

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

ДИПЛОМНА РОБОТА

Технологія виготовлення деталі "Колесо зубчасте VM 07.16.018"
Назва теми

з використанням верстатів з ЧПК

Рівень вищої освіти перший (бакалавр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності
Назва

Освітня програма "технології машинобудування"
Назва

Шифр ДРБ.ФІТА.ПМ.23.03.ПЗ

Виконав студент 4 курсу група ПМТ-19-1
Шифр

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

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент


Підпис

Валентин БОНДАР
Ім'я, прізвище

Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, прізвище

Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри технології машинобудування
Назва


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Дата «27» 06 2023

Хмельницький 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Бондаря Валентина Миколаївна

Тема: «Технологія виготовлення деталі "Колесо зубчасте ВМ07.16.018" з використанням верстатів з ЧПК

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Обсяг дипломної роботи:

кількість листків креслень 5 кількість сторінок записки 51

1. Кароткий зміст ДР та прийнятих рішень.

У дипломній роботі Бондаря В.М. виконано розроблення технологічного процесу механічного оброблення деталі "Колесо зубчасте ВМ07.16.018". Запропоновано конструкцію верстатного пристрою, виконані розрахунки, спроектовано контрольний пристрій. Технологічний процес розроблено із застосуванням верстатів з ЧПК типу Haas.

2. Висновок про відповідність ДР дипломному завданню.

Дипломна робота повністю відповідає завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу проекту, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи.

В загальному розділі обґрунтовано тип виробництва та форми організації робіт, виконано аналіз технологічності конструкції деталі.

В технологічному розділі спроектовано заготовку, розраховані припуски та режими різання, спроектовані операції механічної обробки, проведено технічне нормування.

В конструкторському розділі спроектовані верстатний пристрій для свердлування отвору, контрольно-вимірний пристрій

Позитивні сторони проекту.

Проведено аналіз технологічності конструкції деталі, виконано розрахунок припусків та режимів різання, на більшості технологічних операцій запропоновано використовувати верстати з ЧПК, проведено розрахунок конструкції верстатного пристрою, проаналізовано точність оброблення.

5. Негативні сторони проекту

Суттєвих зауважень не виявлено

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки проекту.

Кресленки графічної частини дипломної роботи виконані з дотриманням вимог ЕСКД, при цьому широко використані комп'ютерні технології при оформленні креслень. Пояснювальна записка виконана акуратно з дотриманням вимог ЕСКД......

7. Відгук про проект в цілому.

В цілому дипломна робота Валентина Бондаря виконана на достатньому інженерному рівні. Представлені розробки можна рекомендувати до впровадження на ділянці механічного оброблення......

8. Інші зауваження.

Немає.....

9. Оцінка дипломної роботи.

Дипломна робота *Бондаря В.М.* заслуговує оцінки "5".....

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

*Посанський
Сергій Феліксович, доцент кафедри
ТАМ*

26 червня..... 2023 р.

[Підпис] (підпис)

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Бондар Валентин Миколайович (прізвище, ім'я, по батькові) на захист дипломного проекту (роботи)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологія виготовлення деталі "Колесо зубчасте ВМ 07.16.018" з використанням верстатів з ЧПК

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

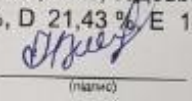
Декан факультету

 ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Бондар В. М. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2019 по 2020 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за національною шкалою: відмінно 10,00 %, добре 53,33 %, задовільно 36,67 %. шкалою ЕКТС: А 9,52 %, В 19,05 %, С 35,71 %, D 21,43 %, E 14,29 %.

Методист факультету


(підпис) (ім'я, прізвище)


ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент

Бондар Валентин виконав дипломний проект у
мовному ВММ і вказав, що виконав ви-
користуючись сучасні методи та методику
програмування

Оцінка дипломного проекту (роботи)

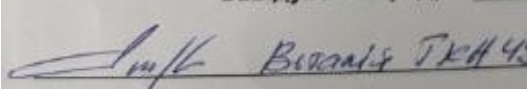
Керівник дипломного проекту

Відмінно
 Висоцька С.С.
(підпис) (ім'я, прізвище)
" 26 " 06 2023 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Бондар В. М. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування
 Володимир ТКАЧУК
(підпис, ім'я, прізвище) " 27 " 06 2023 р.

6 Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

7 Дата видачі завдання 6.03.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Загальний розділ	20.03.2023	
2 Технологічний розділ	20.04.2023	
3 Конструкторський розділ	20.05.2023	
4 Охорона праці	10.06.2023	

Студент
Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Валентин БОНДАР

Керівник проекту (роботи)
Підпис

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Сергій БИСЬ

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	7
1.1 Завдання	7
1.2 Опис конструкції, технічних умов та службового призначення деталі	7
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	11
2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки	11
2.2 Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні	12
2.3 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі	18
2.4 Розрахунок режимів різання	22
2.5 Технічне нормування операцій	26
2.6 Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК	28
2.7 Оформлення технологічної документації	32
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	34
3.1 Проектування верстатного пристрою	34
3.2 Проектування контрольного пристрою	40
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1 Вимоги щодо використання промислового устаткування	44
ВИСНОВКИ	49
Список використаної літератури	50

ВСТУП

Одним з ключових напрямків реформування системи вищої освіти в Україні є забезпечення якісної підготовки висококваліфікованих фахівців міжнародного рівня. Для досягнення цієї мети уряд України може реалізувати ряд заходів, таких як:

1. Розвиток міжнародних партнерств та академічних обмінів, що дозволить українським студентам та викладачам отримати досвід та знання від провідних університетів світу.

2. Підвищення якості освіти, зокрема шляхом впровадження новітніх методик навчання, використання сучасних технологій та обладнання, а також оновлення навчальних програм.

3. Створення сприятливих умов для розвитку науково-дослідницької роботи в університетах, зокрема шляхом забезпечення фінансування досліджень та підтримки наукових груп.

Машинобудівний комплекс є одним з ключових галузей економіки України, і його розвиток є важливим фактором для забезпечення майбутнього розвитку країни в цілому. Для успішної діяльності машинобудівного комплексу необхідне сучасне устаткування, яке дозволить забезпечити високу якість виробів та підвищити їх конкурентоспроможність на міжнародному ринку.

Отже, розвиток машинобудівного комплексу в Україні повинен передбачати наступні кроки:

1. Залучення інвестицій для модернізації виробництва та впровадження новітніх технологій, які дозволять підвищити ефективність виробництва та підвищити якість продукції.

2. Розвиток системи професійної освіти та підвищення кваліфікації робітників машинобудівного комплексу, що дозволить забезпечити наявність кваліфікованих кадрів для розвитку виробництва.

3. Підтримка малих та середніх підприємств, які займаються виробництвом компонентів та запчастин до машинобудівної продукції, що дозволить зменшити залежність від імпорту.

4. Сприяння розвитку інноваційної діяльності та створення сприятливого інвестиційного клімату для підтримки нових технологій та проектів.

5. Розвиток міжнародних партнерств та співпраці з провідними компаніями у світі, що дозволить забезпечити доступ до новітніх технологій та ринків збуту для виробів українських підприємств машинобудівного комплексу.

Самостійна робота студента є важливою складовою процесу підготовки кваліфікованих інженерних кадрів. Виконання дипломних робіт та проектів дозволяє студентам відпрацювати практичні навички та здобути практичний досвід у своїй професії.

Окрім того, виконання дипломних робіт та проектів має такі переваги:

1. Дозволяє студентам глибше вивчити свою професійну галузь та зрозуміти її практичне застосування.

2. Розвиває навички роботи з інформацією та аналізу даних, що є важливими у будь-якій інженерній професії.

3. Дозволяє студентам практично застосовувати знання та навички, які вони здобули під час навчання.

4. Підвищує мотивацію студентів до навчання та розвитку в своїй професії.

5. Допомагає студентам збільшити свій професійний мережевий потенціал та знайти роботу в майбутньому.

Отже, самостійна робота студента, включаючи виконання дипломних робіт та проектів, є важливим елементом підготовки кваліфікованих інженерних кадрів, що відповідає вимогам сучасного ринку праці та розвитку технологій.

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Завдання

За вихідні данні для розроблення технологічного процесу виготовлення деталі із застосуванням верстатів з числовим програмним керуванням приймаємо:

- складальний кресленик виробу;
- кресленик деталі;
- річна програма випуску $N = 15000$ шт.

1.2 Опис конструкції, технічних умов та службового призначення деталі

Цей привід є механізмом, який призначений для зниження швидкості обертання робочого органу машини до необхідного рівня. Для забезпечення відповідних експлуатаційних характеристик, основними деталями приводу є стійка, шків, зубчасте колесо, конус ведучий та конус відомий. Зниження швидкості досягається за рахунок використання зубчастих коліс з підібраним передаточним відношенням.

Згідно робочого кресленника можна сказати про наявність всіх даних для виготовлення деталі, що вимагає ДСТУ ГОСТ 2.610–2006 “Основні правила виконання креслень” – це стандарт, який встановлює основні вимоги до оформлення, змісту та обробки креслень, а також визначає порядок їх перевірки та затвердження. Цей стандарт був введений в дію в Україні з 1 січня 2008 року і відповідає міжнародним стандартам виконання креслеників.

Для виготовлення зубчастого колеса ми використовуємо чавун СЧ21–40 з огляду на особливості конструкції. Для деталі встановлені певні вимоги щодо умов експлуатації, тому на деяких поверхнях деталі призначені допуски. Зокрема, на поверхні діаметром 30 мм, яка контактує з валом 11, призначений допуск Н9 з шорсткістю 3,2, на базових торцевих поверхнях призначений допуск b12 з шорсткістю 6,3, на поверхні діаметром 284 мм призначений допуск h9 з шорсткістю 2,5, а на шпонковому пазі – допуск Н9.

На всі інші поверхні форми допуски не регламентуються, оскільки ці поверхні не вимагають особливих властивостей.

Основні елементи зубчастого колеса та їх характеристики занесені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад та механічні властивості чавуна СЧ21–40

С , %	Si , %	Mn , %	Не більше		Ni , %	Cu , %
			S , %	P , %		
3...5	1.5...3.5	>0.03	0,05	0,15	≅0,9	≅0,9
σ_B , МПа <	$\sigma_{міц}$, МПа <	$[\sigma_0]_f$ <	$[\sigma_{-1}]_f$ <	$[\sigma_H]$	НВ	δ , %
200	20	67	44	255–361	170...241	36

Таблиця 1.2 – Елементи зубчастого колеса

№ поз.	Назва елемента	Квалітет точності	Шорсткість R_a , мкм	Призначення поверхні
1	Циліндричний торець (Б, К)	12	6,3	Конструктивний елемент Допоміжна поверхня
2	Циліндричний торець (Г, Н)	12	6,3	Конструктивний елемент Допоміжна поверхня
3	Зовнішня циліндрична поверхня (А)	9	3,2	Конструктивний елемент Допоміжна поверхня
4	Зовнішня поверхня (С)	12	$R_z 80$	Вільна поверхня (необроблена)
5	Внутрішня гладка поверхня (Л)	Н9	3,2	Посадочна поверхня
6	Циліндричний торець (Р, Т)	12	$R_z 80$	Вільна поверхня (необроблена)
7	Шпонковий паз (Ж)	9	3,2	Конструктивний елемент
8	Внутрішня поверхня (М)	12	$R_z 80$	Вільна поверхня (необроблена)
9	Зубці колеса (В)	9	2,5	Конструктивний елемент
10	Фаски (П, З, О, Е, У, Д)	12	6,3	Вільна поверхня

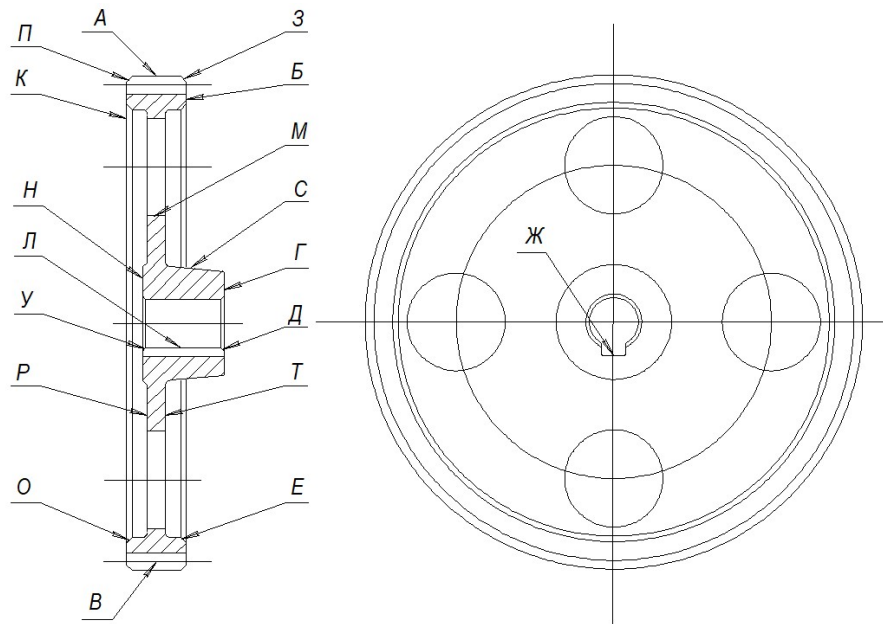


Рисунок 1.1 – Елементи деталі

1.3 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

$$\tau_{сб} = \frac{60F_{\partial}m}{N}, \quad (1.1)$$

де F_{∂} – дійсний фонд часу роботи працівника (річний) – верстатника, год., $F_{\partial} = 2030$ год.

m – кількість змін роботи;

N – програма випуску виробів за рік, шт.

$$\tau_{сб} = \frac{60 \cdot 2030 \cdot 2}{15000} = 16,24 \text{ хв.} \quad (1.2)$$

Отже приймаємо поточну форму організації роботи із пульсуючим рухом конвеєра, при якому:

Для визначення типу виробництва використовуємо річну програму випуску $N = 15000$ шт. і масу деталі $m_d = 9,5$ кг. Згідно рекомендацій [6] попередньо визначаємо тип виробництва – серійне. Тип виробництва визначає форму організації техпроцесу згідно ДСТУ ISO 9001:2015.

Серійне виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються або ремонтуються періодично партіями, які повторюються і порівняно великим об'ємом випуску.

На підприємствах серійного виробництва значна частина обладнання складається з універсальних верстатів, які обладнані як спеціальними, так і універсально – налагоджувальними (СНП, УНП) і універсально – збірними (УЗП) пристроями, що дозволяють знизити працеемкість і собівартість виготовлення виробу. При невеликій працеемкості обробки або недостатньо великій програмі випуску виробів цілеспрямовано обробляти заготовки партіями, з послідовним виконанням операцій, тобто після обробки всіх заготовок партії на одній операції виконувати обробку цієї партії на наступній операції. При цьому час обробки на різних верстатах не узгоджують. Заготовки під час обробки зберігають біля верстата, потім транспортують цілою партією.

В серійному виробництві застосовують також змінно – потокову форму організації робіт. Тут обладнання розташовують по ходу технологічного процесу. Обробку виконують партіями, причому заготовки кожної партії можуть відрізнятися розмірами і конфігурацією, але допускають обробку на одному і тому ж обладнанні.

При серійному виробництві застосовують універсальні, спеціалізовані, агрегатні та інші металообробні верстати. При виборі технологічного обладнання, спеціального чи спеціалізованого пристрою та інструмента необхідно виконувати розрахунки затрат і строків окупності, а також економічний ефект від використання обладнання і технологічної оснастки.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір виду і способу отримання заготовки

Витрати на матеріал при литві у пісчано–глинисту форму можуть варіюватися в залежності від розміру та складності виробу, використаної металу та інших факторів. Однак, загальний підхід до розрахунку витрат на матеріал можна навести на прикладі розрахунку витрат на виготовлення литої деталі залежно від ваги та складності форми.

Основними компонентами для виготовлення пісчано–глинистої форми є пісок, глина та вода. Витрати на ці матеріали можна розрахувати згідно з їх вагою та відсотковим співвідношенням у суміші для формування форми.

$$M_1 = \left(\frac{C_I}{1000} \right) \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від.}}}{1000}, \quad (2.1)$$

де C_i – базова собівартість 1 т заготовок, $C_i = 68000$ грн;

$S_{\text{від}}$ – вартість тони відходів, $S_{\text{від}} = 2400$ грн;

q – маса деталі, $q = 9,5$ кг;

K_T – коефіцієнт, який залежить від класів точності, $K_T = 1$; [1, С. 37–38]

K_C – коефіцієнт, який залежить від груп складності, $K_C = 1$; [1, С. 37–38]

K_B – коефіцієнт, який залежить від маси заготовки, $K_B = 0,84$; [1, С. 37–38]

K_M – коефіцієнт, який залежить від матеріалу деталі, $K_M = 1$; [1, С. 37–38]

K_I – коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва, $K_I = 1$; [1, С. 37–38]

Q – маса заготовки, $Q = 16$ кг.

Маса заготовки:

$$m_3 = (V_1 + V_2 - V_3 - V_4) \cdot \rho, \quad (2.2)$$

де ρ – густина матеріалу заготовки. $\rho = 7,2 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

V_1, V_2, V_3, V_4 – відповідні об'єми циліндрів, з яких складається заготовка, м³.

$$V_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot l_1 = \frac{3,14 \cdot (292 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 37,6 \cdot 10^{-3} = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$V_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot l_2 = \frac{3,14 \cdot (70,6 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 26 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$V_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot l_3 = \frac{3,14 \cdot (25,6 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 61 \cdot 10^{-3} = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

$$V_4 = \frac{\pi d_4^2}{4} \cdot l_4 \cdot 4 = \frac{3,14 \cdot (51 \cdot 10^{-3})^2}{4} \cdot 37,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$$

$$m_3 = (25 + 1 - 0,3 - 3) \cdot 10^{-4} \cdot 7,2 \cdot 10^3 = 16 \text{ кг.}$$

$$M = \left(\frac{68000}{1000} \right) \cdot 16 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1 - (16 - 9,5) \cdot \frac{2400}{1000} = 89,7 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу

$$K_{B.M.} = \frac{q}{Q}. \quad K_{B.M.} = \frac{9,5}{16} = 0,5. \quad (2.3)$$

2.2 Розрахунок припусків і технологічних розмірів на основні поверхні

Мінімальний припуск при обробці поверхні, $\varnothing 30H9$ обертання можна визначити за допомогою формули:

$$2Z_{\min.} = 2\left(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_{yi}^2}\right), \quad (2.4)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – висота мікронерівностей поверхні, що залишаються після виконання попереднього переходу, мкм;

T_{i-1} – загалом, дефектний поверхневий шар, виникає внаслідок взаємодії між оброблювальним інструментом і оброблюваним матеріалом під час попереднього технологічного переходу, мкм;

ρ_{i-1} – оцінка сумарного геометричного відхилення розташування залежить від використовуваних методів на попередньому технологічному переході, мкм;

E_{yi} – похибки установки заготовки можуть включати розбіжності в розмірі, положенні, орієнтації, кутах нахилу та інших параметрах, мкм.

Висоти мікронерівностей R_z і глибини поверхневого шару T , для заготовки на переходах:

- заготовка $R_{z_0} = 200$ мкм; $T_0 = 300$ мкм; [1, Т. 1, С. 186]
- розточування чорнове $R_{z_1} = 50$ мкм; $T_1 = 50$ мкм; [1, Т. 1]
- розточування чистове $R_{z_2} = 10$ мкм; $T_2 = 20$ мкм. [1, Т. 1]

Мінімальний припуск є одним із параметрів, який враховується при розрахунках розмірів заготовок. Він визначається для кожного конкретного випадку залежно від умов виготовлення і технічних вимог до деталі. Мінімальний припуск дозволяє забезпечити належну якість і гарантує, що деталь після обробки матиме необхідні розміри.

Оскільки заготівля із сірого чавуну, то складову T – товщину дефектного шару можна виключити, після першого технологічного переходу, із розрахунків.

Просторове відхилення для заготівлі визначимо за формулою:

$$\rho_3 = \sqrt{\rho_{жс}^2 + \rho_{зм}^2}. \quad (2.5)$$

$$\rho_{жс} = \sqrt{(\Delta_{жс} \cdot d)^2 + (\Delta_{жс} \cdot l)^2}, \quad (2.6)$$

де d, l – діаметр та довжина отвору, який оброблюємо, мм;

$$\rho_{жс} = 1 \text{ мкм/мм};$$

$$\rho_{жс} = \sqrt{(1 \cdot 30)^2 + (1 \cdot 54)^2} = 61 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{зм} = 1800 \text{ мкм.}$$

$$\rho_0 = \sqrt{61^2 + 1800^2} = 1801 \text{ мкм.}$$

Залишкові геометричні відхилення при чорновому розточуванні ρ_1 , мкм, визначаються за формулою:

$$\rho_1 = \kappa_1 \cdot \rho, \quad (2.7)$$

де κ_1 – коефіцієнт уточнення;

$$\kappa_1 = 0,06;$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 1801 = 108 \text{ мкм.}$$

При чистовому розточуванні

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 1801 = 72 \text{ мкм.}$$

Похибка при установці на чорновому розточуванні:

$$E_y = 150 \text{ мкм.}$$

Залишкові похибки при чистовому розточуванні:

$$E_{y1} = k \cdot E_y + E_{zi}, \quad (2.8)$$

де k – коефіцієнт уточнення, $k = 0,05$;

E_{s_i} – похибки індексації, $E_{s_i} = 0,004 \text{ і } i = 4 \text{ і } \hat{e} \text{ і}$.

$$E_{y_1} = 0,05 \cdot 150 + 4 = 11 \text{ і } \hat{e} \text{ і} .$$

Визначимо розрахунком мінімальні припуски використовуючи формулу (2.4).

Для переходу – чорнового розточування:

$$2Z_{\min 1} = 2 \left(R_{z_0} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_{y_i}^2} \right) = 2 \left(200 + 300 + \sqrt{1801^2 + 150^2} \right) = 2 \cdot 2307 \text{ мкм.}$$

Для переходу – чистового розточування:

$$2Z_{\min 2} = 2 \left(R_{z_1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + E_{y_i}^2} \right) = 2 \left(50 + \sqrt{1801^2 + 150^2} \right) = 2 \cdot 1857 \text{ мкм.}$$

Для кінцевого переходу – чистового розточування у графі розрахунковий розмір заносимо найбільший граничний розмір поверхні.

$$D_{\text{роз.2}} = D_H + ES,$$

де D_H – номінальний розмір поверхні, мм;

ES – верхнє граничне відхилення, мм.

$$D_p = 30 + 0,052 = 30,052 \text{ мм.}$$

Для решти видів оброблення:

$$D_{\text{роз.1}} = D_{\text{роз.2}} - 2 \cdot z_2 = 30,052 - 2 \cdot 1,857 = 26,338 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{роз.0}} = D_{\text{роз.1}} - 2 \cdot z_1 = 26,338 - 2 \cdot 2,307 = 21,724 \text{ мм.}$$

Найменші граничні розміри:

$$D_{\min 2} = D_{\max 2} - TD_2 = 30,052 - 0,052 = 30,0 \text{ мм.}$$

$$D_{\min 1} = D_{\max 1} - TD_1 = 26,338 - 0,25 = 26,088 \text{ мм.}$$

$$D_{\min 0} = D_{\max 0} - TD_0 = 21,724 - 1,0 = 20,724 \text{ мм.}$$

Мінімальні граничні значення припусків $2z_{\min}^{\ddot{\delta}}$ мкм, визначаємо як різницю найбільшого граничного розміру отриманого на попередньому переході, а максимальні значення $2z_{\max}^{ep}$ – відповідно, різниці найменших граничних розмірів.

$$2z_{\min 2}^{ep} = D_{\max 2} - D_{\max 1} = 30,052 - 26,338 = 3,714 \text{ мм} = 3714 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min 1}^{ep} = D_{\max 1} - D_{\max 0} = 26,338 - 21,724 = 4,614 \text{ мм} = 4614 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max 2}^{ep} = D_{\min 2} - D_{\min 1} = 30,0 - 26,088 = 3,912 \text{ мм} = 3912 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\max 1}^{ep} = D_{\min 1} - D_{\min 0} = 26,088 - 20,724 = 5,364 \text{ мм} = 5364 \text{ мкм.}$$

Загальні припуски визначено як суму відповідних граничних припусків по усіх операціях

$$2z_{\max}^{ep} = 3912 + 5364 = 9276 \text{ мкм.}$$

$$2z_{\min}^{ep} = 3714 + 4614 = 8328 \text{ мкм.}$$

Перевіряємо вірність проведених розрахунків із співвідношення

$$2z_{\max}^{zp} - 2z_{\min}^{zp} = TD_{заг.} - TD_{дет.} \quad (2.9)$$

$$2z_{\max}^{zp} - 2z_{\min}^{zp} = 9276 - 8328 = 948 \text{ мкм.}$$

$$TD_{заг.} - TD_{дет.} = 1000 - 52 = 948 \text{ мкм.}$$

Розрахунок виконаний вірно, оскільки виконується умова формули (2.9)

Усі дані розрахунку заносимо в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – розрахунок припуску на поверхню Ø30H9

Зміст переходу	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2z_{\min}$	Розрахунковий граничний розмір, мм	Допуск виготовлення T	Прийняті граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	R_z	T	ρ	E				d_{\max}	d_{\min}	$2z_{\max}$	$2z_{\min}$
Заготовка	200	300	1801	-		21,724	1000	21,7	20,724		
Розточування чорнове	50	50	108	150	2.2307	26,338	250	26,3	26,088	5364	4614
Розточування чистове	10	20	72	11	2.1857	30,052	52	30,052	30	3912	3714



Рисунок 2.1 – Ілюстраційна схема розташування припусків та допусків

2.3 Проектування технологічного маршруту оброблення деталі

Згідно з ДСТУ Б А.2.4–22:2008 “Технологія виробництва. Основні вимоги до робочих креслеників”, для виготовлення деталі необхідно вказати вибір матеріалу. У вашому випадку, для зубчастого колеса вказано використання чавуну СЧ21–40, що обумовлено особливістю конструкції.

Таким чином, з точки зору ДСТУ Б А.2.4–22:2008, маємо достатні дані для виготовлення деталі, оскільки вказано конкретний матеріал (чавун СЧ21-40), який необхідно використовувати для виготовлення зубчастого колеса згідно з конструкцією.

Вибір технологічних баз залежить від вимог оброблюваної деталі та можливостей устаткування. У вашому випадку, ви вказали наступні бази для різних операцій:

1. Токарна обробка на установі А: Використовується необроблена зовнішня циліндрична поверхня та торець як бази. Це означає, що ці бази використовуються без попередньої обробки і служать для встановлення та фіксації деталі на установі А під час токарної обробки.

2. Токарна обробка на установі Б: Використовується отвір та торець, які були попередньо оброблені на установі А. Це означає, що на установі А була виконана попередня обробка цих баз, а потім вони використовуються на установі Б для подальшої токарної обробки деталі.

3. Притягування шпонкового пазу: Використовуються торець Г, який був попередньо оброблений на установі А, та отвір Л. Ці бази використовуються для правильного позиціонування та фіксації деталі під час операції притягування шпонкового пазу.

4. Зубонарізна операція: Використовуються торець Г, отвір Л та шпонковий паз Ж, який був попередньо оброблений. Ці бази використовуються для позиціонування та фіксації деталі під час зубонарізної операції.

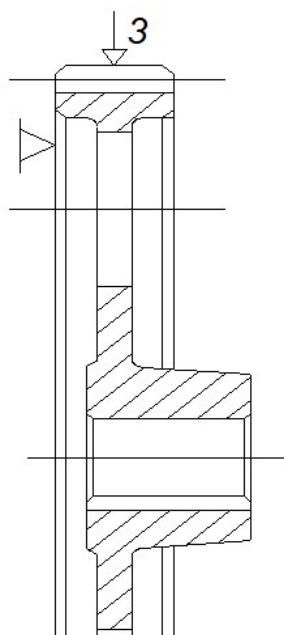


Рисунок 2.2 – Установи

Плани обробки окремих поверхонь наведено в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Плани обробки окремих поверхонь

Поверхня	Квалітет точності	Шорсткість	План обробки поверхні
Г, Б	12	6,3	Чорнове точіння
Е	12	6,3	Чорнове точіння
Л	9	3,2	1. Розточування чорнове 2. Розточування напівчисте
К, Н	12	6,3	Чорнове точіння
О	12	6,3	Чорнове точіння
А	9	3,2	1. Чорнове точіння 2. Чистове точіння
Ж	9	3,2	Протягування
В	12	2,5	Фрезерування
Інші поверхні не оброблюються			

Технологічна собівартість операції механічної обробки визначається за формулою:

$$C = (T \cdot C_t) / N,$$

де: C – технологічна собівартість операції;

T – штучно–калькуляційний час на обробку однієї деталі;

C_t – тарифна ставка робітника (витрати на одну годину роботи);

N – нормативна трудомісткість операції (кількість годин роботи, витрачених на обробку однієї деталі).

У нашому випадку, для порівняння двох варіантів виконання другої токарної операції, вам потрібно розрахувати технологічну собівартість для кожного варіанту, використовуючи відповідні значення T (штучно–калькуляційний час) і C_t (тарифна ставка).

Перший варіант (зубофрезерний верстат):

$$T_1 = 3,58 \text{ хв.}$$

C_{t1} – тарифна ставка для зубофрезерного верстата.

Другий варіант (зубодовбальний верстат):


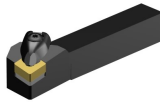

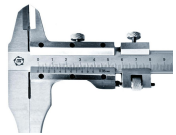


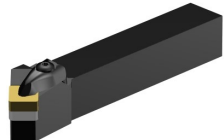
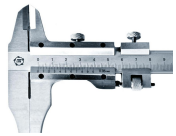
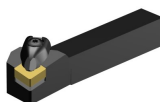
$$T_2 = 4,9 \text{ хв.}$$

C_{t2} – тарифна ставка для зубодовбального верстата.

Після отримання значень T_1 , T_2 , C_{t1} та C_{t2} ви можете використати формулу для розрахунку технологічної собівартості (C) для кожного варіанту та порівняти їх, щоб визначити оптимальний варіант з мінімальними витратами на одиницю продукції.

Так, з огляду на мінімальний штучно–калькуляційний час на обробку деталі на зубофрезерному верстаті моделі 53A50 (3,58 хв) порівняно з зубодовбальним верстатом моделі 5M14 (4,9 хв), ви можете надати перевагу використанню фрезерного верстата. Це призведе до економії часу, оскільки заміна різального інструменту на зубодовбальному верстаті займає більше часу порівняно з фрезерним верстатом. Таким чином, ви зможете досягти більш ефективної обробки деталі з меншими витратами на одиницю продукції.

Таблиця 2.3 – Технологічний процес виготовлення деталі

Назва переходу	Модель верстата	Інструмент	Вимірювальний інструмент
<p>010 Токарна з ЧПК</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підрізати торець. 2. Зняти фаску. 3. Розточити отвір Ø30 начорно. 4. Розточити отвір Ø30 начисто. 	<p>HAAS ST-20</p> 	<p>Різець Sandvik Призматична державка DCLNR 1616H 12 Пластина CNMA 12 04 04-KR 3210</p>  <p>Свердло зі змінними пластинами 880- D3000L32-02</p> 	<p>Шнагенциркуль ШЦ-II</p>  <p>Нутромір</p> 
<p>015 Токарна з ЧПУ</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Підрізати торець. 2. Зняти фаску. 3. Точити поверхню Ø284 начорно. 4. Точити поверхню Ø284 начисто, фаски. 	<p>HAAS ST-20</p> 	<p>Різець Sandvik Призматична державка DSSNR 2525M 15 Пластина SNMG 15 06 16-KR 3210</p> 	<p>Шнагенциркуль ШЦ-II</p> 
		<p>Призматична державка DCLNR 1616H 12 Пластина CNMA 12 04 04-KR 3210</p> 	<p>16К20Ф3</p>

<p>020 Горизонт.-протяжна 1. Протягнути шпонковий паз</p>	<p>7Б55</p> 	<p>Протяжка шпонкова</p> 	<p>Калібри плити</p> 
<p>025 Зубофрезерна 1. Фрезерувати зубці</p>	<p>53А50</p> 	<p>Фреза черв'ячна</p> 	<p>Штанген-зубомір</p> 

2.4 Розрахунок режимів різання

Аналітичний розрахунок режимів різання на чорнове точіння поверхні $\varnothing 284h9$.

Обладнання – токарний верстат з ЧПК HAAS ST20.

Технологічне оснащення – патрон трьохкулачковий самоцентруючий.

Вибір ріжучого інструменту.

Ріжучий інструмент – різець Призматична державка DCLNR 1616H 12
Пластина CNMA 12 04 04-KR 3210.

Параметри геометрії ріжучих кромки: $\gamma = 12^\circ; \gamma_\psi = -3^\circ; \alpha = 10^\circ; \lambda = 0^\circ$.

Розрахунок режимів різання.

Глибина різання.

$$t = 2 \text{ мм}$$

Встановимо період стійкості.

$$T = 4 \text{ год.}$$

Призначаємо подачу

$$S = 0,8 \text{ мм/об.}$$

Швидкість головного руху різання V , м/хв, визначаємо по формулі:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (2.10)$$

де C_v – коефіцієнт;

m, x, y – показники степені;

K_v – додатковий коефіцієнт, що впливає на швидкість різання.

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

де K_{mv} – коефіцієнт, який враховує вплив стану поверхні деталі,

$$K_{nv} = 0,83;$$

K_{iv} – коефіцієнт, який враховує впливи інструменту, $K_{iv} = 1$;

K_{mv} – коефіцієнт, який враховує вплив матеріалу заготовки

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v},$$

де n_v – коефіцієнти; $n_v = 1,25$

$$K_{mv} = \left(\frac{190}{HB} \right)^{n_v} = \left(\frac{190}{210} \right)^{1,25} = 0,88,$$

$$C_v = 243; m = 0,2; x = 0,15; y = 0,4,$$

$$v = \frac{243}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,8^{0,4}} \cdot 0,88 \cdot 0,8 \cdot 1 = 117 \text{ м/хв.}$$

Число обертання шпинделя верстату

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 117}{3,14 \cdot 284} = 130 \text{ хв}^{-1}.$$

Отримані числа обертів відповідає паспортним даним верстату (безступінчасте регулювання).

Швидкість подачі S , мм/хв визначаємо за формулою:

$$S_{xs} = S_0 \cdot n, \quad (2.11)$$

$$S_{xs} = 0,8 \cdot 130 = 104 \text{ мм/хв.}$$

Отримані подачі відповідають паспортним даним верстату безступінчасте регулювання).

Визначаємо силу різання

$$P_z = 10 \times C_p \times t^x \times S^y \times V^n \times K_p, \quad (2.12)$$

де C_p, x, y, n – зміні параметри,

$$C_p = 92; x = 1,0; y = 0,75; n = 0.$$

K_p – поправочний коефіцієнт

$$K_p = K_{mp} \times K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}, \quad (2.13)$$

де $K_{\phi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp}$ – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваної поверхні,

$$K_{\phi p} = 1,0, K_{\gamma p} = 1,0, K_{\lambda p} = 1,0, K_{rp} = 1;$$

K_{mp} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюваної поверхні,

$$K_{mp} = \left(\frac{HB}{190} \right)^n, \quad (2.14)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{210}{190} \right)^{0,4} = 1,04,$$

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 2^1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 117^0 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1556 \text{ Н.}$$

Потужність, що витрачається при обробленні

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{1556 \cdot 117}{1020 \cdot 60} = 2,97 \text{ кВт.}$$

Потужність на шпинделі верстату $N_{ун.}$, кВт, визначається за формулою:

$$N_{ун.} = N_{\delta} \cdot \eta, \quad (2.15)$$

де N_{δ} – потужність, що споживається двигуном верстату, кВт.

$$N_{\delta} = 10 \text{ кВт.}$$

η – коефіцієнти корисної дії верстату, $\eta = 0,8$.

$$N_{ун.} = 10 \cdot 0,8 = 8,0 \text{ кВт.}$$

Процес різання можливий, оскільки виконується умова

$$N_{ун.} = 8,0 \text{ кВт} > N_p = 2,97 \text{ кВт.}$$

Таблиця 2.4 – Зведена таблиця режимів різання

Назва переходу	t , мм	S_o , мм/об	$S_{хв}$, мм/хв	V , м/хв	n , об/хв	$L_{р.х}$, мм	T , хв	Модель верстата
010 Токарна з ЧПУ								
1. Підрізати торець	2,5	0,48	300	85	615		0,82	HAAS ST20
2. Зняти фаску	0,5	0,3	90	116	300	20	0,05	
3. Розточити отвір $\varnothing 30$ начорно.	2,2	0,8	104	117	130	54	0,7	
4. Розточити отвір $\varnothing 30$ начисто	1,8	0,175	175	125,6	800	54	0,37	
015 Токарна з ЧПУ								
1. Підрізати торець	2,5	0,48	300	85	615		0,82	HAAS ST20
2. Зняти фаску	0,5	0,3	90	116	300	20	0,05	
3. Точити поверхню $\varnothing 284$ начорно	3,2	0,5	125	98	250	34	0,36	
4. Точити поверхню $\varnothing 284$ начисто, фаски	1,8	0,3	90	116	300	34	0,4	
020 Горизонт.-протяжна								
1. Протягнути шпонковий паз	--	0,08*	--	6,2	--	54	0,34	7Б55
025 Зубофрезерна								
1. Фрезерувати зубці	8,8	1,7	170	25,5	100	78,5	16,1	53A50

2.5 Технічне нормування операцій

Норма штучно–калькуляційного часу в серійному виробництві визначається з метою оцінки трудових затрат, необхідних для виготовлення однієї одиниці виробу. Вона включає в себе різні етапи процесу виробництва, такі як підготовка матеріалів, налаштування верстату, виконання операцій обробки, контроль якості та інші. Норма штучно–калькуляційного часу може варіюватися в залежності від типу верстату, складності виробу та умов виробництва. Це важлива інформація для планування виробництва та визначення вартості виробу.

$$T_{Ш.К.} = \left(\frac{T_{П.З.}}{n} \right) + T_{Ш.Т.}, \quad (2.16)$$

$$T_{шт.} = T_o + T_d + T_{об} + T_{від},$$

де $T_{шт.}$ – штучний час оброблення деталі, хв;

$T_{п.з.}$ – підготовчо–заключний час на оброблення, хв;

n – кількість деталей у партії налагодження;

T_o – основний час оброблення, хв;

T_v – допоміжний час оброблення, хв;

$T_{об}$ – час на обслуговування робочих місць, хв;

$T_{від}$ – час для відпочивання, хв;

$T_o = 0,34$ хв.

$$T_v = T_{вст} + T_{з.о} + T_{кер} + T_{вим}, \quad (2.17)$$

де $T_{вст}$ – час для встановлення та знімання деталей, хв;

$T_{з.о}$ – час для закріплення та відкріплення деталей, хв;

$T_{кер}$ – час для керування верстатами, хв;

$T_{вим}$ – час для вимірювання деталей, хв.

$$T_{\text{вст}} = 0,39 \cdot 1,5 = 0,585 \text{ хв, [2, С. 199]}$$

$$T_{\text{ксер}} = (0,1 + 0,06 + 0,015 + 0,015 + 0,03 + 0,04) \cdot 1,5 = 0,39 \text{ хв, [2, С. 202–203]}$$

$$T_{\text{з.о.}} = 0,12 \text{ хв, [2, С. 202]}$$

$$T_{\text{вим}} = 0,11 \cdot 1,5 = 0,165 \text{ хв}$$

$$T_{\text{в}} = 0,585 + 0,12 + 0,39 + 0,165 = 1,26 \text{ хв,}$$

де 1,5 – поправочний коефіцієнт, який враховує типи виробництва – велике серійний, [2]

$$\dot{O}_{I\dot{A}} + \dot{O}_{A^2\dot{A}} = \ddot{I}_{I\dot{A}.A^2\dot{A}} \cdot \left(\frac{\dot{O}_I + \dot{O}_B}{100} \right), \quad (2.18)$$

де $\Pi_{\text{об.вд}}$ – норматив часу на обслуговування робочого місяця, відпочинок та природні потреби

$$\Pi_{\text{об.вд}} = 8 \%, \quad [2, С. 215]$$

$$\dot{O}_{I\dot{A}} + \dot{O}_{A^2\dot{A}} = 8 \cdot \left(\frac{0,34 + 1,26}{100} \right) = 0,128 \text{ год,}$$

$$T_{\text{шт.}} = 0,34 + 1,26 + 0,128 = 1,728 \text{ хв,}$$

$$T_{\text{п.з.}} = 11 \text{ хв, [2, С. 220]}$$

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

де a – періодичність запуску деталей, $a = 12$ днів.

$$n = \frac{15000 \cdot 12}{254} = 708,66.$$

Виконуємо корегування, яке полягає в визначенні числа змін та партій деталей за зміну.

$$C = \frac{T_{шт} \cdot n_p}{476 \cdot 0,8} = \frac{1,728 \cdot 708,66}{476 \cdot 0,8} = 3,22$$

Приймаємо $C_{пр} = 2$ зміни.

$$n_{пр.} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot C_{пр.}}{T_{шт.}} = \frac{476 \cdot 0,8 \cdot 2}{1,728} = 440,7$$

Тоді

$$T_{шт.к.} = \frac{11}{440,7} + 1,728 = 1,75 \text{ хв.}$$

На інші операції розрахунки проводимо аналогічно і заносимо у табл. 2.5

Таблиця 2.5 – Норми часу

	T_0	$T_{вст}$	T_z	$T_{кер}$	$T_{вим}$	$T_{доп}$	$T_{об}+T_{від}$	$T_{шт}$	$T_{п.з}$	$T_{шт.к}$
010	1,94	0,27	0,12	0,09	0,195	0,675	0,156	2,771	8	2,8
015	1,63	0,285	0,19	0,106	0,3	0,881	0,2	2,711	7	2,73
020	0,34	0,585	0,12	0,39	0,165	1,26	0,128	1,728	11	1,75
025	16,1	0,14	0,16	0,1	0,36	0,4	1,365	18	37	19,1

2.6 Розробка керуючої програми для верстата з ЧПК

На рис. 2.3 представлений токарний центр моделі HAAS ST-20 з числовим програмним керуванням (ЧПК), який був обраний для використання в новому технологічному процесі. Цей токарний центр є продуктивним обладнанням, яке використовується для обробки деталей на верстаті шляхом руху інструменту відносно оброблюваної заготовки. Модель HAAS ST-20 з ЧПК надає автоматизовані можливості керування, програмування та контролю процесу обробки, що сприяє підвищенню точності та ефективності виробництва.



Рисунок 2.3 – Токарний центр із ЧПК моделі HAAS ST–20

Для створення програми токарного оброблення були виконані наступні кроки:

Була створена тривимірна (3D) модель деталі за допомогою програмного забезпечення SolidWorks. Це програмне забезпечення дозволяє створювати віртуальну модель деталі з урахуванням її геометричних особливостей.

Потім отриману 3D модель було завантажено у середовище Esprit. Esprit – це програмне забезпечення, спеціально розроблене для програмування обробних верстатів, включаючи токарні центри. Воно дозволяє створювати обробні програми, враховуючи особливості деталі, і оптимізувати процес обробки.

Ці дії (створення 3D моделі та її завантаження в середовище Esprit) відображені на рис. 2.4, який ілюструє процес створення програми токарного оброблення.

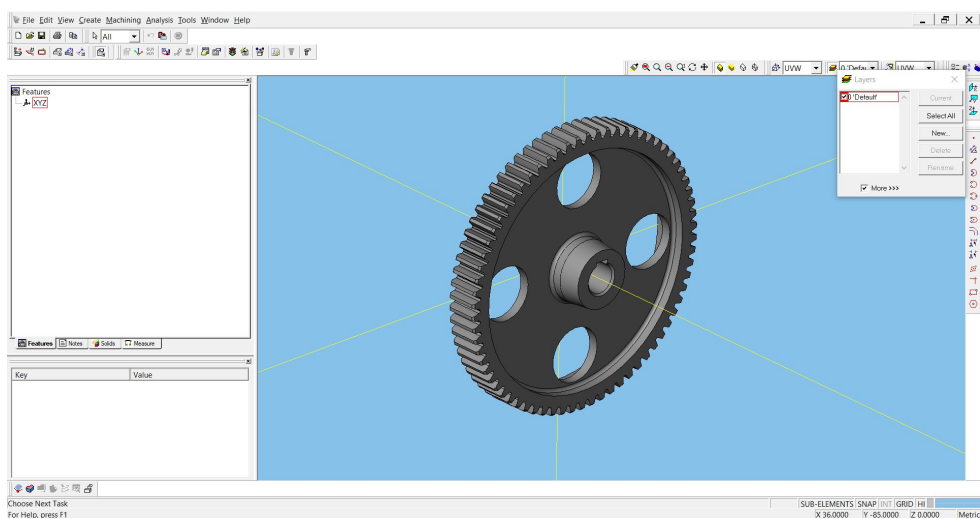


Рисунок 2.4 – 3D модель заготовки корпусу у середовищі Esprit

1. Виконано розпізнання елементів профілю рис 2.5.

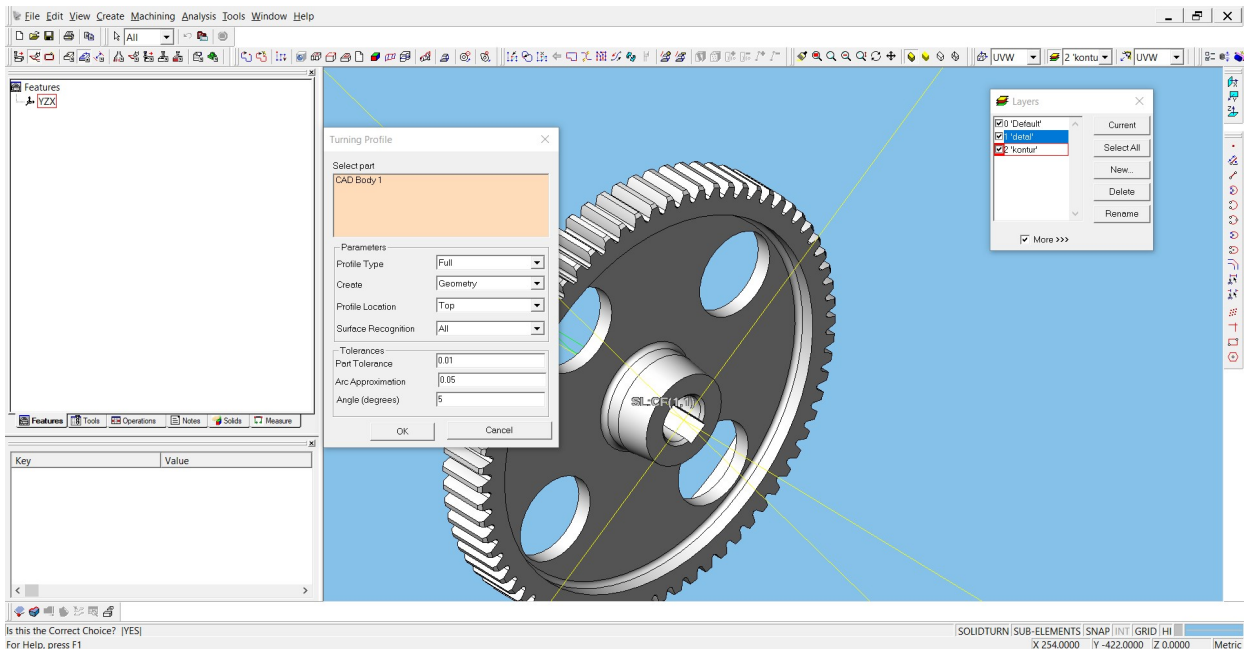


Рисунок 2.5 – Розпізнання в САМ Еспріт елементів профілю

2. Обрано вид оброблення – “Чорнове оброблення” (рис. 2.6).

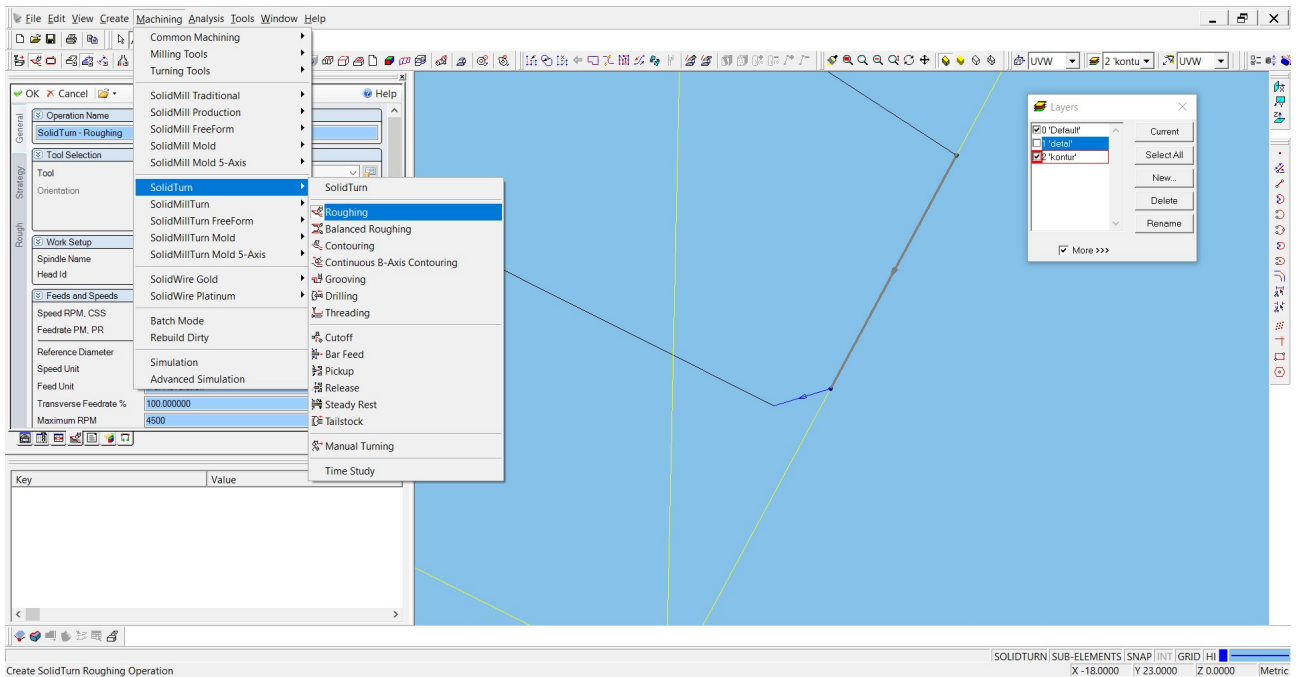


Рисунок 2.6 – Вибір виду оброблення

3. Обрано металообробний інструмент та встановлено його параметри (рис. 2.7).

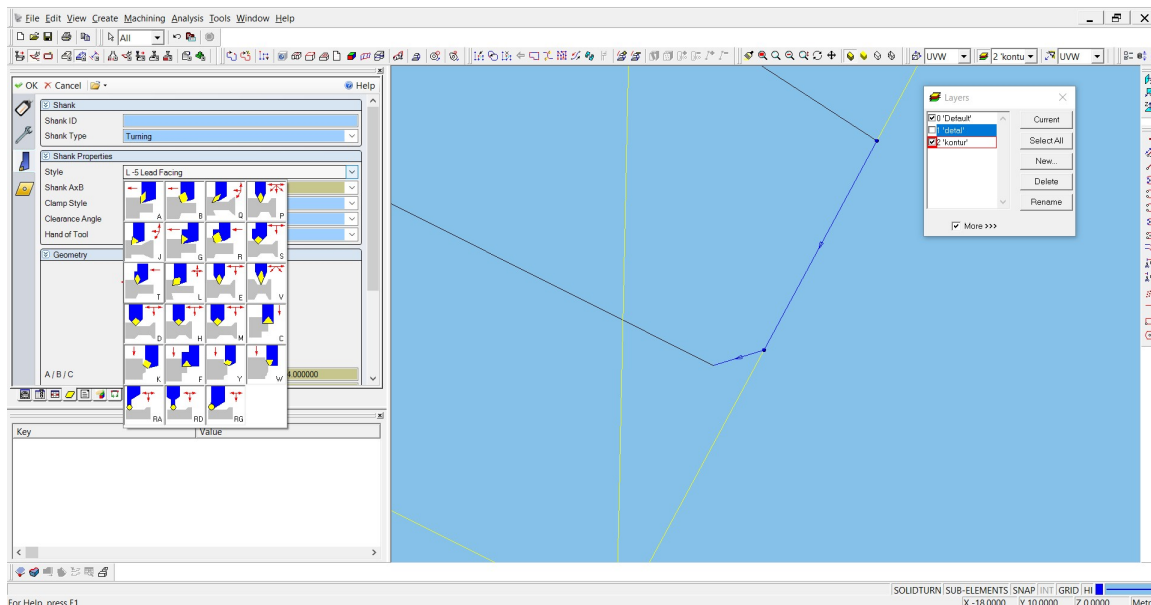


Рисунок 2.7 – Вибір інструменту та його параметрів

4. Обрано режими різання згідно із розрахунками (рис 2.8).

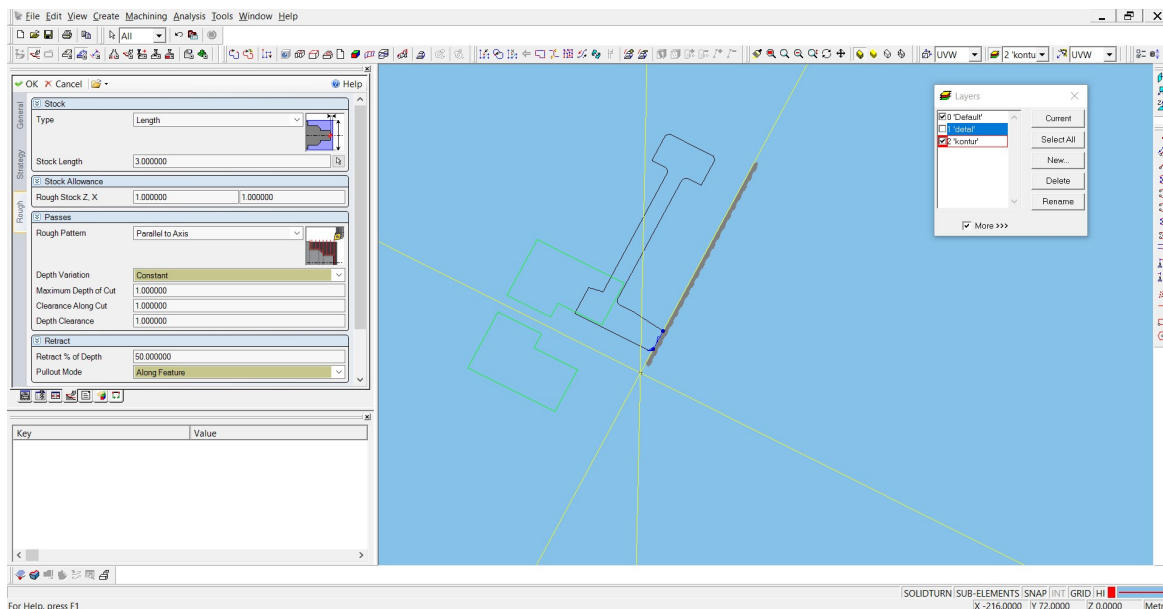


Рисунок 2.8 – Вибір режимів оброблення

5. Була автоматично згенерована траєкторія руху металорізального інструменту для оброблення контуру деталі (рис 2.9).

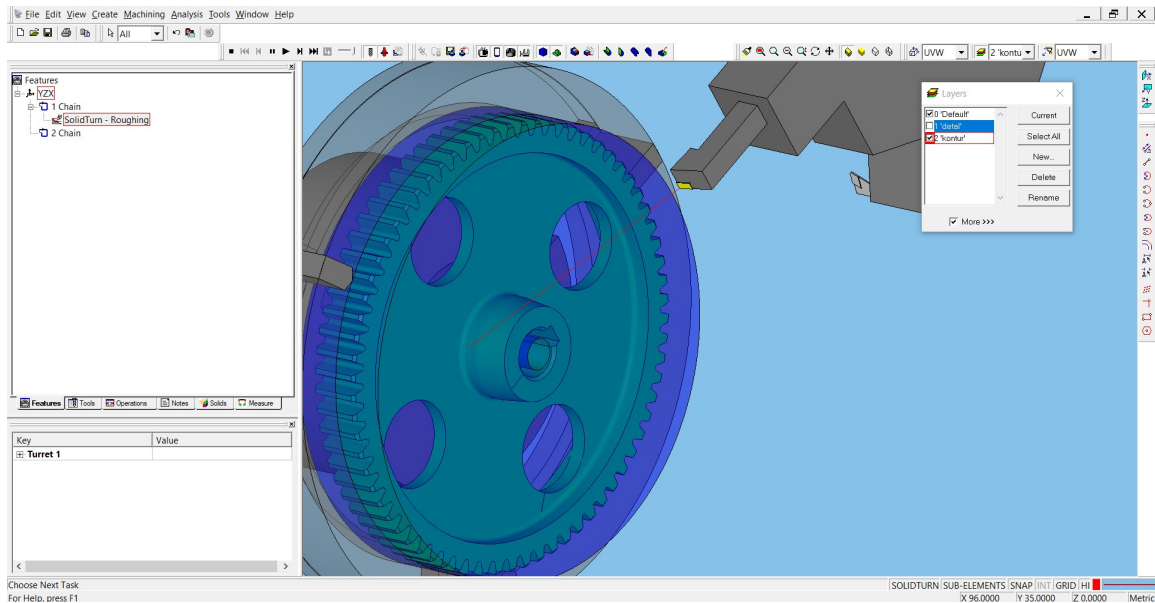


Рисунок 2.9 – Траєкторія руху металорізального інструменту при обробленні контуру

6. Було виконане автоматичне генерування програми оброблення на верстаті з ЧПУ у G–M кодах за допомогою постпроцесору (рис 2.10).

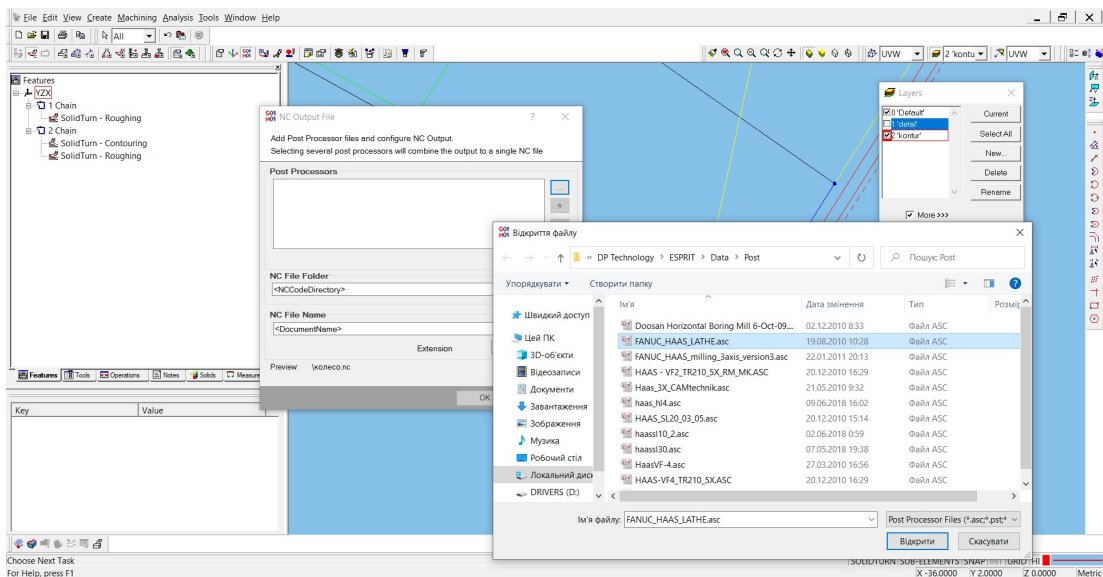


Рисунок 2.10 – Автоматичне генерування програми оброблення в G–M кодів

Керуюча програма наведена у додатку В.

2.7 Оформлення технологічної документації

Після розробки технологічного процесу механічного оброблення заповнюються технологічні документи, які визначені стандартами ДСТУ ГОСТ 3.1105:2014 “Єдина система технологічної документації”. Форми та правила оформлення документів загального призначення і ДСТУ-Н 7914:2015 “Система технологічної документації”. Загалом, технологічна документація містить наступні документи:

1. Маршрутна карта (МК): в ній наведений опис операцій виготовлення та супутніх процесів у послідовності їх виконання.

2. Операційна карта (ОК): вона описує окремі операції з переходами і вказує відповідні технологічні режими.

3. Карта типового (групового) технологічного процесу (КТТП): вона описує загальний технологічний процес для певного типу або групи виробів.

4. Карта ескізів (КЕ): використовується для графічних ілюстрацій до документів, що описують процеси та операції. Форму та вибір КЕ встановлює розробник документації.

Комплект документів наведено у додатку Б.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування верстатного пристрою

При проектуванні пристрою для нарізання зубців зубчастого колеса на операції 020 необхідно вибрати схему базування та закріплення деталі.

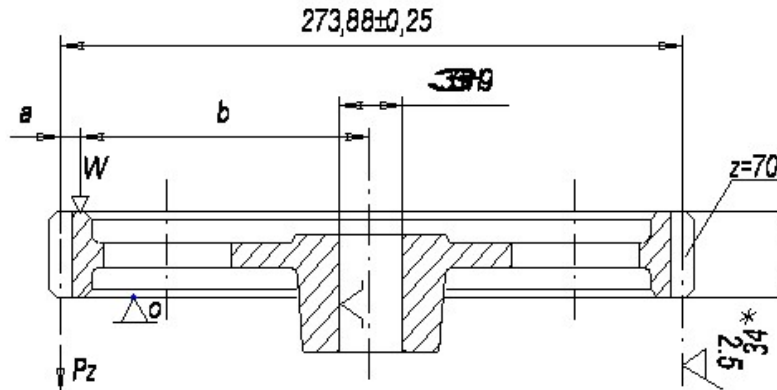


Рисунок 3.1 – Схема для розрахунку

Вибір установочних елементів пристрою.

В даному випадку в якості установочних елементів використовується гладка циліндрична поверхня, яка виступає як оправка. Деталь, яка має отвір діаметром 30 мм з вимогами до геометричних параметрів (клас точності Н9), встановлюється на цю оправку. Базовим торцем деталь встановлюється на опору, а потім закріплюється прихватом.

Розрахунок похибки установки.

Розрахунок похибки базування.

Для розрахунку похибки базування використовується допуск ділильного діаметра. Допуск ділильного діаметра (T) визначає максимально допустиму похибку установки деталі при обробці зубчастого колеса.

Розрахунок похибки базування здійснюється за формулою:

$$\Delta d = T / (2 \times \cos \alpha),$$

де: Δd – похибка базування (розмірна похибка);

T – допуск ділильного діаметра;

α – кут, під яким розташована точка базування.

Зазначу, що в даному випадку розрахунок похибки базування потрібно проводити з урахуванням конкретних значень допуску ділильного діаметра (T) та кута базування (α) для даного пристрою для нарізання зубців зубчастого колеса.

Похибку базування E_{δ} , мм, при встановленні деталей на оправці визначаємо по формулі

$$E_{\delta} = S_{\min} + TD + Td, \quad (3.1)$$

де S_{\min} – мінімальний зазор між отвором та пальцем, мм;

TD – допуск на розмір отвору, мм;

Td – допуск на розмір оправки, мм.

Для отвору $\text{Ø}30\text{H}9$ ($^{+0,052}$)

$$TD = ES - EI = 0,052 - 0 = 0,052 \text{ мм.}$$

Для пальця $\text{Ø}30\text{f}7$ ($^{-0,020}$
 $_{-0,041}$)

$$Td = es - ei = -0,020 - (-0,041) = 0,021 \text{ мм.}$$

$$S_{\min} = EI - es = 0 - (-0,020) = 0,020 \text{ мм.}$$

$$E_{\delta} = 0,020 + 0,052 + 0,021 = 0,093 \text{ мм.}$$

Розрахунок похибки закріплення.

Розумію. У такому випадку, якщо сила затиску (W) є постійною і не має непостійності, то похибка закріплення практично дорівнює нулю. У розрахунках і проектуванні пристрою для нарізання зубців зубчастого колеса не потрібно враховувати цю похибку. Проте, важливо впевнитись, що сила

затиску залишається стабільною протягом процесу обробки, оскільки будь-які коливання або непостійність сили затиску можуть вплинути на точність обробки та похибку закріплення.

Похибку пристрою E_{np} , визначаємо по формулі:

$$E_{np} = \sqrt{E_{yc}^2 + E_{zn}^2 + E_{\phi}^2}, \quad (3.2)$$

де E_{yc} – похибка помилок виготовлення установчих елементів, мм;

E_{zn} – похибка зношення установчих елементів, мм;

E_{ϕ} – похибка фіксації пристрою на столі верстата, мм;

По рекомендаціям приймаємо

$$E_{yc} = 10 \text{ мкм} = 0,01 \text{ мм.}$$

$$E_{zn} = 20 \text{ мкм} = 0,02 \text{ мм.}$$

$$E_{\phi} = 10 \text{ мкм} = 0,01 \text{ мм.}$$

$$E_{np} = \sqrt{10^2 + 20^2 + 10^2} = 24 \text{ мкм} = 0,024 \text{ мм.}$$

Похибку установки визначаємо за формулою

$$E_y = \sqrt{E_{\sigma}^2 + E_{zn}^2 + E_{np}^2} = \sqrt{0,093^2 + 0 + 0,024^2} = 0,096 \text{ мм.}$$

Допустима підсумкова похибка пристрою, визначаємо за формулою

$$E_{\text{дон}} = TH - k \cdot w, \quad (3.3)$$

де TH – поле допуску на виконує мий розмір деталі, мм;

k – коефіцієнт;

w – досяжна точність обробки на вибраному верстаті;

$$k = 0,6 \dots 1,0;$$

$$TH = 500 \text{ мкм} = 0,5 \text{ мм};$$

$$W = 110 \text{ мкм} = 0,11 \text{ мм};$$

$$E_{\text{дон}} = 0,5 - 1 \cdot 0,11 = 0,39 \text{ мм.}$$

Умова $E_{\text{дон}} \geq E_y$ виконується.

Розрахунок сили закріплення заготовки.

Умова рівноваги заготовки відносно точки 0 має вигляд

$$k \cdot P_z \cdot a = W \cdot f \cdot b, \quad (3.4)$$

де k – коефіцієнт запасу;

P_z – сила різання;

W – сила затиску;

f – коефіцієнт тертя;

a – відстань між точкою прикладання сили затиску та силою різання;

b – відстань між точкою прикладання сили затиску та віссю деталі.

Коефіцієнт запасу k визначаємо по формулі

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \geq [2,5], \quad (3.5)$$

де k_0 – коефіцієнт гарантованого запасу;

$k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ – коефіцієнти, що відповідно, враховують: збільшення сили різання при чорновій обробці; при затупленні інструменту; при приривістому різанні; нестабільність сили закріплення; незручність розташування рукоятки; наявність моментів, які намагаються розвернути заготовку.

Значення коефіцієнтів приймаємо по СТМ Т2, С. 84, 85.

$$k_0 = 1,5; k_1 = 1,0; k_2 = 1,2; k_3 = 1,0; k_4 = 1,3; k_5 = 1,0; k_6 = 1,0.$$

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,9.$$

Приймаємо $k = 2,5$.

$$f = 0,25 \text{ СТМ Т2, С. 84.}$$

$$a = 0,010 \text{ м.}$$

$$b = 0,126 \text{ м}.$$

$$P_z = 3672 \text{ Н}.$$

Силу затиску визначаємо із формули

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot a}{f \cdot b} = \frac{2,9 \cdot 3672 \cdot 0,010}{0,25 \cdot 0,126} = 3380 \text{ Н}.$$

Розрахунок сил затиску і основних параметрів приводу.

Діаметр пневмоциліндра визначаємо по формулі (при подачі повітря у штокову порожнину)

$$D_u = \sqrt{1,27Q/p \cdot \eta + d_{um}^2}, \quad (3.6)$$

де Q – зусилля на штоці пневмоциліндра;

p – робочий тиск повітря у пневмомережі $p = 0,4$ МПа.;

η – коефіцієнт корисної дії пневмоциліндра $\eta = 0,9$;

d_{um} – діаметр штока $d = 17$ мм.

Для даної схеми закріплення зусилля на штоці пневмоциліндра дорівнює зусиллю затиску $Q = W = 3380$ Н.

$$D_u = \sqrt{1,27 \cdot 3380 / 0,4 \cdot 0,9 + 17^2} = 152 \text{ мм}.$$

Приймаємо $D_u = 160$ мм.

Розрахунок деталей пристрою на міцність та жорсткість.

Розрахунок головки тяги

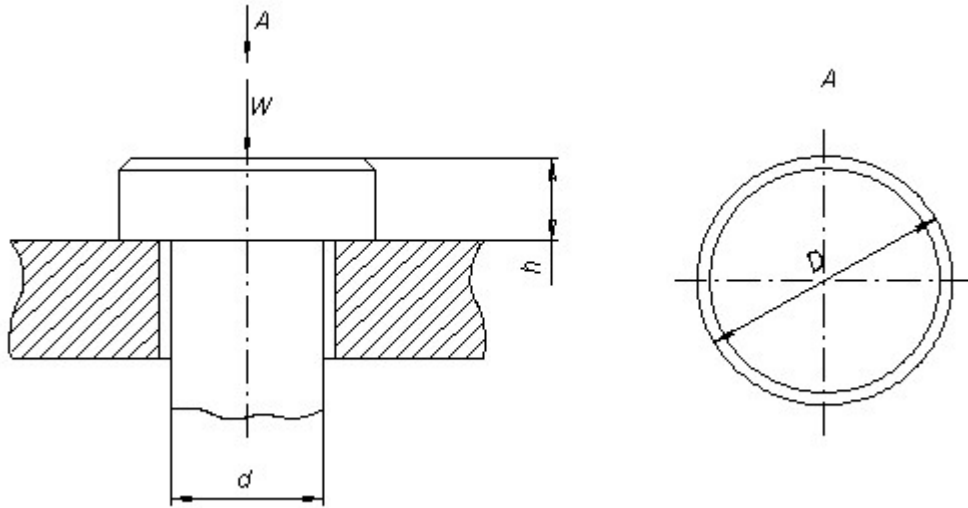


Рисунок 3.2 – Схема для розрахунку

Приймаємо матеріал тяги – сталь 45 ДСТУ 7809:2015.

Умови міцності стержня на розтяг

$$\delta_p = \frac{W_{\max}}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \leq [\delta_p], \quad (3.7)$$

Визначаємо

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot W_{\max}}{\pi \cdot [\delta_p]}}, \quad (3.8)$$

де W_{\max} – максимальне зусилля при тиску повітря у пневмомережі

$p = 0,63 \text{ МПа}$.

$$W_{\max} = \frac{\pi \cdot D_o^2}{4} \cdot p \cdot \eta = \frac{3,14 \cdot 160^2}{4} \cdot 0,63 \cdot 0,9 = 11400 \text{ Н.}$$

$$d_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11400}{\pi \cdot 140}} = 10,18 \text{ мм.}$$

По конструктивним міркуванням приймаємо $d = 17 \text{ мм}$.

З умови міцності на зминання визначаємо діаметр головки

$$\delta_p = \frac{W_{\max}}{A_{зм}} \leq [\delta_{зм}], \quad (3.9)$$

де $A_{зм}$ – площа зминання, мм^2 .

По конструктивним міркуванням приймаємо $D = 27 \text{ і і}$.

$$A_{зм} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 27^2}{4} = 572,2 \text{ мм}^2,$$

$$\delta_p = \frac{11400}{572,2} = 20 \text{ МПа}.$$

Умова $\frac{W_{\max}}{A_{зм}} \leq [\delta_{зм}]$, виконується.

Принцип роботи пристрою.

Описаний спосіб закріплення колеса з використанням опори, втулки, прихвата, з'ємної шайби та пневматичного механізму затиску є типовим для забезпечення точного позиціонування та закріплення деталі в пристрої.

Опора 3 та втулка 4 забезпечують правильне позиціонування деталі в пристрої. Орієнтація колеса здійснюється за допомогою напрямних втулки та відповідного отвору на колесі.

Закріплення колеса відбувається за допомогою прихвата 5 та з'ємної шайби 7. З'ємна шайба контактує з штоком 6, на якому розміщений поршень 14. подача повітря з пневмережі на поршень приводить до руху затискного механізму, що забезпечує закріплення колеса.

Цей механізм дозволяє забезпечити точне позиціонування та надійне закріплення деталі для виконання операцій нарізання зубців зубчастого колеса.

3.2 Проектування контрольного пристрою

Для контролю деталі, в якій підлягає перевірці радіальне биття, можуть бути встановлені наступні технічні умови та вимоги:

1. Радіальне биття: Радіальне биття вимірюється для оцінки відхилень вісі деталі від заданої кругової форми. Зазвичай, вимоги до радіального биття вказуються в міліметрах або мікрометрах. Наприклад, допустиме радіальне биття може бути в межах $\pm 0,05$ мм.

2. Контрольно-вимірювальний пристрій: Спроектований контрольно-вимірювальний пристрій повинен включати необхідні компоненти для вимірювання радіального биття. Це може бути спеціальна пристрій або шаблон, який дозволяє зручно та точно виміряти відхилення.

3. Процедура вимірювання: Вимірювання радіального биття повинно проводитися згідно з встановленою процедурою. Це включає спосіб закріплення деталі на контрольно-вимірювальному пристрої, метод вимірювання, точку вимірювання та критерії оцінки відхилень.

4. Прийнятні відхилення: Вимірювані значення радіального биття порівнюються з встановленими прийнятними відхиленнями, які можуть бути визначені відповідно до технічних вимог або стандартів. Якщо виміряні значення знаходяться в межах прийнятних відхилень, деталь вважається відповідною.

Враховуючи ці технічні умови та вимоги, контроль радіального биття може бути здійснений за допомогою спеціально спроектованого контрольно-вимірювального пристрою.

Вибір схеми контролю заданого параметру.

Згідно рекомендацій [8], вибираємо наступну схему контролю. Схема зображена на рис. 3.3.

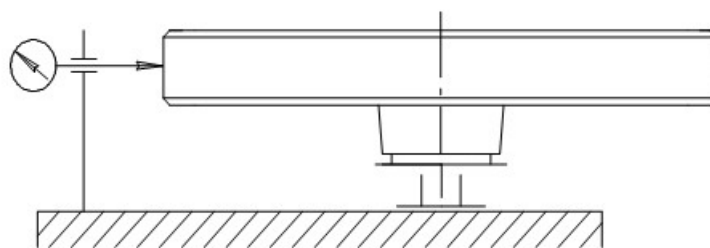


Рисунок 3.3 – Схема контролю радіального биття

3.3 Розрахунок точності вимірювання

$$\Delta_{\text{вим}} = T - k \times w, \quad (3.10)$$

де T – допуск вимірювання, $T = 0,05$ мм;

k – поправочний коефіцієнт, $k = 1,2$;

w – похибка пристрою

$$w = \varepsilon_y = \sqrt{\xi_{\delta}^2 + \xi_{\text{з}}^2 + \xi_{\text{пр}}^2}, \quad (3.11)$$

де ξ_{δ} – похибка базування, $\xi_{\delta} = 0$;

$\xi_{\text{з}}$ – похибка закріплення, $\xi_{\text{з}} = 0$;

$\xi_{\text{пр}}$ – похибка пристрою,

$$\xi_{\text{пр}} = (1/4 \dots 1/10) T_{\text{д}} = (1/4 \dots 1/10) \times 0,063 = (0,0155 \dots 0,0063) \text{ мм.}$$

Приймаємо $\xi_{\text{пр}} = 0,01$.

$$\Delta_{\text{вим}} = 0,05 - 1,2 \times 0,01 = 0,038 \text{ мм.}$$

Згідно рекомендацій вибираємо

$$\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{вим}} \times (0,5 \dots 0,75) = (0,019 \dots 0,029) \text{ мм.}$$

Приймаємо $\Delta_{\text{пр}} = 0,02$ мм.

Отже вибираємо індикатор годинникового типу ИЧ з ціною поділки 0,01 мм та похибкою вимірювання 0,008 мм по ГОСТ 868–82.

Принцип роботи пристрою

Деталь встановлюється на палець. Індикатор (годинникового типу) закріплюється у стояк за допомогою гвинта. Налагоджуємо індикатор на поверхню (створюємо попередній натяг) і обертаючи колесо фіксуємо покази індикатора через 5...7 зубців.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вимоги щодо використання промислового устаткування

Персонал, який бажає працювати на металорізальних верстатах, повинен пройти інструктажі, навчання та перевірку знань з охорони праці. Крім того, вони повинні мати відповідне кваліфікаційне посвідчення, що підтверджує їх знання та кваліфікацію. Перевірка знань має проводитись один раз на рік, а повторний інструктаж – не рідше одного разу на квартал. Такі заходи гарантують, що працівники дотримуються вимог безпеки під час роботи на металорізальних верстатах. Крім того, конструкція верстатів та обладнання, використовуваних для виготовлення деталі “Зубчасте колесо”, повинна відповідати стандартам безпеки, зокрема вимогам ДСТУ 12.2.003–98 “ССБТ. Устаткування виробниче. Загальні вимоги безпеки”. Металообробні верстати з ЧПУ також повинні задовольняти вимогам ДСТУ 12.2.009–2000 “ССБТ. Верстати металообробні. Загальні вимоги щодо безпеки”.

Для кожного верстата повинен бути встановлений інвентарний номер. На верстаті або групі верстатів повинен бути вивішений список осіб, які мають право працювати на них. Також на видному місці має бути табличка з посадовою особою, відповідальною за утримання верстатного обладнання у справному стані та безпечну експлуатацію в цеху чи ділянці.

На робочому місці повинна бути вивішена коротка виписка з інструкції з охорони праці або пам'ятка з техніки безпеки. Ця виписка містить основні вимоги щодо безпечних прийомів роботи для працівників, які працюють на верстаті, а також вимоги до захисних, запобіжних та блокувальних пристроїв. Якщо в приміщенні є декілька верстатів однієї групи, досить вивісити одну виписку з інструкції з охорони праці або пам'ятку техніки безпеки, доступну для всіх працівників.

1) Виробниче обладнання, включаючи верстати, повинно бути встановлене на міцних фундаментах або основах, добре вирівняне, надійно закріплене та має відповідне забарвлення згідно з вимогами стандарту ДСТУ

12.4.026–01 “ССБТ. Кольори сигнальні та знаки безпеки”. Устаткування, яке було перевстановлено або відремонтовано, може бути введено в роботу після приймання комісією та складання відповідного акта, який затверджує головний інженер підприємства. Після встановлення та ремонту устаткування може бути використано після перевірки майстром або начальником підрозділу.

2) Поряд з органами управління обладнанням та верстатами має бути вказано їх призначення за допомогою написів або символів згідно зі стандартом ДСТУ 12.4.040–98 “ССБТ. Символи органів управління виробничим обладнанням”. Ці написи, лімби, шкали та символи повинні бути чіткими, нестираними і легко читатися на відстані не менше 500 мм.

3) Органи ручного управління обладнанням та верстатами мають бути виготовлені та розташовані зручно, так щоб їх користування не призводило до затискання або випадкового дії на інші органи управління або частини верстата. Крім того, вони повинні бути розміщені таким чином, щоб у якомога більшій мірі уникнути випадкового впливу на ці органи.

4) Усі верстатні пристрої, такі як кондуктори, патрони, планшайби, магнітні плити, оправки та інші, повинні відповідати вимогам стандарту ДСТУ 12.2.029–98 “ССБТ. Пристрої верстатні. Вимоги безпеки”. Захисні огороження повинні відповідати вимогам стандарту ДСТУ 12.2.062–01 “ССБТ. Устаткування виробниче. Огороження захисні”. Забороняється працювати на несправних верстатах та устаткуванні, а також на верстатах з несправними або неправильно закріпленими захисними огороженнями.

5) Струмopовідні частини обладнання повинні бути ізолювані або захищені, або знаходитися в місцях, недоступних для людей. Металеві частини обладнання, які можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути заземлені (занулені) відповідно до “Правил пристрою електроустановок”.

6) Передачі, такі як ремені, ланцюги, зубчасті передачі та інші, які знаходяться поза корпусами верстатів і можуть становити небезпеку травмування для людей, повинні бути огорожені. Огороження можуть бути

суцільними, а жалюзі або з отворами, а також мають бути обладнані пристроями, такими як ручки, скоби тощо, що дозволяють зручно та безпечно відкривати, знімати, переміщати та встановлювати ці передачі.

7) Внутрішні поверхні дверцят, які закривають рухомі елементи верстатів, такі як шестерні, шківни та інші, і до яких періодично потрібен доступ для налагодження, заміни ременів тощо, повинні бути пофарбовані у сигнальний жовтий колір. Якщо ці рухомі елементи закриваються знімними захисними огороженнями, такими як кришки або кожухи, то повністю або частково звернені до них поверхні рухомих елементів або суміжних нерухомих деталей, які закриваються огороженнями, також мають бути забарвлені у жовтий колір. Зовнішньою стороною огороження має бути наклеєний попереджувальний знак безпеки згідно з ДСТУ 12.2.061:2009, а також ДСТУ EN 60204-1:2015. Це рівносторонній трикутник жовтого кольору з чорним облямуванням і чорним знаком оклику всередині. Під знаком встановлюється табличка згідно з відповідними стандартами, на якій написано “При включеному верстаті не відкривати!”. У випадку підвищеної небезпеки травмування захисні огороження, які відкриваються або знімаються, повинні мати блокування, яке автоматично вимикається при їх відкриванні. При цьому необхідно дотримуватися вимог щодо фарбування вказаних поверхонь у жовтий сигнальний колір та нанесення попереджувального знаку безпеки ззовні.

8) Верстат та обладнання повинні мати пристрої (екрани), що захищають оператора верстата і людей, що перебувають поруч, від відлітаючої стружки та мастильно-охолоджуючої рідини, а також не допускають забруднення підлоги цими речовинами. Якщо з технічних причин неможливо використовувати захисні пристрої під час роботи, необхідно користуватися захисними окулярами або щитками.

9) Знімні захисні пристрої, які часто знімаються для установки або зняття оброблюваної деталі, інструменту, проведення вимірювань, налагодження верстата та в інших випадках, повинні мати масу не більше 6 кг та кріплення,

яке може бути виконане без використання ключів або викруток. Знімні захисні пристрої типу “відкриваючись” повинні переміщатися зусиллям, не перевищуючим 40 Н, при встановленому русі.

10) Захисні пристрої не повинні обмежувати технологічні можливості верстата і не повинні створювати незручностей при роботі, прибиранні, налагодженні або при відкриванні, що може привести до забруднення мастильно-охолоджувальною рідиною. У разі потреби, вони повинні бути оснащені рукоятками, скобами або іншими засобами для зручного відкривання, закривання, знімання, переміщення та встановлення. Кріплення захисних пристроїв повинно бути надійним, щоб уникнути ненавмисного відкриття. Пристрої, що утримують огороження у відкритому стані, повинні надійно утримувати їх у цьому положенні.

11) Під час роботи на верстаті працівник повинен стояти на дерев'яній ґратчастій підлозі з відстанню між планками не більше 30 мм. Якщо роботу можна виконати, сидячи, то робоче місце має відповідати вимогам ДСТУ 8604:2015 “ССБТ. Робоче місце під час виконання робіт у сидячому положенні. Загальні ергономічні вимоги”.

12) У разі технічної необхідності верстати повинні бути оснащені індивідуальними підйомними пристроями для піднімання заготовок вагою понад 8 кг, а також інструментів і пристроїв, які важать понад 20 кг. Підйомний пристрій повинен утримувати вантаж у будь-якому положенні, навіть у випадку непередбаченого відключення електроенергії, подачі олії або повітря. Для піднімання заготовок вагою більше 25 кг слід використовувати внутрішньо-цехові підйомні засоби.

13) Основне та допоміжне обладнання повинно піддаватися періодичним технічним оглядам і ремонтам згідно з графіками, які затверджуються в установленому порядку.

14) При зупинці обладнання для огляду, очищення або ремонту, його необхідно відключити від технологічних трубопроводів та джерел електроенергії згідно ДСТУ EN 60204–1:2015.

15) Під час огляду, чищення, ремонту та демонтажу обладнання їх електроприводи повинні бути вимкнені, приводні ремені зняті, а на пускових пристроях повинні бути розміщені плакати з написом: “Не включати – працюють люди”. У разі потреби, згідно з Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів, кабель електродвигуна, що живить, повинен бути заземлений, а зона ремонту повинна бути огорожена з встановленням попереджувальних або заборонних знаків або плакатів.

16) Монтаж обладнання повинен проводитися в повній відповідності до проекту та інструкцій заводу-виробника.

17) Робоче місце повинно завжди бути чистим і не захаращеним. На робочих місцях необхідно передбачити площу, на якій розташовуються стелажі, столи, тара та інші пристрої для зберігання оснастки, матеріалів, заготовок, напівфабрикатів, готових деталей та відходів виробництва.

18) Верстати повинні бути оснащені пристроями місцевого освітлення в зоні обробки. У вбудованих пристроях повинна бути передбачена можливість зручної й надійної установки та фіксації світильників у потрібному положенні. Під час виконання дипломного проекту були дотримані всі правила і норми щодо охорони праці та техніки безпеки, і жодні шкідливі впливи на робочий персонал не перевищували встановлених норм. Отже, дипломний проект з проектування ділянки виготовлення деталі “Корпус” можна вважати технологічно чистим.

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбатюк Є. О., Мазур М. П., Зенкін А. С., Каразей В. Д. Технологія машинобудування: Навч. посібник – Львів : “Новий Світ–2000”, 2012. – 358 с.
2. Гордєєв А. І., Урбанюк Є. А., Безносів А. Є., Мігаль В. Г. Курсове та дипломне проектування для технології машинобудування та металорізальних верстатів. Навч. посібник, ХНУ, 2005. – 300 с.
3. Технологія машинобудування. Навчальний посібник / За ред. І. І. Юрчишина. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 528 с.
4. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків : УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
5. Гевко Б. М. Технологія обробки на верстатах з ЧПК: Навчальний посібник. [Текст] / Гевко Б. М., Матвійчук А. В. Тернопіль : ТДТУ, 2004. – 131 с.
6. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок. Львів : Світ, 1996. – 368 с.
7. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М., Пуховський Є. С. Проектування та виробництво заготовок. Підручник для студентів машинобудівних спеціальностей ВНЗ. / Під ред. Коренькова В. М. Київ : НТУУ “КПІ”, 2014. – 353 с., іл.
8. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева та ін., за заг. ред. В. Л. Диканя. – Харків : УкрДУЗТ, 2020. – 386 с.
9. Добрянський С. С. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : підручник для студентів спеціальностей 131 “Прикладна механіка”, 133 “Галузеве машинобудування” / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

10. SANDVIK COROMAT [Електронний ресурс] // www.sandvik.coromant.com. 2021. Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ruru/products/pages/technologies.aspx#inveio>

11. Залога В. О. Сучасні інструментальні матеріали у машинобудуванні: навч. посібник / В. О. Залога, О. О. Залога, В. Д. Гончаров; за загальн. ред. В. О. Залоги. – Суми : Сумський державний університет, 2013. – 371 с.

12. Технологічні основи машинобудування. Навчальний посібник для студентів спеціальності 131. “Прикладна механіка” інженерно-хімічного факультету та механіко-машинобудівного інституту. / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв, В. К. Фролов, В. М. Гриценко. – К. : НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2018. – 112 с.

13. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. Львів : Афіша 2004. – 248 с.

14. Катренко Л. А., Пістун І. П. Охорона праці в галузі освіти. Суми : Університетська книга, 2001. – 345 с.