

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі
Назва теми

«Фланець FL-0630-0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти другий (магістр)

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 ДРМ.ФІТА.ПМ.25.20.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-24-1
Шифр

Підпис

Володимир ЧОРНИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, доцент
Науковий ступінь, звання

Підпис

Ольга РОМАНШИНА
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 « 26 » 12 2025

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування
Рівень вищої освіти другий (магістр)
Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва
Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва
Освітня програма «технології машинобудування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

 Віталій ТКАЧУК

2 . 09 . 2025

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чорному Володимиру Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема дипломної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК

Рівень роботи Романішина Ольга Валеріївна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2025 р. № 65

Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2025

Вихідні дані до проекту (роботи) кресленик деталі Фланець FL-0630-0220-M05
а технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 300 шт.

Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Конструкторський розділ
4. Дослідницький розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: кресленик деталі із 3D моделлю (1 лист А1);
рафотехнологія (1 лист А1); кресленик карти наладки (1 лист А1); кресленик
верстатного пристрою (1 лист А1); кресленик контрольного пристрою (1 лист
А1)

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

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

7 Дата видачі завдання 1.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

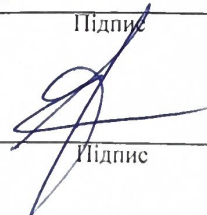
Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	01.10.2025	
2 Технологічний розділ	01.11.2025	
3 Конструкторський розділ	20.11.2025	
4 Дослідницький розділ	10.12.2025	
5 Охорона праці	15.11.2025	

Студент


Підпис

Володимир ЧОРНИЙ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

рівник проекту (роботи)


Підпис

Ольга РОМАНШІНА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Завідувачу кафедри

Вчитель ТКАЧУКУ

здобувача вищої освіти (студента
ПІБ, факультет, «курс», «група»)

Чернога Володимир

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й 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/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного 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 надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

27.12.25

дата

В.М.

підпис

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента Чорного В.В.

Тема проекту: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК

Тема дипломного проекту, та його зміст відповідають обраній спеціальності. Дипломний проект містить необхідні розділи, розрахунки та креслення відповідно до завдання.

У дипломному проекті студентом розроблено та обґрунтовано раціональний технологічний процес механічного оброблення деталі.

Проаналізовано конструкцію деталі та технічні умови на її виготовлення, визначено функціональне призначення поверхонь і обрано оптимальні технологічні бази. На основі проведеного аналізу розроблено маршрут механічного оброблення з використанням сучасного металорізального обладнання з ЧПК. Спроектовано механізований пристрій з пневмоприводом для закріплення заготовки під час виконання вертикально-фрезерної операції, а також контрольно-вимірювальний пристрій для забезпечення необхідної точності контролю розмірів. В роботі виконано віртуальне моделювання технологічного процесу, підготовлено керуючу програму для верстата з ЧПК та проведено аналіз напружено-деформованого стану деталі з використанням програмних засобів комп'ютерного моделювання.

Всі конструкторські рішення підкріплені розрахунками і заслуговують позитивної оцінки.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розділи розрахунково-пояснювальної записки оформлені з виконанням основних вимог ЕСТД та ДСТУ на досить високому рівні.

Все це свідчить про досить високий рівень дипломника як сформованого молодого спеціаліста.

Вагомих недоліків в дипломному проекті не виявлено.

Дипломний проект, виконаний згідно завдання, у повному обсязі та на достатньому технічному рівні і заслуговує оцінки «добре».

Рецензент: _____



Багак В.ІТ

« 25 » « 12 » 2025 р.

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Назва кваліфікаційної роботи Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630- 0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК
 Автор Чорний Володимир Володимирович
 Освітня програма Технології машинобудування
 Рівень вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 Науковий керівник Романішина Ольга Вадеріївна

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 укриття 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:

.....

Дата

Завідувач кафедри


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Ольга РОМАНІШИНА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

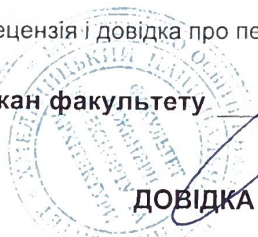
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Чорний Володимир Володимирович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК

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

Декан факультету



(підпис)

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Чорний В.В. з 2024 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 16,67 %, добре 50,00 %, задовільно 33,33 %.
шкалою ЄКТС: А 6,67 %, В 6,67 %, С 40,00 %, D 26,67 %, Е 20,00 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Чорний Володимир під час роботи над магістерською роботою проявив себе з позитивної професійної сторони. Робота виконана відповідно встановленню вимог на строки

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 25 " 12 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Чорний В.В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

(назва)

В. Трачук
(підпис, ім'я, прізвище)

" 26 " 12 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» з використання верстатів з ЧПК

Пояснювальна записка містить 81 сторінки та додатки, до складу яких входять специфікації креслеників, технологічна документація та програма для верстата з ЧПК. Графічна частина роботи виконана на 9 аркушах формату А1. Відповідно до виданого завдання розроблено технологічний процес механічного оброблення для виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» з річною програмою випуску 300 шт.

Пояснювальна записка містить усі необхідні розрахунки та розділи, виконані відповідно до вимог до кваліфікаційних робіт. У загальному розділі наведено аналіз технічних умов на виготовлення деталі з урахуванням її функціонального призначення, діючих заводських технологічних процесів та сучасних досягнень у виготовленні аналогічних виробів. На основі проведеного аналізу сформульовано вихідні дані та завдання, які детально опрацьовані в наступних розділах проєкту.

У роботі розроблено механізований пристрій з пневмоприводом для закріплення заготовки під час виконання вертикально-фрезерної операції при обробленні циліндричних поверхонь і отворів, а також контрольно-вимірювальний пристрій. Окремим розділом розглянуто заходи з охорони праці та охорони навколишнього середовища.

Автор роботи: Володимир ЧОРНИЙ

2025 р.

/Підпис/

Дата

ABSTRACT:

Development of a technological process for manufacturing the part "Flange FL-0630-0220-M05" using CNC machines

The explanatory note contains 81 pages and appendices, which include specifications of drawings, technological documentation and a program for a CNC machine. The graphic part of the work is performed on 9 sheets of A1 format. In accordance with the issued task, a technological process of mechanical processing has been developed for the manufacture of the part "Flange FL-0630-0220-M05" with an annual production program of 300 pcs.

The explanatory note contains all the necessary calculations and sections, performed in accordance with the requirements for qualification work. The general section provides an analysis of the technical conditions for the manufacture of the part, taking into account its functional purpose, existing factory technological processes and modern achievements in the manufacture of similar products. Based on the analysis, the initial data and tasks were formulated, which are worked out in detail in the following sections of the project.

The work develops a mechanized device with a pneumatic drive for securing the workpiece during vertical milling operations when machining cylindrical surfaces and holes, as well as a control and measuring device. A separate section considers measures for labor protection and environmental protection.

The author of the work
Volodymyr CHORNY

/Signature/ Date

2025 p.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Призначення та конструкція оброблюваної деталі	9
1.2 Аналіз технологічності деталі	12
1.3 Визначення типу виробництва	15
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Вибір та техніко–економічне обґрунтування методу отримання заготівлі	17
2.2 Аналіз базового технологічного процесу	20
2.3 Вибір технологічного обладнання	26
2.4 Розробка операційної технології операції, що виконується на верстаті з ЧПУ	29
2.5 Розробка траєкторії руху інструменту на операцію з ЧПУ	33
2.6 Визначення режимів різання і технічних норм часу	33
2.7 Розробка карти наладки на операцію з ЧПУ	37
2.8 Створення керуючої програми в САМ Esprit	42
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	45
3.1 Вибір, опис та розрахунок верстатного пристосування	45
3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою	48
3.2.1 Розрахунок пристрою на точність	49
3.2.2 Призначення та опис роботи пристосування	50
4 НАУКОВО–ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	51
4.1 Дослідження напруженого стану зубчастого вінця	51
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
5.1 Система управління охороною праці	65
5.2 Аналіз та розрахунок виробничого освітлення	71
5.2.1 Значення виробничого освітлення	71

5.2.2 Розрахунок природного освітлення	72
5.2.3 Розрахунок штучного освітлення	74
ВИСНОВОК	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	81

ВСТУП

Сучасне машинобудування характеризується активним упровадженням верстатів з числовим програмним керуванням, що забезпечують високу точність, стабільність якості та конкурентоспроможність продукції. У цих умовах особливої актуальності набуває вдосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей.

Фланці є відповідальними з'єднувальними елементами машин і трубопровідних систем, до яких висуваються підвищені вимоги щодо точності, співвісності та якості базових і ущільнювальних поверхонь. Від рівня їх виготовлення безпосередньо залежать герметичність, надійність та довговічність експлуатації вузлів. Тому удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» є актуальним інженерним завданням.

Застосування верстатів з ЧПК дає змогу підвищити продуктивність, зменшити вплив людського фактора та скоротити допоміжний час за рахунок раціональної побудови маршрутів обробки, правильного вибору базування, інструменту та режимів різання.

Метою дипломної роботи є удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» із застосуванням верстатів з ЧПК шляхом оптимізації заготовки, структури операцій, інструментального оснащення та режимів оброблення з метою забезпечення заданої точності та підвищення ефективності виробництва.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Призначення та конструкція оброблюваної деталі

Деталь FL-0630-0220-M05 «Фланець» входить до складу заднього моста автомобіля MAN. Вона є силовим елементом вузла з'єднання півосі із корпусом заднього моста автомобіля MAN TGS 40.440 6×6 BB CH. Він передає крутний момент від трансмісії до колісної пари, забезпечуючи герметичність та центрування підшипникового вузла.

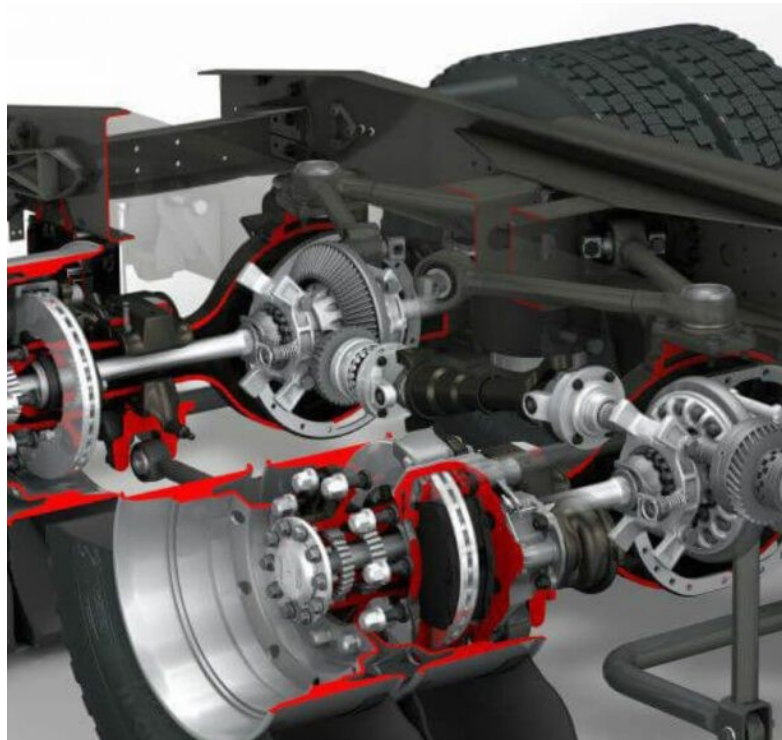


Рисунок 1.1 - Вузол заднього моста автомобіля MAN TGS 40.440 6×6 BB CH

Задній міст самоскида – ведучий, з двоступеневою рознесеною головною передачею, типової конструкції. Він складається з центрального конічного редуктора з диференціалом, двох колісних передач планетарного типу, розташованих у приводі кожного колеса, картера моста і півосей.

Зокрема фланець входить в конструкцію багатодискового мастилоохолоджуваного гальмівного механізму заднього моста.

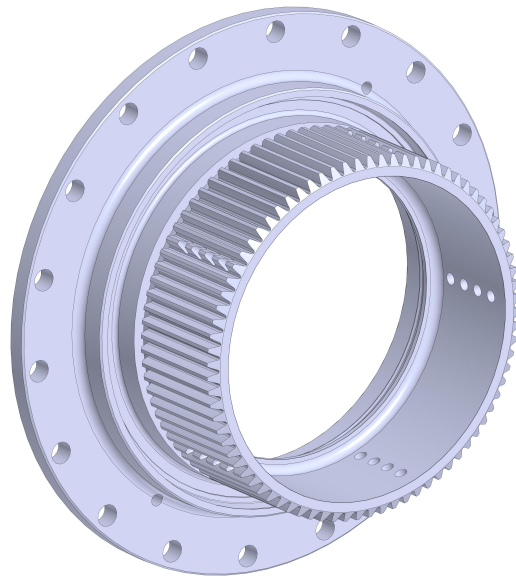


Рисунок 1.2 - Деталь FL-0630-0220-M05 «Фланець»

Даний гальмівний механізм є головним елементом робочої гальмівної системи задніх коліс. Корпус 25 з гальмівними дисками кріпиться до фланця супорта гальма 27 ведучого моста болтами 26. Фрикційні гальмівні диски приводяться в обертання фланцем 20, який прикріплений гайками 21 до маточини заднього колеса 19. Для ущільнення порожнини охолодження багатодискових маслоохолоджуваних гальмівних механізмів на ведучому мосту встановлені торцеві гумометалеві ущільнення 23, 24.

До фланця FL-0630-0220-M05 висуваються такі вимоги:

- робочі поверхні канавок для торцевих ущільнень 4,5 (див. рисунок 1.4) в корпусних деталях внутрішнього кільця 1, фланця 2, кришки 3 і конусні поверхні контактних металевих кілець під установку еластичних «О»-кілець повинні бути без задирок, забоїн і вм'ятин;

- посадочні торцеві і циліндричні поверхні фланця 20 в маточину заднього колеса 19 (див. рисунок 1.3) повинні мати шорсткість по R_a не більше 3,2 мкм, а контактні поверхні фланця з ущільнювальним кільцем 36 – не більше 1,6 мкм;

- високі вимоги щодо точності та шорсткості висуваються до двох канавок для торцевих ущільнень [1].

Специфікація до рисунка 1.3:

1, 30, 31, 36 – ущільнювальне кільце; 2 – прокладка; 3 – гайка підшипників маточини; 4 – сполучна втулка; 5 – центрувальний палець; 6 – ведуча шестерня колісної передачі; 7 – сателіт; 8 – кришка водила з упором; 9 – вісь сателіта; 10 – розпірна втулка; 11 – водило колісної передачі; 12 – стопорне кільце; 13 – коронна шестерня колісної передачі; 14 – сферичний радіальний роликовий підшипник сателіта; 15 – шестерня коронна з кожухом; 16 – стопор гайки кріплення маточини коронної шестерні; 17, 18 – конічні роликові підшипники маточини колеса; 19 – маточина заднього колеса; 20 – фланець; 21 – гайка; 22 – внутрішнє кільце; 23, 24 – торцеві ущільнення; 25 – багатодисковий гальмівний механізм; 26 – болт; 27 – фланець супорта гальма ведучого моста; 28 – кожух півосі; 29 – піввісь ведучого моста; 32 – ковпак; 33 – гвинт регулювальний; 34 – контргайка; 35 – пробка

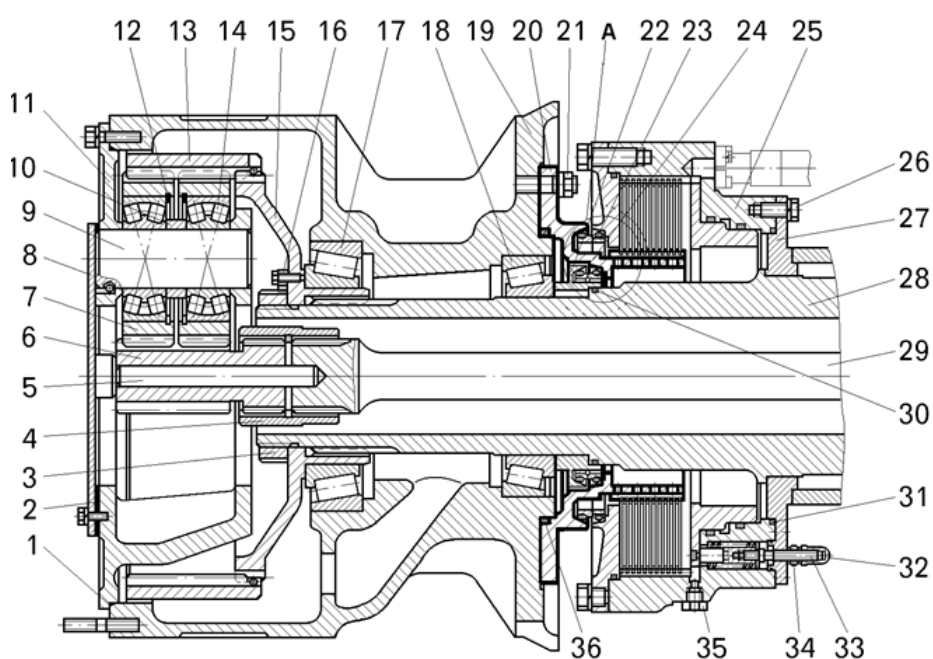
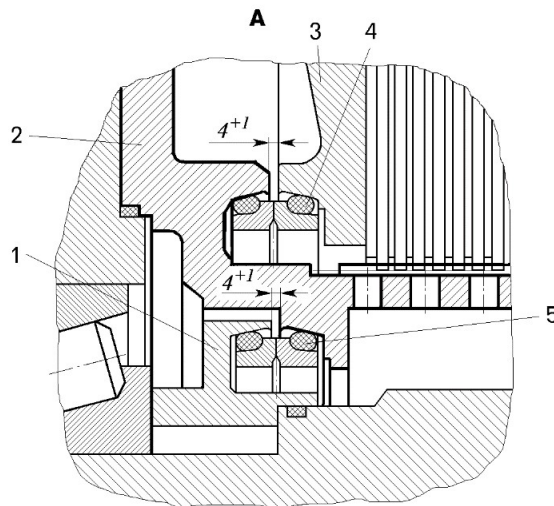


Рисунок 1.3 – Багатодисковий мастилоохолоджуваний гальмівний механізм задніх коліс



- 1 – внутрішнє кільце;
- 2 – фланець;
- 3 – кришка гальмівного механізму;
- 4, 5 – торцеві ущільнення

Рисунок 1.4 – Торцеві ущільнення в гальмівному механізмі задніх коліс

1.2 Аналіз технологічності деталі

Деталь є тілом обертання, що складається з двох зварених деталей: фланця і втулки. Креслення деталі наведено в додатку А. Фланець виготовляється з конструкційної сталі 35 ДСТУ 7809:2015, а втулка з легованої сталі 40Х ДСТУ 7806:2015. Характеристики сталей наведено в таблицях 3.1 – 3.4.

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 40Х ДСТУ 7806:2015,%

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S	Cu
0,36-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	0,8-1,1	не більше			
				0,3	0,3	0,035	0,3

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 40Х ДСТУ 7806:2015

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KSU, Дж/см ²	Термообробка
590	345	14	38	49	Загартування 840-860°C, масло або вода; відпуск 580-650°C, повітря або вода

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 35 ДСТУ 7809:2015,%

C	Mn	Si	As	Cr	Ni	P	S	Cu
0,32-0,40	0,5-0,8	0,17-0,37	не більше					
			0,08	0,25	0,25	0,035	0,04	0,25

Таблиця 1.4 - Механічні властивості сталі 35 ДСТУ 7809:2015

σ_B , МПа	σ_T , МПа	δ_5 , %	ψ , %	KSU, Дж/см ²	Термооброблення
620	410	18	71	176	Загартування 850°C, масло або вода; відпуск 600°C, повітря або вода

Деталь проходить термічну обробку, що може призвести до викривлень і тріщин. Також викривленню сприяє і те, що деталь є зварною, це вимагає додаткової механічної обробки зварюваних поверхонь і застосування спеціальних пристосувань для точного зварювання деталей. Зварний шов має більш тверду структуру і погіршує оброблюваність різанням. З точки зору механічної обробки деталь є не технологічною:

- деталь має канавки під ущільнення складної форми (виносні елементи Ж і Б (див. креслення));

- наявність 20 отворів Ø14^{+0,43} на циліндричній поверхні деталі;

- складний внутрішній контур деталі, що вимагає застосування верстатів з ЧПУ для його отримання:

- наявність зубчастого вінця і фаски на ній, що вимагає застосування спеціального обладнання [7].

В іншому деталь має уніфіковані елементи: фаски, канавки, діаметри.

Проведемо кількісний аналіз деталі на технологічність. У таблиці 3.5 зведені розміри деталі разом з допусками.

Таблиця 1.5 – Зведена таблиця розмірів, мм

Розмір	Квалітет	Допуск	Розмір	Квалітет	Допуск
Ø630	14	1,75 ^(+1,75)	20xØ14	14	0,43 ^(+0,43)
Ø590	14	1,75(±0,875)	63	12	0,3(±0,15)
Ø411	14	1,55 ^(-1,55)	24	13	0,4(±0,2)
Ø388,5	14	1,4 ^(-1,4)	133	13	0,63(±0,315)
Ø454	11	0,4 ^(+0,4)	27	14	1(±0,5)
Ø440	9	0,155 ^(+0,155)	3x25	14	0,52(±0,26)

Продовження Таблиці 1.5					
Ø430	14	1,55 ^(+0,155)	125	14	1(-1)
Ø375	14	1,4 ^(+1,4)	14	14	0,43 ^(+0,43)
Ø 334	14	1,4 ^(+1,4)	30	14	0,52 ^(+0,52)
Ø365	16	3,6 ^(+3,6)	71	11	0,19 ^(+0,19)
Ø390	14	1,4 ^(-1,4)	220	14	1,15(±0,575)
Ø387	14	1,4 ^(+1,4)	10	14	0,36(±0,18)
Ø480	14	1,55 ^(+1,55)	4,2	12	0,12 ^(+0,12)
Ø411	14	1,55 ^(+1,55)	2x3,1	14	0,3 ^(+0,3)
Ø461,3	9	0,2(±0,1)	9,5	14	0,36 ^(+0,36)
Ø462,3	9	0,2(±0,1)	18	14	0,43 ^(+0,43)
Ø460,2	9	0,2(±0,1)	20,5	14	0,52 ^(+0,52)
Ø444	14	1,55 ^(-1,55)	10	14	0,36 ^(+0,36)
Ø350,5	9	0,2(±0,1)	18	14	0,43 ^(+0,43)
Ø349,2	9	0,2(±0,1)	R10	16	1(±0,5)
Ø351,5	9	0,2(±0,1)	2xR10	17	2(±1)
18xØ25	14	0,52 ^(0,52)	2xR5	16	1(±0,5)

Коефіцієнт точності визначається за формулою:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{CP}} \quad (1.1)$$

де АСР – середній квалітет точності деталі.

$$A_{CP} = \frac{\sum (A_i \cdot n_i)}{\sum n_i} = \frac{9 \cdot 7 + 11 \cdot 2 + 12 \cdot 2 + 13 \cdot 2 + 14 \cdot 64 + 16 \cdot 4 + 17 \cdot 2}{83} = 13,84$$

Де А – квалітет розміру;

n – кількість розмірів одного квалітету А.

$$K_T = 1 - \frac{1}{13,84} = 0,93$$

Розрахуємо коефіцієнт шорсткості за формулою:

$$K_{III} = 1 - \frac{1}{III_{CP}} \quad (1.2)$$

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця шорсткостей

Шорсткість по Ra, мкм	Кількість поверхонь
2,5	6
5	2
10	3
20	63

Де ШСР – середня шорсткість поверхонь.

$$Ш_{CP} = \frac{\sum (Ш_i \cdot n_i)}{\sum n_i} = \frac{2,5 \cdot 6 + 5 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 20 \cdot 63}{74} = 17,77$$

Де Ш – шорсткість поверхні (див. табл. 3.6);

n – кількість поверхонь з однаковою шорсткістю Ш.

$$K_{Ш} = 1 - \frac{1}{17,77} = 0,94$$

Висновок: оскільки коефіцієнт точності КТ = 0,93 і коефіцієнт шорсткості КШ = 0,94, що є досить високим показником, тобто за даними коефіцієнтами деталь є технологічною.

1.3 Визначення типу виробництва

Вихідні дані для розрахунку типу виробництва:

Річна програма випуску виробів $N_1 = 300$ шт.;

Кількість виробів у вузлі $m = 2$ шт.;

Відсоток на запасні частини $\beta = 5\%$;

Режим роботи підприємства – 2 зміни.

Річна програма випуску визначається за формулою:

$$N = N_1 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{\beta}{100}\right) = 300 \cdot 2 \cdot \left(1 + \frac{5}{100}\right) = 630 \text{ шт.}$$

Дійсний річний фонд часу роботи підприємства $F_d = 4029$ год.

Розрахунок типу виробництва проведено згідно з методикою, викладеною в [6] в таблицях EXEL, і розміщено в додатку. В результаті розрахунку коефіцієнт

закріплення операції дорівнює $K_{з.о.} = 16$, що відповідає середньосерійному типу виробництва. Даний тип виробництва характеризується досить широкою номенклатурою виробів, що випускаються періодично повторюваними партіями.

При періодичності запуску виробів $a=20$ і кількості робочих днів у році $F=254$, кількість деталей у партії $n=50$ штук, кількість змін на обробку партії деталей – $C_{пр}=9$ змін.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір та техніко–економічне обґрунтування методу отримання заготовлі

Проведемо розрахунок методу отримання заготовки.

В якості заготовки на деталь FL-0630-0220-M05 «Фланець» на підприємстві використовується зварна заготовка.

Даний метод отримання заготовки дуже трудомісткий і матеріаломісткий, тому в якості заготовки на деталь FL-0630-0220-M05СБ «Фланець» я пропоную розглянути штампування на пароповітряному молоті (ПШМ). Даний метод дозволить наблизити контур заготовки до контуру готової деталі. Розрахунок заготовки проводиться згідно з ДСТУ EN 10243-1:2022. В якості матеріалу для деталі візьмемо сталь 40Х ДСТУ 7806:2015.

Вихідні дані для розрахунку:

Маса деталі – $M_d = 70,5$ кг.

Маса заготовки (розрахункова) – $M_z = M_d \cdot K_p = 70,5 \cdot 1,7 = 119,85$ кг

де K_p – розрахунковий коефіцієнт: $K_p = 1,7$

Клас точності – Т4 [1],

Група сталі – М2 [1],

Ступінь складності – С4 [1],

Розміри, що описують поковку фігури (циліндр):

діаметр – 661,5 мм; висота – 231 мм

Маса описуючої фігури (розрахункова) – $M_f = 623,2$ кг.

Відношення маси поковки до маси фігури:

$$M_n / M_f = 70,5 / 623,2 = 0,11$$

Вихідний індекс – 19 [1],

Припуски та ковальські напуски [1]:

3,7 – діаметр 630 і чистота поверхні 20 мкм;

3,7 – діаметр 480 і чистота поверхні 20 мкм;

4,7 – діаметр 411 і чистота поверхні 2,5 мкм;

3,7 – діаметр 430 і чистота поверхні 20 мкм;
3,4 – діаметр 375 і чистота поверхні 20 мкм;
3,4 – діаметр 334 і чистота поверхні 20 мкм;
2,4 – товщина 24 і чистота поверхні 20 мкм;
2,8 – товщина 63 і чистота поверхні 20 мкм;
3,7 – товщина 220 і чистота поверхні 20 мкм;
4,7 – товщина 220 і чистота поверхні 5 мкм;
3,4 – товщина 125 і чистота поверхні 20 мкм;
2,6 – товщина 30 і чистота поверхні 20 мкм;
3,0 – товщина 71 і чистота поверхні 20 мкм.

Додаткові припуски, що враховують:

- зміщення по поверхні роз'єму штамп – 0,6 мм;
- відхилення від площинності – 0,8 мм.

Штампувальні ухили:

- на зовнішні поверхні - 7°;
- на внутрішні поверхні- 10°.

Розміри заготовки:

$\text{Ø}630+(3,7+0,6)\cdot 2=638,6$ приймаємо $\text{Ø}639$ мм;

$\text{Ø}480+(3,7+0,6)\cdot 2=488,6$ приймаємо $\text{Ø}489$ мм;

$\text{Ø}411+(4,7+0,6)\cdot 2=421,6$ приймаємо $\text{Ø}422$ мм;

$\text{Ø}430-(3,7+0,6)\cdot 2=421,4$ приймаємо $\text{Ø}421$ мм;

$\text{Ø}375-(3,4+0,6)\cdot 2=367$ приймаємо $\text{Ø}367$ мм;

$\text{Ø}334-(3,4+0,6)\cdot 2=326$ приймаємо $\text{Ø}326$ мм;

$24+4,7+2,4+0,6\cdot 2=32,3$ приймаємо 32,5 мм;

$63+4,7+2,8+0,6\cdot 2=71,7$ приймаємо 72 мм;

$220+4,7+3,7+0,6\cdot 2= 229,6$ приймаємо 230 мм;

$125+4,7-3,4=126,3$ приймаємо 126 мм;

$30+4,7-2,6=32,1$ приймаємо 32 мм;

$71+4,7-3,0=72,7$ приймаємо 72,5 мм;

Радіуси заокруглення зовнішніх кутів [1],

:

Маса заготовки, отриманої штампуванням на ПШМ $M_3 = 156,4$ кг.

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{вм} = M_д/M_3 = 70,5/156,4 = 0,45$

Вартість штампованої заготовки:

$$S_{3AG2} = \left(\frac{C}{1000} \times M_3 \times k_m \times k_c \times k_e \times k_m \times k_n \right) - (M_3 - M_д) \times \frac{S_{ВДП}}{1000} \quad (2.1)$$

де C – базова вартість 1 т заготовок: $C = 303$ у.о./т;

k_T, k_C, k_B, k_M, k_n – коефіцієнти, від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу, обсягу виробництва заготовок відповідно [3],

$$k_T = 1$$

$$k_M = 1,13$$

$$k_C = 1$$

$$k_B = 0,7$$

$$k_n = 1$$

$$S_{3AG2} = \left(\frac{303}{1000} \times 156,4 \times 1 \times 1,13 \times 1 \times 0,7 \times 1 \right) - (156,4 - 70,5) \times \frac{25}{1000} = 35,33 \text{ у.о.}$$

За курсом Національного України на 04.09.2025 р. (1 у.о. = 41 грн.) вартість заготовки складе $S_{3AG2} = 1448,53$ грн.

Річний економічний ефект від впровадження нового методу отримання заготовки складе:

$$E = (S_{3AG1} - S_{3AG2}) \cdot N = (133031,1 - 99100,65) \cdot 630 = 21376183,5 \text{ у.о./рік}$$

У результаті проведеного мною розрахунку новий метод отримання заготовки (штампування на ПШМ) є економічно вигідним. Тому в якості методу отримання заготовки я пропоную прийняти штампування на ПШМ.

2.2 Аналіз базового технологічного процесу

Наступним етапом дипломної роботи було проведення аналізу чинного технологічного процесу механічної обробки деталі FL-0630-0220-M05СБ «Фланець», що застосовується у серійному виробництві для забезпечення необхідних експлуатаційних, геометричних та міцнісних характеристик виробу.

Деталь належить до класу фланцевих з'єднувальних елементів, які широко використовуються в машинобудуванні для жорсткого і герметичного з'єднання валів, трубопроводів та корпусних вузлів.

Базовий технологічний процес ґрунтується на традиційних методах механічної обробки із застосуванням токарних, свердлильних та фрезерних операцій. Як заготовку, як правило, використовують штамповану або литу заготовку зі сталевого матеріалу з подальшою механічною обробкою до заданих розмірів, допусків і показників шорсткості поверхонь. Формування базових поверхонь здійснюється на ранніх етапах технологічного маршруту з метою забезпечення точності взаємного розташування отворів, посадкових ділянок і опорних торців.

Існуючий технологічний процес передбачає послідовну обробку основних функціональних поверхонь: зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, торців, а також монтажних та кріпильних отворів. Контроль якості виконується із застосуванням універсального контрольно-вимірювального інструменту відповідно до вимог конструкторської документації та чинних стандартів.

Проведений аналіз базового технологічного процесу є підґрунтям для подальшого його удосконалення, підвищення продуктивності, точності та економічної ефективності виготовлення деталі із застосуванням сучасного обладнання з числовим програмним керуванням.

Номери оброблюваних поверхонь і технологічних баз вказані на рисунку 2.1

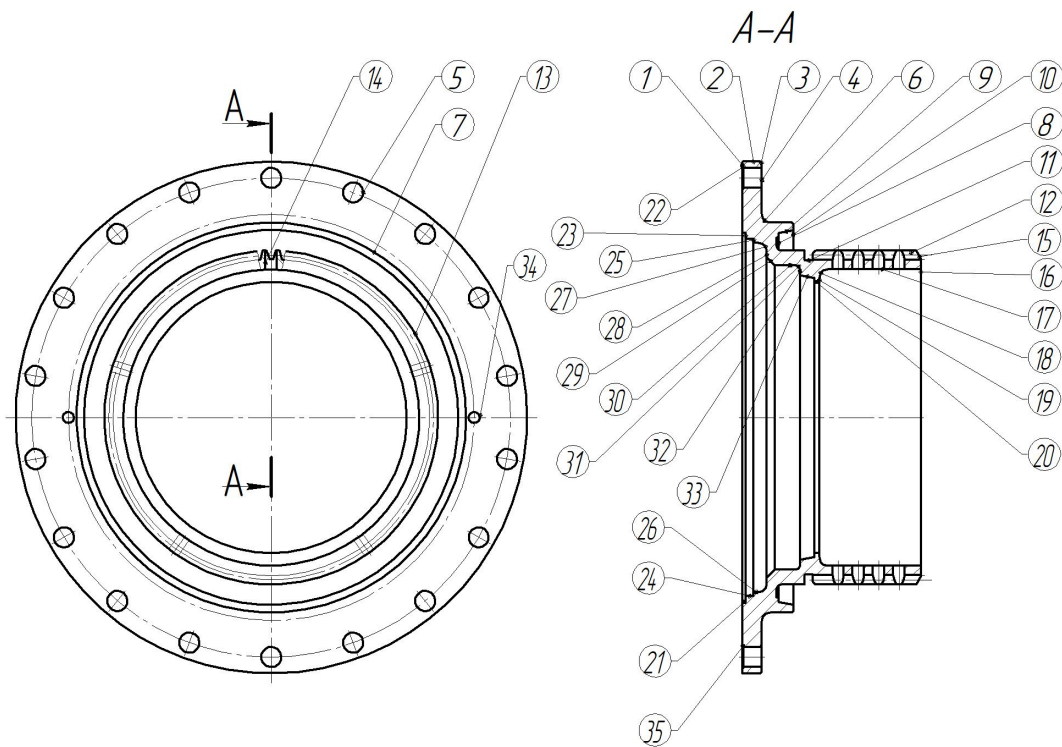


Рисунок 2.1 – Ескіз деталі з позначеними поверхнями

Таблиця 2.1 – Аналіз заводського техпроцесу

№ операції	Найменування операції	Модель обладнання	Технологічні бази	Обладнання поверхонь	Примітка
1	2	3	4	5	6
010	Токарно-карусельна	1516Ф1	13,16	1,2,20,21	Верстат підходить для даної операції
020	Токарно-карусельна	1516Ф1	1,2	3,4,6,9,10,11,13,15-18	Верстат підходить для даної операції
030	Токарно-гвинторізна	165	1,2	8	Операція не вимагає особливої точності
040	Контрольна	144-4	-	-	Проміжний контроль
050	Токарна з ЧПУ	SKA12 CNC	7,4	1,2,21-35	Верстат досить точний і продуктивний
060	Радіально-свердлильна	2М55	2,16	5,22,34,35	Застосовується застаріле обладнання
070	Контрольна	144-4	-	-	Проміжний контроль

Продовження Таблиці 2.1					
080	Зубодовбальна	5M161 П	2,4	12	Верстат досить точний і продуктивний
090	Слюсарна	-	-	-	Зачищення задирок
100	Мийна	PPS100 0/1250P О	-	-	Промивання деталі від стружки та пилу
110	Контрольна	144-4	-	-	Проміжний контроль
120	Горизонтально-розточувальна	2A622	2,4	14	Верстат підходить для даної операції
130	Контрольна	144-4	-	-	Контроль перед ТО
140	Термічна	-	-	-	-
150	Контрольна	144-4	-	-	Остаточний контроль готової деталі

На підставі розрахованого типу виробництва та нового методу отримання заготовки вносимо наступні зміни в заводський технологічний процес:

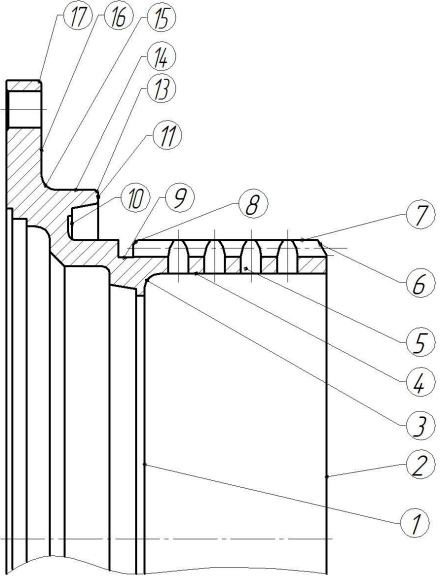
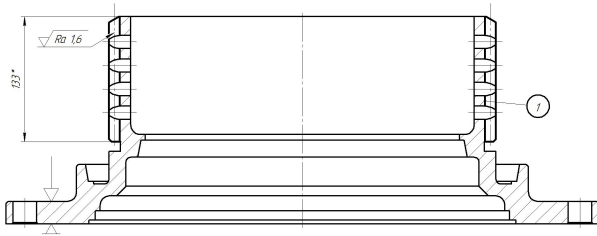
- об'єднати операції 010, що виконується на токарно-карусельному верстаті 1516Ф1, 060, що виконується на верстаті 2М55, і 050, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ SKA12CNC, в одну, що виконується на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК DMG MORI CLX 750.

- об'єднати операції 020, що виконується на токарно-карусельному верстаті 1516Ф1, 030, що виконується на токарно-гвинторізному верстаті 165, і 120, що виконується на верстаті 2A622, в одну, що виконується на токарно-фрезерувальному верстаті з ЧПУ DMG MORI CLX 750.

Новий маршрут обробки деталі наведено в таблиці 22. Номери оброблюваних поверхонь показано на рисунку 2.3.

Таблиця 2.2 – Аналіз нового техпроцесу

№ операції	Найменування операції	Модел обладнання	Ескіз обробки	Примітки
1	2	3	5	6
010	Точарна з ЧПУ	DMG MORI CLX 750		Верстат оброблюваний центр з ЧПУ

020	Токар на 3 ЧПУ	DMG MORI CLX 750		Верстат багатоопе раційний, продукти вний і точний															
030	Слюс арна	-	-----	Зачищенн я задирок															
040	Зубод овбал ьна	Karats Precisio n GS- 70N	<table border="1" data-bbox="678 963 885 1064"> <tr> <td>Модуль</td> <td>m</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>Число зубів</td> <td>z</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>Кут проріза</td> <td>α</td> <td>20°</td> </tr> <tr> <td>Діаметр ралика</td> <td>D</td> <td>9±0.002</td> </tr> <tr> <td>Размір по раликах</td> <td>M</td> <td>4,14,484⁺¹⁵</td> </tr> </table> 	Модуль	m	5	Число зубів	z	80	Кут проріза	α	20°	Діаметр ралика	D	9±0.002	Размір по раликах	M	4,14,484 ⁺¹⁵	Верстат досить точний і продукти вний
Модуль	m	5																	
Число зубів	z	80																	
Кут проріза	α	20°																	
Діаметр ралика	D	9±0.002																	
Размір по раликах	M	4,14,484 ⁺¹⁵																	
050	Слюс арна	-	-----	Зачищенн я задирок															
060	Мийн а	PPS100 0/1250 PO	-----	Промван ня деталі від стружки і пилу															
070	Контр ольна	144-4	-	Проміжн ий контроль															
080	Термі	-	-	-															

	чна			
090	Контр ольна	144-4	-	Остаточн ий контроль готової деталі

Висновок: запропоновані зміни дозволять скоротити час обробки деталі, що призведе до зменшення всього виробничого циклу і скорочення витрат на виготовлення і, як наслідок, збільшення прибутку.

2.3 Вибір технологічного обладнання



Рисунок 2.2 - верстат з ЧПК DMG MORI CLX 750

Діаметр обробки: до 700 мм

Довжина обробки: до 2000 мм

Потужність шпинделя: до 45 кВт

Крутний момент: до 2500 Н·м

Приводний інструмент (С/У вісь) — для фрезерних елементів

Система керування: Siemens SINUMERIK ONE / Fanuc 31i-B Plus

Матеріали: ефективно обробляє сталі 40Х, 38ХМЮА, 30ХГСА, чавун
Цей верстат повністю замінює карусельний, фрезерний та токарний етапи,
дозволяючи обробляти заготовку $\text{Ø}639 \times 230$ мм за один установ.

Під час вибору варто враховувати:

тип затиску: патрон 15–18", гідравлічний;

охолодження: внутрішній МОР 20–70 бар;

інструмент: твёрдосплавні пластини ISO CNMG, DNMG, SNMG, а також
приводні фрези $\text{Ø}20$ –32 мм;

САМ-сумісність: NX САМ, Mastercam, Esprit.

Для виконання вертикально-фрезерної операції 030 обрано вертикальний
обробний центр з числовим програмним керуванням DMG MORI DMC 1150 V,
оскільки його технічні можливості повністю відповідають вимогам до забезпечення
точності, якості поверхні та продуктивності оброблення. Верстат характеризується
високою жорсткістю порталної конструкції, що дозволяє виконувати силове
фрезерування без втрати точності, а також високошвидкісним шпинделем,
необхідним для чистової обробки. Наявність сучасної системи ЧПК забезпечує
стабільність розмірів, повторюваність результатів та можливість реалізації складних
траєкторій оброблення. Розміри робочого столу та переміщення по координатних
осях дозволяють обробляти деталь за одну установку, що зменшує похибки
базування та підвищує точність взаємного розташування поверхонь. Використання
DMG MORI DMC 1150 V забезпечує відповідність вимогам серійного та
дрібносерійного виробництва за рахунок поєднання високої точності,
універсальності та продуктивності [4], .



Рисунок 2.3 - верстат з ЧПК DMG MORI DMC 1150 V



Рисунок 2.4 - Зубодолбальний (gear shaper) верстат GS-70N

GS-70N — це зубодолбальний (gear shaper) верстат від японської компанії Karats Precision, Inc., розроблений для виготовлення зубчастих коліс середніх та великих розмірів. Він створений як відповідь на потребу у підвищеній

продуктивності при тих же завданнях, для яких раніше використовували модель GS-200N.

Робочий стіл GS-70N має діаметр 700 мм, що надає можливість розміщати відносно великі заготовки. Максимальна ширина зуба, який можна нарізати на цьому верстаті, становить 170 мм, а максимальний модуль (pitch module) зубчастої пари — 6.5, що означає можливість обробки порівняно «грубо-зубих» або крупних шестерень.

Загалом, GS-70N характеризується поєднанням достатньої жорсткості, гнучкості в налаштуванні та параметрів, які дозволяють виготовляти середні та великі зубчасті колеса з модулями до 6.5 і шириною зуба до 170 мм. Його позиціонують як машину підвищеної продуктивності для промислового виробництва, де потрібні надійність, точність і здатність працювати із досить масивними заготовками [9].

2.4 Розробка операційної технології операції, що виконується на верстаті з ЧПУ

Мені доручено розробити операційну технологію на операцію з ЧПУ для обробки деталі FL-0630-0220-M05CB «Фланець». На операції 010 згідно з новою маршрутною технологією використовується токарний верстат з ЧПУ DMG MORI CLX 750. Деталь обробляється за один установ і 6 переходів. Аналіз операційної технології наведено в таблиці 2.3. У таблиці також вказані ріжучий, допоміжний, вимірювальний інструменти. Операційний ескіз показано на рисунку 2.5.

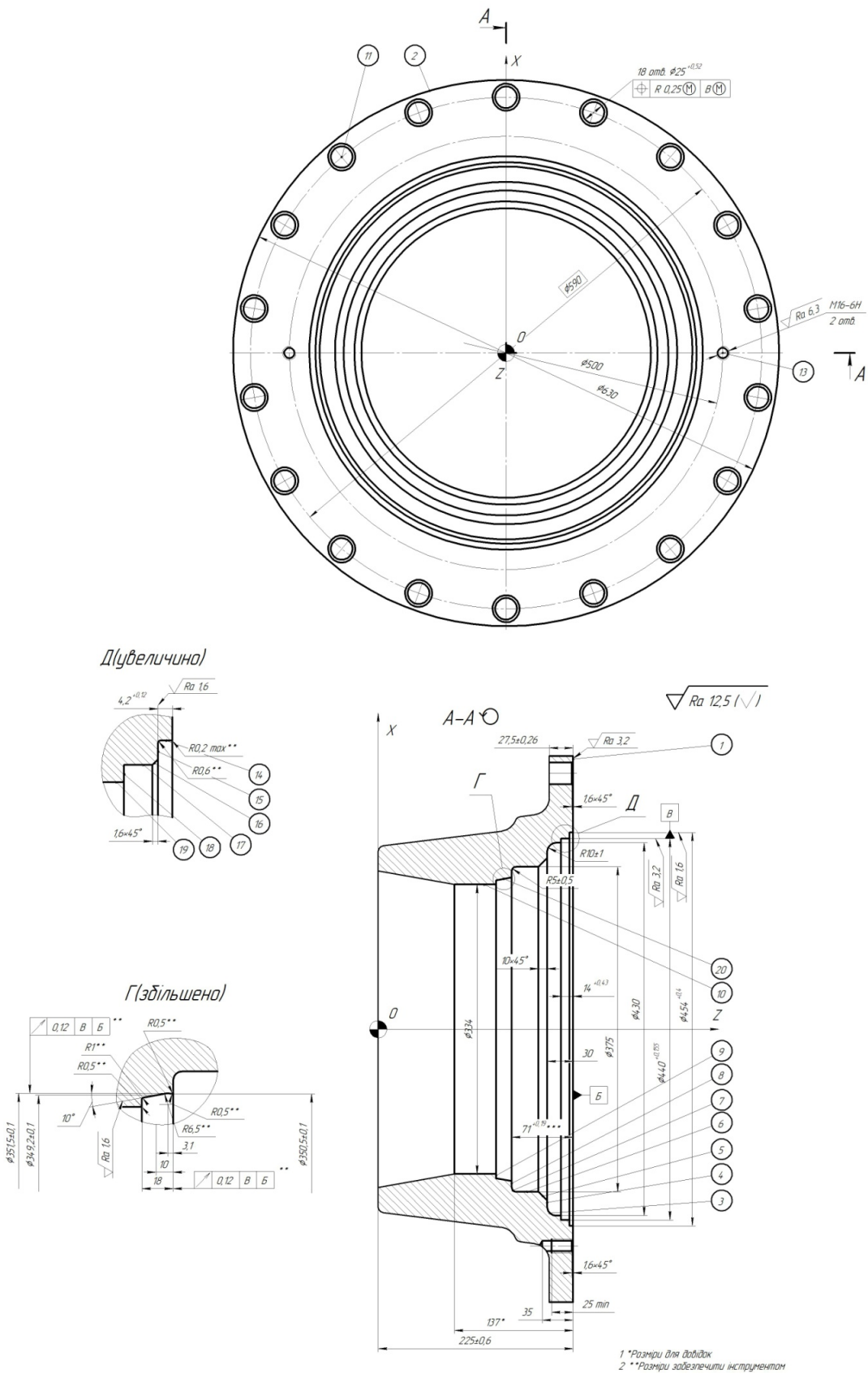

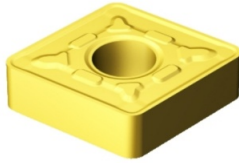


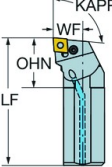
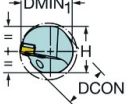
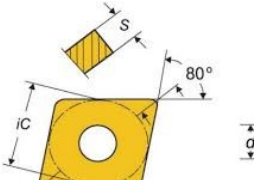

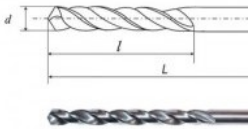



Рисунок 2.5 – Операційний ескіз

Таблиця 2.3 - Операційна технологія

№ пере ходу	Зміст операції	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4	5
A	Встановити і закріпити заготовку	396110 H01MA15 Патрон; Кулачки спеціальні		
1	Точити поверхню 1,2	<p>Різець; 392190 PCLNL3232P16</p>  <p>CNMG160612-46 «SandvicCoromant» Пластина CT25</p> 	----	<p>393311 ШЦ-II - 250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль;</p>  <p>фото типове</p> <p>393311 ШЦ-II - 250-630-0.1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль</p> 
2	Розточити поверхні 3,4,5,6,7,8,9, 10,14,15,16, 17,18,19,20 начорно	<p>392190 S32U-PCLNL12-X «SandvicCoromant» Різець;</p>   <p>CNMG120412-46 «SandvicCoromant» Пластина CT25</p> 	<p>392801 0709-6022 Блок</p>	<p>393311 ШЦ-II -250-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль;</p> <p>393311 ШЦ-II - 250-630-0.05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль</p>

3	Розточити поверхні 3,4,5,6,7,8,9, 10,14,15,16, 17,18,19,20 начисто	392190 S32U- PCLNL12-X «SandvicCoromant» Різець; CNMG120412-46 «SandvicCoromant» Пластина CT25	392801 0709-6022 Блок	393311 ШЦ-П -250-0,05 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штангенциркуль; 393311 ШЦ-П - 250-630-0.05 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штангенциркуль
4	Центрувати 18 отворів 11 і 2 отвір 13	391290 035-2300-1135 ОСТ 2И20-1-80 Сверло Р6М5 	392801 191113050 ТУ2 035-490-76 Патрон цанговий	393311 ШЦ-П - 250-630-0.1 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штангенциркуль
5	Свердлити 18 отворів 11	391290 035-2300- 1358 ОСТ 2И20-1- 80 Сверло Р6М5	392801 191113050 ТУ2 035-490-76 Патрон цанговий	ШЦ-П -125-0,05 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штангенциркуль
6	Свердлити 2 отвори 13	391290 035-2300- 1308 ОСТ 2И20-1- 80 Сверло Р6М5 	392801 191113050 ТУ2 035-490-76 Патрон цанговий	ШЦ-П -125-0,05 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штангенциркуль
7	Нарізати різьбу в двох отворах 13	391390 035-2620- 0548 ОСТ 2И52-1- 74 Мітчик Р6М5 	392801 191112051 ТУ2 035-763-80 Державка; 392801 191221130 ТУ2 035- 681-79 Патрон різьбонарізний	ШЦ-П -125-0,05 <u>ДСТУ EN ISO</u> <u>13385-1:2018</u> Штанген циркуль; 8221- 1067-6Н Пробка; 8221- 0067-6Н Пробка
Б	Відкріпити і зняти деталь	396110 Н01МА15 Патрон; Кулачки спеціальні		

Висновок: у даній операційній технології застосовується універсальний ріжучий, допоміжний та вимірjувальний інструмент, що полегшує процес виготовлення деталі та не вимагає додаткових коштів на спеціальний інструмент. Ріжучий інструмент відповідає всім світовим стандартам і є високопродуктивним, що також скорочує час на обробку деталі.

2.5 Розробка траєкторії руху інструменту на операцію з ЧПУ

У даному пункті виконано розрахунок траєкторій руху інструменту на операцію 010, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ моделі DMG MORI CLX 750. Траєкторії переміщення ріжучого інструменту викреслена на міліметрівці в масштабі 1:4. На міліметрівці пронумеровані опорні точки і визначені їх координати, які зведені в таблицю. Розрахунок координат опорних точок проведений графоаналітичним способом. Також на них вказані вильоти інструментів відносно нуля револьверної головки (нуля інструменту), які розраховані з урахуванням характеру оброблюваних поверхонь і особливостей верстата.

2.6 Визначення режимів різання і технічних норм часу

Мені доручено провести розрахунок режимів різання на операцію з ЧПУ 010, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ DMG MORI CLX 750. Розрахунок режимів різання проведено на ЕОМ і його результати розміщені в додатку.

Для розрахунку норм часу складемо таблицю 2.4, в яку зведемо величину переміщення робочого органу верстата, а також час на його переміщення.

Таблиця 2.4 – Час автоматичної роботи верстата за програмою

№ ділянки траєкторії	Довжина ділянки траєкторії l, мм.	Хвилинна подача S_M , мм/хв	Основний час T_o , хв	Машинно-допоміжний час T_{MB} , хв
1	2	3	4	5
Установ А, перехід 1				
T14 – T01				0,15

Продовження Таблиці 2.4				
BT-1	350,2	7500		0,047
1-2	115	49,4	2,328	
2-3	3	7500		0,001
1	2	3	4	5
3-4	115	3750		0,031
4-5	5	7500		0,001
5-6	115	49,4	2,328	
6-7	5	7500		0,001
7-8	110	3750		0,029
8-9	35	49,4	0,709	
9-10	5	3750		0,001
10-11	35	7500		0,005
11-12	7,5	3750		0,002
12-13	35	49,4	0,709	
13-14	7,5	3750		0,002
14-BT	363,6	7500		0,048
			$T_o=6,074$	$T_{MB}=0,316$
Установ А, перехід 2				
T01-T02				0,05
BT-1	401,3	7500		0,053
1-A	70	7500		0,009
Цикл чорнового точіння	4x60	26,1	9,195	
	4x60	7500		0,032
	8x5	3750		0,011
A-1	70	7500		0,009
1-2	65	3750		0,017
2-3	14	26,1	0,536	
3-4	2,5	26,1	0,096	
4-5	11	26,1	0,421	
5-6	7	26,1	0,268	
6-7	17,5	26,1	0,670	
7-8	18	26,1	0,690	
8-9	18	26,1	0,690	
9-10	12,5	26,1	0,479	
10-11	3,2	26,1	0,123	
11-12	2,5	26,1	0,096	
1	2	3	4	5
12-13	90	7500		0,012
13-BT	435,3	7500		0,058
			$T_o=13,264$	$T_{MB}=0,251$

Продовження Таблиці 2.4

Установ А, перехід 3				
T02-T03				0,05
1-2	401,3			0,053
2-3	9,2	23,75	0,387	
3-4	7	23,75	0,295	
4-5	9,8	23,75	0,412	
5-6	5	23,75	0,211	
6-7	6	23,75	0,253	
7-8	14,1	23,75	0,594	
8-9	7,5	23,75	0,316	
9-10	14,1	23,75	0,594	
10-11	31	23,75	1,305	
11-12	7	23,75	0,295	
12-13	7,5	23,75	0,316	
13-14	2,2	23,75	0,093	
14-15	9,5	23,75	0,400	
15-16	100,5	7500		0,013
16-IT	401,3	7500		0,053
			$T_o=4,604$	$T_{MB}=0,169$
Установ А, перехід 4				
T03-T11				0,15
IT-1	362,6	7500		0,048
Цикл свердління	18x20,7	52,5	7,097	
	18x20,7	7500		0,05
Поворот	20°x18			0,3
54-55	45	3750		0,012
Цикл свердління	2x13,6	52,5	0,518	
	2x13,6	7500		0,003
Поворот	180°x2			0,04
60-IT	363,7	7500		0,048
			$T_o=7,615$	$T_{MB}=0,651$
Установ А, перехід 5				
T11-T12				0,08
IT-1	362,6	7500		0,048
Цикл свердління	18x43	64	12,094	
	18x43	7500		0,103
Поворот	20°x18			0,3
54-IT	362,6	7500		0,048
			$T_o=12,094$	$T_{MB}=0,579$
Установ А, перехід 6				
T12-T13				0,08
BT-1	363,7	7500		0,048

Продовження Таблиці 2.4				
Цикл свердління	2x45	116	0,776	
	2x45	7500		0,012
Поворот	180°x2			0,04
6-ВТ	363,7	7500		0,048
			$T_o=0,776$	$T_{MB}=0,228$
Установ А, перехід 7				
T12-T13				0,08
ВТ-1	363,7	7500		0,048
Цикл нарізання різьби	2x40	400	0,200	
	2x40	7500		0,011
	180°x2			0,04
6-ВТ	363,7	7500		0,048
			$T_o=0,200$	$T_{MB}=0,227$
			$\Sigma T_o=44,445$	$\Sigma T_{MB}=2,079$

Визначаємо час циклу автоматичної роботи верстата за програмою:

$$T_{ц.а.} = \Sigma T_o + \Sigma T_{MB} = 44,445 + 2,079 = 46,524 \text{ хв}$$

Визначаємо норму штучного часу:

$$T_{шт} = (T_{ц.а.} + T_{доп}) * (1 + (a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}) / 100)$$

де: $T_{доп}$ – допоміжний час на обробку;

$a_{тех}$ – час на технічне обслуговування робочого місця;

$a_{орг}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця;

$a_{отл}$ – час на відпочинок і особисті потреби;

$$a_{тех} + a_{орг} + a_{отл} = 2,6 + 4,2 + 2 = 8,8\%$$

$$T_{в} = T_{в.оп} + T_{в.у.с.} + T_{в.вим.} = 0,5 + 0,38 = 0,88 \text{ хв}$$

Де: $T_{в.оп} = 0,5$ хв - допоміжний час, пов'язаний з операцією;

$T_{в.у.с.} = 0,28$ хв - допоміжний час на установку і зняття деталі;

$T_{в.вим.} = 0,05 * 4 + 0,08 + 0,12 = 0,4$ - допоміжний час на вимірювання.

Оскільки час на вимірювання перебивається часом автоматичної обробки деталі за програмою, то в розрахунку допоміжного часу він не враховується.

$$T_{шт} = (46,524 + 0,88) * (1 + 8,8 / 100) = 51,58 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{п-з} / n = 52,35 + 38,7 / 50 = 52,35 \text{ хв}$$

де: $n = 50$ шт – кількість деталей у партії

Тп-з – підготовчо-заключний час.

$$T_{п-з} = T_{п-з1} + T_{п-з2} = 13 + 25,7 = 38,7 \text{ хв}$$

де: $T_{п-з1} = 9 + 2 + 2 = 13$ хв – час на організаційну підготовку

$T_{п-з2} = 4 + 1,2 + 0,4 + 0,2 * 2 + 6,8 + 7 + 3,4 + 2,5 = 25,7$ хв - на налагоджування верстата, пристосування та ін.

2.7 Розробка карти наладки на операцію з ЧПУ

Фірма «Sandvik coromant»

В даному пункті дипломної роботи розроблено карту наладки на операцію 005, що виконується на токарному верстаті з ЧПУ моделі DMG MORI CLX 750 з УЧПУ «FANUC Oi». Обробка деталей ведеться в двох установах. Схему установки деталей в пристосуванні дивіться на рисунку.

При обробці деталей по операції 005, її базування відбувається в спеціальному патроні. Патрон встановлюється на базовий фланець шпинделя і зміцнюється вінтами. Кулачки спроектовані таким чином, щоб була можливість базування деталей по циліндричній поверхні з упором в торець. Вони базуються в патроні за допомогою двох болтів за сухар. На дану операцію ведуться пов'язана і чистова обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь і обробка отворів, а також прорізання пазів.

На 1-ому переході установки А виконується чорнове та чистове торцювання і формування зовнішнього профілю заготовки різцем T01, з базуванням по зовнішній циліндричній поверхні, з підведенням інструмента у вихідну точку (IT) та подальшим переміщенням за координатами X–Z відповідно до таблиці керуючих точок. У процесі переходу забезпечується формування зовнішнього контуру деталі, витримання розмірів по діаметру та осьовій довжині, а також досягнення заданої шорсткості поверхні Ra 3,2.

Патрон базується за конусом 7/24 у допоміжній шпинделі для крутного інструменту. Вильоти інструменту $L_x = 350$ мм, $L_z = 400$ мм.

Установ А, перехід 1

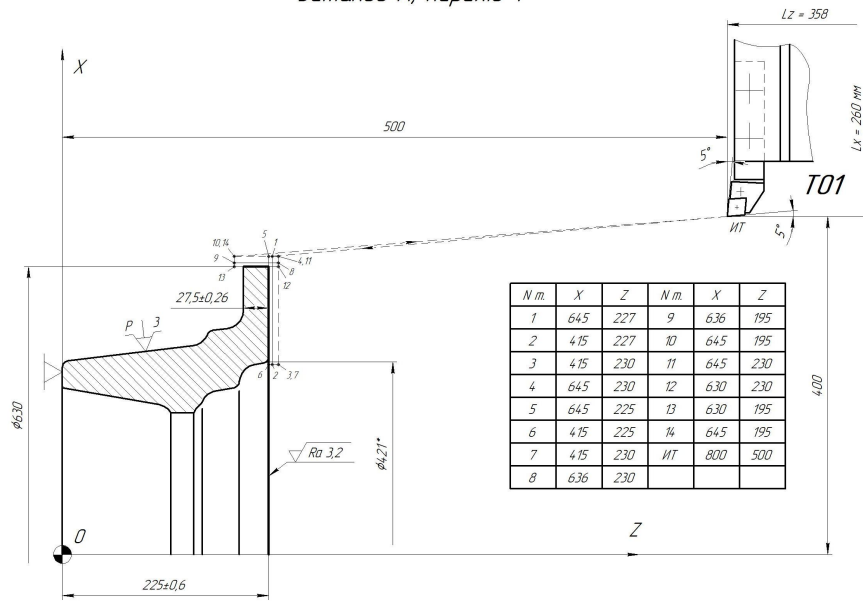


Рисунок 2.6 – Установ А, перехід 1: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

На 2-ому переході установки А ведеться чистове точіння внутрішніх і зовнішніх ступінчастих поверхонь, підрізання торців, формування радіусних переходів та фасок різцем T02 з обробленням профільних ділянок за керуючими координатами X–Z відповідно до поданої таблиці. У процесі переходу забезпечується витримування розмірів по діаметрах Ø34,92; Ø35,15; Ø44; Ø45,4, довжин уступів, кутів 10° та 45°, а також досягнення заданої шорсткості поверхонь Ra 1,6 та Ra 3,2, з формуванням радіусів R0,2; R0,5; R1; R5; R6,5 і контролем геометричної точності відносно баз Б та В.

Замінюється токарний ростовий різець S32U-PCLNL12-X фірми «Sandvic Coromant» оснащений платинами CNMG120412-46 фірми «Sandvic Coromant» з твердого сплаву СТ25. Різець базується в спеціальному блоці 0709-6022. Блок встановлюється в посадочне гніздо револьверної головки верстата. Вильотити інструменту Lx = 215 мм, Lz = 500 мм.

Установ А, перехід 2

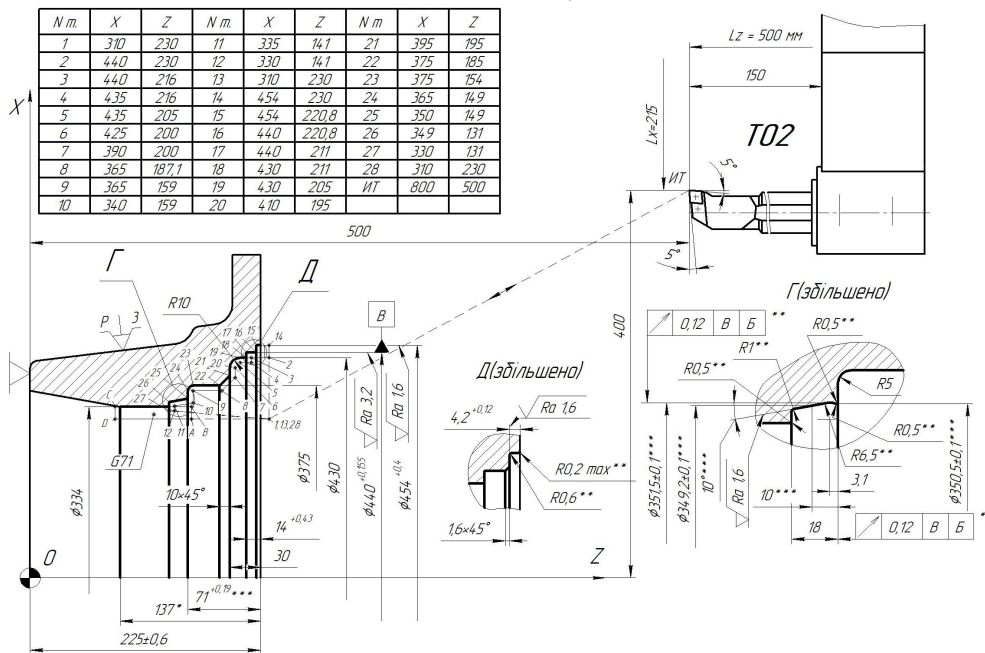


Рисунок 2.7 – Установ А, перехід 2: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

На 3-му переході установки А ведеться чистова обробка внутрішніх поверхонь 3-10 і 14-20. Замінюється токарний ростовий різець S32U-PCLNL12-X фірми «Sandvic Coromant» оснащений платинами CNMG120412-46 фірми «Sandvic Coromant» з твердого сплаву СТ25. Різець базується в спеціальному блоці 0709-6022. Блок встановлюється в посадочне гніздо револьверної головки верстата. Вильотити інструменту $Lx = 215$ мм, $Lz = 500$ мм.

На 4-му переході установки А ведеться зацентрування 18-ти відверстів 11 і двох відверстів 13. Застосовується центрове свердло для верстатів з ЧПУ 035-2300-1135 ОСТ 2И20-1-80 з швидкоріжучої сталі Р6М5. Свердло базується в цанговому патроні 191113050 ТУ2 035-490-76. Патрон базується за конусом 7/24 у допоміжному шпинделі для крутного інструменту. Вильотити інструменту $Lx = 350$ мм, $Lz = 400$ мм.

Установ А, перехід 3

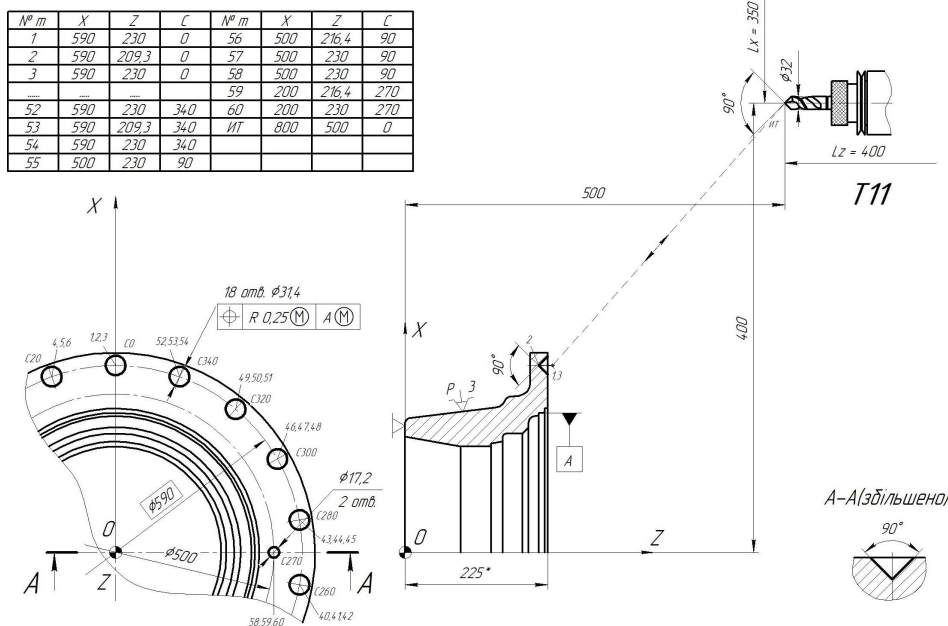


Рисунок 2.8 – Установ А, перехід 3: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

Установ А, перехід 4

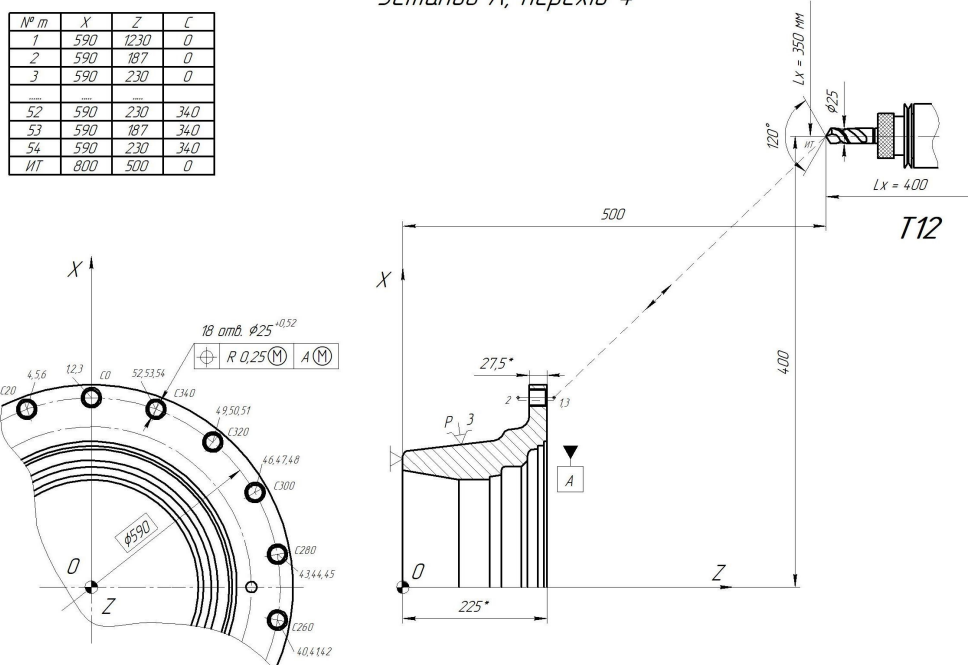


Рисунок 2.9 – Установ А, перехід 4: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

На 5-му переході установка А ведеться свердління 18-ти отворів 11. Застосовується спіральне свердло для верстатів з ЧПУ 035-2300-1358 ОСТ 2И20-1-80 з швидкорізальної сталі Р6М5. Свердло базується в цанговому патроні 191113050 ТУ2 035-490-76. Патрон базується по конусу 7/24 в допоміжному шпинделі для обертового інструменту. Вильоти інструменту $L_x = 350$ мм, $L_z = 400$ мм.

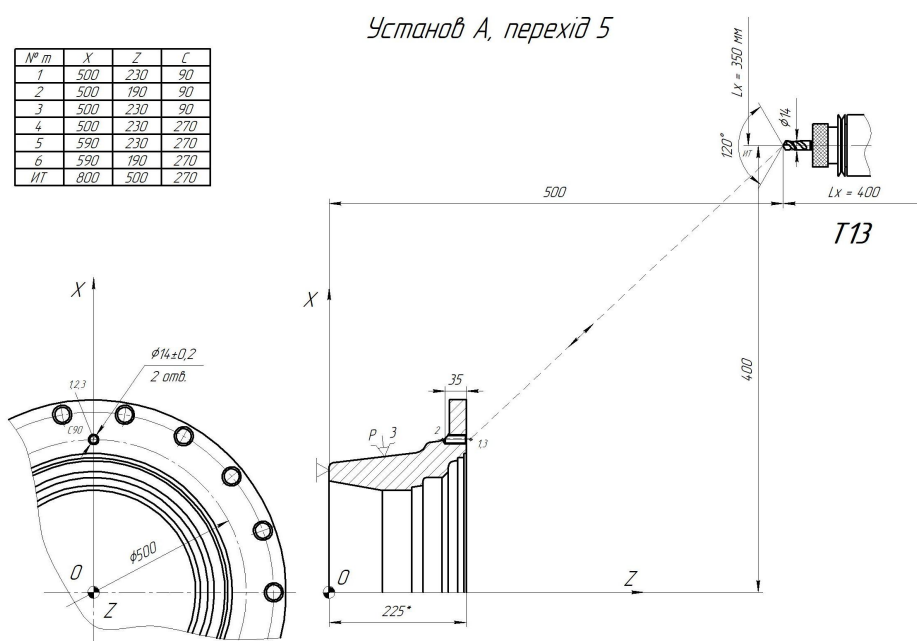


Рисунок 2.10 – Установка А, перехід 5: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

На 6-му переході установка А ведеться свердління двох отворів 13 під різьбу. Застосовується спіральне свердло для верстатів з ЧПУ 035-2300-1308 ОСТ 2И20-1-80 з швидкорізальної сталі Р6М5. Свердло базується в цанговому патроні 191113050 ТУ2 035-490-76. Патрон базується по конусу 7/24 у допоміжному шпинделі для обертового інструменту. Вильоти інструменту $L_x = 350$ мм, $L_z = 400$ мм.

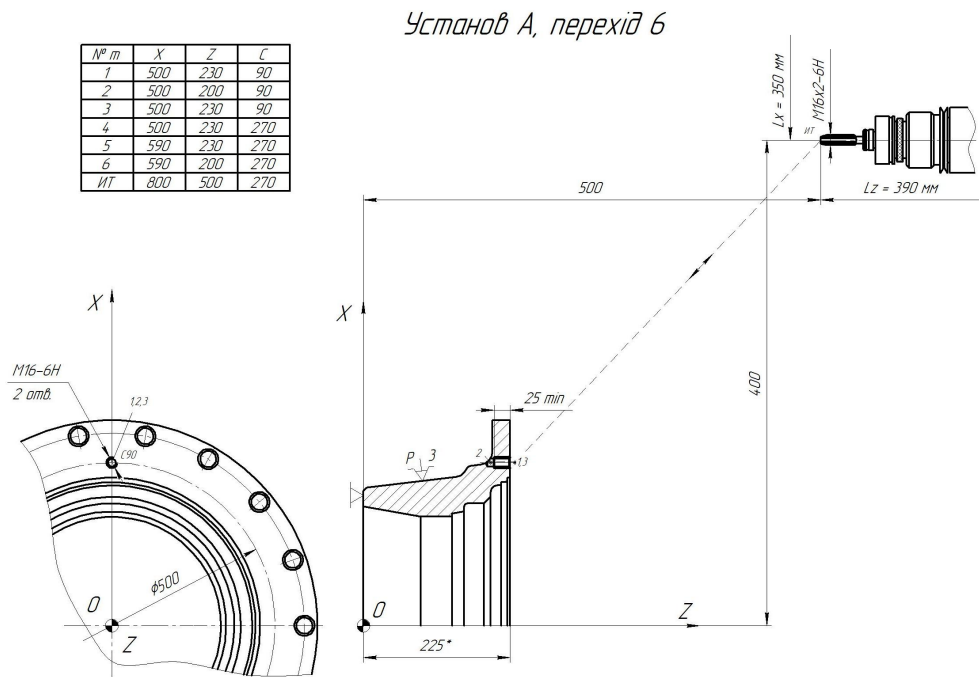


Рисунок 2.11 – Установ А, перехід 5: схема обробки деталі та координатне розташування інструмента

На 7-му переході установка А ведеться нарізання різьби мітчиком у двох отворах 13. Застосовується машинний мітчик 035-2620-0548 з швидкорізальної сталі Р6М5. Мітчик базується в різьбонарізному патроні 191221130 ТУ2 035-681-09, який встановлюється в держак 191112051 ТУ2 035-763-80. Державка базується по конусу 7/24 в допоміжному шпинделі для обертового інструменту. Вильоти інструменту $L_x = 350$ мм, $L_z = 400$ мм.

2.8 Створення керуючої програми в САМ Esprit

У даному розділі було виконано автоматизоване створення керуючої програми для обробки деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» у середовищі САМ Esprit. На першому етапі до системи було імпортовано геометричну модель деталі, після чого здійснено автоматичне розпізнавання конструктивних елементів (уступів, торців, радіусів, фасок, отворів), що дало змогу сформувати набір технологічних об'єктів для подальшого програмування.

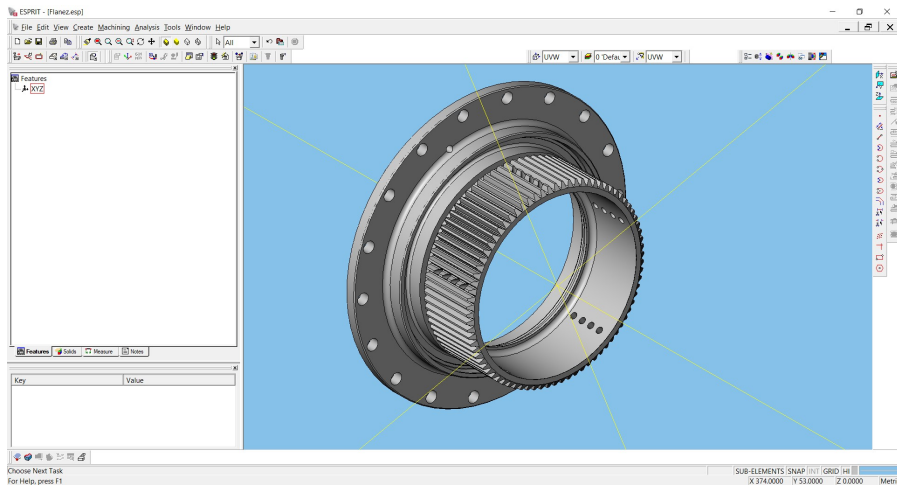


Рисунок 2.12 — Імпорт геометричної моделі деталі до САМ-системи ESPRIT

Було обрано обладнання — токарний верстат DMG MORI CLX 750 з УЧПУ FANUC Oi, та змодельовано технологічне оснащення, включаючи патрон і кулачки. Це дозволило провести коректну симуляцію обробки з урахуванням кінематики верстата та можливих зон зіткнення. Система автоматично запропонувала оптимальний набір інструментів для чорнової та чистової обробки, свердління і прорізання пазів, після чого було сформовано траєкторії руху інструмента для кожного переходу обробки у двох установках.

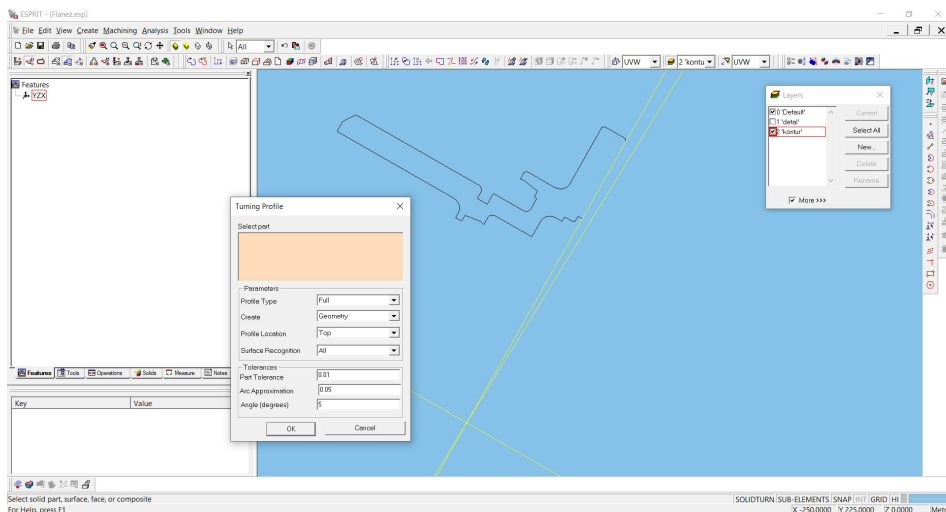


Рисунок 2.13 — Автоматичне розпізнавання конструктивних елементів деталі

На основі створених траєкторій була проведена віртуальна симуляція процесу, що дало змогу перевірити правильність обробки, оцінити залишковий матеріал і підтвердити відповідність заданим параметрам точності та шорсткості поверхонь

фланця. Після успішної перевірки здійснено постпроцесінг, у результаті якого отримано керуючу програму у форматі G-коду, повністю адаптовану під систему керування FANUC Oi та готову до використання на верстаті DMG MORI CLX 750.

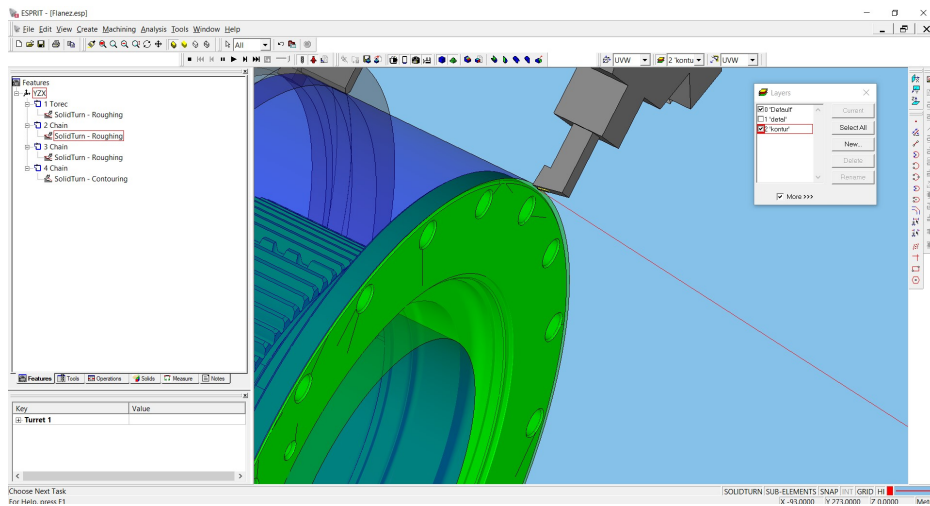
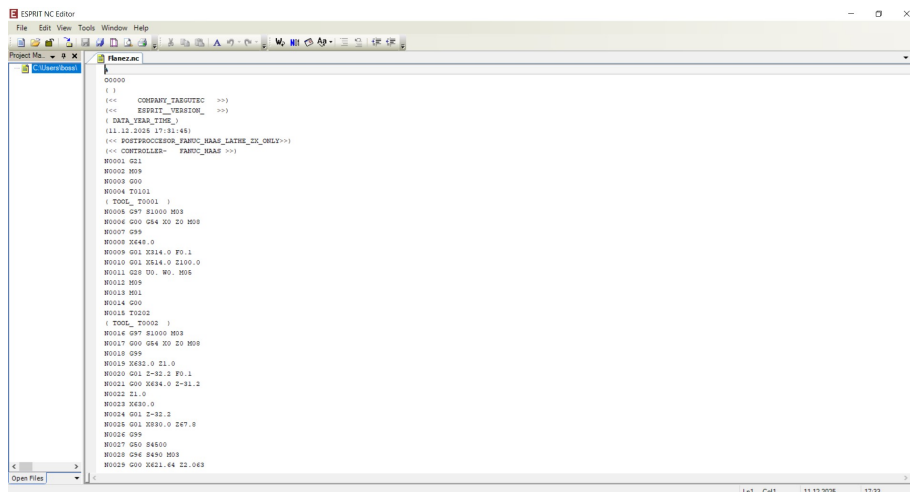


Рисунок 2.14 – Віртуальне моделювання процесу механічного оброблення

Виконана робота забезпечила повний цикл автоматизованої підготовки виробництва деталі «Фланець FL-0630-0220-M05» — від аналізу геометрії до формування готової керуючої програми, що гарантує високу точність, продуктивність та надійну повторюваність процесу обробки.



3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Вибір, опис та розрахунок верстатного пристосування

Для обробки деталі FL-0630-0220-M05 «Фланець» на токарному верстаті з ЧПК LM70AT пропонується використати пневматичний клиновий патрон, який забезпечує надійне та стабільне закріплення заготовки, високу повторюваність позиціонування та скорочення допоміжного часу під час переналагоджень. Такий тип патрона є особливо ефективним у серійному та масовому виробництві, де важливими є швидкість затиску, рівномірність зусилля та мінімальна деформація заготовки.

Принцип роботи пневматичного клинового патрона полягає у перетворенні осьового руху плунжера в радіальне переміщення ползунів, на яких встановлені змінні кулачки. У радіальних пазах кришки 2 розміщуються три ползуни 3, рифлена поверхня яких забезпечує надійну посадку змінних кулачків 10. Кожний кулачок може бути зміщений у радіальному напрямку за допомогою сухаря 4, що дозволяє коригувати положення кулачків під час наладження, за умови послаблення гвинтів 14.

Плунжер 8 жорстко з'єднаний із тягою 7, яка передає зусилля від пневматичного циліндра. При подачі стисненого повітря відбувається осьове переміщення плунжера. Ползуни 3 входять у взаємодію з Т-подібними похилими пазами під кутом 13° , що забезпечує трансформацію осьового зусилля у радіальний рух. Таким чином заготовка затискається або звільняється. Така конструкція дозволяє отримати рівномірний радіальний затиск, що є критично важливим для точності обробки фланця та запобігає його деформації під час механічної обробки.

Розподіл сил та моментів, що діють у механізмі при затиску, дозволяє забезпечити високий коефіцієнт самогальмування клинової передачі, що підвищує надійність фіксації деталі навіть у разі коливань тиску в пневмосистемі. Завдяки такій конструкції досягається стабільність положення заготовки від переходу до

переходу та зниження похибок, пов'язаних із повторюваністю базування. Кінематична схема розподілу сил та відповідні моменти дії наведені на рисунку 3.1.

Застосування пневматичного клинового патрона також сприяє зменшенню ручної праці оператора, підвищенню безпеки та продуктивності, оскільки затиск і розтиск здійснюються автоматично, синхронізовано з циклом роботи верстата. У поєднанні з високоточною кінематикою верстата LM70AT це забезпечує необхідну точність обробки поверхонь фланця та високу якість отриманих розмірів.

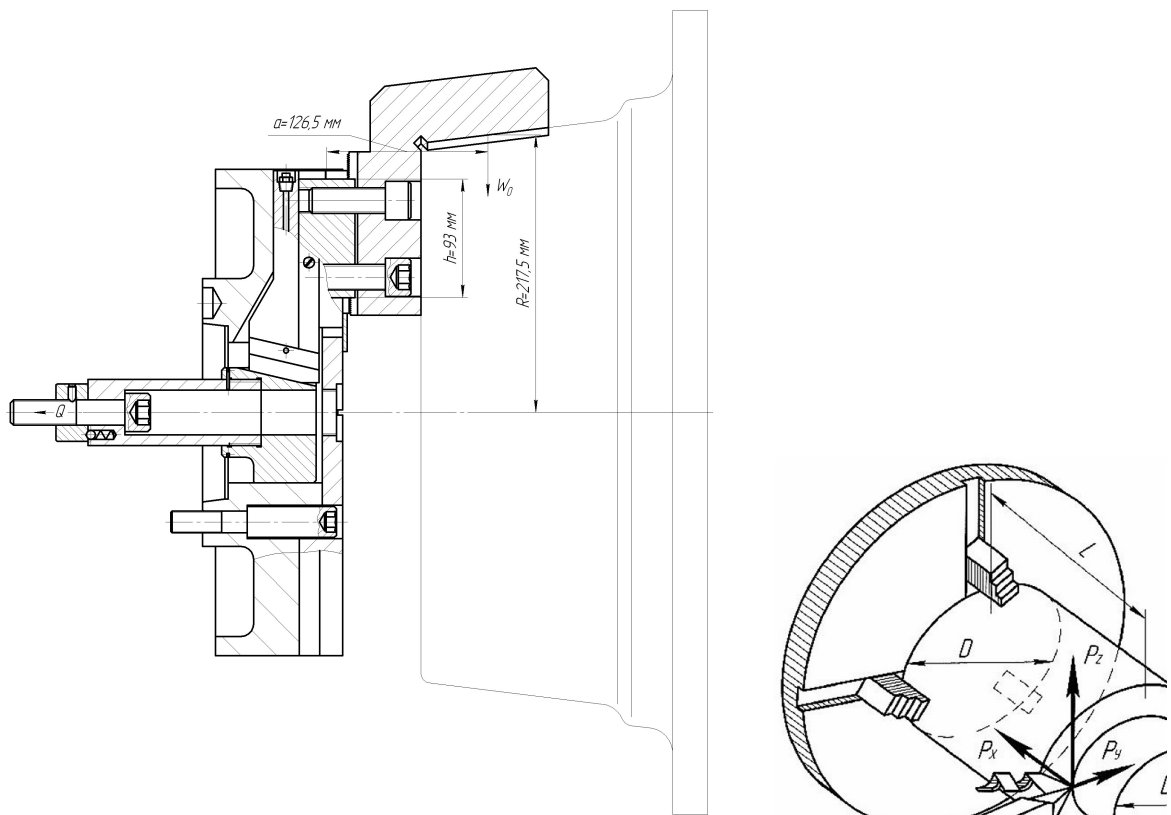


Рисунок 3.1 – Схема дії сил

Вихідні дані:

Перехід – проведення чорнового точіння поверхні циліндричної.

Максимальний радіус оброблюваної поверхні складає: $R_0 = 315$ мм.

Радіус прикладання сили затиску: $R = 217,5$ мм.

Припуск на обробку: $t = 2$ мм.

Сила різання: $P_z = 1632$ Н.

$$W_{\text{сум}} = \frac{K \cdot Pz \cdot Ro \cdot n}{f \cdot R} \quad (3.1)$$

де:

K – коефіцієнт запасу: $K=1,4$;

n – кількість кулачків: $n= 3$;

f – коефіцієнт тертя між кулачком та деталлю: $f=0,8$.

$$W_{\text{сум}} = \frac{1.4 \cdot 1632 \cdot 315 \cdot 3}{0.8 \cdot 217.5} = 12408,83H$$

Визначаємо необхідну силу на штоці пневмоциліндру за формулою:

$$Q = K_1 \left(1 + \frac{3a\mu_1}{h} \right) \text{tg}(\beta + \eta) W_{\text{сум}} \quad (3.2)$$

де:

K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткові сили тертя, $K_1 = 1,1$;

a – вильоти кулачка від середини його опори в пазу патрона до центра прикладання W_o , $a= 126,5$ мм;

μ_1 – коефіцієнт тертя між направляючою поверхнею кулачка та пазів корпусу патрона: $\mu_1 = 0,18$ [4] ;

h – довжина напрямної частини кулачка, що контактує з пазом корпусу патрона: $h=93$ мм;

β – кут нахилу пазів ковзаючої втулки, дорівнює 13° град [4];

η – кут тертя нахиленої поверхні клиновидної пари патрона, дорівнює 5°

$$Q = 1.1 \left(1 + \frac{3 \cdot 126,5 \cdot 0.18}{93} \right) \cdot \text{tg}(13 + 5) \cdot 12408,83 = 7692,68H$$

Визначаємо діаметр поршня циліндра двосторонньої дії за формулою:

$$D = 1.44 \sqrt{\frac{Q}{p}} \quad (3.3),$$

де:

p – тиск повітря в системі: $p= 39.3$ МПа

$$D = 1.44 \sqrt{\frac{7692,68}{39.3}} = 20,14 \text{ мм}$$

Приймаємо найближче більше D , що дорівнює 25 мм.

Визначаємо дійсну силу затиску деталі за прийнятим діаметром поршня за формулою:

$$Q_{\partial} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p \cdot \eta \quad (3.4),$$

де:

η – коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра: $\eta = 0,85$

$$Q_{\partial} = \frac{3.14 \cdot 25^2}{4} \cdot 39.3 \cdot 0.85 = 16389,32 \text{ Н}$$

Отримуємо дійсну силу зажиму деталі з врахуванням прийнятого діаметра поршня та розрахованих режимів різання $Q_{\partial} = 16389,32 \text{ Н}$

3.2 Проектування контрольно-вимірювального пристрою

У сучасному машинобудівному виробництві контроль торцевого биття є одним із ключових етапів забезпечення геометричної точності деталей типу «фланець». Відхилення торцевої поверхні від площинності безпосередньо впливає на якість складання, рівномірність притискання, герметичність та ресурс вузла. Тому для проведення вимірювань застосовують спеціально спроектовані контрольно-вимірювальні пристрої, конструкція яких забезпечує високу повторюваність позиціонування та мінімізацію додаткових похибок.

Контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття складається з базуючих елементів, затискаючого механізму та вимірювальної системи. Базування здійснюється по центральному отвору або по циліндричній поверхні фланця з використанням конічної оправки або центрувальної втулки. Такий спосіб забезпечує точне співпадіння осі обертання пристрою з геометричною віссю деталі, що є критично важливим для коректного вимірювання биття.

Вимірювання торцевого биття здійснюється за допомогою індикатора годинникового типу, встановленого на стійці або важільному кронштейні. Вимірювальний наконечник індикатора торкається контрольованої торцевої

поверхні, після чого деталь повільно обертається навколо своєї осі. Максимальне та мінімальне відхилення показів індикатора визначає величину торцевого биття. Такий метод дозволяє отримати точні та стабільні дані з похибкою вимірювання не більше $\pm 0,01$ мм.

Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій забезпечує правильне базування, жорстку фіксацію деталі та точне зняття показів, що дозволяє контролювати торцеве биття фланця відповідно до вимог технічної документації та забезпечує якість наступних операцій складання.

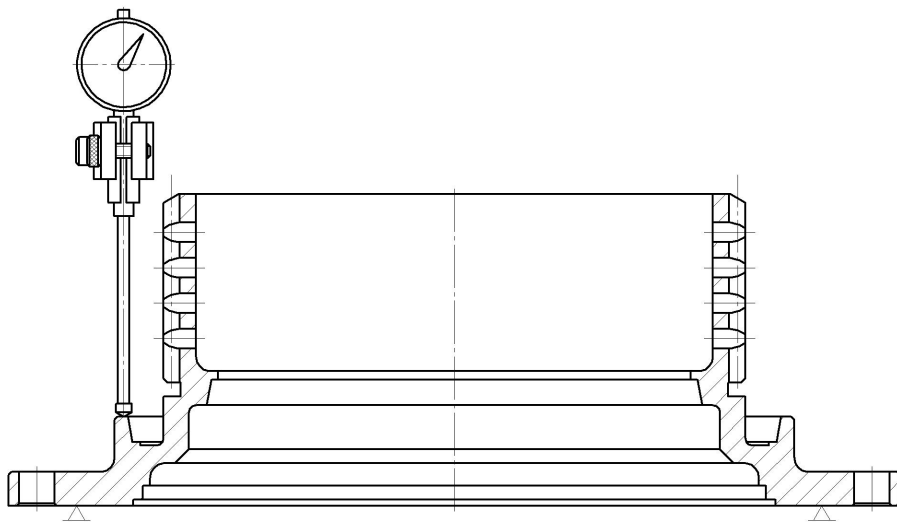


Рис.3.2 – Схема контролю торцевого биття.

3.2.1 Розрахунок пристрою на точність

Визначимо допустиму похибку вимірювань торцевого биття:

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 0,3 \cdot T, \quad (3.5)$$

де T – допуск на контрольований параметр торцевого биття, $T = 0,3$ мм.

$$\varepsilon_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 0,1 = 0,03 \text{ мм}$$

Визначаємо фактичну похибку пристрою (торцевого биття) [7]:

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_{\text{в.б.е}}^2 + \varepsilon_{\text{прил}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2}, \quad (3.6)$$

де ε_{δ} – похибка базування деталі у пристрої, $\varepsilon_{\delta} = 0$ (технологічна база співпадає із конструкторською);

$\varepsilon_{в.б.е}$ - похибка встановлення базових елементів деталі не впливає на точність вимірювань торцевого биття, $\varepsilon_{в.б.е} = 0$;

$\varepsilon_{зн}$ - похибка зношування пристрою дорівнює, $\varepsilon_{зн} = 0,01$ мм;

$$\varepsilon_{прил} \approx \frac{0,001}{2} = 0,0005 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\phi} = \sqrt{0,01^2 + 0,0005^2} = 0,01001 \text{ мм}$$

Отже фактична похибка вимірювань не перевищуватиме допустиме значення $\varepsilon_{\phi} < \varepsilon_{доп}$

$$\varepsilon_{\phi} = 0,01001 < \varepsilon_{доп} = 0,03.$$

3.2.2. Призначення та опис роботи

Контрольно-вимірювальний пристрій для перевірки торцевого биття складається з жорсткої платформи, вертикальної стійки та опорного вузла. На стійці встановлюється індикатор годинникового типу 2МВГ відповідно до вимог ДСТУ ГОСТ 4381:2009, який забезпечує високу точність вимірювання. Опорний вузол кріпиться до платформи і містить центральний палець, на який встановлюється деталь для контролю. Після розміщення фланця на пальці та точного підведення вимірювального наконечника індикатора до торцевої поверхні здійснюється плавне обертання деталі навколо осі, а зняття та аналіз показів індикатора дозволяють визначити величину торцевого биття.

4 НАУКОВО–ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Дослідження напруженого стану зубчастого вінця

Руйнування в корені зуба є одним із найпоширеніших видів відмов прямозубих циліндричних зубчастих коліс. У цьому дослідженні запропоновано процедуру чисельного моделювання для оцінювання руйнування зуба в корені шляхом визначення повної втомної довговічності прямозубих коліс, виготовлених із загартованої сталі 40X, з урахуванням стадій ініціації та поширення тріщини. Для аналізу втомної ініціації тріщини використано підхід «деформація–довговічність», тоді як для моделювання поширення тріщини застосовано технологію *Separating Morphing and Adaptive Remeshing Technology (SMART)*. Вплив таких параметрів конструкції зубчастих коліс, як кут тиску, ширина зуба, коефіцієнт профільного зміщення та початкова довжина тріщини, оцінювався шляхом моделювання різних геометричних варіацій.

У даному розділі розглянуто інноваційний підхід до проектування профілю кореня зуба зубчастого колеса та проаналізовано його вплив на експлуатаційну довговічність. На відміну від широко застосовуваних трохохідальних профілів і нещодавно запропонованих профілів кореня з круговим заокругленням, оптимальний профіль, запропонований у роботі, являє собою криву з G2-неперервністю, яка плавно сполучається як з евольвентною частиною профілю зуба, так і з колом западини. Відповідно до вимог стандартів AGMA та ISO щодо втомного навантаження, досліджено напруження за Мізесом у критичному перерізі та розподіл напружень уздовж кореня зуба. Процес руйнування зуба розглядається як сукупність двох стадій: ініціації тріщини, що характеризується кількістю циклів N_i , та поширення тріщини з кількістю циклів N_p . Для визначення кількості циклів до ініціації тріщини застосовано метод «деформація–довговічність» ($\epsilon-N$), при цьому вважається, що тріщина зароджується у критичному перерізі. На основі модуля аналізу тріщин програмного комплексу SolidWorks Simulation досліджено вплив G2-неперервного сполучення на коефіцієнт інтенсивності напружень для різних

розмірів тріщини. Закон Паріса в межах лінійної механіки руйнування використано для встановлення залежності між коефіцієнтом інтенсивності напружень і розміром тріщини, а також для визначення кількості циклів поширення тріщини N_p . Отримані результати свідчать, що запропонований оптимальний профіль забезпечує суттєве зменшення коефіцієнта інтенсивності напружень та покращення показників як стадії ініціації, так і стадії поширення тріщини. Прямозубі зубчасті колеса виготовлено з високоміцної легованої сталі 42CrMo4; вплив її механічних властивостей і поверхневої обробки на підвищення довговічності в межах даного дослідження не розглядався.

Ключовий елемент трансмісії, надійність прямозубих коліс відіграє визначальну роль у забезпеченні ефективної роботи всієї зубчастої передачі. Надійність зубчастого колеса зумовлюється, з одного боку, навантажувальною здатністю зуба під час передавання статичних і динамічних навантажень через контактні поверхні зубців, а з іншого — його довговічністю, яка обмежується виникненням критичних втомних пошкоджень [16]. Зазначені чинники не можуть розглядатися окремо, оскільки вони є взаємопов'язаними: підвищення міцності зуба сприяє збільшенню втомної довговічності, водночас зона, що визначає граничний термін служби, зазвичай збігається з областю концентрації напружень, що може призводити до зниження міцності зуба.

У загальному випадку зубчасті колеса зазнають кількох основних видів руйнування, серед яких найбільш характерними є ударне та втомне руйнування, а також пошкодження, зумовлені внутрішніми дефектами матеріалу, такими як волокнистість або газові пори [17]. Втомне руйнування, яке є предметом розгляду в цій роботі, спричиняється надзвичайно великою кількістю циклів напружень, що діють на зуб протягом тривалого періоду експлуатації. У зв'язку з цим оптимальне проєктування зубчастих коліс, спрямоване на зниження згинальних напружень у корені зуба, має вирішальне значення для підвищення їхньої втомної довговічності.

Для зменшення рівня згинальних напружень за заданих геометричних розмірів зуба у практиці проєктування застосовують два основні підходи, які полягають у зміні форми різальної кромки інструмента-генератора або у модифікації

профілю заокруглення кореня зуба [18]. У першому випадку різні профілі зуба формуються шляхом задання різних радіусів заокруглення вершини зуба черв'ячною фрезою. Найбільш поширеною в зубчастій промисловості є трохоїдальна крива, форма якої легко реалізується під час нарізання зубів черв'ячною фрезою. Як показано в роботах Бакінгема [15], зі збільшенням радіуса заокруглення вершини фрези зменшується концентрація згинальних напружень у корені зуба. Відповідно, трохоїдальний профіль кореня зуба, сформований фрезою з повним радіусом вершини, характеризується вищою згинальною міцністю порівняно з профілем, отриманим фрезою із заокругленими кутами.

Для оцінювання напружено-деформованого стану деталі виконано чисельний аналіз міцності з використанням модуля SolidWorks Simulation. На першому етапі була підготовлена тривимірною твердотільною моделлю деталі, що відповідає її реальній геометрії та умовам роботи. Геометрію моделі попередньо перевірено на коректність з метою забезпечення якісної побудови скінченно-елементної сітки.

Далі створено статичне дослідження типу Static, у межах якого задано матеріал деталі з відповідними механічними характеристиками. Закріплення моделі виконано шляхом фіксації зовнішньої поверхні фланця, що відповідає реальним умовам установлення деталі в вузлі. Навантаження прикладено до внутрішньої циліндричної поверхні та зубчастого вінця у вигляді розподіленої сили, яка імітує дію робочих експлуатаційних навантажень (рис. 4.1).

Після задання граничних умов виконано дискретизацію моделі з використанням тетраедральної скінченно-елементної сітки. У зонах можливих концентрацій напружень, зокрема в області зубчастого вінця, внутрішніх переходів та галтелей, було застосовано локальне згущення сітки, що дозволило підвищити точність розрахунків (рис. 4.1).

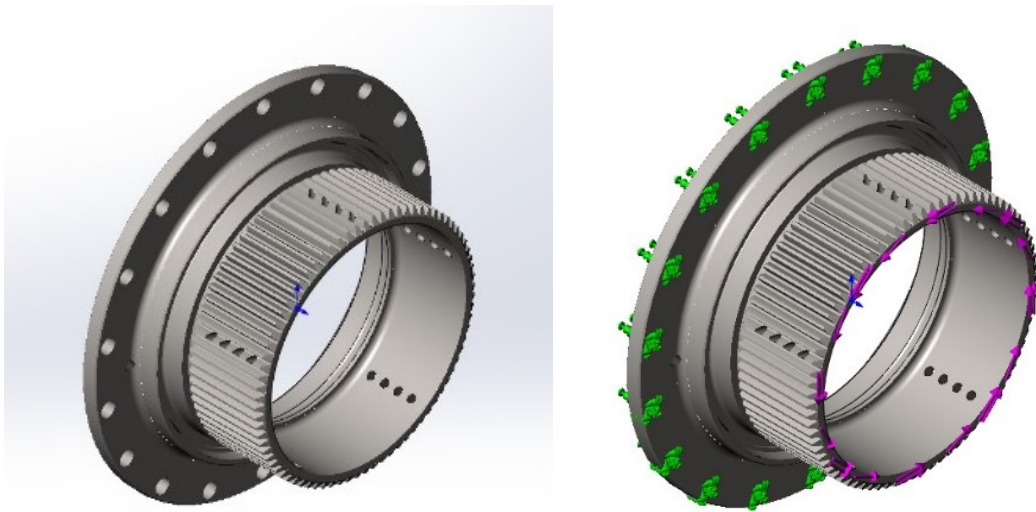


Рисунок 4.1 – Підготовка тривимірної моделі деталі до аналізу міцності

На наступному етапі проведено розрахунок напружено-деформованого стану. За результатами аналізу побудовано поле еквівалентних напружень за Мізесом. Як видно з отриманих результатів, максимальні напруження локалізуються в зоні зубчастого вінця та на внутрішній поверхні деталі в місцях переходу перерізів. Значення напружень у цих зонах є визначальними з точки зору міцності та довговічності деталі.

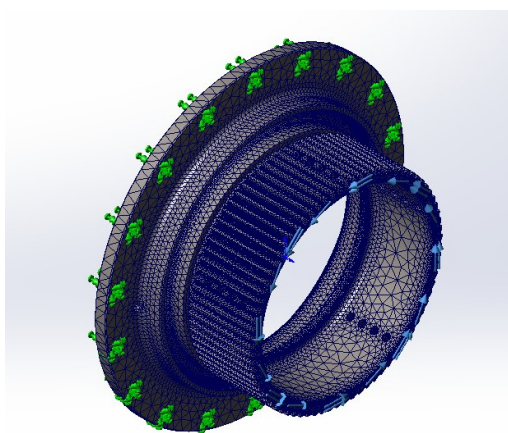


Рисунок 4.2 – Дискретизація розрахункової моделі (скінченно-елементна сітка)

Окрім напружень, проаналізовано поле переміщень. Максимальні переміщення спостерігаються в області зубчастого вінця та внутрішнього кільця, що відповідає напрямку прикладеного навантаження. Отримані значення переміщень не перевищують допустимих і не призводять до втрати працездатності або порушення геометричної сумісності деталі з іншими елементами вузла.

Також побудовано епюру коефіцієнта запасу міцності, яка показує, що в більшості об'єму деталі значення запасу перевищує допустимий рівень. Мінімальний коефіцієнт запасу спостерігається в зоні максимальних напружень, однак він залишається в межах допустимих значень, що свідчить про достатню міцність деталі за заданих умов навантаження.

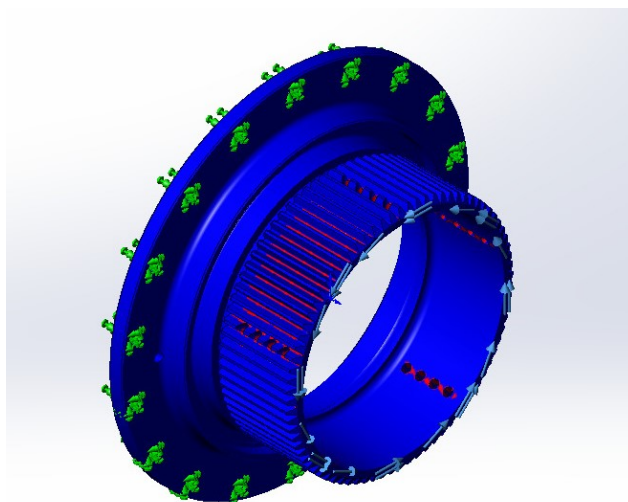


Рисунок 4.6 – Розподіл коефіцієнта запасу міцності фланця при статичному навантаженні за результатами розрахунку в SolidWorks Simulation

Таким чином, результати чисельного моделювання в середовищі SolidWorks Simulation підтверджують, що досліджувана деталь забезпечує необхідний рівень міцності та жорсткості при робочих навантаженнях. Виявлені зони концентрації напружень можуть бути використані для подальшої оптимізації конструкції з метою підвищення її довговічності та надійності.

На рис. 4.7 показано принцип роботи прямозубих циліндричних зубчастих коліс під навантаженням. Для кожного зуба контактна сила прикладається вздовж лінії контакту на бічній поверхні зуба, що зумовлює виникнення згинальних напружень у корені зуба. За умов контакту кожен зуб зубчастого колеса розглядається як консольна балка, навантажена на згин. Максимальні згинальні напруження зуба, які формуються внаслідок накопичення нормальних напружень при згині, локалізуються в зоні заокруглення кореня зуба.

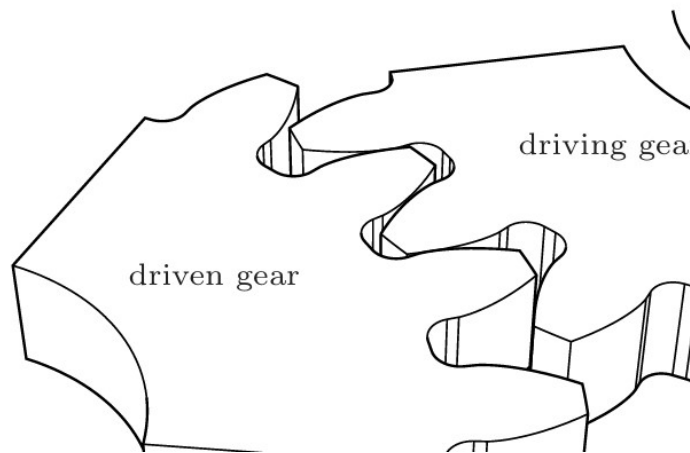


Рисунок 4.7 - Контакт прямозубих циліндричних зубчастих коліс

Корінь зуба зазнає сумісної дії як дотичних, так і згинальних напружень [15]. У зв'язку з максимальним рівнем напружень, що виникають у корені зуба, інтенсивність напруженого стану та експлуатаційна довговічність зуба значною мірою залежать від міцності кореневої частини [17]. Крім того, втомне руйнування, яке часто зароджується саме в корені зуба [16], виникає в цій зоні внаслідок багаторазової дії циклічних напружень, що перевищують границю текучості матеріалу. Це може призводити до серйозних пошкоджень, порушення правильного передавання навантаження між зубчастими колесами та, як наслідок, до відмови всієї зубчастої передачі.

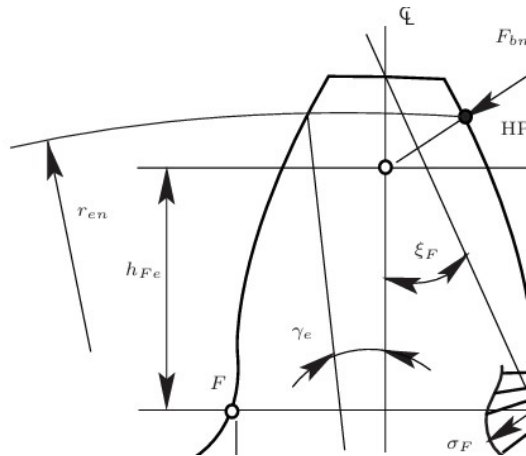


Рисунок 4.8 – Визначення критичного перерізу відповідно до стандарту ISO 6336

Властива прямозубим циліндричним колесам циклічна симетрія дає змогу виконувати аналіз лише окремих сегментів зубчастого колеса, оскільки повне скінченно-елементне моделювання всього колеса є надмірно ресурсомістким. У ряді досліджень для аналізу напружень використовується лише один сегмент прямозубого колеса [16]. Оскільки в даній роботі основну увагу зосереджено на зменшенні напружень у корені зуба, для розрахунків використано три сегменти зубчастого колеса, що дозволяє уникнути обрізання моделі надто близько до заокруглення кореня зуба.

Граничні умови для побудованої скінченно-елементної моделі задано шляхом фіксації всіх вузлів на внутрішньому вінці та на обох радіальних граничних перерізах. Відповідно до стандартів ISO 6336, напруження в корені зуба визначаються відносно одиничного номінального навантаження, прикладеного в точці HPSTC. У зв'язку з цим до скінченно-елементної моделі прикладається одиничне номінальне навантаження у вигляді зовнішньої сили в точці HPSTC, рівномірно розподіленої вздовж лінії контакту по ширині зуба. Замість прямого моделювання контакту між спряженими зубчастими колесами застосування навантаження в точці HPSTC для визначення напружень у корені зуба є стандартним і точним підходом. Такий підхід дозволяє уникнути складних контактних граничних умов у скінченно-елементній моделі та суттєво скоротити ітераційний цикл розрахунків. Для аналізу втомних напружень використовується скінченно-елементна

модель зуба з корневим заокругленням як кругової форми, так і оптимального профілю, апроксимованого кубічним сплайном.

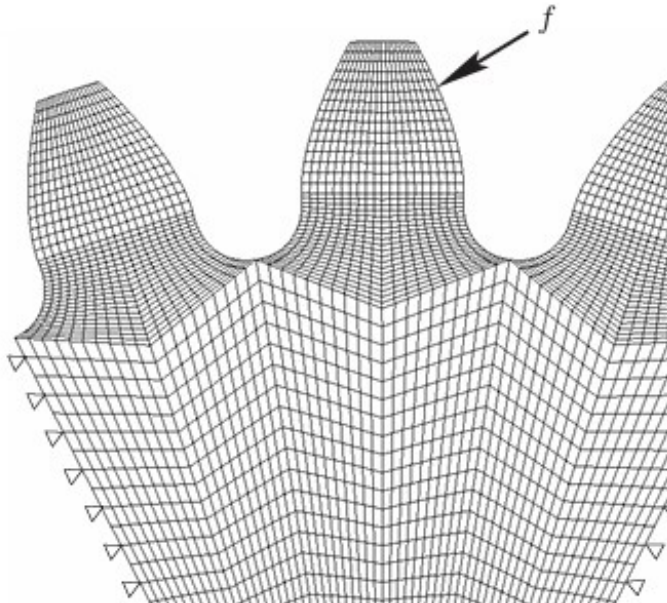


Рисунок 4.9 – Скінченно-елементна сітка зуба зубчастого колеса з граничними умовами для моделі з кубічним сплайном; кількість елементів — 3240, кількість вузлів – 6862

За результатами нелінійного аналізу, виконаного в програмному середовищі SolidWorks Simulation, на рис. 4.10 наведено розподіли еквівалентних напружень за Мізесом для всього зуба зубчастого колеса з трохоїдальним, круговим та корневим профілем, апроксимованим кубічним сплайном, відповідно. Встановлено, що для всіх досліджених варіантів максимальні еквівалентні напруження за Мізесом виникають в одній і тій самій області — критичному перерізі, який у межах даного аналізу розташований на навантаженій (розтягнутій) стороні зуба. При цьому максимальне значення напружень для профілю з кубічним сплайном є на 18 % та 14 % меншим порівняно з відповідними значеннями для трохоїдального та кругового профілів. Отримані результати скінченно-елементного аналізу в SolidWorks Simulation підтверджують ефективність оптимізованої форми кореневого профілю щодо зменшення концентрації напружень, що відіграє суттєву роль у підвищенні

довговічності зуба як на стадії ініціації тріщини, так і на стадії її подальшого поширення.

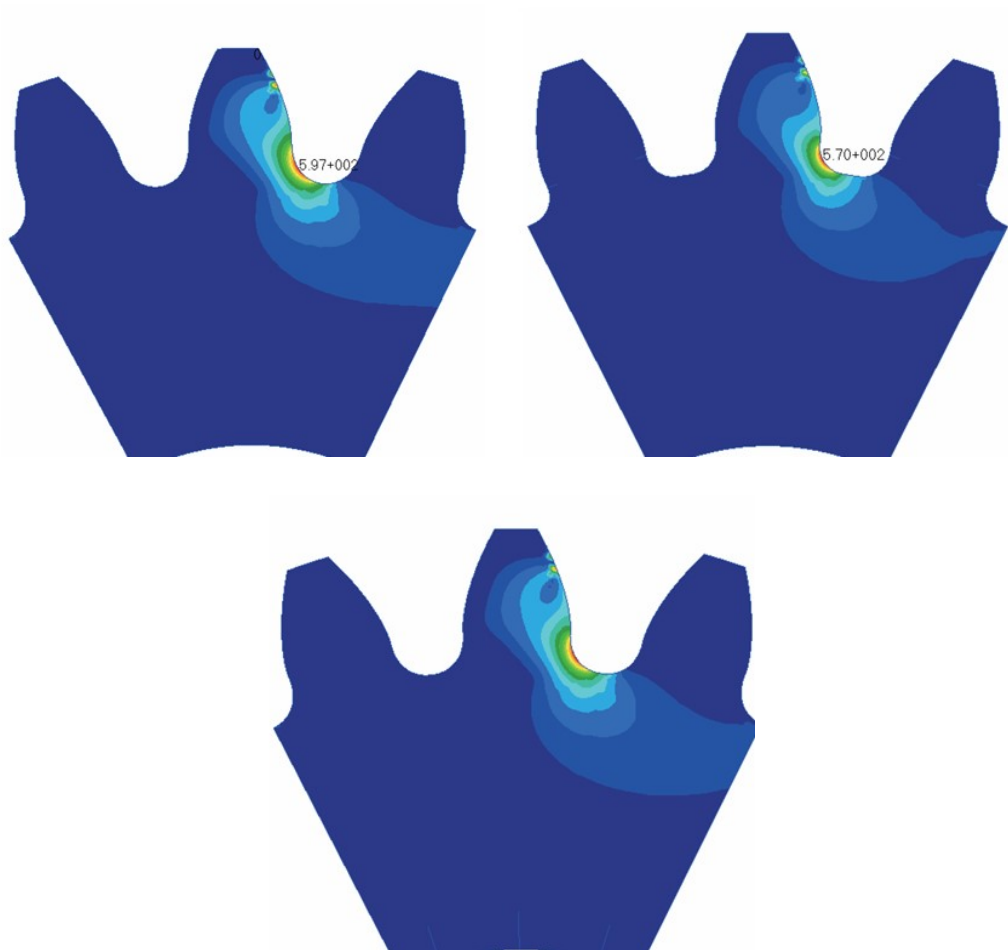


Рисунок 4.10 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом для профілю кореня зуба: (а) трохоїдальний профіль; (б) профіль з круговим заокругленням; (в) профіль з кореневим заокругленням, апроксимованим кубічним сплайном, МПа

Згідно з результатами, наведеними на рис. 4.10, ініціація тріщини відбувається в критичному перерізі, де реалізуються максимальні еквівалентні напруження за Мізесом. Скінченно-елементну модель тріщини в критичному перерізі кореня зуба показано на рис. 4.11. Для забезпечення точного визначення впливу розміру тріщини на коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) у зоні вершини тріщини застосовано локально уточнену сітку. Для різних варіантів профілю кореня зуба виконано серію чисельних розрахунків у середовищі

SolidWorks Simulation з метою визначення КІН для комбінованих втомних режимів за різних довжин тріщини.

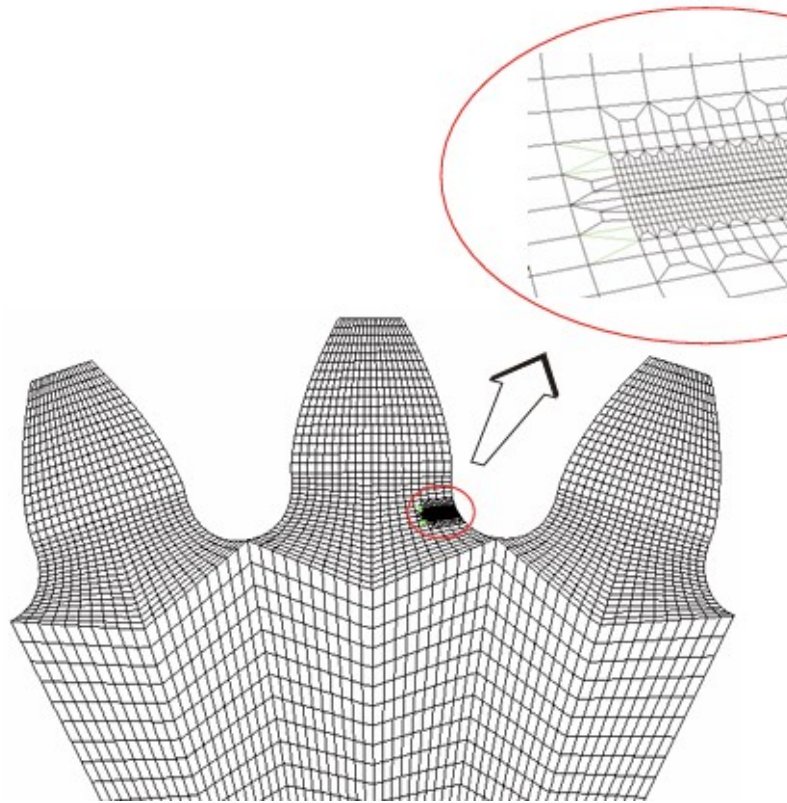


Рисунок 4.11 – Скінченно-елементну модель тріщини в критичному перерізі кореня зуба.

Коефіцієнт інтенсивності напружень визначається через нормальні розтягувальні та дотичні напруження у вершині тріщини, що проілюстровано на рис. 4.12. Для кожного розрахункового кроку виконувалося оновлення сітки в області вершини тріщини з використанням спеціальних (сингулярних) елементів доти, доки тріщина не досягала критичної довжини. Траєкторія поширення тріщини прогнозується за кутом її поширення відповідно до рівняння [17].

Граничні умови для побудованої скінченно-елементної моделі задавалися шляхом фіксації всіх вузлів на внутрішньому вінці та на обох радіальних граничних перерізах. Відповідно до вимог стандартів AGMA 918-A93 та ISO 6336, напруження в корені зуба визначається відносно одиничного номінального навантаження,

прикладеного в точці HPSTC. У зв'язку з цим до скінченно-елементної моделі прикладалося одиничне номінальне передавальне навантаження у вигляді зовнішньої сили в точці HPSTC, рівномірно розподіленої вздовж лінії контакту по ширині зуба.

Замість безпосереднього моделювання контакту між спряженими зубчастими колесами, застосування навантаження в точці HPSTC для визначення напружень у корені зуба є стандартним і достатньо точним підходом. Такий спосіб дозволяє уникнути складних контактних граничних умов у скінченно-елементній моделі та зменшити обчислювальні витрати при виконанні розрахунків. Для аналізу втомних напружень використано скінченно-елементні моделі зуба з круговим заокругленням кореня та з оптимізованим кореневим профілем, апроксимованим кубічним сплайном.

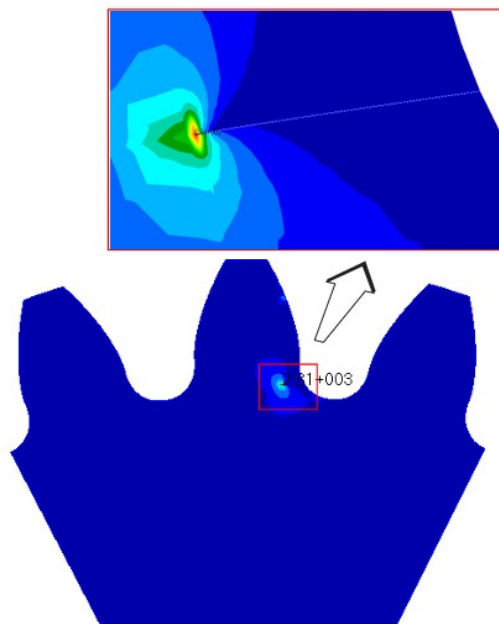


Рисунок 4.12 – Концентрація напружень у вершині тріщини, МПа

За результатами розширених чисельних досліджень, виконаних у програмному середовищі SolidWorks Simulation, встановлено, що найбільше поширення тріщини спостерігається для варіанта з кутом тиску 25° , тоді як найменше — для варіанта з від'ємним профільним зміщенням. Збільшення кута тиску та застосування додатного профільного зміщення сприяє підвищенню втомної

довговічності прямокутних зубчастих коліс. Крім того, збільшення ширини зуба істотно підвищує їх втомну довговічність.

У роботі розглянуто підхід до проектування профілю кореня зуба прямокутного циліндричного зубчастого колеса та проаналізовано його вплив на напружений стан і довговічність зуба. Оптимізацію профілю кореня зуба виконано з використанням непараметричних кубічних сплайнів, що дозволило зменшити кількість проектних змінних і спростити процедуру моделювання. Запропонований профіль забезпечує G2-неперервність у точках сполучення, на відміну від традиційного трохойдального профілю та профілю з круговим заокругленням.

Відповідно до вимог стандартів AGMA та ISO, за однакових умов навантаження, прикладеного в точці HPSTC, у середовищі SolidWorks Simulation визначено еквівалентні напруження за Мізесом у критичному перерізі зуба. Результати розрахунків показали, що для профілю, апроксимованого кубічним сплайном, максимальні напруження є меншими порівняно з трохойдальним і круговим профілями. Додатково проаналізовано розподіл напружень уздовж кореня зуба шляхом оцінювання значень напружень у вузлах скінченно-елементної моделі. Встановлено, що для оптимізованого профілю характерний більш плавний розподіл напружень, що сприяє зменшенню концентрації напружень у корені зуба.

Матеріалом зубчастого колеса прийнято високоміцну леговану сталь 42CrMo4. Дослідження впливу властивостей матеріалу та поверхневої обробки на довговічність у межах даної роботи не проводилося. Втомний процес у критичному перерізі розглядається як сукупність фази ініціації тріщини $N_iN_{iN_i}$ та фази її поширення $N_pN_{pN_p}$, при цьому основну частку загального ресурсу становить фаза ініціації. Завдяки зниженню рівня напружень у критичному перерізі та більш рівномірному їх розподілу вздовж кореня зуба профіль з кубічним сплайном забезпечує збільшення кількості циклів як до ініціації тріщини, так і до її подальшого поширення. Оцінювання процесу поширення тріщини виконано із застосуванням закону Паріса в межах лінійної механіки руйнування.

Отримані результати показують, що розглянутий підхід до формування профілю кореня зуба дозволяє знизити рівень напружень і підвищити розрахункову довговічність прямозубих зубчастих коліс за заданих умов навантаження.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Система управління охороною праці

Складовою частиною системи управління виробництвом є управління охороною праці. Для реалізації конституційно та законодавчо гарантованих прав працівників на охорону праці, а також для забезпечення виконання їхніх обов'язків у цій сфері на державному, регіональному, галузевому й виробничому рівнях, створюється та забезпечується ефективне функціонування системи управління охороною праці (далі СУОП).

СУОП це тісна сукупність та сумісна взаємодія об'єкта та суб'єкта управління, їх взаємодія проходить з метою досягнення головної мети охорони праці, а саме, при наявному прийнятному ризику та мінімальних витрат людських ресурсів забезпечити максимальну ефективну продуктивність праці та конкурентоспроможність виготовленої продукції.

СУОП є важливою складовою загальної системи управління трудовою діяльністю працівників, а в ширшому розумінні частиною системи управління безпекою їхньої життєдіяльності. Вона має багаторівневу ієрархічну структуру, що охоплює державний, галузевий, регіональний і виробничий рівні. При цьому регіональний рівень поділяється на кілька підрівнів відповідно до адміністративно-територіального устрою області: районний, міський, районний у містах та селищний. На галузевому рівні може бути підрівень об'єднання підприємств (корпорацій, холдингів, акціонерних товариств тощо), якому підприємства делегують деякі повноваження в галузі охорони праці [18].

Виробничий рівень СУОП – це рівень безпосередньо підприємств, установ, організацій, закладів незалежно від форм власності та видів їх діяльності.

Спрощена блок-схема СУОП будь-якого рівня наведена на рис. 4.1.

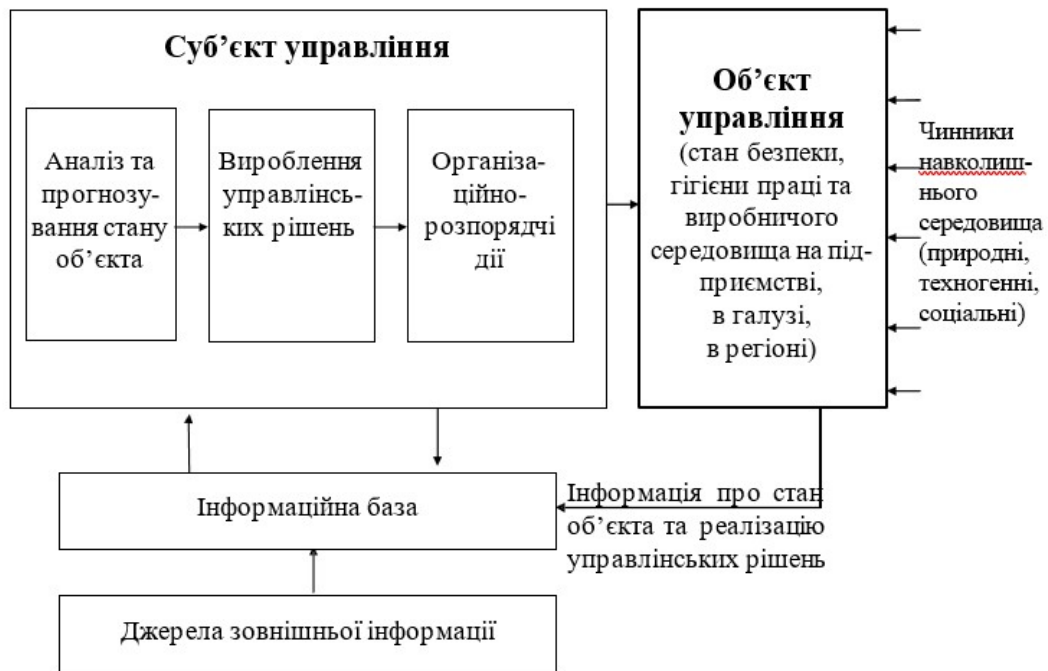


Рисунок 4.1. Загальна блок-схема СУОП

Суб'єктами управління на регіональному рівні виступають обласні та районні державні адміністрації, а також органи місцевого самоврядування в межах власних і делегованих повноважень, визначених Законом України «Про місцеве самоврядування». Крім того, до них належать регіональні (територіальні) підрозділи центральних органів виконавчої влади, уповноважені здійснювати управління, нагляд і контроль у сфері охорони праці, пожежної, техногенно-екологічної безпеки та реагування на надзвичайні ситуації. Суб'єктами управління охорони праці на виробничому рівні є роботодавець або уповноважений ним орган, служба охорони праці, комісії з питань охорони праці, пожежної безпеки, безпеки дорожнього руху, інші функціональні підрозділи, посадові особи і спеціалісти відповідно до вимог посадових інструкцій відносно обов'язків, прав, відповідальності та зав'язків за посадою в галузі охорони праці, а також працівники [18].

Об'єктом управління в СУОП на рівні регіональному є стан безпеки, гігієни праці та виробничого середовища на підприємствах області та регіону, а на виробничому рівні – стан охорони праці на робочих місцях, структурних

підрозділах безпосередньо окремого підприємства. Складовим елементом СУОП на усіх вказаних рівнях є інформаційна база, що формується джерелами внутрішньої та зовнішньої інформації. Сюди відносяться сукупність чинних законодавчих та нормативних актів з охорони праці, технічної, проектної, санітарно-гігієнічної, кошторисної, обліково-контрольної, звітної документації та інших видів інформації. Стосовно конкретної особи на робочому місці – це поточна інформація про події та засоби виробництва, що зберігається в оперативній (короткочасній) пам'яті людини і потрібна при виконанні тієї чи іншої негайної дії, а також обсяг відомостей, знань, умінь, якими володіє людина і зберігає у своїй пам'яті. Організація накопичення інформації, яка використовується для аналізу та прийняття рішення щодо подальших дій, є однією з функцій СУОП.

На стан охорони праці впливають небезпечні та шкідливі чинники виробничого середовища, методи роботи, організація праці та відпочинку працівників, тобто внутрішні фактори, а також зовнішні чинники техногенного чи природного походження, що при певних обставинах можуть погіршити умови праці, спричинити виникнення надзвичайних ситуацій, катастроф та аварій.

Під час розв'язання будь-якого управлінського завдання обов'язковими складовими є аналіз або прогнозування стану безпеки об'єкта з використанням наявної інформаційної бази, формування управлінських рішень, їх узгодження та визначення форм організаційно-розпорядчих заходів. Безпосереднє впровадження прийнятих управлінських рішень здійснюється на об'єкті управління.

СУОП представляє собою систему зі зворотнім зв'язком. Матеріали та аналіз про стан охорони праці, виконання управлінських рішень потрапляє до інформаційної бази суб'єкта управління і стає фундаментом для розробки нових рішень з покращення стану охорони праці. Управління охороною праці має комплекс аспектів: правовий, організаційний соціально-економічний, технічний, медичний, екологічний, етичний та психологічний [18].

Правовий аспект полягає в розробці, поширенні та обов'язковому виконанні законодавчих документів та нормативних актів, що регулюють державні, галузеві та виробничі відносини у сфері охорони праці, встановлюють критерії безпеки та

нешкідливості для людини факторів виробничого середовища та встановлюють вимоги по забезпеченню оптимальних чи допустимих умов праці. Принципово-обов'язковий характер законодавства є фундаментом соціального порядку. Процес та правила виконання законодавчих норм повинні бути передбаченими на усіх рівнях системи стимулюючих і примусових заходів.

Соціально - економічний аспект охорони праці включає використання економічних методів її управління; пільги і компенсації за роботу у важких та шкідливих умовах праці; обов'язкове загальнодержавне соціальне страхування працівників від нещасних випадків та професійних захворювань, обов'язкове відшкодування шкоди працівникам при ушкодженні стану їх здоров'я; встановлену тривалість робочого часу та часу відпочинку, працю окремих працівників, які мають підвищену вразливість (жінки, неповнолітні, інваліди) або тому, що, вони знаходяться під дією специфічних виробничих чинників (водії, шахтарі, та інші працівники на роботах, пов'язаних з небезпеками); безкоштовне забезпечення працівників спецодягом, спецвзуттям, засобами індивідуального захисту, мийними знезаражуючими та знешкоджуючими засобами на роботах, пов'язаних з впливом шкідливих і небезпечних умов праці, та роботах, пов'язаних із забрудненням або такими, що проводять у несприятливих температурних умовах.

Технічний аспект полягають в проєктуванні та будівництві об'єктів, споруд і комунікацій, а також у впровадженні технологій, матеріалів і продукції, що спрямовані на збереження здоров'я та безпеки людини. Вони мають забезпечувати можливість повної відмови від небезпечних для здоров'я навантажень або враховувати гігієнічні, антропометричні, психофізіологічні, соціологічні й естетичні вимоги, а також індивідуальні особливості людини, зокрема її фізичні вади.

Організаційний аспект полягає у формуванні та забезпеченні ефективної діяльності системи нагляду, управління й контролю за охороною праці на державному, регіональному рівнях, в галузях виробництва, на підприємствах та в їх структурних підрозділах. Він охоплює інформаційне й матеріальне забезпечення охорони праці, планування відповідних заходів, координацію дій персоналу,

упровадження раціональних режимів праці та відпочинку, досягнень науки і техніки, а також використання позитивного практичного досвіду.

Крім того, цей аспект пов'язаний із проведенням досліджень умов праці, атестацією робочих місць на відповідність нормативно-правовим актам, організацією розслідування, аналізу й обліку нещасних випадків, професійних захворювань та аварій, навчанням працівників, контролем і пропагандою питань охорони праці. До нього також належать підготовка наказів і розпоряджень, організація засідань, нарад, семінарів та інших організаційно-розпорядчих заходів. Організаційний аспект завжди є присутнім під час виконання будь-якої функції та завдання СУОП.

Медичний аспект охоплює організацію санітарно-епідеміологічного контролю на підприємствах, забезпечення санітарно-побутових умов та медичного обслуговування працівників у виробничій сфері, проведення профілактичних медичних оглядів і професійного відбору. Він включає комплексну оцінку впливу факторів виробничого середовища та трудового процесу на стан здоров'я працівників і їхніх нащадків, а також гігієнічне нормування небезпечних чинників фізичної, хімічної та біологічної природи.

Екологічний аспект передбачає створення сприятливих умов у навколишньому середовищі, що визначає базові показники виробничих умов праці. Наявність геохімічних, геофізичних та біологічних аномалій (зокрема бактеріального забруднення) в атмосфері міст, водоймах чи на земній поверхні погіршує стан виробничого середовища та побутових умов, у яких відбувається відновлення функцій організму працівника після трудової діяльності. Водночас несприятливі умови на робочих місцях, пожежі та аварії, пов'язані з викидами небезпечних речовин, становлять загрозу для здоров'я працівників, посилюють антропогенний тиск на довкілля та можуть спричинити надзвичайні екологічні ситуації. У таких випадках стає неможливим не лише функціонування підприємства чи ведення господарської діяльності, а й проживання населення на відповідній території.

Психофізіологічний аспект враховує психічні стани, процеси та властивості особистості в ході праці, її можливих процесів адаптації до нових умов виробничого середовища. Це проблеми виснаження, стомлення, отримання стереотипів безпечної поведінки, набуття інформації в процесі праці, вимог до якісної роботи пам'яті, уваги, мислення, психомоторики для різних видів дій, діяльностей чи навіть інших професій.

Важливе значення при управлінні охороною праці мають психологічні аспекти, що передбачають формування та підтримку позитивних мотивів трудової діяльності, зокрема мотиву безпеки як ключового чинника у запобіганні небезпечним ситуаціям та виробничим травмам. Він охоплює врахування емоційного стану працівника, профілактику стресів, що можуть виникати через несприятливі умови праці або суперечність між вимогами та індивідуальними можливостями. Важливим є також виховання необхідних вольових якостей для ефективної роботи та створення на підприємстві сприятливого психологічного клімату, який сприяє гуманізації праці та забезпечує фізичне, психічне й соціальне здоров'я працівників. Визначається роль певних психічних властивостей особистості та рис характеру на реакції та дії працівників, а значить і стан безпеки. Це такі, як легковажність, недбалість, неухважність, неврівноваженість, недисциплінованість тощо. Професійний добір сприяє виявленню та гармонізації особливих властивостей психіки людини до вимог трудового процесу. Психологічний аспект охоплює негативні наслідки, які спричиняє кожен нещасний випадок чи професійне захворювання для постраждалого, його родини та близького оточення. Пережита небезпека може стати причиною розвитку травматичного неврозу або стресового стану. Масове поширення виробничого травматизму, у свою чергу, формує несприятливий психологічний клімат у певних соціальних групах та суспільстві загалом.

5.2 Аналіз та розрахунок виробничого освітлення

5.2.1 Значення виробничого освітлення

Раціональне освітлення робочої зони та робочих місць є одним із ключових чинників, що забезпечують сприятливі умови праці. Правильно спроектоване й організоване освітлення виробничих приміщень дозволяє працівникам тривалий час чітко розрізняти предмети та інструменти без надмірного зорового навантаження. Це сприяє зменшенню ризику виробничого травматизму та професійних захворювань органів зору. Натомість недостатній рівень освітленості призводить до перенапруження очей, ускладнює розпізнавання деталей оброблюваних предметів, знижує темп і якість виконання роботи та негативно впливає на загальний стан працівника, що стає однією з причин низької продуктивності праці.

Основні функції освітлення при металорізальних роботах: забезпечення точності обробки, металорізальні операції потребують високої зорової концентрації, якісне освітлення дозволяє чітко бачити ріжучу кромку інструмента, поверхню деталі та лінії розмітки, що зменшує кількість браку.

Недостатнє світло часто стає причиною виробничих травм. Добре організоване освітлення допомагає своєчасно помічати небезпечні ситуації, рухи інструментів та обертання деталей. Раціональне освітлення знижує зорове навантаження, запобігає швидкій втомі, головним болям та стресу. Це особливо важливо у багатозмінному режимі роботи, коли працівники можуть працювати в нічний час. Достатній рівень освітленості сприяє більшій швидкості виконання операцій, зменшує кількість помилок і підвищує загальну ефективність виробництва [18].

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла, та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

5.2.2 Розрахунок природного освітлення

Природне освітлення має значне фізіолого-гігієнічне значення для працюючих. Воно сприятливо впливає на органи зору, активізує фізіологічні процеси, стимулює обмін речовин та сприяє загальному розвитку організму. Сонячне випромінювання не лише зігріває, а й знезаражує повітря, очищуючи його від збудників багатьох хвороб, зокрема вірусу грипу. Крім того, природне світло чинить позитивний психологічний ефект, створюючи у працівників відчуття безпосереднього контакту з навколишнім середовищем.

Разом із тим, природне освітлення має і недоліки: воно змінюється залежно від часу доби, пори року та погодних умов, розподіляється нерівномірно по площі виробничого приміщення, а при неправильній організації може спричинити засліплення очей.

За способом надходження світла природне освітлення поділяється на:

- бокове здійснюється через віконні прорізи у зовнішніх стінах;
- верхнє – через світлові ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях;
- комбіноване – це поєднання бокового та верхнього освітлення.

У механічному цеху, як правило поєднане і природне і штучне освітлення. Спроекуємо та розрахуємо природне освітлення у механічному цеху бічної системи. Природне освітлення чудово доповнює штучне, що в результаті забезпечує працівників необхідними умовами освітлення.

Вихідні дані для розрахунку:

- довжина приміщення механічного цеху $A = 36\text{м}$;
- ширина приміщення механічного цеху (ширина прогону) $B = 24\text{м}$;
- висота приміщення (до нижньої частини ферми перекриття) $H = 4\text{м}$;
- роботи, що виконуються в механічному цеху, відносяться до Шв розряду

зорових робіт.

Коефіцієнт відбиття стелі, стін та підлоги цеху прийняти відповідно [19]:

$$\rho_1 = 0,3$$

$$\rho_2 = 0,1$$

$$\rho_3 = 0,1$$

Нормоване значення КПО знаходиться за світлотехнічними таблицями за ДБН:

$$e_n = 1,5\%$$

m – коефіцієнт світлового клімату, $m = 0,85$ [19].

Звідси маємо:

Необхідну площу світлових прорізів визначаємо за формулою:

$$100 \cdot S_B / S_{\Pi} = (e_n \cdot K_3 \cdot \eta_0) / \tau_0 r_0 K_{\text{буд}} \quad (4.1)$$

де S_B – площа світлових прорізів при бічному освітленні;

S_{Π} – площа приміщення;

$$S_{\Pi} = 36 \cdot 24 = 864 \text{ м}^2$$

K_3 – коефіцієнт запасу, $K_3 = 1,5$ [19].

η_0 – світлова характеристика вікон при $A/B = 36/24 = 1,5$ та $H/B = 4/24 = 0,2$, маємо $\eta_0 = 3,8$ [19].

τ_0 – загальний коефіцієнт світло пропускання визначаємо за формулою

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5$$

де τ_1 – коефіцієнт, що враховує вид світло пропускнуго матеріалу, $\tau_1 = 0,8$ [19].

τ_2 – коефіцієнт, що враховує витрати світла в сплетіннях світлового прорізу, $\tau_2 = 0,75$ [19].

τ_3 - коефіцієнт, що враховує витрати світла в несучих конструкціях, $\tau_3 = 0,9$ [19].

τ_4 - коефіцієнт, що враховує втрати світла в сонцезахисних пристроях, $\tau_4 = 1$ [9].

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла в захисній сітці, $\tau_5 = 0,9$ [19].

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищує КПО при, бічному освітленні, завдяки світлу, відбитому від поверхонь приміщення для його визначення підраховуємо середній коефіцієнт відбиття [19]:

$$\rho_{\text{сер.}} = \frac{(\rho_1 + \rho_2) \cdot S_{\Pi} + \rho_3 \cdot S_c}{2 \cdot S_{\Pi} + S_c}$$

де S_c – сумарна площа стін, що відбиває світло

$$S_c = 2 \cdot (A+B) \cdot H = 2 \cdot (36+24) \cdot 4 = 240 \text{ м}^2$$
$$\rho_{\text{сер.}} = \frac{(0,3 + 0,1) \cdot 216 + 0,1 \cdot 240}{2 \cdot 216 + 240} = 0,16.$$

$K_{\text{буд}}$ – коефіцієнт, що враховує затінення вікон, конфронтуючими будинками, $K_{\text{буд}} = 0,2$ [19].

Отже значення усіх необхідних коефіцієнтів уже є, тому можна розраховувати сумарну розрахункову площу світлових прорізів:

$$S_v = \frac{S_n \cdot e_n \cdot K_z \cdot \eta_o \cdot K_{\text{буд}}}{100 \cdot \tau_o \cdot r_1} = \frac{864 \cdot 0,76 \cdot 1,5 \cdot 3,8 \cdot 1,2}{100 \cdot 0,58 \cdot 1} = 77,4 \text{ м}^2.$$

Зробивши розрахунок, було знайдене значення необхідної площі вікон при бічній системі металообробного цеху

5.2.2 Розрахунок штучного освітлення

Штучне освітлення поділяється на загальне та комбіноване. Загальне освітлення, представляє собою освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення, як правило, не нижче 2,5 м над підлогою рівномірно - це загальне рівномірне освітлення чи з урахуванням, як і де розташовані робочі місця, таке освітлення є загальним локалізованим освітленням.

Комбінована система освітлення - сукупність загального та місцевого освітлення. Місцеве освітлення утворюється використанням світильників, що розповсюджують світловий потік безпосередньо на робочих поверхнях. Використовувати в робочих приміщеннях тільки лише місцевого освітлення не дозволяється з точки зору безпеки виробничого травматизму та професійних захворювань.

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Робоче освітлення призначене для забезпечення виробничого процесу, переміщення людей, руху транспорту і є обов'язковим для всіх виробничих приміщень.

Аварійне освітлення використовується для продовження роботи у випадках, коли раптове відключення робочого освітлення та пов'язане з ним порушення нормального обслуговування обладнання може викликати вибух, пожежу, отруєння людей, порушення технологічного процесу. Мінімальна освітленість робочих поверхонь при аварійному освітленні повинна складати 5 % від нормованої освітленості робочого освітлення, але не менше 2 лк.

Евакуаційне освітлення призначене для забезпечення евакуації людей з приміщень при аварійному відключенні робочого освітлення, його необхідно влаштовувати у місцях, небезпечних для проходу людей; у приміщеннях допоміжних будівель, де можуть одночасно перебувати більше 100 чоловік; у проходах; на сходових клітках, у виробничих приміщеннях, у яких працює більше 50 чоловік. Мінімальна освітленість на підлозі основних проходів та на сходах при евакуаційному освітленні повинна бути не менше 0,5 лк, а на відкритих майданчиках — не менше 0,2 лк [20]. .

Охоронне освітлення влаштовується вздовж меж території, яка охороняється в нічний час спеціальним персоналом. Найменша освітленість повинна бути 0,5 лк на рівні землі. Чергове освітлення передбачається у неробочий час, при цьому, як правило, використовують частину світильників інших видів штучного освітлення.

Розрахунок та проектування системи штучного освітлення. Розрахунок штучного освітлення здійснюється методом коефіцієнта світлового потоку.

Розв'язок:

Виходячи із конструктивних міркувань для освітлення механічного цеху приймаємо світильник з люмінесцентними лампами типу ПВЛМ-Д-2х80 [19].

Як джерела світла для світильників приймаємо люмінісцентні лампи типу ЛБ 80х2, потужністю $P_{л}=80$ Вт, та розрахунковий світловий потік $\Phi_{л}=5200$ лм [19].

Індекс приміщення визначаємо за формулою:

$$i = (A \cdot B) / ((A+B) \cdot H_p) = (36 \cdot 24) / ((36+24) \cdot 2,5) = 5,7$$

де А, В – відповідно довжина та ширина в механічному цеху;

H_p – висота розміщення світильників над робочою поверхнею, визначаємо за формулою:

$$H_p = H - (H_{p,m} + H_{\phi}) = 4 - (1,2 + 0,3) = 2,5 \text{ м.}$$

Визначаємо значення нормованої освітленості для приміщення механічного цеху, де розряд зорових робіт є ІІІ, при використанні люмінесцентних ламп $E_n = 300$ [19].

Розрахункову кількість світильників, необхідних для освітлення механічного цеху, визначаємо за формулою:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{m \cdot \Phi_{л} \cdot \eta} \quad (4.2)$$

$$N = \frac{300 \cdot 864 \cdot 1,3 \cdot 1,1}{2 \cdot 5200 \cdot 0,51} = 69,8.$$

де K_3 – коефіцієнт запасу $K_3 = 1,5$ [19].

S – площа приміщення, яке освітлюється, $S = 36 \cdot 24 = 864 \text{ м}^2$.

Z – коефіцієнт мінімальної освітленості при використанні ламп люмінесцентних, $Z = 1,1$ [19].

n – кількість ламп у світильнику, $n = 2$.

η – коефіцієнт використання світлового потоку ламп $\eta = 0,61$ [19].

Приймаємо розрахункову кількість світильників в кількості $N_{\phi} = 72$ шт.

Приймаємо розміщення світильники в механічному цеху в чотири ряди по 18 світильників в ряду.

Визначаємо фактичну освітленість за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{E_n \cdot N_{\phi}}{N} \quad (4.3)$$

$$E_{\phi} = (300 \cdot 72) / 70 = 308 \text{ лк}$$

Перевіримо виконання умови:

$$[E_{\min}] \leq E_{\Phi} \leq [E_{\max}],$$

де E_{\min} , E_{\max} – відповідно мінімальне та максимальне допустиме значення освітленості.

Оскільки

$$E_{\min} = 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ лк}$$

$$E_{\max} = 1,2 \cdot 300 = 360 \text{ лк}$$

Бачимо, що умова зазначена вище виконується: $270 \leq 308 \leq 360$

Розрахуємо потужність світильної системи $P_{\text{заг}}$:

$$P_{\text{заг}} = N_{\Phi} \cdot m \cdot P_{\text{л}} = 72 \cdot 2 \cdot 80 = 11520 \text{ Вт}$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність одної лампи;

m – кількість ламп;

N_{Φ} – фактична кількість світильників.

Розрахуємо питому потужність освітленої системи:

$$P_{\text{пит}} = P_{\text{заг}} / S = 11520 / 864 = 13,3 \text{ Вт}$$

Розрахована кількість світильників забезпечить необхідні умови освітлення при роботі в металообробному цеху, дасть можливість зменшити кількість професійних захворювань та можливого травматизму.

Усі системи як штучного так і природного освітлення повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам:

- освітлення на робочій поверхні має відповідати характеру зорової роботи та не бути нижчим за встановлені нормативні значення,
- джерела світла та предмети в полі зору працівника не повинні спричиняти засліплення,
- забезпечувати стабільний і рівномірний рівень освітленості у виробничих зонах, щоб уникнути частих зорових переадаптацій,
- освітлення не повинно створювати різких або глибоких тіней, особливо рухомих, на робочій поверхні.
- освітлені поверхні мають мати достатній контраст для чіткого розпізнавання деталей.

- система освітлення не повинна генерувати небезпечні або шкідливі виробничі чинники, такі як шум, надмірне теплове випромінювання, ризик ураження електричним струмом, пожежна чи вибухова небезпека,
- освітлювальні установки мають бути простими в обслуговуванні, надійними, економічними та естетично привабливими [20].

ВИСНОВОК

У кваліфікаційній роботі на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі “Фланець FL-0630-0220-M05” з використанням верстатів з ЧПК» розроблено та обґрунтовано раціональний технологічний процес механічного оброблення деталі з урахуванням вимог до точності, якості поверхонь і продуктивності виробництва.

У ході виконання роботи проаналізовано конструкцію деталі та технічні умови на її виготовлення, визначено функціональне призначення поверхонь і обрано оптимальні технологічні бази. На основі проведеного аналізу розроблено маршрут механічного оброблення з використанням сучасного металорізального обладнання з числовим програмним керуванням, підібрано раціональні режими різання, інструмент і оснащення.

Для підвищення ефективності виробництва спроектовано механізований пристрій з пневмоприводом для закріплення заготовки під час виконання вертикально-фрезерної операції, а також контрольно-вимірювальний пристрій для забезпечення необхідної точності контролю розмірів. Застосування верстатів з ЧПК дозволило скоротити допоміжний час, підвищити стабільність якості оброблення та забезпечити повторюваність результатів.

У роботі виконано віртуальне моделювання технологічного процесу, підготовлено керуючу програму для верстата з ЧПК та проведено аналіз напружено-деформованого стану деталі з використанням програмних засобів комп'ютерного моделювання. Отримані результати підтверджують достатню міцність і працездатність деталі за заданих умов експлуатації.

Розроблений технологічний процес відповідає вимогам сучасного машинобудівного виробництва та може бути рекомендований для впровадження у серійне виготовлення деталі з річною програмою випуску 300 штук.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Багрій, В. Г., Коржик, С. М., Лисенко, В. І. "Технологія машинобудування". Навчальний посібник. – Київ: Наукова думка, 2018. – 432 с.
2. Зайцев, А. М. "Основи проектування технологічних процесів машинобудування". – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 300 с.
3. Ляшенко, О. В., Серeda, В. П. "Методи аналізу та оптимізації технологічних процесів". – Львів: Вид-во ЛНУ ім. І. Франка, 2017. – 356 с.
4. Григоренко, Ю. М. "Технологія обробки металів різанням". – Дніпро: ДНУ, 2019. – 290 с.
5. ДСТУ EN 13788:2008. Металообробні верстати. Безпека. Верстати токарні багатошпиндельні автоматичні. – Київ: Держстандарт України, 2008.
6. ДСТУ ISO 6309:2007. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007.
7. Ніконов, П. М. "Механіка матеріалів та основи конструювання в машинобудуванні". – Одеса: ОНМУ, 2015. – 275 с.
8. Гуленко, І. П. "Абразивна обробка поверхонь: нові підходи". Стаття. – Журнал "Машинобудівні технології", 2021. – №3. – С. 45–56.
9. Захаренко, О. Г. "Системний підхід до організації технологічних процесів". – Харків: ХПІ, 2020. – 315 с.
10. Петров, М. І. "Прогресивні технології в машинобудуванні". – Київ: Політехніка, 2018. – 420 с.
11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – Київ: Міністерство праці та соціальної політики України, 1998.
12. Титов, С. Г. "Моделювання процесів металообробки". – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 238 с.
13. Шаповалов, К. А. "Основи автоматизації технологічних процесів у машинобудуванні". – Харків: УкрНДІАТ, 2021. – 360 с.
14. Шевченко, В. М., Дубовик, Р. С. "Комп'ютерне моделювання технологічних процесів у машинобудуванні". – Київ: Політехніка, 2020. – 410 с.

15. Z. Wang, N. Zhang, D. Dong, and X. Chen, “Analysis of the influence of fillet curves on gear bending strength based on space contact,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 155-156, no. 2, pp. 1203–1207, 2012.
16. *Understanding Spur Gear Life TRSM0913. Service Manual*, Eaton Corporation, 2011.
17. A. Kapelevich and Y. Shekhtman, “Tooth fillet profile optimization for gears with symmetric and asymmetric teeth,” *Gear Technology*, pp. 73–79, September/October, 2009.
18. Пістун І. П. Охорона праці в галузі машинобудування : навчальний посібник / І. П. Пістун, Р. Є. Стець, І. О. Трунова. Суми : Університетська книга, 2025. - 556 с.
19. Світлотехнічні розрахунки: навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Можаровська, В. С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
20. Технологія світлотехнічного виробництва : навч. посібник / Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, О. М. Діденко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 147 с.