



**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО»**



**Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
кафедра Технології машинобудування**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
Олександр ОХРИМЕНКО

«___»_____2025р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою
«Технології машинобудування»
спеціальності 131 Прикладна
механіка
«Технологічний процес виготовлення
тихохідного валу редуктора на
верстатах з ЧПК»

Виконав студент IV курсу, групи МТ-12 Янчук Олександр

Керівник: професор Юрій ПЕТРАКОВ

Рецензент: доцент Дмитро КРАСНОВИД

Засвідчую,

що у цьому дипломному проєкті немає
запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент Янчук О.О.

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Навчально-науковий механіко-
машинобудівний інститут Кафедра технології
машинобудування**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) Спеціальність – 131 Прикладна
механіка Освітньо-професійна програма – «Технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр ОХРИМЕНКО

«____» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломний проєкт студенту**

Янчук Олександр Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема дипломного проєкту «Технологічний процес виготовлення тихохідного
валу редуктора на верстатах з ЧПК»

керівник проєкту професор Юрій ПЕТРАКОВ,

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

затверджені наказом по університету від «29.05» 2025р. №1835-с

2.Термін подання студентом дипломного проєкту «____» _____ 2025 р.

3.Вихідні дані до проєкту Кресленик деталі «Вал тихохідний», річний обсяг

випуску : 30000 шт.

4. Зміст пояснювальної записки, перелік завдань, які потрібно розробити :

Розділ 1. Технологічний процес виготовлення деталі «Вал тихохідний».

Розділ 2. Конструкторський розділ.

Розділ 3. Поглиблений розгляд обробки деталізації

Розділ 4. Розрахунок повної собівартості деталі

5.Перелік графічно-ілюстративного матеріалу

1. Кресленик заготовки та деталі (1 арк. А1).

2.Графічне зображення технологічного процесу точіння (2 арк. А1).

3.Кресленики пристроїв для фрезерно-центрівної та фрезерної операцій (1 арк. А1).

4.Кресленики оснастки для токарної та шліфувальної обробки (1 арк А1)

5.Графічне зображення технологічного процесу шліфування (1 арк. А1).

6.2.Управління процесом круглого урізного шліфування на верстаті з ЧПК.

6. Дата видачі завдання _____

Пояснювальна записка
до дипломного проекту на тему:
«Технологічний процес виготовлення тихохідного
валу редуктора на верстатах з ЧПК»

Анотація

Дипломний проект складається зі вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел, додатків. Пояснювальна записка містить 87 аркушів в форматі А4. Графічна частина дипломного проекту складається з 6-ти аркушів формату А1, з яких 3 аркуша в форматі А1, містять в собі два аркуша в форматі А2.

Вступ починається з короткого розгляду результатів і висновків зроблених при написанні курсового проекту з дисципліни технології машинобудування та результати проходження практики, а саме написання управлінчих програм на верстатах з ЧПК.

У першому розділі написано технологію виготовлення деталі - типу вал, а саме: тихохідний вал редуктора з використанням верстатів з ЧПУ

Другий розділ це конструкторський розділ, розроблено оснастку для верстатів та підібрано інструментальну оснастку.

Третій розділ, поглиблений розгляд операцій та їх проблематика.

Четвертий розділ, економічний розраховано собівартість деталі та її маржинальність.

Висновок присвячений певним проблемам, неоднозначним моментам при виготовленні деталі тихохідний вал редуктора на верстатах з ЧПК.

Графічна частина складається з 6 арк. Формату А1, на яких зображено :

1. Деталь та заготовку після фрезерно центрувальної-операції.
2. Токарну операцію з переходами.
3. Токарну операцію з переходами.
4. Оснастку для фрезерно центрівної операції та оснастку для фрезерної операції.
5. Оснастку для токарної та шліфувальної операції.
6. Шліфувальну операцію з переходами.

Annotation

The diploma project consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references, and appendices. The explanatory note contains 87 sheets in A4 format. The graphic part of the diploma project consists of 6 sheets of A1 format, of which 3 sheets in A1 format contain two sheets in A2 format.

The introduction begins with a brief review of the results and conclusions drawn when writing a course project in the discipline of mechanical engineering technology and the results of the internship, namely writing control programs on CNC machines.

The first section describes the technology of manufacturing a part - a shaft type, namely: a low-speed gearbox shaft using CNC machines

The second section is the design section, where we developed tooling for the machines and selected tooling.

The third section is an in-depth analysis of operations and their problems.

The fourth section is an economic analysis of the cost of the part and its margin.

The conclusion is devoted to certain problems, ambiguous moments in the manufacture of a low-speed gearbox shaft on CNC machines.

The graphic part consists of 6 sheets. A1 format, which depicts:

1. Part and workpiece after milling and centering operation.
2. Turning operation with transitions.
3. Turning operation with transitions.
4. Tooling for milling and centering operation and tooling for milling operation.
5. Tooling for turning and grinding operations.
6. Grinding operation with transitions.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	7
Вступ.....	10
1.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	
1.1 Аналіз кресленника деталі та вихідних даних	13
1.1.1 Аналіз службового призначення та умов роботи деталі у вузлі	13
1.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі	13
1.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу	14
1.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу	14
1.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва, метод отримання заготовки.	15
1.2 Термообробка деталі	25
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	30
1.4 Вибір технологічних баз	31
1.5 Маршрути оброблення поверхні та проектування типових послідовностей оброблення поверхонь деталі.....	33
1.6 Установи для деталі	35
1.7 Опис вибору верстатного обладнання.....	38
1.8 Вибір ріжучого інструменту	43
1.9 Призначення припусків	51
1.10 Режими різання	54
1.11 Основний час обробки.....	58
1.12 Нормування технологічних операцій.....	62
2.КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	
3. Проектування верстатних пристроїв	63
Пункт 01.Фрезерно-Центрувальна з ЧПК.....	63
Пункт 05.Токарна з ЧПК та 015 Шліфувальна з ЧПК	65
Пункт 010.Фрезерно-Центрувальна з ЧПК.....	72
2.2 Інструментальні пристрої.....	73
3.ПОГЛИБЛЕНИЙ РОЗДІЛ .	
Поглиблений розгляд обробки деталі.....	79
ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	
4.Розрахунок повної собівартості деталі.....	82
ВИСНОВОК	83
ЛІТЕРАТУРА	86

Вступ

У сучасних реаліях серійного виробництва, майже не можливо обійтися без верстатів оснащених ЧПК, оскільки вони пришвидчують процес виготовлення деталей, легше встановлювати наладжувати інструмент, можливість виготовлення складних деталей за короткий термін, та зменшує складність навчання кваліфікованих працівників на даних верстатах, що я спостерігав при проходженні практики. На практиці я ознайомився з верстатами, які використовуватимуться для деталі, яку я розглядаю в дипломному проекті.

А саме Studer S22 фрезерний верстат оснащений стійкою Fanuk 31i—A. На даній стійці мова програмування Fanuc-compatible G-code. На ній я написав G-code, який можливо написати після виконання технологічного розділу, та створення оснастки, яку я теж спроектував у програмі SolidWorks, орієнтуючись на параметрах верстату та розмірах заготовки. G-code був написаний зі стійки верстату, хоча напевно було б доцільніше написання G-code, у програмному забезпеченні Solid CAM, чи інших CAM системах типу Autodesk Fusion 360, Master CAM, NX CAM та інших. Перевірю правильність G-code в симуляторі ЧПК, а саме NC Editor.

Наведу нижче частину G-code для фрезерної операції.

```
01000
T1 M06
S 5700 M03
G00 X0 Y 0 Z5
M 08
G00 X0 Y0
G01 Z-0.5 F 0.04
G01 Y60 F 0.015
G 01 z5
G01 Z-3 F0.04
G01 Y60 F0.04
```

G00 Z 5

...

Всі значення G-code та M-code я наведу в додатках.

Також мною був створений G-code, M-code. Для шліфувальної, фрезерно-центрівної, токарної операцій, хотів би зазначити, що для написання коду для шліфальної операції є найважчим осьскільки інструмент активно змінює свої геометричні параметри і це треба враховувати, за допомогою програмного забезпечення і розрахунку коефіцієнту шліфувального круга, що є складною задачею. Врахувати теплові явища, які виникають під час обробки заготовки, вібрації, пружність системи ТОС тощо. Правку шліфувального круга здійснюється алмазним правлячим кругом. В нашому випадку написання коду було здійснено безпосередньо зі стійки верстату Fanuc 31i-A. На відміну від інших операцій для шліфування, написання коду з стійки є раціональним підходом за складності програм які створюють код для шліфування. Нижче наведу частину G-коду для шліфування.

02602

G40 G90 G18

G92 S25

M3 S25

M 08

G54

G0 X80 Z5

G1 X50.5 Z -62 F 0.2

G0 X80 Z5

G1 X50.5 Z-62 F0.2

G0 X80 Z5

G1 X50.5 Z-62 F0.2

....

Для токарної операції теж написаний G та M коди зі стійки Heidenhain, яка використовує діалогову мову Plain Language Programming.

T3

G56 z175

G26 S3000

G96 S300 G95 F0.2 M03

G0 X62 Z0

G1 X -1.6 Z0

G1 X-1.6 M108

G1 X56 Z1

G1 Z-172

G1 X62

G0 Z1

G0 X52

G1 Z-151

G1 X62

G0 Z2

G0 X48

G1 Z-151

G0 X 54 Z2

Для фрезерно-центрівної операції код написаний на першому листі дипломного проекту.

вигинами та виступами для кріплення елементів або спеціальні вали з вигинами та виступами для кріплення елементів.

2. Матеріал виготовлення: Вали зазвичай виготовляються зі сталі, алюмінієвих сплавів або спеціальних сплавів, що забезпечують високу міцність і зносостійкість. Для високих навантажень використовуються сталі з підвищеними механічними властивостями.

3. Точність обробки: Вали потребують високої точності при обробці, особливо на тих ділянках, де встановлюються підшипники, шестерні чи інші елементи.

1.1.2 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Розглянемо (рис 1.1),

$\varnothing 45k6$ є посадковою поверхнею, яка безпосередньо взаємодіє з підшипником.

$\varnothing 45k6$ також є посадковою поверхнею, для підшипника.

Шпонковий паз на поверхні $\varnothing 45h6$. Цей паз також призначений для встановлення шпонки, яка передає обертальний момент. Посадка виконана відповідно до стандарту, що дозволяє уникнути осьового зсуву деталей та забезпечити надійну роботу механізму навіть при змінних навантаженнях $\varnothing 36k6$ є кінцевою частиною вала, що передає обертальний момент на інший механізм.

Шпонковий паз на $\varnothing 36k6$. Використовується для передачі моменту на наступну ланку редуктора.

Фаски $1,6 \times 45^\circ$ зменшують ризик задирів при монтажі та демонтажі елементів на валу.

Торцеві поверхні мають шорсткість $Ra\ 0.63$ або $Ra\ 1.6$, що впливає на точність посадки суміжних деталей та їх надійність в експлуатації.

1.1.3 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Заготовка деталі, як і сама деталь, виготовляються зі сталі 40Х за ГОСТ 4543-71. Вибір цього матеріалу є оптимальний саме тим, що з сталі 40Х, виготовлені інші деталі шпонки та зірочка, що забезпечить технологічність виготовлення і забезпечування довговічності деталі. Також сталб 40Х має хорошу стійкість та високу твердість, що потрібно для наших вузлів передачі моментів.

.

Хімічний склад сталі 40Х відповідно до ДСТУ 7806

Для обрахунку режимів різання, гартування занесемо дані про сталь в (табл 1.1)

Таблиця 1.1 -Хіміний склад сталі

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	N	Fe
0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	≤ 0,3	≤0,035	≤0,035	0,80-1,1	≤0,3	≤0,08	96

1.1.4 Механічні властивості сталі 40Х

для обрахунку режимів різання, гартування занесемо дані про сталь в (табл 1.2)

Таблиця 1.2 — Механічні властивості сталі 40Х

Температура загартування, °С	Середа охолодження	Температура відпуску, °С	Середа охолодження	Межа плинності, Н/мм ²	Тимчасовий спротив, Н/мм ²	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²
860	Масло	500	Вода або масло	785	980	10	45	59

1.2 Визначення типу виробництва та аналіз його впливу на завдання технологічного підготовки виробництва, метод отримання заготовки.

Тип виробництва — це класифікаційна категорія, яка визначається за такими критеріями, як широта номенклатури продукції, регулярність та обсяг її виготовлення.

Однією з ключових характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій (Кзо). Цей показник обчислюється як співвідношення загальної кількості операцій, що виконуються або мають бути виконані за визначений період часу, до кількості робочих місць.

Згідно з ДСТУ 2974-95, коефіцієнт закріплення операцій — це відношення кількості різних технологічних операцій, які виконані або заплановані протягом місяця, до загальної кількості робочих місць.

Операція — це завершена частина технологічного процесу, яка виконується на одному робочому місці з використанням одного чи кількох інструментів, над однією деталлю і, зазвичай, однією або групою працівників (ДСТУ 2391-94).

Робоче місце — це базова одиниця виробничої структури, яка охоплює частину простору підрозділу, обладнану всім необхідним для виконання трудової операції (ДСТУ 2960-94).

Формула для розрахунку коефіцієнта закріплення операцій враховує загальну кількість операцій і кількість робочих місць на ділянці, які виконують різні технологічні операції.

Оскільки на даному етапі роботи немає точних даних щодо кількості операцій і робочих місць, обчислити $K_{зо}$ неможливо. Тому доцільно використовувати аналогові методи визначення типу виробництва.

Заготовку, найраціональніше купувати, прутки по 6 метрів у постачальників, оскільки такий тип матеріалу широко поширений (рис 1.2), та нарізати на стрічковій пилі. Пруток потрібно замовляти 58 діаметру та попередньо його очистити. Спосіб очищення заготовки обираємо після призначення серійності.



Рисунок 1.2 - Матеріал для заготовки

Оскільки маса деталі 3,4 кг

(рис. 1.4), а занотовки 6.1 кг

(рис. 1.3) річний обсяг випуску — 30000 деталей на рік, призначимо тип виробництва.

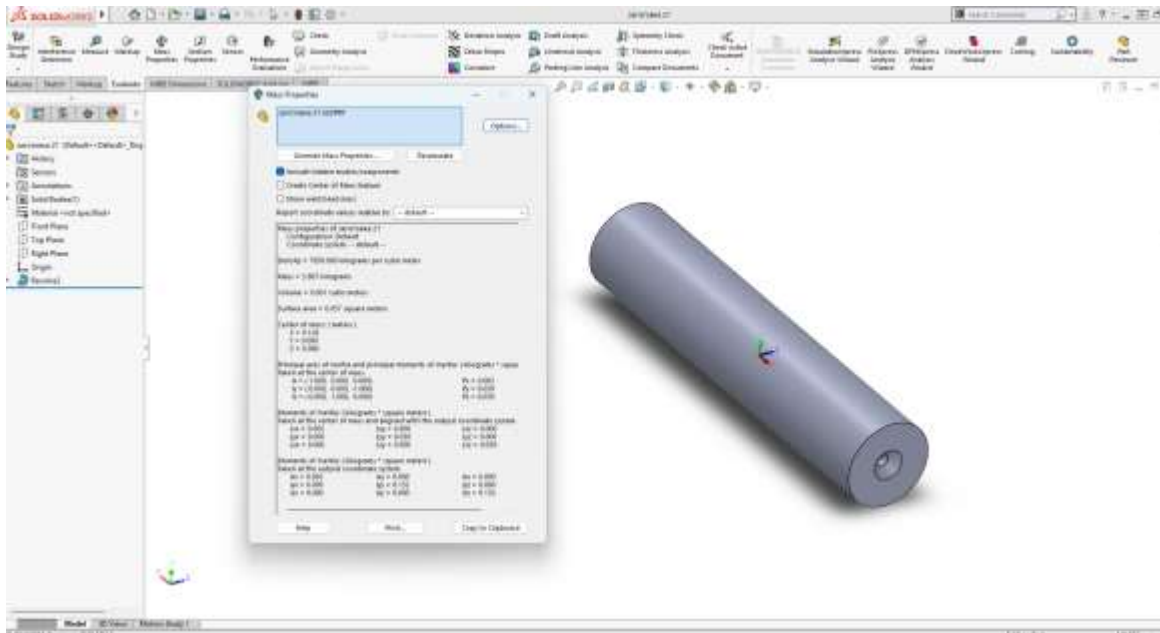


Рисунок 1.3- Обрахунки маси заготовки в програмі SolidWorks

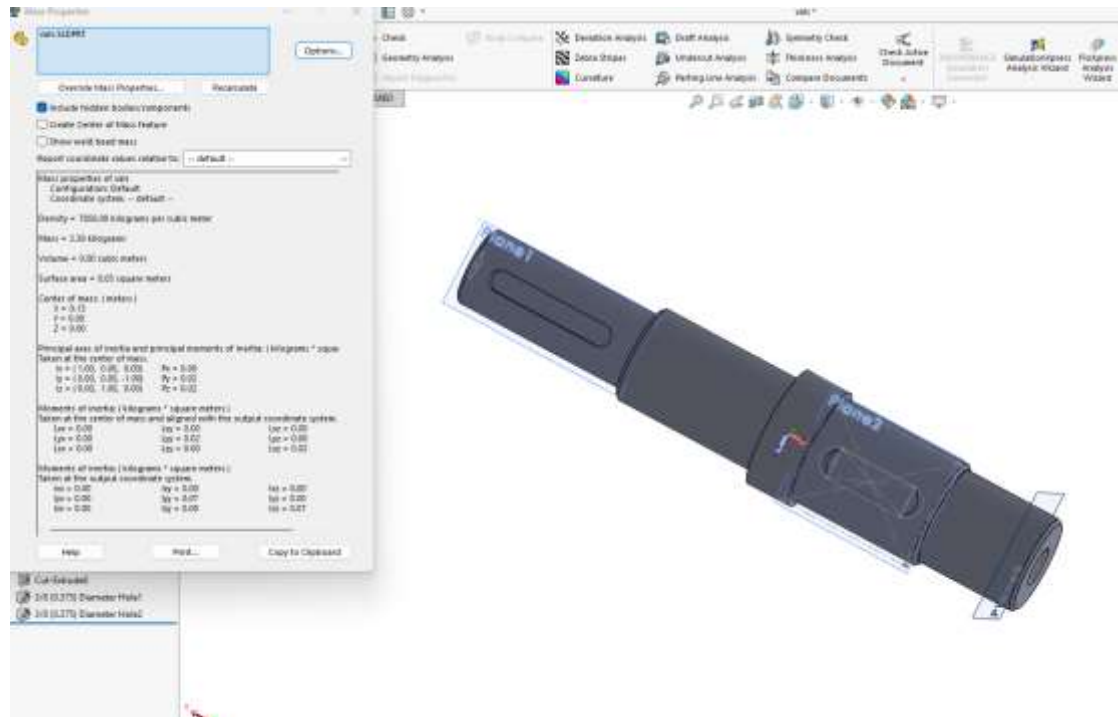


Рисунок 1.4 Обрахування маси деталі в програмі SolidWorks

Коефіцієнт використання матеріалу використаємо дані з (рис 1.1) та (рис 1.2)
 $3.39/6.1=0.557\%$

Велика частина матеріалу втрачається. Але данна заготовка вигідна у виробництві, за рахунок виробництва на токарному верстаті з ЧПК.

Щоб призначити тип виробництва скористаємось (табл 1.3).

Таблиця 1.3. Призначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт.		
	легкі, масою до 20 кг.	дні, масою 20...30 кг.	жкі, масою більше 30 кг
Одиничне	до 100	до 10	1...5
Мало серійне	101...500	11...200	6...100
Середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
Великосерійне	5001...50000	1001...5000	301...1000
Масове	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Тип виробництва — великосерійне.

Тоді $K_{3.0}$.

$$1 \leq K_{3.0} \leq 10$$

Коефіцієнт закріплення операцій

$$K_{3.0}=10.$$

Тоді послідовність отримання заготовки така:

Закупка матеріалу — прутки діаметром 58 мм зі сталі 40 Х. Дані прутки зазвичай потрібно очищувати від корозії, окалин, та масла. Оскільки у нас великосерійне виробництво тоді раціонально очищувати металеві прутки

дробометною установкою (рис. 1.5), яка має значні переваги у великосерійному виробництві,



Рисунок 1.5 - Дробометна установка TI70R

Подача прутків у дробометну установку здійснюється за допомогою барфідера, оберемо модель (рис. 1.6). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.4).



Рисунок (1.6) - Барфідер BF65L

Таблиця (1.4) - Технічні характеристики барфідера BF65L

Макс. Діаметр заготовки, мм	Макс. Довжина заготовки, мм	Мін. Тиск, кг/см ²	Довжина, мм	Ширина, мм	Висота, мм	Вага, кг
64	1550	6	1900	450	920-1300	280

З технічних характеристик барфіндера бачимо, що перед тим як подавати прутки у барфіндер потрібно, пруток 6 метрів порізати на 4 частини по 1.5 м, та додатково встановити компресор (рис. 1.7) характеристики компресора вказано в (табл. 1.5). Стрічкову пилу (рис. 1.8), обираємо орієнтуючись на діаметр прутка, його довжину та серійність виробництва заносимо технічні характеристики в (табл 1.6).



Рисунок 1.7 - Компресор GRAD 7043945

Таблиця 1.5 - Технічні характеристики компресора GRAD 7043945

Тип	Прямий привід
Потужність, Вт	2500
Максимальна продуктивність, л/хв	435
Напруга, В	220
Рівень шуму, дБ	98
Максимальний допустимий тиск, бар	8
Об'єм ресивера, л	50
Максимальна кількість обертів об/хв	2850
Розмір, мм	730x360x680
Маса нетто, кг	38.3
Маса брутто, кг	40.3



Рисунок 1.8 - Стрічкова пила LP-300 2CA

Таблиця 1.6 - Технічні характеристики - Стрічкової пили LP-300 2CA

Ріжуча здатність, мм	Кругова 300, Квадратна 300x300
Швидкість леза (м/хв)	25/33/53/80
Розмір леза (мм)	34x1,1x4115
Головний мотор (кВт)	4
Гідравлічний мотор (кВт)	0,75
Охолоджуючий мотор (кВт)	0,04
Кріплення заготовки	Гідравлічні тиски
Натяг леза	Вручну
Подача матеріалу	Авто
Многократна подача матеріалу	400х 9 разів
Вага верстату (кг)	1700 кг
Розмір пили (мм)	2200x2100x1750

На стрічковій пилі (рис. 1.8) відбувається два етапи для отримання заготовки.

Перший етап. Нарізання прутків довжиною 1500 мм, для заготовок, які зможуть поміститись в барфіндер.

Другий етап. Нарізання прутків довжиною 283 мм, після очищення на дробеметній установці.

Після даного етапу, потрібна термічна обробка заготовки, щоб зрівноважити структуру металу після прокату, зняти зовнішні та внутрішні напруження.

Після термічної обробки покращується оброблюваність різанням

1.2 Термообробка деталі

Термічна обробка деталі, одна з найголовніших операцій, оскільки дає змогу досягти потрібних нам властивостей сталей. Орієнтуючись на (рис. 1.9) та (рис. 1.10), призначаємо перший етап термообробки, який має виконуватись після етапу нарізання прутків на заготовки 283 мм. Термообробка виконується згідно ДСТУ 7806 та ДСТУ 8975:2019. Щоб призначити час і температуру відпускання використаємо діграми (рис. 1.11)

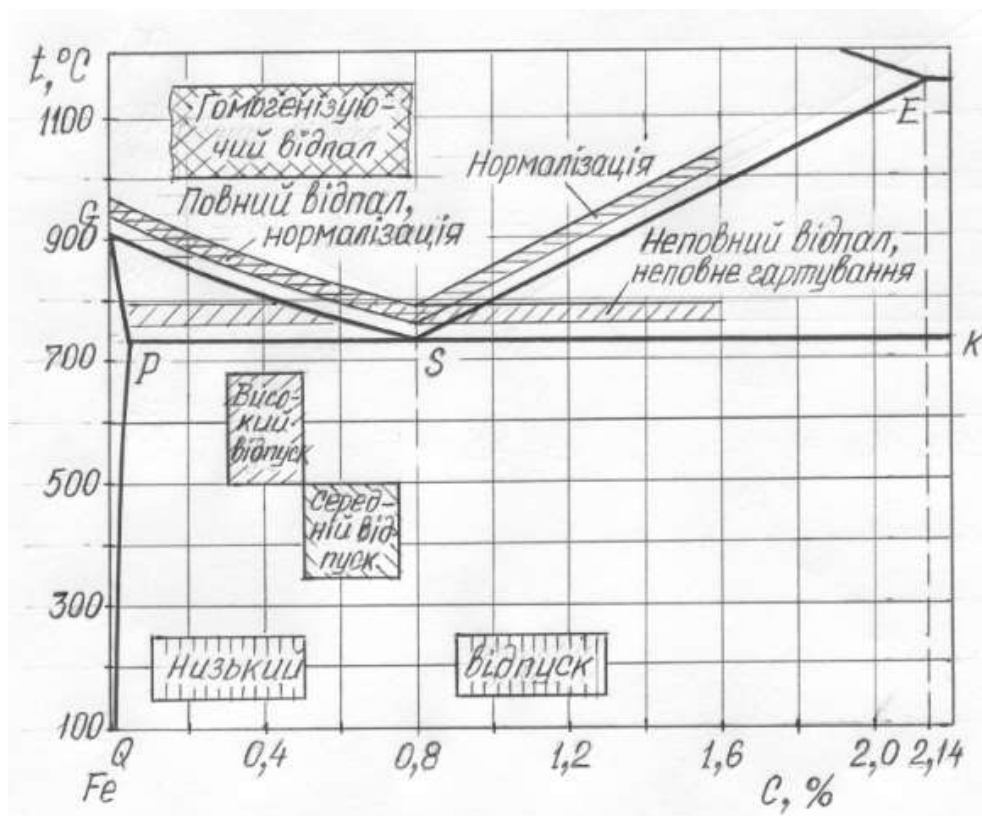
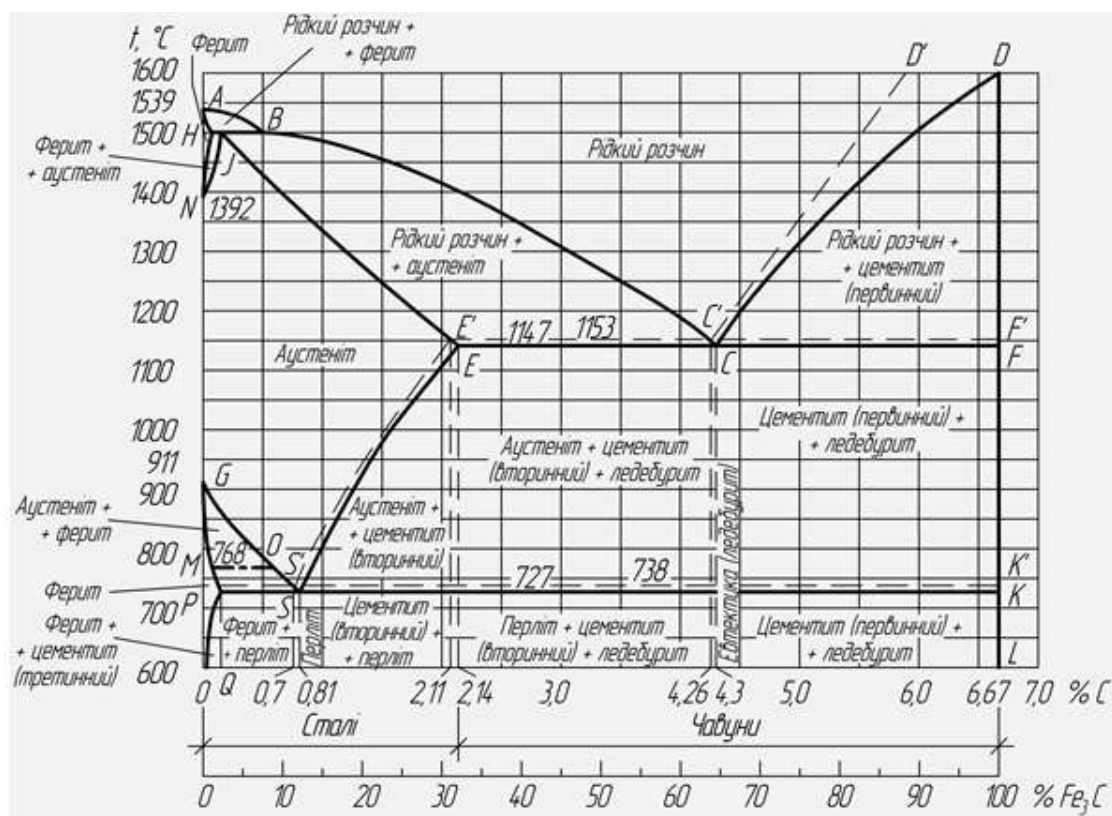


Рисунок 1.9 - Діаграма режиму термообробки для сталі 40 X.



Рисун
ок
1.10 -
Діагр
ама
стан
у
залізо
-
вугле
ць

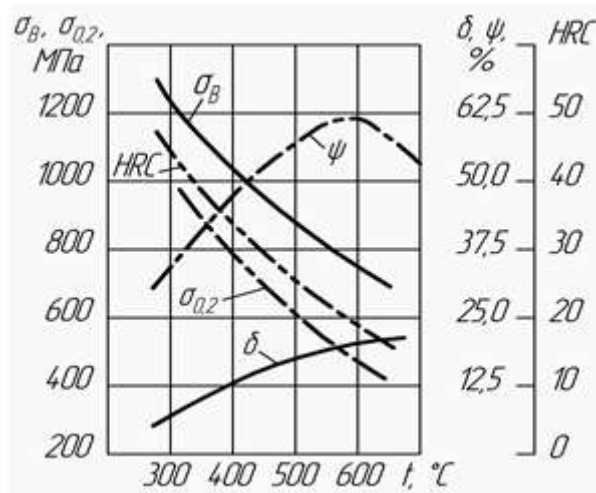


Рисунок 1.11 - Графік впливу температури відпускання на властивості сталі

Отже орієнтуючись на дані діаграми (рис. 1.9) та (рис. 1.10), обираємо режим термообробки вміст вуглецю в сталі 40 X , (табл 1.1) 0,36- 0,44 %, Нагрівання заготовки триватиме на 1 мм діаметру заготовки 58 секунд тобто триватиме 56,06 хвилин.З рисунка бачимо, що мікроструктура сталі буде

Аустеніт+ферит при температурі 850 °. Далі буде операція відпуску.

Відпуск високий- за температури 570°-600°,триватиме відпуск від 2 до 2,2 години.

Тоді орієнтуючись на вихідні дані оберемо піч для обробки заготовки (рис. 1.12) та занесемо характеристики в (табл. 1.7).



Рисунок 1.12 - Електроніч СШЗ-10.10/13

Таблиця 1.7 — Технічні характеристики електронічі СШЗ-10.10/13

Встановленна потужність загальна кВт	60
Напруга мережі живлення В	380
Частота змінного струму Гц	50
Число фаз	3
Число зон нагріву	1
Точність підтримання температури в точці вимірювання в встановленому режимі °С	5
Автоматичне регулювання температури в діапазоні, до °С	1300
Середовище у робочому просторі	Контрольована негорюча атмосфера
Розміри робочої камери мм	1000х1000
Габаритні розміри мм	2600х2600х3800
Маса кг	3500

Після даної операції ми отримаємо, потрібні нам характеристики матеріалу та забезпечим технологічність. Отримаємо потрібну твердість в діапазоні 170-190 НВ, вказану на робочому кресленні. Зазначу, що можливо потрібно додати ще один етап низькотемпературного відпуску після шліфування, для зняття напружень.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічний аналіз конструкції є ключовим етапом розроблення технологічного процесу, оскільки сприяє підвищенню його техніко-економічної ефективності. Це особливо актуально при виконанні проєктування. Аналізуючи дану деталь, можна відзначити лише один суттєвий недолік з погляду технологічності — наявність шпонкових пазів, які не дозволяють обмежитися виключно токарною обробкою. В іншому

конструкція є технологічною, не викликає ускладнень під час розробки технологічного процесу та придатна для раціонального виготовлення.

Розрахуємо клас точності заготовки за ГОСТ 7505

Клас точності заготовки: Т3

Група сталі: М2

Ступінь складності: С2

Конфігурація роз'єму: Іс (Ізометрична симетрична).

Призначаємо припуск на обробку за ДСТУ 27365-94 - Припуски на механічну обробку.

Прокат 1,5-2,5 мм

Обираємо 2 мм для діаметру заготовки .

Довжина заготовки до фрезерувально-центрівної операції 283 мм. Припуск: 2 мм. Тож занесемо результати в (табл. 1.8)

Таблиця 1.8 - призначення припусків на обробку

1	Розмір поверхні деталі оброблюваної різанням	Ø56h10	Ø50p6	Ø45k6	Ø45k6	36k6	281H10
2	Шорсткість обробленої поверхні Ra, мкм	6.3	1.6	0.63	0.63	0.8	6.3
3	Геометричний параметр поковки	D	D	D	D	D	L
4	Основний припуск на сторону, мм	2	6	5	11	9	2
5	Допуски і допустимі відхилення	+0.025 +0.014	+0.02 +0.014	+0.016 +0.004	+0.016 +0.014	+0.013 +0.014	+1,3 -0.7
6	Розмір на заготовці	Ø58 ^{+1,4} _{-0,8}	Ø58 ^{+1,4} _{-0,8}	Ø58 ^{+1,4} _{-0,8}	Ø58 ^{+1,4} _{-0,8}	Ø58 ^{+1,4} _{-0,8}	281 ^{+1,6} _{-0,9}

1.4 Вибір технологічних баз

Для подальшого уявлення, базування деталей зробимо ескіз заготовки після фрезерно центрівної операції (рис 1.13)

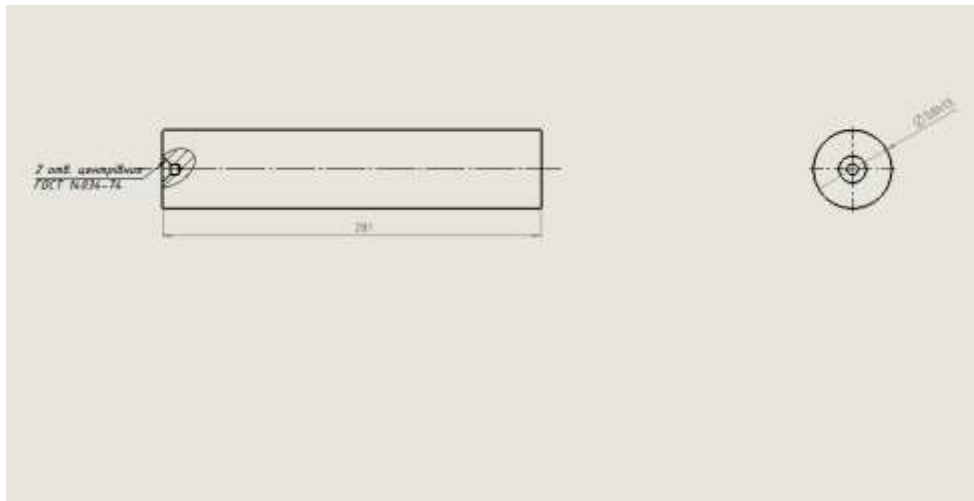


Рисунок 1.13

— Ескіз заготовки після фрезерувально-центрівної операції.

. Тепер можемо призначити конструкторські бази (рис. 1.14)

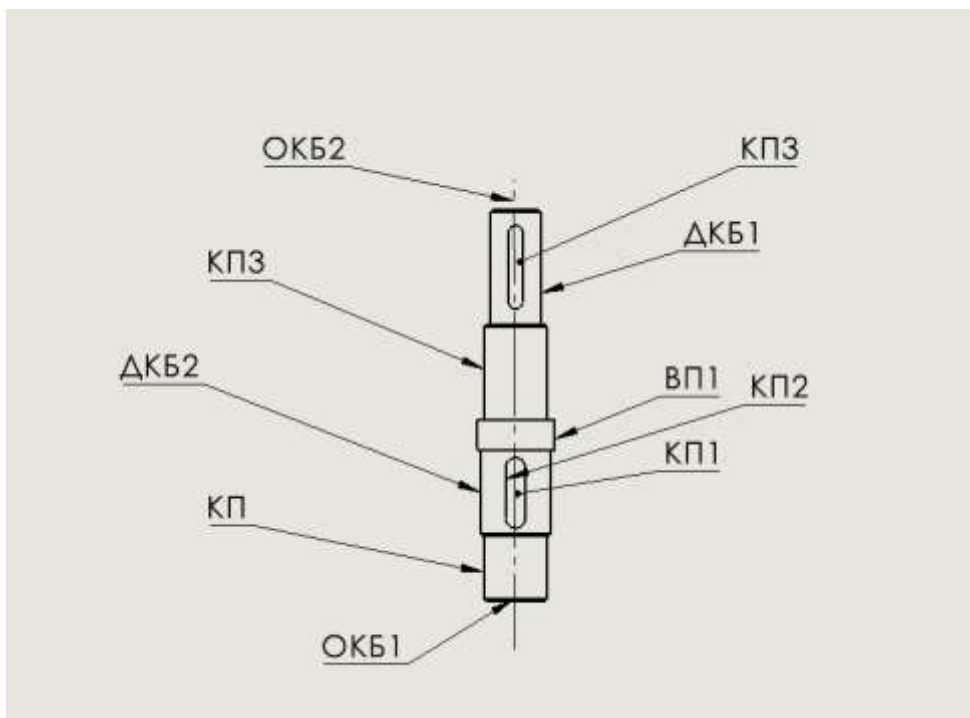


Рисунок 1.14 — Конструкторські бази деталі

1.5 Маршрути оброблення поверхні та проектування типових послідовностей оброблення поверхонь деталі.

Зробимо таблицю з призначенням маршрутів оброблення в (табл. 1.9)

Таблиця 1.9 — Маршрути оброблення поверхні

№	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Технологічна послідовність оброблення	Характеристики якості оброблення поверхні після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості R_a , мкм			
1	2	3	4	5	6
Фрезерно-центрівна обробка на Фрезерно-центрівному верстаті					
ОКБ2	H10	3.2	Фрезерування чорнове однократне Фрезерування чистове однократне	12 6.3	6.3 3.2
ОКБ2	H10	6.3	Центрування		6.3
ОКБ1	H10	3.2	Фрезерування чорнове однократне Фрезерування чистове однократне	12 6.3	6.3 3.2
ОКБ1	H10	3.2	Центрування		6.3
Токарна обробка на токарному верстаті з ЧПК					
ВП1	h7	0.63	Точіння чорнове Точіння чистове	12 6	10 6.3
КПЗ	k6	0.8	Розточування начорно	12 7 5	10
			Розточування начисто		2,5
			Розточування тонке		0.6 3
ДКБ1	k6	0.63	Розточування начорно	12 7	6.3

			Розточування начисто	5	3.2
			Розточування тонке		0.6 3
ДКБ2	p6	1.6	Розточування начорно	12	6.3
			Розточування начисто	7	3.2
			Розточування тонке	5	1.6
КП	k6	0.63	Розточування начорно	12	6.3
			Розточування начисто	7	3.2
			Розточування тонке	5	0.6 3
Фрезерна обробка					
КП1, КП3	H14	10	Фрезерування одноразове	12 12	6.3 6.3
Шліфувальна обробка					
ДКБ1	k6	0.8	Шліфування чорнове Шліфування чистове	1.6 1.2	1.2 0.8
ДКБ2	p6	1.6	Шліфування чорнове Шліфування чистове	1.6 1.2	1.2 0.8

1.6 Установи для деталі

Для базування деталей розробимо ескізи базування для токарної операції

Установ. А. Призначенна для першої токарної установки. (рис. 1.15)

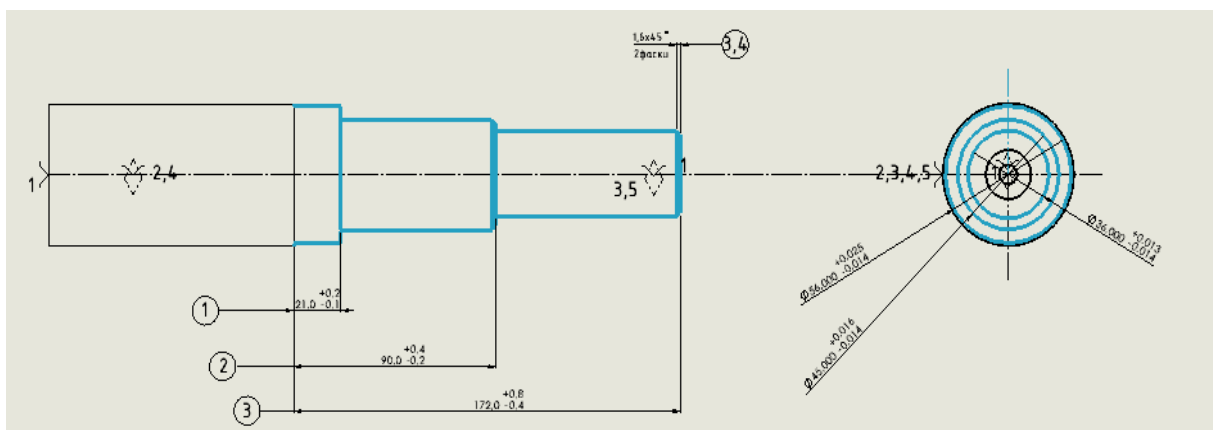


Рисунок 1.15 — Ескіз установки А.

Technical drawing of a shaft with a keyway, showing front, side, and cross-sectional views with dimensions and tolerances.

Front View (Left): Shows a shaft with a keyway. The keyway is defined by a blue outline. The shaft has a diameter of $\varnothing 12,4$ and a length of $45,000 \pm 0,014$. The keyway width is $10,000 \pm 0,004$. The keyway depth is $4,000 \pm 0,004$. The keyway is located at a distance of $1,000 \pm 0,004$ from the left end.

Side View (Middle): Shows the shaft with a keyway. The keyway is defined by a blue outline. The shaft has a diameter of $\varnothing 12,4$ and a length of $45,000 \pm 0,014$. The keyway width is $10,000 \pm 0,004$. The keyway depth is $4,000 \pm 0,004$. The keyway is located at a distance of $1,000 \pm 0,004$ from the left end.

End View (Right): Shows the shaft with a keyway. The keyway is defined by a blue outline. The shaft has a diameter of $\varnothing 12,4$ and a length of $45,000 \pm 0,014$. The keyway width is $10,000 \pm 0,004$. The keyway depth is $4,000 \pm 0,004$. The keyway is located at a distance of $1,000 \pm 0,004$ from the left end.

29

01.Фрезерно-центрівна з ЧПК, - фрезерно-центрівний верстат ГФ2171С5

01.01 Г.Установити, закріпити, зняти.

01.02 Фрезерувати поверхню ОКБ1 начорно , витримуючи розміри $281^{+1,6}_{-0,8}$ мм.

01.03 Фрезерувати поверхню ОКБ1 начисто , витримуючи розміри $281^{+1,6}_{-0,8}$ мм.

01.04 Центрувати отвір А3 на поверхні ОКБ1 .

01.05 Фрезерувати поверхню ОКБ1 начорно , витримуючи розміри $281^{+1,6}_{-0,8}$ мм.

01.06 Фрезерувати поверхню ОКБ1 начисто , витримуючи розміри $281^{+1,6}_{-0,8}$ мм.

01.07 Центрувати отвір А3 на поверхні ОКБ1 .

05. Токарна з ЧПК. Обладнання – токарний верстат GILDEMEISTER CTX 400E Установити, закріпити, зняти.

05.01 А. Установити, закріпити, зняти

05.02 Точити поверхню ВП1 начорно, витримуючи розмір $\varnothing 56^{+0,24}_{+0,14}$

05.03 Точити поверхню КПЗ начорно, витримуючи розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.04 Точити поверхню ДКБ1 начорно, витримуючи розміри $\varnothing 36^{+0,16}_{+0,14}$

05.05 Точити поверхню КПЗ начорно, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.06 Точити поверхню ДКБ1 начорно, витримуючи розміри $\varnothing 36^{+0,16}_{+0,14}$

05.07 В. Установити, закріпити, зняти

05.08 Точити поверхню ДКБ2 начорно, витримуючи розміри $\varnothing 50^{+0,25}_{+0,14}$

05.09 Точити поверхню КП начорно, витримуючи розміри 9

05.10 Точити поверхню ДКБ2 начорно, витримуючи розміри $\varnothing 50^{+0,25}_{+0,14}$

05.11 Точити поверхню КП начорно, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.12 Б. Установити, закріпити, зняти

05.13 Точити поверхню ВП1 начисто, витримуючи розмір $\varnothing 56^{+0,24}_{+0,14}$

05.14 Точити поверхню КПЗ начисто, витримуючи розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.15 Точити поверхню ДКБ1 начисто, витримуючи розміри $\varnothing 36^{+0,16}_{+0,14}$

05.16 Точити поверхню ДКБ1 тонко, витримуючи розміри $\varnothing 36^{+0,16}_{+0,14}$

05.17. Точити поверхню КПЗ тонко, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.18 Точити поверхню ДКБ2 начисто, витримуючи розміри $\varnothing 50^{+0,25}_{+0,14}$

05.19 Точити поверхню КП начисто, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.20 Точити поверхню КП тонко, витримуючи розміри $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

05.21. Точити поверхню ДКБ2 тонко, витримуючи розміри $\varnothing 50^{+0,25}_{+0,14}$

10. Фрезерна і з ЧПК. Обладнання – верстат HAAS DT-1

А. Установити, закріпити, зняти.

10.01. Одноразово фрезерувати поверхню начорно КПЗ, витримуючи розмір $60^{+0,3}_{+0,025}$

10.01. Одноразово фрезерувати поверхню начисто КПЗ, витримуючи розмір $60^{+0,3}_{+0,025}$

10.02. Одноразово фрезерувати поверхню КП2 начорно $45^{+0,003}_{+0,025}$

10.02. Одноразово фрезерувати поверхню КП2 начисто витримуючи розмір $45^{+0,003}_{+0,025}$

15.Шліфування з шліфувальним станком STUDER S22

В. Установити, закріпити, зняти

15.01 Одноразово шліфувати,начорно поверхню КПЗ, витримуючі розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

15.02 Одноразово шліфувати,тонко поверхню КПЗ, витримуючі розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

15.03 Одноразово шліфувати, начорно поверхню КП, витримуючі розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

15.04 Одноразово шліфувати,тонко поверхню КП,витримуючі розмір $\varnothing 45^{+0,14}_{+0,13}$

20. Слюсарна

25. Миюча

30. Контрольна

1.7 Опис вибору верстатного обладнанням

1) Для фрезерно-центрівної операції обрано фрезерно-центрівний верстат з ЧПК ГФ2171С5 (рис. 1.19), технічні характеристики занесемо в (табл. 1.10)



Рисунок 1.19 —

Фрезерно-центрівний верстат з ЧПК ГФ2171С5

Таблиця 1.10 — Технічні характеристики верстата ГФ2171С5

Розмір робоч ого столу, мм	Максим альне переміщ егтя по осям, мм	Частота обертан ня шпинде ля	Потужн ість головно го привод у	Точність прицілю вання	Система ЧПУ	Маса верстата	Габаритні розміри, мм
1250х 320	X-800 Y-320 Z-400	1600 об/хв	7,5 кВт	+0.02мм -0.02мм	2C42-65	4500 кг	2350х 2150х 2350

2) Для токарної обробки обрано токарний верстат з ЧПК GILDEMEISTER CTX 400 E (рис. 1.20). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.11)

Рис
уно
к
1.2
0 —
Ток
арн
ий
вер
ста
т з
ЧП
К
GIL
DE
ME
ISTER
ER



CTX 400 E

Таблиця 1.11 — Технічні характеристики верстата GILDEMEISTER CTX 400 E.

Система ЧПУ	Макс. Крутний момент	Діапазон швидкості шпинделя	Потужність	Швидкість осі	К-ть інструментів	Довжина	Ширина	Висота	Вага
Heidenhain Turn Plus 1190	240 Нм	25-5000 об/хв	11,2 кВт	100 об/хв	12	3210 мм	1750 мм	1759 мм	5000 кг

3) Для фрезерної обробки обрано фрезерний верстат з ЧПК HAAS-DT1 (рис. 1.21).

Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.12)



Рисунок 1.21 — Фрезерний верстат HAAS- DT1

Таблиця 1.12 — Технічні характеристики верстата HAAS-DT1.

Вісь X,Y, мм	Вісь Z,мм	Макс. діаметр деталі	Макс. Довжина різання	Макс. Потужність шпинделя	Макс. Швидкість	Маса	Габаритні розміри см	К-ть інструментів
200	406	419мм	406мм	11.2 кВт	6000об/хв	3585 кг	320x178x206	12

4) Для шліфування обрано шліфувальний верстат з ЧПК STUDER S22 (рис. 1.22).

Технічні характеристики занесемо в (табл 1.13)



Рисунок 1.22 — Шліфувальний верстат STUDER S22

Таблиця 1.13 — Технічні характеристики верстата STUDER S22

Вісь X,Y, мм	Вісь Z,мм	Макс. діаметр деталі	Макс.Довжина різання	Макс. Потужність шпинделя	Макс. Швидкість	Маса	Габаритні розміри см
310/100	850	610	800	15 kW	15000 мм/хв	4000 кг	320x188x210

1.8 Вибір ріжучого інструменту

1) Інструмент для Фрезерно- центрівних операцій.

1.1 Інструмент для обробки торцевої обробки, торцева фреза із змінними пластинами Sandvic MC40-AR032032 (рис 1.23). пластины MC40-090404С-Л30 1040с (рис 1.24).

Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.14) та (табл. 1.15).



Рисунок 1.23 - торцева фреза із змінними пластинами Sandvic MC40-AR032032.

Таблиця 1.14 - Технічні характеристики фрези із змінними пластинами Sandvic MC40-AR032032.

Кут ріжучо ї кромк и	Діамет р зрізу	К-ть ріжуч их кромок	Макси мальн а глибин а зрізу	Корис на довжи на	Макс. Крут момен т	Макси мальн а швидк ість оберта ння	Вага	Матері ал корпус у	Перед ній кут
90°	31.75м м	4	8мм	39 мм	1,4 Нм	8300 об/хв	0.719к г	Сталь	4°



Рисунок 1.24 — пластина MC40-090404Є-Л30 1040с

Таблиця 1.15 - Технічні характеристики фрези із змінними пластинами Sandvic MC40-AR032032

Кут ріжучої кромки	Vс м/хв	К-ть ріжучих кромок	Макси мальна глибина зрізу	Довжина кромки	Радіус кута	Кут нахилу вставки	Вага	Матеріал покриву	Fz
90°	34 м/хв	4	8мм	1,5 мм	0,4 мм	30°	0.003кг	PVD TiAlN	0,04- 0,15 мм

1.2 Інструмент для центрування (рис. 1.25). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.16)



Рисунок 1.25- Центрівне свердло P6M5K5 A3

Таблиця 1.16 — Технічні характеристики центрірного свердла P6M5K5 A3

Матеріал	Діаметр	Кут при вершині	Глибина центрування	Швидкість різання	Обертання
Сталь 45	3.15	60	3 мм	12-18 м/хв	1515 об/хв

2) Інструментр для токарної обробки

2.1 Інструмент для чорнової токарної обробки C4-DCLNL-27050-12B1 (рис. 1.26), (рис 1.27). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.17) та (табл. 1.18).



Рисунок 1.26 — Державка C4-DCLNL-27050-12B1

Таблиця 1.17 — Технічні характеристики державки C4-DCLNL-27050-12B1

Кут ріжучої кромки	Максимальний виліт	Тип	Подача сож	довжина	ширина	висота	Матеріал корпусу	Тип зажиму
95°	50мм	Лівий	так	50мм	27мм	0мм	Сталь	Зажим з отвором для штіфта

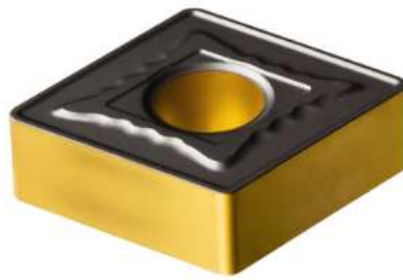


Рисунок 1.27 — Пластина CNMG 12 04 08-MR 4405

Таблиця 1.18 — Технічні характеристики CNMG 12 04 08-MR 4405

a_p	f_n	h	v_c	Тип операції	К-ть ріжучих кромок	Радіус
4 мм	0,5 мм/об	0,5мм об	315 м/хв	Чорнова обробка	4	0.8

2.2 Інструмент для чистової та тонкої токарної обробки (рис 1.28) та (рис 1.29) Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.19) та (табл. 1.20).



Рисунок 1.28 — Державка C4-PDJNL-27050-11C1

Таблиця 1.19 — Технічні характеристики C4-PDJNL-27050-11C1

Кут ріжучої кромки	Максимальний виліт	Тип	Подача сож	довжина	ширина	висота	Матеріал корпусу	Тип зажиму
93°	50мм	Лівий	так	50мм	27мм	0мм	Сталь	Зажим з отвором для штифта

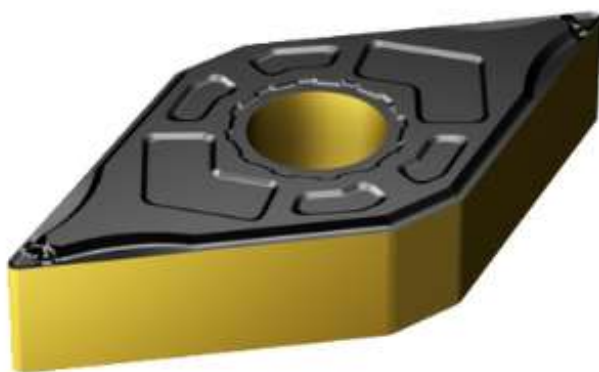


Рисунок 1.29 — Пластина DNMG 11 04 04-LC 4415

Таблиця 1.20 — Технічні характеристики C4-PDJNL-27050-11C1

a_p	f_n	h	v_c	Тип операції	К-ть ріжучих кромок	Радіус
0.25 мм	0,11 мм/об	0,1 мм об	440 м/хв	Чистова обробка	4	0.4

3) Інструмент для фрезерної обробки чорнової та чистової (рис 1.30). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.21)



Рисунок 1.30 — Фреза 2P342-0476-PA P2BM

Таблиця 1.21 — Технічні характеристики 2P342-0476-PA P2BM

Діаметр зрізу	Кут ріжучої кромки	Клас точності діаметра зрізу	Ширина кутової фаски	Глибина різання	Вага	Довжина
4,76 мм	90°	H6	0.1 мм	11.113мм	0,026 кг	63,5

4) Інструмент для шліфувальної обробки Абразивний круг шліфувальний електрокорунд білий (рис 1.31). Технічні характеристики занесемо в (табл. 1.22) .



Рисунок 1.31- Абразивний круг шліфувальний електрокорунд білий

Таблиця 1.22 — Технічні характеристики шліфувального круга

Номер зернистості	Індекс зернистості	Зовнішній діаметр	Висота	Діаметр посадкового отвору	Клас точності	Допустима кутова швидкість
25	A	300 мм	20 мм	127 мм	2	35м/с

1.9 Призначення припусків

На данному етапі, можливо призначити припуски на обробку орієнтуючись на можливості зняття матеріалу інструменту

Орієнтуючись на таблиці де вказано характеристики інструменту, призначимо припуски та кількість проходів інструменту на поверхню. Зазначу, що при обробці однієї поверхні можливо знімати припуск на інші поверхні, що зменшить час обробки поверхонь. Де h , глибина зняття шару за один прохід.

Для фрезерно-центрівної операції (табл. 1.23)

Таблиця 1.23 — Припуски на фрезерно-центрівну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	h , мм
01	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0.9
02	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0.1
03	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0.9
04	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0.1
05	Центрування	Центровка	3
06	Центрування	Центровка	3

Для токарної операції (табл. 1.24)

Таблиця 1.24 — Припуски на токарну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	h , мм
01	Точіння чорнове двократне	Різець	1.95
02	Точіння чистове однократне	Різець	0.05
03	Точіння чорнове трикратне	Різець	2,8

04	Точіння чистове однократне	Різець	0.55
05	Точіння фінішне однократне	Різець	0.05
06	Точіння чорнове трьохкратне	Різець	2,8
07	Точіння чистове однократне	Різець	0,55
08	Точіння фінішне однократне	Різець	0.05
09	Точіння чорнове двукратне	Різець	2.5
10	Точіння чистове однократне	Різець	0,8
11	Точіння фінішне однократне	Різець	0.05
12	Точіння чорнове двукратне	Різець	2,3
13	Точіння чистове однократне	Різець	0,3
14	Точіння фінішне однократне	Різець	0.1

Для фрезерної операції (табл. 1.25)

Таблиця 1.25 — Припуски на фрезерну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	h, мм
01	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	5
02	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	3

03	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	5
04	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	3

Для шліфувальної операції (табл. 1.26).

Таблиця 1.26 — Припуски Для шліфувальної операції

№ операції	Обробка	Інструмент	h, мм
01	Шліфування тонке двукратне	Шліфувальний круг	0.0245
02	Шліфування тонке двукратне	Шліфувальний круг	0.0245
03	Шліфування тонке двукратне	Шліфувальний круг	0.0245
04	Шліфування тонке двукратне	Шліфувальний круг	0.0245

1.10 Режими різання

Орієнтуючись на таблиці де вказано характеристики інструменту, призначимо швидкість різання, рекомендовані виробником інструменту. Отримані результати внесемо в таблиці

(табл. 1.27), (табл. 1.28), (табл. 1.29) та (табл. 1.30).

Для обрахування частоти обертання скористаємося формулою, (1.1) .

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \text{об/хв.} \quad (1.1)$$

Таблиця 1.27 — Припуски на фрезерно-центрівну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	fz, об/зу	Vс	n, об/хв	S мм/хв
01	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0.1	200	2000	600
02	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0.1	200	2000	600
03	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0.1	200	2000	600
04	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0.1	200	2000	600
			V, мм/хв	n, об/хв	S, мм/об	

05	Центрування	Центровка	15	1515	0.08
06	Центрування	Центровка	15	1515	0.08

Таблиця 1.28 — Припуски на фрезерно-центрівну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	V, м/хв	S, мм/об	n, об/хв
01	Точіння чорнове двократне	Різець	308	0,2	1167
02	Точіння чистове однократне	Різець	250	0,15	1400
03	Точіння чорнове чотирикратне	Різець	308	0,2	1167
04	Точіння чистове однократне	Різець	250	0,15	1400
05	Точіння фінішне однократне	Різець	320	0,1	1600
06	Точіння чорнове трьохкратне	Різець	308	0,2	1167
07	Точіння чистове однократне	Різець	250	0,14	1400
08	Точіння фінішне однократне	Різець	320	0,2	1600
09	Точіння чорнове двукратне	Різець	308	0,2	1167

10	Точіння чистове однократне	Різець	250	0,14	1400
11	Точіння фінішне однократне	Різець	320	0,2	1600
12	Точіння чорнове двукратне	Різець	308	0,2	1167
13	Точіння чистове однократне	Різець	250	0,14	1400
14	Точіння фінішне однократне	Різець	320	0,2	1600

Таблиця 1.29 — Припуски на фрезерно-центрівну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	F, мм/хв	h, мм	z	n, об/хв
01	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	0.04	5	4	5730
02	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	0.015	3	4	7003
03	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	0.04	5	4	5730
04	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	0.015	3	4	7003

Таблиця 1.30 — Припуски на фрезерно-центрівну операцію

№ операції	Обробка	Інструмент	Vf м/с	S мм/хв
01	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	25	2
02	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	25	2
03	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	25	2
04	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	25	2

1.11 Основний час обробки

Для обрахування часу обробки скористаємось режимами різання інструменту наведених в пункті 1.10. Отримані результати заносимо в (табл.1.31), (табл.1.32), (табл.1.33), (табл.1.34).

Формула (1.2) для обрахування часу роботи інструмента

$$T_o = \frac{L \cdot k}{S \cdot n} \quad (1.2)$$

де L, довжина оброблюваної поверхні.

K-кількість проходів.

S- подача.

n- частота обертання.

Таблиця 1.31 — Час обробки на фрезерно-центрівних операціях

№ операції	Обробка	Інструмент	T ₀ , хв
01	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0,14
02	Фрезерування чорнове однократне	Фреза	0.12
03	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0,14
04	Фрезерування чистове однократне	Фреза	0.12
05	Центрування	Центровка	0.024
06	Центрування	Центровка	0.024
			0.568

Таблиця 1.32 — Час обробки на токарних операціях

№ операції	Обробка	Інструмент	T ₀ , хв
01	Точіння чорнове двократне	Різець	0,2455
02	Точіння чистове однократне	Різець	0,2
03	Точіння чорнове чотирикратне	Різець	0,431
04	Точіння чистове однократне	Різець	0.119
05	Точіння фінішне однократне	Різець	0,071
06	Точіння чорнове трьохкратне	Різець	0,175
07	Точіння чистове однократне	Різець	0,069
08	Точіння фінішне однократне	Різець	0,041

09	Точіння чорнове двукратне	Різець	0.15
10	Точіння чистове однократне	Різець	0.092
11	Точіння фінішне однократне	Різець	0.032
12	Точіння чорнове двукратне	Різець	0.067
13	Точіння чистове однократне	Різець	0.0398
14	Точіння фінішне однократне	Різець	0.032
			1.7643

Таблиця 1.33 — Час обробки на фрезерних операціях

№ операції	Обробка	Інструмент	T ₀ , хв
01	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	0,07
02	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	0.11
03	Фрезерування чорнове однократне	Кінцева фреза	0.09
04	Фрезерування чистове однократне	Кінцева фреза	0.14
			0.41

Таблиця 1.34 — Час обробки на шліфувальній операції

№ операції	Обробка	Інструмент	T ₀ , хв
01	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	0.056
02	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	0.074
03	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	0.083
04	Шліфування тонке	Шліфувальний круг	0.098
			0.311

1.12 Нормування технологічних операцій

Розрахунок поштучного часу для операції 005

Технічні норми часу в умовах масового та серійного виробництва визначаються розрахунково-аналітичним методом

Т_{шт}

$$T_{шт} = T_0 + T_v + T_{обсл} + T_{отд}$$

T₀ (основний час) нам вже відомий з призначених режимів різання

$$T_0 = \square T_0 = 1.7643 + 0.41 + 0.311 + 0.568 = 3.0533$$

T_v (допоміжний час на встановлення та зняття деталі) залежить від способу установки деталі у верстатному пристрої.

обираємо T_v = 0,42 хв

Допоміжний час, зв'язаний з переходом визначаємо

Перехід 1 T_v = 0,11 хв

Перехід 2 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 3 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 4 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 5 $T_B = 0,32$ хв

Переустановка Б $T_B = 0,16$ хв (базування в самоцентрівному патроні деталі масою 3...6 кг.

Перехід 6 $T_B = 0,11$ хв

Перехід 7 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 8 $T_B = 0,11$ хв

Перехід 9 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 10 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 11 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 12 $T_B = 0,29$ хв

Перехід 13 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 14 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 15 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 15 $T_B = 0,32$ хв

Перехід 15 $T_B = 0,32$ хв

$T_B = 5.42$ хв

Визначення часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби $T_{обсл}$ та $T_{отд}$. Час на обслуговування робочого місця

Для станків з ЧПК $T_{обсл} = 5$ хв.

Час на відпочинок та природні потреби для станків з механічною подачею $T_{отд} = 4$ хв.

Визначення норми штучного часу

$T_{шт} = T_o + T_{обсл} + T_B + T_{отд} = 3.0533 + 5.42 + 4 + 5 = 17.4733$ хв.

2. Конструкторський розділ

3. Проектування верстатних пристроїв

В даному розділі було розроблено чотири верстатних пристроя та наведено один виготовлений компанією Shumk.

1. Оснастка для фрезерно-центрованої операції (рис. 2.1). Пункт 01
2. Оснастка для фрезерної операції (рис. 2.8)
3. Трьохкулачний патрон SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000 (рис. 2.4) та (рис. 2.5)
4. Кулачки для токарного патрону SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000 для діаметру 36 мм (рис. 2.6)
5. Кулачки для токарного патрону SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000 для діаметру 45 мм (рис. 2.7).

Верстатні пристрої адаптовані таким чином, що на шліфувальну та токарні операції вона однакова, при чому кулачки розточені як і під діаметр 36 так під діаметр 45 можна використовувати, змінивши при цьому управлінчу програму для шліфування.

Пункт 01.Фрезерно-Центрувальна з ЧПК

Для даної операції розроблено верстатний пристрій (рис 2.1) ,орієнтуючись на розмір Т подібних пазів, відцентрова відстань між якими 90 мм. Які розташовані в столі.Для Фрезерно-центрованої операції розроблено оснастку орієнтуючись на розмір столу та т-подібних пазів, особливості конструкції деталі. Використано Шпонка Т-подібна 7031-2075 7031-2075 з габаритними розмірами 30x18x15 та різьбою М8, чотири гвинти ДСТУ 4017-2001 з габаритними розмірами М8x1.5x280, чотири гайки шестигранні з буртиком 7003-2013 М8x1.5x18. Базування деталі відбувається завдяки руху т-подібних шпонок одне до одного при зажиму чотирьох гвинтів ДСТУ 4016-2001 з

габаритними розмірами M8x1.5x68 та гайок шестигранних з буртиком 7003-2013 M8x1.5x18, кріплення до столу верстатного пристрою відбувається на пряму до столу гвинтами ДСТУ 4017-2001 . Для перевстановлення деталі гвинти послбляються заготовка перевертають на 180 градусів та вона приймає перпиндикулярне положення до столу.

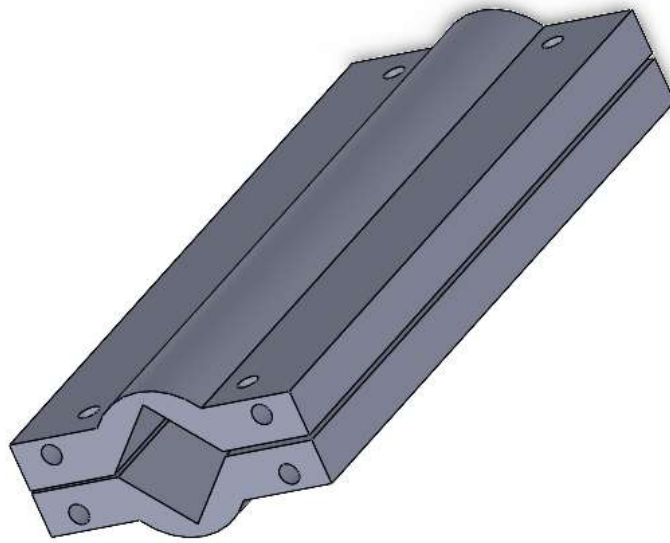


Рисунок 2.1 — Оснастка для фрезерно центрівної операції

Пункт 05.Токарна з ЧПК та 015 Шліфувальна з ЧПК

Для даної операції використано токарний трьохкулачний патрон SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000, для якого використано розточені кулачки.

Даний патрон було обрано спираючись на тип та розмір шпинделя, та міг застосуватись при токарній та шліфувальних обробках. Характеристики

даного верстатного прострою наведені в (табл 2.1). Зусилля зажиму наведені на (рис 2.2), позначення на даній діаграмі наведені на (рис 2.3)

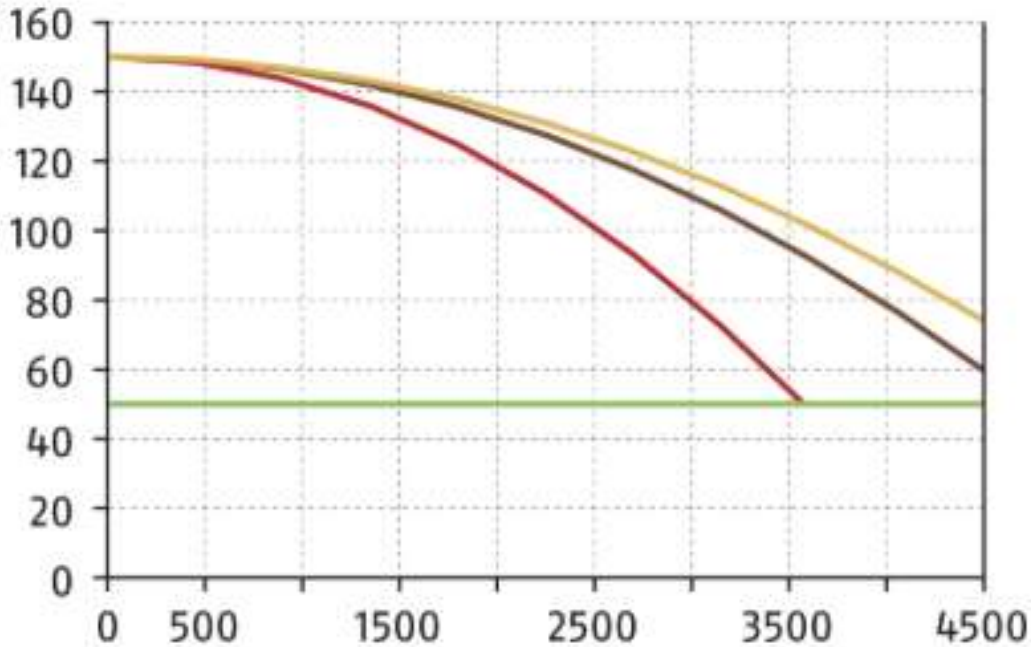


Рисунок 2.2 — RPM Діаграма зусилля зажиму

X-axis: n [min⁻¹]

Y-axis: F_{sp} [kN]

SHB 250

SWB 250

SWB-AL 250

Required minimum clamping force F_{spmin} 33%

7

Рисунок 2.3 — Умовні позначення для діаграми зусилля зажиму

Ознайомившись з (рим 2.2) , та (рис.2.3) ми обраємо тип патрона SHB 250, оскільки він підходить для середніх обертів до 4000 об/хв, найменше затисне зусилля при зростані RPM

SWB 250 не підходить за того, що зусилля падає занадто швидко, що є небезпечним при обертах більше 2000 об/хв.

SWD-AL 250 краще ніж SWB 250 але гірше ніж SHB 250, використовується для легших заготовок.

Таблиця 2.1 — Характеристика токарного трьохкулачкового патрону

Тип шпинделя	ICO 702-1
Розмір шпинделя	№8
Зубці	Гебінг і паз
Максимальна швидкість обертання (1/хв)	4500.0
Максимальне зусилля зажаття (кН)	150
Максимальне зусилля спрацювання (кН)	62
Робочий Хід (мм)	10
Хід поршня (Н) (мм)	30
Момент інерції (кг*м ³)	0.33
Вага (кг)	38
Тип патрона	3-х кулачковий клино-пасовий патрон
Тримач шпинделя	ICO 702-1 №8

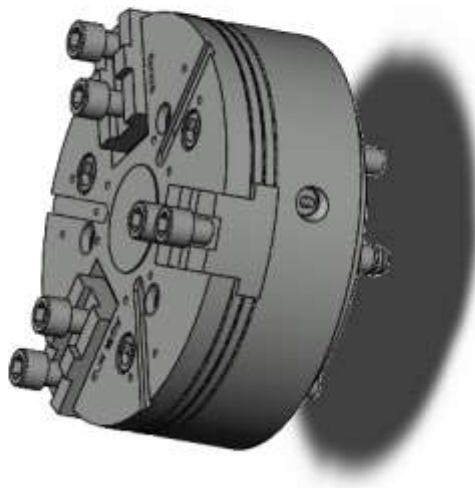


Рисунок 2.4 - трьохкулачний патрон SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000

Для подальшого розрахунку кріплення кулачків до патрона було розроблено кулачки для діаметрів 36 та 45, 3D моделі яких наведено в (рис 6.3), (6.4). Щоб спроектувати кулачки створено ескіз трьохкулачного патрона SCHUNK-0856025 ROTA NCO 260 A8-KV, 000 з габаритними розмірами потрібних для проектування (рис 7.8). Марку сталі, габаритні характеристики кулачків вказано на кресленні формату A1. Розсточування кулачків виконується коли вони затиснені. Мета проектування кулачків під конкретний діаметр полягає в тому, що при затиску мало ймовірно пошкодити поверхню, облегшує базування деталі в патроні, що дозволяє прискорити процес виготовлення деталей.

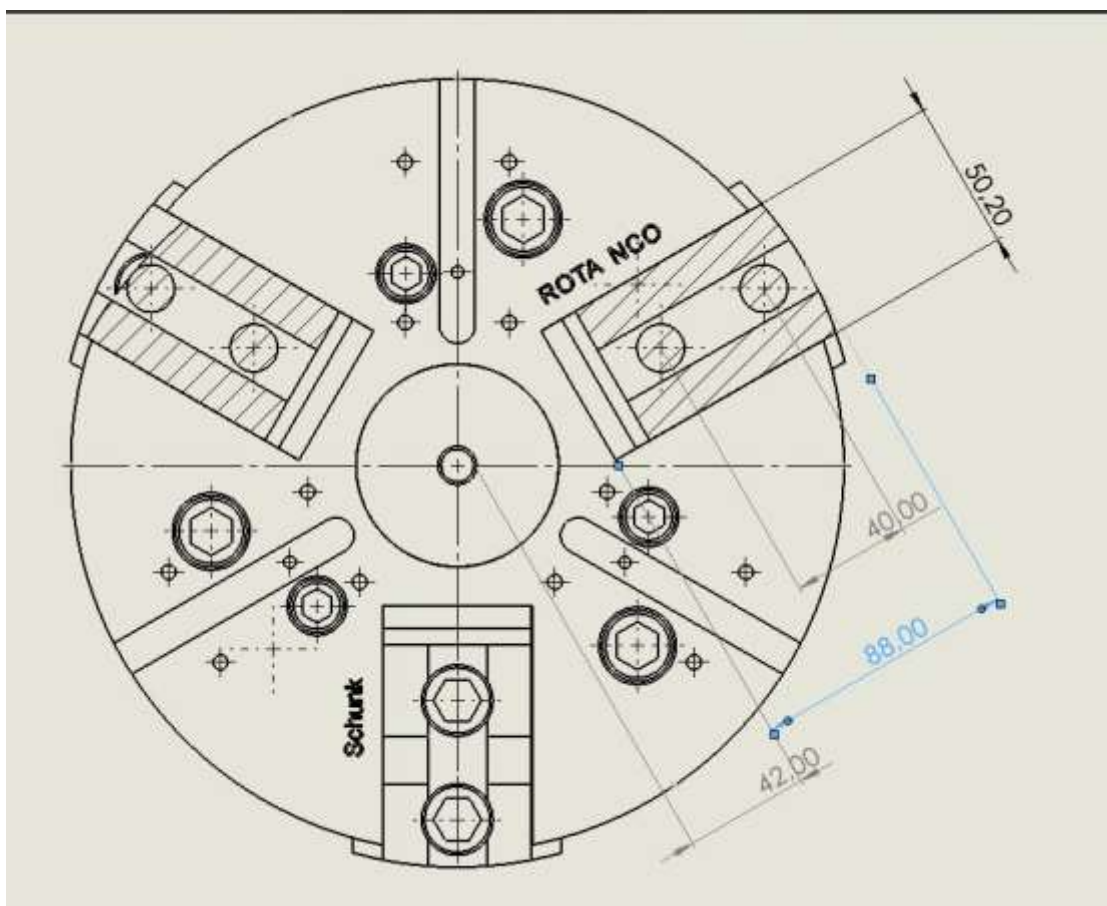


Рисунок 2.5 — ескіз патрону фірми SHUNK.

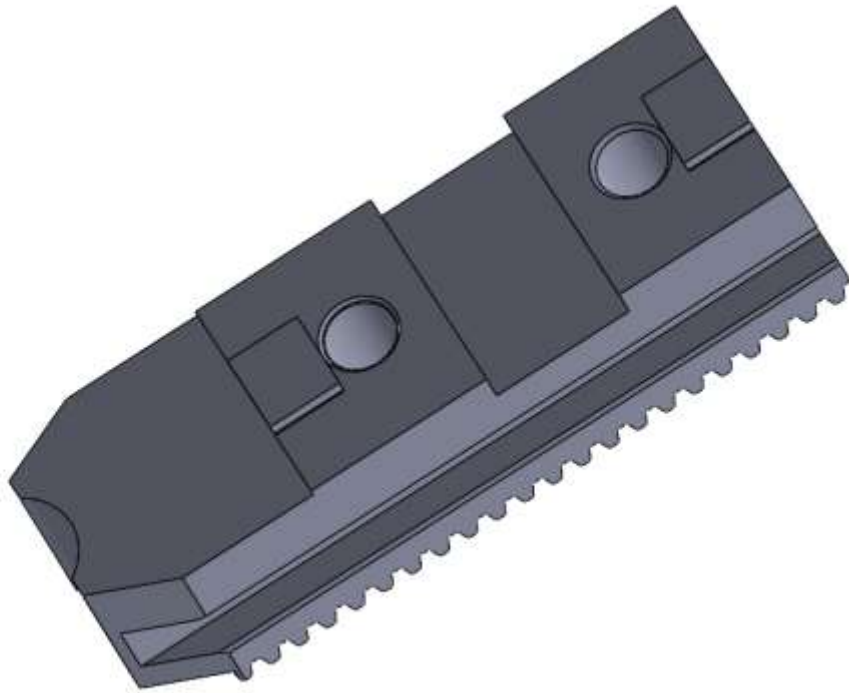


Рисунок 2.6 – Кулачки для діаметру 36

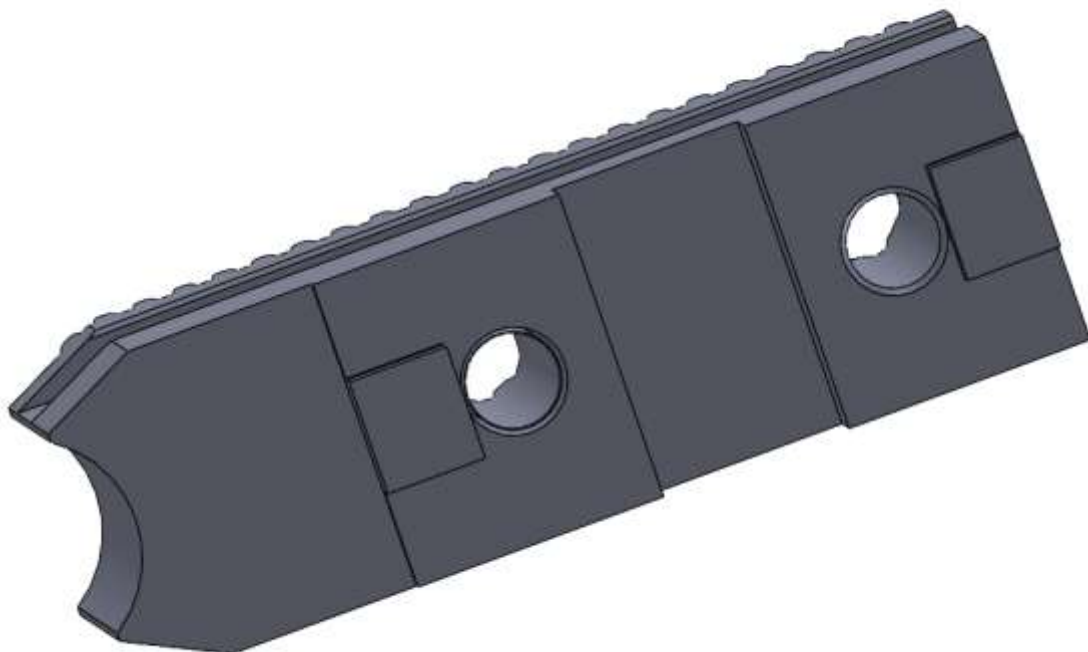


Рисунок 2.7 — Кулачки для діаметру 45

Пункт 010.Фрезерно-Центрувальна з ЧПК

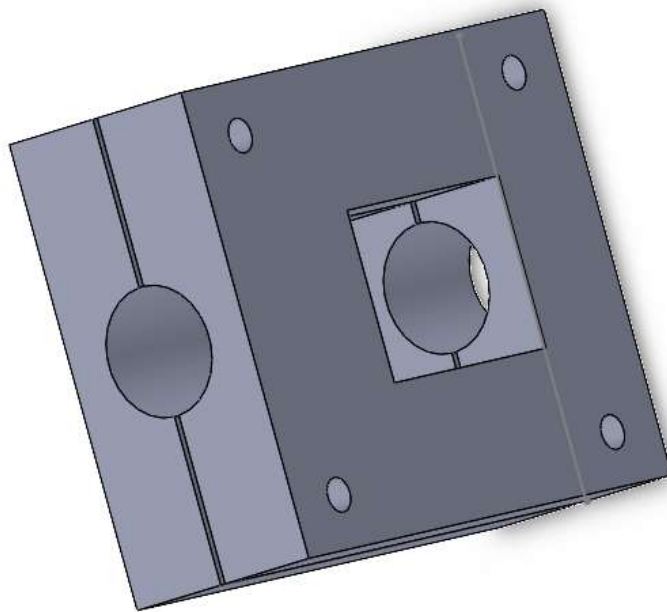


Рисунок 2.8 — Оснастка для фрезерної операції

Для фрезерної операції я розробив верстатний пристрій орієнтуючись на оброблювану поверхню, хід фрези та габаритні розміри столу верстату на якому обробляється данна заготовка, затиск деталі виконується при горизонтальному положенні оснастки до столу, на 4 гвинти гвинтів ДСТУ 4016-200 M12x1.5x85, які вкручуються в Т-подібні шпонки.

3.2 Інструментальні пристрої

Для фрезерно-центрувальної операції обрано чотири інструментальні пристрої, а саме цанговий патрон, який використовується для базування інструменту, а саме центрівне свердло P6M5K5 A3, для цього ж інструменту обрано цангу (рис. 2.9) та (рис. 2.10), орієнтуючись на діаметр центрівного свердла та характеристики цангового патрону, Для фрезерної операції було обрано цангу



Рисунок 2.9 — цанга ER 11, діаметр 3.5 мм

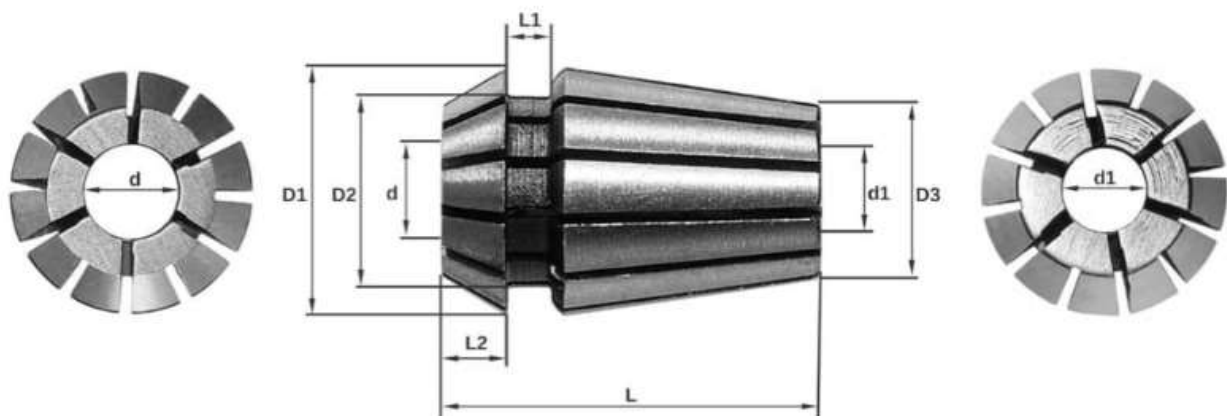


Рисунок 2.10 — Геометричні характеристики ER 11, 1/8

Розміри на (рис 2.10) внесено до (табл. 2.2).

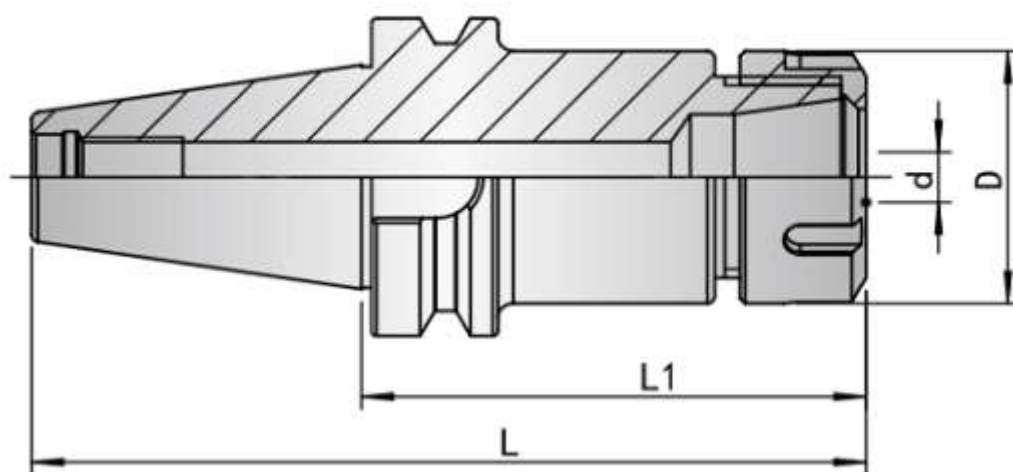
Таблиця 2.2 — Розміри цанги ER 11, 1/8

Тип	D (мм)	d1(мм)	D1(мм)	D2(мм)	D3(мм)	L(мм)	L1(мм)	L2(мм)
Size 3.5	3.5	3.5	11.5	9.0	8.0	18.0	2.0	3.0

Для центрувальної операції обрано цанговий патрон BT30H100ER11 (рис. 2.11) та (рис. 2.12)



Рисунок 2.11 — Цанговий патрон BT30H100ER11



*Рисунок 2.12 — Геометричні характеристики цангового патрону
BT30H100ER11*

Розміри на (рис. 2.12) внесено до (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 — Розміри цангового патрону BT30H100ER11

Діапазон затиску d	L	L1	D	Маса (кг)
0.5-7	108.4	60	19	0.45

Оберемо цангу та цанговий патрон для фрезерної операції (рис. 2.13), (рис. 2.14) та (табл. 2.3)



Рисунок 2.13 — Цанга ER 11, діаметр 5 мм



Рисунок 2.14-Цанговий патрон BT30H070ER16

Орієнтуючись на геометричні характеристики цангового патрону (рис 2.12) внесено розміри в (табл. 2.3) та оберемо цангу для фрези (рис 2.13)

Таблиця 2.3 — Характеристики цангового патрону

Діапазон затиску d	L	L1	D	Маса (кг)
1-10	118.4	70	28	0.5



Рисунок 2.13 — Цанга ER50M.

Все інструменти, які вказані є швидкозмінними і потребують налагодження при повному зносі, поломці чи першому встановленні. Корекція зносу інструменту виконується зі стійки верстату з ЧПК фрезерного,центрувально-фрезерного, токарного та шліфувального .

3.Поглиблений розгляд обробки деталі

Шліфування зазвичай є заключною операцією в обробці деталей, наприклад при обробці валів є значні вимоги до характеристик даної операції, оскільки посадкові місця для підшипників вимагають високої якості поверхні

Цикл шліфування :

1. Врізна подача
2. Виходжування

Некерованою оперцією є операція виходжування та займає велику долю часу обробки.

Матиматична модель шліфування не враховує декілька моментів.

1. Обертання заготовки при процесі зняття шару матеріалу, що впливає на рух ріжучої поверхні круга при контакті з оброблюваною поверхнею. Це впливає на режим різання.
2. Динамічні явища у технологічній обробній системі, яка є пружною, створюють коливання. Коливання в технологічній обробній системі провокують утворення хвилястості поверхні.
3. При шліфуванні кругами з невеликими діаметрами потрібні більш складні розрахунки, для сталості зношування інструменту.

Для наглядного розгляду траекторії зрізування припуску наведено (рис 3.1) . Можемо побачити, що точка В у відносному русі за спіраллю Архімеда, при початковому врізанні глибина залежитиме від подачі на час одного оберту шліфувального круга. При подальшій обробці заготовки глибина різання припуску є стабільною.

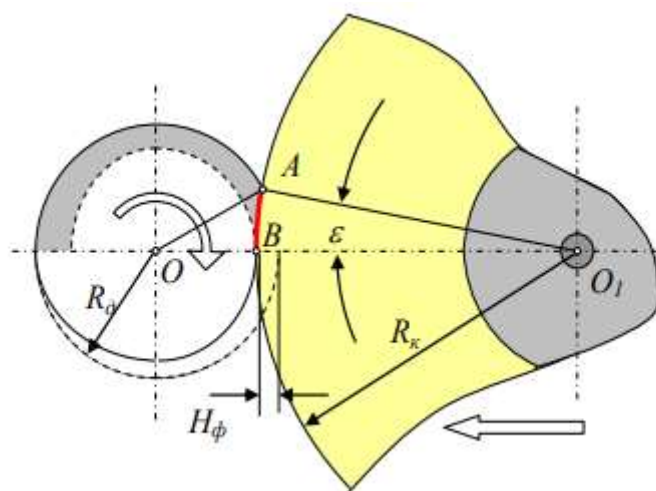


Рисунок 3.1 — Схематичне зображення зрізування припуску

Швидкість зрізування припуску визначається за формулою

$$R^2 = R_k^2 + (R_k + R_d - H_\Phi)^2 - 2R_k(R_k + R_d - H_\Phi) \cdot \cos \xi \quad (3.1)$$

отримана величина ξ , визначає дугу контакту. Яка дорівнює радіусу шліфувального круга помножена на кут ξ .

Силу різання, підпираємо в залежності від матеріалу заготовки та оброблюючого інструменту і характеристик режиму різання.

Сила різання визначається як:

$$P_y = C_p (Q V_d)^a B \quad (3.2)$$

Для подальшого розрахунку силових характеристик при круглому шліфуванні використаємо прикладну програму використавши дані які я отримав при написанні технологічного процесу для деталі типу вал, наведені в (табл. 3.1)

Зазначу, що на жаль в прикладній програмі відсутній такий матеріал заготовки як сталь 40Х тому, я обрав найбільш схожий за характеристиками як сталь 30 ХВГ, що найбільш приблизить нас до точних розрахунків

Щоб розрахувати силові розрахунки нам потрібні дані довжини ліній контакту круга, при чому зазначу, що при чистовому та чорновому шліфуванні вона буде різною оскільки діаметр заготовки та припуск буде відрізнятися після даних операцій. Тоді використаємо формулу (5.3), щоб розрахувати довжину лінії контакту круга та заготовки.

Результати заносимо в (табл 3.2).

$$L_k = \sqrt{\frac{2R_z R_k H}{R_z + R_k}} \quad (3.3)$$

$$Q = Hd/2 \quad (3.4)$$

Формула (3.4) застосовується для обрахунку аналогу швидкості зрізування припуску

Таблиця 3.1 — Вихідні дані для дослідження силових характеристик при круглому врізному шліфуванні.

Чорнове шліфування	Матеріал		D_k , мм	D_3 , мм	V , м/с	S , мм/хв	B , мм
	Заготовка	Сталь 30ХВГ	-	45,1	-	-	82
	Інструмент	25A63НС М1К5	300	-	25	2	30

Дослідження силових характеристик при круглому врізному шліфуванні (рис. 3.2).

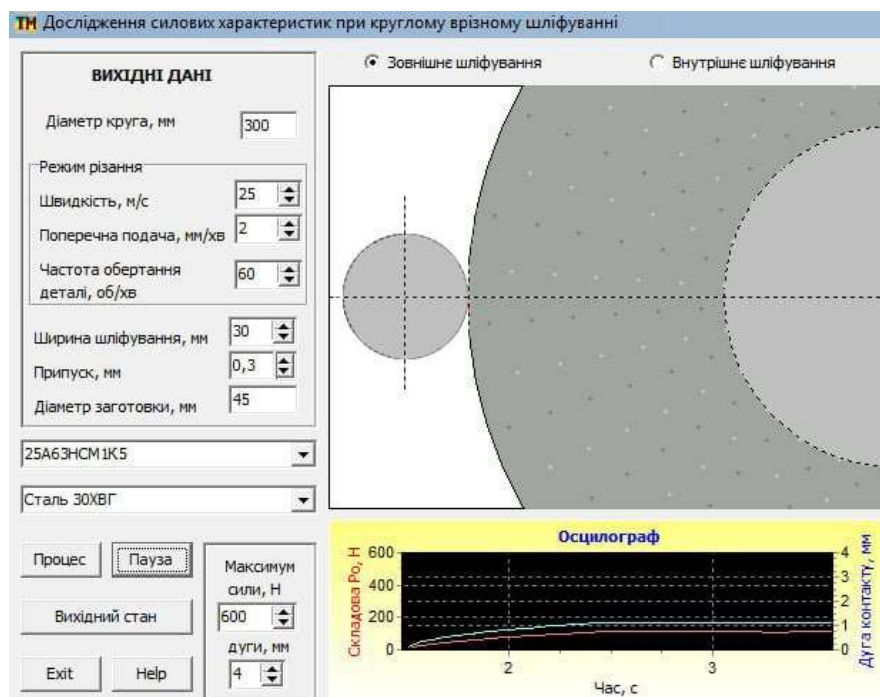


Рисунок 3.2 — Дослідження силових характеристик при круглому шліфуванні
Результат дослідження

Коли я змодельював процес чорнового шліфування побачив на осцилографі, що через 2,3 с після моменту врізання, тобто процес шліфування, а саме знімання припуску на деталі відбувається через 2 повних або 3 неповних обертів шліфувального круга тобто це означає, що можливо режими різання можуть бути не досоналими оскільки хорошим результаом рахується те, коли процес зрізання припуску виходить у сталий режим після 1 оберту шліфувального круга, що може покращити процес урізання, змінити параметри круга його подачу кутову швидкість та можливо діаметр оскільки від діаметру шліфувального круга залежить те яка буде лінія контакту

заготовки та інструменту, змінити параметр глибини врізання тобто зменшити припуск.

Висновок дослідження: При моделюванні процесу шліфування я зрозумів, що режими різання можна підібрати кращі режими різання, а саме зменшити припуск, збільшити кількість проходів та зменшити подачу, при зміні кількості проходів а саме я залишив припуск 0.45 мм на шліфування за перший прохід припуск буде 0.25 мм. Другий перехід - припуск дорівнюватиме 0.15 мм.

Третій фінішний перехід — припуск дорівнюватиме 0.05 мм. Що забезпечить потрібні нам характеристики поверхні деталі.

4.Розрахунок повної собівартості деталі

Для обрахування повної собівартості деталі потрібно знати такі значення як

1.Маса деталі m_d

2.Маса заготовки m_z

3.Ціна матеріалу Π_m

4.Ціна відходів $\Pi_{відх}$

5.Кількість виготовлених деталей n .

Щоб розрахувати витрати на матеріали використаємо формулу (4.1).

Вихідні дані для розрахунку собівартості занесемо в (табл 4.1).

Таблиця 4.1 — Вихідні дані

m_d	m_z	Π_m	$\Pi_{відх}$	n	V_m
3.39 кг	6.1 кг	45,16 грн за кг	6.5 грн за кг	30000 шт	7735830 грн

$$V_m = (m_d * \Pi_m - (m_z - m_d) * \Pi_{відх}) * n \quad (8.1)$$

$$V_m = (6.1 * 45.16 - (6.1 - 3.39) * 6.5) * 30000 = 7735830 \text{ грн}$$

Витрати на технологічну енергію $V_{те}$ на ціек енергії

8 грн/кВт*год

$$V_{те} = q_{нв} * m_d * \Pi_e * n \quad (8.2)$$

Для подальшого розрахунку використаємо формулу (8.2)

$$V_{те} = 3.5 * 6.1 * 1.5 * 30000 = 960 \text{ 750 грн}$$

Для подальшого розрахунку використаємо формулу (8.3)

Амортизаційні витрати V_o

$$V_o = A_v * t_{шт.-к.} * n$$

(8.3)

$$V_{озп} = 12.5 * 93.5 * 30000 = 35062500$$

Витрати на інструмент становлять 3,1% від амортизаційної вартості.

$$V_i = 870750, \text{грн.}$$

Заробітна платня становить $V_{озп} = 220$ грн/год

$$B_{\text{оза}}=(1+0,25)*220/60*93,5*30000=12856250 \text{ грн}$$

$$B_{\text{дзп}}12856259*18/100=2314125 \text{ грн}$$

$$B_{\text{н}}= 3000000$$

Виробнича собівартість продукції

$$C_{\text{в}}=7735830+960750+870750+35062500+80000+3000000=147709830 \text{ грн}$$

$$C_{\text{д}}=147709830/30000=492,36 \text{ грн}$$

Отже вартість однієї деталі 492,36 грн в середньому націнка на метлообробку

20% тобто ціна такого замовлення становить 177240000 грн, а чистий прибуток 162469200 грн.

ВИСНОВОК

Основна задача дипломного проєкту було створення технологічного процесу виготовлення валу-тихохідного для редуктора з використанням верстатів з ЧПК.

У данному дипломному проєкті було написано технологічний процес виготовлення заготовки, що є одним з найважливіших пунктів. Оскільки на мою думку я припустився декількох некритичних помилок але які можуть вплинути на якість заготовки хотів їх вказати тут, а саме послідовність термічної обробки.

Термічна обробка це операція, яка може деформувати заготовку, або деталь після інструментальної обробки, в наслідок напружень які можуть виникнути навіть після правильного відпуску, тому термічну обробку - було б раціональніше зробити після чорнової токарної обробки з врахуванням припуску на термічну обробку. Ще хотів би повернутись до термічної обробки, що деталь після шліфування може деформуватись, що я зазначив в 4 пункті дипломного проєкту.

Оскільки одним з мінусів круглого шліфування є утворення так званого припалу, при збільшенні температури в наслідок обробки зовнішнього шару. Результатом такої обробки може стати утворення тріщин, зовнішніх деформацій. Тому можливо потрібно зняти напруження з деталі термообробкою або ж якісним охолодженням.

В будь якому випадку це питання потребує глибшого дослідження. Великим мінусом є створення управлінчих програм для шліфування. Я зіткнувся з бар'єром входження в САМ системи саме для шліфування. Наприклад NUMROTO, Schutte WOP-G, GrindCAM, StuderWIN, NUMgrind. Ці САМ системи можуть дозволити створити G-код але вони далекі від ідеалу, потребують спецефічних налаштувань, різні цикли для шліфування, що є ще однією особливістю порівняно з іншими обробками (фрезеруванням,

точінням). Шліфування потребує мікронну точність, контроль точності, врахування шорсткості, та при написанні програм в САМ системах, вони повинні підтримувати спеціальних циклів. Ускладнення в зв'язку роботою з осьовими та торцевими подачами.

Тому мною було прийняте рішення написання коду в ручну орієнтуючись на стандартні цикли шліфування. Зазначу, що режими шліфування розрахованні, орієнтуючись на стандарти ДСТУ, проте при симуляції шліфування я зрозумів, що вони не є досконалими, оскільки врізання круга виконується не при першому повному оберті шліфувального круга і при подачі, це може спричинити нерівномірне знімання припуску в таких випадках є декілька варіантів вирішення такої проблеми. Врізання виконати вздовж осі x , а потім продовжити зняття припуску вздовж осі y , або ж зменшення припуску, чи зміні режимів різання. Ще одним мінусом створення в САМ система коду особливо при фрезеруванні, нелогічність траєкторії руху фрези, тобто не завжди оператор верстату здатен відреагувати на помилку написаних програмним забезпеченням, але це і стосується написаних програм створених в ручну, але все ж вони є більш передбачуваними. Закцентувати можна при написанні коду вручну всі G та M коди зазвичай вказані в мануалах верстатів. не всі цикли різання підходять під всі системи. Але все ж САМ системи мають значну перевагу, це швидкість написання програм тобто при малосерійному виробництві, де є потреба в написанні програм декілька разів на день це чудове рішення або написанні програм на велику кількість кадрів, що часто зустрічається в фрезерній обробці. Тобто потрібно розуміти, що САМ системи це лиш інструмент, який потрібно застосовувати раціонально. Для наглядності широкого застосування верстатів з ЧПК. Всі операції виконуються на верстах з ЧПК навіть муюча, на мою думку з часом лінії виробництва будуть майже повністю автоматизовані, а добре це чи погано з точки зору людини час покаже.

Література

1. Петраков Ю.В. Управління процесами шліфування: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології машинобудування» і «Технології виготовлення літальних апаратів», / КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 219 с.
2. Петраков Ю.В., Кравець Н.А. Моделювання утворення хвилястості і ограновування поверхні при плоскому шліфуванні / Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки», вип. 31, Луцьк, 2011. – С. 245-252.
3. 6 Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ, Січкарь, Київ – 2011, 221с.
4. Петраков Ю.В. Автоматичне управління процесами обробки матеріалів різанням. – УкрНДІАТ, Київ, 2004.-384с.
5. Петраков Ю.В. Загальні принципи управління шліфуванням / Сб. Вестник Национального технического университета Украины «КПИ», №46, 2005. – С.55-60
6. Петраков Ю.В., Паньків К.М. Визначення параметрів шару припуску, що зрізується при 3-D обробці Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. К.: 2008. – №52. С.262-267.
7. Петраков Ю.В., Пасічник В.А. Проектування формоутворюючих рухів для оброблення складних 3-D поверхонь на верстатах з ЧПУ / Вісник НТУУ «КПІ». Машинобудування. К.: 2008, №54. – С.24-30
8. Петраков Ю.В., Кравець Н.А. Моделювання утворення хвилястості і ограновування поверхні при плоскому шліфуванні / Міжвузівський збірник наукових праць «Наукові нотатки», вип. 31, Луцьк, 2011. – С. 245-252.
9. Петраков Ю.В. Розвиток САМ-систем автоматизованого програмування верстатів з ЧПУ, Січкарь, Київ – 2011, 221с.
10. Петраков Ю.В., Чамата С.М. Проектування управляючих програм для шліфування оправок станів холодної прокатки труб на верстаті з ЧПК // Вісник НТУУ «КПІ» Машинобудування №69, Київ, 2013. – С.51-57.
11. Петраков Ю.В., Середя А.М. Правка шліфувальних кругів для шліфування доріжок гайок кочення на верстаті з ЧПК. Наукові нотатки Міжвузівський збірник, технічні науки, вип.,49, Луцьк, 2015 С.123-130.
12. <https://tzp.com.ua/pyly-po-metalu/str-chkov-pili-ser-sn-na>
13. <https://helpiks.org/2-105655.html>
14. <https://termo.in.ua/product/electric-furnace-sdo-10-18-10-2>
15. https://www.pavo-tools.com/products/shop17_3373.html
16. <https://schunk.com/us/en/workpiece-clamping-technology/lathe-chucks/power-lathe-chucks-without-through-hole/rota-nco/rota-nco-260-a8-kv/p/000000000000856025>

17. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=82720
18. https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/посібник%20Божко%20Тетяна%20Євгенівна%20готовий/page8.html
19. Біланенко, В. Г. 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» / В. Г. Біланенко, В. П. Приходько, О. О. Мельник ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 232 с. Доступ:
20. Добрянський, С. С. Проектування і виробництво заготовок [Електронний ресурс] : підручник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / Добрянський С. С., Малафеев Ю. М., Пуховський Є. С. ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 24,61 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 353 с. – Назва з екрана.
21. Данилова Л.М., Задерей О.М. – Розрахунок припусків. Методичні вказівки з дисципліни "Технологія машинобудування" / Київ: Політехніка, 2014
22. Коваленко В.В., Біланенко В.Г., Кислюк А.М. – Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни "Теорія різання". Розрахунок режимів різання при точінні / Київ: КПІ, 1993.
23. Калькулятор інструменту та режимів різання Sandvik Coromant.
24. Різальний інструмент. [Електронний ресурс] : Навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Технологія машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Л. М. Данилова, С. В. Лапковський, В. П. Приходько. – Електронні текстові дані (1 файл 12,92 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 147 с. – Назва з екрана
25. Приходько В.П. РОЗРОБЛЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК КОНСТРУКЦІЙ ВЕРСТАТНИХ ПРИСТРОЇВ. Методичні матеріали до виконання

- курсового і дипломного проектів [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 89 с.
26. Приходько В.П. Проектування оснащення верстатів, роботів і машин [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів, які навчаються за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» спеціалізацією «Комп’ютерне проектування верстатів, роботів і машин» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ; уклад. В. П. Приходько, О. В. Литвин. – Електронні текстові дані (1 файл: 22,0 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2018. – 211 с. . – Доступ :
27. Приходько В.П. РОЗМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ. [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.- 15.2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.
28. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна Оснастка - 1» для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», спеціалізацій «Технології машинобудування»/ В.В. Медведєв; КПІ ім.І.Сікорського. Київ, 2020 – 68с.
29. STUDER SOFTWARE <https://www.studer.com/en/products/software/overview.html>
30. Петраков Ю.В., Писаренко В.В. Підготовка програми шліфувального верстату з ЧПК для виготовлення штучного суглоба людини // Сб. ДонНТУ, 2010. – С.200-209.