

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ

Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» з використанням верстату з ЧПК

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Галузь знань 13 механічна інженерія  
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка  
Шифр і назва спеціальності  
Назва

Освітня програма «технології машинобудування»  
Назва

Шифр ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Виконав студент 4 курсу група ПМТ-21-1  
Шифр

  
Підпис

Тадля Олександр  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук.  
Науковий ступінь, звання

  
Підпис

Костюк Сава  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

  
Підпис

Сергій БИСЬ  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:

Завідувач кафедри технології машинобудування  
Назва

  
Підпис

Віталій ТКАЧУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата «3» серпня 2025

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування  
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)  
Галузь знань 13 механічна інженерія  
Спеціальність 131 прикладна механіка  
Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

7.02 2025

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ**

Тадзі Олександр Андрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема дипломної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» з використанням верстату з ЧПК

керівник роботи Костюк Сава Андрійович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учасник викладання

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 15.05.25

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) креслення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 5000 шт.

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

Вступ

1. Аналітична частина
2. Технологічна частина
3. Конструкторський розділ
4. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу: креслення деталі із 3D моделлю (1 лист А1); креслення заготовки (1 лист А1); карта наладки (1 лист А1); креслення генерування керуючої програми (1 лист А1); креслення верстатного пристрою (1 лист А1); креслення вимірювального інструменту (1 лист А1)

6 Консультації розділів дипломного проекту (роботи)

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

7 Дата видачі завдання 12.05.2014

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапу (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Аналітична частина	10.01.2014	
2 Технологічна частина	15.04.2014	
3 Конструкторський розділ	05.05.2014	
4 Охорона праці	16.05.2014	

Студент



Галда Олександр  
№ 0100012

Керівник проекту (роботи)



Косишук Світлана  
№ 0100012

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Тадля Олександр Андійович на захист дипломного проєкту (роботи)  
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» з використанням верстату з ЧПК

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(п/ім, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Тадля О. А. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2021 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 35,71%, добре 60,71%, задовільно 3,57%. шкалою ЄКТС: А 39,62%, В 37,74%, С 15,09%, D 7,55%, E 0,00%.

Методист факультету

(п/ім)

(п/ім, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ)  
ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Олександр Тадля власно приступив до виконання дипломної роботи та систематично працював над її виконанням. Під час роботи проявив ґрунтовні знання з технології машинобудування та вміння вирішувати практичні задачі. Робота виконана відповідно до завдання, в повному обсязі та заслуговує оцінки «Відмінно»

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Керівник дипломного проєкту

(п/ім)

Слава КОСТЮК

(п/ім, прізвище)

" 5 " червня 2025 р

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Тадля О. А. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

(п/ім)

технології машинобудування

Ігор В. Ткачук

(п/ім, прізвище)

" 6 " червня 20

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ  
на кваліфікаційну роботу бакалавра

студента Тадлі О.А.

Тема роботи: «Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» з використанням верстатів з ЧПК»

Тема кваліфікаційної роботи та її зміст відповідають вимогам до кваліфікаційних робіт бакалаврів.

Тадля О.А. проаналізував базовий (заводський) технологічний процес вказаної деталі, метод виготовлення заготовки, схеми базування заготовок, схеми установки верстатних пристроїв та запропонував шляхи вдосконалення.

Тадля О.А. розробив сучасний технологічний процес механічного оброблення деталі „Вал ступінчастий МВ 4216202400” із застосуванням новітніх технологій, сучасного обладнання та сучасних різальних інструментів провідних закордонних фірм, спроектував спеціальні верстатний пристрій для фрезерної операції та контрольний інструмент калібр-скоба для контролювання точності розміру деталі.

В розділі «Охорона праці» Тадля О.А. провів аналіз існуючих небезпечних та шкідливих факторів, що існують на виробництві та запропонував шляхи вирішення цього питання на дільниці виготовлення деталі „Вал ступінчастий МВ 4216202400”.

В якості зауважень, можна вказати на те, що спроектований верстатний пристрій для фрезерування шпонкового паза більше підходить для універсального обладнання ніж для запропонованого верстата з ЧПК.

В цілому дипломна робота виконана на хорошому інженерному рівні. Представлені розробки можливо рекомендувати до впровадження на дільниці механічного оброблення, Дипломна робота заслуговує оцінки «Відмінно».

РЕЦЕНЗЕНТ

*доц.кадр. А.М., к.т.н. Мамонцев А.Р.*

(прізвище, ім'я по батькові, посада, місце роботи)

..19... травня..... 2025 р.

*А.М.*

(підпис)

Завідувачу кафедри ТМ  
Канд. техн. наук, доц. Ткачуку В.П.

Тадлі О.А.

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТА, 4 курс, групи ПМТ-21-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20.05.2025

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ Технологія машинобудування  
 ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Ускладнена технічна функція виготовленої деталі без суцільності №821624003  
 Автор Тачал О.А. з використанням верстату з ЧПК  
 Освітня програма Технологія машинобудування  
 Рівень вищої освіти перший (бакалавр)  
 Спеціальність 131 Прикладна механіка  
 Науковий керівник: Костюк С.А.

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Strike Plagiat - 13,5%  
Anti - Plagiarism V - 15,274 - 6,0%

Дата

Завідувач кафедри

[Підпис]  
Підпис

Віталій ТЕАЦУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми

[Підпис]  
Підпис

Микола Володимир  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

[Підпис]  
Підпис

Соба КДЕТЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було проведено удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400», виготовленої зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015.

У пояснювальній записці подано аналіз конструктивних особливостей зазначеної деталі з метою виявлення недоліків і проблем, притаманних базовому технологічному процесу її виготовлення. Особливу увагу приділено оцінці технологічності конструкції та визначенню типу виробництва. За результатами досліджень було розроблено вдосконалений технологічний процес (ТП) механічної обробки деталі «Вал ступінчастий 4216202400», в якому передбачено використання сучасного металорізального обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК).

У середовищі SolidWorks CAM створено програму для токарної обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК, HAAS ST-20, що дало змогу віртуально відпрацювати траєкторії інструменту та перевірити коректність операцій до їх практичного виконання. А також отримати готову керуючу програму для керуванням верстату.

У конструкторській частині проекту розроблено спеціальний верстатний пристрій для фіксації деталі під час фрезерування шпонкового пазу, що забезпечує надійність та точність при виконанні відповідної операції.

У розділі з охорони праці висвітлено заходи, спрямовані на забезпечення безпеки оператора та безаварійну експлуатацію обладнання в умовах використання верстата з ЧПК. Проведено оцінку відповідності запропонованого ТП вимогам національного стандарту ДСТУ EN ISO 13849-1:2018, виконано аналіз професійних ризиків та представлено шляхи та засоби для їх мінімізації.

Дипломний проект містить пояснювально-розрахункову записку на 76 сторінок друкованого тексту, та 6 листах формату А1 графічної частини.

**Ключові слова:** деталь вал, верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК), різальний інструмент, пристрій, технологічний процес (ТП).

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

# ЗМІСТ

## ВСТУП

### 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

- 1.1 Аналіз креслення деталі
- 1.2 Аналіз точності розмірів
- 1.3 Аналіз форми поверхонь
- 1.4 Аналіз розташування поверхонь
- 1.5 Аналіз якості поверхонь
- 1.6 Аналіз точності деталі
- 1.7 Формулювання основних технічних завдань
- 1.8 Аналіз використаного матеріалу
- 1.9 Визначення типу і форми організації виробництва

### 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

- 2.1 Вибір методу отримання заготовки
- 2.2 Проектування маршруту обробки деталі за окремими поверхнями
- 2.3 Визначення основних технологічних баз
- 2.4 Вибір обладнання та технологічного оснащення
- 2.5 Розроблення технологічних операцій
- 2.6 Аналітичний розрахунок припуску на механічну обробку для однієї поверхні
- 2.7 Вибір режимів різання
- 2.8 Визначення технічних норм часу
- 2.9 Створення керуючої програми обробки для верстату ЧПК

### 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

- 3.1 Проектування технічного оснащення для фрезерування шпонкового паза деталі Вал
  - 3.1.1 Принцип роботи пристрою
  - 3.1.2 Назначення режимів та визначення сил різання
  - 3.1.3 Розрахунок зусилля закріплення деталі
  - 3.1.4 Розрахунок затискного зусилля
  - 3.1.5 Крутний момент
  - 3.1.6 Коефіцієнти надійності закріплення

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		9

- 3.1.7 Розрахунок вихідного зусилля Q
- 3.1.8 Розрахунок діаметру пневмоциліндра
- 3.1.9 Розрахунок тягнучої сили
- 3.1.10 Перевірка діаметра штока на міцність та стійкість
- 3.1.11 Розрахунок пристрою на точність
- 3.2 Проектування вимірювального інструменту
- 4 ОХОРОНА ПРАЦІ
- 4.1. Аналіз безпеки використання обладнання
- 4.2 Оцінка безпеки при виконанні технологічного процесу
- 4.3 Способи зменшення небезпек та ризиків у наявному ТП
- ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ
- СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ
- ДОДАТКИ

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Завершальним етапом інженерної підготовки у закладі вищої освіти є виконання та публічний захист дипломної проєкту. Дипломне проєктування є найвідповідальнішим та найінтенсивнішим періодом освітнього процесу, під час якого студент має можливість не лише поглибити набуті знання, а й продемонструвати здатність самостійно формулювати, аналізувати та вирішувати практичні інженерні завдання, а також правильно оформлювати та презентувати результати своєї праці.

Дипломний проєкт виступає як випускна кваліфікаційна робота студента, за результатами захисту якої Державна екзаменаційна комісія приймає рішення щодо присвоєння випускнику відповідного професійного звання кваліфікацію дипломованого фахівця.

Під час виконання кожного дипломного проєкту необхідно розв'язати низку взаємопов'язаних технологічних і конструкторських задач. Тематика даного дипломного проєкту передбачає проєктування удосконаленого технологічного процесу механічної обробки конкретної деталі, що дозволяє не лише вирішити актуальні виробничі питання, а й запропонувати рішення, які можуть бути інтегровані у реальні умови машинобудівного виробництва.

Особливістю обраної теми є орієнтація на розробку сучасного ТП із залученням передових технічних засобів – автоматизованих верстатів з ЧПК, модульних верстатних систем та вискоєфективного різального інструменту. Такий підхід відповідає тенденціям розвитку сучасного машинобудування та сприяє підвищенню продуктивності й якості виготовлення деталей.

Успішне виконання дипломного проєкту передбачає послідовну підготовку, що розпочинається задовго до проходження преддипломної практики. Часто використовується принцип спадкоємності: обрана тема досліджується спочатку в межах курсового проєкту, який виступає базою для подальшого розширення та поглиблення у дипломній роботі. Особливе значення приділяється також самостійності студента, яка сприяє його інженерному зростанню як спеціаліста.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

# 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз креслення деталі

Як завдання для курсового проектування технологічного процесу було видано креслення валу. Вал призначений для передачі крутного моменту від зубчастого колеса, з'єднаного з валом за допомогою шпонкового з'єднання. Найбільш відповідальною поверхнею валу, до якої пред'являються найсуворіші вимоги, є дві шийки  $\varnothing 55k6^{(+0,021)}$ , під установку підшипників кочення. До цих поверхонь також пред'являються найвищі вимоги за формою поверхні. А саме: допуск на круглість та поздовжній перетин 0,003 мм. Розташування поверхні визначається допуском на радіальне биття і становиться 0,03 мм. на ліву шийку і 0,02 мм на праву. Вимога до чистоти поверхні пред'являється трохи більше Ra0,32 мкм. Також на валу виконано фланець з розміром  $\varnothing 86$ , на якому розташовуються 5 ступінчастих отворів  $\varnothing 6,5$  та  $\varnothing 10,5$  відповідно. Згідно з технічним завданням на розробку технологічного процесу, виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» тип виробництва середньосерійний.

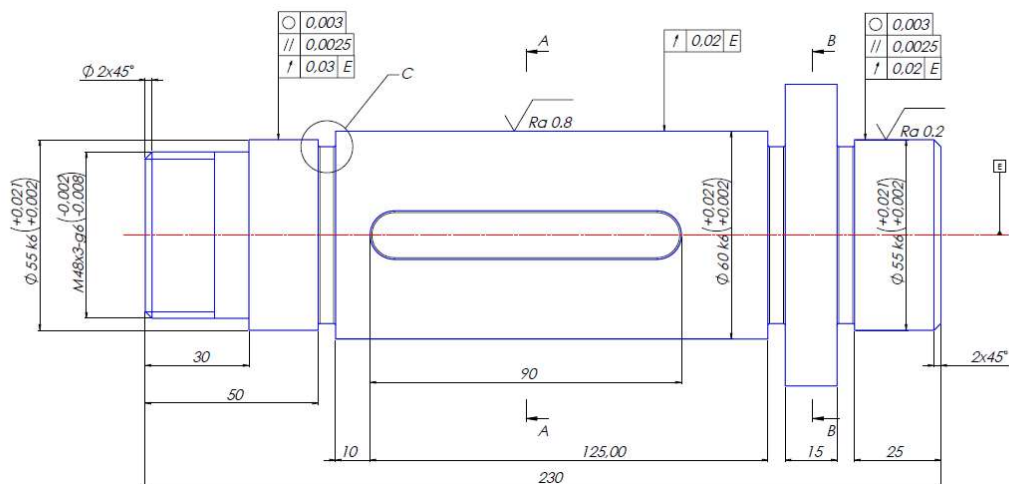


Рисунок 1.1 – Креслення деталі

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – 3D модель деталі

## 1.2 Аналіз точності розмірів

Шийки під підшипники виконані з допуском на розмір  $\varnothing 55k6 \begin{pmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{pmatrix}$ .

Циліндричні поверхні під установку зубчастого колеса та з'єднання редуктора з муфтою мають розміри з допуском  $\varnothing 60k6 \begin{pmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{pmatrix}$  відповідно. На цих поверхнях є шпонковий паз глибиною 5 (+0,2). Шпонковому пазу присвоєний допуск 100H15 (+1) мм. Різьблення зовнішнє виготовляється з допуском M48 – 6g (–0.002).

## 1.3 Аналіз форми поверхонь

Дві шийки під підшипник мають підвищену вимогу до допуску круглості та повздовжнього перерізу валу, що дорівнює 0,025 мм. Поверхні, які не мають особливих вимог до розташування поверхонь, наказується виконати в межах допуску на розмір поверхні.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		13

## 1.4 Аналіз розташування поверхонь

Радіальне биття на ліву шийку під підшипник встановлено 0,01 мм. Радіальне биття на праву шийку під підшипник встановлене 0,025 мм. У поверхні, що має діаметр  $\varnothing 60k6$ , є вимога до радіального биття з допуском не більше 0,02 мм. Також на валі присутній допуск на торцеве биття уступу під підшипники валу  $\varnothing 60$  мм рівний 0,025 мм. Допуск симетричності розташування шпонкового пазу та позиційний допуск на розташування 5 ступінчастих отворів  $\varnothing 6,5$  та  $\varnothing 10,5$  відповідно визначається кресленником деталі. Інші поверхні виконуються з допусками на розташування поверхонь згідно із загальними відхиленнями на розмір.

## 1.5 Аналіз якості поверхонь

Робочі шийки під установку підшипників виконані з шорсткістю не більше  $Ra0.02$  мкм. На циліндричній поверхні, що має шпонковий паз, присутня вимога до чистоти поверхні, що дорівнює  $Ra0.8$  мкм. До лівого та правого буртика циліндричної поверхні  $\varnothing 60$  пред'явлена шорсткість  $Ra0.8$  мкм. Стінки шпонкового паза виконані з шорсткістю  $Ra3.2$  мкм., а основа паза  $Ra6.3$  мкм. Всі інші поверхні виконати з шорсткістю  $Ra12.5$  мкм.

## 1.6 Аналіз точності деталі

Конструкція та характеристики валу забезпечуються можливість застосування типових та стандартних технологічних процесів виготовлення, а також дає можливість закріплення в центрах. Вказані на валу канавки є стандартизованими та необхідні технологічно для виходу шліфувального круга та різця для нарізання різьби. Різьблення M48-6g має великий крок і не вимагає спеціального інструменту для її

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

отримання. Для виготовлення даної деталі знадобляться фрезерний з ЧПК, токарний з ЧПК та круглошліфувальний верстати.

### 1.7 Формулювання основних технологічних завдань

#### Точність розмірів

Найточнішими поверхнями є: дві шийки під підшипники кочення  $\varnothing 55k6$  та циліндрична поверхня під установку зубчастого колеса з розмірами  $\varnothing 60k6$ .

#### Точність поверхні

Найбільш високі вимоги за формою поверхні пред'являються до шийок під підшипники. Дані поверхні мають допуск круглості та повздовжнього перерізу рівний  $0.003$  мм.

#### Точність розташування

Жорстка вимога до допуску радіального биття мають дві шийки  $\varnothing 55k6$ .

#### Шорсткість

Циліндричні поверхні під підшипники повинні мати шорсткість рівну  $Ra0.2$  мкм.

#### Необхідна твердість

Деталь перед експлуатацією має пройти термічну обробку та мати твердість HRC  $38...42$ .

### 1.8 Аналіз використаного матеріалу

Для заготовки типу вал було вибрано прокат з легованої конструкційної сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Характеристики матеріалу наведені в таблиці 1.1, 1.2

Таблиця 1.1 – механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Марка	$\sigma_m$	$\sigma_b$	Відносне звуження, %	Твердість НВ, не менше
	МПа			
45X	785	980	45	217

Таблиця 1.2 – хімічні властивості сталі 40X ДСТУ 7806:2015

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
		Не більше					
0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,8	0,3	0,03 5	0,03 5	1,1	0,3

### 1.9 Визначення типу і організаційної форми виробництва

Тип виробництва визначається двома чинниками: програмами випуску та масою готової деталі. Так як програма випуску за завданням  $N = 5000$  шт., а маса  $m = 5.02$  кг, то тип виробництва середньосерійне.

Знайдемо кількість деталей в партії випуску:

$$n = \frac{N \cdot a}{\Phi_0}$$

де  $N$  – річний об'єм випуску партії, шт.

$a$  – періодичність запуску деталей партії. дн.

$\Phi_0$  – число робочих днів в році. Прийнято п'ятиденний робочий тиждень з 8-ми годинним робочим днем.

$$n = \frac{5000 \cdot 10}{253} = 197 \text{ шт}$$

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		16

## 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 2.1 Вибір методу отримання заготовки

Зі всіх методів отримання заготовок, такі як: литво, обробка тиском, різка сортового прокату, для моєї деталі можна виділити тільки два типу отримання заготовки. Це:

1. Обробка тиском – штамповка.
2. Різка сортового прокату.

Критеріями при виборі отримання заготовки буде економічна та коефіцієнт використання матеріалу. Заготовка з найменшою економічною вартістю та найменшим використанням матеріалу, буде найбільш вигідна.

Як початкові данні використовуємо:

1. Матеріал: Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015,
2. Густина матеріалу:  $\rho_{ст} = 7826 \text{ кг/м}^3$ ,
3. Маса деталі:  $7826 * \frac{\pi}{4} * (0.030 * 0.048^2 + 0.025 * 0.055^2 + 0.13 * 0.06^2 + 0.015 * 0.0872 + 0.030 * 0.0552) = 5.02 \text{ кг}$ .

Оцінка отримання заготовки методом штампування:

Розрахунок орієнтовної маси заготовки

$$M_{заг} = M_{дет} * K_p,$$

$K_p$  – коефіцієнт маси: 1,3-1,6

$$M_{заг} = 5,02 * 1,5 = 7,53 \text{ кг}.$$

1. Оцінка заготовки по коефіцієнту використаного матеріалу:

$$K = \frac{M_{дет}}{M_{заг}} = \frac{5,02}{7,53} = 0,66$$

2. Економічне обґрунтування:

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}$$

$S_{заг}$  – вартість заготовки, грн;

$C_i$  – базова вартість 1т заготовок, грн.  $C_i = 30000$  ;

$Q$  – маса заготівки, кг;  $Q = 7,53$ ;

$q$  – маса готової деталі, кг;  $q = 5,02$ ;

$S_{від}$  – вартість 1т відходів, грн;  $S_{від} = 400$ ;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_n$  – коефіцієнти, що залежать від точності, групи складності, маси, марки матеріалу, об'єму випуску заготовок.

$$S_{заг} = \left( \frac{30000}{1000} \cdot 7,53 \cdot 0,9 \cdot 1,18 \cdot 0,87 \cdot 1,14 \cdot 1 \right) - (7,53 - 5,02) \cdot \frac{400}{1000} = 236,94 \text{ грн.}$$

Оцінка отримання заготівки методом з прокату:

Маса заготівки з прокату:

$$M_{заг} = \rho_{ст} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (l \cdot d^2),$$

$$7826 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (0,240 \cdot 0,090^2) = 11,95 \text{ кг.}$$

1. Оцінка заготівки по коефіцієнту використаного матеріалу:

$$K = \frac{M_{дет}}{M_{заг}} = \frac{5,02}{11,95} = 0,42.$$

2. Економічне обґрунтування:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000}.$$

$C_i$  – вартість заготовки з сортового проката, грн;  $C_i = 575$ ;

$S_{від}$  – вартість 1т відходів, грн;  $S_{від} = 400$ ;

$$S_{заг} = \left( \frac{2300}{1000} \cdot 11,95 \right) - (11,95 - 5,02) \cdot \frac{400}{1000} = 24,71 \text{ грн.}$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Виходячи з розрахунків можна прийти висновку, що метод штампування вигідніший за прокат у коефіцієнту використання матеріалу, проте з економічних міркувань сортовий прокат на порядок вигідніше. Тому приймаємо метод отримання заготовки – сортовий прокат.

## 2.2 Проектування маршруту обробки деталі за окремими поверхнями

Для визначення необхідних операцій і обладнання складемо маршрут обробки валу на кожен поверхню окремо. Маршрути обробки занесемо в таблиці з 2.1 по 2.8. На рисунку 2.3 – ескіз валу з пронумерованими поверхнями.

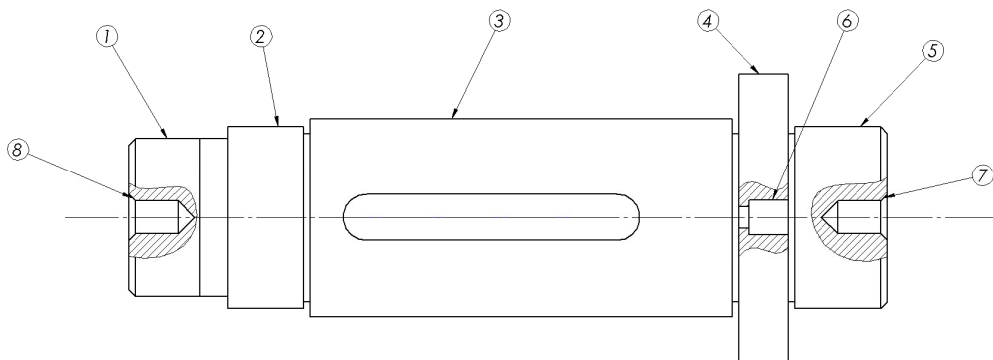


Рисунок 2.3 – Ескіз валу з пронумерованими поверхнями

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.1 – маршрут обробки пов. 1

<b>Поверхня 1</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності ІТ</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Токарна з ЧПК (чорнова)	Токарний з ЧПК	13	12,5
Токарна з ЧПК (чорнова)	Токарний з ЧПК	6g (-0,002)	12,5
Термообробка	Піч	8	1,6

Таблиця 2.2 – маршрут обробки пов. 2

<b>Поверхня 2</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності ІТ</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Токарна з ЧПК (чорнова)	Токарний з ЧПК	13	12,5
Токарна з ЧПК (чистова)	Токарний з ЧПК	8	1,6
Термообробка	Піч		3,2
Кругло шліфувальна (чистова)	Круглошліфувальний	6	0,2

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		20

Таблиця 2.3 – маршрут обробки пов. 3

<b>Поверхня 3</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності IT</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Токарна з ЧПК (чорнова)	Токарний з ЧПК	13	12,5
Токарна з ЧПК (чистова)	Токарний з ЧПК	8	1,6
Фрезерна з ЧПК	Фрезерний з ЧПК	9	3,2
Термообробка	Піч		1,6
Кругло шліфувальна (чистова)	Круглошліфувальний	6	0,8

Таблиця 2.4 – маршрут обробки пов. 4

<b>Поверхня 4</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності IT</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Токарна з ЧПК (чистова)	Токарний з ЧПК	8	12,5
Термообробка	Піч		3,2

Таблиця 2.5 – маршрут обробки пов. 5

<b>Поверхня 5</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності ІТ</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Токарна з ЧПК (чорнова)	Токарний з ЧПК	13	12,5
Токарна з ЧПК (чистова)	Токарний з ЧПК	8	1,6
Термообробка	Піч		12,5
Кругло шліфувальна (чистова)	Круглошліфувальний	6	0,8

Таблиця 2.6 – маршрут обробки пов. 6

<b>Поверхня 6</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності ІТ</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Фрезерна з ЧПК (чорнова)	Фрезерний з ЧПК	13	12,5
Фрезерна з ЧПК (чистова)	Фрезерний з ЧПК	13	12,5
Термообробка	Піч		12,5

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.7 – маршрут обробки пов. 7

<b>Поверхня 7</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності IT</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний	14	12,5
Термообробка	Піч		12,5

Таблиця 2.8 – маршрут обробки пов. 8

<b>Поверхня 8</b>			
<b>Назва операції</b>	<b>Верстат</b>	<b>Квалітет точності IT</b>	<b>Шорсткість Ra</b>
Фрезерно-центрувальна	Фрезерно-центрувальний	14	12,5
Термообробка	Піч		12,5

## 2.3 Визначення основних технологічних баз

### 1. Циліндрична поверхня (2)

Ця поверхня є чорною базою і використовуватиметься лише на першій операції: фрезерно-центрувальній. Ця операція служить для отримання чистої бази для подальших дій з виготовлення валу.

### 2. Центрові отвори, що утворюють центральну вісь деталі (6,7)

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

На токарних та круглошліфувальних операціях технологічною базою буде центрові отвори на торцях валу. Ця база універсальна і не вимагає вирівнювання деталі на відміну від установки в трьох кулачковий патрон.

### 3. Циліндрична поверхня (2) та один торець

Даний набір баз забезпечить зручну та надійну фіксацію деталі, при отриманні паза шпонки на вертикально-фрезерній операції.

## 2.4 Вибір обладнання та технологічного оснащення

### 1. Заготівельна операція

Верстат: круглопилний верстат 82АС400, зображений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 - Круглопилний верстат 82АС400

Ріжучий інструмент: круг відрізний 230 мм ДСТУ 21963-2002.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-300-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

## 2. Фрезерно-центрувальна операція

Верстат: Фрезерно-центрувальний верстат МР-71м, зображено на рисунку 2.5



Рисунок 2.5 - Фрезерно-центрувальний верстат МР-71м

Пристрій: лещата з призматичними губками.

Базування: по осі циліндричних поверхонь і по одному торцю заготовки.

Ріжучий інструмент: Різець токарний прохідний T-Max P®, Сверло спіральне CoroDrill® 860

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-300-0,05 ДСТУ13385-1:2018.

## 3. Токарна операція з ЧПК

Верстат: Токарний з ЧПК HAAS ST-20, зображений на рисунку 2.6

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 - Токарний верстат з ЧПК HAAS ST-20

Пристрій: лещата з призматичними губками.

Базування: за загальною віссю центрових отворів.

Ріжучий інструмент: Різець токарний прохідний T-Max P®, Різець токарний розвинутий CoroTurn 107®, Різець токарний відрізний CoroCut 2®, Різець токарний прохідний T-Max P®, Різець токарний різьбонарізний CoroThread 266®

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-300-0,05 ДСТУ 13385-1:2018, калібр-скоби ДСТУ 2234-93.

#### 4. Фрезерна операція з ЧПК

Верстат: Фрезерний з ЧПК HAAS UMC-750, зображений на рисунку 2.7

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		26



Рисунок 2.7 - Фрезерний верстат з ЧПК HAAS UMC-750

Пристрій: лещата з призматичними губками.

Базування: по осі циліндричних поверхонь і по одному торцю заготовки.

Ріжучий інструмент: Фреза шпонкова CoroMill 390® , Сверло спіральне CoroDrill 860®, Розвертка CoroReamer 835®.

Вимірювальний інструмент: шпонкові калібри для контролю пазів у втулках і на валах за ДСТУ 2234-93.

#### 5. Термічна обробка СВЧ

Верстат: Піч термічна СНОЛ 700/12-ВП, зображений на рисунку 2.8

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

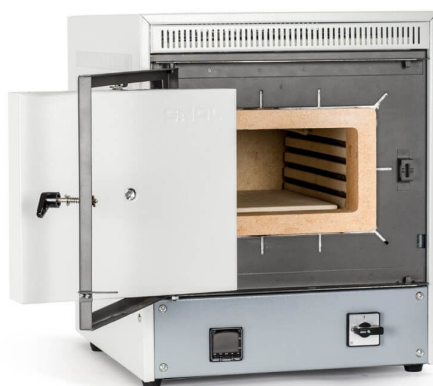


Рисунок 2.8 - Піч термічна СНОЛ 700/12-ВП

Вимірювальний інструмент: твердомір за Роквеллом ТН 500.

#### 6. Круглошліфувальна операція

Верстат: круглошліфувальний верстат 3М151, зображений на рисунку 2.9

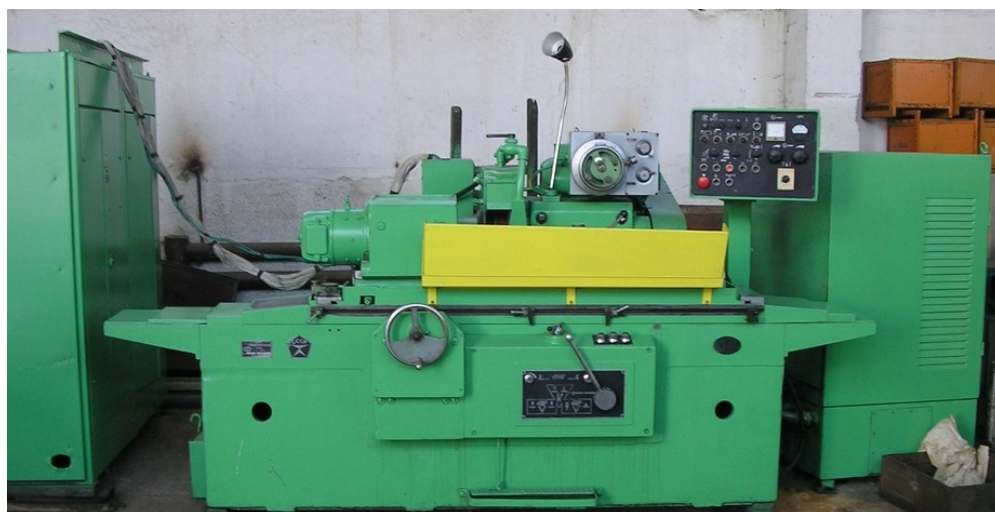


Рисунок 2.9 - Круглошліфувальний верстат 3М151

Базування: по загальній осі центрових отворів.

Ріжучий інструмент: шліфувальний круг ПП 125x20x32 ДСТУ:ISO 603-1:2019.

Вимірювальний інструмент: калібр-скоби ДСТУ 2234-93, профілометр модель 130.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## 7. Мийна

Верстат: мийна машина Сівер 80 Н, зображений на рисунку 2.10



Рисунок 2.10 - Мийна машина Сівер 80 Н.

### 2.5 Розроблення технологічних операцій

Розробимо кінцевий маршрут виготовлення валу та занесемо операції в таблицю 2.9.

На рисунку 2.11 - елементи валу, які потребують обробки.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		29

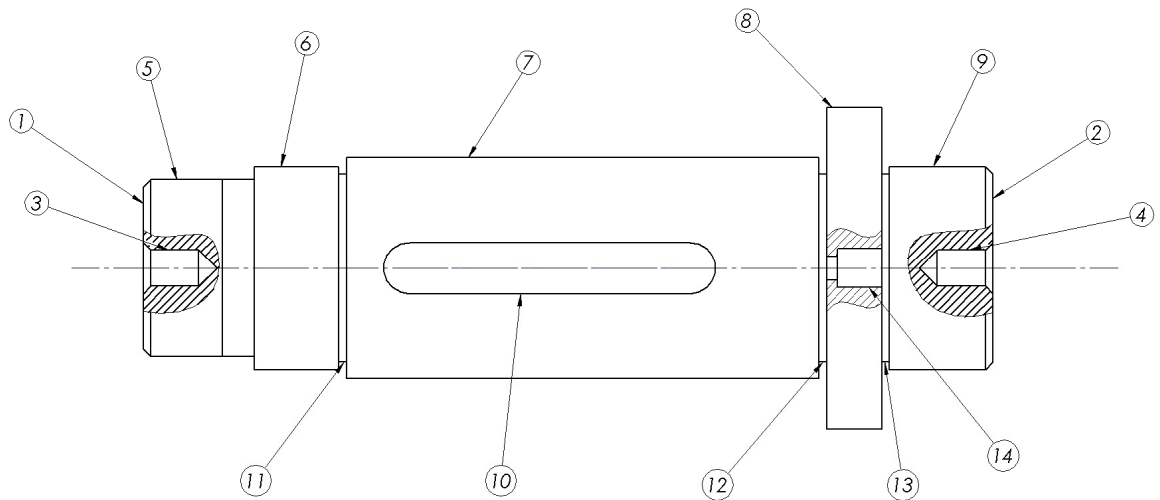


Рисунок 2.11 - Ескіз деталі з нумерацією елементів

Таблиця 2.9– Технологічний процес механічного оброблення деталі «вал»

№ Операції	Назва і зміст операції	Обладнання	Інструмент
1	2	3	4
005	<u>Заготівельна</u> Відрізати заготовку від прокату	Круглопилний верстат 82АС400	Круг відрізний 230 мм ДСТУ 21963-2002
010	<u>Фрезерно-центрувальна</u> Фрезерувати торці 1,2 Свердлити отв. 3,4	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71м	1. Різець токарний прохідний Т-Мах Р® 2. Сверло спіральне CoroDrill® 860
015	<u>Токарна з ЧПК</u> Точити пов. 5,6,7,8,9 на чорно. Точити пов. 5,6,7,9	Токарний з ЧПК HAAS ST-20	1. Різець токарний прохідний Т-Мах Р® 2. Різець токарний розвенутий CoroTurn

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		30

№ Операції	Назва і зміст операції	Обладнання	Інструмент
1	2	3	4
	<p>як чисто з припуском по контуру 0,5мм.</p> <p>Точити пов. 8, витримуючи розмір <math>\varnothing 86</math>, пов. 5 витримуючи розмір <math>\varnothing 47,95</math>(M48x1.5)</p> <p>Точити канавки, фаски 11,12,13 як чисто</p> <p>Нарізати різьбу M48x1.5 на пов. 5</p>		<p>107®</p> <p>3. Різець токарний відрізний CoroCut 2®</p> <p>4. Різець токарний прохідний T-Max P®</p> <p>5. Різець токарний різьбонарізний CoroThread 266®</p>
020	<p><u>Фрезерна з ЧПК</u></p> <p>Фрезерувати шпонковий паз 10</p> <p>Виконати 5 отв. 14 остаточно витримуючи розміри задані на кресленні</p>	Фрезерний з ЧПК HAAS UMC-750	<p>1. Фреза шпонкова CoroMill 390®</p> <p>2. Сверло спіральне CoroDrill 860®</p> <p>3. Розвертка CoroReamer 835®</p>
025	<p><u>Термічна обробка СВЧ</u></p>	Установка СВЧ-80	-

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		31

№ Операції	Назва і зміст операції	Обладнання	Інструмент
1	2	3	4
030	<u>Круглошліфувальна чистова</u> Шліфувати пов. 6,7,9 начисто витримуючи умови та розміри вказані на кресленні.	Круглошліфувальний ст. 3М151	Круг шліфувальний 14А ПП 125x20x32 F60(25)см®
035	<u>Мийна</u> Промити деталь	Мийна машина Сівер 80 ТН	-
040	<u>Контрольна ВТК</u> Провірити деталь на відповідність креслення	Плита контрольна	-

2.6 Аналітичний розрахунок припуску на механічну обробку для однієї поверхні

Визначимо припуски, для посадкової поверхні під зубчасте колесо, з розміром  $\varnothing 60k6 \begin{pmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{pmatrix}$ . Після розрахунків зведемо для зручності всі данні в таблицю 2.12. За допомогою таблиці створимо ескіз під кожну операцію (Рисунок 2.12).

Згідно з раніше складеним маршрутом обробки цієї поверхні, ми маємо такі операції.

Токарна чорнова

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Токарна чистова

Шліфувальна чистова

На кожну операцію ми повинні призначити припуск.

1. Мінімальний припуск на одну сторону

$$2Z_{min} = 2(R_{zi-} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta^2_{i-1} + \varepsilon^2_i})$$

$R_z$  – висота мікронерівностей профілю на попередній операції;

$h$  – глибина дефектного шару на попередній операції;

$\Delta_i$  – сумарне відхилення розташування поверхні на попередній операції;

$\varepsilon_i$  - похибка при встановленні.

Таблиця 2.10 – Точність і якість заготовки з попередньої операції

Назва операції	Rz (мкм)	h(мкм)	$\Delta_i$
Сортовий прокат	160	250	860
Точіння чорнове	125	120	68
Точіння напівчистове	63	60	45
Точіння чистове	32	30	38
Шліфування чистове	10	20	-

Оскільки на всіх токарних і шліфувальних операціях використовується одна і та сама база, то похибкою при встановленні можна знехтувати. Тоді формула для розрахунку мінімального припуску матиме вигляд:

$$2Z_{min} = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \Delta_{i-1})$$

Точіння чорнове:

$$2Z_{min} = 2(160 + 250 + 860) = 2540 \text{ мкм};$$

Точіння напівчистове:

$$2Z_{min} = 2(125 + 120 + 68) = 626 \text{ мкм};$$

Точіння чистове:

$$2Z_{min} = 2(63 + 60 + 45) = 336 \text{ мкм};$$

Шліфування чистове:

$$2Z_{min} = 2(32 + 30 + 38) = 200 \text{ мкм}.$$

## 2. Розрахунковий розмір на операцію

Для кінцевої операції як розрахунковий розмір приймаємо найменший граничний розмір шийки  $\varnothing 60k6 \begin{pmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{pmatrix}$  – 60,002 мм.

$$d_{pi} = d_{pi-1} + 2Z_{min_{i-1}}$$

Шліфування чистове:

$$d_{p4} = 60,002 \text{ мм};$$

Точіння чистове:

$$d_{p3} = 60,002 + 0,200 = 60,222 \text{ мм};$$

Точіння напівчистове:

$$d_{p2} = 60,222 + 0,336 = 60,558 \text{ мм};$$

Точіння чорнове:

$$d_{p1} = 60,558 + 0,626 = 61,184 \text{ мм};$$

Заготовка:

$$d_{pзаг} = 61,184 + 2,540 + 26,272 = 90 \text{ мм}.$$

## 3. Граничні мінімальні і максимальні розміри

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$d_{mini} = d_{pi}$$

$$d_{maxi} = d_{mini} + TD_i$$

Таблиця 2.11 – Допуски залежно від способу отримання поверхні

Назва операції	Квалітет	Допуск (TD) мм
Заготовка	(+0,4; -1,0)	1,4
Точіння чорнове	h13	0,39
Точіння напівчистове	h11	0,16
Точіння чистове	h8	0,039
Шліфування чистове	k6	0,019

Заготовка:

$$d_{minзаг} = 90,0 - 1,0 = 89,0 \text{ мм};$$

$$d_{maxзаг} = 90,0 + 0,4 = 90,4 \text{ мм};$$

Точіння чорнове:

$$d_{min1} = 61,184 \text{ мм};$$

$$d_{max1} = 61,184 + 0,390 = 61,474 \text{ мм};$$

Точіння напівчистове:

$$d_{min2} = 60,558 \text{ мм};$$

$$d_{max2} = 60,558 + 0,160 = 60,618 \text{ мм};$$

Точіння чистове:

$$d_{minзаг} = 60,222 \text{ мм};$$

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$d_{maxzag} = 60,222 + 0,039 = 60,261 \text{ мм};$$

Шліфування чистове:

$$d_{minzag} = 60,002 \text{ мм};$$

$$d_{maxzag} = 60,002 + 0,019 = 60,021 \text{ мм};$$

#### 4. Граничні розміри припусків по операціях

$$Z_{mini} = d_{mini-} - d_{maxi}$$

$$Z_{maxi} = d_{max} - d_{mini}$$

Точіння чорнове:

$$Z_{mini} = 89,0 - 61,474 = 27,526 \text{ мм};$$

$$Z_{maxi} = 90,4 - 61,184 = 29,216 \text{ мм};$$

Точіння напівчистове:

$$Z_{mini} = 61,184 - 60,618 = 0,566 \text{ мм};$$

$$Z_{maxi} = 61,474 - 60,558 = 0,916 \text{ мм};$$

Точіння чистове:

$$Z_{mini} = 60,558 - 60,261 = 0,396 \text{ мм};$$

$$Z_{maxi} = 60,618 - 60,222 = 0,297 \text{ мм};$$

Шліфування чистове:

$$Z_{mini} = 60,222 - 60,022 = 0,2 \text{ мм};$$

$$Z_{maxi} = 60,261 - 60,002 = 0,259 \text{ мм}.$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.12. Данні розрахунку припусків

Технічна операція	Елементи припуску, мкм			Розрах. розмір $2Z_{min}$ , мкм	Розрах. розмір $d_p$ , мм	Допуск к d, мкм	Граничний розмір		Граничне значення припусків	
	Rz	h	$\Delta i$				dmin	dmax	$2Z_{min}^{пр}$	$2Z_{max}^{пр}$
Заготовка	160	250	860	-	90,000	1400	89,000	90,400	-	-
Точіння чорнове	125	120	68	2540	61,184	390	61,184	61,474	27,526	29,216
Точіння напівчистове	63	60	45	626	60,558	160	60,558	60,618	0,556	0,916
Точіння чистове	32	30	38	336	60,222	39	60,222	60,261	0,297	0,396
Шліфування чистове	10	20	-	200	60,002	19	60,002	60,022	0,2	0,259

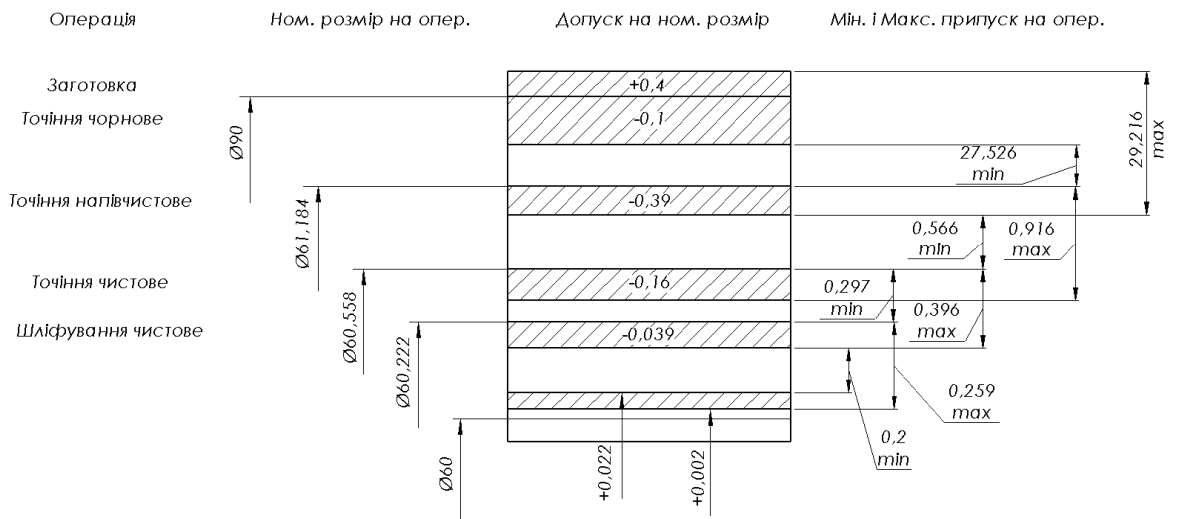


Рисунок 2.12 - Припуски на поверхні  $\varnothing 60k6$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ		Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата			37

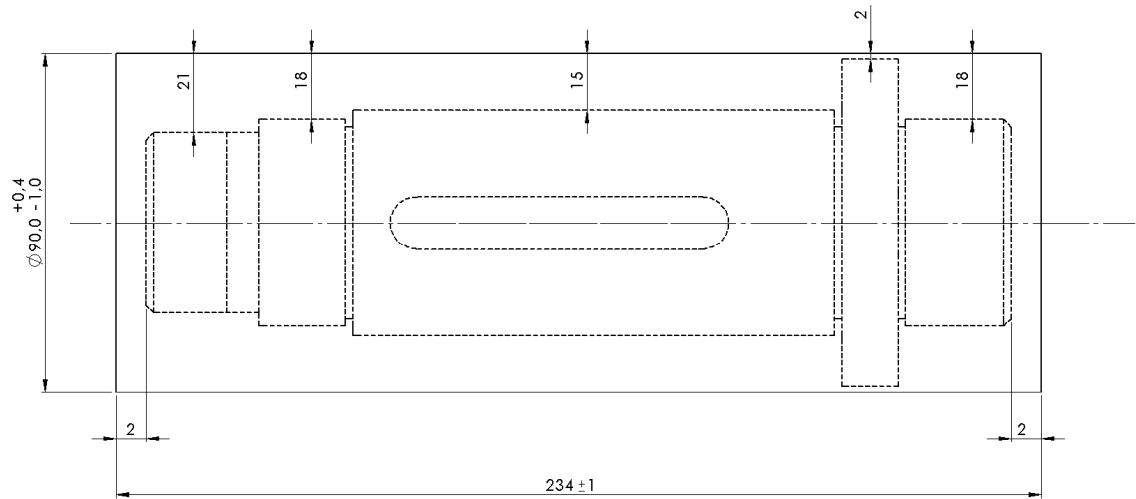


Рисунок 2.13 - Ескіз з заготовки сортового прокату

## 2.7 Вибір режимів різання

Режими різання занесемо в таблицю 2.13

Таблиця 2.13 Режими різання

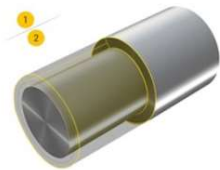
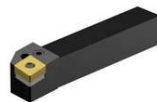
Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ , мм	$S_{xв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв	$T_0$ , с
010	<u>Фрезерно-центрувальна</u>						

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ , мм	$S_{xв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв	$T_0$ , с
	Фрезерувати торці 1,2	1	2	0,566	4000	153	4,51
	Свердлити отвір 3,4	1	20	0,158	1810	56,8	4,63

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ мм	$S_{xв}$ м/хв мм/об мм/зуб	$n$ об/хв	$V$ м/хв	$T_0$ с
015	<u>Токарна з ЧПК</u>  Точити на чорно пов. 5,  6,  7,	4	4,18	0,5	748	133	23,5
		3	4,41	0,5	666	133	15,4
		3	3,57	0,5	617	133	84
		ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата			40

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		<i>i</i>	<i>t</i> , мм	$S_{xв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	<i>n</i> , об/хв	<i>V</i> , м/хв	<i>T<sub>0</sub></i> , с
9.	Точити як чисто з припуском по контуру 0.5 мм пов. 5,	3	4,41	0,5	666	133	18,5
		1	4,28	0,5	882	133	4,09
6,		1	4,28	0,357	941	163	4,46
7,		1	4,28	0,357	863	163	25,3
9.		1	4,28	0,357	941	163	5,35
	Точити пов. 8 витримуючи розмір Ø87,	1	1,5	0,495	602	165	3,02

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ мм	$S_{xв}$ м/хв мм/об мм/зуб	$n$ об/хв	$V$ м/хв	$T_0$ с
	пов. 5 витримуючи розмір Ø47,95(M48x1.5)	1	0,025	0,4	408	61,4	7,92



T-Max P

PCLNR 2525M 19  
Инструмент

CNMG 19 06 24-MR 2220  
Пластина

Rectangular shank -metric: 25 x 25

Интерфейс со стороны станка ADINTMS Rectangular shank -metric: 25 x 25

Стойкость, дет. TLIFEC 37.8 Поверхности

Время обработки на элемент TMF 00:24.360 мин.с

Save for later

Создайте инструментальную сборку

ШАГИ 1 2

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА

Скорость резания VC 133 m/min

Подача на оборот FN 0.5 mm

Число проходов в направлении AP NORAP 3

Глубина резания AP 4.41 mm


CO<sub>2</sub> EMISSIONS

Carbon dioxide emission per component CPC 11.6 g

Work per component WPC 0.148 kWh

Показать подробности  
Информация

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$	$S_{хв}$	$n$	$V$	$T_0$
			ММ	М/ХВ ММ/ОБ ММ/зуб	ОБ/ХВ	М/ХВ	с



CoroTurn 107

SVNBR 2020K 16  
Инструмент

VBW 16 04 04 H13A  
Пластина

Rectangular shank -metric: 20 x 20

Интерфейс со стороны станка ADINTMS

Стойкость, дет. TLIFEC 53 Поверхности

Время обработки на элемент TMF 00:08.040 мин:с

Save for later

Создайте инструментальную сборку

ШАГИ 1

ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА

Скорость резания VC 61.4 m/min

Подача на оборот FN 0.4 mm

Число проходов в направлении AP NORAP 1

Глубина резания AP 0.025 mm

CO<sub>2</sub> EMISSIONS

Carbon dioxide emission per component CPC 1.23 g


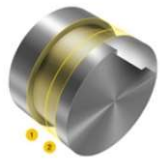
Work per component WPC 0.0157 kWh

Показать подробности


Информация


Точити як чисто, канавки 11,	2	4,8	0,1	921	148	1,35	
		0,2	0,188			0,72	
	12,	2	4,8	0,1	921	148	3,17
				0,188			1,69

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ мм	$S_{хв}$ м/хв мм/об мм/зуб	$n$ об/хв	$V$ м/хв	$T_0$ с
13,			0,2				
		2	4,8	0,1	921	148	1,35
			0,2	0,188			0,72

**CoroCut 2**

  
 C2R-BN25-NH25DA2  
 Инструмент

  
 C2I-H2N-0480-0005-GF1225  
 Пластина

Стойкость, дет. TLFEC 579 Канавки

Время обработки на элемент TMF 00:02.136 мин:с

Save for later

Создайте инструментальную сборку

**ШАГИ** 1 > 2

ОБРАБОТКА НЕСКОЛЬКИХ КАНАВОК, ПЕРВЫЙ ПРОХОД

Скорость резания VC 148 m/min

Подача на оборот FN 0.1 mm

Max частота вращения RPMX 921 1/min

CO<sub>2</sub> EMISSIONS

Carbon dioxide emission per component CPC 0.58 g

Work per component WPC 0.0074 kWh

Показать подробности

Информация

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата
-----	------	---	--------	------

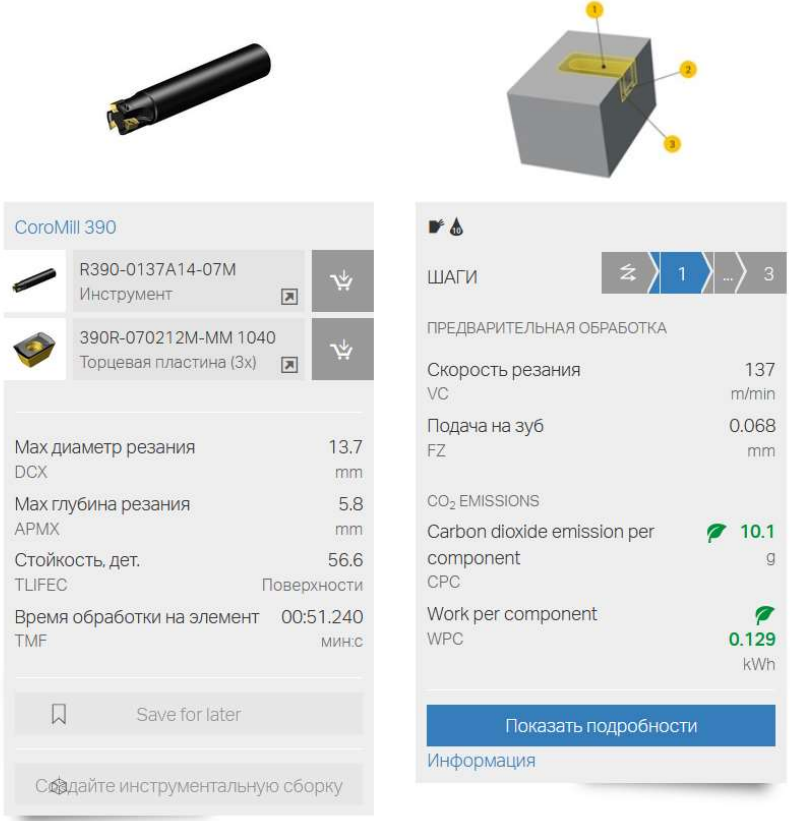
ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

44

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ , мм	$S_{xв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв	$T_0$ , с
	Точити фаски як чисто	1	2	0,566	952	153	0,22
	Нарізати різьбу М48х1.5 на пов.5						
		20	4,3	5	782	118	14,8

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ мм	$S_{xв}$ м/хв мм/об мм/зуб	$n$ об/хв	$V$ м/хв	$T_0$ с
							
020	<u>Фрезерна з ЧПК</u>  Фрезерувати шпонковий паз 10	1	1,62	0,0544	3190	137	51,24
		3	1,62	0,068	3190	137	
			0,15	0,112	3520	138	

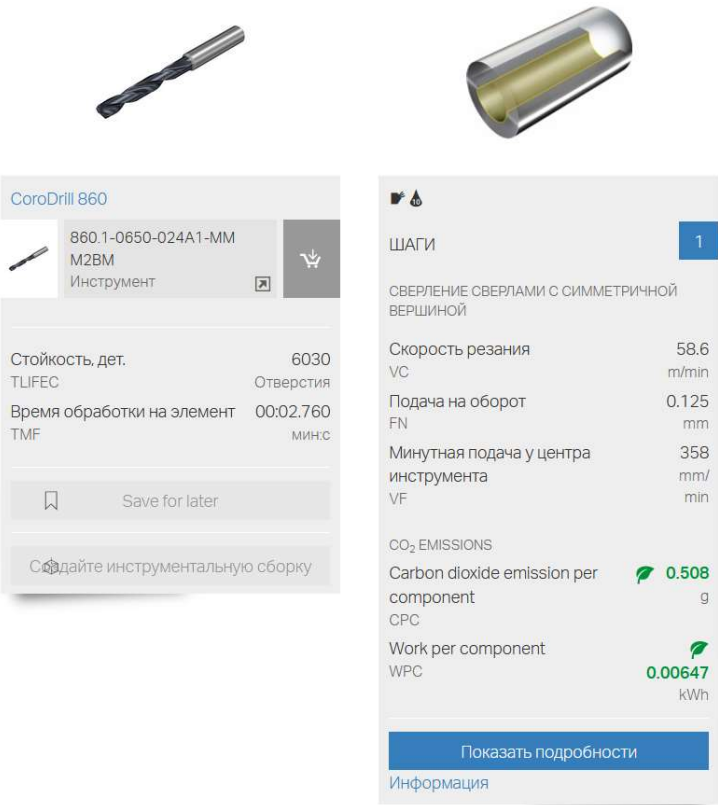
Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ , мм	$S_{xв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв	$T_0$ , с
		1	5	0,187	3460	149	
		1	0,15	0,141	3520	138	
		1					
		 <p>The screenshot displays the CoroMill 390 software interface. On the left, it shows the selected tool 'R390-0137A14-07M' and the insert '390R-070212M-MM 1040'. The cutting parameters listed are: Max diameter of cut (DCX) 13.7 mm, Max depth of cut (APMX) 5.8 mm, Tool life (TLIFEC) 56.6 minutes per surface, and Processing time per element (TMF) 00:51.240 minutes. On the right, the 'ШАГИ' (Steps) section shows 'ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА' (Pre-treatment) with a cutting speed of 137 m/min, feed per tooth (FZ) of 0.068 mm, CO2 emissions of 10.1 g per component, and work per component (WPC) of 0.129 kWh. A 'Показать подробности' (Show details) button is visible at the bottom of the parameters section.</p>					
	Виконати 5 от. 14 остаточно витримуючи	1	15	0,125	2870	58,6	2,76

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

47

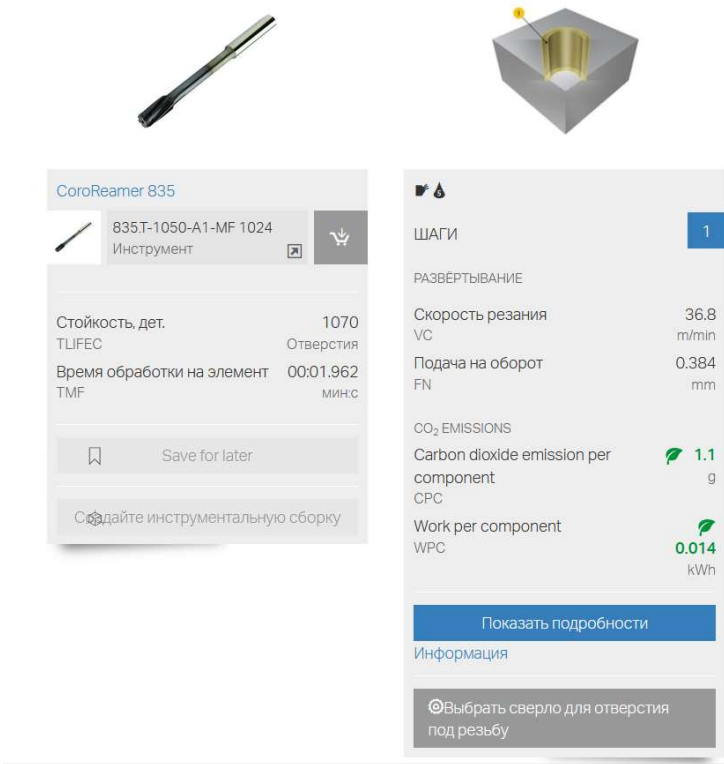
Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання					
		$i$	$t$ мм	$S_{xв}$ М/ХВ мм/об мм/зуб	$n$ об/хв	$V$ М/ХВ	$T_0$ с
	розміри задані на кресленні						
							
		1	2	0,384	1120	36,8	1,96

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

48

Номер операції	Назва і зміст операції	Режим різання				
		$i$	$t$ , мм	$S_{хв}$ , м/хв мм/об мм/зуб	$n$ , об/хв	$V$ , м/хв
						

## 2.8 Призначення технологічних норм часу

Зробимо аналітичний розрахунок норм часу для токарної операції з ЧПК 015. Для інших операцій норми часу будуть призначені за таким самим принципом. Усі розрахунки і призначені норми часу будуть зведені в таблицю 2.14.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		49

В серійному виробництві норма штучно-калькуляційного часу,  $t_{шт.к.}$ , визначається:

$$t_{шт.к.} = t_o + t_{дон} + t_{обс} + t_{відп} + \frac{t_{н.з.}}{n}$$

де  $t_o$  – основний технологічний (машинний) час, хв;

$t_{обс}$  – час на обслуговування робочого місця, хв;

$t_{відп}$  – час на відпочинок та особисті потреби робітника, хв;

$t_{н.з.}$  – підготовчо-заключний час на партію деталей, хв;

$n$  – розмір партії деталей, шт;

$t_{дон}$  – допоміжний час, який визначається як:

$$t_{дон} = t_{в.з.} + t_{з.в.} + t_{к} + t_{вим}$$

де  $t_{в.з.}$  – час на встановлення та зняття заготовки, хв;

$t_{з.в.}$  – час на закріплення та відкріплення заготовки, хв;

$t_{к}$  – час на прийом керування верстатом, хв;

$t_{вим.}$  – час на вимірювання заготовки, хв.

Партія за розміром визначається, враховуючи річну програму випуску деталей:

$$n = \frac{N \cdot a}{254}$$

де  $a$  – число днів на випередження механічного оброблення перед складанням,  $a = 3$ ;  
число робочих днів на рік – 250 дн.

$$n = \frac{5000 \cdot 3}{255} = 59 шт.$$

$$t_o = 1,54 \text{ хв}; t_{в.з.} = 1,22 \text{ хв}; t_{з.в.} = 0,77 \text{ хв}; t_{к} = 0,65 \text{ хв}; t_{вим.} = 0,15 \text{ хв.}$$

Оперативний час:

$$t_{он} = 1,54 + 1,22 + 0,77 + 0,65 + 0,15 = 4,33 \text{ хв.}$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Час для технічного обслуговування робочого місяця:

$$t_{mex} = t_{on} \cdot \frac{t_{зм}}{T}$$

де  $t_{зм}$  час на заміну різця, хв;  $t_{зм} = 3,5$  хв;

$T$  – стійкість різця;  $T = 60$  хв;

$$t_{mex} = 4,33 \cdot \frac{3,5}{60} = 0,25 \text{ хв.}$$

Час для організаційного обслуговування робочого місяця:

$$t_{орг} = 3,5\% \cdot t_{on} = 0,035 \cdot 4,33 = 0,15 \text{ хв.}$$

Час для відпочинку та особисті потреби робітників:

$$t_{відп} = 4\% \cdot t_{on} = 0,04 \cdot 3,62 = 0,17 \text{ хв.}$$

Штучний час:

$$t = t_{on} + t_{обсл} + t_{відп} + t_{mex} = 4,33 + 0,15 + 0,17 + 0,25 = 4,9 \text{ хв.}$$

Підготовчо – заключний час за нормативами становить:

$$T_{н.з.} = 20 \text{ хв.}$$

Тоді, штучно – калькуляційний час на виконання операції буде:

$$t_{шт.к.} = 4,9 + \frac{20}{59} = 5,24 \text{ хв.}$$

На решту операцій розрахунки проводимо аналогічним чином та результати вносимо в таблицю 2.14.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Таблиця 2.14 Технологічні норми часу на операції

Номер операції	Назва операції	$T_0$ , хв	$T_{доб}$ хв			$T_{оп}$ хв	$T_{об}$		$T_{відп}$ хв	$T_{шт}$ хв	$T_{п.з.}$ хв	$T_{шт.к.}$ хв
			$t_{в.з.}$ хв	$t_{кер.}$ хв	$t_{вим.}$ хв		$T_{тех}$ хв	$T_{орг}$ хв				
005	Заготівельна	0,50	0,37	0,23	0,11	1,12	0,30	0,20	0,16	1,51	25	2,18
010	Фрезерно-центрувальна	1,12	0,89	0,30	0,15	3,12	0,20	0,18	0,13	3,75	20	4,24
015	Токарна з ЧПК	1,54	1,22	0,65	0,15	4,33	0,25	0,15	0,17	4,90	20	5,24
020	Фрезерна з ЧПК	1,23	1,10	0,45	0,10	3,78	0,30	0,15	0,13	3,95	20	4,67
025	Термічна обробка СВЧ	6,48	1,15	0,59	0,12	7,02	0,12	0,20	0,32	7,35	16	8,14
030	Круглошліфувальна чистова	0,94	0,84	0,31	0,10	1,01	0,18	0,14	0,14	1,43	20	1,88
035	Мийна	0,25	0,19	0,12	0,08	0,33	0,10	0,08	0,14	0,45	10	0,84
040	Контрольна ВТК	0,21	0,16	0,10	0,05	0,28	0,11	0,10	0,12	0,33	10	0,51
<b>Сумарний час технологічного процесу:</b>												27,7
<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>											Арк.	
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата								52

## 2.9 Створення керуючої програми обробки для верстату ЧПК

У цьому дипломному проєкті для генерації керуючої програми було вирішено використати програмне забезпечення SolidCAM, що інтегрується з середовищем САПР SolidWorks. Цей підхід дозволяє забезпечити повну візуалізацію процесу обробки, а також виконує роль передачею керуючої програми на верстат.

Для обробки деталі використовується новітній верстат HAAS ST-20 (Рисунок 2.14) – високоточне обладнання американського виробництва, яке широко використовується у серійному та одиночному виробництві.



Рисунок 2.14 - Токарний верстат з ЧПК HAAS ST-20

SolidCAM автоматично генерує траєкторію руху інструменту з урахуванням геометрії заготовки, інструментального оснащення та кінематичних обмежень верстата. Для віртуального станка було обрано пост-процесор, адаптований саме до HAAS ST-20, що забезпечує сумісність програми з реальним обладнанням.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Таким чином, віртуальна симуляція в SolidCAM є невід’ємним етапом сучасного підходу до підготовки виробництва, що забезпечує високу якість виготовлення деталей та економічність технологічного процесу.

Основні етапи у створенні керуючої програми для операції 015 токарної обробки з ЧПК деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400» за допомогою САПР SolidCAM:

## 1. Створення 3D моделі обробленої деталі (Рисунок 2.15)

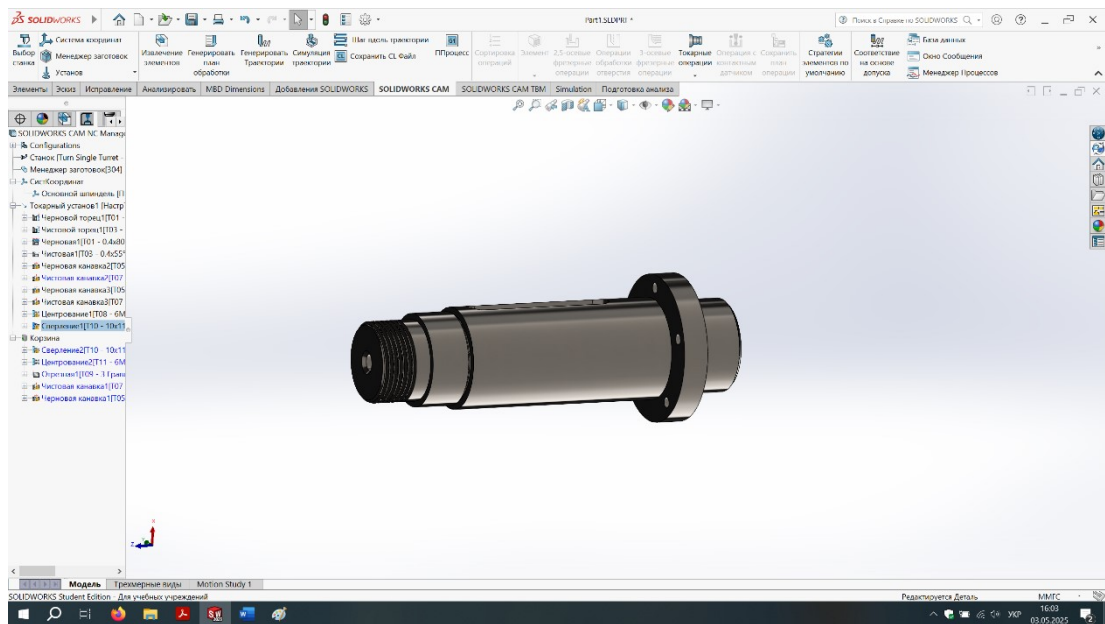


Рисунок 2.15 - 3D модель деталі

## 2. Вибір верстату та типу обробки (Рисунок 2.16)

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

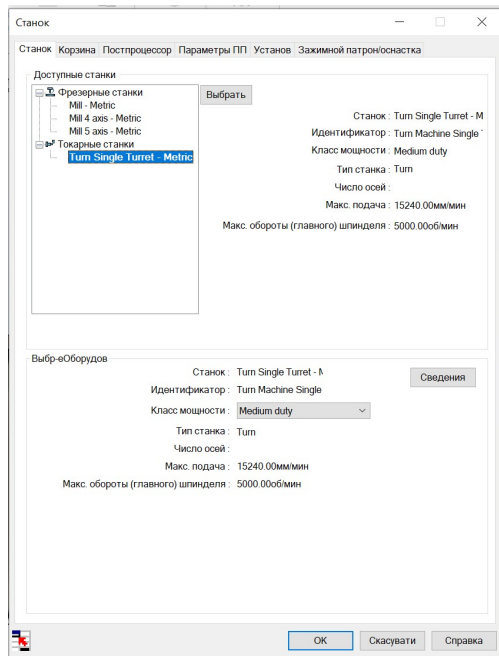


Рисунок 2.16 - Вибір верстату та типу обробки

### 3. Вибір систему координат(Рисунок 2.17).

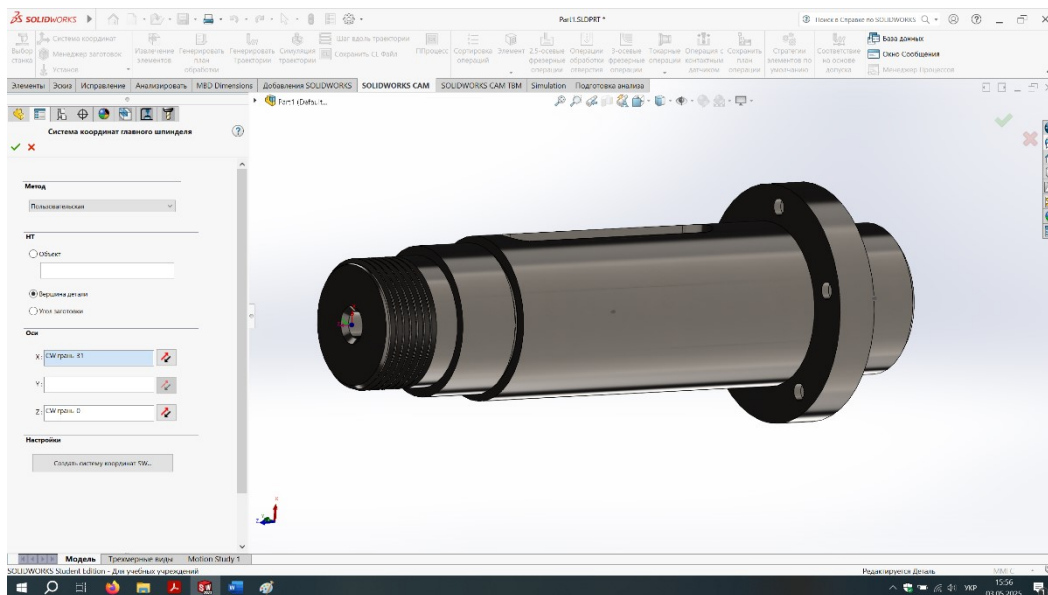


Рисунок 2.17 - Вибір систему координат

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		55

#### 4. Вибір інструменту для обробки (Рисунок 2.18).

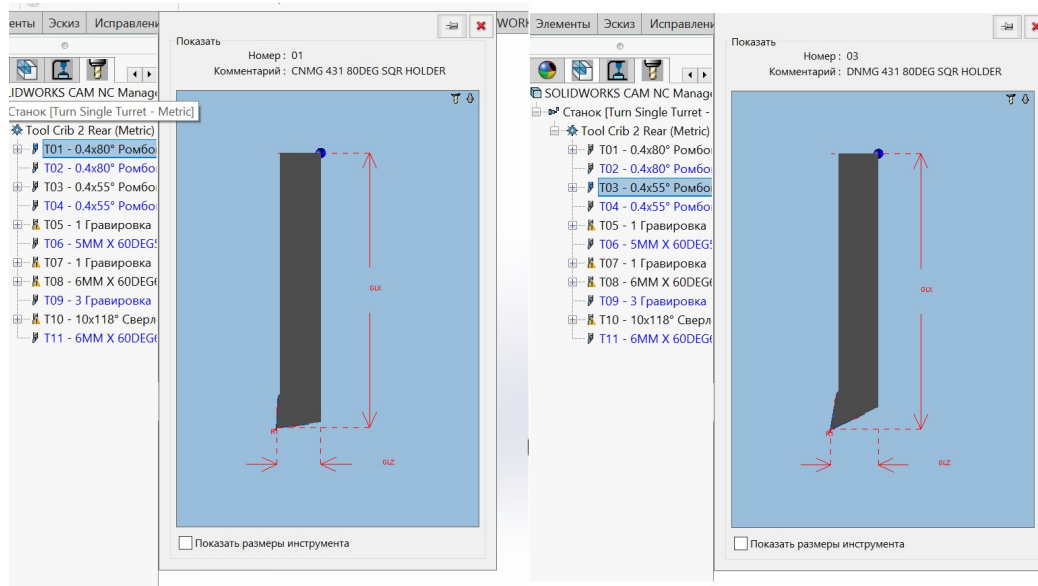


Рисунок 2.18 - Вибір інструменту для обробки

#### 5. 3D вигляд встановлення заготовки в патрон (Рисунок 2.19)

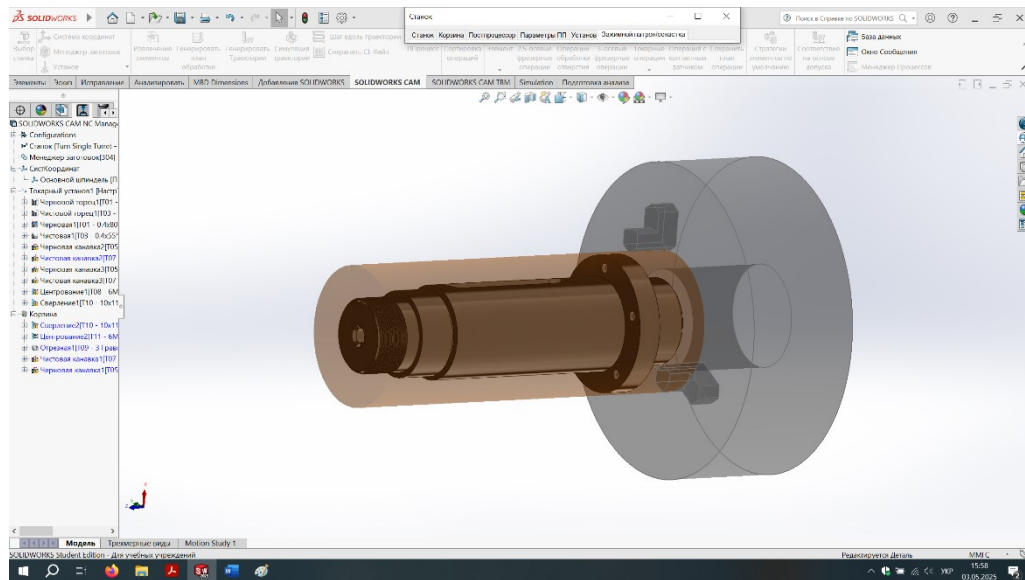


Рисунок 2.19 - 3D вигляд встановлення заготовки в патрон

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## 6. Траектория ruchu різця при токарній обробці (Рисунок 2.20)

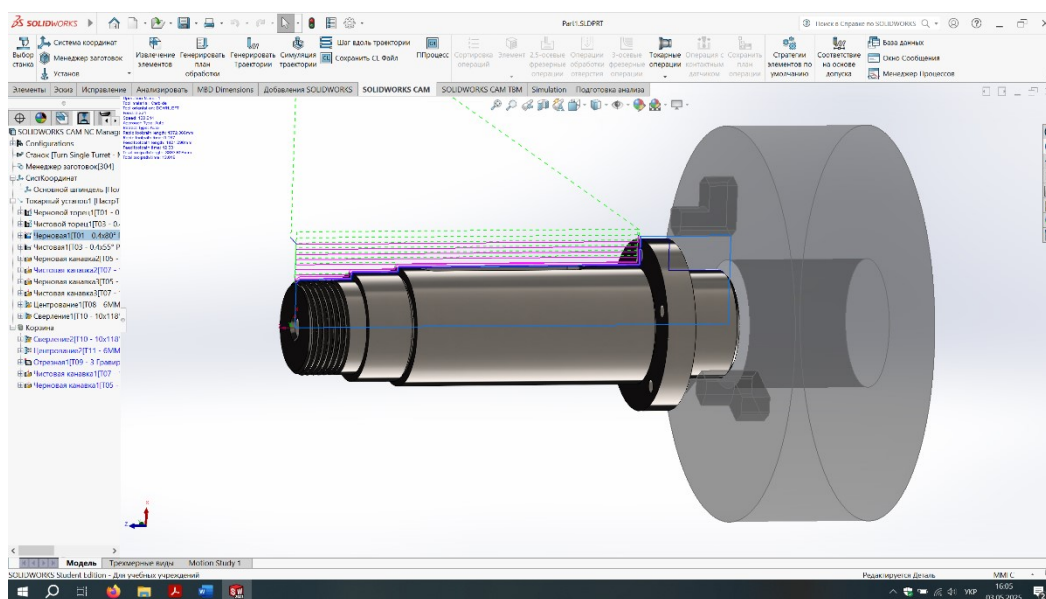


Рисунок 2.20 - Траектория ruchu різця при токарній обробці

## 7. Фрагмент з чорною токарною обробкою (Рисунок 2.21)

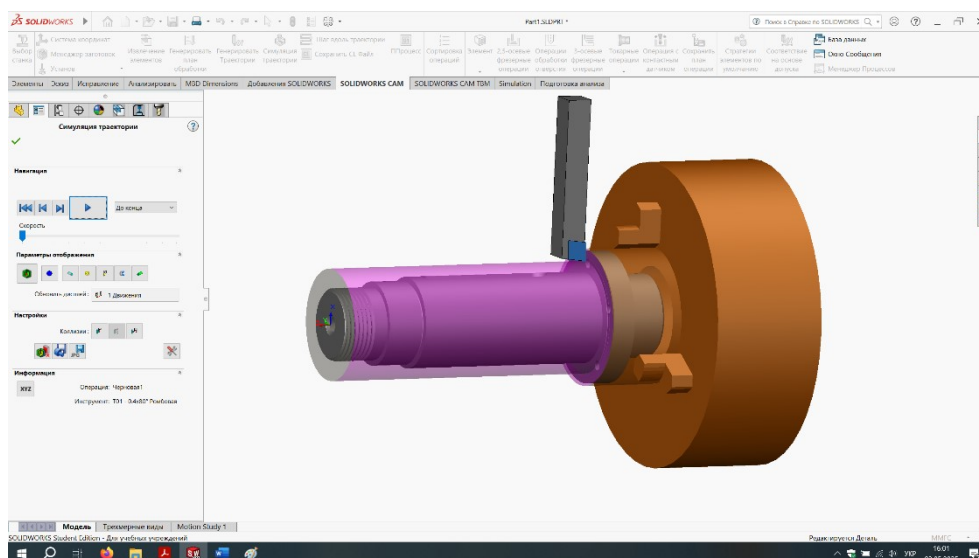


Рисунок 2.21 - Фрагмент з чорною токарною обробкою

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## 8. Фрагмент чистової токарної обробки (Рисунок 2.22)

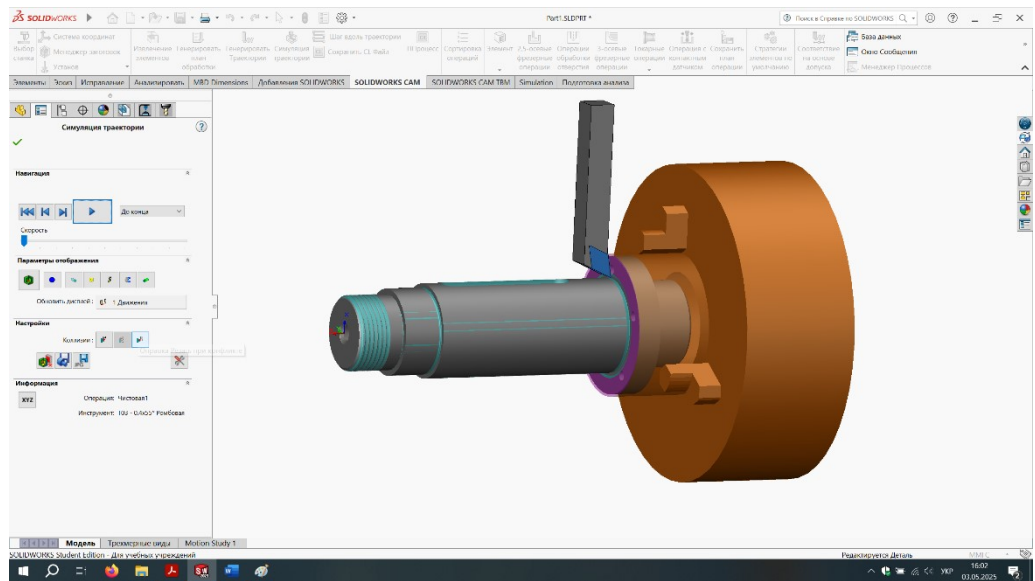


Рисунок 2.22 - Фрагмент чистової токарної обробки

## 9. Фрагмент обробки канавки (Рисунок 2.23)

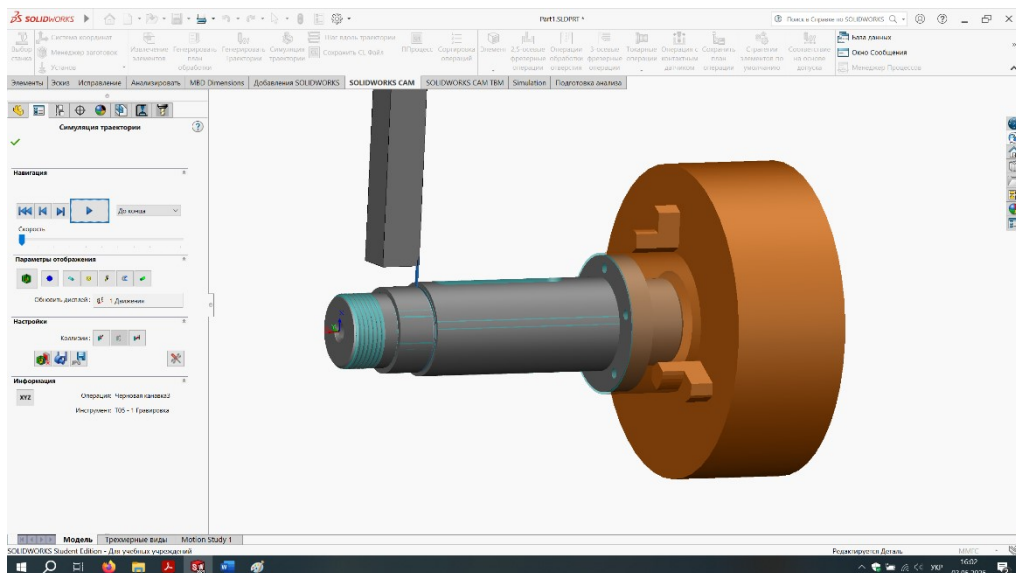


Рисунок 2.23 - Фрагмент обробки канавки

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

58

## 10. Фрагмент керуючої програми G-code (Рисунок 2.24)

```
O0001
N1 (CNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N2 T0101
N3 B90.
N4 G00 G96 S108 M03

N5 (DNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N6 G54 G00 Z4.854 M08
N7 X96.707
N8 G99 G01 X90. Z1.5 F.221
N9 X-.8
N10 X-1.507 Z1.854
N11 G00 Z4.854
N12 X90.707
N13 Z.854
N14 G01 X90. Z.5
N15 X-.8
N16 X-1.507 Z.854
N17 G00 Z5.6
N18 X508. Z127. M09
N19 M01

N20 (DNMG 431 80DEG SQR HOLDER)
N21 T0303
N22 B90.
N23 G00 G96 S108 M03

N24 ( '8AB>2>9 B>@5F1 )
N25 G54 G00 Z3.354 M08
N26 X95.907
N27 G01 X89.2 Z0 F.221
N28 X-.8
N29 X-1.507 Z.354
```

Рисунок 2.24 - Фрагмент керуючої програми G-code

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Проектування технічного оснащення для фрезерування шпонкового паза деталі Вал

#### 3.1.1 Принцип роботи пристрою

Верстатний пристрій з пневматичним приводом для операції фрезерування шпонкового паза деталі вал-шестерня, шпонковою фрезою, який встановлюється на столі фрезерного верстата з ЧПК. Під час перемикання розподільного крана стиснене повітря через штуцер надходить у порожнину пневмоциліндра, вбудованого в корпусі поз.11 пристрою, і переміщує поршень зі штоком і тягою вгору. При цьому тяга верхнім частиною тисне на прихват, який затискає заготовку. Після фрезерування шпонкового паза пружина переміщує поршень зі штоком і тягою вниз. Верхній кінець тяги опускається і прихват звільняє заготовку від затиску. Рисунок 3.1

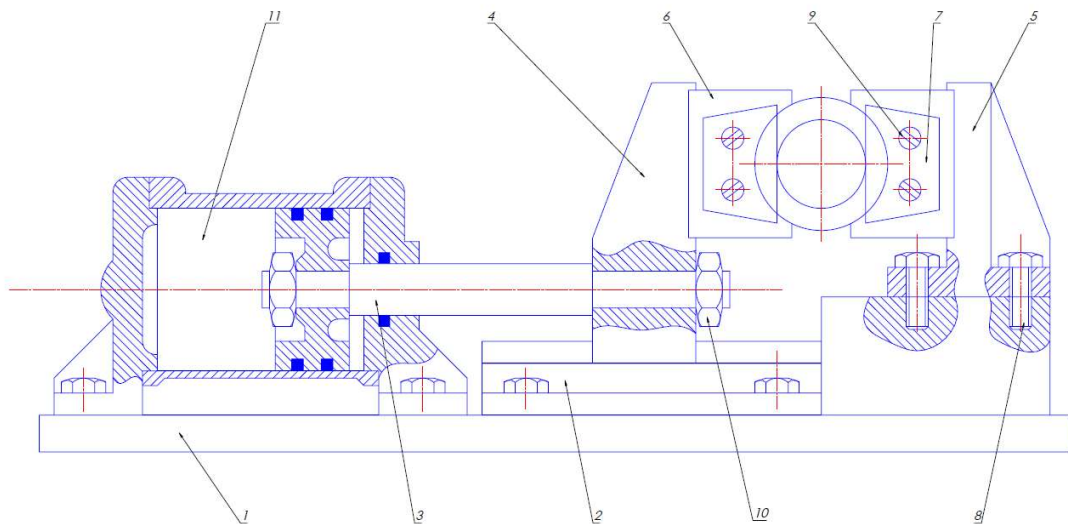


Рисунок 3.1 - Верстатний пристрій

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

60

Технічні умови для розробки пристрою:

1. Відхилення від паралельності осі контрольного валика, встановленого в призму, щодо поверхні столу верстата.

2. Відхилення від перпендикулярності осі контрольного валика, встановленого в призму, щодо поверхні напрямної шпонки.

### 3.1.2 Назначення режимів різання та сил різання

За завдання потрібно фрезерувати шпонковий паз на валу завширшки 14 мм і глибиною 5 мм, твердість HRC 24, межа міцності  $\delta_b = 600$  МПа.

Вибір фрези:

«Фреза шпонкова CoroMill® 390 R390-0137A14-07M» діаметр  $D = 14$  мм, кількість ріжучих пластинок  $Z = 3$ .

Так як, фрезерування буде відбуватись не за один прохід, будуть назначатись різні режими різання. Режими різання:

1. Швидкість різання:  $V_{max} = 148$  м/хв;  $V_{min} = 137$  м/хв.
2. Подача на зуб:  $S_{max} = 0,187$  мм;  $S_{min} = 0,0544$  мм.
3. Частота обертів шпинделя:  $n_{max} = 3520$  об/хв;  $n_{min} = 3190$  об/хв.
4. Глибина різання:  $t_{max} = 5$  мм;  $t_{min} = 0,15$  мм.
5. Число проходів фрези:  $i_{max} = 3$  мм;  $i_{min} = 1$  мм.
6. Потужність при різанні:  $N_{p_{max}} = 1,65$  кВт;  $N_{p_{min}} = 0,218$  кВт.
7. Крутний момент:  $M_{k_{max}} = 4,95$  Нм;  $M_{k_{min}} = 0,602$  Нм.
8. Сила при різанні:  $Pz_{max} = 2040$  Н;  $Pz_{min} = 25$  Н.

Перевірка умов при різанні для фрезерного станка з ЧПК HAAS UMC-750

$N_{c_{max}} = 11$  кВт.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$1,65 \text{ кВт} \leq 11 \text{ кВт.}$$

Тоді умови виконуються станок Фрезерний з ЧПК HAAS UMC-750 підходить для обробки.

### 3.1.3 Розрахунок зусилля закріплення деталі

Під час обчислення сили затиску  $W$  для забезпечення надійного закріплення вводиться коефіцієнт запасу  $K$ , який враховує нестабільність силових впливів на заготовку.

### 3.1.4 Розрахунок затискного зусилля

$$W = \frac{2 * k * M_k}{\left( f_1 + \frac{f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) * d}$$

де  $K$  – коефіцієнт надійності затиску;

$f_1 = 0,2$  – коефіцієнт тертя між заготовкою та затиском;

$f_2 = 0,1$  – коефіцієнт тертя між заготовкою та установчими елементами;

$M_k$  – крутний момент, Нм;

$d$  -діаметр фрези, мм.

$$W = \frac{2 * 2,55 * 14,28}{\left( 0,2 + \frac{0,1}{0,7} \right) * 14} = 15172 \text{ Н,}$$

### 3.1.5 Крутний момент

$$M_k = P_z \times r,$$

де  $P_z$  – сила різання, Н

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$r$  - радіус фрези, м.

$$M_k = 2040 \times 0,007 = 14,28 \text{ Нм},$$

### 3.1.6 Коефіцієнти надійності закріплення

$$K = K_0 * K_1 * K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6,$$

де  $K_0 = 1,5$  – гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваній поверхні заготовки;

$K_2 = 1,7$  – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання внаслідок затуплення різального інструменту;

$K_3 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує зміну сил різання при переривчастому різанні;

$K_4 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує непостійність затискного зусилля;

$K_5 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток у ручних затискачів;

$K_6 = 1,0$  – коефіцієнт, що враховує визначеність розташування опорних точок під час зміщення заготовки моментом сил.

$$K = 1,5 * 1,0 * 1,7 * 1,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = 2,55,$$

### 3.1.7 Розрахунок вихідного зусилля $Q$

$$Q = \frac{W}{\eta},$$

де  $W$  – сила затиску, Н;

$\eta$  – ККД силового пневмопривода,  $\eta=0,85$ .

$$Q = \frac{15172}{0,85} = 17850 \text{ Н},$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

### 3.1.8 Розрахунок діаметру пневмоциліндра

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{Q + q}{\pi \times p \times \eta}}$$

де  $p$  – тиск повітря в пневмосистемі  $p = 0,4$  МПа;

$Q$  – вихідне зусилля, Н;

$q$  - опір зворотної пружини,  $q = 50$  Н;

$\eta$  – ККД силового пневмопривода,  $\eta = 0,85$ .

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{17850 + 50}{\pi \times 0,4 \times 0,85}} = 248 \text{ мм,}$$

Згідно з ДСТУ 3455.2-96 діаметр пневмоциліндра  $D$  приймаємо рівним 250 мм, а діаметр штоку рівним 63 мм.

### 3.1.9 Розрахунок тягнучої сили

$$Q_{\text{шт}} = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \times p \times \eta - q,$$

де  $D$  – діаметр циліндра, мм;

$d$  – діаметр штока, мм;

$p$  – тиск повітря в пневмосистемі,  $p = 0,4$  МПа;

$\eta$  – ККД силового пневмопривода,  $\eta=0,85$ ;

$q$  - опір зворотної пружини,  $q = 50$  Н.

$$Q_{\text{шт}} = \frac{\pi}{4} \times (250^2 - 63^2) \times 0,4 \times 0,85 - 50 = 15500 \text{ Н,}$$

Згідно з ДСТУ 3455.2-96 тягнуча сила  $Q_{\text{шт}}$  забезпечує граничне значення  $Q_{\text{шт}} = 16500$  Н.

### 3.1.10 Перевірка діаметра штока на міцність і стійкість

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$d \geq 1,13 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{Q_{шт}}}{[\delta]},$$

де  $[\delta]$  - допустиме напруження матеріалу штока на розтягнення (стиснення), 340 МПа.

$Q_{шт}$  – тягнуча сила, Н.

$$d \geq 1,13 \times 10^{-3} \times \frac{\sqrt{15500}}{340} = 0,042 \times 10^{-3},$$

$$63 \geq 42$$

Діаметр штока  $d$  задовольняє умову міцності та стійкості, оскільки діаметр штока більший за мінімально можливий діаметр штока.

### 3.1.11 Розрахунок пристрою на точність

Прстрій встановлюється на стіл верстата і виставляється за технічними вимогами:

- відхилення від паралельності осі контрольного валика, встановленого в призму, відносно поверхні столу верстата не більше 0,05 мм;

- відхилення від перпендикулярності осі контрольного валика, встановленого в призму, щодо поверхні напрямної шпонки 0,01 мм.

$$\delta_{\Sigma} = K \times \sqrt{\delta_c^2 + \delta_{по}^2 + \delta_{оп}^2 + \delta_6^2 + \delta_3^2 + \delta_i^2 + \delta_{pi}^2 + \delta_d^2 + \delta_{zi}^2},$$

де  $K = 1,2$  - коефіцієнт, що залежить від випадкових похибок;

$\delta_c = 0$  - похибка верстата в ненавантаженому стані, що викликається похибками виготовлення і складання, мм;

$\delta_{по} = 0,05$  - похибка розташування на верстаті посадкових поверхонь, мм;

$\delta_{оп} = 0,01$  - похибка розташування опорних поверхонь щодо посадкових поверхонь пристосування, мм;

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$\delta_3 = 0$  - похибка, що викликається закріпленням заготовки, мм;

$\delta_i = 0$  - похибка виготовлення інструмента, мм;

$\delta_{pi} = 0$  - похибка розташування інструменту на верстаті, мм;

$\delta_d = 0$  - похибка, що викликається деформацією під час обробки, під дією сил різання, мм;

$\delta_{zi} = 0$  - похибка, що викликається зносом інструменту, мм.

$\delta_6 = 0$  - похибка базування заготовки в пристрої, мм;

$$\delta_6 = \frac{ITd1}{2},$$

де  $d1 = 0,04$  – допуск на розмір, мм.

$$\delta_6 = \frac{0,04}{2} = 0,02 \text{ мм},$$

$$\delta_{\Sigma} = K \times \sqrt{0,05^2 + 0,01^2 + 0,02^2} = 0,06 \text{ мм}.$$

Необхідність виконання умов на точність:

$$\delta_{\Sigma} \leq a,$$

де  $a = 0,08$  – допуск на симетричність паза, мм.

$$0,06 \leq 0,08,$$

Вимога виконується.

### 3.2 Проектування вимірювального інструменту

Розраховуватись буде калібр-скоба для контролю розмірів валу  $\varnothing 55k6$ .

Верхнє та нижнє відхилення валу задано ДСТУ ISO 286-1-2002 і складає:

$$e^s = +21 \text{ мкм},$$

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

$$e^i = +2 \text{ мкм.}$$

Визначимо найбільший граничний розмір валу:

$$d^{max} = d^n + e^s = 55 + 0,021 = 55,021 \text{ мм.}$$

Найменший граничний розмір валу:

$$d^{min} = d^n + e^i = 55 + 0,002 = 55,002 \text{ мм.}$$

Допуск розмірів калібру-скоби визначається за ДСТУ ISO 286-1-2002:

$Z_1 = 4$  мкм - відхилення середини поля допуску на виготовлення прохідного калібру, для вала щодо найбільшого граничного розміру вала;

$H_1 = 5$  мкм - допуск на виготовлення калібрів для вала;

$Y_1 = 3$  мкм - допустимий вихід розміру зношеного прохідного калібру для вала за межу поля допуску виробу.

Провести розрахунок виконавчих розмірів калібрів-скоб. Як виконавчий розмір скоби береться найменший граничний розмір її позитивним відхиленням, що дорівнює допуску на виготовлення калібру.

Найменший граничний розмір ПР сторони калібру-скоби:

$$d_{minPR} = d_{max} - Z_1 - \frac{H_1}{2} = 55,021 - 0,004 - 0,0025 = 55,0145 \text{ мм.}$$

Найменший граничний розмір НЕ сторони калібру-скоби:

$$d_{minNE} = d_{min} - \frac{H_1}{2} = 55,002 - 0,0025 = 54,9995 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір ПР боку калібру-скоби, який ставиться на кресленні калібру, дорівнює  $55,021^{+0,005}$  мм.

Виконавчий розмір НЕ сторони калібру-скоби,  $55,002^{+0,005}$  мм.

Розмір зношеного калібру-скоби:

$$d_{зНПР} = d_{max} + Y_1 = 55,021 + 0,003 = 55,024 \text{ мм.}$$

Схема розміщення полів допуску калібру-скоби для контролю вала  $\varnothing 55k6$  представлено на мал. 3.2.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

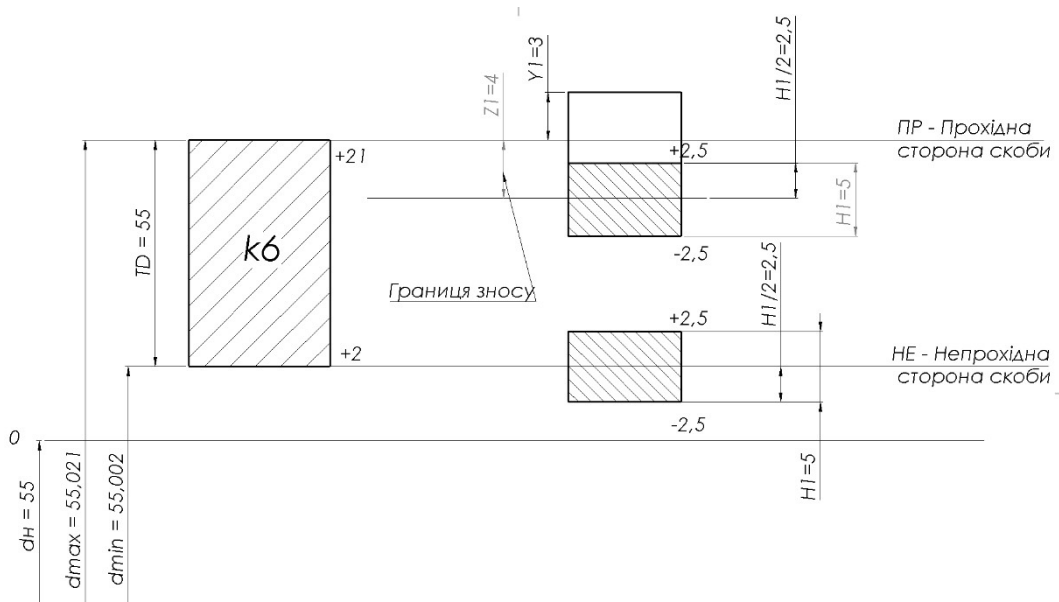


Рисунок 3.2 - Схема розміщення полів допуску

Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата

ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ

Арк.

68

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Аналіз безпечності використання обладнання

Розділ охорони праці в дипломному проєкті має за мету оцінити та обґрунтувати комплекс заходів щодо забезпечення безпеки праці при удосконаленні деталі типу «Вал ступінчастий МВ 4216202400» на сучасних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК), таких як HAAS ST-20, HAAS UMC-750, а також задіянні інші верстати такі як: круглошліфувальний, фрезерно-центрувальний, відрізний та інші. Всі ці процеси супроводжуються впливом шкідливих та небезпечних виробничих факторів, що потребують запровадження відповідних заходів захисту працівників.

#### 1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

У процесі виготовлення та удосконалення деталі працівник піддається дії наступних факторів:

- обертальні частини та ріжучий інструмент (ризик травматизму);
- металеві стружки (ризик механічних поранень та опіків);
- високий рівень шуму (особливо під час роботи з фрезерними верстатами);
- підвищена температура (при термообробці);
- металевий пил і аерозолі (при шліфуванні);
- електричний струм (при використанні електрообладнання).

#### 2. Заходи безпеки при роботі з обладнанням

Для безпечної експлуатації обладнання необхідно дотримуватися інструкцій з охорони праці, зокрема:

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

- проводити інструктажі перед початком роботи та періодично;
- використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): окуляри, навушники, рукавиці, спецодяг;
- здійснювати технічний огляд верстатів перед пуском;
- забезпечити достатнє освітлення та вентиляцію робочих зон;
- організувати безпечне зберігання інструменту та заготовок.

### 3. Електробезпека

Всі верстати живляться від електромережі, тому важливим є захист працівників від ураження електричним струмом. До основних вимог належать:

- справна ізоляція кабелів;
- наявність заземлення обладнання;
- заборона працювати мокрими руками;
- регулярна перевірка стану електрообладнання.

### 4. Пожежна безпека

У приміщенні повинні бути встановлені вогнегасники (порошкові та вуглекислотні), плани евакуації, сигнальна система. Паливно-мастильні матеріали мають зберігатися в спеціальних металічних шафах. Заборонено курити в цеху, а також користуватися відкритим вогнем без дозволу.

### 5 Санітарно-гігієнічні умови

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Приміщення повинні бути обладнані системою вентиляції для видалення пилу і диму, особливо при роботі з шліфувальним та термічним обладнанням. Температура в цеху має підтримуватися в межах 18–22°C, вологість — 40–60%. Повинні бути доступні побутові приміщення (роздягальні, санвузли, душові).

Комплекс заходів з охорони праці дозволяє мінімізувати ризики для працівників і забезпечити безпечні умови виробництва у процесі удосконалення деталі вал.

## 4.2 Оцінка безпеки при виконанні технологічного процесу

Розроблений технологічний процес характеризується аспектами, які мають вплив на рівень безпеки виконання робіт та стан навколишнього середовища. Аналіз безпечності та екологічності цього процесу здійснюється згідно з методикою, що викладена в національному стандарті ДСТУ EN ISO 13849-1:2018 «Безпека машин. Частина 1. Загальні принципи проектування» (EN ISO 13849-1:2015, IDT; ISO 13849-1:2015, IDT).

Задля зручності оцінювання безпеки складемо паспорт технологічного процесу, в якому буде представлено працівників які виконують технологічну операцію, верстати за якими вони працюють, матеріали та речовини які вони використовують при виконанні завдання. (таблиця 4.1)

Для виявлення потенційних небезпек та ризиків при використанні робочого обладнання складемо таблицю де будуть зазначенні ці фактори. (таблиця 4.2)

Таблиця 4.1 – Паспорт технологічного процесу

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Технол огічний процес	Технологічна операція	Посада робітника	Обладнання	Матеріали
Технологічний процес удосконалення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400»	<u>Заготівельна</u>	Оператор круглопилельного верстата	Круглопилельний верстат 82АС400	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015
	<u>Фрезерно- центрувальна</u>	Оператор фрезерно- центрувального верстата	Фрезерно- центрувальний верстат МР- 71м	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015, МОР
	<u>Токарна з ЧПК</u>	Оператор верстата з ЧПК	Токарний з ЧПК HAAS ST- 20	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015, ганчірка для обтирання, МОР
	<u>Фрезерна з ЧПК</u>	Оператор верстата з ЧПК	Фрезерний з ЧПК HAAS UMC-750	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015, ганчірка для обтирання, МОР
	<u>Термічна обробка СВЧ</u>	Оператор з термічної обробки	Установка СВЧ-80	Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015
	<u>Кругло шліфувальна чистова</u>	Шліфувальник	Круглошліфува льний ст. 3М151	Сталь 45ХГЛ ДСТУ 8781:2018
				ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ
Зм.	Арк.	№		
		Підпис		
		Дата		

Технологічний процес	Технологічна операція	Посада робітника	Обладнання	Матеріали
	<u>Мийна</u>	Оператор з мийки	Мийна машина Сівер 80 ТН	Сталь 45ХГЛ ДСТУ 8781:2018, ганчірка для обтирання
	<u>Контрольна ВТК</u>	Контролер ВТК	Плита контрольна	Сталь 45ХГЛ ДСТУ 8781:2018

Таблиця 4.2 – Перелік професійних ризиків та небезпек у ТП

Технологічна операція	Верстати	Небезпека при використанні верстатів
<u>Заготівельна</u>	Круглопилільний верстат 82АС400	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оберткові частини верстата – ризик затягування одягу, волосся, частин тіла</li> <li>2. Різальний інструмент- ризик травми при контакті з пильним диском</li> <li>3. Викид стружки – ризик травми очей, обличчя, тіла</li> <li>4. Підвищений рівень шуму – може спричинити погіршення або втрату слуху без захисту.</li> </ol>
<u>Фрезерно-центрувальна</u>	Фрезерно-центрувальний верстат МР-71м	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Оберткові частини верстата – ризик затягування одягу, волосся, частин тіла</li> <li>2. Різальний інструмент- ризик травми</li> </ol>

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

Технологічна операція	Верстати	Небезпека при використанні верстатів																		
		<p>при контакті з свердлом</p> <p>3. Викид стружки – ризик травми очей, обличчя, тіла</p> <p>4. Підвищений рівень шуму – може спричинити погіршення або втрату слуху без захисту.</p> <p>5. МОР – ризик подразнення шкіри, слизових чи алергічних реакцій.</p>																		
<u>Токарна з ЧПК</u>	Токарний з ЧПК HAAS ST-20	<p>1. Обертіві частини верстата – ризик затягування одягу, волосся, частин тіла</p> <p>2. Різальний інструмент- ризик травми при контакті з різцями</p> <p>3. Викид стружки – ризик травми очей, обличчя, тіла</p> <p>4. Підвищений рівень шуму – може спричинити погіршення або втрату слуху без захисту.</p> <p>5. МОР – ризик подразнення шкіри, слизових чи алергічних реакцій.</p>																		
<u>Фрезерна з ЧПК</u>	Фрезерний з ЧПК HAAS UMC-750	<p>1. Обертіві частини верстата – ризик затягування одягу, волосся, частин тіла</p> <p>2. Різальний інструмент- ризик травми при контакті з фрезами</p> <p>3. Викид стружки – ризик травми очей, обличчя, тіла</p> <p>4. Підвищений рівень шуму – може спричинити погіршення або втрату</p>																		
																				Арк.
<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>																			74	
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата																

Технологічна операція	Верстати	Небезпека при використанні верстатів				
		<p>слуху без захисту.</p> <p>5. МОР – ризик подразнення шкіри, слизових чи алергічних реакцій.</p>				
<p><u>Термічна обробка СВЧ</u></p>	<p>Установка СВЧ-80</p>	<p>1. Висока температура – небезпека отримання опіків шкіри.</p> <p>2. Інфрачервоне випромінювання – термічне навантаження на очі та організм</p> <p>3. Виділення парів та газів – шкідливий вплив на дихальні шляхи.</p>				
<p><u>Кругло шліфувальна чистова</u></p>	<p>Круглошліфувальний ст. 3М151</p>	<p>1. Оберткові частини верстата – ризик затягування одягу, волосся, частин тіла</p> <p>2. Різальний інструмент- ризик травми при контакті з шліфувальним кругом</p> <p>3. Викид стружки – ризик травми очей, обличчя, тіла</p> <p>4. Підвищений рівень шуму – може спричинити погіршення або втрату слуху без захисту.</p> <p>5. МОР – ризик подразнення шкіри, слизових чи алергічних реакцій.</p>				
<p><u>Мийна</u></p>	<p>Мийна машина Сівер 80 ТН</p>	<p>1. Хімічні речовини – ризик опіків шкіри, слизових , алергічних реакцій.</p>				
<p><u>Контрольна ВТК</u></p>	<p>Плита контрольна</p>	<p>1. Контакт з дрібними деталями чи стружкою – ризик мікротравм.</p>				
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата	<p><b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b></p>	Арк.
						75

### 4.3 Способи зменшення небезпек та ризиків у наявному ТП

Професійні ризики та небезпеки можуть бути усунені фізично, наприклад встановлення захисних кожухів на верстаті, чи забезпечити робітника засобами індивідуального захисту.

Розглянемо наші небезпеки та ризики:

1. Обертові частини верстата - встановлення захисних кожухів на верстаті, блокувальних пристроїв(верстат не запускається якщо огороження зняте чи відкрите), встановлення аварійних кнопок «STOP» в легкодоступних місцях.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – спец одяг(приталений, без можливості затягування), захисні окуляри, рукавиці які легко скидаються, головні убори (особливо для жінок, чи працівників з довгим волоссям).

2. Різальний інструмент - встановлення захисних кожухів на верстаті, блокувальних пристроїв(верстат не запускається якщо огороження зняте чи відкрите), встановлення аварійних кнопок «STOP» в легкодоступних місцях.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – спец одяг(приталений, без можливості затягування), захисні окуляри, рукавиці які легко скидаються (лише при використанні верстатів які це дозволяють), головні убори (особливо для жінок, чи працівників з довгим волоссям).

3. Викид стружки - встановлення захисних кожухів на верстаті, встановлення автоматичних систем видалення стружки.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – спец одяг(приталений, без можливості затягування), захисні окуляри, захисне взуття, рукавиці тільки під час прибирання.

4. Підвищений рівень шуму – використання новітніх верстатів з пониженим рівнем шуму, звукоізоляція джерел шуму, обмеження одочасної роботи кількох шумних верстатів у приміщенні.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						76
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

До засобів індивідуального захисту можна віднести – беруші, протишумові навушники.

5. МОР – вибір найбільш не шкідливих МОР, зберігання у спеціально відведених місцях, позначати ємності з МОР на верстатах, забезпечити вентиляцію приміщень.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – захисний одяг, окуляри, рукавиці (лише при використанні верстатів які це дозволяють).

6. Висока температура – термоізоляція нагрітих поверхонь, мінімізація участі людини де це можливо уникнути, зниження температури за допомогою вентиляцій, тепловідведення.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – вогнестійкий одяг із термозахистом, жаростійкі рукавиці, маски.

7. Інфрачервоне випромінювання – термоізоляція нагрітих поверхонь, мінімізація участі людини де це можливо уникнути, зниження температури за допомогою вентиляцій, тепловідведення.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – вогнестійкий одяг із термозахистом, жаростійкі рукавиці, маски із захистом від ІЧ-випромінювання.

8. Виділення парів та газів – місцева витяжна вентиляція над небезпечною ділянкою, загальна вентиляція приміщень.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – респіратори, протигази, захисні окуляри.

9. Хімічні речовини - місцева витяжна вентиляція над небезпечною ділянкою, загальна вентиляція приміщень, маркування усіх хімічних речовин, встановлення раковин для екстреного промивання.

До засобів індивідуального захисту можна віднести – респіратори, протигази, хімічні рукавиці, захисні окуляри.

Таким чином наведенні приклади можуть зменшити чи усунути усі ризики виробництва.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						77
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра було проведено удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал ступінчастий МВ 4216202400», виготовленої зі сталі 40Х ДСТУ 7806:2015.

У пояснювальній записці подано аналіз конструктивних особливостей зазначеної деталі з метою виявлення недоліків і проблем, притаманних базовому технологічному процесу її виготовлення. Увагу було приділено оцінці технологічності конструкції та визначенню типу виробництва. Було розраховано припуски, та вибрано режими різання за допомогою Sandvik Coromant, популярного рішення серед калькуляторів режимів різання. Визначено норми штучного часу. Усі розрахунки відповідають технічним рішенням.

У середовищі SolidWorks CAM створено програму для токарної обробки деталі на токарному верстаті з ЧПК, HAAS ST-20, а також отримано готову керуючу програму для керуванням верстату.

У конструкторській частині проекту розроблено спеціальний верстатний пристрій для фіксації деталі під час фрезерування шпонкового пазу, що забезпечує надійність та точність при виконанні відповідної операції.

У розділі з охорони праці висвітлено заходи, спрямовані на забезпечення безпеки оператора та безаварійну експлуатацію обладнання в умова використання верстата з ЧПК. Проведено оцінку відповідності запропонованого ТП вимогам національного стандарту ДСТУ EN ISO 13849-1:2018, виконано аналіз професійних ризиків та представлено шляхи та засоби для їх мінімізації.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						78
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи за освітньо-професійною програмою – 131 Технології машинобудування; / Укладачі: А. І. Гордєєв, В. П. Ткачук, В. В. Милько, О. В. Романішина – Хмельницький: ХНУ, 2023. – 39 с.
2. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови.
3. ДСТУ EN ISO 13849-1:2018 Безпека машин. Деталі систем управління, пов'язані з забезпеченням безпеки. Частина 1. Загальні принципи проектування (EN ISO 13849-1:2015, IDT; ISO 13849-1:2015, IDT).
4. ДСТУ 3008:2015 Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання.
5. Sandvik.Coromant. Каталог [Електронний ресурс]. – Режим доступу до каталогу: <http://www.sandvik.coromant.com>
6. ДСТУ ISO 2768-1-2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768-1:1989, IDT)
7. Офіційний сайт групи компаній HAAS [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [www.HaasCNC.com](http://www.HaasCNC.com)
8. SolidCAM 2022 Getting Started Guide. — SolidCAM Ltd., 2022. <https://www.solidcam.com>
9. Шишкін А.А. Основи виробництва заготовок в машинобудуванні. — Київ: Вища школа, 2017. — 304 с.
10. Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. Посібник для практичного програмування верстатів з ЧПК [Електронний ресурс] – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 115с.
11. ДСТУ 3455.1-96 Гідроприводи об'ємні та пневмоприводи. Частина 1. Загальні поняття. Терміни та визначення (ISO 5598:1985, NEQ)
12. Охорона праці в галузі машинобудування : навчальний посібник / І. П. Пістун, Р. Є. Стець, І. О. Трунова. -. Суми : Університетська книга, 2023. – 556 с.

					ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		

13. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
14. Basics of mechanical engineering: integrating science, technology and common sense / Paul D. Ronney Department of Aerospace and Mechanical Engineering University of Southern California – 2021; 142 p. / <http://ronney.usc.edu/ame101/>
15. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навчальний посібник. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, В. П. Пурдик. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 123 с.
16. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур та ін. – Львів : Новий Світ, 2022. – 422 с.
17. Біланенко В.Г., Приходько В.П., Мельник О.О. (2019). Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання.[Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131«Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології машинобудування» та «Технології виготовлення літальних апаратів» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; – Електронні текстові дані (1 файл: pdf - 12,8 Мбайт). Київ : «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019 – 232 с. – Назва з екрана. – Доступ :<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27740>
18. Інноваційне обладнання автоматизованого виробництва. Конструктивні особливості та основи програмування верстатів з числовим програмним керуванням [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології комп'ютерного конструювання верстатів, роботів та машин» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Ковальов В.А., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В. – Електронні текстові дані (1 файл: 21,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 158с. – Доступ:[https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV\\_verstaty\\_ChPK.pdf](https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/36433/1/IOAV_verstaty_ChPK.pdf)

					<b>ДП.ПМ.ФІТА.25.12.00.ПЗ</b>	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№	Підпис	Дата		