

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі
Назва теми

«Вал-шестерня 5154-18-22-А» 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

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.25.04.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група ПМТм-24-1
Шифр


Підпис


Богдан ГОНЧАР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

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


Підпис

Віталій ТКАЧУК
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 « 25 » 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

Гончару Богдану Валентиновичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК
керівник роботи Ткачук Віталій Павлович, к.т.н., доцент

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

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

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 10 грудня 2025

3 Вихідні дані до проекту (роботи) кресленик деталі вал-шестерня 5154-18-22-А та технічні вимоги до її виготовлення, обсяг випуску 5 тис.

4 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 A1); графотехнологія (1 лист A1); кресленик карти наладки (1 лист A1); кресленик верстатного пристрою (1 лист A1); кресленик контрольного пристрою (1 лист A1)

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

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

7 Дата видачі завдання 2.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ		
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

Богдан ГОНЧАР
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Завідувачу кафедри

Віталія ТКАЧУК

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

Богдану ТОМЧАРУ

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.

22.12.25

дата



підпис

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

Назва кваліфікаційної роботи Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК
 Автор Гончар Богдан Валентинович
 Освітня програма Технології машинобудування
 Рівень вищої освіти магістр
 Спеціальність 131 Прикладна механіка
 Науковий керівник Ткачук Віталій Павлович

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

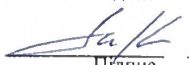
Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

РЕЦЕНЗІЯ

на дипломний проект студента Гончар Б. В.
Тема проекту: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі
«Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК

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

У дипломному проекті студент проаналізував конструкцію обраної деталі, її технологічність та визначив тип виробництва.

Проревів економічне обґрунтування та вибрав метод виготовлення заготовки та на основі цього був розроблений маршрутний і технологічний процес механічного оброблення деталі вал-шестерня з використанням сучасного устаткування з ЧПК. Відповідно до завдання в роботі розраховано припуски на обробку, визначені режими різання, норми штучного часу. Всі представлені рішення щодо технологічного розділу підкріплені відповідними розрахунками і виконані на високому рівні.

В конструкторській частині розроблено конструкції пристроїв та спеціальний інструмент для операцій обробки. Всі конструкторські розробки 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 встановлені строки, у повному обсязі та на достатньому технічному рівні і заслуговує оцінки «добре».

Рецензент: _____

О.В. Духа, зоб.конт. ТАМ
Дтн, ЧЗОР

« 24 » « 12 » 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Гончар Богдан Валентинович на захист дипломного проєкту (роботи)
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-A» із застосуванням верстатів з ЧПК

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

Декан факультету



ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

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

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 16,67 %, задовільно 83,33 %.

шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 6,67 %, С 13,33 %, D 33,33 %, E 46,67 %.

Методист факультету

[Signature]

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Богдан Гончар вчасно приступив до виконання майстерської роботи та систематично працював над її виконанням. Виявив ґрунтовні знання та уміння вирішувати нові для нього інженерні задачі. Дипломна робота виконана згідно із завданням та заслуговує оцінки

Оцінка дипломного проєкту (роботи)

"добре"

Керівник дипломного проєкту

[Signature]

(підпис)

В. Трошук

(ім'я, прізвище)

" 25 " 12 2025 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

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

Завідувач кафедри

технологія машинобудування

(назва)

[Signature] В. Трошук

(підпис, ім'я, прізвище)

" 25 " 12 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК

У дипломній роботі розглядається розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК). Матеріалом деталі є сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015, що забезпечує необхідну механічну міцність і зносостійкість. Дефініції поверхонь деталі мають чітко визначені допуски: валова частина $\varnothing 30k6$ з високою точністю посадки, точна поверхня $\varnothing 12h12$ з більш жорсткими допусками, зовнішня різьба М24, що є функціональним з'єднувальним елементом, а також конічна поверхня під зуби, що слугує базовою для зубчастого вінця.

Зубчастий вінець деталі має модуль $m = 2,5$ та кількість зубів $Z = 21$, що визначає точність і функціональність передачі крутного моменту. Для виготовлення деталі запропоновано використовувати автоматичний двоколонний стрічкопильний верстат Actual Power H-300HA для первинного розкрою матеріалу, токарний верстат з ЧПК DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II для обробки валових та різьбових поверхонь, а також шліцефрезерний верстат Mazak INTEGREX i-200S AG для обробки зубчастого вінця.

Розроблені технологічні операції забезпечать високу точність виготовлення деталі, оптимізацію витрат часу та ресурсів, а також можливість досягнення високої якості продукції при використанні сучасного обладнання з ЧПК. Виконана розробка є важливим етапом для підвищення ефективності виробничих процесів у машинобудуванні та відповідає вимогам сучасних стандартів.

Автор роботи: Богдан ГОНЧАР

/Підпис/

2025 р.
Дата

ABSTRACT:

Topic of work: Development of a technological process for manufacturing a part "Shaft-gear 5154-18-22-A" using CNC machines

The thesis considers the development of a technological process for manufacturing the part "Shaft-gear 5154-18-22-A" using numerically controlled (NC) machines. The material of the part is steel 40X according to DSTU 7806:2015, which provides the necessary mechanical strength and wear resistance. The surface definitions of the part have clearly defined tolerances: a shaft part $\text{Ø}30\text{k}6$ with high precision fit, a precision surface $\text{Ø}12\text{h}12$ with tighter tolerances, an external thread M24, which is a functional connecting element, as well as a conical surface for the teeth, which serves as the base for the gear ring.

The gear crown of the part has a module $m = 2.5$ and the number of teeth $Z = 21$, which determines the accuracy and functionality of torque transmission. For the manufacture of the part, it is proposed to use an automatic two-column band saw machine Actual Power H-300HA for primary cutting of the material, a CNC lathe DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II for machining of rough and threaded surfaces, as well as a Mazak INTEGREX i-200S AG slot milling machine for machining the gear ring.

The developed technological operations will ensure high precision of part manufacturing, optimization of time and resource consumption, as well as the ability to achieve high product quality when using modern CNC equipment. The completed development is an important step in increasing the efficiency of production processes in mechanical engineering and meets the requirements of modern standards.

The author of the work Bohdan HONCHAR

2025

/Signature/ Date

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	10
1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи	10
1.2 Загальна характеристика деталі	11
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі	12
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва	15
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	17
2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки	17
2.2 Розрахунок припусків під обробку	18
2.3 Вибір технологічних баз та схеми закріплення	27
2.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	28
2.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі	28
2.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення	29
2.5 Уточнення переходу	34
2.6 Розрахунок режимів різання	36
2.7 Нормування технологічних переходів	43
2.8 Створення керуючої програми у САМ	50
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	53
3.1 Проектування спеціального пристрою	53
3.1.1 Розробка принципової схеми пристосування	53

3.2	Розробка	схеми	базування
54			
3.3	Розрахунок	необхідних	зусиль
55			затискача
3.4	Розрахунок	та	конструювання
60			вимірювального пристрою
4.	ДОСЛІДНИЦЬКИЙ		РОЗДІЛ
63			
4.1	Дослідження складного шару для глибоко азотованих зубчастих коліс		
63			
5.	ОХОРОНА ПРАЦІ		72
5.1	Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на металообробному підприємстві та заходи їх усунення		72
	ВИСНОВКИ		84
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ		85
	ДОДАТКИ		87

ВСТУП

Сучасне машинобудування невід'ємно пов'язане з високими вимогами до точності, якості та ефективності виробничих процесів. В умовах швидкого розвитку технологій і зростаючої конкуренції, підприємства галузі зобов'язані впроваджувати інноваційні підходи для оптимізації своїх виробничих процесів. Одним із таких шляхів є застосування верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), які дозволяють значно підвищити точність обробки деталей, зменшити витрати часу та забезпечити високу повторюваність виробничих циклів.

Тема цієї дипломної роботи, "Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК", є надзвичайно актуальною в умовах сучасного виробництва. Деталі, такі як вал-шестерня, мають складну геометрію та функціональні вимоги, що вимагають застосування високоточних технологічних процесів. Застосування верстатів з ЧПК в процесі виготовлення цих деталей дозволяє оптимізувати технологічні етапи, забезпечити високу якість продукції та скоротити час виготовлення.

Метою цієї роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із використанням верстатів з ЧПК, що дозволить знизити витрати на виробництво, підвищити ефективність використання обладнання та досягти високої точності обробки.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати технічні вимоги до виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А».
2. Розробити технологічну картину виготовлення деталі з використанням верстатів з ЧПК.
3. Визначити параметри та режим роботи обладнання для оптимізації процесу обробки.
4. Розробити рекомендації щодо забезпечення якості та підвищення ефективності виробництва.

У результаті виконання цієї роботи буде розроблений технологічний процес, який може бути впроваджений на підприємстві для виготовлення високоякісних деталей з мінімальними витратами та оптимізованим використанням ресурсів.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Стан питання та постановка задач дипломної роботи

Деталь «Вал-шестерня» є важливою складовою механізмів, що працюють у режимах високих навантажень і зношування. Основні аспекти, які стосуються виготовлення таких деталей, охоплюють наступні питання:

Матеріал деталі Сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015 має високі механічні властивості, зокрема міцність, зносостійкість та термічну стабільність. Її використання дозволяє забезпечити тривалий термін експлуатації деталей, однак правильний вибір технології обробки є критично важливим для досягнення необхідної якості.

Сучасні технології виготовлення

Ручні методи обробки поступаються місцем сучасним верстатам із числовим програмним керуванням (ЧПК). Використання ЧПК дозволяє:

- Забезпечити точність виготовлення геометричних елементів (зубчастих вінців, валів, різьб).
- Оптимізувати технологічний процес.
- Зменшити кількість операцій і час їх виконання.

Проблеми, які виникають під час виробництва

- Нерівномірність цементації та можливість деформації деталей.
- Поява дефектів на поверхнях через неправильне програмування або недосконалість інструменту.
- Високі вимоги до точності геометричних параметрів та твердості поверхонь.

Актуальність роботи

Оптимізація технологічного процесу з використанням верстатів з ЧПК дозволить вирішити проблеми, пов'язані з досягненням необхідної точності, зносостійкості та зниженням собівартості виготовлення.

Постановка задач дипломної роботи

Метою роботи є удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК, що забезпечить підвищення якості та економічної ефективності виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Аналіз конструкції деталі
 - Визначити ключові елементи конструкції (валова частина, зубчастий вінець, різьба, конічні поверхні).
 - Провести аналіз технологічності конструкції.
2. Вибір матеріалу та технологічних параметрів
 - Встановити оптимальні режими обробки сталі 40Х.
 - Обґрунтувати методи термічної обробки (цементація, гартування).
3. Проектування технологічного процесу
 - Розробити маршрут виготовлення деталі, включаючи заготовчі, токарні, фрезерні, зубообробні, термічні та фінішні операції.
 - Визначити оптимальні режими різання для кожної операції.
4. Оптимізація використання верстатів із ЧПК
 - Створити програму для ЧПК-верстатів з урахуванням геометрії деталі.
 - Обґрунтувати вибір інструментів і пристосувань для обробки.

Очікувані результати

- Розробка вдосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі.
- Підвищення точності виготовлення (відповідність HRC, допуски k6/h12).
- Оптимізація витрат на виробництво завдяки автоматизації процесів.
- Забезпечення тривалого терміну експлуатації деталі за рахунок покращення якості.

1.2 Загальна характеристика деталі

Деталь «Вал-шестерня» виготовляється зі сталі 40Х за ДСТУ 7806:2015.

Основні елементи деталі:

Поверхня Ø30k6 – валова частина з високою точністю посадки.

Поверхня Ø12h12 – точна поверхня з більш жорсткими допусками.

Зовнішня різьба M24 – функціональний з'єднувальний елемент.

Конічна поверхня під зуби – базова поверхня для зубчастого вінця.

Зубчастий вінець:

Модуль $m = 2,5$.

Кількість зубів $Z = 21$.

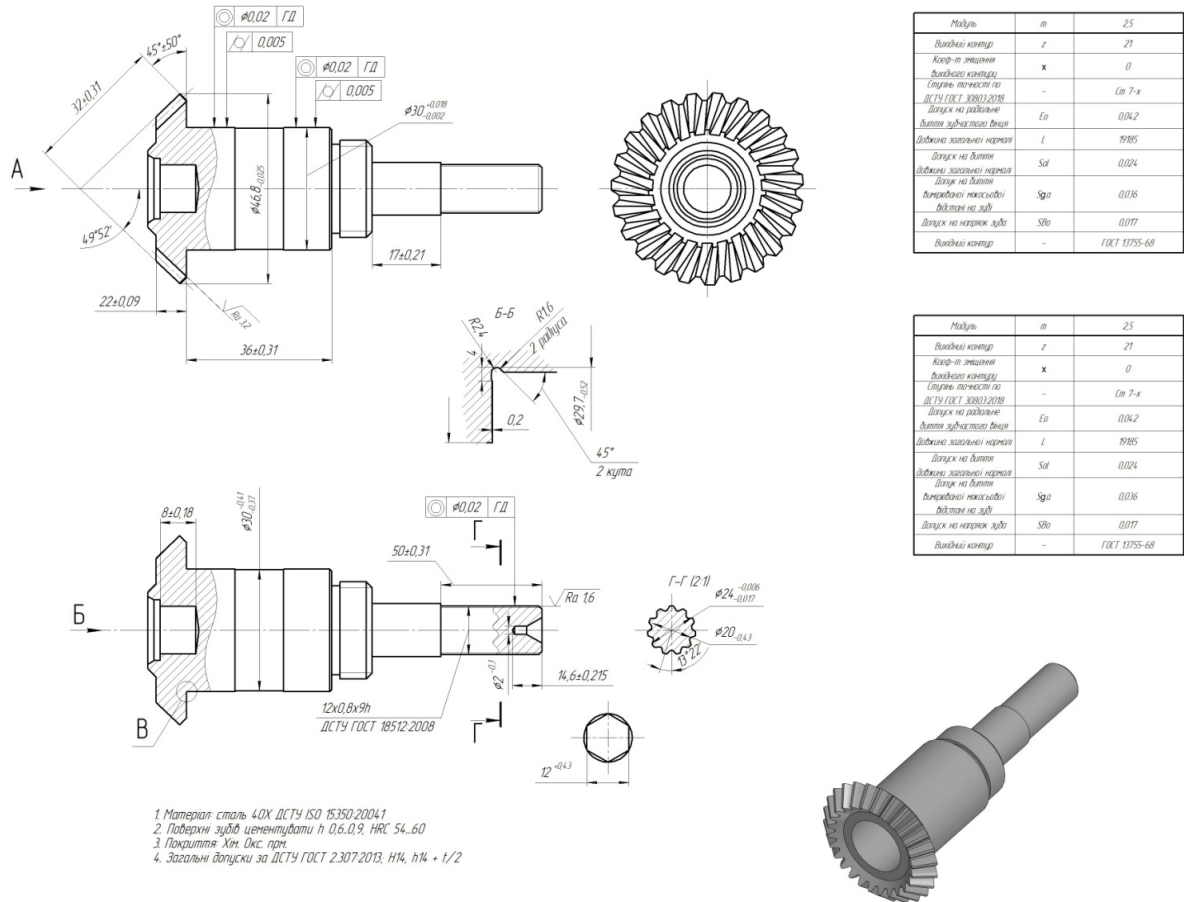


Рисунок 1.1 – Деталь «Вал-шестерня»

1.3 Оцінка технологічності конструкції

Матеріал деталі

Сталь 40X добре обробляється різанням, підходить для термічної обробки.

Поверхні з точними допусками

Ø30k6 вимагає забезпечення високої точності обробки.

Ø12h12 потребує застосування точного інструмента та контролю.

Зовнішня різьба М24

Може бути виготовлена за допомогою різьбонарізного різця або плашки.

Зубчастий вінець

Конструкція з модулем 2,5 та 21 зубцем потребує спеціалізованого зубофрезерного або зубодолбіжного обладнання.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність конструкції – сукупність властивостей конструкції виробу, що виявляються у можливості оптимальних витрат праці, засобів, матеріалів та часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації, ремонті та утилізації в порівнянні з відповідними показниками однотипних конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні встановлених значень показників якості та прийнятих умов виготовлення, експлуатації та ремонту.

Основні цілі аналізу технологічності полягають у виявленні недоліків конструкції, а також можливе поліпшення технологічності аналізованої конструкції.

Деталь “Вал-шестерня” виготовляється із сталі 40Х за ДСТУ 7806:2015.

Хімічний склад матеріалу наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х

Масова доля елементів, %								
Fe	C	Si	Mn	Cr	P	S	Ni	Cu
					не більше			
97	0,36- 0,440	0,17- 0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	0,030	0,035	0,30	0,30

Сталь 40Х – конструкційна легована сталь використовується для виготовлення покращуваних деталей, що володіють підвищеною міцністю –

вали, осі, плунжери, вал-шестерні, кулачкові/колінчасті вали та ін. Основну частину цього матеріалу становить залізо – 97 %, також до складу входить 1 % хрому, основне завдання якого – підвищувати стійкість до корозії. Хромисті сталі можна застосовувати в умовах підвищеної вологості, додавання хрому – найдоступніший спосіб зробити нержавіючу сталь. Також хром підвищує міцність та твердість сталі при мінімальному впливі на пластичність. Концентрація вуглецю в даній марці сталі згідно з маркування складає 0,4 %. Вуглець відповідає за зміцнення, чим менше вуглецю у складі, тим матеріал пластичніший, погіршує оброблюваність та зварюваність, також при збільшенні його концентрації зменшує пластичність та опір удару. Також у складі сплаву присутня велика концентрація магнію та кремнію (0,5–0,8 % та 0,17–0,37 % відповідно). Основним призначенням кремнію є видалення частинок кисню, водню та азоту зі складу сплаву, що дозволяє зменшити пористість та кількість газових раковин, які мають сильний вплив на міцність сталі. Марганець сприяє видаленню сірки та позитивно впливає на якість поверхні, а також знижує ймовірність утворення тріщин під час гарячої обробки тиском, у великих кількостях погіршує оброблюваність сталі, оскільки збільшує твердість. У Сталь 40X входять інші елементи, такі як нікель, хром і мідь (0,2–0,3 % кожен), що позитивно впливають на властивості даного матеріалу (збільшують корозійну стійкість), фосфор, який підвищує холодноламкість, але при цьому покращується відділення стружки, і сірка, що покращує оброблюваність (0,035–0,04 % кожен), які є шкідливими типами домішок (підвищують крихкість, знижують в'язкість і стійкість до ударних навантажень, підвищує червоноламкість, збільшує стирання) [3].

Сталь 40X має хороші експлуатаційні властивості стосовно даної деталі і легко піддається обробці різанням.

Колесо конічне з круговим зубом відноситься до типу деталей циліндричної форми. У конструкції деталі присутні зубці, евольвентні шліци, різьблення, а також заглиблення під шестигранник. До всіх поверхонь, що обробляється, є вільний доступ ріжучого інструменту. У конструкції деталі

відсутні площини, розташовані під тупим або гострим кутом, а також отвори, але є поглиблення під шестигранник.

Найбільший квалитет точності оброблюваних поверхонь – 6, що дозволяє обробити деталь на верстатах економічно точної точності. Найвищий параметр шорсткості – $Ra\ 0,8$.

При механічній обробці будуть використовуватись операції: токарна, токарна з ЧПУ, фрезерна, довжина, внутрішньошліфувальна, зубофрезерна.

Креслення оброблюваної деталі має всі необхідні відомості, що дають повне уявлення деталі, тобто. всі проекції, розміри та перерізи. На кресленні вказані всі розміри з необхідними відхиленнями, необхідна шорсткість поверхонь, що обробляються. Вказано відомості про матеріал деталі.

1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва

Обсяг випуску 5000 шт. на рік відноситься до середньосерійного виробництва, що характеризується повторюваністю операцій, які виконуються для багатьох деталей у межах партії. Це передбачає використання спеціалізованого обладнання, здатного до переналагодження, а також організацію праці з високим рівнем автоматизації процесів для мінімізації часу налаштування.

Для виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» доцільно застосувати предметно-технологічну форму організації виробництва. Вона включає декілька ключових дільниць: заготівельну, механічну, термічну та фінішну. Заготівельна дільниця забезпечує виготовлення заготовок методом штампування або точіння. Механічна дільниця виконує основні операції: токарну, фрезерну, зубообробну та різьбонарізну. Термічна дільниця проводить цементацію та гартування зубів, а фінішна дільниця забезпечує шліфування, хімічне оксидування та контроль якості.

Виробничий процес організовано у формі потокового виробництва із застосуванням спеціалізованих потокових ліній, де кожна дільниця виконує визначену операцію. Забезпечується безперервний рух деталей між дільницями.

Для досягнення високої точності виготовлення використовуються верстати з числовим програмним керуванням (ЧПК), що також дозволяє зменшити час переналагодження.

Для забезпечення ефективності середньосерійного виробництва необхідно оптимізувати потоки матеріалів між дільницями, мінімізувати переналагодження обладнання, а також впроваджувати автоматизовані системи контролю якості. Така організація дозволяє забезпечити гнучкість виробничої системи, що є важливою умовою для виконання змін у конструкції деталі або коригування обсягів випуску.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2. 1 Вибір виду і способу отримання заготовки

Одержання заготовки із потрібного матеріалу є першим етапом виготовлення деталі. Методи виконання заготовок для деталей машин визначаються призначенням та конструкцією, матеріалом, технічними вимогами, масштабом та серійністю випуску. Заготовка по можливості має бути максимально наближена до форми та розмірів готової деталі. Це робиться для зменшення витрати матеріалу, електроенергії та часу виготовлення.

Залежно від матеріалу, призначення деталі та необхідної точності виготовлення заготовки отримують куванням, литтям, штампуванням, прокаткою, висадкою, волочінням та іншими способами [9]. Як заготовки для деталей у дрібносерійному виробництві зазвичай застосовують недорогий напівфабрикат - прокат: коло, пруток, труба, лист, куточок, швелер [10].

Для представленої деталі доцільно розглянути три способи одержання заготовки:

- 1) прокат;
- 2) кування;
- 3) штампування.

Визначимо коефіцієнт використання металу для перелічених випадків.

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) визначається за формулою:

$$K = \frac{q}{Q}, \quad (2.1)$$

де q – маса готової деталі;

Q – маса вихідної заготовки.

Згідно з даними SOLIDWORKS визначимо масу готової деталі, а також заготовок:

$$q = 0,34 \text{ кг.}$$

Для прокату - $Q = 1,7$ кг, тоді:

$$K = \frac{q}{Q} = \frac{0,34}{1,7} = 0,2.$$

Для поковки – $Q = 0,8$ кг, тоді:

$$K = \frac{q}{Q} = \frac{0,34}{0,8} = 0,42.$$

Для штамповки – $Q = 0,5$ кг, тоді:

$$K = \frac{q}{Q} = \frac{0,34}{0,5} = 0,68.$$

Порівнюючи коефіцієнти, можна дійти висновку, що кращим буде використання заготовок, отриманих з допомогою штампування. Але прокат є економічно вигідним. Даний варіант більш кращий, оскільки гарячекатаний прокат є найдешевшим і доступним варіантом з урахуванням дрібносерійного виробництва.

2.2 Розрахунок припусків під обробку

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки заготовок необхідно встановити оптимальні припуски, які забезпечили б задану точність та якість оброблюваних поверхонь [1].

Припуском на обробку називається товщина шару матеріалу, видаляється з поверхні заготовки для досягнення заданих властивостей оброблюваної поверхні.

Мінімальні припуски на обробку z_{min} визначаються двома методами: нормативним та розрахунково-аналітичним.

При нормативному методі значення z_{min} знаходять безпосередньо за таблицям, які складені шляхом узагальнення та систематизації виробничих даних.

При розрахунково-аналітичному методі z_{min} знаходять шляхом підсумовування окремих складових, що дозволяє найбільш точно врахувати конкретні умови обробки.

Мінімальний проміжний припуск при обробці діаметра $13h6mm$:

$$2 \cdot z_{imin} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (2.2)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарні відхилення розташування поверхонь та у деяких випадках відхилення форми поверхонь;

ε_i – похибка установки заготовки на переході.

Просторове відхилення:

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma \Pi}^2}, \quad (2.3)$$

де $\Delta_{\Sigma K}$ – величина кривизни заготовки,

$$\Delta_{\Sigma K} = \Delta_K \cdot l, \quad (2.4)$$

де Δ_K – гранична величина кривизни заготовки з прокату;

l – довжина заготовки.

$$\Delta_{\Sigma K} = \Delta_K \cdot l = 17 \cdot 1,7 = 28,9 \text{ мкм.}$$

$\Delta_{\Sigma \Pi}$ – гранична кривизна заготовки з прокату

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \sqrt{T^2 + 1},$$

де T – допуск на розмір бази заготовки,

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{0,62^2 + 1} = 0,29 \text{ мкм (чорнове точіння);}$$

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{0,62^2 + 1} = 0,29 \text{ мкм (чистове точіння);}$$

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \sqrt{0,62^2 + 1} = 0,29 \text{ мкм (шліфування);}$$

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\Sigma K}^2 + \Delta_{\Sigma \Pi}^2} = \sqrt{28,9^2 + 0,29^2} = 28,9 \text{ мкм.}$$

Величину залишкових загальних просторових відхилень після виконання чорнкової обробки знаходимо за формулою:

$$\Delta_{\text{ост}} = k_y \cdot \Delta_{\text{заг}}, \quad (2.5)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми.

Для всіх операцій:

$$\Delta_{\text{ост}} = k_y \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,02 \cdot 28,9 = 0,58 \text{ мкм.}$$

Залишкові просторові відхилення після напівчистої обробки:

$$\Delta_{\text{ост}} = k_y \cdot \Delta_{\text{ч}} = 0,02 \cdot 0,58 = 0,012 \text{ мкм.}$$

Похибка установки:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.6)$$

де ε_6 – похибка базування в призмі, $\varepsilon_6 = 100$ мкм,

в токарному патроні, що самоцентрується $\varepsilon_6 = 0$ мкм;

ε_3 – похибка закріплення в призмі, $\varepsilon_3 = 60$ мкм.

В токарному патроні, що самоцентрується $\varepsilon_6 = 0$ мкм,

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{100^2 + 60^2} = 116,6 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чорновому точінні:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \left(Rz_{i-2} + h_{i-1} + \sqrt{A_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right) = \quad (2.7)$$

$$2 \cdot (100 + 125 + \sqrt{0,58^2 + 0^2}) = 451 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при напівчистовому точінні:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \cdot (40 + 75 + \sqrt{0,58^2 + 0^2}) = 231 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чистовому точінні:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \cdot (10 + 50 + \sqrt{0,58^2 + 0^2}) = 121 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при чорновому точінні:

$$2 \cdot z_i \max = 2 \cdot z_i \min + Td_{i-1} + Td_i = 451 + 700 + 270 = 1421 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при напівчистовому точінні:

$$2 \cdot z_i \max = 2 \cdot z_i \min + Td_{i-1} + Td_i = 231 + 270 + 110 = 611 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при чистовому точінні:

$$2 \cdot z_i \max = 2 \cdot z_i \min + Td_{i-1} + Td_i = 121 + 110 + 143 = 374 \text{ мкм.}$$

Визначаємо граничні проміжні розміри d_{min} та d_{max} за формулами:

$$D_{\min i-1} = D_{\max i-1} - TD_{i-1}. \quad (2.8)$$

$$D_{\min i-1} = D_{\max i-1} - TD_{i-1}. \quad (2.9)$$

Проводимо розрахунок фактичних граничних значень припусків $2Z_{max}$ як різницю найменших розмірів та $2Z_{min}$ як різницю найбільших граничних розмірів на попередньому та виконуваному переходах [2].

Таблиця 2.1 – Припуски на обробку розміру $\varnothing 13d9$ мм.

Найменування деталі – Колесо конічне з круговим зубом. Матеріал – сталь 40Х Елементарна поверхня для розрахунку припуску – $\varnothing 13d9$ мм									
Елементарна поверхня деталі і технологічний маршрут її обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{min}$, мкм	Розрахунковий припуск $2z_{max}$, мкм	Допуск на виготовлення TD, мкм	Прийняті розміри по переходах, мм	
	Rz	h	Δ	ϵ				Dmax	Dmin
Точіння чорнове	120	100	0,58	60	451	1421	270	13,935	13,259
Точіння напівчистове	40	50	0,58	0	231	611	110	13,324	13,028
Точіння чистове	15	40	0,58	0	121	374	143	12,95	12,907
Перевірка розрахунку $z_{o max} - z_{o min} = 253 = T_3 - T_d = 253$ мкм									

Мінімальний проміжний припуск при обробці отвору $\varnothing 15H14$ мм:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \cdot \left(Rz_{i-2} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \epsilon_i^2} \right), \quad (2.10)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарні відхилення розташування поверхонь та в деяких випадках відхилення форми поверхонь;

ϵ_i – похибка установки заготовки на переході.

Просторове відхилення:

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\Sigma k}^2 + \Delta_{\Sigma \Pi}^2}, \quad (2.11)$$

де $\Delta_{\Sigma k}$ – величина кривизни заготовки,

$$\Delta_{\Sigma k} = \Delta_k \cdot l, \quad (2.12)$$

де Δ_k – питома величина кривизни заготовки з прокату;

l – довжина заготовки.

$$\Delta_{\Sigma_k} = \Delta_k \cdot l = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мкм};$$

$\Delta_{\Sigma_{\Pi}}$ – питома кривизна заготовка з прокату

$$\Delta_{\Sigma_{\Pi}} = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1}, \quad (2.13)$$

де T – допуск на розмір бази заготовки,

$$\Delta_{\Sigma_{\Pi}} = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \cdot \sqrt{0,36^2 + 1} = 0,26 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma_{\Pi}} = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \cdot \sqrt{0,43^2 + 1} = 0,27 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma_{i-1}} = \sqrt{\Delta_{\Sigma_k}^2 + \Delta_{\Sigma_{\Pi}}^2} = \sqrt{0,43^2 + 0,26^2} = 0,93 \text{ мкм}.$$

Величину залишкових загальних просторових відхилень після виконання чорнової обробки знаходимо за формулою:

$$\Delta_{\text{ост}} = k_y \cdot \Delta_{\text{заг}}, \quad (2.14)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми.

Для всіх операцій:

$$\Delta_{\text{ост}} = k_y \cdot \Delta_{\text{заг}} = 0,06 \cdot 0,93 = 0,058 \text{ мкм}.$$

Похибка установки:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.15)$$

де ε_6 – похибка базування, $\varepsilon_6 = 0$ мкм;

ε_3 – похибка закріплення, $\varepsilon_3 = 0$ мкм.

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальний припуск при чорновому розточуванні:

$$2 \cdot Z_{i \min} = 2 \cdot \left(Rz_{i-2} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma_{i-1}}^2 + \varepsilon_i^2} \right) = 2 \cdot \left(40 + 90 + 0,582 + 0,02 \right) = 261,1 \text{ мкм}.$$

Мінімальний припуск при напівчистовому розточуванні:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \cdot (40 + 60 + \sqrt{0,58^2 + 0^2}) = 201,1 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при чистовому розточуванні:

$$2 \cdot Z_{imin} = 2 \cdot (40 + 50 + \sqrt{0,58^2 + 0^2}) = 181,1 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при чорновому точенні:

$$2 \cdot z_{i \max} = 261,1 + 360 + 430 = 1051,1 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при одержуваному розточуванні:

$$2 \cdot z_{i \max} = 201,1 + 360 + 430 = 991,1 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при чистовому розточуванні:

$$2 \cdot z_{i \max} = 181,1 + 360 + 430 = 971,1 \text{ мкм.}$$

Визначаємо граничні проміжні розміри d_{min} та d_{max} за формулами:

$$D_{\max i-1} = D_{i \min} - 2 \cdot Z_{\min i}, \quad (2.16)$$

$$D_{\min i-1} = D_{\max i-1} - TD_{i-1}. \quad (2.17)$$

Виробляємо розрахунок фактичних граничних значень припусків $2Z_{max}$ як різницю найменших розмірів і $2Z_{min}$ як різницю найбільших граничних розмірів на попередньому та виконуваному переходах.

Таблиця 2.2 – Припуски для обробки розміру $\varnothing 15H14$ мм

Найменування деталі – Колесо конічне з круговим зубом. Матеріал – сталь 40Х									
Елементарна поверхня для розрахунку припуску – $\varnothing 15H14$ мм									
Елементарна поверхня деталі та технологічний маршрут її обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{min}$, мкм	Розрахунковий припуск $2Z_{max}$, мкм	Допуск на виготовлення TD, мкм	Прийняті розміри по переходах, мм	
	Rz	h	Δ	ϵ				Dmax	Dmin
Розточування чорнове	40	80	0.93	51	261,1	1051,1	430	15.362	13.848
Розточування напівчистове	30	50	0.93	–	201,1	991,1	430	15.302	13.948
Розточування чистове	20	30	–	–	181,1	971,1	430	15.282	13.928
Перевірка розрахунку $Z_{o \max} - Z_{o \min} = 70 = T_z - T_d = 70$ мкм									

Мінімальний проміжний припуск при обробці отвору 100IT14 мм:

$$z_{imin} = Rz_{i-2} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (2.18)$$

де Rz_{i-1} – висота нерівностей на попередньому переході;

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарні відхилення розташування поверхонь та в деяких випадках відхилення форми поверхонь;

ε_i – похибка установки заготовки на переході.

Просторове відхилення:

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\Sigma k}^2 + \Delta_{\Sigma \Pi}^2}, \quad (2.19)$$

де $\Delta_{\Sigma k}$ – величина кривизни заготовки,

$$\Delta_{\Sigma k} = \Delta_k \cdot l, \quad (2.20)$$

де Δ_k – питома величина кривизни заготовки з прокату;

l – довжина заготовки;

$$\Delta_{\Sigma k} = \Delta_k \cdot l = 1 \cdot 100 = 100 \text{ мкм};$$

$\Delta_{\Sigma \Pi}$ – питома кривизна заготовки з прокату

де T – допуск на розмір бази заготовки,

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \cdot \sqrt{0,36^2 + 1} = 0,26 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma \Pi} = 0,25 \cdot \sqrt{T^2 + 1} = 0,25 \cdot \sqrt{0,43^2 + 1} = 0,27 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma i-1} = \sqrt{\Delta_{\Sigma k}^2 + \Delta_{\Sigma \Pi}^2} = \sqrt{0,9^2 + 0,26^2} = 0,93 \text{ мкм}.$$

Величину залишкових загальних просторових відхилень після виконання чорнової обробки знаходимо за формулою:

$$\Delta_{ост} = k_y \cdot \Delta_{заг}, \quad (2.21)$$

де k_y – коефіцієнт уточнення форми.

Для всіх операцій:

$$\Delta_{ост} = k_y \cdot \Delta_{заг} = 0,06 \cdot 0,93 = 0,058 \text{ мкм}.$$

Похибка установки:

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2}, \quad (2.22)$$

де ε_6 – похибка базування, $\varepsilon_6 = 100$ мкм;

ε_3 – похибка закріплення, $\varepsilon_3 = 200$ мкм.

$$\varepsilon_i = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{100^2 + 200^2} = 223 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при відрізку на верстаті:

$$z_{imin} = Rz_{i-2} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2} = 120 + 150 + \sqrt{0,93^2 + 223^2} = 493 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при підрізання торця:

$$z_{imin} = 40 + 80 + \sqrt{0,93^2 + 0^2} = 121 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск при підрізання другого торця:

$$z_{imin} = 40 + 80 + \sqrt{0,93^2 + 0^2} = 121 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при відрізку на стрічкопильному верстаті:

$$z_{i \max} = 493 + 500 = 993 \text{ мкм}$$

Максимальний припуск при підрізання торця:

$$z_{i \max} = 121 + 500 + 140 = 761 \text{ мкм.}$$

Максимальний припуск при підрізання торця:

$$z_{i \max} = 121 + 140 + 140 = 401 \text{ мкм.}$$

Таблиця 2.3– Припуски для обробки розміром 100Т12 мм

Найменування деталі – Колесо конічне з круговим зубом. Матеріал – сталь 40Х									
Елементарна поверхня для розрахунку припуску – 100-0.35 мм									
Елементарна поверхня деталі та технологічний маршрут її обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск z_{min} , мкм	Розрахунковий припуск z_{max} , мкм	Допуск на виготовлення ТД, мкм	Прийняті розміри по переходах, мм	
	Rz	h	Δ	ϵ				a_{max}	a_{min}
Відрізка заготовки від довгого прутка	120	150	0,93	223	-	-	500	101,162	99,892
Обточування правого торця заготовки	40	80	0,93	0	121	761	140	100,401	99,771
Обточування лівого торця заготовки	40	80	-	0	121	401	140	100	99,65
Перевірка розрахунку $z_{o\ max} - z_{o\ min} = 280 = T_3 - T_d = 280$ мкм									

Таблиця 2.4 – Табличні припуски на механообробку

Назва операцій	Табличне значення припуску, мм	Допуск, мкм	Шорсткість
Поверхня $\varnothing 30k6^{+0.018}$ $+0.002$			
Чорнове точіння (h14)	1,1	430	Ra 6,3
Напівчистове точіння (h12)	0,45	110	Ra 3,2
Чистове точіння (h9)	0,2	27	Ra 2,5
Чорнове шліфування (h8)	0,3	18	Ra 1,6
Чистове шліфування (k6)	0,1	13	Ra 0,8
Поверхня $\varnothing 12h12^{-0,18}$			
Чорнове точіння (h14)	0,6	430	Ra 6,3

Назва операцій	Табличне значення припуску, мм	Допуск, мкм	Шорсткість
Напівчистове точіння (h13)	0,2	150	Ra 3,2
Чистове точіння (h12)	0,1	180	Ra 1,6
Зовнішня різьба M24 _(-0,37)			
Нарізання різьби (h14)	1,1	370	Ra 6,3
Конічна поверхня під зуби			
Чорнове точіння (h14)	1,1	180	Ra 6,3
Напівчистове точіння (h12)	0,45	180	Ra 3,2
Чистове точіння (h9)	0,2	180	Ra 2,5
Зубці			
Фрезерування	0,2	0,22	Ra 3,2
Шліфування	0,1	0,22	Ra 1,6

2.3 Вибір технологічних баз та схеми закріплення

Операція 010 Токарне базування відбувається по зовнішньому діаметру в трикулачковому патроні.

Операція 015 Токарна з ЧПУ (Установ А) як база використовується Ø48_{-0,62} мм, базування у трикулачковому патроні.

Операція 025 Токарна з ЧПУ (Установ А). Базування по діаметру Ø30,3_{-0,1}, упор у торець.

Операція 035 Шліцефрезерна. Базування по діаметру Ø30,3_{-0,1}, а також торець та центральний отвір.

Операція 055 Круглошліфувальна. Базування у центрах.

Операція 070 Зубофрезерна. Базування за діаметром Ø30k6, а також торець.

Операція 095 Зубошліфувальна. Базування по діаметру Ø30k6, упор торець.

Операція 110 Круглошліфувальна. Базування у центрах.

Операція 115 Полірувальна. Базування у центрах.

Операція 120 Довбальна. Базування по зовнішньому діаметру $\varnothing 30k6$, упор в торець, закріплення в спеціальному зажимному пристрої.

2.4 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

Маршрут є послідовністю проходження заготовки деталі по цехах і виробничих ділянках підприємства в ході виробничого процесу.

2.4.1 Технологічний маршрут механічної обробки деталі

Послідовність операцій для виготовлення заданої деталі “Вал-шестерня” згідно з технічними вимогами, умовами виробництва та необхідними параметрами точності представлена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Технологічний маршрут виготовлення деталі “Вал-шестерня”

005	Заготівельна
010	Токарна з ЧПУ
015	Контрольна
020	Токарна з ЧПУ
025	Контрольна
030	Шліцефрезерна
035	Слюсарна
040	Промивна
045	Контрольна
050	Круглошліфувальна
055	Промивна
060	Контрольна
065	Зубофрезерна
070	Промивна

075	Слюсарна
080	Контрольна
085	Термічна
090	Зубошліфувальна
095	Промивна
100	Термічна
105	Круглошліфувальна
110	Полірувальна
115	Довбальна
120	Слюсарна
125	Контрольна
130	Промивна
135	Контрольна
140	Консервація

2.4.2 Вибір засобів технологічного оснащення






Розробка технологічного процесу нерозривно пов'язана з вибором засобів технологічного оснащення (верстатів, пристроїв та інструментів).

Засоби технологічного оснащення – це сукупність знарядь виробництва, необхідних для здійснення технологічного процесу.

Вибір обладнання для заданої операції проводиться з урахуванням габаритів заготовки, що обробляється, і точності, яка досягається [4]. Крім цього, необхідно вибирати обладнання найбільш універсальне та з найменшою вартістю. Вибір повинен починатися зі стандартного обладнання. Якщо стандартного оснащення недостатньо, то підбирається та проектується спеціальне обладнання.



Зробимо підбір засобів технологічного та контрольно-вимірювального обладнання, для матеріального забезпечення виробничої ділянки. Вибрані кошти занесемо до таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Кошти технологічного оснащення

Операція	Обладнання	Засоби оснащення
<p>005 Заготівельна</p>	<p>Автоматичний двоколонний стрічкопильний верстат Actual Power H-300HA</p> 	<p>Полотно для стрічкової пилки по металу M42 3505*27*0,9</p>
<p>010 Токарна ЧПК</p>	<p>Токарний верстат з ЧПК DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II</p> 	<p>Автоматичний токарний патрон Чорнове та чистове точіння зовнішніх діаметрів, уступів Державка: PDJNR 2020K-11 (ISO)</p>  <p>Пластина: DNMG 110404-TF, сплав IC530N (ISCAR)</p>  <p>Чистове точіння посадкових поверхонь (Ra 0,8) Державка: SCLCR / PDJNR 2020K-11 Пластина: DNMG 110404-TF IC530N Підрізання торців, фаски Державка: SCLCR 2020K-09</p>  <p>Пластина:</p>

		<p>CCMT 09T304-SM, сплав IC8150</p>  <p>Канавки, подрізи Державка: DGTL 2020-4 Пластина: GEPI 2-0.10 IC908 Центрування Центрувальне свердло ISO 866, Ø5 відповідно до креслення</p>
015 Контрольна	Стіл контрольний	<p>Калібр-кільце M24×1,5 6g Зразки шорсткості Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,05</p>
020 Токарна ЧПК	<p>Токарний верстат з ЧПК DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II</p> 	<p>Чорнове/чистове точіння Ø12, Ø13 Державка: PDJNR 2020K-11 (або SCLCR 2020K-09 для чистового) Пластина: DNMG 110404 (для чорнового) Подрізання торця Державка: SCLCR 2020K-09 Пластина: CCMT 09T304 (або 060204) Канавка/відріз (якщо на цьому установі є канавка) Державка: DGTL 2020-2 або 2020-3 (залежно від ширини) Пластина: GEPI (під ширину канавки)</p>
035 Шліцефрезерна	<p>Шліцефрезерний верстат Mazak INTEGREX i-200S AG</p> 	<p>Дискова шліцева фреза зі змінними твердосплавними пластинами ISCAR, марка сплаву IC70 (аналог T15K6)</p> <p>Оправка 30-16 Калібр-кільце 1-12×6gx0,8×9h</p>
040 Слюсарна	Верстак слюсаря	Верстак W160.WS1/F2.010 Напильник 2820-0076
045 Промивочна	Спирто-бензинова ванна	Спирто-бензинова суміш
050 Контрольна	Стіл контрольний	<p>Калібр-кільце 1-12×6gx0,8×9h Штангенциркуль ШЦ-II- 150-0,05</p>

055 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат STUDER S31Pro 	Шліфування (чистова точність) Циліндричні поверхні, посадки Круг: 25A 60 K 7 V 400×50×127
060 Промивочна	Спирто-бензинова ванна	Спирто-бензинова суміш
065 Контрольна	Стіл контрольний	Зразки шорсткості поверхні — відповідно до ДСТУ ISO 2632-1:2008. Мікрометр МК-25 — відповідно до ДСТУ ISO 3611:2015. Мікрометр МК-50 — відповідно до ДСТУ ISO 3611:2015.
070 Зубофрезерна	Зуборізний верстат Mazak INTEGREGX i-200S AG 	Цанга 7010-0035-d 30 ISO 15488 Інструмент: Фреза модульна для нарізання конічних зубчастих коліс, $m = 1,25$; $\alpha = 20^\circ$; $\delta = 45^\circ$; $z = 26$; напрям зуба – лівий; матеріал – твердий сплав, покриття TiAlN.
075 Промивочна	Спирто-бензинова ванна	Спирто-бензинова суміш
080 Слюсарна	Верстак слюсаря	Верстак W160.WS1/F2.010 Напильник 2820-0076 ISO 234-1:2012
085 Контрольна	Стіл контрольний	Зразки шорсткості ISO 2632-1 Пристрій для контролю биття Б10M ISO 1101 Штангензубомір з ноніусом тип ШЗН ТУ 2-034-773-2004; Евольвентомір універсальний РН-100
090 Термічна	УІН для ТВЧ загартування деталей та наскрізного нагріву заготовок “ТЕСЛАЙН 100Z-EM2013”	Цанга 7010-0035-d 30 ISO 15488

095 Зубошліфувальна	Зубошліфувальний верстат для конічних коліс із круговими зубами Gleason Phoenix 280C 	прецизійний цанговий затискний вузол (collet chuck) під Ø30 мм DIN 6499 Круг чашечний циліндричний 30×30×8-3
100 Промивна	Спирто-бензинова ванна	Спирто-бензинова суміш
105 Термічна	УІН для ТВЧ загартування деталей та наскрізного нагріву заготовок “ТЕСЛАЙН 100Z-EM2013”	Цанга 7010-0035-d 30 ISO 15488
110 Круглошліфувальна		Цанга 7010-0035-d 30 ISO 15488 Круг шліфувальний 1 25×20×6 14A 10-П С2 7 K1A 80 м/с Б 1 кл. ISO 525 Зразки шорсткості ISO 2632-1
115 Полірувальна	Круглошліфувальний STUDER S31 	Круг полірувальний 40x 20, Ох 16 14A 25-Н М R 25м/с 2 кл. EN 12413 Зразки шорсткості ISO 2632-1
120 Довбальна	Довбальний верстат S315TGI	Спеціальне пристосування (затискний пристрій) Різець довбіжний 2182-0604 ДСТУ ГОСТ 10046-72 Зразки шорсткості ISO 2632-1 Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
125 Слюсарна	Верстак слюсаря	Верстак W160.WS1/F2.010 Напильник 2820-0076 ISO 234-1:2012

130 Контрольна	Стіл контрольний	Зразки шорсткості ISO 2632-1 Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
135 Промивна	Мийна машина AM500 T	Розчин по ТТП 01279-00002
140 Контрольна	Контрольний стіл	Зразки шорсткості ISO 2632-1 Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 Штангенциркуль ШЦ-II-125-0,05 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018
145 Консервація		Матеріали по ТТП 60270-00001, варіант 1

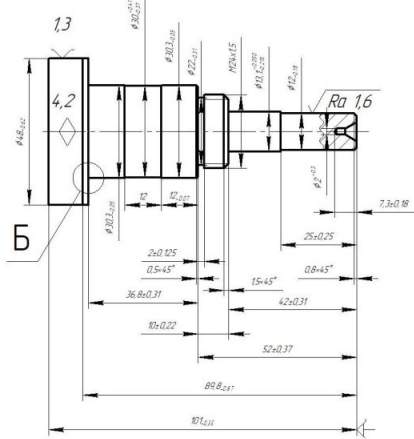
2.5 Уточнення переходу

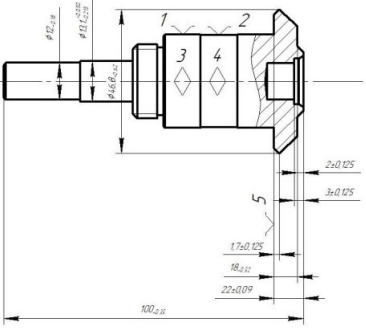
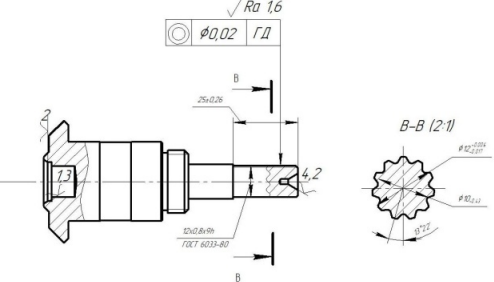
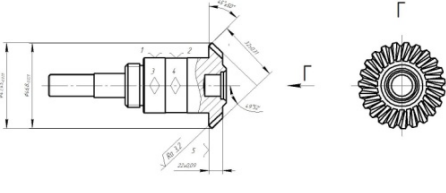
Технологічний перехід – це завершальна частина технологічної операції, яка характеризується сталістю використовуваного інструменту та поверхонь, утворених обробкою та з'єднаних у процесі збирання.

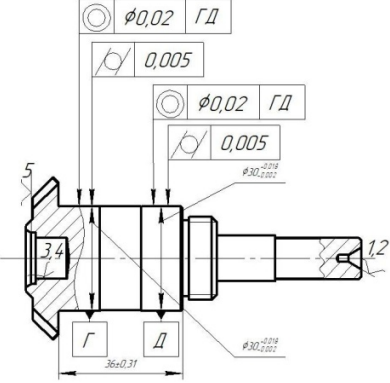
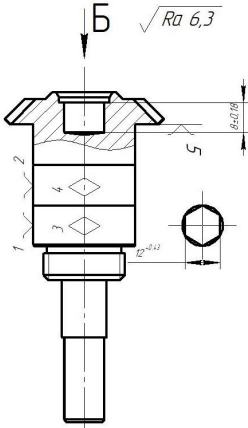
Уточнимо зміст переходів.

Таблиця 2.7– Уточнення технологічних переходів

Операція	Опис
005 Заготівельна	Поковка
010 Токарна з ЧПК	<p>Точити зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 30$, $\varnothing 25$ та $\varnothing 19$ на задані довжини згідно з кресленням.</p> <p>Підрізати торець до розміру по довжині базування.</p> <p>Виконати обробку уступів із забезпеченням співвісності циліндричних поверхонь.</p> <p>Зняти фаски $1 \times 45^\circ$ та $0,8 \times 45^\circ$ відповідно до креслення.</p> <p>Забезпечити шорсткість оброблюваних поверхонь Ra 1,6 (чистове точіння).</p> <p>Допуски розмірів витримати відповідно до креслення.</p>



Операція	Опис
<p>020 Токарна з ЧПК</p> 	<p>Базуючи деталь по оброблених циліндричних поверхнях та торцю, точити зовнішні циліндричні поверхні Ø22, Ø17 та Ø46 відповідно до креслення.</p> <p>Підрізати торець і витримати осьові розміри 2±0,125 мм, 3±0,125 мм, 1,7±0,125 мм, 18±0,52 мм та 22±0,09 мм.</p> <p>Забезпечити загальну довжину деталі 100–0,35 мм.</p> <p>Виконати чистове точіння уступів і торців із дотриманням співвісності оброблюваних поверхонь.</p> <p>Зняти фаски та радіуси відповідно до креслення.</p> <p>Забезпечити шорсткість оброблюваних поверхонь Ra 1,6.</p>
<p>025 Токарна з ЧПУ</p>	<p>Установ А</p> <p>Оброблювати деталь по контуру.</p>
<p>035 Шліцефрезерна</p> 	<p>Установ А</p> <p>Нарізати шліци, 6 проходів.</p>
<p>055 Круглошліфувальна</p>	<p>Установ А</p> <p>Шліфувати діаметр 30 на довжину 36 мм, 2 проходи</p>
<p>070 Зубофрезерна</p> 	<p>Установ А</p> <p>Нарізати зубці, 6 проходів.</p>
<p>095 Зубошліфувальна</p>	<p>Установ А</p> <p>Шліфувати зубці, 2 проходи на зуб.</p>

Операція	Опис
<p>110 Круглошліфувальна</p> 	<p>Установ А Шліфувати діаметр 13 на довжину 17 мм, 2 проходи.</p>
<p>115 Полірувальна</p>	<p>Установ А Полірувати діаметр 13 на довжину 17 мм, 2 проходи.</p>
<p>120 Довбальна</p> 	<p>Установ А 1) Довбати шестигранник.</p>

2.6 Розрахунок режимів різання

035 Шліцефрезерна

Таблиця 2.8 – Вступні дані для розрахунку сили різання при нарізанні шліців

$h_{\text{до обр.}} = 12 \text{ мм}$	$h_{\text{після}} = 10,24 \text{ мм}$
Матеріал ріжучої частини Iscar IC70, аналог T15K6	Матеріал заготовки – Сталь 40X, $\sigma_B = 655 \text{ МПа}$

1. Розрахуємо глибину різання за формулою:

$$t = h_1 - h = 12 - 10,24 = 1,76 \text{ мм.}$$

2. Визначимо подачу на зуб за таблицею 33 [15]:

$$S_Z = 0,12 - 0,18 \text{ мм/зуб} = 0,15 \text{ мм/зуб.}$$

3. Стійкість вибирається в діапазоні 80 – 400 хв, для черв'ячної фрези діаметром 50 мм приймаємо 120 хв.

4. Розрахуємо швидкість різання за формулою [15]:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_V, \quad (2.23)$$

де коефіцієнт K_V визначається за формулою:

$$K_V = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (2.24)$$

$$K_V = 0,65 \cdot 1 \cdot 0,65 = 0,42;$$

$$K_{Vv} = \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} \cdot K_r = \left(\frac{750}{655}\right)^1 \cdot 1 = 1,14,$$

C_V, m, x, y, q, u, p – визначаються за таблицею 39 [15]:

$$C_V = 12, m = 0,26, x = 0,3, y = 0,25, q = 0,3, p = 0, u = 0;$$

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_Z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_V = \frac{12 \cdot 50^{0,3}}{120^{0,26} \cdot 1,76^{0,3} \cdot 0,15^{0,25} \cdot 4,34^0 \cdot 12^0} = 1,14$$

5. Визначаємо частоту обертання за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{фр}}} \quad (2.25)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 116,9}{3,14 \cdot 50} = 744,6 \text{ об/хв.}$$

6. Визначимо значення подачі за формулою [15]:

$$S = S_Z \cdot n \cdot z \quad (2.26)$$

$$S = 12 \cdot 110 \cdot 0,15 = 198 \text{ мм/об.}$$

7. Далі розрахуємо сили різання [1, стор.271]:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^y \cdot n^w} \cdot K_{Mp}, \quad (2.27)$$

де коефіцієнт K_{Mp} розраховується за формулою:

$$K_{Mp} = \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = \left(\frac{750}{655}\right)^{0,3} = 1,04;$$

$$C_p = 47, x = 0,86, y = 0,72, u = 0,1, q = 0,86, w = 0, n = 1,1;$$

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^y \cdot n^w} \cdot K_{Mp} = \frac{10 \cdot 47 \cdot 1,76^{0,86} \cdot 0,15^{0,72} \cdot 4,34^{1,1} \cdot 12}{50^{0,72} \cdot 110^0} \cdot 1,04 = 731 \text{ Н.}$$

Для зменшення даної сили можна змінити глибину різання, подачу та збільшити число оборотом. Також можна виконати фрезерування у 2 проходи.

8. Розрахуємо крутний момент на шпинделі за формулою [10]:

$$M = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (2.28)$$

$$M = \frac{731 \cdot 50}{2 \cdot 100} = 182,8 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

де D – діаметр фрези, мм.

015 Токарна з ЧПУ

Таблиця 2.9 – Вступні дані для розрахунку режимів різання при точінні

$D_{\text{заготовки}} = 50 \text{ мм}$	$D_{\text{після обр.}} = 40 \text{ мм}$	$L = 48 \text{ мм}$
Шорсткість $Ra 3,2$	Матеріал інструмента Т5К10	Матеріал заготовки Сталь 40Х

Розв'язання:

1. Розрахуємо глибину різання за такою формулою:

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2} = \frac{50 - 40}{2} = 5 \text{ мм.}$$

2. Визначимо подачу за таблицею залежно від необхідної шорсткості ($Ra 3.2$), а також радіусу при вершині (0.4 мм):

$S = 0,25$ мм/об.

3. Стійкість вибирається в діапазоні 30–45 хв, приймаємо 30 хв.

4. Розрахуємо швидкість різання за формулою [15]:

$$V = \frac{C_V}{T^m \cdot t^x \cdot S_{\text{ст}}^y} \cdot K_V, \quad (2.29)$$

де коефіцієнт K_V визначається за формулою:

$$K_V = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} = 1,14 \cdot 0,9 \cdot 1 = 1,03;$$

K_{nv} – поправочний коефіцієнт, що враховує стан заготовки;

K_{Mv} – поправочний коефіцієнт, що враховує фізико-математичні властивості сталі;

K_{iv} – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу на швидкість різання;

$$K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = 1 \cdot \left(\frac{750}{655}\right)^{0,3} = 1,14;$$

C_V, m, x, y – визначаються за таблицею 17 [15]:

$$C_V = 350, m = 0,2, x = 0,15, y = 0,35;$$

$$V = \frac{350}{30^{0,2} \cdot 0,25^{0,15} \cdot 0,25^{0,35}} \cdot 1,03 = 91,3 \text{ м/хв.}$$

5. Визначаємо частоту обертання за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot 177,5}{3,14 \cdot 50} = 1131 \text{ об/хв.}$$

6. Далі розрахуємо сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^x \cdot S_{\text{ст}}^y \cdot V_{\phi}^n \cdot K_p, \quad (2.30)$$

де коефіцієнт K_p розраховується по формуле [15]:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp}; \quad (2.31)$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{n_v} = \left(\frac{655}{750}\right)^{0,75} = 0,9.$$

Коефіцієнти $K_{\varphi p}$, $K_{\gamma p}$, $K_{\lambda p}$, K_{rp} – вибираються за таблицями 9, 10, 11 [15]:

$$K_p = K_{Mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,9;$$

$$C_{pz} = 300, x = 1, y = 0,75, n = -0,15;$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 5^1 \cdot 0,6^{0,75} \cdot 177,5^{-0,15} \cdot 0,9 = 4232 \text{ Н};$$

$$C_{px} = 339, x = 1, y = 0,5, n = -0,4;$$

$$P_x = 10 \cdot C_{px} \cdot t^x \cdot S_{\text{ст}}^y \cdot V_{\phi}^n \cdot K_p = 10 \cdot 339 \cdot 5^1 \cdot 0,6^{0,5} \cdot 177,5^{-0,4} \cdot 0,9 = 1489 \text{ Н};$$

$$C_{py} = 243, x = 0,9, y = 0,6, n = -0,3;$$

$$P_y = 10 \cdot C_{py} \cdot t^x \cdot S_{\text{ст}}^y \cdot V_{\phi}^n \cdot K_p = 10 \cdot 243 \cdot 5^{0,9} \cdot 0,6^{0,6} \cdot 177,5^{-0,3} \cdot 0,9 = 2021 \text{ Н}.$$

Для зменшення сил, що виникають під час різання, рекомендується розбити обробку на два проходи, зменшивши глибину різання з 5 до 2,5 мм.

025 Токарна з ЧПУ

Таблиця 2.10 – Вступні дані для розрахунку режимів різання під час свердління

$D_{\text{отв.}} = 12 \text{ мм}$	Глибина свердління $L = 11 \text{ мм}$	
Шорсткість $Ra \ 6,3$	Матеріал інструменту	Матеріал заготовки
	Iscar HSS GE, Аналог Р6М5	Сталь 40Х

1. Визначимо глибину різання за формулою [15]:

$$t = 0,5 \cdot D \quad (2.32)$$

$$t = 0,5 \cdot 8 = 4 \text{ мм}.$$

2. Визначимо подачу S згідно з таблицею [15]:

$$S = 0,25 - 0,28 \text{ мм/об} = 0,26 \text{ мм/об.}$$

3. Визначимо швидкість різання для свердління за формулою:

$$V = \frac{C_V \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_V. \quad (2.33)$$

Значення коефіцієнтів визначається за таблицею [9] для цього виберемо матеріал різальної частини інструменту Р6М5:

$$C_V = 14,7, q = 0,25, y = 0,55, m = 0,125.$$

Значення стійкості визначається за таблицею [9]:

$$T = 45 \text{ хв.}$$

Коефіцієнт K_V визначається за формулою [9]:

$$K_V = K_{Mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv} = 1,14 \cdot 1 \cdot 1 = 1,14,$$

де K_{nv} – поправочний коефіцієнт, що враховує стан заготовлі;

K_{Mv} – поправочний коефіцієнт, що враховує фізико–механічні властивості сталі;

K_{lv} – поправочний коефіцієнт, що враховує глибину свердління;

$$K_{Mv} = K_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = 1 \cdot \left(\frac{750}{655}\right)^{0,3} = 1,14;$$

$$V = \frac{14,7 \cdot 12^{0,25}}{45^{0,125} \cdot 0,26^{0,55}} \cdot 1,14 = 24,6 \text{ м/хв.}$$

4. Визначимо частоту обертання n шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{\text{заг}}} = \frac{1000 \cdot 24,6}{3,14 \cdot 12} = 652,9 \text{ об/хв.}$$

5. Визначимо крутний момент M , Н · м, і осьову силу, P_0 при свердлінні:

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p;$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p.$$

Коефіцієнти визначаються за таблицею [9]:

$$C_M = 0,0345, q = 2, y = 0,8,$$

$$C_p = 68, q = 1, y = 0,7,$$

Значення коефіцієнта K_p залежить лише від матеріалу оброблюваної заготовки і визначається виразом $K_p = K_{Mp}$.

$$K_{Mp} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} = \left(\frac{750}{655} \right)^1 = 1,14;$$

$$M = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12^2 \cdot 0,26^{0,8} \cdot 1,14 = 19,3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p = 10 \cdot 68 \cdot 12^1 \cdot 0,26^{0,7} \cdot 1,14 = 3623 \text{ Н}.$$

Таблиця 2.11 – Табличні значення режимів різання

Операція	S , мм/об	t , мм	T , хв	V , м/хв	n , об/хв
010 Токарна з ЧПК (Підрізання торця)	0,2	1	120	65	2000
010 Токарна з ЧПК (Чорнова)	0,3	1	120	65	500
020 Токарна з ЧПУ (Напівчистова)	0,2	1	195	156	1200
020 Токарна з ЧПУ (Чистова)	0,1	0,5	207	192	2100
020 Токарна з ЧПУ (Різьба)	1,5	0,15	120	70	900
020 Токарна з ЧПУ (Розточування напівчистове)	0,25	1	195	178	1500
020 Токарна з ЧПУ (Розточування чистове)	0,15	0,5	207	195	2000

055 Круглошліфувальна	0,05	0,125	220	30	500
070 Зубофрезерна	2,5	0,7	250	48	1000
095 Зубошліфувальна	0,05	0,15	220	30	500
110 Круглошліфувальна	0,05	0,1	220	30	500
115 Полірувальна	0,01	0,05	220	30	500
120 Довбальна	0,7	0,5	-	25	700

2.7 Нормування технологічних переходів

Розрахунок норми оперативного часу розраховується за такою формулою

$$T_{on} = T_o + T_{\partial}, \quad (2.34)$$

де T_o – основний час; T_{∂} – допоміжний час

$$T_o = T_m = \frac{L \cdot i}{S_{min}}, \quad (2.35)$$

де T_m – машинний час; L – довжина шляху інструменту; i – число ходів;

S_{min} – подача (мм/хв).

$$l = l + l_1 + l_2, \quad (2.24)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні; l_1 – величина врізання;

l_2 – величина перебігу/сходу інструменту;

$T_{ш.к.}$ — штучно-калькуляційний час, це і є технічно обґрунтована норма часу виконання операції

$$T_{ш.к.} = T_{ш} + \frac{T_{п.з.}}{n}, \quad (2.25)$$

де $T_{п.з.}$ – підготовчо-заклучний час, необхідний на ознайомлення виконавця з кресленням, отримання консультацій у майстра, налаштування верстата та пристроїв;

n – кількість заготовок у партії;

$T_{ш}$ – норма штучного часу.

$$T_{ш} = T_{оп} \cdot \left(1 + \frac{K}{100}\right), \quad (2.26)$$

де K – відсоток оперативного часу на обслуговування робочого місця та на відпочинок/особисті потреби робітника.

Норма виробітку в штуках виробів:

$$H_B = \frac{T_{зм}}{T_{ш}}, \quad (2.27)$$

де $T_{зм}$ – тривалість зміни.

Розрахуємо наведені вище показники для операції 015 Токарна з ЧПУ:

1) Чорнова обробка

$$L = l + l_1 + l_2 = 89 + 3 = 92 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{92 \cdot 2}{300} = 0,3$$

$$T_o = \frac{91,7 \cdot 2}{300} = 0,29$$

$$T_o = \frac{55 \cdot 1}{300} = 0,17$$

$$T_o = \frac{45 \cdot 1}{300} = 0,14$$

$$T_o(\text{заг.}) = 0,3 + 0,29 + 0,17 + 0,14 = 0,9.$$

2) Напівчистова обробка:

$$T_o = \frac{91 \cdot 1}{240} = 0,36$$

$$T_o = \frac{55 \cdot 1}{240} = 0,21$$

$$T_o = \frac{45 \cdot 1}{240} = 0,18$$

$$T_o = \frac{3 \cdot 1}{240} + \frac{2 \cdot 1}{240} + \frac{1,8 \cdot 1}{240} + \frac{1 \cdot 1}{240} = 0,03$$

$$T_o(\text{заг.}) = 0,36 + 0,21 + 0,18 + 0,03 = 0,78.$$

3) Чистова обробка:

$$T_o = \frac{91 \cdot 1}{200} = 0,44$$

$$T_o = \frac{55 \cdot 1}{200} = 0,26$$

$$T_o = \frac{45 \cdot 1}{200} = 0,21$$

$$T_o = \frac{28 \cdot 1}{200} = 0,13$$

$$T_o(\text{заг.}) = 0,44 + 0,26 + 0,21 + 0,13 = 1,04.$$

4) Нарізання різьби:

$$T_o = \frac{10 \cdot 10}{400} = 0,25.$$

Загальний основний час:

$$T_o = 0,25 + 0,9 + 0,78 + 1,04 = 2,97 \text{ хв.}$$

Допоміжний час, згідно з рекомендаціями [15]:

$$T_d = 1 + 0,75 + 0,8 + 0,6 = 3,15 \text{ хв.}$$

$$T_{оп} = 2,97 + 3,15 = 6,12 \text{ хв.}$$

$$T_{ш} = T_{оп} \cdot \left(1 + \frac{K}{100}\right) = 6,12 \cdot \left(1 + \frac{45}{100}\right) = 8,9 \text{ хв.}$$

Норма часу:

$$H_B = \frac{480}{6,3} = 133 \text{ шт.}$$

Таблиця 2.12 – Нормування

№ оп.	Зміст операції	Час, хв
005	Заготівельна	
	1. Підготовчо-заключний час	8
	2. Допоміжний час	12
	3. Основний час	15
	4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок	5
	5. Норма штучного часу	15

010	Токарна з ЧПУ 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	15 4,5 2 7 28,5
015	Токарна з ЧПУ 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	9 3,15 2,97 3,4 13,3
020	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок.	7 4 10 3 24
025	Токарна з ЧПУ 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	12 3 3,27 1,4 30,8
030	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	7 4 10 3 24
035	Шліцефрезерна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	12 9,1 12 4 16
040	Слюсарна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	1 2 4 3 10

045	Промивна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 3 10 5 22
050	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 0,5 2 3 7,5
055	Круглошліфувальна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	7 0,9 9 1,9 10
060	Промивна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 3 10 5 22
065	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 0,5 2 3 7,5
070	Зубофрезерна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	5 8 25 6 30
075	Промивна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 3 10 5 22

080	Слюсарна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	1 2 4 3 10
085	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	5 4 8 2 19
090	Термічна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	10 2,2 25 2 30
095	Зубошліфувальна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	11 7 15 3,6 30
100	Промивна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 3 10 5 22
105	Термічна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	10 2,2 25 2 30
110	Круглошліфувальна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	7 0,9 9 1,9 10

115	Полірувальна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	7 0,9 9 1,9 10
120	Довбальна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	12 7,8 6 5 15
125	Слюсарна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	1 2 4 3 10
130	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 0,5 2 3 7,5
135	Промивна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	2 3 10 5 22
140	Контрольна 1. Підготовчо-заключний час 2. Допоміжний час 3. Основний час 4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок 5. Норма штучного часу	7 3 24 7,7 38

145	Консервація	10 4 10 3 27
	1. Підготовчо-заключний час	
	2. Допоміжний час	
	3. Основний час	
	4. Час на обслуговування робочого місця, відпочинок	
5. Норма штучного часу		

2.8 Створення керуючої програми у САМ

Розроблення керуючої програми для токарної обробки деталі виконано з використанням САМ-системи ESPRIT, яка забезпечує повну інтеграцію з токарними верстатами з ЧПК та дозволяє здійснювати побудову, перевірку і оптимізацію траєкторій інструмента з урахуванням кінематики обладнання.

Як основне технологічне обладнання обрано токарний верстат з ЧПК DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II. У середовищі ESPRIT попередньо обрано відповідну конфігурацію верстата, включно з параметрами шпинделя, револьверної головки, патрона та системи координат.

На першому етапі до САМ-системи ESPRIT імпортовано тривимірну модель деталі. Далі задано геометрію заготовки з урахуванням припусків на механічну обробку. Нуль деталі встановлено по торцю заготовки з боку затиску в патроні, що відповідає прийнятій схемі базування та забезпечує зручність програмування осьових розмірів.

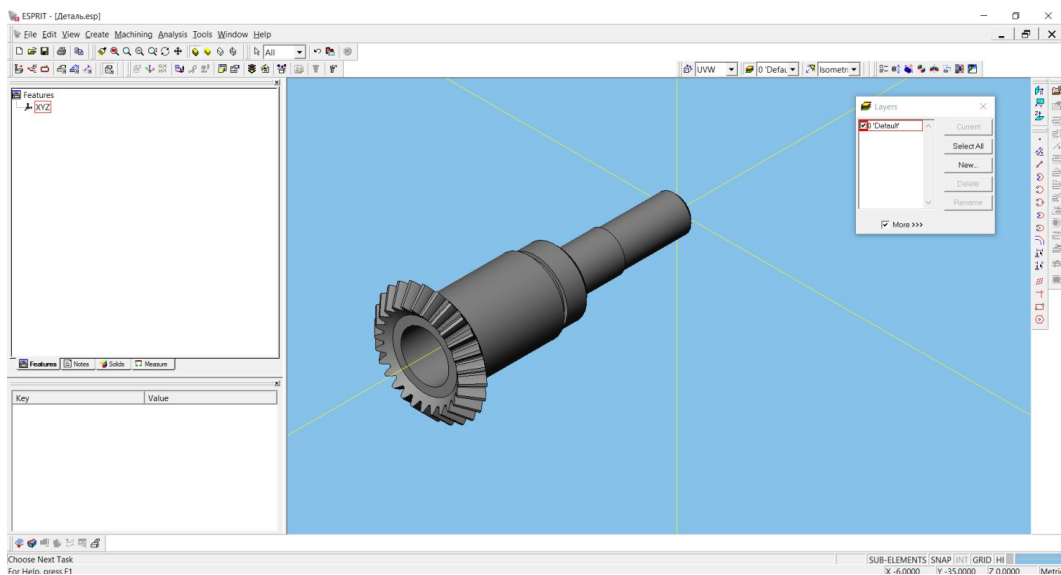


Рисунок 2.1 – Перший етап

Після завдання базування виконано формування технологічних операцій токарної обробки. Для кожної операції в ESPRIT автоматично або вручну створено траєкторії руху інструмента з урахуванням безпечних підводів, відводів та зон уникнення зіткнень. Режими різання підібрано відповідно до матеріалу деталі та вимог до якості оброблених поверхонь.

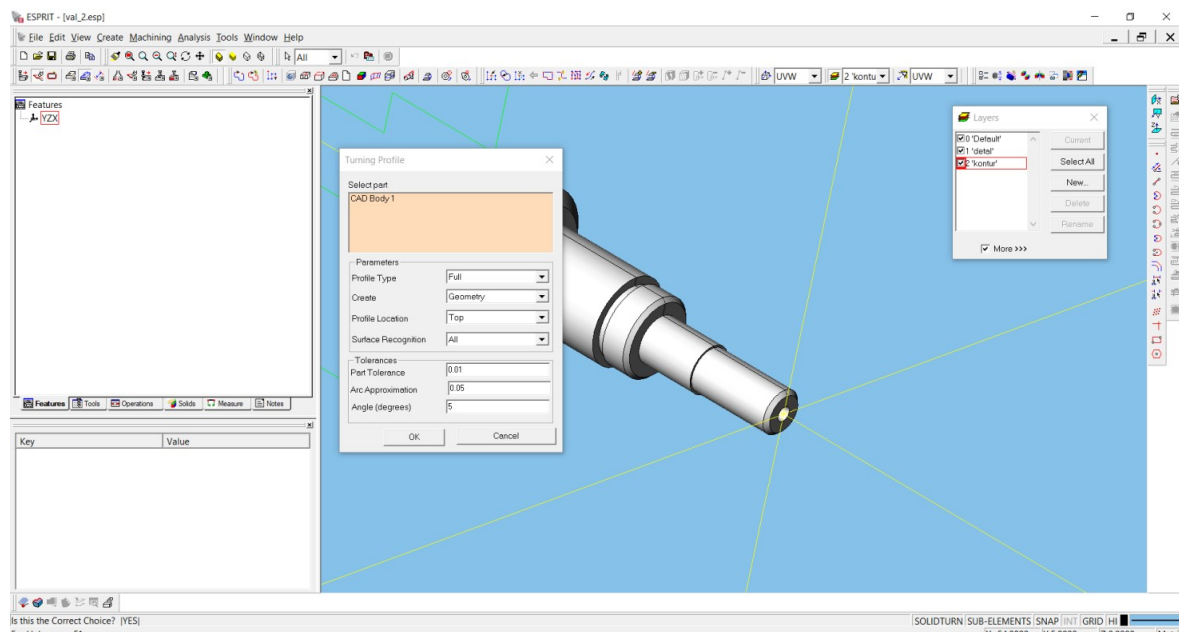


Рисунок 2.2 – Другий етап – підбір режими різання

Побудовані траєкторії перевірено за допомогою модуля візуальної симуляції ESPRIT, який дозволяє відслідковувати рух інструмента, заготовки та елементів верстата, а також виявляти можливі зіткнення. За результатами представлено рис.2.3.

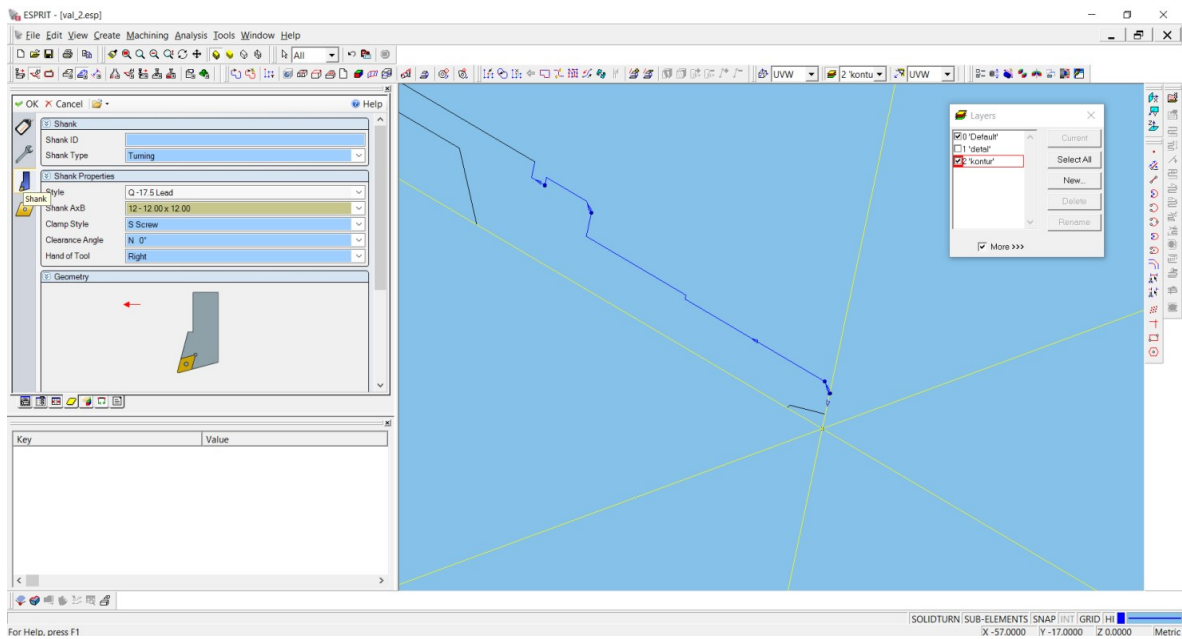


Рисунок 2.3 – Третій етап підбір режими різання

Після завершення перевірки керуючу програму сформовано з використанням постпроцесора, адаптованого під систему ЧПК верстата DN Solutions (Doosan) PUMA 2600LY II, та підготовлено до передачі у виробництво.

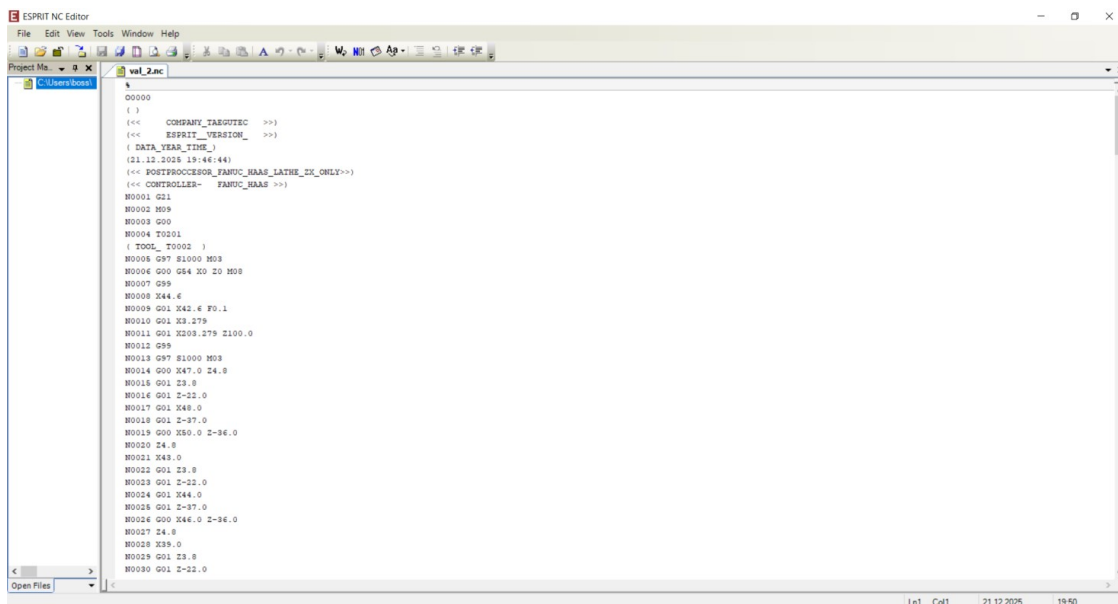


Рисунок 2.4 – Четвертий етап – підбір режими різання

РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ

3. 1 Проектування спеціального пристрою

3.1.1 Розробка принципової схеми пристосування

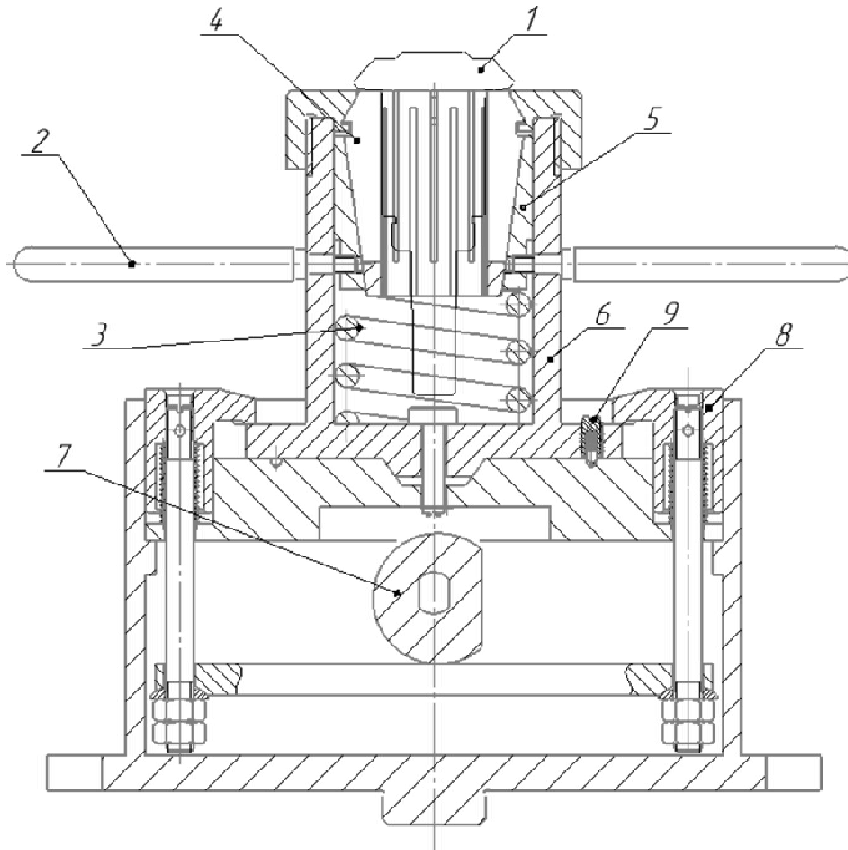


Рисунок 3.1 – Схема пристосування. 1 – заготовка, 2 – важіль, 3 – пружина, 4 – цанговий патрон, 5 – втулка, 6 – корпус, 7 – кулачок, 8 – прихвати, що фіксують, 9 – гвинт-фіксатор

Принцип роботи пристрою будується на розкритті пелюсток цанги шляхом переміщення втулки 5, яка стискатиме пружину 3 для розкриття пелюсток цанги. У корпусі пристосування 6 виконаний спіральний паз, яким переміщається важіль 2 для приміщення заготовки 1 в цангу ER50-d32 4. Також додатково буде реалізована схема повороту з використанням пари тертя. Кулачковий механізм 7 дозволить фіксувати в систему в осьовому напрямку за допомогою прихватів 8, крок визначає положення канавок, а також гвинт-фіксатор 9 з пружною кулькою. Зусилля, необхідне закріплення заготовки, буде

створено пружиною. Для розрахунку сили пружини, що створюється, використовується онлайн-калькулятор [2], результати якого будуть прикладені нижче.

3.2 Розробка схеми базування

При механічній обробці заготовок, особи во складної конфігурації, виникає необхідність змінювати їхнє положення. Якщо при встановленні в новому положенні змінюються бази, то виникають відхилення від перпендикулярності, паралельності, співвісності та інші похибки між раніше та знову обробленими поверхнями. Кожна нова зміна баз підвищує ці похибки. У межах однієї операції, коли обробка ведеться з одного установи, вони мінімальні. Таким чином, протягом усього технологічного процесу необхідно дотримуватися принципу сталості баз. При механічній обробці виробів для підвищення точності розташування поверхонь кількість баз на всіх операціях повинна бути мінімальною, і, якщо це можливо, слід використовувати ту саму базу. У межах операції необхідно прагнути вести обробку з одного установка.

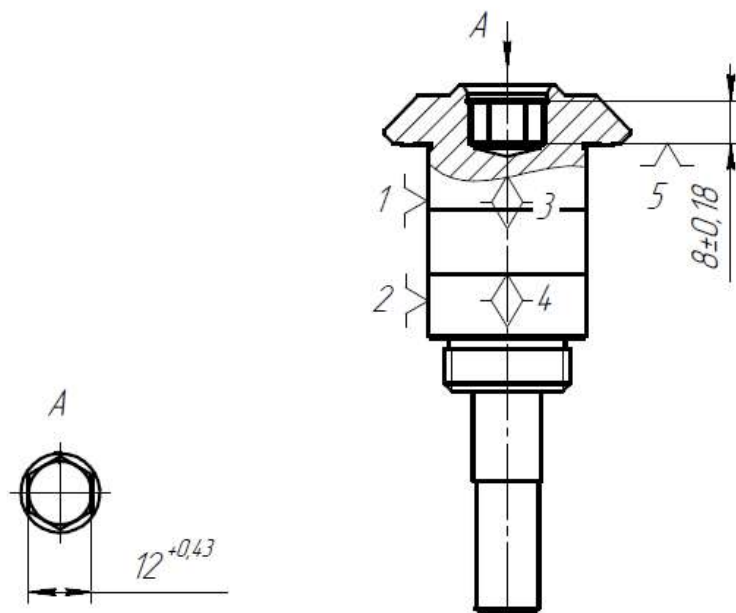


Рисунок 3.2 – Схема базування операції 120 Довбальна

Закріплення відбувається за зовнішнім діаметром $\varnothing 30$ мм у спеціальному пристосуванні. Упор у нижній торець.

Схема базування складається з подвійної напрямної, яка позбавляє чотирьох ступенів свободи – переміщень вздовж двох координатних осей та поворотів навколо цих осей. А також опорної бази, яка позбавляє одну степінь свободи – переміщення вздовж однієї координатної осі або повороту навколо осі.

3.3 Розрахунок необхідних зусиль затискача

Осьове зусилля Q , необхідне зтягування цанги, що забезпечує силу затиску P_2 розраховується за формулою:

$$Q = (P_1 + P_2) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \quad (3.1)$$

де P_1 – сила, що стискає пелюстки цанги до зіткнення з поверхнею заготовки;

P_2 – сила затиску заготовки всіма пелюстками цанги;

$\alpha = 30^\circ$ – половина кута конуса цанги;

φ – кут тертя:

$\varphi = \operatorname{arctg} f_1 = \operatorname{arctg} 0,15 = 8,53^\circ$;

$f_1 = 0,15$ – коефіцієнт тертя конусної поверхні.

Сила, що стискає пелюстки цанги до зіткнення з поверхнею заготовки, розраховується за формулою:

$$P_1 = 3 \frac{EJf^2}{l^3}, \quad (3.2)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^6$ кг/см² – модуль пружності сталі, що йде виготовлення цанги;

$l = 5,55$ см – відстань від площини зачеа пелюстки цанги до середини затискаючого конуса цанги;

f – стріла прогину пелюстки ($f = \delta$);

$\delta = 0,1$ см – зазор між цангою тазаготовкою (до початку затиску);

$z = 8$ – число пелюсток цанги;

J – момент інерції в перерізі заробленої частини пелюстки, що розраховується за формулою:

$$J = \frac{D^3 S}{8} \left(\alpha_1 + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{2 \sin^2 \alpha_1}{\alpha_1} \right), \quad (3.3)$$

де $\alpha_1 = 45^\circ$ – кут сегмента пелюстки цанги;

$D = 5,2$ см – зовнішній діаметр пелюсток цанги;

$S = 0,6$ см – товщина пелюстки цанги.

Підставимо значення J в формулу для розрахунку P_1 :

$$P_1 = 3,375 \frac{ED^3 S f z}{l^3} \left(0,0174 \frac{\alpha_1}{2} + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - 299,88 \frac{\sin^2 \alpha_1}{\alpha_1} \right) =$$
$$3,375 \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 5,2^3 \cdot 0,6 \cdot 0,1 \cdot 8}{5,55^3} \left(0,0174 \frac{45^\circ}{2} + \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ - 299,88 \frac{\sin^2 45^\circ}{45^\circ} \right) = 1718 \text{ Н.}$$

Проведемо розрахунок сили затиску заготовки всіма пелюстками цанги:

$$P_Z = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{M^2}{r^2} + q^2 K}, \quad (3.4)$$

де M – момент різання, Н·м;

$q = 2751$ Н – складова частина зусилля, прикладеного при різанні, що зсуває заготовку вздовж осі;

$r = 0,015$ – радіус заготівлі на ділянці затиску, м;

$K = 1,5 \dots 2$ – коефіцієнт запасу.

Момент різання визначається за такою формулою:

$$M = P_2 r_1 = 4458 \cdot 0,006 = 26,748 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $P_z = 4458$ Н – сила різання, що прагне повернути заготовки щодо цанги;

$r_1 = 0,006$ м – відстань від осі до точки докладання сили різання.

$$P_Z = \frac{1}{f} \sqrt{\frac{M^2}{r^2} + q^2 K} = \frac{1}{0,01} \sqrt{\frac{26,748^2}{0,015^2} + 2751^2 \cdot 1,5} = 1783 \text{ Н.}$$

Осьове зусилля:

$$Q = (P_1 + P_2) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) = (1718 + 1783) \cdot \operatorname{tg}(30^\circ + 8,53^\circ) = 2785 \text{ Н.}$$

Розрахуємо конфігурацію пружини для створення необхідного зусилля.

Розрахунок пружин стискання

Матеріал: EN 10270-1:2017

Маса пружини: 0,18962 кг

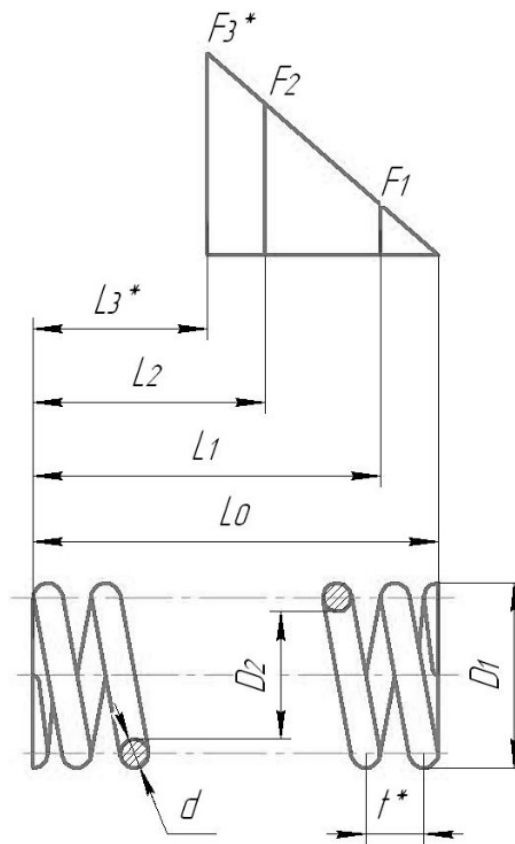


Рисунок 3.3 – Конфігурація необхідної пружини

Таблиця 3.1 – Варіанти оформлення опорних витків

Варіант оформлення опорних витків	Піджати, зашифровані
Діаметр середній (D сер)	50,00 мм
Діаметр внутрішній (D2)	43,00 мм
Кількість витків повна (n1)	4,00 шт.

Варіант оформлення опорних витків	Піджати, зашифровані
Попереднє навантаження (F_1)	2732,94 Н
Робоче навантаження (F_2)	4052,29 Н
Максимальне навантаження (F_3)	6078,43 Н
Довжина при доторканні витків (L_3)	3,50 мм
Жорсткість пружини (c)	94,24 Н/мм
Крок (τ^*)	28,75 мм
Розгортка пружини	628,00 мм
Маса пружини (m_1)	0,18962 кг
Маса парті пружин (m_2)	0,19 кг

Розрахунок осі на зріз.

Формула для розрахунку осі:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi \cdot i \cdot z \cdot \tau_{cp}}}, \quad (3.5)$$

де d – діаметр осі, мм; $S = 2785$ – навантаження на зріз, Н;

$i = 1$ – число площин зрізу; $z = z = 1$ – кількість осей;

$\tau_{cp} = 490$ – допустима напруга, в МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2785}{3,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 490}} = 5 \text{ мм.}$$

Розрахунок гвинта на зріз

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2785}{3,14 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 500}} = 2,76 \text{ мм.}$$

Округлимо отримане значення. Потрібні гвинти М3.

Розрахунок кулачка для фіксації пристосування в осьовому напрямку:

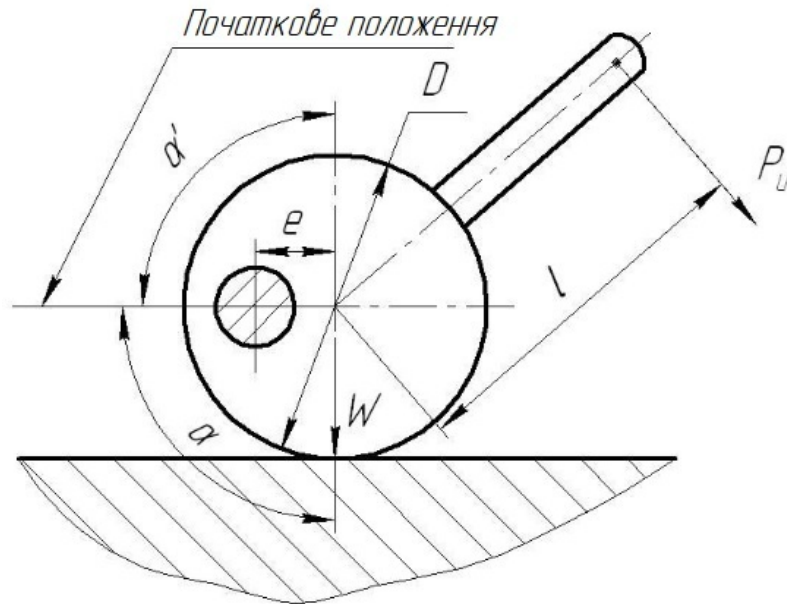


Рисунок 3.4 – Схема кулачка

Знаходимо кут тертя “деталь-ексцентрик”:

$$\varphi_1 = \arctg(f_1), \quad (3.6)$$

де $f_1 = 0,15$ – коефіцієнт тертя "деталь - ексцентрик", значення коефіцієнта тертя “деталь – ексцентрик” відповідне нагоди “сталь по сталі без мастила”.

$$\varphi_1 = \arctg(0,15) = 8,53^\circ.$$

Знаходимо кут тертя "вісь - ексцентрик”:

$$\varphi_2 = \arctg(f_2), \quad (3.7)$$

де $f_2 = 0,12$ – коефіцієнт тертя “вісь – ексцентрик”, значення коефіцієнта тертя “вісь – ексцентрик” відповідне нагоди “сталь по сталі зі мастилом”.

$$\varphi_2 = \arctg(0,12) = 6,84^\circ.$$

Зменшення тертя в обох місцях підвищує силову ефективність механізму, але зменшення тертя області контакту деталі і кулачка веде до зникнення самогальмування.

Знаходимо максимальний кут кругового клина:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2 \cdot e}{D}\right) \quad (3.8)$$

де, $e = 2$ – ексцентриситет кулачка, мм; для забезпечення самогальмування на сталевих поверхнях бажано виконувати умову: $D/e > 15$. В ДСТУ 8769:2018: $D/e = 20$.

$D = 38$ – діаметр ексцентрика, мм.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{2 \cdot 2}{38}\right) = 6^\circ.$$

Тоді радіус–вектор точки контакту дорівнюватиме

$$R = \frac{D}{2 \cdot \cos\alpha} = \frac{38}{2 \cdot 0,99} = 19,1 \text{ мм.} \quad (3.9)$$

А відстань від осі ексцентрика до опори, відповідно, буде:

$$A = s + R \cdot \cos\alpha,$$

де s – товщина деталі, що затискається, мм.

$$A = 10 + 19,1 \cdot 0,99 = 28,9 \text{ мм.}$$

Умовою самогальмування є виконання співвідношення:

$$e \leq R \cdot f_1 + D/2 \cdot f_2 \quad (3.10)$$

$$e \leq 19,1 \cdot 0,15 + 38/2 \cdot 0,12$$

$$2 \leq 5,1.$$

Умова виконується – самогальмування забезпечується.

Зусилля затискача можна знайти за формулою:

$$F = \frac{P \cdot L \cdot \cos\alpha}{R \cdot \tan(\alpha + \varphi_1) + d/2 \cdot \tan\varphi_2}, \quad (3.11)$$

де $P = 100$ – зусилля на рукоятці, Н; d – діаметр осі, мм;

$L = 100$ – довжина рукоятки, мм

$$F = \frac{100 \cdot 100 \cdot 0,09}{19,1 \cdot 0,26 + 5 \cdot 0,12} = 1779 \text{ Н.}$$

3.4 Розрахунок та конструювання вимірювального пристрою

Вимірювальний пристрій призначений для контролю радіального биття циліндричних поверхонь деталі типу вал-шестерня відносно базової осі. Контроль здійснюється індикаторним методом під час обертання деталі, установленної на оправці.

Пристрій складається з корпусу, на якому закріплена стійка. У стійці розміщено два контакти: нерухомий і рухомий. Рухомий контакт кінематично

з'єднаний з індикатором годинникового типу та передає на нього переміщення, що виникають унаслідок відхилень форми або положення контрольованої поверхні.

Деталь, що перевіряється, встановлюється на циліндричну оправку та фіксується з'ємною шайбою. Таке встановлення забезпечує співвісність деталі з оправкою та повторюваність базування. Після встановлення індикатора з необхідним попереднім натягом деталь плавно повертають навколо осі оправки.

Під час перевірки торцевого биття індикатор контактує з торцевою поверхнею деталі, а його покази фіксують максимальні та мінімальні відхилення за один оберт. Різниця між цими значеннями відповідає величині торцевого биття. Для контролю радіального биття на стійці встановлюється боковий індикатор, який контактує з циліндричною поверхнею деталі. Під час обертання деталі індикатор реєструє зміну положення поверхні відносно осі обертання, а величина радіального биття визначається як різниця між максимальним і мінімальним показами індикатора.

Робочий хід індикатора обирається з урахуванням очікуваної величини биття та запасу на налаштування, що забезпечує стабільність і зручність вимірювань. Ціна поділки індикатора повинна бути значно меншою за допуск на биття, щоб забезпечити необхідну точність контролю. Жорсткість корпусу, стійки та вузлів кріплення має забезпечувати мінімальні пружні деформації під дією вимірювального зусилля, які не впливають на результат вимірювання.

Запропонована конструкція вимірювального пристрою є простою у виготовленні, зручною в експлуатації та забезпечує надійний контроль радіального і торцевого биття циліндричних поверхонь деталі вал-шестерня відповідно до вимог геометричної точності.

Розраховуємо на точність спроектований контрольний пристрій

$$\varpi \leq [\varpi] \quad (3.12)$$

де ϖ – похибка контролю в пристрої

$$\varpi = \xi + \Delta_{i.\zeta} + \Delta_{\dot{a}} + \Delta_{i\dot{o}}; \quad (3.13)$$

ξ – похибка установки деталі в контрольному пристрої. Так як контрольна база - вісь є також базовою поверхнею при механічній обробці то $\xi = 0$;

$\Delta_{i.\zeta}$ – похибка передаючих засобів приладу. Відхилення передаються в пристрої від поверхні деталі на індикатор безпосередньо

$$\Delta_{i.\zeta} = 0 \text{ мм};$$

$\Delta_{\dot{a}}$ – похибка еталонної деталі

$$\Delta_{\dot{a}} = 0.005 \text{ мм};$$

$\Delta_{i\dot{o}}$ – похибка контрольного приладу. Для пристрою з індикатором

$$\Delta_{i\dot{o}} = 0,01 \text{ мм}.$$

Тоді маємо

$$\varpi = 0 + 0 + 0,005 + 0,01 = 0,015 \text{ мм}$$

$[\varpi]$ – допустима похибка контролю, яка визначається в залежності від квалітету згідно ГОСТ 8051-81

$$[\varpi] = (0,2 \dots 0,38) \cdot T$$

T – допуск на параметр, який контролюється. Визначаємо по VIII ступені точності - 80 мкм

$$[\varpi] = 0,35 \cdot 80 = 0,028 \text{ мм}$$

звідки

$$(\varpi = 0,015) > ([\varpi] = 0,028)$$

Пристрій повністю задовольняє умовам контролю, а його точність не повинна перевищувати 0,025 мм.

4. ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 Дослідження складного шару для глибоко азотованих зубчастих коліс

Азотування збільшує довговічність зубчастих коліс при контактні кочення, тоді як утворені залишкові стискаючі напруження в дифузійному шарі відповідають за підвищення втомної міцності [19,21]. Глибоке азотування використовується для досягнення значення глибини твердості азотування понад 0,6 мм. Дослідження зосереджені на одночасному формуванні високої глибини азотування та товстого та компактного шару сплаву. Окрім збереження міцності, проблемою є контроль пористості шару сплаву, яка повинна бути якомога нижчою. Глибоке азотування відрізняється від звичайного азотування тим, що спрямоване на досягнення вищої глибини твердості при азотуванні, приблизно 0,8–1,0 мм. Для досягнення такої глибини твердості при азотуванні необхідні тривалі періоди азотування та/або високі температури азотування, що призводить до втрати міцності в азотованому шарі та в ядрі. Щоб мінімізувати ці втрати міцності, спричинені впливом відпуску під час азотування, максимально можлива температура азотування обмежується залежно від матеріалу [19].

Для азотування глибина гартування азотування приблизно 0,6 мм вважається економічно вигідним значенням. Тому загартування часто використовується для більших зубчастих передач, оскільки більшої глибини гартування можна досягти за коротший час. Тим не менш, азотування пропонує деякі переваги, пов'язані з процесом, порівняно з цементацією, такі як кращий захист від подряпин, зносу та корозії, вища твердість поверхні, температуростійкий поверхневий шар для використання за вищих температур, а також менші зміни розмірів та форми, і тому, як правило, відсутність потреби в повторній обробці [20]. Глибоке азотування відрізняється від звичайного азотування тим, що спрямоване на досягнення вищої глибини твердості при азотуванні, приблизно 0,8–1,0 мм.

Дотепер основною метою розробки процесу азотування було досягнення високої глибини твердості азотування з економічною тривалістю процесу, і мало уваги приділялося шару сполуки під час цього процесу. У випадкових випробуваннях на несучу здатність бокової поверхні зуба один з досліджуваних варіантів, який мав порівняно товстий, компактний шар сполуки через вищу температуру азотування, продемонстрував особливо хороші показники несучої здатності. Примітно, що шар сполуки залишався майже неушкодженим після випробувань на навантаження при високих рівнях навантаження, тоді як в інших випробуваних варіантах з тоншим шаром сполуки дефекти в шарі сполуки виникали лише після кількох циклів навантаження [14]. Крім того, автори [15] у своїй роботі показали, що контроль параметрів азотування необхідний, оскільки профіль кристалічної структури шару сполуки важливий для роботи шестерні.

Глибоко азотований матеріал 32CDV13 (0,32% C, 0,33% Si, 0,55% Mn, 3,00% Cr, 0,90% Mo та 0,29% V) продемонстрував значний потенціал несучої здатності в [14]. Шестерні були глибоко азотовані в матеріалорієнтованому двостадійному процесі контрольованого газового азотування зі сталеву ретортою. На першому етапі при 520°C протягом 15 годин з потенціалом азотування $KN=1$ утворився складний шар та дрібні осадки нітридів у першій зоні дифузії товщиною приблизно 0,25 мм. На другому етапі температуру підвищили до 570°C протягом 130 годин, і одночасно потенціал азотування знизили до $KN=0,5$. Другий етап використовувався переважно для швидкої дифузії азоту в матеріал з метою досягнення бажаної глибини твердості азотування. Шар сплаву еталонного матеріалу 32CDV13, сформований на бічній поверхні зуба, показано на рис. 4. 1.

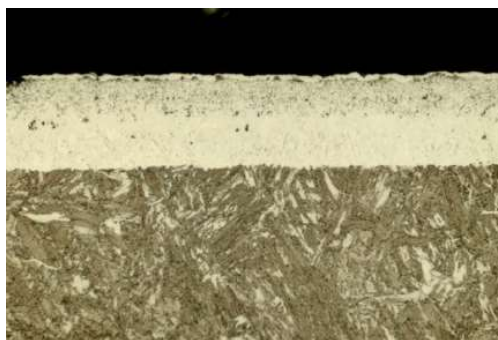


Рисунок 4.1 – Складний шар опорного стану сталі 32CDV13, глибоко азотованого двостадійною обробкою

Незважаючи на низький потенціал азотування $K_N=0,5$ у фазі дифузії, утворився відносно товстий шар сполуки через порівняно високу температуру та тривалий час, необхідний для азотування.

Профілі азоту та вуглецю еталонного шару сполуки, визначені за допомогою оптичної емісійної спектроскопії тліючого розряду (GD-OES), показано на рисунку 2. В області пористої зони концентрація азоту приблизно 9–9,5 мас.% була дещо вищою, ніж у компактній області шару сполуки нижче. Тут концентрація азоту становила близько 6,5 мас.%. Беручи до уваги легуючі елементи, які також зв'язують азот у вигляді нітриду, можна припустити, що шар сполуки складається переважно з γ' -нітриду, а в області пористих зон також утворилися ϵ -нітриди. Рентгенівський фазовий аналіз з $C\alpha$ -випромінюванням (вимірювання поверхні) показав склад шару сполуки приблизно з 14% ϵ -нітриду та приблизно 86% γ' -нітриду, що підтверджує міркування, зроблені на основі профілю азоту.

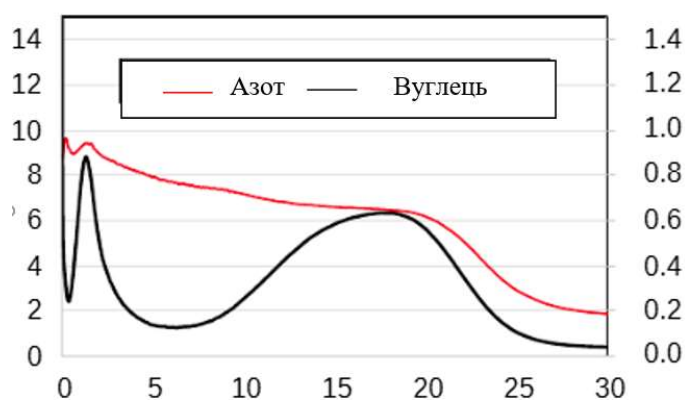


Рисунок 4.2 – Профілі глибини азоту та вуглецю GD-OES для глибоко азотованого опорного стану

Досліджуваним матеріалом слугувала часто використовувана азотована та відпускна сталь 31CrMoV9 (0,33% C, 0,29% Si, 0,57% Mn, 2,41% Cr, 0,16% Mo та 0,12% V). Матеріал гартували та відпускали перед азотуванням. Для цього матеріал аустенітизували при 950°C, гартували в олії та відпускали протягом 2 годин при 630°C. Температура гартування, яка не є типовою для матеріалу 31CrMoV9, була обрана відповідно до практики для еталонного матеріалу 32CDV13, щоб отримати мікроструктурний стан, подібний до стану еталонного матеріалу. Порівняно з класичним гартуванням при 870°C та відпуском при 630°C, вища температура аустенітизації призвела до твердості приблизно на 30 HV1 вищої. Вважалося, що причиною вищої твердості є те, що при вищій температурі аустенітизації розчиняється більше вуглецю через розчинення осадів з низьким вмістом хрому, і що карбіди знову дрібно осідають під час наступного відпуску.

Обробки азотування та нітроцементациї проводилися в газовій установці для азотування з контрольованим потенціалом азотування та нітроцементациї. Нагрівання проводилося в аміачній атмосфері для активації поверхні зразка. Охолодження після азотування також проводилося з додаванням аміаку (фазово-контрольоване охолодження), щоб уникнути витоку азоту та подальшої денітрації в кінці процесу.

З метою розуміння взаємозв'язку між потенціалом азотування та цементациї, а також структурою та фазовим складом складного шару, спочатку було проведено короткочасну обробку. Шляхом певної варіації потенціалу азотування та цементациї можна було отримати різні складні шари шляхом азотування та нітроцементациї. Для короткочасних випробувань було обрано температуру 520°C та тривалість 15 годин, аналогічно першому етапу двоступеневої обробки еталонного матеріалу. В одній з обробок температуру 520°C було підвищено до 550°C для нітроцементациї, оскільки нітроцементацию частіше проводять за температур 550–590°C. Короткочасні обробки мали на меті допомогти у виборі

параметрів процесу для тривалих обробок. Тривалі обробки проводилися за двома різними стратегіями: в одноступеневій обробці метою було створення безперервної структури складного шару, тоді як у двоступеневій обробці складний шар створювався на додатковому етапі процесу до або після нарощування дифузійного шару. Глибина твердості азотування була спрямована на рівні приблизно 0,8 мм після всіх тривалих обробок.

Одностадійна обробка з потенціалом азотування $K_N=0,5$ відповідає фазі дифузії процесу, розробленого для матеріалу 31CrMoV9 у [4,14], і також використовувалася як фаза дифузії у двоступеневих обробках. У двох подальших одноступеневих обробках метою було отримання товстішого шару сполуки шляхом збільшення потенціалу азотування. Нарощування складного шару після нарощування дифузійного шару мало на меті формування більш компактного, менш пористого складного шару.

Товщину шару сполуки та пористої зони оцінювали відповідно до випробувальних специфікацій [21] на металографічному поперечному перерізі, взятому зі зразків-купонів, розділених іскровою ерозією. Всі перерізи були протравлені, а зображення були отримані при 1000-кратному збільшенні за допомогою світлового мікроскопа LeicaDM6000. Середній шар сполуки та товщина пористої зони визначалися шляхом вимірювання в десяти точках на трьох мікрофотографіях. Окрім документування шару сполуки, глибину твердості азотування також визначали на поперечному перерізі відповідно до DIN 50190-3. Склад шарів сполуки визначали за допомогою спектроскопії тліючого розряду та рентгенівського методів. Для цього були записані глибинні профілі азоту та вуглецю на глибину близько 50–70 мкм. На основі вмісту азоту та вуглецю можна оцінити товщину та склад шару сполуки, оскільки фази (карбо-)нітридів мають різний вміст азоту та вуглецю. Крім того, були записані спектри рентгенівської дифракції з Cr-K α -випромінюванням та визначені пропорції ϵ - та γ' -нітридів за допомогою методу Рітвельда. Метод Рітвельда передбачає апроксимацію всього спектру. Дифракційний спектр полікристалічної речовини розглядається як математична функція кута

дифракції, який також залежить від кристалічної структури. Починаючи з початкової моделі розташування атомів, структурні та інструментальні параметри постійно уточнюються. Оскільки глибина проникнення рентгенівських променів, визначена як глибина, до якої інтенсивність випромінювання падає до $1/e$, обмежена приблизно 10 мкм, а інформація про фазові частки відповідно до експоненціальної функції, зваженої за глибиною, була включена до вимірюваного значення, отриману таким чином інформацію можна розглядати як середній фазовий склад для товстіших шарів сполуки на додаток до вимірювань GD-OES та термодинамічних розрахунків.

Короткочасні обробки, спочатку проведені для азотування та нітроцементатації, мали на меті дати уявлення про проектування стадій двостадійної обробки, щоб вплинути на структуру шару сполуки. У таблиці 3 показано шар сполуки та товщину пористої зони, досягнуті в результаті короткочасних обробок. Під час азотування лише потенціал азотування $KN=5$ був достатнім для досягнення товщини шару сполуки, яка наближається до товщини шару сполуки в еталонному стані, через 15 годин при 520°C .






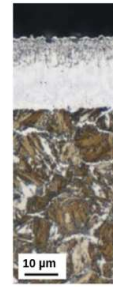
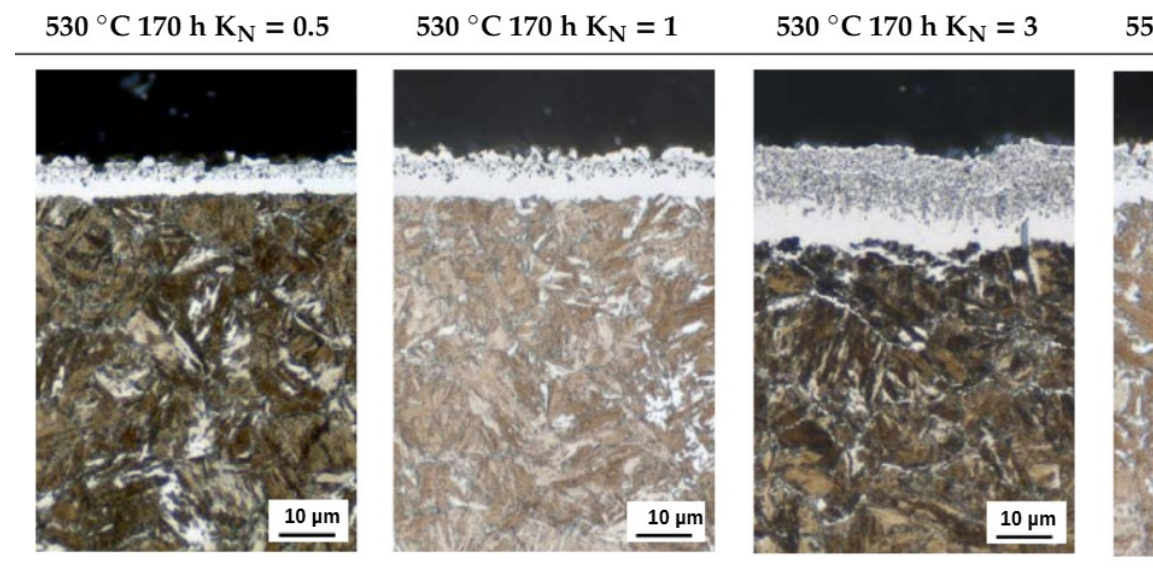
Азотування			Нітроцементатація		
520 °C 15 h $K_N = 1$	520 °C 15 h $K_N = 3$	520 °C 15 h $K_N = 5$	520 °C 15 h $K_N = 1 K_C^B = 0.1$	520 °C 15 h $K_N = 5 K_C^B = 0.1$	550 °C 15 h $K_N = 5 K_C^B = 0.1$
					
CLT = 2 μm	CLT = 7 μm	CLT = 12 μm	CLT = 3 μm	CLT = 6 μm	CLT = 19 μm
CLT _p = 1 μm	CLT _p = 3 μm	CLT _p = 5 μm	CLT _p = 2 μm	CLT _p = 5 μm	CLT _p = 7 μm

Рисунок 4.3 – Товщини шару суміші та пористої зони після короткочасного азотування та нітроцементатації

При одноступеневій обробці має відбуватися безперервне нарощування шару сполуки, поки не досягається глибина твердості азотування. На рис. 4.5 показано шар сполуки та товщину пористого шару, досягнуті при одноступеневій обробці, а також глибину твердості азотування. Цільова глибина твердості

азотування 0,8 мм була досягнута майже точно при всіх обробках. Порівняння з даними для шару сполуки та товщини пористого шару еталону показує, що лише обробка з потенціалом азотування $K_N=3$ призвела до порівнянної товщини шару сполуки. Однак пориста зона була значно товстішою, ніж у еталоні.

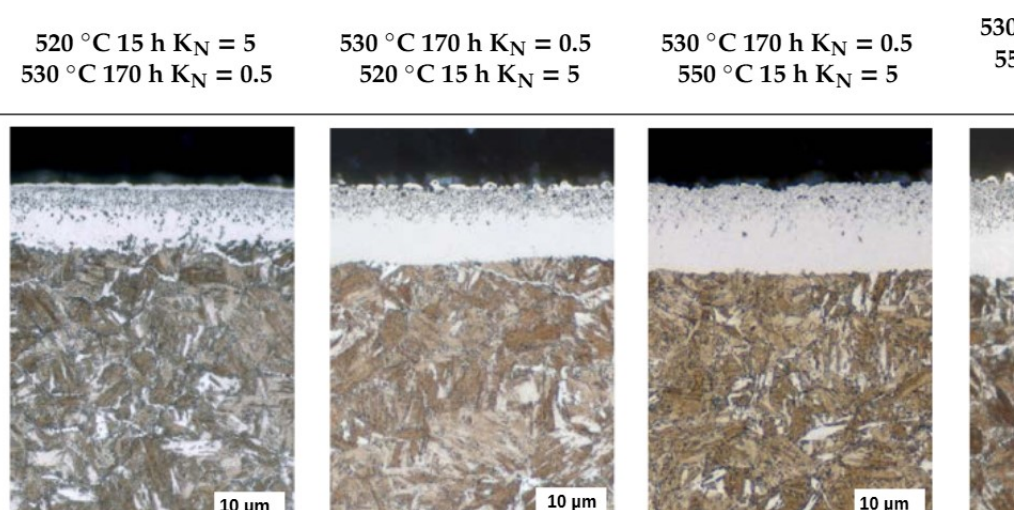


Рисунку 4.5 – Товщина шару сполуки, товщина пористої зони та глибина твердості азотування після одноступеневої обробки азотуванням.

Оскільки глибоке азотування при 530°C вимагає високого потенціалу азотування для створення товстого шару сполуки, а тривалий час азотування, необхідний одночасно, сприяє утворенню пор, одностадійне глибоке азотування виявилось непридатним для отримання товстих і водночас компактних шарів сполуки під час глибокого азотування.

У двостадійній обробці керування процесом повинно впливати на структуру шару сполуки таким чином, щоб утворювався компактний шар сполуки з подібною товщиною та складом до еталонного. У першій двостадійній обробці шар сполуки спочатку нарощувався за аналогією з процедурою, розробленою Фло [20,21], де можна досягти тонких шарів сполуки та високої твердості азотування. Оскільки в поточних дослідженнях метою був товстий шар сполуки, на першому етапі процесу для формування шару сполуки було обрано порівняно високий потенціал азотування $K_N=5$. За аналогією з короткочасними обробками, шар сполуки товщиною приблизно 12 мкм вже повинен бути сформований на цьому 15-годинному етапі обробки при 520 °C. На друго-

му етапі процесу було обрано відносно низький потенціал азотування, щоб обмежити подальше зростання шару сполуки та пористого шару. На рис.4.6 представлено те, що шар суміші насправді має подібну товщину до шару, отриманого після короткочасної обробки, що відповідає першому етапу. Однак, одна відмінність полягає в товщині пористої зони в шарах компаунда. Під час тривалої обробки на стадії процесу можуть утворюватися додаткові пори, що дозволяє досягти глибини твердості азотування протягом тривалого періоду обробки, в результаті чого частка пористої зони в шарі компаунда буде більшою, ніж бажано.



Рисунку 4.5 – Товщина шару суміші , товщина пористої зони та глибина твердості азотування після двостадійного азотування.

Оскільки цільова товщина шару сполуки 15–17 мкм ще не досягнута, параметри другого етапу процесу були змінені в двох подальших експериментах таким чином, щоб стимулювати ріст шару сполуки. У третьому двостадійному експерименті температура на етапі формування шару сполуки була збільшена з 520°C до 550 °C, а в останньому двостадійному експерименті до азотуючої атмосфери було додано донор вуглецю, так що це була стадія нітроцементатії. Щодо шару сполуки та товщини пористої зони, за допомогою цих обробок було досягнуто результату, подібного до еталонного.

На стадії формування шару було збільшено з 520°C до 550°C, а в останньому двостадійному експерименті до азотуючої атмосфери було додано донор

вуглецю, так що це була стадія нітроцементатії. Що стосується шару сполуки та товщини пористої зони, то за допомогою цих обробок було досягнуто результату, подібного до еталонного. У таблиці 4.1 показано фазові частки γ' - та ϵ -нітриду у шарах сполуки, утворених у двостадійних експериментах, визначені за допомогою рентгеноструктурного аналізу. Можна стверджувати, що фазовий склад шарів сполуки, утворених чистим азотуванням, був приблизно однаковим. Як і шар сполуки еталону (86% γ' -нітриду та 14% ϵ -нітриду), вони склалися переважно з γ' -нітриду з невеликою кількістю ϵ -нітриду. Порівняння з 15-годинною короткочасною обробкою при 520°C з потенціалом азотування $K_N=5$ також показує, що не тільки товщина, але й фазовий склад шару сполуки був приблизно однаковим після короткочасної обробки та відповідної тривалої обробки.

Таблиця 4.1 – Фазові частки γ' - та ϵ -нітриду у шарах сполуки

Двостадійна тривала обробка	γ' -нітрид	ϵ -нітрид
520°C 15h $K_N=5$	88	12
530°C 170h $K_N=0,5$		
530°C 170h $K_N=0,5$	85	15
520°C 15h $K_N=5$		
530°C 170h $K_N=0,5$	88	12
550°C 15h $K_N=5$		
530°C 170h $K_N=0,5$	60	40
550°C 15h $K_N=5$ $K_{cB}=0,1$		

У двостадійній обробці, в якій шар сполуки формувався під час стадії нітроцементатії в кінці процесу, утворювалася більша частка ϵ -нітриду. Це також приблизно відповідало частці ϵ -нітриду, що утворився під час відповідної короткочасної обробки. Отже, з результатів короткочасної та двостадійної обробок можна зробити висновок, що як товщина шару сполуки, так і його фазовий склад у двостадійних процесах по суті визначалися стадією процесу формування шару сполуки. Це відкриває можливість цілеспрямованого впливу на формування шару сполуки під час двостадійного глибокого азотування.

Висновки. Дослідження показали, що під час глибокого азотування матеріалу 31CrMoV9 можна контролювати структуру азотуючого шару за допомогою керування процесом. Для цілеспрямованого впливу на товщину та фазовий склад шару сполуки підходить двоступеневе керування процесом, при якому дифузійний шар, а отже, і глибина твердості азотування, спочатку регулюються на тривалому етапі процесу з порівняно низьким потенціалом азотування. При цьому необхідно забезпечити, щоб потенціал азотування все ще був достатньо високим для насичення матеріалу азотом і формування тонкого, замкнутого шару сполуки, оскільки в іншому випадку дифузія сповільнюється, і однорідність негативно впливає. На другому короткому етапі процесу формування шару сполуки можна контролювати, вибираючи параметри азотування або нітроцементациї, оскільки в такому процесі товщина та фазовий склад шару сполуки суттєво залежать від параметрів обробки на другому етапі процесу. Розроблені двостадійні азотування дозволили отримати складні шари, порівнянні з шарами еталонного матеріалу 32CDV13

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на металообробному підприємстві та заходи їх усунення.

Аналіз небезпечних і шкідливих факторів на металообробному підприємстві передбачає оцінку умов праці, що утворюються під час роботи з металорізальними верстатами, зварювальним обладнанням, інструментами та технологічними процесами термічної, механічної й ручної обробки металу. У таких виробничих умовах особлива увага приділяється впливу рухомих частин обладнання, високих температур, гострих країв заготовок та інструментів, а також можливості отримання порізів, опіків або травм через неправильне закріплення деталей чи несправність механізмів. Значну частину небезпек створюють металеві стружки та відходи, які можуть бути гарячими, гострими та спричиняти травми або опіки при контакті. Додаткову небезпеку створює можливість ураження електричним струмом, що виникає при роботі з електрифікованим інструментом або зварювальними апаратами, особливо за недостатньої ізоляції чи порушення правил експлуатації [16].

Вплив рухомих і ріжучих частин обладнання виникає внаслідок безпосереднього контакту працівника з зонами, де відбувається обертання, поступальний рух або різання деталей і матеріалів. Така небезпека зазвичай з'являється через відсутність або пошкодження захисних кожухів, неправильне закріплення заготовок, неуважність працівника, використання несправного або зношеного обладнання, роботу без засобів індивідуального захисту, а також через порушення технологічного процесу чи правил експлуатації верстатів. Часто ризик підвищується у випадках, коли працівник намагається вручну видалити стружку, очистити робочу зону під час роботи машини або працює в умовах поганого освітлення та обмеженої видимості рухомих частин.

Гострі краї заготовок та інструментів також становлять виступають небезпечним виробничим фактором на металообробних підприємствах, де працівник

постійно контактує з металевими деталями, різальним інструментом та заготовками різної форми. Їхній вплив здебільшого виникає під час ручного переміщення деталей, виконання допоміжних операцій, заточування інструменту або під час робіт, що потребують високої точності. Наслідками контакту з гострими краями є різноманітні травми, такі, як порізи різної глибини, що можуть супроводжуватися значною кровотечею та ризиком інфікування рани через контакт із забрудненим металом або мастильно-охолоджувальними рідинами. Глибші порізи здатні пошкоджувати сухожилля, м'язи, зв'язки чи нерви, що особливо небезпечно для пальців та кистей рук і може призводити до тривалого відновлення або навіть втрати рухливості. Удар гострим краєм може спричинити рвані рани, які гоються довше та потребують медичного втручання. У разі падіння заготовки або невдалого захвату існує ризик травмування інших частин тіла – стоп, передпліччя. Крім фізичних ушкоджень, такі травми можуть мати психологічні наслідки, знижувати працездатність і призводити до тривалих лікарняних. Саме тому, вірне поводження із заготовками під час обробки відповідно до нормативних документів з техніки безпеки, використання рукавиць, захисних окулярів, спеціального інструменту та дотримання технологічних вимог є важливими умовами запобігання травмам, пов'язаним із гострими краями металевих елементів [17].

Вплив високих температур під час роботи в металообробних цехах виникає в наслідок роботи термічних пічей, нагрівальних установок, зварювальних постів, обробку розігрітих заготовок, а також через нагрівання обладнання в процесі тривалої роботи. Працівники часто перебувають поруч із джерелами тепла або працюють у середовищі, де температура повітря суттєво перевищує норму, що створює підвищене теплове навантаження на організм.

Вплив високих температур може спричиняти низку негативних наслідків. Найпоширенішими є перегрів організму, теплове виснаження та тепловий удар, які супроводжуються слабкістю, запамороченням, головним болем, нудотою та ризиком втрати свідомості. Тривале перебування поблизу гарячих поверхонь або нагрітих заготовок може викликати опіки різного ступеня – від легких

термічних уражень шкіри до глибоких опіків, які потребують тривалого лікування. Високі температури також сприяють прискореній втраті рідини, що підвищує ризик зневоднення, порушення роботи серцево-судинної системи та загострення хронічних станів.

Крім фізичного впливу, нагріте виробниче середовище погіршує концентрацію уваги, збільшує втому та знижує реакцію працівника, що підвищує ймовірність помилок і травм. В умовах підвищеної температури особливо небезпечними стають контакти з гарячими заготовками, стружкою та інструментом, оскільки необережні дії можуть призвести до виникнення опіків чи травмування рук.

Неправильне закріплення деталей або несправність механізмів у металообробному виробництві створюють один із найбільш небезпечних технічних ризиків, оскільки безпосередньо впливають на стабільність роботи обладнання та безпеку працівників. Наслідки такого впливу полягають у різкому підвищенні ймовірності аварійних ситуацій. Ненадійно закріплена заготовка може зміститися, вирватися з патрона або пристрою під час обертання чи різання, що створює загрозу ударів, травмування рук, обличчя або інших частин тіла. Удар викинутою деталлю здатен спричинити переломи, забої, розриви тканин або травми очей. Несправні механізми верстатів – зношені патрони, люфти, погано зафіксовані різці, дефекти приводів можуть призвести до різкого ривка обладнання, заклинювання, поломки інструменту чи неконтрольного руху робочих частин. Це, у свою чергу, становить ризик серйозних механічних травм, ураження електричним струмом або виникнення пожежі через перегрів чи коротке замикання.

Усунення таких небезпек базується на системному підході та превентивних заходах. Насамперед дотримання загальних вимог техніки безпеки відповідно до чинних нормативних документів: НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», ДСТУ 2807-94 «Устаткування метало- і деревообробне. Загальні вимоги безпеки і методи випробувань», ДСТУ 2854-94 «Устаткування збагачувальне. Загальні вимоги без-

пеки». Забезпечення регулярної технічної діагностики верстатів, перевірка зношеності деталей, надійності затисків і коректності роботи вузлів, а також своєчасний ремонт та заміну несправних елементів. Важливо правильно підбирати пристрої для закріплення заготовок, патронів, призм, лещат, спеціальних пристосувань. Працівники повинні проходити інструктаж і навчання з правильного закріплення деталей, особливо перед виконанням операцій на високих швидкостях або з великим зусиллям різання. Окрім цього, необхідно застосовувати захисні кожухи, екрани, а також не допускати роботи обладнання зі знятими або заблокованими системами безпеки [16].

Металева стружка та відходи, що утворюються під час механічної обробки, становлять один із найбільш поширених і недооцінених небезпечних факторів у металообробному виробництві. Стружка може мати гострі, рвані краї, бути дрібною, голчастою, спіралеподібною або у вигляді гарячих уламків, які вилітають із зони різання під дією високої швидкості та температури.

Небезпека полягає насамперед у можливості порізів і проколів шкіри при контакті зі стружкою або під час її збирання вручну. Дрібна стружка легко проникає під шкіру, спричиняючи запалення, інфекції та тривалі неприємні наслідки. Гаряча стружка, яка вилітає під час обробки, здатна викликати опіки, а якщо потрапляє в очі, то і серйозні травми з можливими порушеннями зору. В умовах погано організованого робочого місця, накопичення стружки на підлозі створює додаткову небезпеку прослизанням, падіння або зачеплення одягом. У разі використання мастильно-охолоджувальних рідин стружка стає слизькою або липкою, що ще більше ускладнює переміщення та підвищує ризик втрати рівноваги. В окремих випадках стружка може спричинити загоряння, якщо накопичується поруч із джерелами тепла або іскрами під час зварювання.

Для усунення небезпеки важливо налагодити систематичне прибирання робочої зони, використовувати спеціальні гачки, щітки та інші інструменти для збирання стружки, а не робити це вручну. Необхідно забезпечити працівників засобами індивідуального захисту за вимогами НПАОП 0.00-4.01-08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взут-

тям та іншими засобами індивідуального захисту захисними окулярами, рукавицями, щільним спецодягом, а також використовувати огорожувальні пристрої на верстатах, які зменшують розліт гарячих уламків. Правильна організація робочого місця та дотримання технологічної дисципліни значно знижують ризики, пов'язані з виникненням металевої стружки та відходів.

Можливість ураження електричним струмом у металообробних цехах є одним із найбільш високих ризиків, адже робота часто виконується з використанням електрифікованих верстатів, ручного електроінструменту, зварювального обладнання та високих навантажень на електромережу. Такий вплив може статися як через технічні несправності, організаційні причини, так і через людський фактор. Ураження електричним струмом найчастіше виникає через пошкоджену або зношену ізоляцію кабелів, оголені провідники, використання обладнання з дефектами електричних частин, вологе або мокре робоче середовище, що знижує опір тіла людини, а також порушення правил експлуатації електроінструменту та електрообладнання. Значну небезпеку становлять несправні розетки, подовжувачі та заземлення, а також самовільні підключення обладнання. Підвищений ризик з'являється при роботі зі зварювальними апаратами, де струм високої сили поєднується з металевими конструкціями, які можуть випадково опинитися під напругою через неправильне підключення чи відсутність якісного заземлення.

Причини ураження електричним струмом у металообробних цехах пов'язані як із технічними недоліками, так і з порушенням правил безпеки під час роботи з електрифікованим обладнанням та інструментом. Основними факторами, що призводять до такої небезпеки, є пошкоджена або зношена ізоляція кабелів, оголені провідники, тріщини на корпусах електроінструментів, а також використання несправних подовжувачів чи розеток. До частих причин належить і відсутність або несправність заземлення, що призводить до накопичення електричного заряду на металевих частинах обладнання, роблячи їх небезпечними для дотику. Особливо ризикованими є випадки роботи у вологих або недостатньо провітрюваних приміщеннях, де підвищена вологість суттєво знижує

опір тіла людини та збільшує ймовірність ураження. У металообробних цехах часто має місце контакт електрообладнання зі стружкою, мастильно-охолоджувальними рідинами та пилом, що здатні пошкоджувати ізоляцію або спричиняти короткі замикання. Додаткову загрозу створює неправильне підключення зварювальних апаратів, відсутність контролю за елементами живлення, використання обладнання, що перевищує дозволене навантаження електромережі, а також самовільні ремонти, виконані працівниками без необхідної кваліфікації та без спеціальних попереджень про їх проведення. Людський фактор також відіграє важливу роль, а саме, нехтування інструкціями з експлуатації електроінструментів, робота без спецодяга, спецвзуття або діелектричних засобів захисту, спроби виправити дрібні поломки під напругою значно збільшують ризик електротравм. Усі ці причини свідчать про необхідність системного контролю, належного технічного обслуговування та суворого дотримання правил електробезпеки в металообробному виробництві [16].

Наслідки ураження електричним струмом можуть варіювати від легкого м'язового спазму чи болю до тяжких електротравм. Струм може спричиняти порушення роботи серця, фібриляцію шлуночків, зупинку дихання або миттєву втрату свідомості опіки. У важких випадках електротравма може бути смертельною. Навіть при нетривалому контакті можливе виникнення прихованих внутрішніх ушкоджень, які проявляються не відразу, що робить своєчасне медичне обстеження необхідним.

Методи усунення такої небезпеки передбачають комплекс технічних, організаційних та індивідуальних заходів. Дотримання вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (НПАОП 40.1-1.21-98) та ДСТУ Б А32-13-2011 «Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги». Забезпечення регулярних перевірок стану електропроводки, кабелів, вилок, розеток та корпусів обладнання. Усе електрообладнання має мати справне заземлення, а металеві конструкції – потенційне вирівнювання. Застосування пристроїв захисного автоматичного відключення значно зменшує

ризик електротравм, адже дозволяє миттєво вимикати живлення при витoku струму. Недопустимим є використання дефектних або кустарно відремонтованих інструментів. Працівники повинні проходити спеціальні інструктажі та навчання відповідно до НПАОП 0.00-4.12-05 Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці, зокрема з безпечної експлуатації електричних машин та зварювальних апаратів. Робочі місця мають бути сухими, достатньо освітленими, а кабелі розташовані так, щоб уникати прямого контакту зі стружкою й мастильними рідинами. Використання діелектричних рукавиць, спеціального взуття та зварювальних масок є додатковими засобами захисту.

У процесі роботи виникають і шкідливі виробничі фактори, зокрема підвищений рівень шуму від верстатів, вібрація, аерозолі від зварювання, металева та абразивний пил, а також випари мастильно-охолоджувальних рідин. Вони здатні впливати на органи дихання, зір, шкіру та загальний стан працівника, підвищуючи ризик професійних захворювань.

Підвищений рівень шуму від верстатів зазвичай виникає через механічні коливання, тертя між деталями, роботу електродвигунів та трансмісій, а також через пневматичні чи гідравлічні системи, де може відбуватися витікання повітря чи рідини. Додатковим чинником є зношеність обладнання, розбалансовані вузли, відсутність мастила чи неналежне технічне обслуговування.

Наслідки такого шуму відчутні як для працівників, так і для виробництва. Він може призводити до поступового зниження слуху, розвитку шумової хвороби, підвищення артеріального тиску, проблем зі сном. Психологічно шум викликає дратівливість, втому, знижує концентрацію уваги. Це позначається на продуктивності праці та підвищує ризик аварій, адже працівники можуть не почути попереджувальні сигнали чи команди.

Методи усунення шуму поділяються на технічні, організаційні та індивідуальні. Технічні включають встановлення шумоізолюючих кожухів, екранів, амортизаторів, регулярне мастило та балансування деталей, а також

модернізацію обладнання на більш сучасне й тихохідне. Організаційні заходи включають дотримання вимог ДСН 3.3.6.037-99 Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, полягають у правильному розташуванні верстатів у цеху, регламентуванні часу роботи з шумними машинами, ротації персоналу та постійному контролю рівня шуму. Індивідуальні засоби захисту від шуму – це навушники чи вкладиші зі спеціальними фільтрами, регулярні медичні огляди та навчання працівників правилам безпечної роботи. Найкращий результат дає комплексний підхід, що поєднує технічних рішень із організаційними заходами та використанням індивідуальних засобів захисту. Це дозволяє не лише знизити рівень шуму, а й захистити здоров'я працівників та підвищити ефективність виробництва [17].

Підвищений рівень вібрації у виробничих умовах виникає з кількох основних причин. Найчастіше це механічні фактори: розбалансовані деталі, люфти у вузлах, зношеність підшипників, нерівномірний хід валів чи роторів. Вібрацію також можуть спричиняти неправильне встановлення обладнання, недостатнє кріплення, невідповідність фундаменту або основи, а ще – технологічні похибки, наприклад, робота інструменту з дефектами чи неправильними режимами.

Наслідки впливу підвищеної вібрації відчутні як для працівників, так і для самого обладнання. Для людини може проявляти, як розвиток професійних захворювань опорно-рухового апарату, порушення кровообігу, проблеми з нервовою системою, швидку втому та зниження працездатності. Для машин – прискорене зношування деталей, руйнування підшипників, тріщини у конструкціях, зниження точності обробки та підвищення ризику аварійних ситуацій.

Усунення підвищеного рівня вібрації можливе завдяки комплексу заходів. Дотримання вимог ДСН 3.3.6.039-99 Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, проведення балансування рухомих частин, регулярне змащування та заміну зношених елементів, використання віброгасіння, амортизаторів і демпферів, правильне кріплення обладнання та встановлення його на міцні фундаменти. Організаційні заходи полягають у контролі режимів

роботи, своєчасному технічному обслуговуванні, а також у навчанні персоналу правилам безпечної експлуатації. Індивідуальний захист для працівників може включати спеціальні рукавиці нагрудники, наколінники, що зменшують передачу вібрації на окремі частини та на усе тіло працівника.

Використання мастильно-охолоджувальних рідин (МОР) у металообробних цехах суттєво впливає на умови праці та може створювати низку шкідливих факторів для працівників. МОР застосовуються для охолодження, змащування та видалення стружки під час різання металів, але їхній хімічний склад та властивості роблять їх потенційно небезпечними при неправильному поводженні або недостатній вентиляції.

Під час роботи МОР утворюють аерозолі, туман і пари, які потрапляють у повітря робочої зони та можуть проникати в органи дихання. Тривале вдихання таких аерозолів викликає подразнення слизових оболонок носа й горла, викликають кашель, запалення дихальних шляхів та розвиток хронічних легеневих захворювань. Деякі види МОР містять компоненти, здатні спричинити алергічні реакції, дерматити, сухість і подразнення шкіри при контакті з рідиною. Регулярний контакт рук із МОР може призводити до мікротріщин, екземи та хімічних опіків, особливо якщо руки не захищені рукавицями. МОР також можуть негативно впливати на зір. Дрібнодисперсний туман подразнює очі, викликає їх почервоніння, сльозотечу та тимчасове погіршення видимості, що підвищує ризик травм. За поганої вентиляції у приміщенні може накопичуватися специфічний запах, що спричиняє головний біль, втому, запаморочення та зниження концентрації уваги. Потрапляння мастильно-охолоджувальних рідин на підлогу робить її слизькою, створюючи додатковий ризик падіння та травмування. Важливим є те, що МОР, які тривалий час використовуються без фільтрації чи заміни, можуть розкладатися, утворюючи бактерії та грибки. Це підвищує ймовірність зараження шкіри інфекціями, виникнення неприємного запаху та додаткових респіраторних проблем.

До заходів мінімізації негативного впливу МОР відносяться дотримання вимог нормативного документу ДСТУ 3927-99 «Нафтопродукти. Рідини мас-

тильно-холодильні», забезпечення використання якісної вентиляції робочої зони, регулярна заміна та очищення МОР, використання герметичних систем подачі рідини, а також обов'язкове застосування засобів індивідуального захисту таких, як рукавиць, захисних окулярів, фартухів і щільного спецодягу. Дотримання технологічних норм та санітарних вимог значно знижує ризики, пов'язані з впливом мастильно-охолоджувальних рідин на працівників.

Абразивний пил утворюється під час роботи з абразивними матеріалами при шліфуванні, поліруванні, різанні чи заточуванні. У процесі інтенсивного тертя та руйнування поверхні утворюються дрібні тверді частинки, які легко потрапляють у повітря робочої зони. Особливо небезпечним є пил із високою дисперсністю, адже він довго зберігається у повітрі та легко проникає в органи дихання. Вплив абразивного пилу на працівника може проявлятися подразненням слизових оболонок, викликає кашель, задишку, хронічні бронхіти. Тривале перебування у запиленому середовищі може призвести до пневмоконіозу чи силікозу хронічних професійних захворювань легенів, спричинених тривалим вдиханням промислового пилу та його відкладенням у легенях, що призводить до запалення, фіброзу (утворення рубцевої тканини) та погіршення дихальної функції, а також до загального зниження імунітету. Крім того, пил подразнює очі та шкіру, викликаючи запальні процеси й алергічні реакції [18].

Важливим заходом усунення та зменшення впливу виробничого пилу є дотримання вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» та завдяки комплексу заходів. Встановлення локальних відсмоктувачів, систем вентиляції та фільтрації повітря, герметизацію обладнання, застосування зволоження для зменшення пилу, правильне планування робочих процесів, регулярне прибирання виробничих приміщень та контроль рівня запиленості. Використання засобів індивідуального захисту респіраторів, захисних окулярів, спецодягу та проведення регулярних медичних оглядів для раннього виявлення проблем зі здоров'ям.

Важливим фактором є також оцінка ергономічних і психофізіологічних чинників, оскільки робота на металообробному підприємстві часто пов'язана з

тривалим перебуванням у статичних або незручних позах, підніманням важких заготовок, високою концентрацією уваги та ризиком втоми. Ергономічні чинники у металообробних цехах включають робочу позу, фізичне навантаження, мікроклімат, освітлення та організацію робочого місця. Працівники часто змушені тривалий час перебувати у статичних положеннях, стояти або працювати з нахилом, що призводить до перевантаження м'язів і суглобів. Додатково вони виконують фізично важкі операції, пов'язані з підніманням та переміщенням деталей, використанням інструментів, які потребують значних зусиль. При розташованні інструментів та обладнання невдало, може збільшуватися час виконання операцій і ризик травм [18].

Наслідки такого впливу ергономічних чинників робочого середовища проявляються у розвитку захворювань опорно-рухового апарату, порушеннях кровообігу, зниженні гостроти зору, швидкій втомі та дратівливості. Це знижує продуктивність праці, збільшує кількість помилок і підвищує ризик аварійних ситуацій.

Зменшення їх негативного впливу можливе завдяки вірному ергономічному проектуванню робочих місць, використанню підйомних механізмів, регульованих столів і сидінь, регламентуванню перерв та оптимізації робочих поз, рухів та процесів відповідно до ДСТУ 8604:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги» та

ДСТУ 7950:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги». Індивідуальний захист полягає у використанні спеціального одягу й взуття, ортопедичних устілок та навчанні правильним рухам і позам. Важливим є також забезпечення належного мікроклімату й освітлення через вентиляцію, кондиціонування та правильне розташування світильників.

Психофізіологічні чинники у виробничих умовах – це сумісний вплив внутрішніх і зовнішніх факторів, які можуть чинити негативні наслідки на фізичний та психологічний стан працівників. До них належать інтенсивність та

ритм роботи, монотонність операцій, нервово-емоційне навантаження, відповідальність за результати праці, а також умови середовища – шум, вібрація, освітлення, температура. Вплив цих чинників на працівників з фізіологічного боку може викликати втому, порушення сну, головний біль, проблеми з серцево-судинною системою та опорно-руховим апаратом. Психологічно працівники стикаються з дратівливістю, зниженням концентрації уваги, емоційним виснаженням, що може призвести до професійного стресу чи навіть вигорання. У виробничих умовах це проявляється зниженням продуктивності, збільшенні кількості помилок та підвищенні ризику травматизму [3].

Зменшення негативного впливу психофізіологічних чинників можливе завдяки раціональній організації праці та відпочинку працівників: регламентації перерви, ротатії завдань, оптимізації робочого навантаження. Значну роль відіграє створення сприятливого мікроклімату в колективі, підтримка психологічного комфорту, а також навчання працівників методам саморегуляції та управління стресом. Таким чином, психофізіологічні чинники мають безпосередній вплив на здоров'я, емоційний стан і ефективність працівників. Їх врахування та контроль є ключовими для збереження працездатності, профілактики професійних захворювань і підвищення безпеки виробництва.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» із застосуванням верстатів з ЧПК» було проведено аналіз технологічності конструкції, визначено ключові елементи конструкції, такі, як валова частина, зубчастий вінець, різьба, конічні поверхні. Проведено вибір матеріалу та технологічних параметрів, встановлено оптимальні режими обробки сталі 40Х.

В Технологічному розділі було спроектовано технологічний процес, розроблено маршрут виготовлення деталі, включаючи заготовчі, токарні, фрезерні, зубообробні, термічні та фінішні операції та визначено оптимальні режими різання для кожної операції. Після оптимізації використання верстатів із ЧПК було створено програму для ЧПК-верстатів з урахуванням геометрії

деталі та проведено обґрунтування вибору інструментів і пристосувань для обробки.

В Конструкторському розділі спроектовано спеціальний пристрій для закріплення деталі під час обробки та вимірювальний пристрій призначений для контролю радіального биття циліндричних поверхонь деталі

В Дослідницькому розділі розглядається розробка багатостадійних процесів азотування, досліджених за допомогою короткострокових та довгострокових експериментів, спрямованих на створення специфічного складного шару з низькою пористістю та високою міцністю нітридного шару та матеріалу ядра.

В розділі Охорона праці проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори на металообробному підприємстві та запропоновано заходи їх усунення.

Розробка вдосконаленого технологічного процесу виготовлення деталі призведе до підвищення точності виготовлення деталі «Вал-шестерня 5154-18-22-А» до оптимізації витрат на виробництво завдяки автоматизації процесів та забезпечить тривалий термін експлуатації деталі за рахунок покращення якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Баранов, В. І. Технологія машинобудування / В. І. Баранов, В. С. Рак. — Київ: Вища школа, 2012. — 352 с.
2. Сидоренко, В. М. Основи технології машинобудування / В. М. Сидоренко, О. В. Білан. — Київ: НТУУ «КПІ», 2015. — 420 с.
3. ДСТУ 7806:2015. Сталі леговані та низьколеговані для машинобудування. Загальні технічні умови. — Київ: Держстандарт України, 2015.
4. Власенко, А. І. Технологія обробки матеріалів на верстатах з ЧПК / А. І. Власенко, О. М. Шевчук. — Харків: ХНАДУ, 2016. — 340 с.
5. Мельник, В. А. Числове програмне керування верстатами / В. А. Мельник. — Львів: Вид-во ЛНУ, 2014. — 280 с.

6. Керівництво оператора верстатів з ЧПК. — М.: Машино- та приладобудування, 2018. — 128 с.
7. Шаповал, О. В. Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні / О. В. Шаповал. — Київ: Техніка, 2017. — 320 с.
8. Механічна обробка металів на верстатах з ЧПК / за ред. В. А. Гречаного. — Одеса: Одеська національна академія, 2019. — 240 с.
9. Технологія обробки зубчастих коліс / О. В. Остромін, В. І. Дорошенко. — Харків: ХНТУ, 2018. — 280 с.
10. Технологія виготовлення деталей машин / В. П. Камінський, І. О. Павленко. — Львів: Вид-во ЛНТУ, 2020. — 350 с.
11. Металорізальні верстати та обладнання з ЧПК / В. П. Щербина. — Донецьк: ДонНТУ, 2016. — 310 с.
12. Технічні умови на деталі з металу / за ред. С. А. Іванова. — Київ: Державне видавництво, 2018. — 300 с.
13. Стандарти ISO для верстатів з ЧПК. — М.: Стандартиформ, 2019. — 145 с.
14. Основи конструкції верстатів з ЧПК та їх використання у виробництві / М. С. Гіренко. — Харків: Видавництво Харківського університету, 2017. — 320 с.
15. Обробка та виготовлення складних деталей / О. А. Борисенко, М. М. Коваленко. — Київ: Наукова думка, 2016. — 260 с.
16. Гасило Ю. А. Охорона праці в галузі та цивільний захист: навчальний посібник / Ю. А. Гасило, О. А. Крюковська, К. О. Левчук, Р. Я. Романюк. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 369 с.
17. Вовк Ю. Я. Охорона праці в галузі: навчальний посібник / Ю. Я. Вовк., І. П. Вовк. — Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2015. — 172 с.
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. Conrado, E.; Gorla, C.; Davoli, P.; Boniardi, M. A comparison of bending fatigue strength of carburized and nitrided gears for industrial applications. *Eng. Fail. Anal.* 2017,78, 41–54.

20. König, J.; Hoja, S.; Tobie, T.; Hoffmann, F.; Stahl, K. In Increasing the Load Carrying Capacity of Highly // Loaded Gears by Nitriding. In Proceedings of the MATEC Web of Conferences, Varna, Bulgaria, 19–22 June 2019.

21. Zornek, B.; Hoja, S.; Tobie, T.; Hoffmann, F. Tribologische Tragfähigkeit nitrierter Innen- und Außenverzahnungen bei geringen Umfangsgeschwindigkeiten. In FVA-Forschungsheft Nr. 1206; Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V.: Frankfurt, Germany, 2017.