці - опорна база.

Техоснастка: патрон трикулачні d250 мм 7102-0071-2-1 ГОСТ24351-80, кулачки довгі сирі розточені на діаметр 76 і довжину 70 мм.

На даній операції виробляється розточування Ø71H7 і фаски 0,2x45°.

Ріжучий інструмент: розточний прохідний упорний різець S25RMCKCR12 з твердого сплаву Т30К4.

Вимірювальний інструмент: калібр - пробка Ø71H7 ГОСТ14812 - 69, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75.

100 Контроль ВТК

Контроль розміру Ø71H7.

Обладнання: стіл ОТК.

Мірятьний інструмент: калібр - пробка Ø71H7 ГОСТ14812 - 69, зразки шорсткості ГОСТ 9378-75.

105 Координатно розточна чистова

Устаткування: координатно-розточний верстат моделі 2Д450.

Базування: на даній операції деталь позбавляється всіх шести ступенів свободи (на першій позиції), а саме основною базою буде подвійна напрямна база (зовнішня циліндрична поверхня деталі), опорна база -торец деталі (позбавляє деталь одного ступеня свободи) і друга опорна база виникає при наявності спеціальної оправлення, яка позбавляє деталь одного ступеня свободи.

Техоснастка: пристосування спеціальне з УЛДГ 200.

Допоміжний інструмент: оправлення для фрези П5-1284.

На даній операції виробляється остаточне фрезерування пазів в розміри з креслення.

Ріжучий інструмент: кінцева фреза Ø6 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ17378-73.

Вимірювальний інструмент: калібр - пробки пазові на 16 і 12H12 ГОСТ24120-80, шаблони радісно ГОСТ4126-86, штангенциркуль

ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89.

110 Контроль ВТК

Контроль остаточних розмірів пазів.

Техоснастка: стіл ОТК.

Вимірювальний інструмент: калібр - пробки пазові на 16 і 12Н12 ГОСТ24120-80, шаблони радісно ГОСТ4126-86, штангенциркуль

ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89.

115 Координатно-розточна з ЧПК

Устаткування: координатно-розточний верстат з ЧПУ 2E450AФ1.

Базування: на даній операції деталь базується в патрон спеціального делительного пристрої з упором в торець деталі, таким чином на циліндричній поверхні виникає подвійна напрямна база (позбавляє деталь чотирьох ступенів свободи), а на торці - опорна (позбавляє деталь одного ступеня свободи). При введенні в одне з вікон спеціальної оправлення там також виникає опорна база.

Техоснастка: пристосування зі спеціальним ділильним пристроєм і можливістю повороту.

Допоміжний інструмент: патрон свердильний ГОСТ14077-80, оправка для фрези П5-1284.

На цій операції проводиться фрезерування 3-х місць під пластини, свердління отворів під різьбу і отворів в місцях кріплення пластин.

Ріжучий інструмент: кінцева фреза Ø4 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ17378-73, свердла спіральні з циліндричним хвостовиком діаметрами 3,3 мм і 5 мм ГОСТ10903-77.

Вимірювальний інструмент: шаблон спеціальний для вимірювання форми місця під пластини, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89.

120 Контроль ВТК

Контроль всіх розмірів.

Обладнання: стіл ОТК.

Міряльний інструмент: шаблон спеціальний для вимірювання форми місця під пластини, штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1-2 ГОСТ 166-89.

125 Слюсарна

Устаткування: слюсарний верстак.

Техоснастка: установчі призми ГОСТ12195-66, коміречь для мітчиків, молоток слюсарний ГОСТ2310-77.

На даній операції виробляється нарізання різьби М4-7Н і М6-7Н і доведення необхідної чистоти в пазах і місцях під пластини, а також маркування деталі.

– Ріжучий інструмент: мітчик М4-7Н з Р6М5.

Порівняння маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі з типовим показало незначні відмінності в послідовності операцій та виборі інструментів. Однак, аналіз рівня прогресивності технологічних методів виявив, що використання верстата ТВ200 не дозволяє досягти необхідної продуктивності та точності обробки.

Заміна верстата ТВ200 на сучасний верстат з ЧПК16Р30Ф3 дозволить значно скоротити час обробки за рахунок автоматизації процесу та підвищення швидкості подачі. Крім того, підвищиться точність обробки завдяки високій жорсткості верстата та можливості використання програмного забезпечення для компенсації інструментальних зношувальних. Очікується, що час обробки деталі скоротиться на 30%, а точність розмірів збільшиться на 20%.

Незважаючи на значні капіталовкладення, пов'язані з модернізацією обладнання, очікувана економічна ефективність від впровадження верстата з ЧПК дозволить окупити витрати протягом [вказати період]. Крім того, підвищення якості продукції та скорочення виробничого циклу сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

Аналіз вимірювального інструмента, яким проводиться контроль точності обробки, показав, що деякі параметри, такі як радіальне биття отворів, в базовому технологічному процесі не контролюються. Виходячи з цього необхідно розробити контрольний-вимірювальний пристосування для контролю радіального биття отворів.

Проводячи аналіз рівня механізації і автоматизації технологічного процесу можна зробити висновок, що в ньому практично не використовується пристрої.

Виходячи з цього, рекомендується розробити кілька пристроїв. Зокрема можна розробити пристрій для кріплення деталі на обробному центрі з ЧПК операцію з пневматичним затискачем, також можна розробити пневматичний пристрій для затиску деталі на токарній операції.

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

На кресленні деталі «Корпус оправки» присутні наступні допуски:

- допуск площинності днища (місця кріплення пластин) 0,01 мм, який досягається при обробці фрезеруванням на координатно-розточувальному з ЧПК верстаті, за рахунок базування і жорсткості системи ВПД.

- допуск співвісності поверхні  $\varnothing 66,2$  мм, який дорівнює 0,016 мм щодо бази А, яка є віссю деталі можна досягти шляхом базування деталі в довгих марнування кулачках, причому основною базою буде подвійна напрямна база  $\varnothing 76,5$  мм, а допоміжної - опорна база (лівий торець деталі).

- допуск співвісності поверхні  $\varnothing 76$ , який дорівнює 0,016 мм щодо бази А, що є віссю деталі можна досягти шляхом базування деталі в центрах на шліфувальній операції, причому основною базою буде подвійна напрямна база - вісь деталі, а допоміжної - опорна база (лівий торець деталі) .

- допуск торцевого биття правого торця деталі щодо бази А, який дорівнює 0,02 мм досягається шляхом обробки деталі на одному установе, але так як це неможливо здійснити по техпроцесу він досягається базуванням за вже оброблену поверхню  $\varnothing 76h6$  але досягається побічно.

- допуск радіального биття поверхні  $\varnothing 71H7$  щодо бази А, який дорівнює 0,02 досягається шляхом обробки деталі на одному установе, але так як це неможливо здійснити по техпроцесу він досягається базуванням за вже оброблену поверхню  $\varnothing 76h6$  але досягається побічно.

Твердість деталі (40 ... 44HRC) досягається загартуванням шляхом нагрівання до температури 550°-600° з подальшим охолодженням в гарячому маслі.

Проведений аналіз технологічного процесу виявив ряд недоліків, які негативно впливають на ефективність виробництва. Для усунення цих недоліків необхідно провести комплекс заходів з модернізації виробництва. Перш за все, слід розробити новий технологічний процес, заснований на використанні сучасних верстатів з числовим програмним керуванням. Це дозволить автоматизувати виробництво, підвищити точність обробки та скоротити час циклу.

Крім того, необхідно розробити прогресивну заготовку з мінімальними припусками. Це дозволить зменшити витрати матеріалу та підвищити ефективність виробництва. Важливим аспектом є також оптимізація порядку розташування баз на механічних операціях. Це забезпечить стабільність розмірів деталей та знизить ризик виникнення дефектів.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Вибір оптимального маршруту оброблення деталі

Основою для розробки технологічного процесу слугують відомі типові послідовності обробки подібних деталей. Однак, часто виникає необхідність прийняти рішення щодо оптимальної структури операцій, особливо коли окремі етапи обробки не можуть бути виконані за одну установку заготовки.

При цьому слід враховувати такі важливі аспекти: поетапність обробки (від чорнових до чистових операцій), пріоритетну обробку базових поверхонь, а також послідовність обробки поверхонь з різними припусками. Крім того, важливо враховувати можливі дефекти заготовки та забезпечити необхідну точність обробки. Для вибору найкращого варіанту технологічного процесу рекомендується розглянути кілька альтернативних маршрутів обробки.

#### 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 найбільш правильним, адже при попередніх фрезерних операціях в маршрутах №1 та №3 на подальшій чистовій обробці буде відбуватись обробка з ударами, що призведе до поломки інструменту та дефектам поверхонь.

Таблиця 2.1 - Варіанти обробки внутрішніх поверхонь

I варіант		II варіант	
1	Свердління, IT14, Ra12.5	1	Свердління, IT14, Ra12.5
2	Розсвердлювання, IT12, Ra12,5	2	Розточування чорнове, IT12, Ra 6,3
3	Розточування напівчистове, IT9, Ra6,3	3	Розточування напівчистове, IT9, Ra 3,2
4	Розточування чистове, IT7, Ra2,5	4	Розточування чистове, IT7, Ra2,5

Найбільш раціональним є варіант, тому що точіння більш продуктивний, ніж розсвердлювання. Крім того, шорсткість поверхні отриманої різанням нижче шорсткості поверхні отриманої свердлінням.

Найбільш точні зовнішні поверхні 80, 75 виконуються по 6,7 квалітету і мають шорсткість Ra 0,63 мкм.

Необхідні точність і шорсткість можна отримати такими способами.

Таблиця 2.2 - Варіанти обробки зовнішніх поверхонь

I варіант		II варіант	
1	Точіння чорнове, IT12, Ra 12,5	1	Точіння чорнове, IT12, Ra 6,3
2	Точіння напівчистове, IT10, Ra6.3	2	Точіння напівчистове, IT10, Ra 3,2
3	Точіння напівчистове, IT9, Ra3.2	3	Точіння чистове, IT9, Ra2,5
4	Точіння чистове, IT6, R0,63	4	Шліфування, IT6, 0,63

Вибираємо II варіант, тому що шліфування продуктивніше.

Найбільш точні лінійні розміри деталі виконуються по 9-10 квалітету точності, інші розміри - по 12 квалітету точності. Шорсткість торців 1,14,18,23 (рисунок 1.1) деталі Ra 2,5 мкм, а інших - Ra 6,3 мкм.

Для отримання необхідної шорсткості необхідно:

1) точіння чорнове - отримується точність 12 квалітет і шорсткість Ra 6,3 мкм;

2) точіння напівчистове - отримується точність 10 квалітет і шорсткість Ra 3,2 мкм;

3) точіння чистове - отримується точність 9 квалітет і шорсткість Ra 2,5 мкм.

Для інших поверхонь, що мають 12 квалітет точності і шорсткість Ra 6,3 мкм, достатня чорнова обробка

## 2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Оптимізація форми і розмірів заготовки є ключовим етапом у створенні ефективного технологічного процесу. Метою цього етапу є мінімізація обсягів матеріалу, що перетворюється на стружку, та скорочення часу обробки. Використання готових заводських заготовок для даної деталі є недоцільним через значні втрати матеріалу (коефіцієнт використання матеріалу  $K_z$  становить лише 0,3) та відсутність необхідного центрального отвору.

Спосіб виконання заготовки для деталей машин визначається сукупністю факторів:

- призначенням деталі;
- конструктивними особливостями деталі;
- матеріалом деталі;
- технічними вимогами;
- обсягом випуску деталі, серійністю;
- економічністю виготовлення.

При виборі способу отримання заготовки, необхідно враховувати всі ці чинники, так як між ними існує тісний взаємозв'язок.

Виходячи з умови найбільш раціонального витрати металу приймаємо спосіб штампування на ГKM.

Клас точності поковки встановлюється в залежності від технологічного процесу і обладнання для її виготовлення [7], а також виходячи з вимог, що пред'являються до точності розмірів поковки - Т4.

Дану деталь можна отримувати наступними способами:

- штампуванням;
- куванням на молотах.

Виходячи з конфігурації заданої деталі, технічних вимог креслення (конструктора) доцільно застосувати поковку штамповану.

Матеріал - сталь 40X ГОСТ 4543.

$$K_z = \frac{M_d}{M_z} \quad (2.1)$$

де  $M_d = 2,5$  - маса деталі, кг (взята з креслення деталі);

$M_z = 7,9$  - маса заготовки, кг (взята з підприємства на якому проводиться деталь).

$$K_z = \frac{2,5}{7,9} = 0,32$$

коефіцієнт використання матеріалу для методу отримання кованої заготовки визначимо за формулою:

$$K_M = \frac{M_d}{M_z + M_{опз}} \quad (2.2)$$

де  $M_{опз}$ - маса відходів виробництва заготовки, кг.

$$M_{опз} = 0,1 \cdot M_z \quad (2.3)$$

$$M_{опз} = 0,1 \cdot 7,9 = 0,79 \text{ кг}$$

По формулі:

$$K_M = \frac{2,5}{7,9 + 0,79} = 0,26.$$

Для деталі, що переводиться на дрібносерійне виробництво, пропонуємо застосувати метод гарячого штампування на горизонтально-ковальських машинах (ГКМ). Незважаючи на високу вартість самого процесу штампування, цей метод забезпечує високу точність заготовок (14-16 квалітет) та мінімальні припуски під подальшу механічну обробку. Враховуючи особливості дрібносерійного вироб-

ництва, такі як невеликі обсяги випуску та вимоги до точності, використання штампування на ГKM є економічно виправданим рішенням завдяки суттєвому скороченню витрат на механічну обробку.

Спроекуємо заготовку, що отримується шляхом штампування на ГKM:

Визначаємо тип заготовки для вибору припусків і допуски згідно ГОСТ 7505-89.

а) Для отримання даної заготовки необхідно використовувати кривошипний горячештампувальний прес.

Клас точності поковки-Т4 [3]. Надалі всі табличні дані братимемо з ГОСТ 7505-89.

б) Марка сталі заготовки – Сталь 40X, тому група сталі М2, [3].

в) Ступінь складності поковки визначається зі співвідношення маси поковки ( $M_{пк}$ ) до маси фігури, що описує поковку ( $M_{ф}$ ).

$$\frac{M_{п}}{M_{ф}}, \quad (2.4)$$

де

$$M_{п} = M_{д} \cdot K_{р}, \quad (2.5)$$

де  $K_{р}$  – розрахунковий коефіцієнт.

$K_{р} = 1,6$  (для деталей типу шестерен, маточин, фланців)

$$\frac{m_{д} \cdot K_{р}}{\rho \cdot V} = \frac{2,5 \cdot 1,6}{7,85 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 \cdot \frac{8}{4}} = 0,53$$

Звідси ступінь складності поковки – С2 [3].

Конфігурація поверхні роз'єму штампа- плоска.

г) На основі отриманих даних, знаходиться вихідний індекс-16 [3].

д) Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості Ra, який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються:

Основні припуски ( на сторону),мм [3]:

1,6 – діаметр 76 и Ra0,8;

1,2 – діаметр 50 и Ra6,3;

1,6 – діаметр 66 и Ra0,8;

1,7 - довжина 165 и Ra1,6;

1,1 – товщина 25 и Ra6,3;

1,2 – уступ 95 и Ra6,3;

Додаткові припуски [3]:

- зсув по поверхні роз'єму штампа – 0,6 (мм).

- зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності – 0,4 (мм).

Визначаємо розміри поковки, мм:

$\varnothing 76 + (1,6 + 0,5) \times 2 = 80,2$  – приймаємо 80;

$\varnothing 50 - (1,2 + 0,5) \times 2 = 46,6$  – приймаємо 47;

$\varnothing 66 - (1,6 + 0,5) \times 2 = 61,8$  – приймаємо 62;

$L165 + (1,7 + 0,3) \times 2 = 169$  – приймаємо 169;

$S25 + (1,1 + 0,3) + (1,7 + 0,3 + 0,5) = 28,9$  – приймаємо 29;

Уступ 95 + (1,2 + 0,3) + (1,7 + 0,3 + 0,5) = 99 – приймаємо 99.

Допустимі відхилення розмірів заготовки [3]:

$\varnothing 80 \begin{matrix} +1,1 \\ -0,5 \end{matrix}$

$\varnothing 47 \begin{matrix} +1,1 \\ -0,5 \end{matrix}$

$\varnothing 62 \begin{matrix} +1,1 \\ -0,5 \end{matrix}$

$L169 \begin{matrix} +1,4 \\ -0,8 \end{matrix}$

$S29 \begin{matrix} +0,9 \\ -0,5 \end{matrix}$

Уступ 99  $\begin{matrix} +1,1 \\ -0,5 \end{matrix}$

Таблиця 2.3- Результати розрахунку припусків і допусків заготовки

Розмір деталі	Чистота поверхні	Основний припуск	Дод. припуск	Загальний припуск	Розрах. розмір заг.	Прийнятий розмір заг.	Припуск фактичний
Ø76	0,8	1,6	0,5	2,1	Ø80,2	Ø80	2,0
Ø50	6,3	1,2	0,5	1,7	Ø36,6	Ø47	1,5
Ø66	0,8	1,6	0,5	2,1	Ø61,8	Ø62	2,0
L165	1,6	1,7	0,3	2,0	L169	L169	2,0
S25	6,3	1,1	1,1	2,2	S28,9	S29	2,0
Уступ 95	6,3	1,2	1,1	2,3	99	99	2,0

Визначення коефіцієнта використання матеріалу:

За формулою:

$$K_z = 2,5 / 4,058 = 0,625$$

де: 2,5 - маса деталі, кг (взята з креслення деталі);

4,058 - маса заготовки, кг (прорахована на ЕОМ за допомогою програми КОМПАС 3D-V15).

Визначення маси відходів заготовки:

За формулою:

$$M_{\text{опз}} = 0,1 \cdot 4,058 = 0,4058 \text{ кг.}$$

Отримане значення коефіцієнтів не відповідають рівню ЕСТП.

Проаналізувавши два методи отримання заготовки, а саме базовий метод - кування на молотах, і пропонуванний метод - штампування на ГКР, можна зробити висновок, що пропонуванний спосіб є більш раціональним, тому, що коефіцієнти використання заготовки і матеріалу зросли в два рази в порівнянні із заводськими.

Призначимо технічні вимоги до заготовки:

1.163...168 НВ.

2.Поковка штампована на КГШП, ГОСТ 7505-89.

3. Клас точності - Т4, група сталі - М2, ступінь складності - С2, вихідний індекс - 14.

4. Невказані радіуси закруглень - R 3...5 мм.

5. Штамповочні ухили - 5-7.

6. Допустиме зміщення по площині рознімання штампа - 0,6 мм.

7. Маркувати номер заказу, номер позиції ударним способом шрифтом 3...5 ГОСТ 2930 - 62..

8. Шорсткість поверхонь поковки Ra 50 мкм.

Ескіз заготовки наведемо на рис. 2.1.

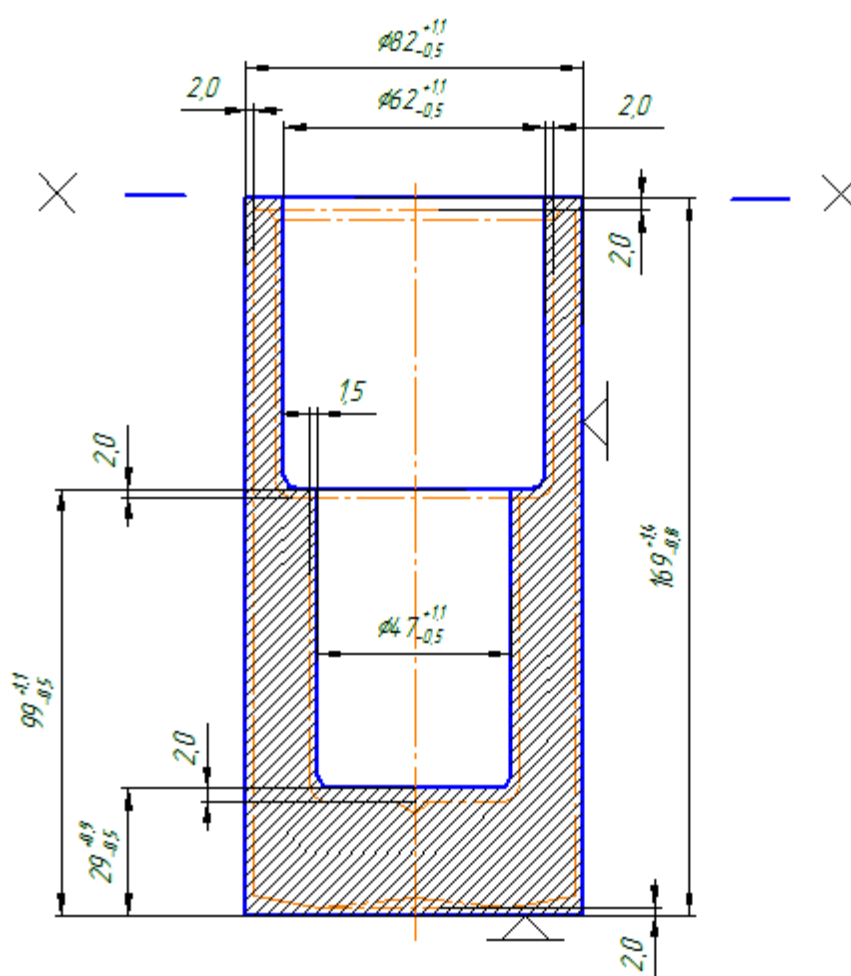


Рисунок 2.1 – Ескіз розробленої заготовки

### 2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Виконаємо розрахунок припусків та знайдемо розміри на обробку циліндричної поверхні  $\varnothing 76h6$  мм по принципу професора Кована В.М.



Розрахункова формула для знаходження припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.6)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1}$  – величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\varepsilon_i$  – похибка на виконуваний операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується як

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{экс}^2 + \rho_{см}^2} = 1200 \text{ мкм},$$

а  $\rho_{i-1}$  знаходиться в відсотковому відношенні від  $\rho_{заг}$  тоді  $\rho_{черп} = \rho_{заг} k_y$ , де  $k_y = 0,04-0,06$ , в залежності від переходу. Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{черп} = 1200 \cdot 0,06 = 72 \text{ мкм}.$$

$$\rho_{п/ч} = 1200 \cdot 0,05 = 60 \text{ мкм}.$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в табл. 2.4, а самі результати розрахунку у додатку.

Таблиця 2.4 – Маршрут обробки поверхні деталі.

Найменування операції (переходу)	Досягнутий квалітет точності, IT	Параметр шорсткості, Ra, мкм
Заготівельна	IT16( $\frac{+1,1}{-0,5}$ )	25
Чорнове точіння	h14(-0,74)	12,5
Напівчистове точіння	h11(-0,19)	3,2
Чистове точіння	h8(-0,046)	1,6
Шліфування	h6(-0,02)	0,8

Таблиця 2.5 – Дані для розрахунків зведені

Технологічні операції і пе- реходи	Точність обробки	Допуск на размер, мм	Елементи припуску, мкм				Розрахунок припус- ків, мкм			Розрахунок розмірів, мм		
			Rz i-1	T i-1	P i-1	E i	Z min	2Zn	2Zmax	dmin	dnom	dmax
Заготовка	16	1,6	-	-	-	110	-	-	-	81,374	81,874	82,974
Чорнове точіння	14	0,74	16 0	20 0	1414		3548	4048	5888	77,086	77,826	77,826
Напівчис- тове то- чіння	11	0,19	50	50	85	0	370	1110	1300	76,526	76,716	76,716
Чис- тове то- чіння	8	0,04 6	32	30	71	0	266	456	502	76,214	76,26	76,26
Шліфу- вання	6	0,02	25	25	57	0	214	260	280	75,98	76	76

З [3] визначаємо числові значення даних величин і за формулою розраховуємо просторове відхилення форми:

$$\rho_{\text{кор}} = 1,0 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{зм}} = 1,0 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}.$$

$$\rho_{\text{заг}} = 1414 \text{ мкм}.$$

Визначення просторових відхилень на кожній з операцій маршруту обчислюються за формулою:

$$\rho_i = \rho_{\text{заг}} \cdot K_y, \quad (2.7)$$

де  $K_y$  - коефіцієнт уточнення (вибирається для кожної стадії) [3]

$\rho_{\text{заг}}$  – просторове відхилення форми заготовки, мкм

$$\rho_{\text{чор}} = 1414 \cdot 0,06 = 85 \text{ мкм};$$

де  $\rho_{\text{чор}}$  – просторове відхилення форми заготовки на операції чорнового точіння, мкм;

$$\rho_{\text{н/ч}} = 1414 \cdot 0,05 = 71 \text{ мкм};$$

де  $\rho_{\text{н/ч}}$  – просторове відхилення форми заготовки на операції напівчистового точіння, мкм;

$$\rho_{\text{шл}} = 1414 \cdot 0,04 = 57 \text{ мкм}$$

де  $\rho_{\text{шл}}$  – просторове відхилення форми заготовки на операції шліфування, мкм.

Похибкою установки заготовки при закріпленні її у центрах, що зроблені на попередній фрезерно-центрувальній операції можна знехтувати  $E_y = 0$  мкм. Розраховують припуски на кожну із стадій обробки:

Розрахунок мінімального припуску ведеться за формулою:

$$2Z_{\text{mini}} = 2(Rz_{(i-1)} + T_{(i-1)} + \sqrt{p_{(i-1)}^2 + \sum y_i^2}), \quad (2.8)$$

де  $2Z_{\text{min}}$  – подвоєний мінімальний припуск, мм;

$Rz_{(i-1)}$  – висота мікронерівностей на попередній стадії, мм;

$T_{(i-1)}$  – глибина дефектного шару на попередній стадії, мм;

$\sum y_i$  – похибка установки, мм.

Розрахунок номінального припуску ведеться за формулою:

$$2Z_{ni} = 2Z_{mini} - e_{si} + e_{i(i-1)}, \quad (2.9)$$

де  $2Z_{ni}$  - подвоєний номінальний припуск, мм;

$e_{si}$  – верхнє відхилення розміру на даній операції, мм;

$e_{i(i-1)}$  – нижнє відхилення розміру на попередній операції, мм;

Розрахунок максимального припуску ведеться за формулою:

$$2Z_{maxi} = 2Z_{ni} + e_{si} \quad (2.10)$$

де  $2Z_{maxi}$  – подвоєний максимальний припуск, мм;

$e_{si}$  – нижнє відхилення розміру на даній операції.

Шліфування:

$$2Z_{min \text{ шл}} = 2(32+30 + \sqrt{71^2 + 0^2}) = 266 \text{ мкм};$$

$$2Z_{н \text{ шл}} = 266 - 25 + 100 = 341 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max \text{ шл}} = 341 + 50 = 391 \text{ мкм}.$$

Напівчистове точіння:

$$2Z_{min \text{ н/ч}} = 2(40+50 + \sqrt{85^2 + 0^2}) = 350 \text{ мкм};$$

$$2Z_{н \text{ н/ч}} = 350 + 250 = 600 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max \text{ н/ч}} = 600 + 100 = 700 \text{ мкм}.$$

Чорнове точіння:

$$2Z_{min \text{ чор}} = 2(160+200 + \sqrt{1414^2 + 0^2}) = 3548 \text{ мкм};$$

$$2Z_{н \text{ чор}} = 3548 + 900 = 4448 \text{ мкм};$$

$$2Z_{max \text{ чор}} = 4448 + 1600 + 250 = 6298 \text{ мкм}.$$

Визначення проміжних (міжопераційних) розмірів:

Шліфування:

$d_{н.шл} = 76$  - по умові (з креслення)

$$d_{\min \text{ шл.}} = d_{\text{н.шл.}} - e_{\text{шл.}} \quad (2.11)$$

де  $d_{\min \text{ шл.}}$  – мінімальний розмір поверхні після шліфування;

$d_{\text{н.шл.}}$  – номінальний розмір поверхні після шліфування;

$$d_{\min \text{ шл.}} = 76 - 0,05 = 75,95 \text{ мм.}$$

$$d_{\max \text{ шл.}} = d_{\text{н.шл.}} - e_{\text{с шл.}} \quad (2.12)$$

де  $d_{\max \text{ шл.}}$  – максимальний розмір поверхні після шліфування;

$$d_{\max \text{ шл.}} = 76 - 0,025 = 75,975 \text{ мм.}$$

Напівчистове точіння:

$$d_{\min \text{ н/ч}} = d_{\max \text{ шл.}} + 2Z_{\min \text{ шл.}} \quad (2.13)$$

де  $d_{\min \text{ н/ч}}$  – мінімальний розмір поверхні після напівчистового точіння;

$$d_{\min \text{ н/ч}} = 75,975 + 0,266 = 76,241 \text{ мм.}$$

$$d_{\text{н.н/ч}} = d_{\max \text{ н/ч}} = d_{\min \text{ н/ч}} + e_{\text{н/ч}} \quad (2.14)$$

де  $d_{\text{н.н/ч}}$  та  $d_{\max \text{ н/ч}}$  – номінальний та максимальний розмір поверхні після напівчистового точіння;

$$d_{\text{н.н/ч}} = d_{\max \text{ н/ч}} = 76,241 + 0,1 = 76,341 \text{ мм}$$

Чорнове точіння:

$$d_{\min \text{ чор}} = d_{\max \text{ н/ч}} + 2Z_{\min \text{ н/ч}} \quad (2.15)$$

де  $d_{\min \text{ чор}}$  – мінімальний розмір поверхні після чорнового точіння;

$$d_{\min \text{ чор}} = 76,341 + 0,35 = 76,691 \text{ мм}$$

$$d_{\text{н чор}} = d_{\max \text{ чор}} = d_{\min \text{ чор}} + e_{\text{чор}} \quad (2.16)$$

де  $d_{\text{н чор}}$  та  $d_{\max \text{ чор}}$  – номінальний та максимальний розмір поверхні після чорнового точіння;

$$d_{н. чор} = d_{max чор} = 76,691 + 0,25 = 76,941 \text{ мм}$$

Визначаємо розміри заготовки:

$$d_{min заг} = d_{max чор} + 2Z_{min чор} \quad (2.17)$$

де  $d_{min заг}$  – мінімальний розмір заготовки;

$$\begin{aligned} d_{min заг} &= 76,941 + 3,548 = 79,489 \text{ мм} \\ d_{н. заг} &= d_{min заг} + e_{заг} \end{aligned} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned} d_{н. заг} &= 79,489 + 0,9 = 80,389 \text{ мм} \\ d_{max заг} &= d_{н. заг} + e_{s заг} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$d_{max заг} = 80,389 + 1,6 = 81,989 \text{ мм}$$

де  $d_{max заг}$  – максимальний розмір заготовки;

Визначаю загальний номінальний припуск:

$$2Z_{н. заг.} = d_{н. заг} - d_{н. шл.} \quad (2.20)$$

де  $2Z_{н. заг.}$  - загальний номінальний припуск

$$2Z_{н. заг.} = 81,389 - 76 = 5,389 \text{ мм}$$

Схема розташування припусків і допусків для даної поверхні вказана на рис. 2.2.

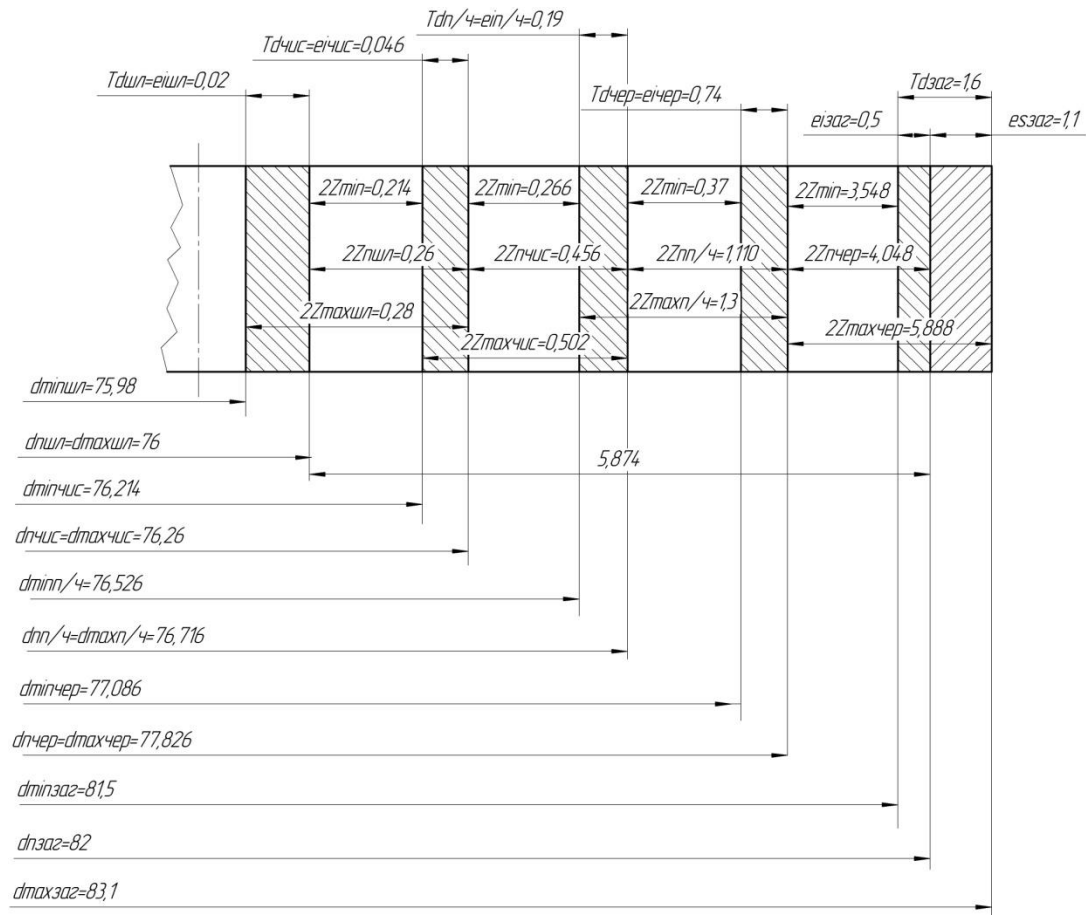


Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру  $\varnothing 76h6$  мм

Порівнюючи розмір, визначений аналітичним методом та за допомогою ГОСТ робимо висновок, що вони майже не відрізняються 82 мм за ГОСТ та 81 мм аналітичним методом відповідно, тому розрахунки проведені вірно.

## 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Якість виготовленої деталі значною мірою визначається правильністю виконання таких допоміжних операцій, як установка та закріплення заготовки на верстаті. Під установкою розуміють процес орієнтації заготовки відносно робочих органів верстата таким чином, щоб забезпечити точність обробки. Закріплення ж передбачає надійну фіксацію заготовки в заданому положенні за допомогою спеціальних пристроїв, що запобігає її зміщенню під час обробки.

Поверхня, використовувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задирів, напливів, буртиков, залишків ливникової системи і т.д.);
- безпосередня розмірна зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низькою жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

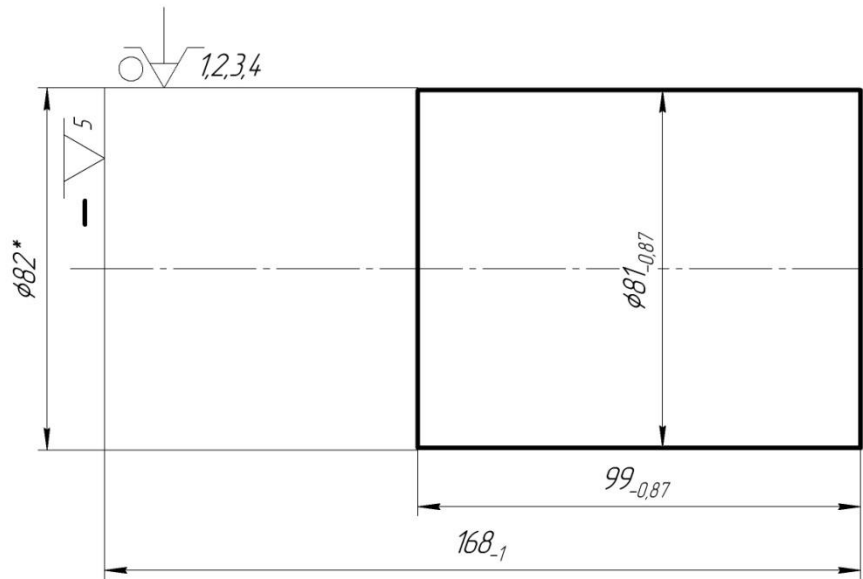
Об'єктом дослідження було обрано операцію фрезерування пазів під стопорні шайби на вертикально-фрезерному верстаті.

Для забезпечення необхідної точності лінійних розмірів пазів було розглянуто два варіанти схем базування заготовки. Точність діаметральних розмірів в обох випадках планується досягати за рахунок використання високоточного обладнання та налаштування верстата.

Схеми базування заготовки на токарній з ЧПК операції 015 приведені на рисунках 2.3 та 2.4.



## Установ А



## Установ Б

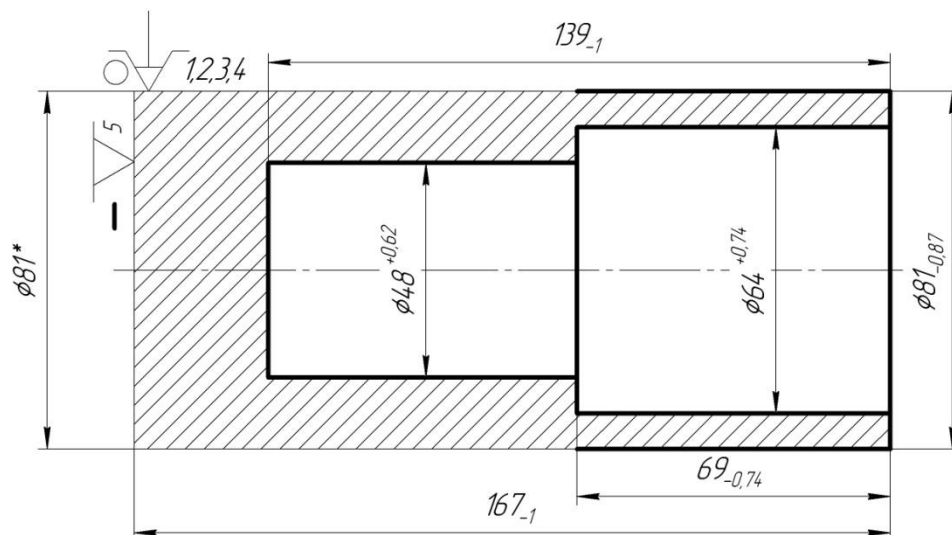


Рисунок 2.3- Схема базування (перший варіант)

З метою вибору оптимальної схеми базування, що забезпечує найвищу точність обробки, буде проведений розрахунок похибки базування. Оскільки обробка валів на токарних верстатах традиційно здійснюється в центрах, буде розглянута саме ця схема базування. Для аналізу будуть обрані два варіанти: з використанням плаваючого центру, який забезпечує самоцентрування заготовки, та жорсткого центру, який фіксує заготовку в заданому положенні. Обидві схеми передбачають використання подвійної бази (напрямної та опорної), що залишає заготовку з п'ятьма ступенями свободи.

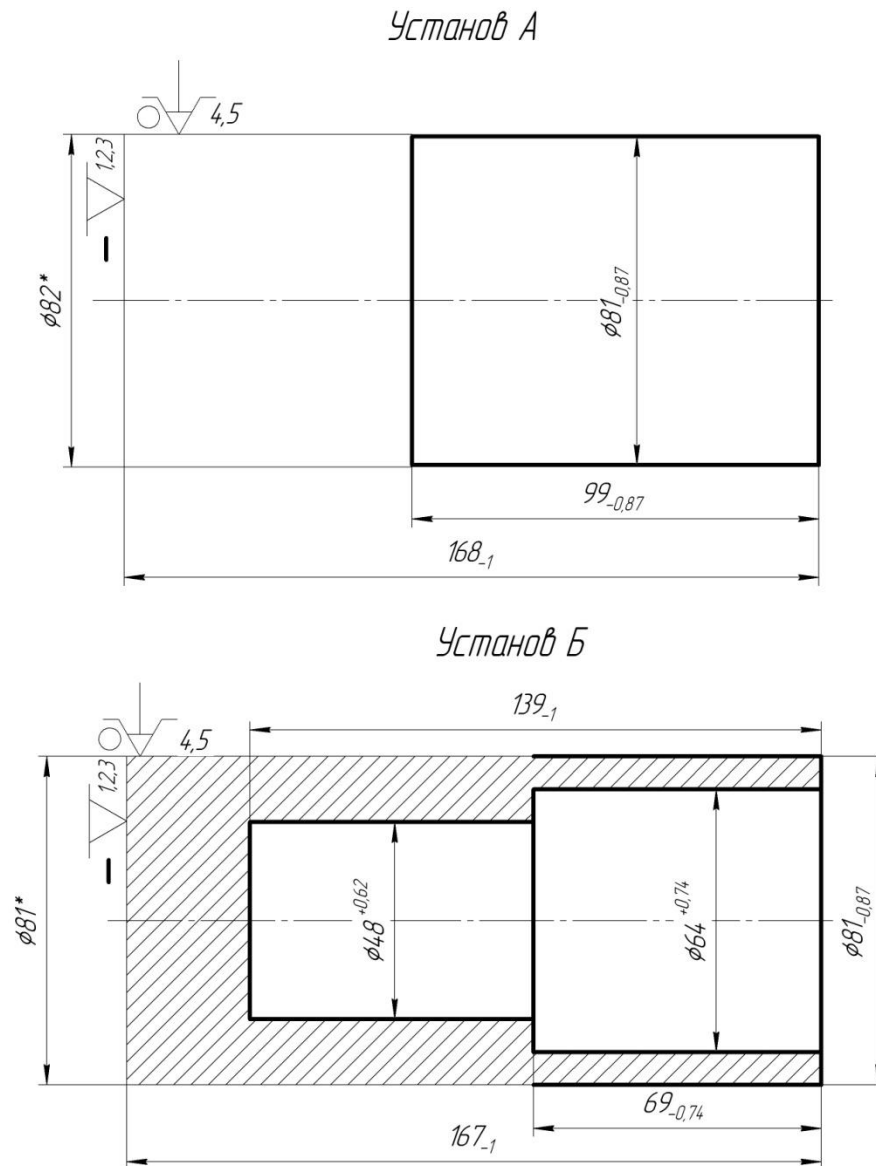


Рисунок 2.4 – Схема базування (другий варіант)

Схеми базування заготовки на комплексній з ЧПК операції 040 приведені на рисунках 2.5-2.6.

У даному випадку точність лінійних розмірів визначається похибкою базування тому розглянемо похибку на найбільш точний лінійний розмір 69 мм:

- за варіантом 1:

$$\varepsilon_{\phi 69} = 0,05 < T_{\phi 69} = 0,4 \text{ мм,}$$

отже браку не виникатиме;

- за варіантом 2:



Аналіз геометрії деталі показав, що для базування можуть бути використані лише зовнішні циліндричні поверхні  $\varnothing 76h6$  та один з торців. З цієї причини було обрано схему базування в призмах. Така схема забезпечує одну установчу базу (циліндрична поверхня) та дві опорні бази (циліндрична поверхня та торець), залишаючи деталі п'ять ступенів свободи.

У даному випадку забезпечуються лише два розміри на операції: ширина пазу 16, розмір  $74 \pm 0,15$  мм. Так як ширина пазу забезпечується інструментом - фрезою, то похибку будемо визначати лише для розміра 74.

Похибка базування:

$$\varepsilon_{\delta 74} = 0,05 < T_{74} = 0,3 \text{ мм} - \text{браку не виникатиме};$$

По другому варіанту:

$$\varepsilon_{\delta 74} = T_{74} = 1,6 > T_{74} = 0,3 \text{ мм} - \text{брак може виникати.}$$

Отже у другому випадку виникатиме похибка, тому оберемо перший варіант схеми базування.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Правильний вибір металорізального верстата є критичним для забезпечення високої якості обробки. Ключовими параметрами при виборі є:

- Вимоги до якості обробленої деталі.
- Потужність, необхідна для виконання технологічних операцій.
- Габаритні розміри верстата та заготовок.
- Тип виробництва та обсяги випуску продукції.
- Кількість інструментів, що використовуються в процесі обробки.

На операції 015 токарна з ЧПК проводиться чорнова обробка заготовки з одного установа.

Металорізальний верстат вибираємо за наступними критеріями:

– технологічні методи обробки поверхонь: для обробки вищевказаних поверхонь було розглянуто перелік токарних верстатів, проаналізувавши, був обраний верстат моделі 16К20Ф3, який оснащений системою ЧПК [4];

– потужність двигуна: верстат даної моделі оснащений 14 кВт двигуном, якого достатньо для точіння поверхонь корпусу;

– габарити робочого простору: дане обладнання дозволяє обробляти заготовки діаметром - до 400 мм, і довжиною - до 800 мм, що дозволить встановити заготовку;

– тип виробництва: при дрібносерійному виробництві перевага віддається універсальному обладнанню з ЧПК, таким обладнанням є верстат моделі 16K20Ф3.

Основні технічні характеристики токарного верстата моделі 16K20Ф3 наступні:

- найбільший діаметр оброблюваної заготовки над:
- станиною - 400 мм,
- супортом - 200 мм;
- найбільша довжина оброблюваної заготовки - до 800 мм;
- крок метричної різьби до 6 мм;
- частота обертання шпинделя  $12,5 \div 1600$  хв<sup>-1</sup>;
- подача:
- поздовжня  $1 \div 1000$  мм/хв;
- поперечна  $1 \div 200$  мм/хв;
- потужність електродвигуна приводу головного руху – 14 кВт.

Для операції 035. Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК моделі FADAL 2216FX.

Технічна характеристика верстата:

Розміри робочої поверхні столу, мм 800x630

Виліт шпинделя, мм 70

Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, мм 600

Найбільша маса оброблюваного виробу, кг 300

Найбільше переміщення столу:

- Поздовжнє, мм 600

- Поперечне, мм 500

Найбільший діаметр:

свердління в сталі, мм 20

фрезерування, мм 100

Частота обертання шпинделя (безступінчасте через 1), об/хв 1 - 8000

Подача:

- Шпинделя, мм/хв 1 - 3000

- Стола, мм/хв 1 - 3000

Дискретність відліку координат по осях, мм 0,001

Точність установки координат, мм 0,001

Число Т-подібних пазів 5

Ширина паза, мм 18

Конус шпинделя ISO40

Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 6,5

Габаритні розміри, мм 2150x1900x2320

Маса верстата, кг 3200.

Для операції 040. Враховуючи умови дрібносерійного виробництва, більш доцільно застосовувати верстат, який дозволить проводити обробку більш продуктивно, а саме DMU-50V з ЧПК.

Обробний центр DMU-50V призначений для свердління, зенкерування, розвертання, нарізання різі, фрезерування деталей із сталі, чавуну і кольорових металів в умовах дрібносерійного і середньо серійного виробництва. Оснащений магазином з автоматичною зміною інструмента, дозволяє виконувати координатну обробку деталей типу: кришок, фланців, панелей і т. д. без попередньої розмітки і застосування кондукторів.

Технічні характеристики верстата DMU-50V:

Розміри робочої поверхні столу, мм 500x500

Виліт шпинделя, мм 70

Відстань від торця шпинделя до робочої поверхні столу, мм 600

Найбільша маса оброблюваного виробу, кг 800

Найбільше переміщення столу:

- Поздовжнє, мм 600

- Поперечне, мм 600

Найбільший діаметр:

свердління в сталі, мм 30

фрезерування, мм 80

Частота обертання шпинделя (безступінчасте через 1), об/хв 1 - 14000

Подача:

- Шпинделя, мм/хв 1 - 5000

- Стола, мм/хв 1 - 5000

Дискретність відліку координат по осях, мм 0,001

Точність установки координат, мм 0,001

Число Т-подібних пазів 7

Ширина паза, мм 18

Конус шпинделя ISO40

Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 10,5

Габаритні розміри, мм 3150x2900x3320

Маса верстата, кг 3200.

Застосовуючи обробний центр з ЧПК можливо значно підвищити продуктивність праці (у 3-4 рази), полегшити умови праці робітника (при зменшенні його кваліфікації), також значно підвищується точність оброблюваних поверхонь у порівнянні з базовим варіантом верстата.

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

Виходячи з типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосувати універсальні пристрої та обладнання.

### Операція 015 Токарна чорнова

Для обробки заготовки будемо використовувати :

- затискні кулачки для фіксації заготовки на патроні верстата, яке дозволить реалізувати схему базування (на оправці з упором по торцю).

- державка різця 2102-1124 ГОСТ 18877-73 – державка 25x25 токарний прохідного відігнутий різець загального призначення, з пластиною 01432 Т5К10 ГОСТ 25395-82;

- державка різця 2112-0021 ГОСТ 18880-73 – державка 25x150 токарно під-різний різець відігнутий , з пластиною 0178910 Т5К10 ГОСТ 25397-82.

Для вимірювання точності обробки отворів використаємо:

- Штангенциркуль ШЦ II- 250- 0,05 ГОСТ 166-79

- Штангенциркуль ШЦ I - 125-0,1-1 ГОСТ 166-79

### Операція 035 Фрезерна

Допоміжний інструмент – цанговий патрон ГОСТ 25827-93. Різальний інструмент – фреза шпонкова Ø10Н7 Р6М5 ГОСТ 9140-78. Вимірювальний інструмент – штангенциркуль ШЦ I- 125-0,1 ГОСТ 166-89, калібр пазовий спеціальний.

Операція 040 – Комплексна з ЧПК.

Для свердління отворів будемо використовувати:

- розтискну оправку, яка дозволить реалізувати схему базування (на оправці з упором по торцю деталі).

- свердло спіральне ø5 ГОСТ 10907-88;

- свердло спіральне ø4,2 ГОСТ 10907-88;

- свердло спіральне ø3,3 ГОСТ 10907-88;

- свердло спіральне ø14 ГОСТ 10907-88;

- мітчик 2145-0127 Р6М5 Н6 ГОСТ 3266-81 – мітчик для нарізання різі М5-7Н;

- фреза кінцева ВК8 –цековка ø 8;

- фреза кінцева ВК8 –цековка ø 6;



- оправка 5630-0017 ГОСТ 13598-85 – перехідна для закріплення фрези у патрон а потім у шпиндель;

- оправка 6100-0258 ГОСТ 13598-85 – перехідна для закріплення фрези у патрон а потім у шпиндель;

- патрон різенарізувальний 6761-2012-04 ГОСТ 23841-85.

Для вимірювання точності обробки отворів використаємо:

- штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1, ГОСТ 166-89; штангенциркуль ШЦ-II - 630-0,1, ГОСТ 166-89;

- пробка 8221-3062 6Н ГОСТ 17758-72, пробка ПР/НЕ для контролю різі М5-7Н.

## 2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання для операції 010 токарно-гвинторізні

Рішення проводиться аналітичним (повним) способом для точіння циліндричної поверхні.

Вихідні дані: на токарно-гвинторізній верстаті 16К20Ф3 обробляється поверхню деталі. Опрацьований матеріал - Сталь 40Х, НВ - 670 МПа, заготовка - штампування. Діаметр оброблюваної поверхні 80,1 мм, довжина оброблюваної поверхні - 70 мм, обробка чорнова, шорсткість Ra 6,3 мкм; обробка без охолодження

1. Паспортні дані верстата 16К20Ф3.

Частота обертання шпинделя, об / хв -20 25 32 40 50 63 80 100 126 159 200 252 317 399 502 632 796 1002 1262 1589 2000.

Поздовжня подача мм / об 0,05 0,065 0,086 0,11 0,15 0,19 0,25 0,33 0,43 0,56 0,73 0,96 1,25 1,64 2,14 2,8.

Потужність електродвигуна головного руху  $N_{ел} = 11,6\text{кВт}$ , ККД = 0,9.

Максимальна осьова сила допускається механізмом подачі  $P = 3000\text{Н}$ .

1. Призначаємо глибину різання. Припуск на сторону дорівнює:

$$\Delta = \frac{D-d}{2}$$

$$\Delta = \frac{93-83,4}{2} = 4,8 \text{ мм}$$

Виходячи з вимог до деталі (IT12, Ra 6,3мкм), припуск знімаємо за один прохід.

$$t = \Delta = 4,8 \text{ мм};$$

2. Вибираємо геометричні параметри різця. Для чорнової обробки приймаємо токарний упорний різець з механічним кріпленням твердосплавних пластини з кутами в плані 90 та 15 градусів, матеріал пластини твердий сплав Т15К6. Позначення пластини 01113-110304 по ГОСТ 19044-80 [10] товщина пластини  $S = 3,18 \text{ мм}$ , радіус при вершині 0,4 мм.

При орієнтовному значенні чорновий подачі для даних умов 0,6 -1,2 мм / об 13 і глибини різання 4,8 мм для верстата 16К20Ф3 приймаємо перетин різця 16x25мм 10. Задній кут 150, передній кут 100, кут нахилу ріжучої кромки 0. Спосіб кріплення ріжучої пластини клиновий.

Для одноінструментальної обробки призначаємо період стійкості  $T = 30 \text{ хв}$ .

Визначаємо подачу виходячи з таких обмежень:

А. Подача, що допускається міцністю державки різця, визначається за формулою:

$$S_{\text{пр.р}} = \sqrt{\frac{B \cdot H^2 \cdot [\sigma] \dot{\epsilon}}{60 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot L_p}},$$

де:  $B=16 \text{ мм}$ ,  $H=25 \text{ мм}$

$[\sigma] = 490 \text{ МПа}$  (для закаленної державки из стали 40ХН);

$L_p = 1,5 \cdot H = 1,5 \cdot 25 = 38 \text{ мм}$ ;

Знаходимо коефіцієнти до показників ступенів [13].

$C_{pz} = 300$ ,  $X_{pz} = 1,0$ ,  $Y_{pz} = 0,75$ ,  $n_{pz} = -0,15$ .

$K_{PZ}$  – поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки;

$$K_{PZ} = K_{\varphi PZ} \cdot K_{\chi PZ} \cdot K_{\lambda PZ} \cdot K_{rPZ},$$

де  $K_{\varphi PZ} = 0,89$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\varphi$  [13];

$K_{\chi PZ} = 1,0$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\chi$  [13];

$K_{\lambda PZ} = 1,0$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\lambda$  [13];

$K_{rPZ} = 0,87$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від радіусу при вершині різця [13];

$K_{MP}$  - поправочний коефіцієнт на зміну умов обробки в залежності від оброблюваного матеріалу;

$$K_{MP} = \left( \frac{\sigma_B}{750} \right)^{0,75} = \left( \frac{670}{750} \right)^{0,75} = 0,92$$

$$K_{PZ} = 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,92 = 0,71$$

$C_v = 350$ ;  $X_v = 0,15$ ;  $Y_v = 0,35$ ;  $m=0,2$  – поправочні коефіцієнти і показники ступеня в формулах швидкості різання.

Поправочний коефіцієнт впливає на швидкість різання

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv},$$

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу [1];

$$K_{mv} = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right) = \frac{750}{670} = 1,12$$

$K_{nv} = 1$ ; - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструмента [1];

$K_{iv} = 1$ ; - коефіцієнт, що відображає стан поверхні заготовки [1].

$$K_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

$$S_{\text{пр.р}} = \sqrt[0.75]{\frac{16 \cdot 25^2 \cdot 490}{60 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}}\right)^{-0.15} 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 38}} = 6,9 \text{ мм/об}$$

Б. Подача, допускаема жесткостью різця:

$$S_{\text{жр}} = \sqrt[урз]{\frac{f_p \cdot E \cdot B \cdot H^3}{40 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot L_p^3}},$$

де:  $f_p$  – прогин різця, для чорнової обробки приймаємо рівним 0,1;

$E_p$  – модуль пружності державки для сталі 40ХН  $2,1 \cdot 10^5$  Мпа;

$$S_{\text{жр}} = \sqrt[0.75]{\frac{0,1 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 16 \cdot 25^3}{40 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}}\right)^{-0.15} 48^1 \cdot 0,71 \cdot 38^3}} = 7,98 \text{ мм/об}$$

В. Подача, що допускається міцністю пластини.

$$S_{\text{пр.п}} = \sqrt[урз]{\frac{340 \cdot c^{1,35} \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi^\circ}\right)^{0.8}}{10 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_3^{0.2}}\right)^{npz} t^{xpz-0.77} \cdot k_{pz}}},$$

де:  $C$  – товщина пластини, складає 3,18мм;

$\varphi$  – кут в плані, рівен  $90^\circ$ ;

$$S_{\text{пр.п}} = \sqrt[урз]{\frac{340 \cdot 3,18^{1,35} \left(\frac{\sin 60^\circ}{\sin 90^\circ}\right)^{0.8}}{10 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}}\right)^{npz} 4,8^{1-0,77} \cdot 0,71}} = 0,95 \text{ мм/об}$$

Г. Подача, допускаема жорсткістю деталі.

$$S_{ж.д} = \sqrt[0.75]{\frac{f_g \cdot \mu \cdot E \cdot I}{11 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot L^3}},$$

де:  $f_g$  – допустима величина прогину 0,2мм;  
 $\mu$  – коефіцієнт, що враховує тип закріплення;  
 $I$  – момент інерції заготовки [13]

$$S_{ж.д} = \sqrt[0.75]{\frac{0,2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 83,4^4}{11 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}}\right)^{-0.15} \cdot 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 133,6^3}} = 61,44 \text{ мм/об}$$

Д. Подача, допустима прочністю механізму подачі.

$$S_{м.п} = \sqrt[0.75]{\frac{P_{м.п}}{4 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz}}},$$

де:  $P = 3000\text{Н}$ , осьова сила допустима механізмом подачі

$$S_{м.п} = \sqrt[0.75]{\frac{3000}{4 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}}\right)^{-0.15} \cdot 4,8^1 \cdot 0,71}} = 1,7 \text{ мм/об}$$

2. Визначаємо економічне значення подачі в якості, якої приймаємо найменшу з подач, що допускаються прийнятими технологічними обмеженнями для заданих умов:

$$S_e = S_{ж.д} \{6,9; 7,98; 0,95; 61,44; 1,7\}_{\min}$$

$$S_e = S_{ж.д} = 0,96 \text{ мм/об.}$$

Дану подачу можна реалізувати на верстаті так як виконується умова 0,01

Коригуємо економічне значення подачі по верстата. З урахуванням виконання умови 5% в якості технологічної подачі приймаємо найближче значення з наявних на верстаті, тобто  $S_T = 0,96\text{мм/об}$ .

7. Визначаємо економічне значення числа оборотів за формулою:

$$n_d = \frac{100 \cdot C_v \cdot K_v}{T_y^m \cdot S^{yv} \cdot t^{xv} \cdot \pi \cdot D}$$

$$n_d = \frac{1000 \cdot 350 \cdot 0,75}{30^{0,2} \cdot 0,95^{0,35} \cdot 4,8^{0,15} \cdot \pi \cdot 83,4} = 407 \text{ об/мин}$$

Це число оборотів можна реалізувати на верстаті, так як виконується умова  $20 \leq 475 \leq 2000$ .

8. Перевіряємо економічне значення подачі по потужності верстата.

$$S_{m.c} = \sqrt[ypz]{\frac{N_y \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1020 \cdot 1000}{10 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot \pi \cdot D \cdot n_y}}$$

$$S_{m.c} = \sqrt[0,75]{\frac{4,6 \cdot 0,9 \cdot 60 \cdot 1020 \cdot 1000}{10 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0,2}}\right)^{-0,15} \cdot 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 3,14 \cdot 83,4 \cdot 406}} = 0,33 \text{ мм/об}$$

В якості технологічної розрахункової подачі приймаємо  $S_{Tr} = 0,33$  мм/об. Коригуємо значення  $S_{Tr}$  по верстата. В якості технологічної подачі приймаємо  $S_T = 0,33$  мм/об.

Знаходимо число оборотів допускаються потужністю верстата по формулі

$$n_{m.c} = \sqrt[1+npz]{\frac{N_y \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1020}{10 \cdot c_{pz} \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{1000}\right)^{1+npz} \cdot k_{pz}}}$$

$$n_{m.c} = \sqrt[0,85]{\frac{4,6 \cdot 0,95 \cdot 60 \cdot 1020}{10 \cdot 300 \cdot 4,8^1 \cdot 0,33^{0,75} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 83,4}{1000}\right)^{0,85} \cdot 0,71}} = 406 \text{ об/мин}$$

Коригуємо  $n_{m.c}$  значення по верстата і приймаємо в якості дійсного числа оборотів з урахуванням виконання умови 5% –  $n=398$  об/хв

9. Визначаємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000};$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 80,4 \cdot 398}{1000} = 104,5 \text{ м/хв};$$

10. Знаходимо силу різання по формулі:

$$P_z = 10 \cdot c_{pz} \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot V^{npz} \cdot K_{pz}$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4,8 \cdot 0,33^{0,75} \cdot 104,5^{-0,15} \cdot 0,71 = 2189 = 218,9 \text{ кН};$$

11. Розраховуємо потужність різання за формулою:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020};$$

$$N_p = \frac{218,9 \cdot 104,5}{60 \cdot 1020} = 0,37 \text{ кВт}.$$

12. Визначаємо коефіцієнт використання верстата по потужності

$$K_N = \frac{N_p}{N_{\text{э}} \cdot \eta} = \frac{0,37}{2,8 \cdot 0,9} = 0,14$$

Оскільки  $K_N \leq 1$ , знайдений режим різання можна реалізувати на верстаті 16К20Ф3.

Для інших переходів цієї операції вибираємо:

- подачу встановлюємо по [14], далі коригуємо подачу за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну, значення заноситься в таблицю;
- швидкість різання встановлюємо по [14] і заносимо значення в таблицю;
- частоту обертання шпинделя розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{V_i \cdot 1000}{\pi \cdot D_i},$$

де  $V_i$  – швидкість різання;

$D_i$  – діаметр і-го переходу.

Далі коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верста-  
та і встановлюємо дійсну частоту обертання, значення заноситься в таблицю 2.14.

Таблиця 2.6– Параметри режиму різання віх переходів операції 015.

Номер перехода	Параметри режимів різання					L, мм	T <sub>o</sub> , мин	Вид режиму
	t,мм	S <sub>p</sub> ,мм/об	n,об/мин	V <sub>c</sub> ,м/мин	i			
1	2,1	0,29	430	135	1	5,8	0,38	Табличний
2	4,8	0,33	399	105	1	136,5	1,036	Розрахунковий
3	2,9	0,14	790	152	1	8,5	0,072	Табличний
4	4,6	0,14	640	142	1	101,5	1,08	Табличний
5	1,8	0,14	790	164	1	10,4	0,13	Табличний
6	1,2	0,14	790	152	1	15	0,31	Табличний
7	2,1	0,29	430	132	1	3	0,38	Табличний
8	4,8	0,33	399	105	1	18,5	0,195	Табличний
9	2,5	0,48	430	122	1	4	0,035	Табличний
10	2,9	0,14	790	152	1	32,3	0,29	Табличний
11	1,2	0,14	790	152	1	13,5	0,22	Табличний
12	1,2	0,14	790	164	1	10,4	0,11	Табличний

Розрахунок режимів різання для операції 035 вертикально-фрезерної

Вибираємо горизонтально - фрезерний верстат моделі FADAL 2216FX. поту-  
жність електродвигуна  $N_{\text{эл}}=8,2\text{кВт}$ , КПД  $\eta=0,75$ .

Число обертів за хвилину: безступінчасте.

Подача стола, мм/хв: безступінчасто.

Нарізувана глибина різання дорівнює глибині паза, тобто  $t = 4$  мм.

При фрезеруванні закритого паза розрізняють осьову подачу і подовжню по-  
дачу, мм / хв.

Режим різання при осьовому врізанні

Швидкість різання, м / хв,



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

де  $D = 12$  мм – діаметр фрези;

$S_z = 0,006$  мм/хв – подача фрези [1];

$S_z = 0,02$  мм/хв – продольна подача фрези [11];

$B = 6$  мм – ширина фрезерування;

$z = 2$  – кількість зубів фрези;

$T = 60$  хв – період стійкості фрези [11];

$C_v = 12$ ;  $q = 0,3$ ;  $x = 0,3$ ;  $y = 0,25$ ;  $u = 0$ ;  $p = 0$ ;  $m = 0,26$  – [11];

$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}$  - коефіцієнти

$$k_{mv} = k_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv} = \left( \frac{750}{670} \right)^1 = 1,12 \text{ - коефіцієнти [11];}$$

$k_{nv} = 1$  – коефіцієнти, що враховують стан поверхні [11];

$k_{uv} = 1$  – коефіцієнти, що враховують стан інструменту [11]

$$k_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

Режим різання при осьовому різанні

Швидкість різання по формулі:

$$V = \frac{12 \cdot 6^{0,3}}{60^{0,26} \cdot 6^{0,3} \cdot 0,006^{0,25} \cdot 6^0 \cdot 2^0} \cdot 1,12 = 16,66 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання, об/хв

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 16,66}{\pi \cdot 6} = 884 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 984$  об/хв.

Сила різання, Н

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp},$$

де  $C_p=68,2$ ;  $x=0,96$ ;  $y=0,72$ ;  $u=1$ ;  $q=0,86$  – коефіцієнти до показників ступенів [1]

$k_{mp}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу [1]

$$k_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{670}{750}\right)^{0,75} = 0,92$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6^{0,86} \cdot 0,006^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 2}{6^{0,86} 984^0} \cdot 0,92 = 189,24 \text{ Н}$$

Крутний момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ , на шпинделі

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{189,24 \cdot 6}{200} = 5,68 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{эл} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{189,24 \cdot 16,66}{1020 \cdot 60} = 0,05 \text{ кВт}$$

Режим різання при поздовжньому фрезеруванні

Швидкість різання, м / хв розраховуємо за формулою:

$$V = \frac{12 \cdot 6^{0,3}}{60^{0,26} \cdot 6^{0,3} \cdot 0,02^{0,25} \cdot 6^0 \cdot 2^0} \cdot 1,26 = 12,33 \text{ м/хв}$$

Частота обертання, об/хв

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 12,33}{\pi \cdot 6} = 654 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 698$  об/хв.

Сила різання, Н розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 2}{6^{0,86} \cdot 698^0} \cdot 0,92 = 450,29 \text{ Н}$$

Обертаючий момент, Н·м

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{450,29 \cdot 6}{200} = 13,5 \text{ Н·м}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{эл} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{450,29 \cdot 12,33}{1020 \cdot 60} = 0,09 \text{ кВт.}$$

## 2.8 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу.

Метою даного нормування є визначення норми штучно - калькуляційного часу на операції.

Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Основний час на операції складається з сум основних часів на окремих переходах.

Визначаємо допоміжний час, для операції 015, за формулою:

$$T_d = T_{уст} + T_{уп} + T_{вим},$$

де  $T_{уст} = 4,88$  хв – час на установку і зняття заготовки [5];

$T_{уп} = 4,4$  – допоміжний час з управління верстата [5];

$T_{вим} = 3,5$  хв – час на вимірювання [5].

$$T_d = 4,88 + 4,4 + 3,5 = 12,78 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d,$$

$$T_{оп} = 39,93 + 12,78 = 52,71 \text{ хв.}$$

Визначаємо додатковий час, який складається з часу на обслуговування та часу на відпочинок і визначається у відсотках від оперативного часу [5]:

$$T_{доп} = T_{оп} \cdot 4\% = 52,71 \cdot 0,04 = 2,11 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{в}}.$$

$$T_{\text{шт}} = 51,51 + 1,98 = 53,49 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + T_{\text{пз}}/N,$$

де  $T_{\text{п.з}} = 35$  хв - підготовчо-заключний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі ЗОР;

$N = 14$  шт. - кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 53,49 + 35/14 = 54 \text{ хв.}$$

Визначаємо допоміжний час, для операції 035, за формулою:

$$T_{\text{д}} = T_{\text{уст}} + T_{\text{уп}} + T_{\text{вим}},$$

де  $T_{\text{уст}} = 4,2$  хв - час на установку і зняття заготовки [5];

$T_{\text{уп}} = 6,3$  - допоміжний час з управління верстата [5];

$T_{\text{вим}} = 2,2$  хв - час на вимірювання [5].

$$T_{\text{д}} = 4,2 + 6,3 + 2,2 = 12,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час за формулою 2.14:

$$T_{\text{оп}} = 18 + 12,7 = 30,7 \text{ хв.}$$

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

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{оп}} \cdot 4\% = 30,7 \cdot 0,04 = 1,22 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час за формулою 6.15:

$$T_{\text{шт}} = 30,7 + 1,22 = 31,92 \text{ хв.}$$

де  $T_{\text{п.з}} = 30$  хв – підготовчо-заключний час, що складається з часу: отримання креслення і наряду, ознайомлення з роботою та кресленням, інструктаж майстра, настроювання пристрою подачі ЗОР;

$N = 14$  шт – кількість деталей у партії.

$$T_{\text{шт-к}} = 31,92 + 30/14 = 34,1 \text{ хв.}$$

## 2.9 Проектування засобів технологічного оснащення

Проектування верстатного пристрою на фрезерну з ЧПК операцію.

На даному етапі обробку заготовки здійснюють на універсальному верстаті з використанням ручних пристроїв затискання. Впровадження спеціального пристрою з автоматичним затисканням дозволить суттєво знизити трудові витрати та підвищити точність виконання операцій. Такий підхід є найбільш ефективним для забезпечення стабільної якості продукції в даних умовах виробництва [8].

Уточнення мети технологічної операції. Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції.

Точність розмірів оброблюваних поверхонь.

Дана операція комплексна на верстаті з ЧПК моделі DMU-50V.

На даній операції повинно оброблюватися усі поверхні під пластини та пази.

Точність лінійних розмірів аналізувати недоцільно, тому що вони забезпечуються точністю позиціонування верстата.

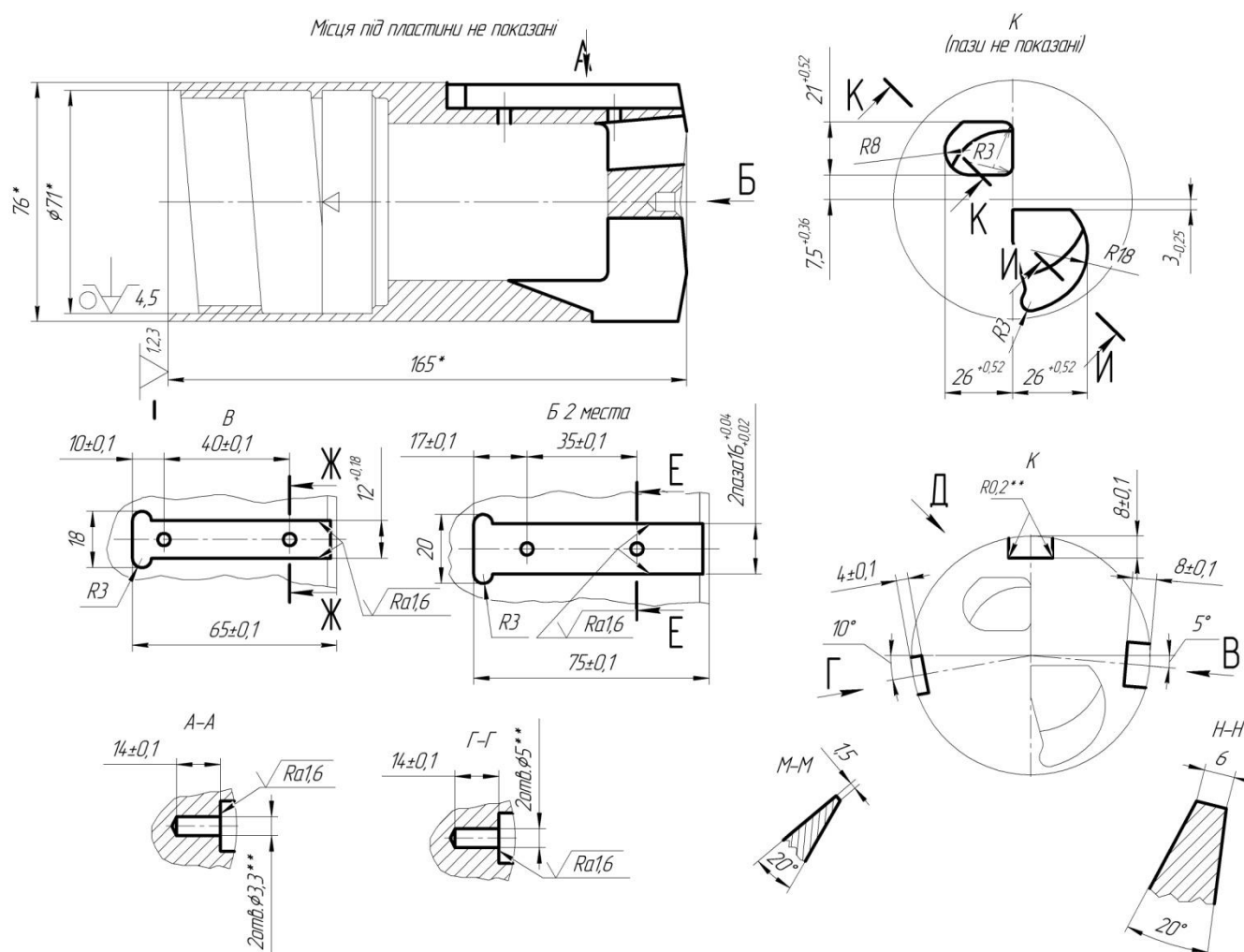


Рисунок 2.10 – Схема базування заготовки на комплексній з ЧПК операції

Точність форми оброблених поверхонь

На кресленні не позначені допуски форми, тому приймаємо їх рівними 60% від допуску на розмір, який зумовлює цю поверхню.

Відхилення від площинності стінок паза приймаємо в межах допуску на розмір 10, і він становить 60% від поля допуску

$$T = 0,6 \cdot 0,3 = 0,18 \text{ згідно [10] допуск дорівнює } 0,16 \text{ мм.}$$

По таблиці 5.6 [10] визначаємо відносну геометричну точність. Для 14 квалітету - 15 ступінь точності.

Порівнюємо отримане значення відхилення від площинності з табличним значенням по ГОСТ 24643 - 81 [10]. Табличне значення дорівнює 0,16 мм.

Точність розташування оброблених поверхонь.

На кресленні не позначені допуски розташування, тому приймаємо їх рівними 0,6 допуску на розмір.

Допуск паралельності стінок паза в межах допуску на розмір 10 він становить 60% від поля допуску і він дорівнює 0,18 мм. Порівнюємо отримане значення з табличним значенням по [10]. Табличне значення дорівнює 0,16 мм. Приймаємо, що допуск паралельності стінок паза дорівнює 0,16 мм, що відповідає 14-му ступеню точності.

Відхилення від нахилу осі паза щодо осі симетрії приймаємо в межах допуску на розмір 5 він становить 60% від поля допуску і він дорівнює 0,16 мм.

Допуск симетричності становить  $T = 0,09$  мм. Скорегувавши за довідником отримуємо, що допуск симетричності дорівнює 0,06 мм, що відповідає 5 ступені точності.

Шорсткість оброблюваних поверхонь.

Шорсткість оброблюваних поверхонь, яка вказана на кресленні, має значення 6,3 мкм за критерієм Ra.

З'ясування кількісних і якісних даних про заготовку, що надходить на операцію. На дану операцію заготовка надходить з остаточно обробленими базовими поверхнями. Маса заготовки - 95 кг.

Матеріал - сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Заготовка має циліндричну форму, цілком жорстка, оброблюваність її задовільна. До базових відносимо поверхні на які буде встановлена заготовка в пристрої.

Визначення умов в яких буде виготовлятися і експлуатуватися проектований пристрій.

У проектованому пристрої планується обробляти заготовки з базовими поверхнями саме такими або в межах  $\pm 10$  мм розмірів з вказаними параметрами точності. Іншими словами, адаптивні властивості настановних елементів пристрою повинні знаходитися в межах допусків зазначених розмірів.

Річна програма випуску визначена в 150 деталей. Така програма з урахуванням трудомісткості передбачає дрібносерійний тип виробництва. Але проектування даного пристрою проводиться в навчальних цілях.

Заготовка буде оброблятися на фрезерному верстаті з системою ЧПК. Паспортні дані верстата наведені у попередньому розділі.

Обробка на даній операції здійснюється кінцевою фрезою Ø10 мм. Пристрій має обслуговуватися верстатником 3-го розряду.

Складання переліку реалізованих функцій

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. Об'єднання функціональних вузлів (корпус).

9. Обробка поверхонь згідно ескізу.

10. Створення безпечних умов праці.

Зважаючи на функціональні вимоги до процесу обробки, ми проаналізували наявні технічні рішення та обрали найбільш доцільний варіант закріплення заготовки. Перевага була віддана перевіреним на практиці стандартним методам. Схема базування та закріплення детально описана у розділі 2.4. Враховуючи конструктивні особливості заготовки, інші варіанти закріплення були визнані неможливими.

Базування на оправці і по торцю.

Дана схема передбачає подвійну-напрямну та опорну бази, заготовка буде полишена п'яти ступенів вільності.



Остаточний аналіз структури зв'язків зробимо, побудувавши таблицю односторонніх зв'язків, використовуючи систему координат на рис. 2.11.

Таблиця 2.7 – Таблиця односторонніх зв'язків

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	R	R	R

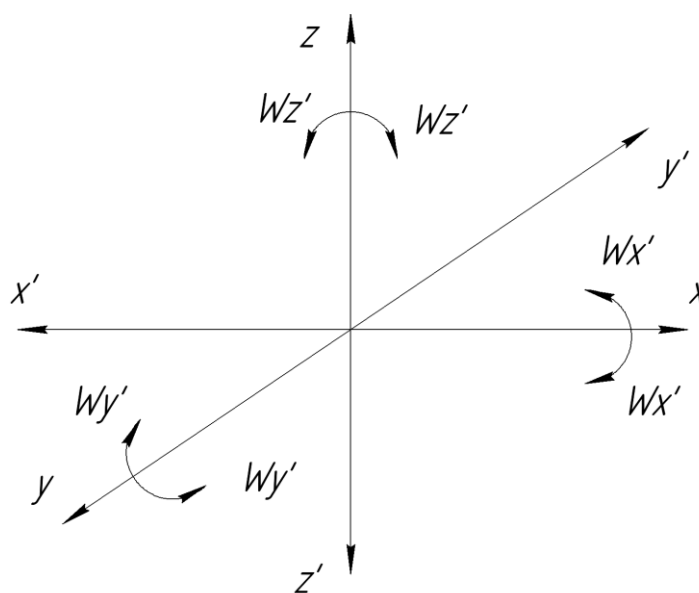


Рисунок 2.11 – Система координат

З таблиці 2.7 видно, що на заготовку накладено 11 односторонніх зв'язків, причому усі повні, що обумовлено відсутністю зазору між деталлю і пристроєм.

Щоб система стала врівноваженою під час обробки, необхідно позбавити заготовку можливості переміщатися по координаті Z.

Побудова функціональної структури і загальної компоновання пристрою.

З набору функцій, наведених у п.5, виділимо ті, які реалізуються в перебігу оперативного часу: 0,1,2,5,6,7. 3,4 Функції впливають на підготовчо-заклучний час; 9 функція прямого впливу на штучний час не робить.

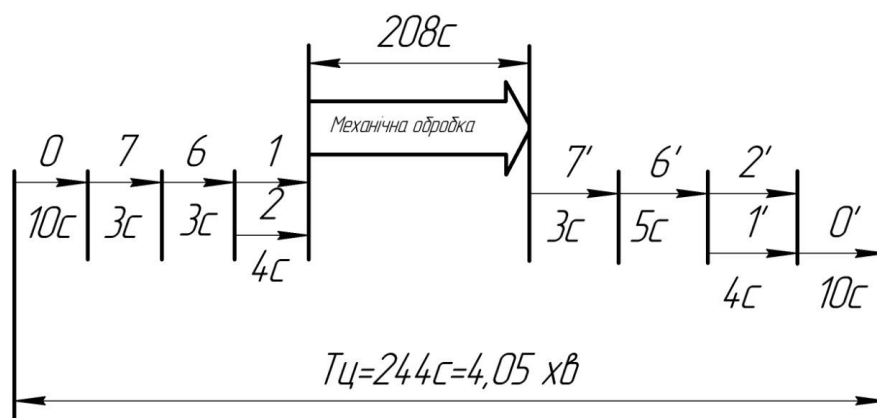


Рисунок 2.12 - Схема послідовної реалізації функцій

З урахуванням норм часу, було розроблено послідовну схему виконання технологічних операцій (рис. 2.12). Такий підхід є оптимальним для дрібносерійного виробництва, де використання універсального різального інструменту та одночасне виконання кількох операцій є недоцільним. Для забезпечення надійного закріплення заготовки було проведено аналіз взаємодії сил різання, сил закріплення та реакцій опор.

Результати аналізу дозволили розробити ефективну схему закріплення, яка забезпечує необхідну жорсткість системи та відсутність вібрацій.

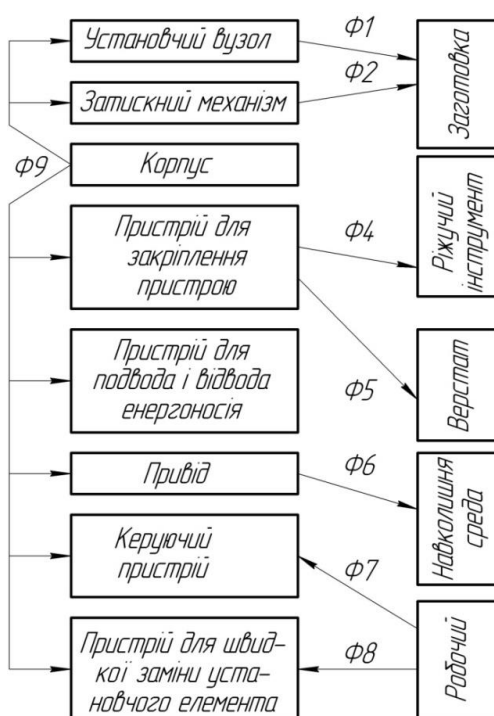


Рисунок 2.13 – Функціональна структура проектованого пристрою

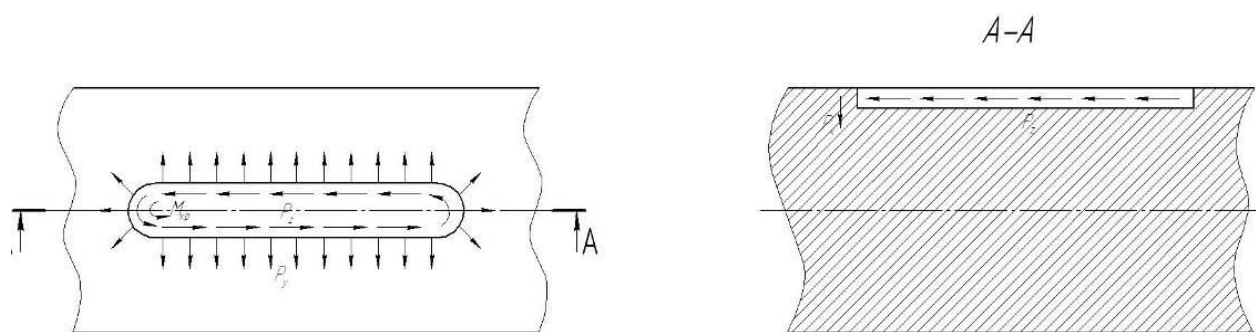


Рисунок 2.14 – Структура поля збудуючих сил

Висока жорсткість заготовки та використання спеціальних опорних елементів забезпечують достатню стійкість до деформацій під час обробки. Таким чином, відпадає необхідність у строгому дотриманні рівномірного розподілу сил закріплення.

Розрахунок сил закріплення

Розрахуємо коефіцієнт запасу за формулою з [12]:

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

де  $K_0$  – коефіцієнт гарантованого запасу.  $K_0 = 1,5$ ;

$K_1$  – коефіцієнт враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях ( $K_1 = 1,1$ );

$K_2$  – коефіцієнт що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту ( $K_2 = 1,7$ );

$K_3$  – коефіцієнт враховує збільшення сил різання при переривчастому різанні ( $K_3 = 1$ );

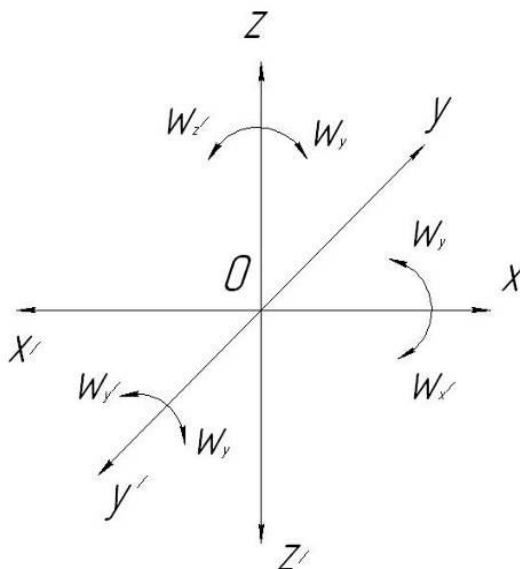
$K_4$  – коефіцієнт що характеризує сталість сили закріплення зажимного механізму ( $K_4 = 1,2$ );

$K_5$  – коефіцієнт що характеризує ергономіку ручних ЗМ ( $K_5 = 1$ );

$K_6$  – коефіцієнт враховує наявність моментів, що прагнуть повернути заготовку.

Тоді:

$$K = 1,5 \times 1,1 \times 1,7 \times 1,0 \times 1,2 \times 1,1 = 3,366.$$



Індекс зв'язку		$x$	$x'$	$y$	$y'$	$z$	$z'$	$\omega_x$	$\omega_x'$	$\omega_y$	$\omega_y'$	$\omega_z$	$\omega_z'$
Спосіб Реаліза- ції	Реакція			R	R		R	R	R	R	R	R	R
	Сила закріплення					W							
	Сила тертя	F(W)	F(W)										

Режими різання розраховані у пункті 2.8, сила різання складає 872 Н.

Складемо рівняння моментів сил і визначимо силу закріплення  $W$ .

$$W = \frac{k}{f} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{P_x^2 + P_x^2 + P_x^2}$$

Коефіцієнт тертя згідно [14] :  $f = 0,16$ .

$$W = \frac{3,366}{0,16} \cdot \sin \frac{90}{2} \cdot \sqrt{80^2 + 128^2 + 157^2} = 2966 \text{ Н}$$

Згідно силі закріплення 886 Н, визначимо силу, що виникає на штоку пневмоциліндра за формулою:

$$Q = \frac{W}{1,5} = \frac{2966}{1,5} = 1617 \text{ Н}$$

Так як деталь досить довга, тому раціонально застосувати два пневмоциліндри, що будуть безпосередньо діяти на шийки деталі.

Іншим способом силу на штоку пневмоциліндра визначаємо за формулою:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P \cdot \eta$$

Тоді площа поршня дорівнюватиме

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}}$$

де  $D$  – діаметр поршня;

$Q = 1671\text{Н}$  – сила на штоку;

$P = 0,4$  МПа – тиск у мережі;

$\eta = 0,8$  - ККД пневмоциліндра.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 617}{\pi \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,8}} = 0,152\text{м} = 152 \text{ мм.}$$

Вибираємо діаметр найближчого більшого стандартного значення поршня:  
 $D = 160$  мм.

Робимо перерахунок сили, що виникає на штоку і сили закріплення.

Сила, що виникає на штоку:

$$Q = \frac{\pi \cdot (160 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 0,4 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 1865\text{Н.}$$

Сила закріплення:

$$W = 1,5 \cdot Q = 1,5 \cdot 1865 = 2497\text{Н.}$$

Обґрунтування вибору приводу.

Існуючий метод закріплення заготовки за допомогою лещат з ручним приводом не забезпечує достатньої точності та стабільності процесу обробки. Застосування спеціального пристрою з механізованим приводом дозволить підвищити точність позиціонування заготовки та забезпечити більш стабільні результати обробки. Оптимальним варіантом є використання нерозбірних спеціалізованих пристроїв.

Точнісні розрахунки пристрою.

Розрахунок допусків для елементів пристрою полягає у переведенні вимог до точності обробки деталі на вимоги до точності виготовлення самого пристрою.

Перед розрахунком необхідно визначити ключові параметри, які найбільше впливають на точність обробки. Для даної операції найважливішим є допуск на розмір. Оскільки деталь базується вірно, то технологічна і вимірювальна бази збігаються.

Визначимо допустиму похибку на паралельність верхнього торця склянки до настановної поверхні плити за формулою [19]:

$$\varepsilon_{np} = T - K_T \cdot \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_{\delta})^2 + \varepsilon_s^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{noz}^2},$$

де  $T$  – допуск розміру  $T_{10} = 0,22\text{мм} = 220\text{ мкм}$ ;

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

$K_{T1}$  – коефіцієнт, який враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування, що приймається до уваги, коли похибки базування не дорівнюють нулю, в даному випадку  $K_{T1} = 0,85$ ;

$\varepsilon_{\delta}$  – похибка базування заготовки,  $\varepsilon_{\delta} = 0,03\text{ мм} = 30\text{ мкм}$  (визначена раніше).

$\varepsilon_s$  – похибка закріплення заготовки, тому привід механізований і похибка закріплення буде постійною, то враховуємо її один раз при налаштуванні верстата, приймаємо  $= 0$ ;

$\varepsilon_y$  – похибка установки пристрою на верстаті, враховує зазори між установочними елементами пристрою і посадочними елементами верстата (шпонками). Пристрій встановлюється на стіл за двома шпонками по посадці 16Н9 / h9. Але величина зазору на похибку отримуваних розмірів не впливає, так як вони вимірюються в різних напрямках.

$\varepsilon_n$  – похибка перекосу інструменту. Обробка вестиметься фрезою, що не має перекосу. Тобто похибка перекосу  $= 0$ .

$\varepsilon_u$  – похибка, що виникає внаслідок зносу настановних елементів пристрою. Величина зносу залежить від програми випуску деталей і форму настановної поверхні.

Похибка зносу настановних елементів пристрою визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_u = \beta_1 \cdot N^n,$$

де  $\beta_1 = 0,001$  - постійний коефіцієнт, узятий за рекомендаціями [19];

$N$  – число контактів заготовки з опорою. Річний випуск деталей = 150 шт. Пристрій передбачається експлуатувати без ремонту і заміни деяких настановних елементів 2 роки, тому

$$N = N_r \cdot n = 150 \cdot 2 = 300 \text{ штук.}$$

$$\varepsilon_u = 0,001 \cdot 300^2 = 0,09 \text{ мм} = 90 \text{ мкм.}$$

$K_{T2}$  – коефіцієнт, що враховує ймовірність появи похибки обробки, приймаємо за рекомендаціями [19, с 42]  $K_{T2} = 0,6$ ;

$w$  – середня економічна точність обробки, по [9] при фрезеруванні пазів середня економічна точність - 10 квалітет. Отже в розрахунках приймаємо допуск по 10-му квалітету тобто  $w = 60$  мкм;

$\varepsilon_{noz}$  – похибка позиціонування верстата. З паспорта верстата, на якому буде проводиться обробка = 5 мкм.

Виконуємо розрахунок допустимої похибки пристрою, яку не можна перевищити при виготовленні його деталей і їх складанні.

$$\varepsilon_{np} = 190 - 1,2 \cdot \sqrt{(0,85 \cdot 20)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 200^2 + (0,6 \cdot 50)^2 + 5^2} = 190 - 103 = 87 \text{ мкм}$$

За ГОСТ 24643-81 приймаємо допуск площинності установчих елементів пристрою  $T = 60$  мкм

Отже, на кресленні пристрою проставляємо допуск площинності установчих елементів рівний 0,06 мм.

## 2.10 Висновки

Для зниження собівартості виробництва було прийнято рішення використувати штамповану заготовку замість ковки на пресі.

Було проведено аналіз існуючого технологічного процесу та внесені наступні зміни: оптимізовано послідовність операцій, замінено універсальне обладнання на верстат з ЧПК.

Було проведено детальний аналіз схем базування заготовки для визначення можливих похибок. На основі отриманих даних було розраховано необхідні припуски, підбрано обладнання, інструмент та режими різання.

Для підвищення ефективності обробки було розроблено спеціальний пристрій з пневматичним приводом для комплексної обробки на верстаті з ЧПК. Було також розроблено повний комплект технологічної документації.



## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1 Особливості оброблення складнопрофільних поверхонь

Складні контури деталей, зокрема корпусів, ускладнюють їхнє надійне закріплення та точне позиціонування під час механічної обробки. Традиційне використання універсальних верстатних пристроїв, хоча й забезпечує необхідну точність, призводить до збільшення трудомісткості та витрат на виробництво. Для підвищення ефективності виробництва деталей зі складною геометрією необхідний детальний аналіз існуючих технологічних процесів з метою їхньої оптимізації з урахуванням сучасних технологій та обладнання.

Часті переустановлення заготовки під час механічної обробки, особливо на свердлильних, фрезерних та розточувальних верстатах, призводять до накопичення похибок встановлення та збільшення тривалості виробничого циклу. Це обумовлено необхідністю постійного переналаштування та вивірки заготовки, що знижує точність готового виробу та підвищує собівартість виробництва.

Технологічні процеси, розроблені в минулому, часто передбачали розбиття виробництва на велику кількість окремих операцій через обмежені можливості обладнання. Наприклад, обробка отворів, які виконують функцію бази, вимагала окремої операції. Такий підхід, хоча й був типовим для свого часу, призводив до збільшення тривалості виробничого циклу та зниження ефективності виробництва. Сучасне обладнання дозволяє виконувати більш комплексну обробку за один установ деталі, що значно скорочує час виробництва та підвищує точність.

Для забезпечення високої якості та продуктивності в умовах багатомоделного виробництва необхідно провести детальне дослідження розробленого верстатного пристрою. Це дозволить підтвердити його ефективність, працездатність та спростити процес переналагодження обладнання.

### 3.2 Розроблення 3D-моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерний аналіз

Дослідження напружено-деформованого стану верстатного пристрою було спрямоване на оптимізацію його конструкції для забезпечення точної обробки деталі "Корпус оправки". Аналіз НДС дозволив оцінити вплив деформацій елементів пристрою на точність обробки, виявити зони концентрації напружень та порівняти фактичні похибки з допустимими значеннями, зазначеними в кресленні деталі. Отримані результати дозволили внести необхідні зміни в конструкцію для підвищення її міцності та надійності.

Для забезпечення надійного і безпечного затискання деталі за внутрішню різьбу з кроком 40 мм було обрано розрізну оправку. Для визначення оптимальних геометричних параметрів оправки, зокрема довжини та ширини паза, буде проведено детальний аналіз напружено-деформованого стану. Це дозволить забезпечити рівномірний розподіл напружень і уникнути перенапруження матеріалу оправки, що є необхідною умовою для безперебійної роботи пристрою.

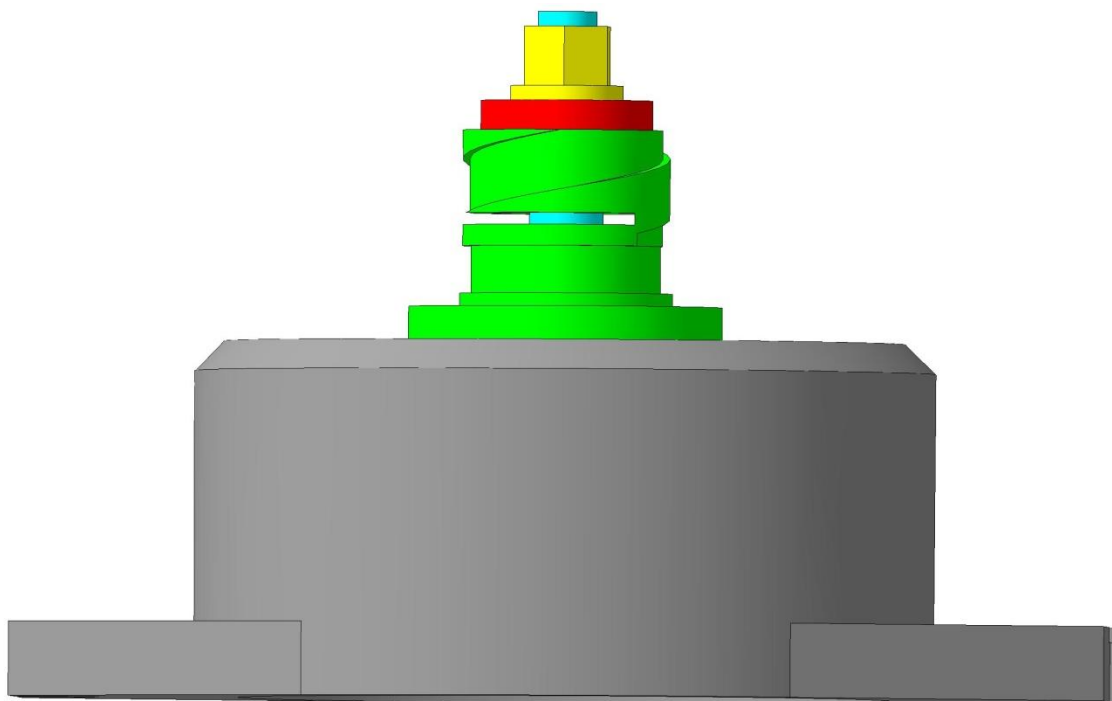


Рисунок 3.1 – Ескіз верстатного пристрою

За допомогою ANSYS отримані результати переміщень та напружень, що виникають у конкретних деталях та в місцях їх контакту. Ілюстрації з розрахунко-

вими схемами навантажень, переміщеннями та напруженнями при обробці наведені на рис. 3.2 – 3.4.

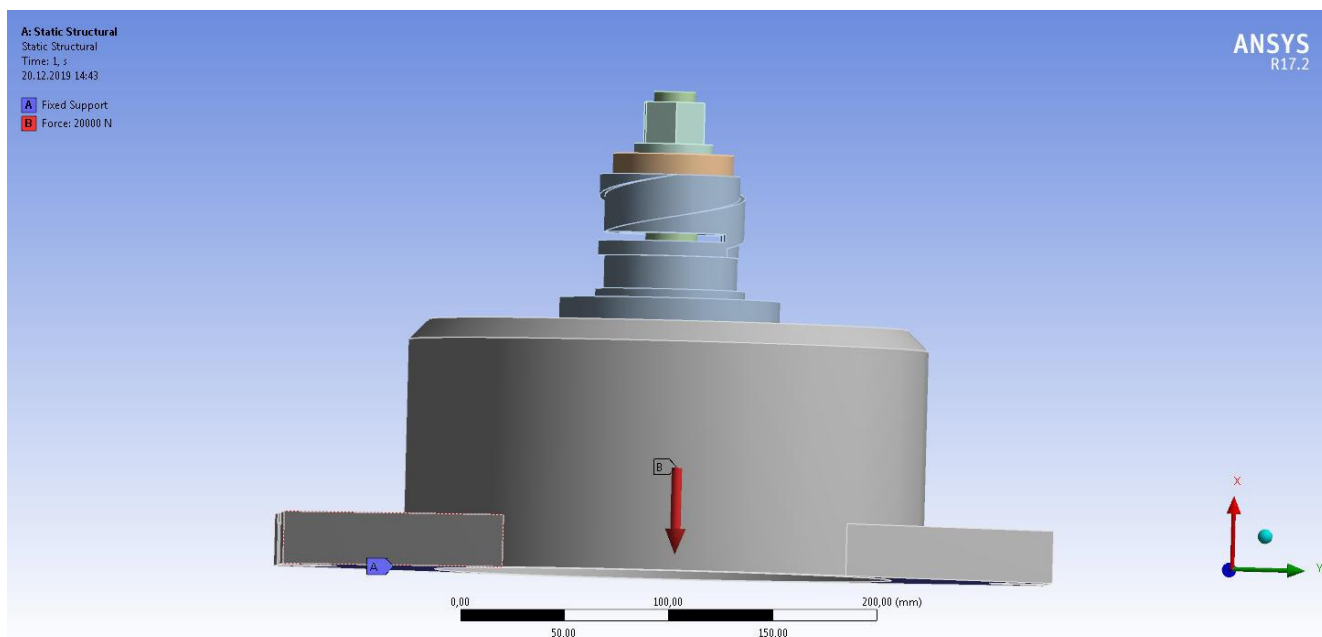


Рисунок 3.2 – Верстатний пристрій зі схемою навантажень

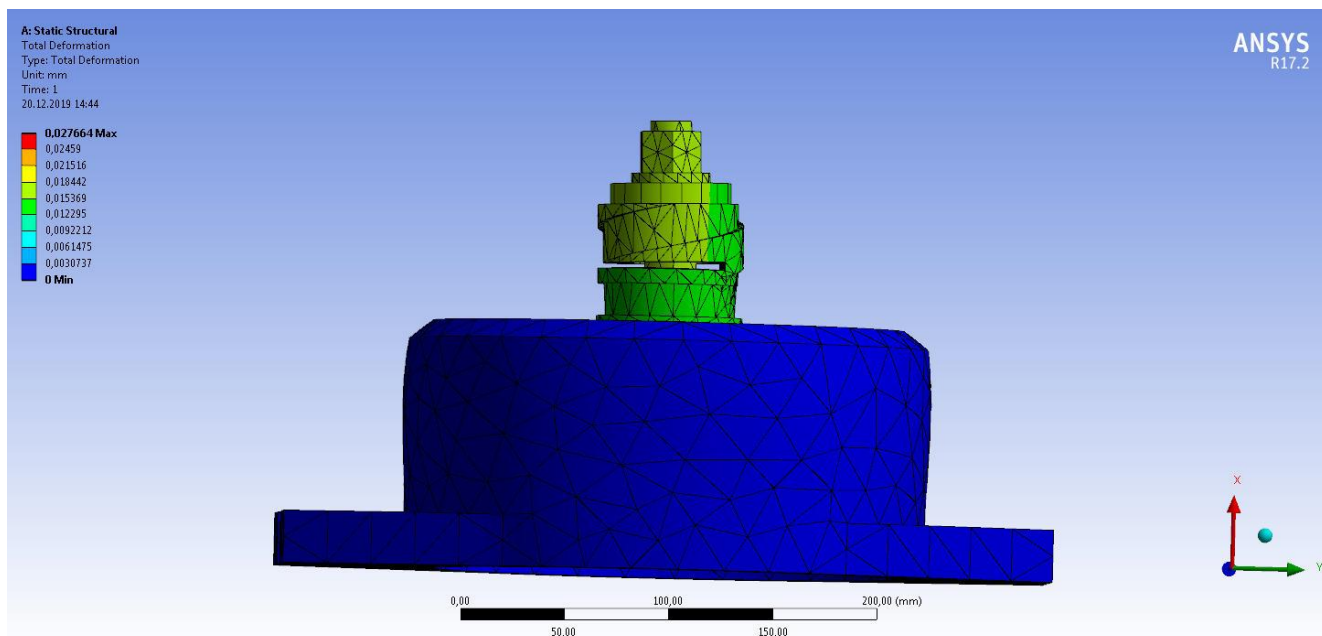


Рисунок 3.3 – Переміщення елементів ВП

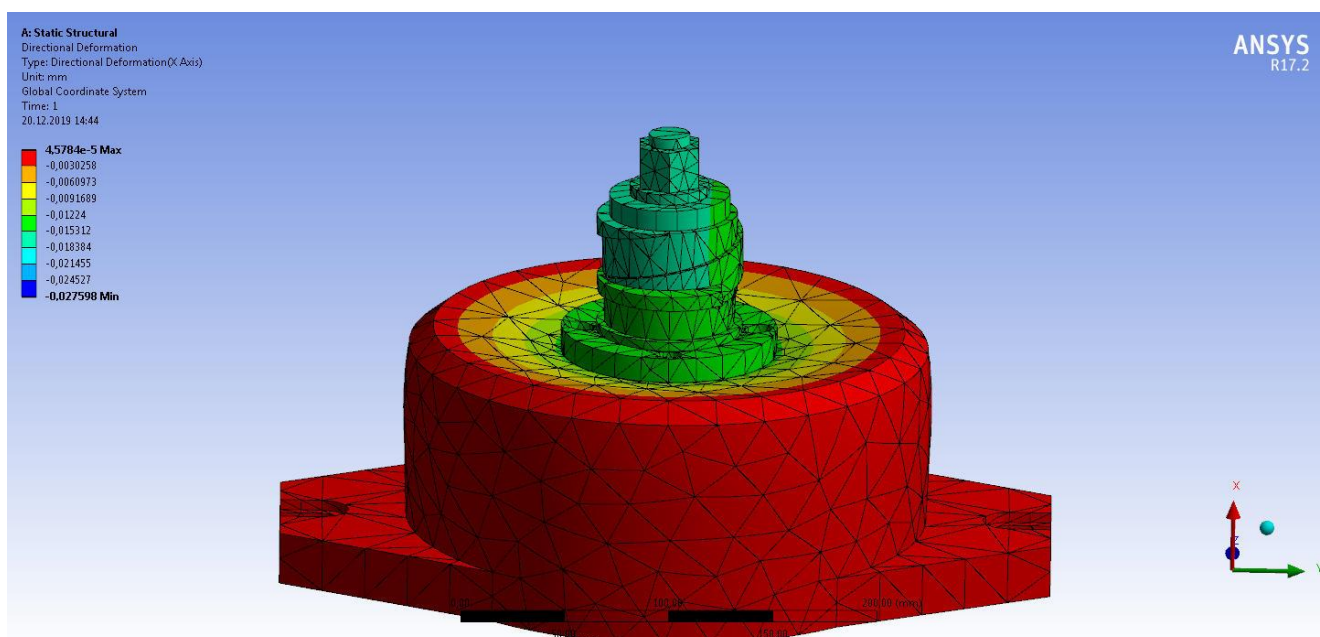


Рисунок 3.4 – Переміщення елементів системи ВП по осі X

Деформації за осями Y, Z не визначаємо так як сила не діє вздовж них. Таким чином встановлено, що ширина пазу згідно розрахунків та конструктивних міркувань рівна 8 мм, а довжина прорізу паза 50 мм.

Таким чином можна переходити до другої задачі – визначення НДС під дією режимів різання сил та моментів. Рисунки з виглядом сил та моментів представлені на рис. 3.5 – 3.10.

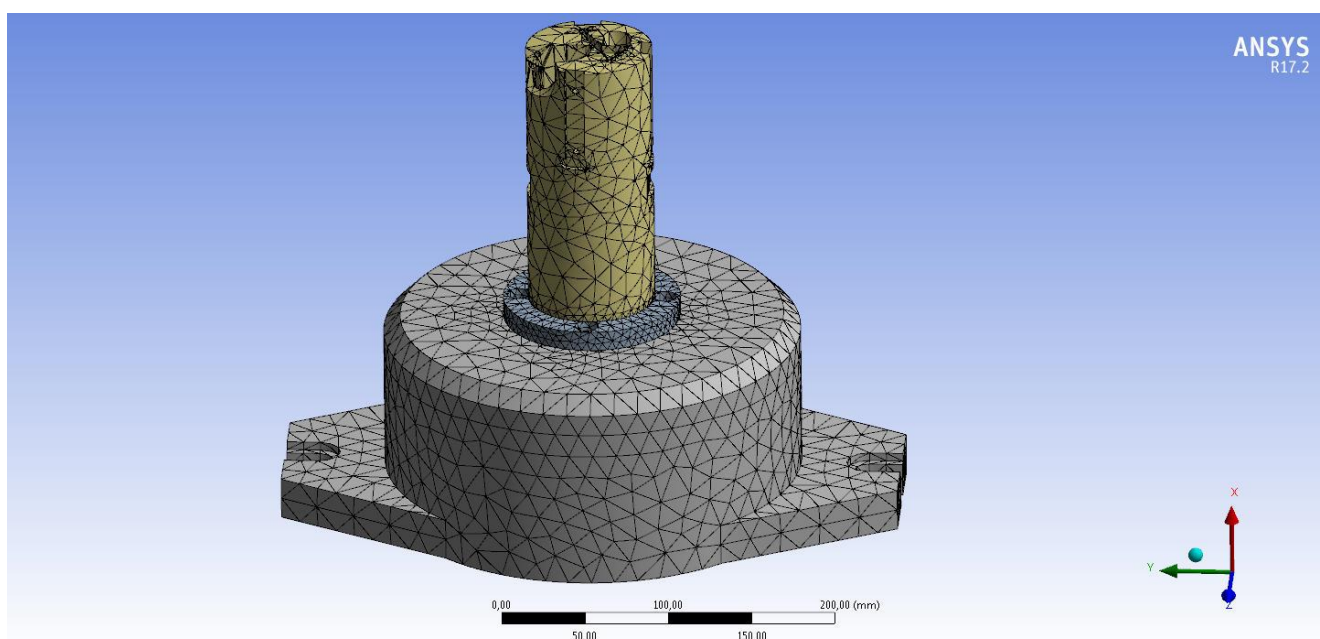


Рисунок 3.5 – ВП з деталлю зі скінчено елементною сіткою

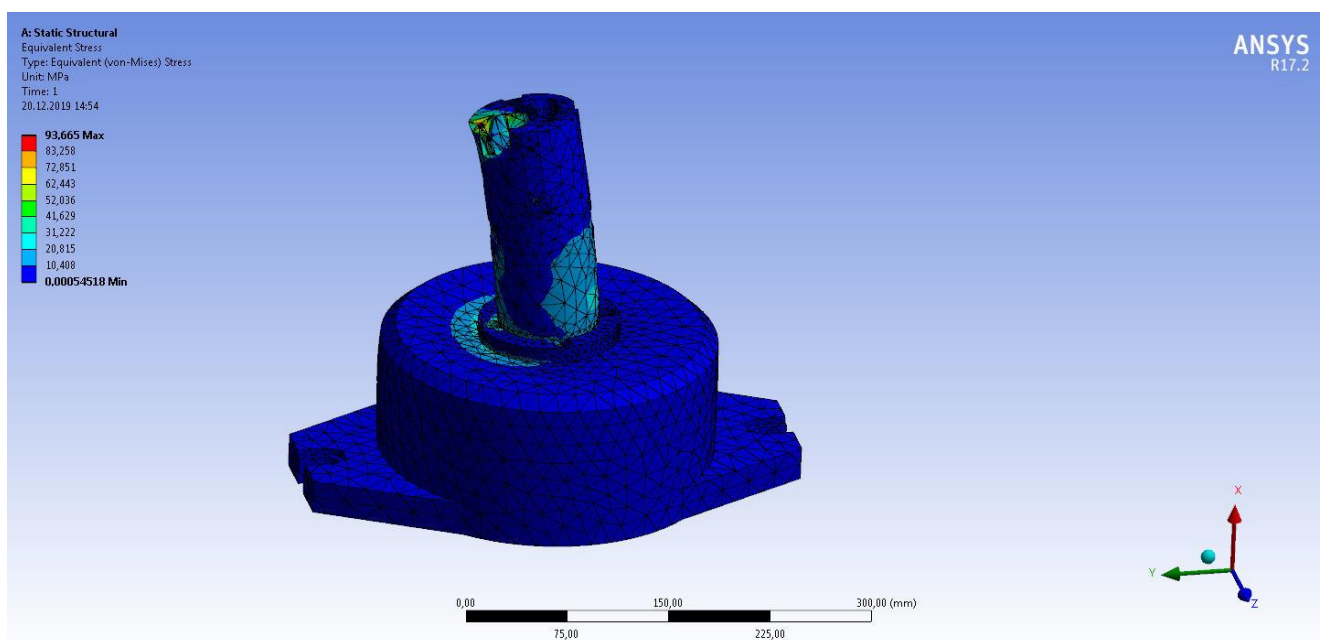


Рисунок 3.6 – Напруження елементів системи «ВП-заготовка»

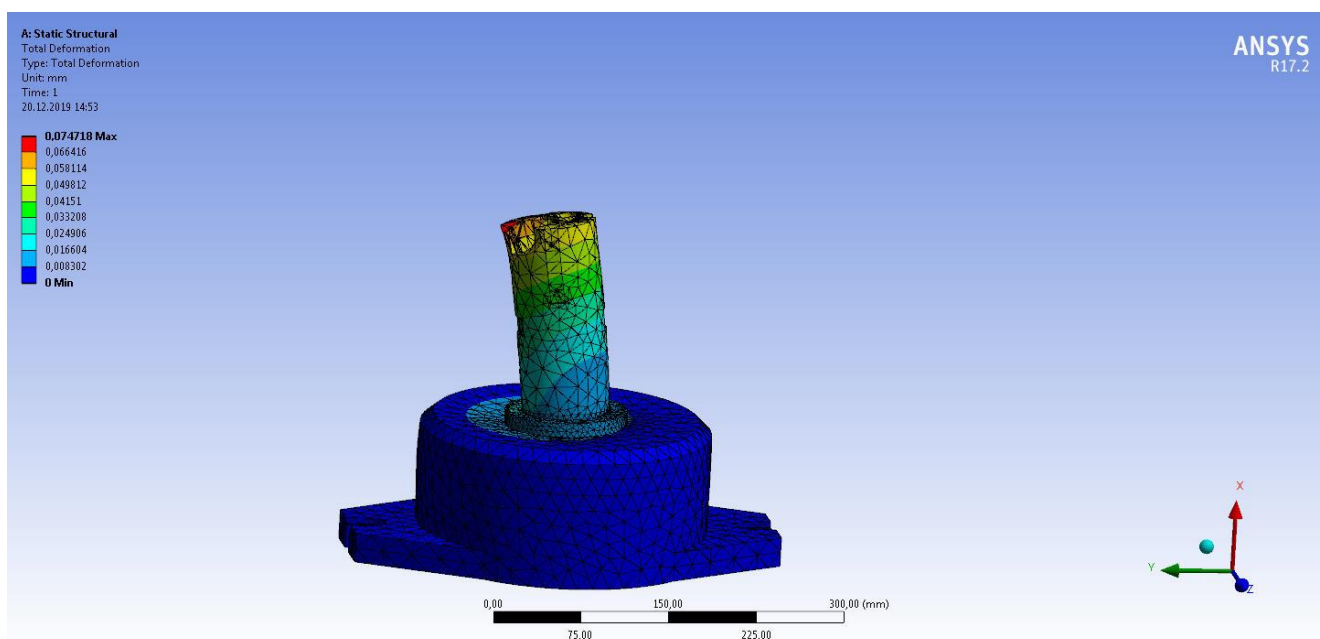


Рисунок 3.7 – Загальні переміщення елементів системи «ВП-заготовка»

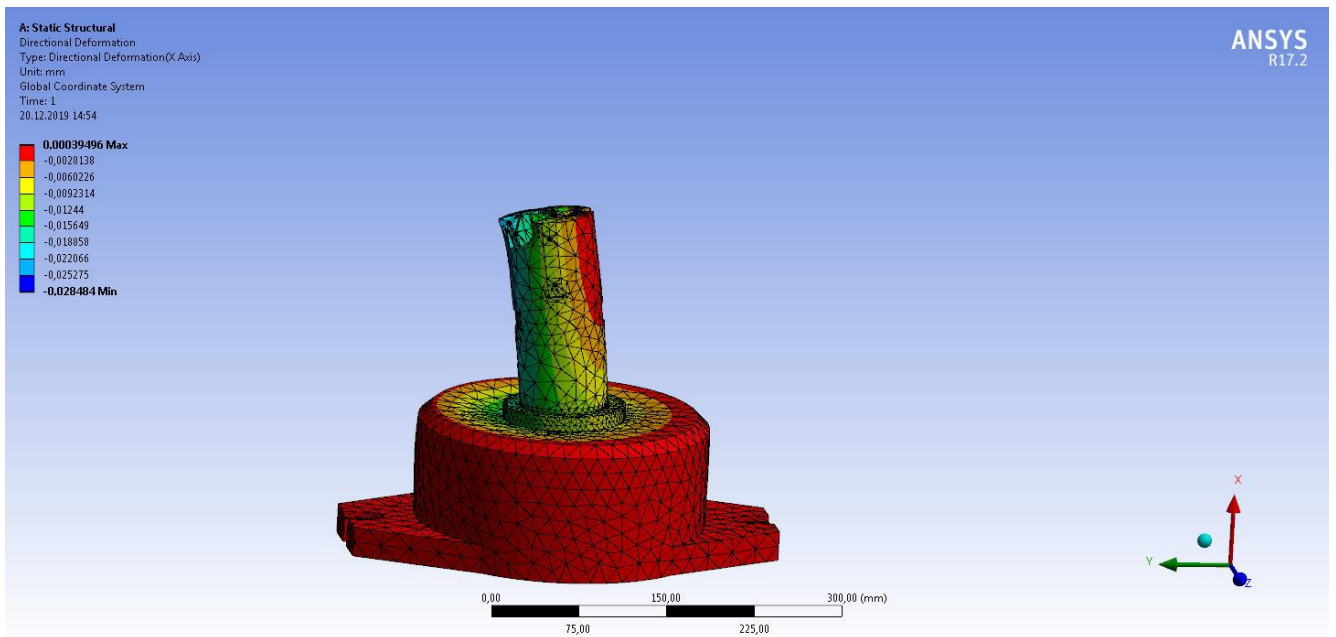


Рисунок 3.8 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка» по осі X

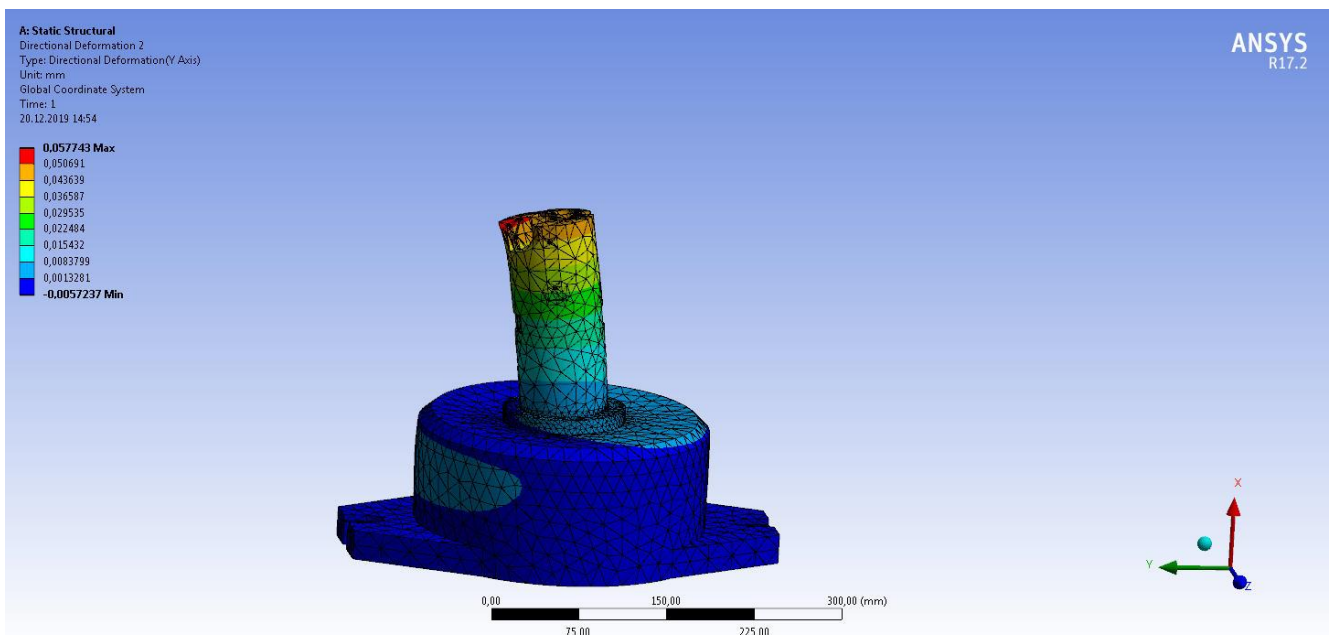


Рисунок 3.9 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка» по осі Y

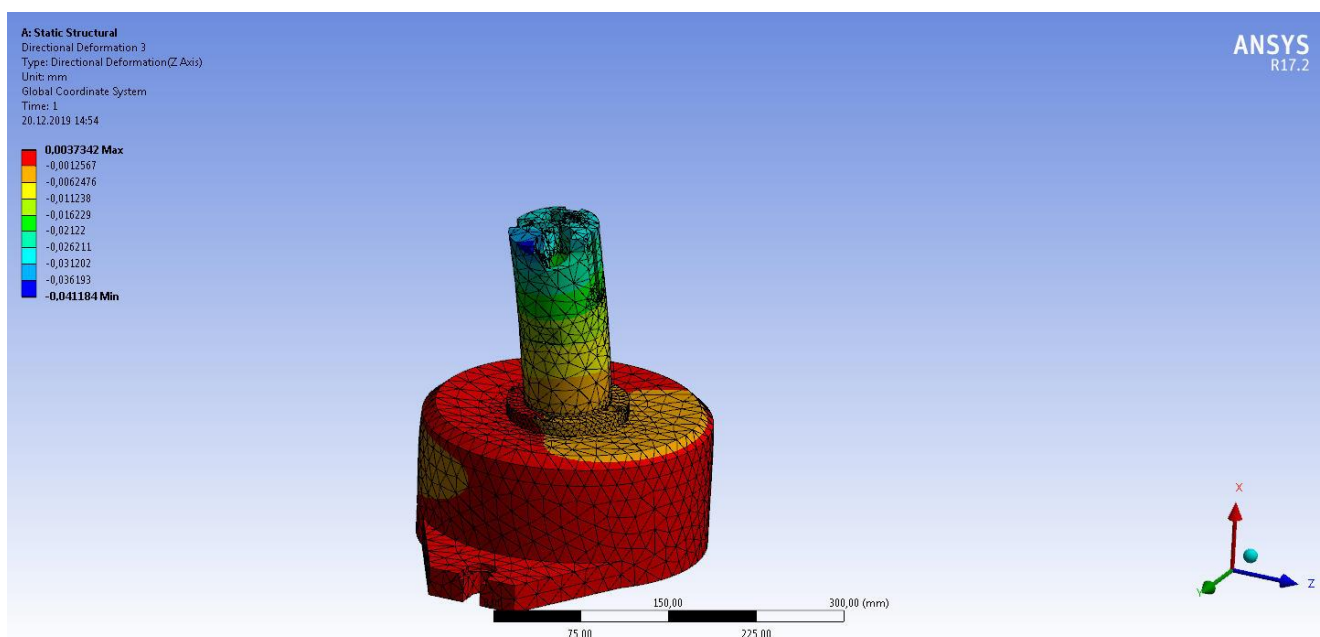


Рисунок 3.10 – Переміщення елементів системи «ВП-заготовка» по осі Z

Таблиця 3.1 – Результати чисельного моделювання

Технологічний перехід	Максимальні переміщення, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
Свердління отвору Ø12мм	0,007	0,1	182	600
Фрезерування пазу 10 мм	0,07	0,1	86	600

### 3.3 Аналіз власних частот верстатного пристрою

Для запобігання виникненню резонансу під час обробки на багатокоординатному верстаті було проведено аналіз власних частот верстатного пристрою за допомогою модуля Modal Analysis в ANSYS Workbench. Резонанс може призвести до зниження якості обробки та виходу обладнання з ладу. Отримані дані дозволи-

ли визначити оптимальні режими різання, які виключають збіг частоти обертання інструмента з частотами власних коливань пристрою.

Результати аналізу дозволяють за необхідності відлаштуватися від резонансу (табл. 3.2). При розрахунках усі елементи верстатного притерою зв'язувались між собою шляхом об'єднання вузлів. Для деяких поверхонь елементів верстатного притерою передбачено можливість відносного переміщення аналогічно із дослідженнями НДС.

Таблиця 3.2 – Порівняльна таблиця частот власних коливань

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання (при свердлінні отвору 3,3 мм), Гц
1133	1149	2019	420

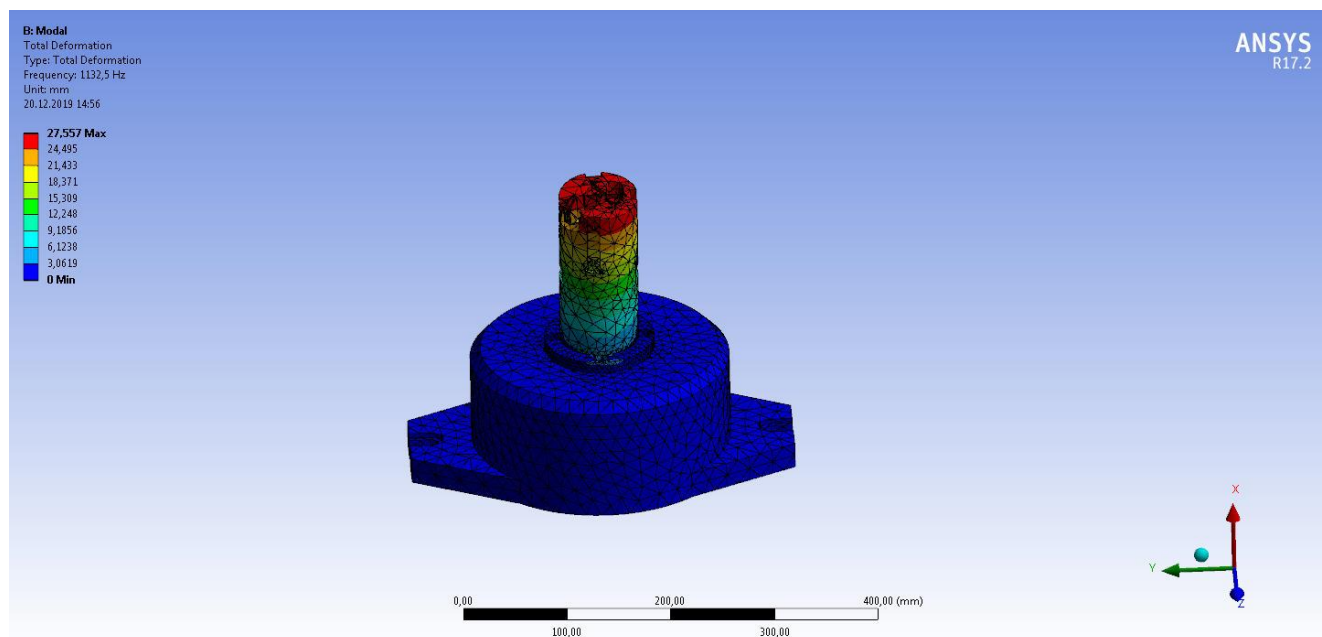


Рисунок 3.11 – Ілюстрація 1-шої частоти



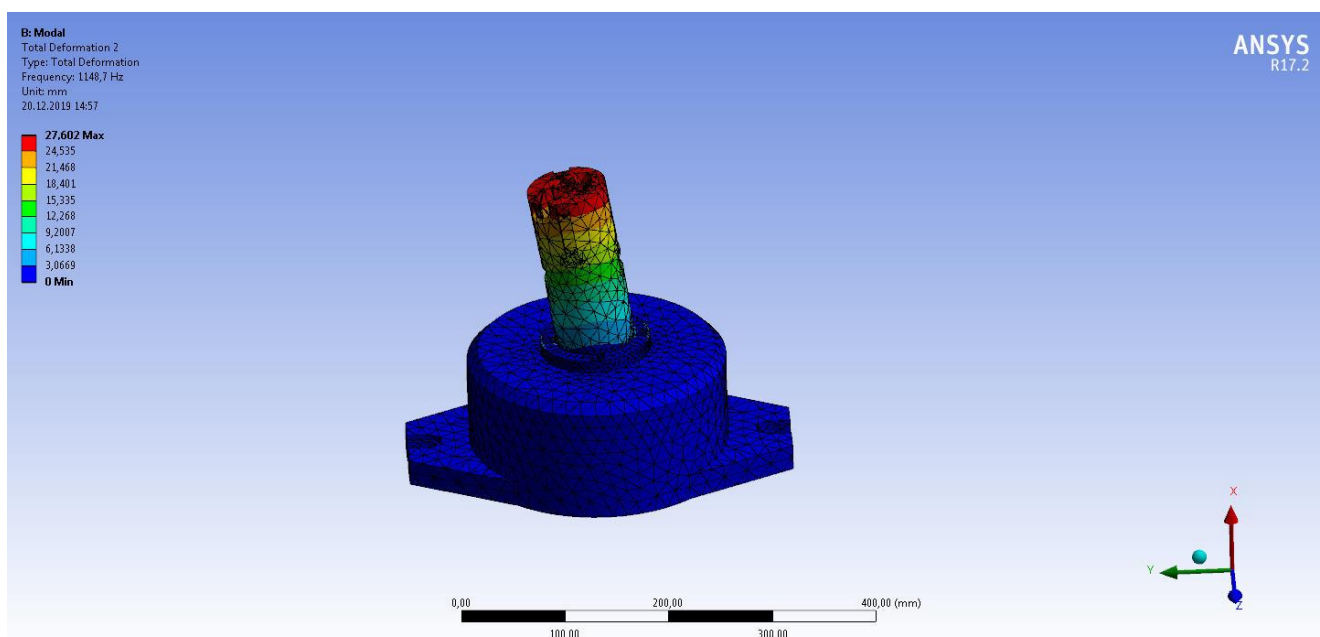


Рисунок 3.12 – Ілюстрація 2-ї частоти

Із табл. 3.2 видно, що для розробленого пристосування резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних коливань 1133 в двічі з лишнім вища за максимальну частоту процесу різання 420 Гц.

Отже жорсткість є достатньою для проведення механічного оброблення без виникнення резонансних режимів.

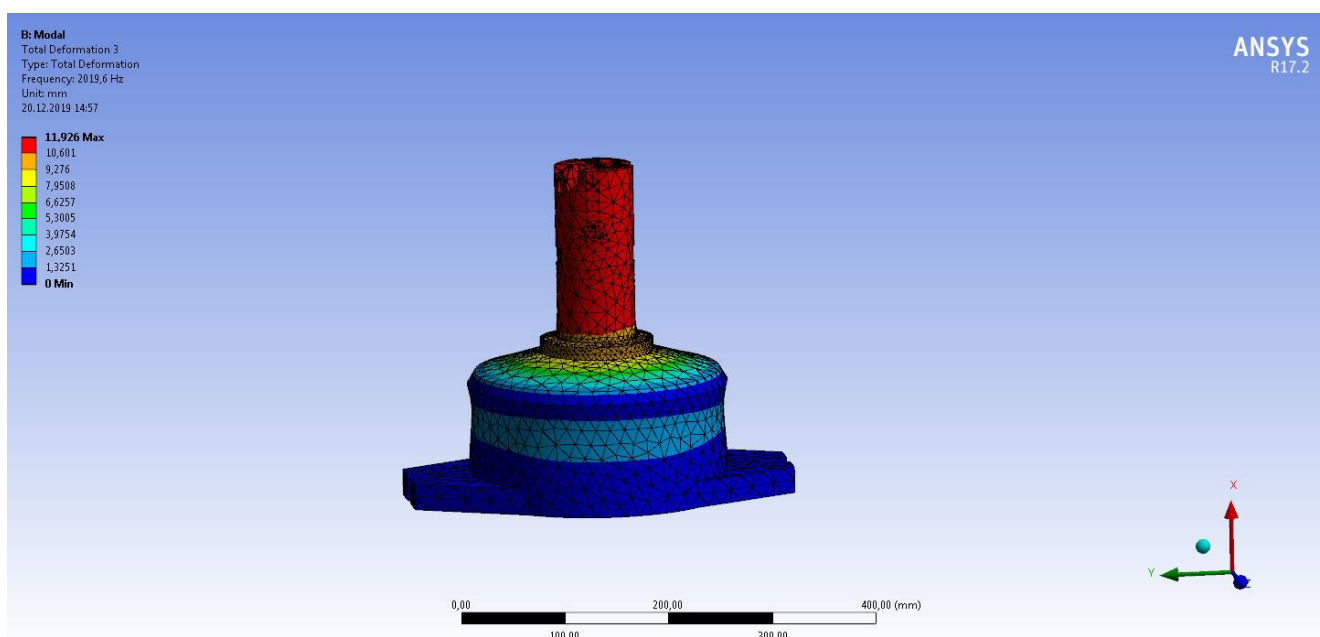


Рисунок 3.13 – Ілюстрація 3-ї частоти

### 3.4 Висновки

1. Запропонована нова структура комплексної ЧПК операції дозволяє об'єднати всі необхідні технологічні переходи в єдиний цикл, що суттєво скорочує допоміжний час та підвищує продуктивність виробництва. Зменшення кількості переустановок деталі сприяє підвищенню точності обробки та загальної якості виробу. Такий підхід дозволяє оптимізувати виробничий процес, зменшити потребу в обладнанні та підвищити конкурентоспроможність підприємства.

2. Проведений аналіз напружено-деформованого стану верстатного пристрою підтвердив, що конструкція забезпечує необхідну жорсткість для обробки деталі корпус оправки СП312.00.56-001 з дотриманням заданих технологічних допусків. Отримані результати свідчать про те, що деформації елементів пристрою не впливають суттєво на якість обробки, що дозволяє вважати розроблену конструкцію придатною для використання в умовах виробництва.

3. Проведений модальний аналіз верстатного пристрою дозволив визначити його власні частоти коливань та оптимізувати режим різання. Порівняння отриманих даних підтвердило, що за заданих умов експлуатації ризик виникнення резонансу відсутній, що забезпечує стабільну роботу верстата та високу якість обробки.

## ВИСНОВКИ

Тема дипломного проєкту – удосконалення технологічного процесу виготовлення корпусу оправки СПЗ12.00.56-001 шляхом розроблення верстатного пристрою для комплексної з ЧПК операції.

В ході виконання дипломного проєкту було здійснено наступні етапи роботи:

- проведено аналіз конструкції деталі, включаючи визначення її функціонального призначення та вимог до якості поверхні.
- здійснено оцінку технологічності конструкції відповідно до єдиної системи технологічної підготовки виробництва (ЄСТПП).
- визначено оптимальний тип виробництва – дрібносерійний – та розраховано розмір партії.
- обрано штамповку на КГШП як найбільш економічно доцільну заготовку.
- розраховані припуски на обробку зовнішньої циліндричної поверхні.

В результаті виконаної роботи було розроблено новий, більш ефективний технологічний процес виготовлення деталі. Запровадження сучасного обладнання з ЧПК та оптимізація послідовності операцій дозволили підвищити точність обробки, скоротити виробничий цикл та знизити собівартість продукції.

Спроектований верстатний пристрій для комплексної на оброблювальному центрі з ЧПК операції, який досліджений за параметрами напружено-деформованого стану та виконано аналіз часто власних коливань.

У розділі «Наукове дослідження» обґрунтовано досягнення точності, зменшення допоміжного та підготовчо-заключного часу на операціях механічного оброблення у розробленому верстатному пристрої.

До операцій 040 комплексна з ЧПК розроблено карту операційного налагодження.

## 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.