

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Підвищення якості обробки зубчастого вінця шестерні
фінішними методами»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-122м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ЯРОШЕНКО Ю.Б.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Машинобудівний
 Кафедра «Технологія машинобудування»
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) Технології машинобудування
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ
 «_____» _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ЯРОШЕНКО Юлія Борисівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Підвищення якості обробки зубчастого вінця шестерні фінішними методами»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові,)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» 11 2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 08.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення шестерні приводу від-
центрового суфлеру; річна програма випуску N=10000 шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина. 2. Конструкторська частина. 3. Автоматизація контролю зубчастих коліс. 4. Розрахунок деталі на міцність. 5. Спеціальне завдання: підвищення якості обробки зубчастого вінця шестерні фінішними методами. 6. Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів. 7. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Креслення деталі, заготовки; плакат 3D-моделі деталі та заготовок; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів – 15.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Д.М.		
6	к.т.н., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г.В.		
7	к.т.н., доц. ШМИРКО В.І.		
нормоконтроль	к.т.н., доц. ДЯДЯ С.І.		

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація	09.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	23.10.2023	
5	Спецзавдання	30.10.2023	
6	Економічний розрахунок	06.11.2023	
7	Охорона праці	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	27.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	18.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

Юлія ЯРОШЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Дмитро СТЕПАНОВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 118 с., 15 табл., 22 рис., 2 дод., 24 джерела.

ЗАГОТОВКА, КАРТА ЕСКІЗІВ, КОНТРОЛЬ, КОНТРОЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, МАРШРУТНА КАРТА, НОРМА ЧАСУ, ОПЕРАЦІЙНА КАРТА, ПЛАН ОБРОБКИ, ПРИЛАДДЯ, ДЕТАЛЬ, РЕЖИМ РІЗАННЯ.

Об'єкт дослідження – шестерня приводу відцентрового суфлера.

Мета роботи – підвищення якості обробки зубців за рахунок вдосконалення різних етапів технологічного процесу виготовлення шестерні приводу відцентрового суфлера, таких як отримання заготовки, механічної обробки та фінішного етапу обробки зубчастого вінця.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

У магістерській роботі за допомогою оптимізації, підбору сучасного обладнання, об'єднанню операцій, проєктуванню сучасних автоматичних робочих та допоміжних пристроїв з'явилась можливість проведення вдосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня приводу відцентрового суфлера», в тому числі розроблена фінішна частина технології обробки зубчастого вінця, що дало змогу підвищити якість і продуктивність процесу. Тобто проведено перерахунок режимів різання та норм часу, дослідження розрахунку на міцність, виявлення економічних ризиків при такому методі виробництва. Також враховано правила охорони праці.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначення	8
Вступ	9
1 Технологічна частина	10
1.1 Особливості конструкції і службового призначення деталі	10
1.1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	10
1.1.2 Матеріал деталі та його властивості	12
1.1.3 Термообробка	12
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	13
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	15
1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі	18
1.4.1 Аналіз конструкції деталі та технологічності	18
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	22
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	32
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	33
1.6 Розрахунок режимів різання	43
1.6.1 Операція – 030 токарна з ЧПК	43
1.6.2 Операція – 055 фрезерна з ЧПК	47
1.6.3 Операція – 110 протяжна	51
1.6.4 Операція – 200 шліфувальна з ЧПК	53
1.7 Технічне нормування операцій	58
1.7.1 Операція - 030 токарна з ЧПК	58
1.7.2 Операція - 055 фрезерна з ЧПК	60
1.7.3 Операція – 110 протяжна	62
1.7.4 Операція – 200 шліфувальна з ЧПК	63
1.8 Розробка технологічних операцій оброблення деталі на	

високопродуктивних верстатах з ЧПК	65
1.8.1 Операція 030 – токарна з ЧПК	66
1.8.2 Операція 055 – фрезерна з ЧПК	67
1.8.3 Операція 135 – різьбонарізна з ЧПК	70
2 Конструкторська частина	72
2.1 Проєктування робочого пристосування	72
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	72
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність	73
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	75
2.2 Проєктування контрольного пристосування	79
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	79
2.2.2 Розрахунок на точність	80
3 Автоматизація контролю зубчастих коліс	83
3.1 Способи контролю зубчатих коліс	83
3.1.1 Традиційні способи вимірювання	83
3.1.2 Сучасні методи контролю	85
4 Розрахунок деталі на міцність	89
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	89
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	90
4.3 Оптимізація геометрії деталі (рекомендації)	91
5 Спеціальне завдання: підвищення якості обробки зубчастого вінця шестерні фінішними методами	92
5.1 Види фінішної обробки зубчастих коліс	94
5.2 Зубохонінгування	97
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів	99
7 Охорона праці	108
Висновки	113

Перелік джерел посилання	114
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	117
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування	118

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

KBЗ	- коефіцієнт використання заготовки
KBM	- координатно-вимірювальна машина
КГШП	- кривошипно-гарячештампувальний прес
МВД	- маршрут виготовлення деталі
МОП	- маршрут обробки поверхні
ОП	- охорона праці
ППТЯ	- послідовність показників точності та якості
ТКВ	- технологічність конструкції виробу
ТО	- термічна обробка
ТП	- технологічний процес
ЧПК	- числове програмне керування

ВСТУП

Все зростаюча конкуренція серед виробників авіаційних двигунів вимагає виготовлення продукції в мінімальні терміни з максимальною якістю та низькою собівартістю виробу. Собівартість виробу значною мірою залежить від використання прогресивних технологічних процесів застосування прогресивного технологічного обладнання та зменшення тривалості виробничого циклу виготовлення деталі. Значною мірою скорочується тривалість циклу конструкторської та технологічної підготовки виробництва з використанням нових засобів автоматизованої підготовки виробництва. Якість виробу забезпечується на етапах підготовки та виробництва продукції і реалізується в процесі експлуатації. Важливою складовою забезпечення якісної продукції є контроль виробу як під час виконання технологічного процесу, так і остаточний контроль деталі. Для забезпечення більшого відсотка контрольованих деталей та зменшення часу на контроль, зі збільшенням відсотка достовірності вимірювань, необхідно застосовувати контрольні пристрої з автоматичним та напівавтоматичним циклом роботи, при використанні різних датчиків, а також систем обробних та аналізуючих отриману інформацію.

У разі ринкової економіки визначальне значення керування підприємства ринком матиме застосування найбільш продуктивних з найменшою собівартістю засобів праці, які забезпечують необхідну якість; виконання автоматизованих конструкторських та технологічних робіт із складанням мережевої моделі роботи підприємства; застосування найефективніших засобів та методів контролю якості продукції.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Особливості конструкції і службового призначення деталі

1.1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

У магістерській роботі проводиться аналіз, доопрацювання і вдосконалення базового технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі – «Шестерня приводу відцентрового суфлера» (рис. 1.1) з метою підвищення якості обробки загалом і окремо – зубчастого вінця.

Шестерня складається з однієї маточини та фланця з зубчастим вінцем. Призначена для передачі обертового моменту від валу двигуна до відцентрового суфлера.

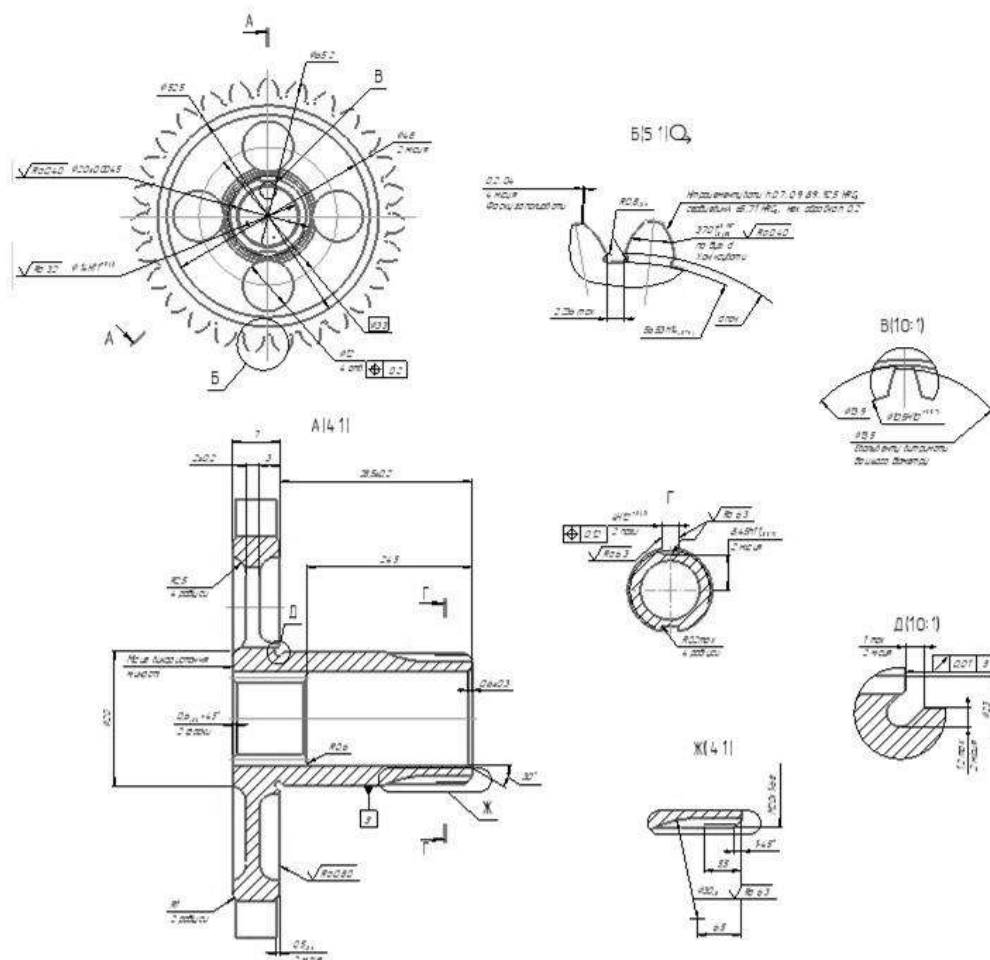


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Шестерня приводу відцентрового суфлера»

Забезпечують роботу два підшипники, встановлені на шийці шестерні; за

допомогою різьблення вони тримаються на шийці, контршайба двома виступами входить в два діаметральних пази на краю маточини шестерні, що забезпечує надійне загвинчування і стопоріння контргайки, яка утримує підшипники на маточині. В конструкції шестерні у фланці передбачено чотири великі отвори для зниження ваги без втрати міцності.

Деталь працює корпусі проміжного двигуна Д-136 (рис. 1.2).

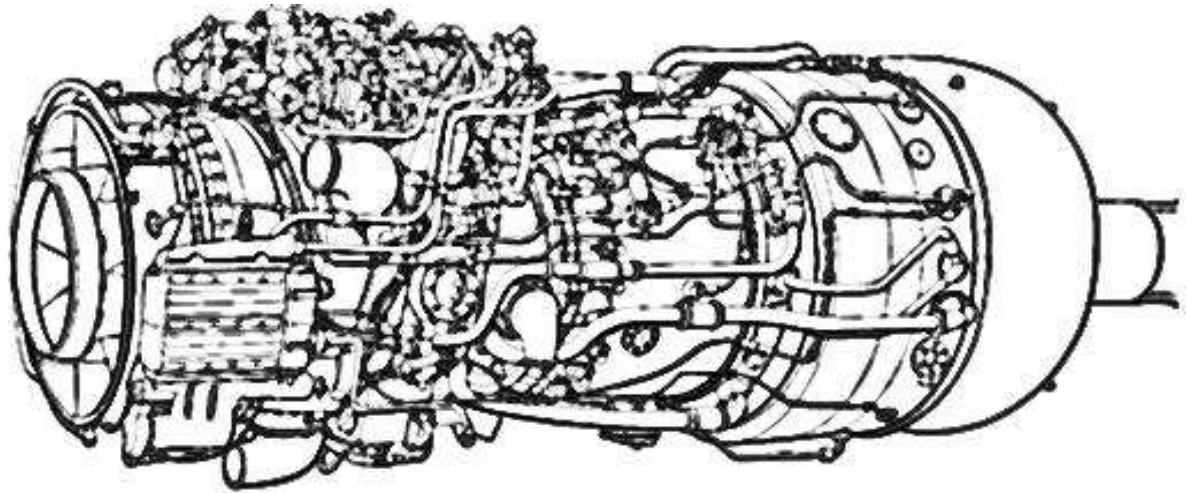


Рисунок 1.2 – Ескіз двигуна Д-136

1.1.2 Матеріал деталі та його властивості

Шестерня приводу відцентрового суфлера виготовлена зі сталі 14ХГСН2МА-Ш за ГОСТ 4543-71, що відповідає вимогам експлуатації.

Сталь 14ХГСН2МА-Ш – конструкційна цементована якісна електрошлакова легована сталь.

Хімічний склад та механічні властивості сталі наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хіміко-механічні властивості сплаву 14ХГСН2МА-Ш

Хімічний склад матеріалу, %								
мідь, Cu	вуглець, C	кремній, Si	марганець, Mn	нікель, Ni				
≤ 0,3	0,11-0,17	0,9-1,2	1-1,3	1,4-1,8				
сірка, S		фосфор, P	хром, Cr	молібден, Mo				
≤ 0,025		≤ 0,025	0,9-1,2	0,2-0,3				
Механічні властивості								
межа міцності при розтягуванні σ _B , МПа	межа пропорційності σ _T , МПа	відносне подовження після розриву δ ₅ , %	твердість HВ, МПа	коефіцієнт теплопровідності λ, Вт/(м · град)	щільність матеріалу ρ, кг/м ³	Модуль пружності першого роду E · 10 ⁻⁴ Н/мм ²	питома теплоємність матеріалу C, Дж/(кг·град)	відносне звуження ψ, %
880	980	9	207	37	7800	2,11	495	50

1.1.3 Термообробка

Термічна обробка деталей проводиться для усунення дефектів, та підвищення міцності.

При заданому матеріалі деталі для поліпшення обробки різанням, на початку технологічного процесу проводиться нормалізація.

Нормалізація – термічна обробка, внаслідок якої зменшується залишкова напруга, подрібнюється зерно матеріалу. Вона полягає у нагріванні заготовок до температури вище критичної та охолодженні на повітрі.

Для отримання твердості, заданої кресленням, деталі застосовують такі види термічної обробки, як: міднення під нітроцементацию, нітроцементация, відпал, загартування, відпуск.

Для запобігання вигорання вуглецю та окиснення деталі електролітично покривають міддю поверхні, які не будуть піддаватись нітроцементуванню.

Нітроцементзації піддаються лише поверхні зубів.

Після деталь піддають контролю та готуються до відпалу, тобто упаковуються. Відпал полягає в нагріванні заготовки вище критичної температури та охолодженні для отримання рівноважної структури, поліпшення пластичності, зниження твердості та зняття залишкової напруги.

Після чого відбувається розпаковування, очищення та розміднення.

Після проводиться загартування. Тобто нагрівання виробу до аустенітного стану та швидке охолодження, застосовується для зміцнення сталі.

Для проведення гартування деталі попередньо встановлюють на спеціальне пристосування, після чого завантажують в електричну піч Н-45.

Наступна термічна обробка – відпуск. Відпуск це нагрівання загартованої сталі до температури нижче критичної, витримка при цій температурі і подальше охолодження на повітрі. Метою відпуску є зниження внутрішньої напруги.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Правильно підібраний тип виробництва і форма організації роботи дозволяє спроектувати ТП вироблення вибраної деталі.

Тип виробництва, визначається за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності та обсягу випуску, виробів: одиничне, серійне, масове.

Вихідними даними для проєктування ТП деталі «Шестерня приводу відцентрового суфлера» є:

- річна програма випуску - $N = 10000$ шт;
- маса деталі - $m = 0,13$ кг (рис. 1.3).

Масу деталі (рис.1.3) визначили за допомогою тривімірного модуля

програми КОМПАС-3D.

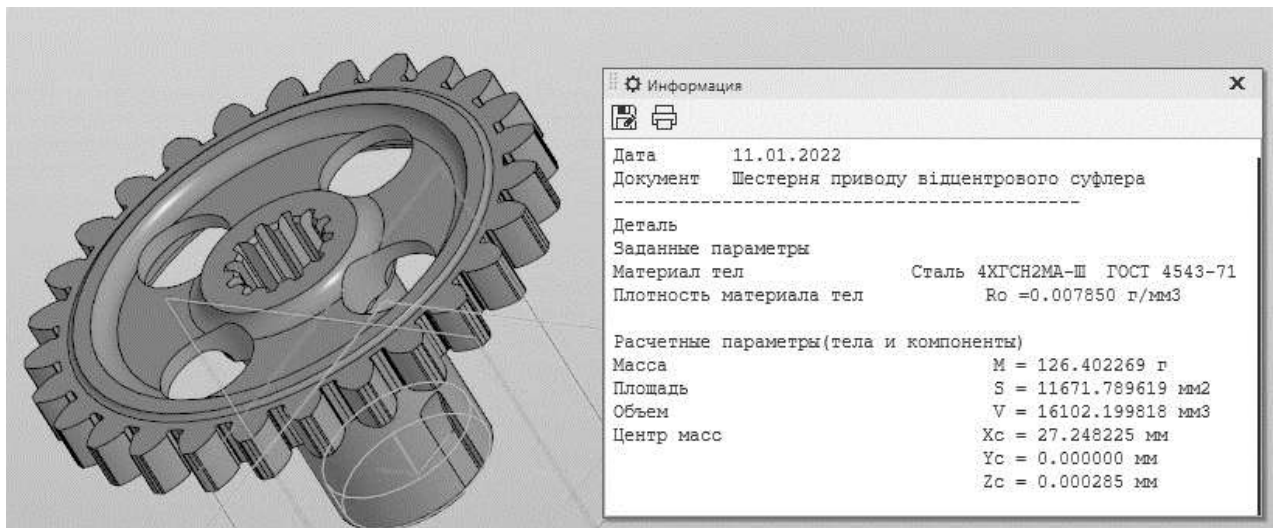


Рисунок 1.3 – Тривимірна модель деталі з її масою

На початковій стадії проектування ТП визначаємо тип виробництва – багатосерійний, а форму організації виробництва обираємо змінно-потоккову [1].

Також необхідно провести розрахунок кількості деталей у партії, яку виробляють, за формулою (1.1):

$$n = \frac{a \cdot N}{\Phi_d}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де a - періодичність запуску деталей у виробництво або кількість днів, на які необхідно забезпечити запас деталей для роботи складального цеху:

$a = 10$ днів;

N - річна програма випуску, $N = 10000$ шт;

Φ_d – кількість робочих днів, $\Phi_d = 254$ днів.

$$n = \frac{10 \cdot 10000}{254} = 393,7 \text{ шт}$$

Приймаємо обсяг партії: $n = 394$ шт.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Метод отримання заготовки залежить від службового призначення деталі та вимог, що пред'являються до неї, від її конфігурації та розмірів, виду конструкційного матеріалу, типу виробництва та інших факторів.

Деталь «Шестерня приводу відцентрового суфлера» можливо виготовляти штампуванням на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП) або молоті.

Виходячи з [2,ст.12,табл.1.3] для обох видів заготовок підбираємо попередні припуски, наводимо ескізи заготовок та тривімірних моделей на рисунках 1.4-1.6, відповідно. Граничні відхилення призначаємо згідно з [3,ст.17,табл.3.3].

Визначивши маси заготовок та деталі проводимо розрахунок собівартості виготовлення однієї заготовки за формулою (1.2):

$$B = \frac{B_6}{1000} \cdot M \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_P - (M - m) \cdot \frac{B_{отх}}{1000}, \text{грн} \quad (1.2)$$

де B_6 – базова вартість виготовлення 1 т. заготовок згідно [2,ст.13,табл.1.4], грн;

M – маса заготовки, кг;

m – маса деталі, кг;

K – коефіцієнт, враховуючий додаткові параметри згідно [2,ст.17-18,табл.1.24-1.28];

$B_{отх}$ – вартість 1т. стружки згідно [2,ст.13,табл.1.5], грн.

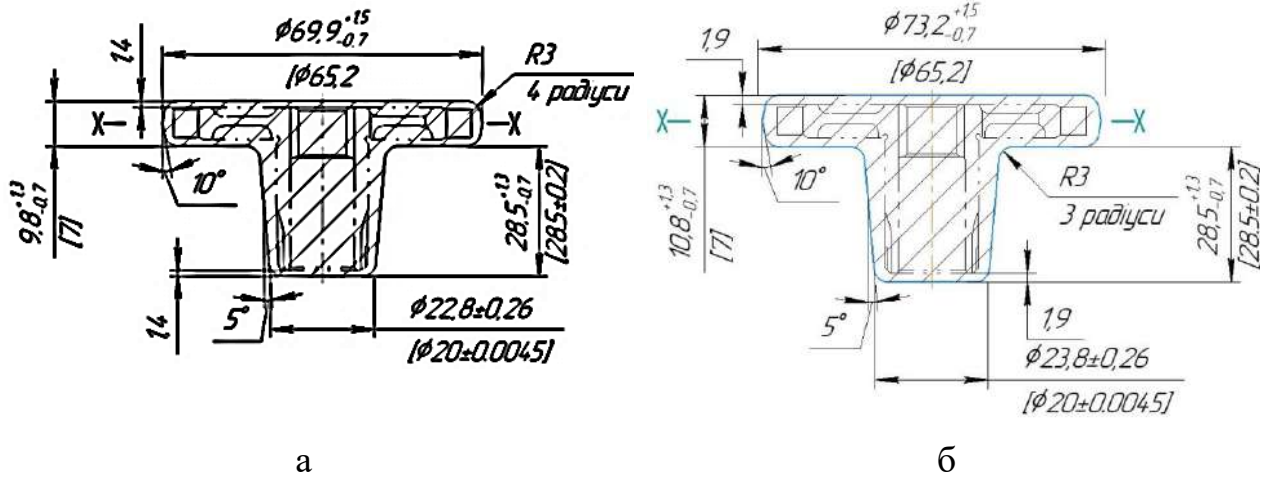


Рисунок 1.4 – Ескізи заготовок (а – КГШП, б – молот)

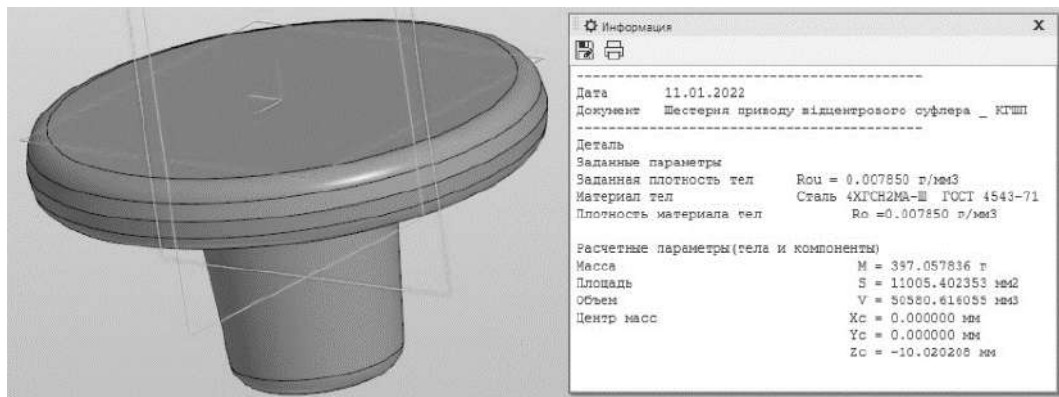


Рисунок 1.5 – Тривімірна модель заготовки з масою - КГШП

$$B_1 = \frac{350}{1000} \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 - (0,4 - 0,13) \cdot \frac{140}{1000} = 0,24 \text{ грн}$$

$$B_2 = \frac{3150}{1000} \cdot 0,46 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 0,89 \cdot 1,25 \cdot 1 - (0,46 - 0,13) \cdot \frac{140}{1000} = 2,84 \text{ грн}$$

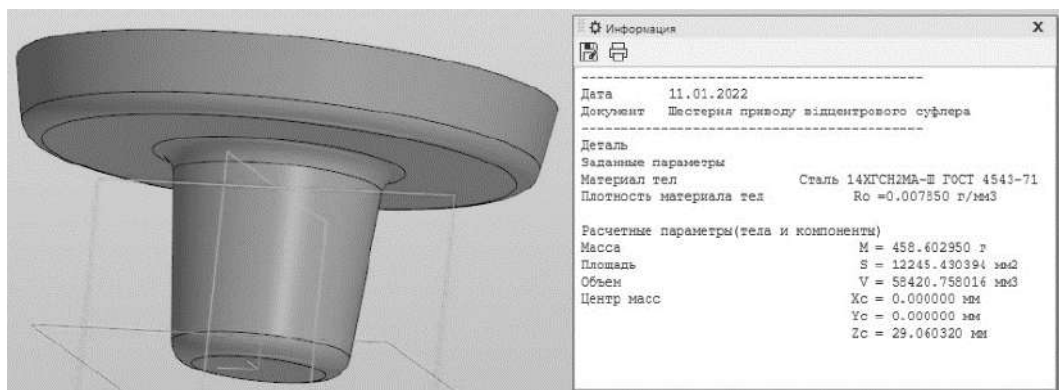


Рисунок 1.6 – Тривімірна модель заготовки з масою – отримана на молоті

Ще одним пунктом, який необхідно визначити, – це коефіцієнт використання заготовки (КВЗ) за формулою (1.3):

$$\eta = \frac{m}{M} \quad (1.3)$$

де m – маса деталі, кг;

M – маса заготовки, кг.

$$\eta_1 = \frac{0,13}{0,4} = 0,33$$

$$\eta_2 = \frac{0,13}{0,46} = 0,28$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.2.

Проводимо порівняння розрахунків:

$$\begin{aligned} \eta_{\text{КГШП}} = 0,33 &> \eta_{\text{М}} = 0,28 \\ V_{\text{КГШП}} = 2,48 \text{ грн} &< V_{\text{М}} = 2,84 \text{ грн} \end{aligned}$$

Після проведення порівняння можливо зробити висновок, що згідно з КВЗ та вартості однієї деталі доцільніше використовувати метод отримання заготовки - КГШП.

Проводимо розрахунок річного заощадження від обраного способу отримання заготовки згідно формули (1.4).

$$\begin{aligned} E_{\text{В}} &= (V_{\text{ГКМ}} - V_{\text{КГШП}}) \cdot N, \text{ грн} \\ E_{\text{В}} &= (2,48 - 2,48) \cdot 10000 = 25946,73 \text{ грн} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники методів одержання заготівлі

Показники	Позначення	Розмірність	Метод одержання заготівлі	
			КГШП	Молот
Вага заготовки	М	кг	0,4	0,46
Базова вартість 1 т заготовки	V_B	грн.	350	3150
Коефіцієнти	K_T	-	1	
	K_M	-	1,8	
	K_C	-	0,89	
	K_B	-	1,25	
	K_{II}	-	1	
Вартість 1 т стружки	V_{OTX}	грн.	140	
Вартість 1-ї заготовки	В	грн.	2,48	2,84
KB3	η	-	0,33	0,28

1.4 Проєктування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Креслення і технічні умови на виготовлення і контроль якості виробів потрібно піддавати аналізу з погляду технологічності конструкції виробу [4].

Перевірна на технологічності конструкції виробу (ТКВ) виконується за ескізом деталі з технологічною нумерацією поверхонь (рис. 1.7).

Якщо оцінити шестерню приводу суфлера з точки зору якісних і кількісних критеріїв, то деталь нетехнологічна за двома якісними критеріями технологічності – по-перше, деталь тонкостінна, має нежорсткі елементи, і, по-друге, має складний профіль з внутрішніми вибірками, які можна віднести до важкодоступних.

Коефіцієнт KB3 є одним з кількісних критеріїв, $KB3 < 0,8$, що є нетехнологічним.

Далі, для того, щоб оцінити рівень технологічності за іншими кількісними критеріями, треба проаналізувати всі поверхні деталі, для чого їх

нумеруємо (рис. 1.7).

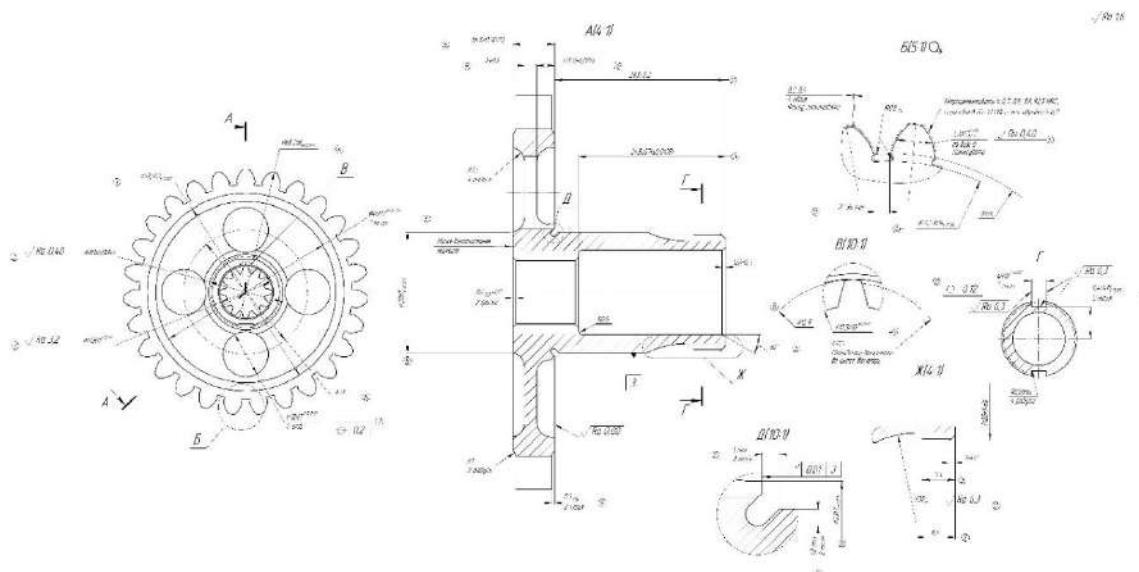


Рисунок 1.7 – Технологічна нумерація поверхонь

Вихідні данні для виконання кількісної оцінки занесені до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз деталі на технологічність

№ розміру	Розмір	Квалітет	Шорсткість	Уніфікація
1	2	3	4	5
1	$\varnothing 14^{+0,11}$	H11	3,2/5	+
2	$\varnothing 20 \pm 0,0045$	IT5	0,4/8	+
3	$\varnothing 52,5_{-0,03}$	h7	1,6/6	+
4	$\varnothing 65,2_{-0,019}$	h6	1,6/6	+
5	$\varnothing 48^{+0,025}$	H7	1,6/6	+
6	$\varnothing 33$			-
7	$\varnothing 12^{+0,018}$	H7	1,6/6	+
8	$\varnothing 20_{-0,021}$	h7	1,6/6	+
9	$2 \pm 0,2$	IT14	1,6/6	+
10	$7 \pm 0,0075$	js7	0,8/7	+
11	$3 \pm 0,005$	JS7	1,6/6	+
12	$28,5 \pm 0,2$	IT13	1,6/6	+
13	$24,5 \pm 0,0105$	JS7	1,6/6	+
14	$0,5_{-0,4}$	IT14	1,6/6	+
15	$3,701_{-0,153}^{-0,087}$	IT10	0,4/8	+
16	$\varnothing 56,53_{-0,74}$	h14	1,6/6	+
17	$2,236 \max$		1,6/6	-
18	$\varnothing 13,9$	H10	1,6/6	+
19	$\varnothing 10,5^{+0,07}$	H10	1,6/6	+

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5
20	Ø13,5			-
21	4 ^{+0,12}	H12	6,3/4	+
22	8.45 _{-0,09}	h11	6,3/4	-
23	Ø23 _{-0,021}	h7	1,6/6	+
24	1,2 max		1,6/6	+
25	1 max		1,6/6	+
26	5,5		1,6/6	-
27	Ø30 ₋₅	IT18	6,3/4	+
28	6,5			-

Проводимо розрахунок кількісної оцінки за формулою (1.5):

$$K_{\text{тех}} = \frac{K_{\text{ун}} + K_{\text{точ}} + K_{\text{ш}}}{3} > 0.6 \quad (1.5)$$

де $K_{\text{точ}}$ – коефіцієнт точності деталі;

$K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості деталі;

$K_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікованих елементів деталі, розраховується за формулою (1.6):

$$K_{\text{ун}} = \frac{n_{\text{ун}}}{n_{\Sigma}} \geq 0,6 \quad (1.6)$$

де $n_{\text{ун}}$ – кількість уніфікованих елементів;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

$$K_{\text{ун}} = \frac{22}{28} = 0,79 \geq 0,6$$

Коефіцієнт точності деталі, розраховується за формулою (1.7):

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} \geq 0,6 \quad (1.7)$$

де $A_{\text{сер}}$ – середній квалітет точності, розраховую його за наступною формулою (1.8):

$$A_{\text{сер}} = \frac{15 \cdot n_1 + 14 \cdot n_2 + \dots + n \cdot n_n}{n_{\Sigma}} > 0,6 \quad (1.8)$$

де $n_{1...n}$ – кількість розмірів, які мають даний квалітет;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

$$A_{\text{сер}} = \frac{18 \cdot 1 + 14 \cdot 3 + 13 \cdot 1 + 12 \cdot 1 + 11 \cdot 2 + 10 \cdot 3 + 7 \cdot 8 + 6 \cdot 1}{21} + \frac{5 \cdot 1}{21} = 9,76$$

За формулою (1.7) розраховуємо коефіцієнт точності деталі:

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{9,76} = 0,9 \geq 0,6$$

Коефіцієнт шорсткості деталі, розраховується за формулою (1.9):

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} \geq 0,6 \quad (1.9)$$

де $B_{\text{сер}}$ – середній квалітет шорсткості деталі, розраховую його за наступною формулою (1.10):

$$B_{\text{сер}} = \frac{K_1 \cdot n_1 + K_2 \cdot n_2 + \dots + K_7 \cdot n_n}{n_{\Sigma}} > 0,6 \quad (1.10)$$

де $K_{1...7}$ – клас шорсткості;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

$$B_{\text{сер}} = \frac{4 \cdot 3 + 5 \cdot 1 + 6 \cdot 18 + 7 \cdot 1 + 8 \cdot 1}{25} = 5,6$$

За формулою (1.9) розраховуємо коефіцієнт шорсткості деталі:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{5,6} = 0,82 \geq 0,6$$

За формулою (1.5) розраховуємо кількісну оцінку:

$$K_{\text{тех}} = \frac{0,79 + 0,9 + 0,82}{3} = 0,86 > 0,6$$

Дивлячись на результати розрахунку кількісної оцінки деталей технологічна, але загалом вважаємо її нетехнологічною через якісні критерії.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) – це ряд операцій обробки (або технологічних переходів), необхідних для отримання кожної поверхні деталі і розташованих у порядку підвищення точності, утворює послідовність [4]. Особливий упор робимо на забезпеченні якості оброблюваних поверхонь.

Вихідні данні беремо з рисунку 1.8.

Поверхня циліндрична зовнішня – 7.

Вихідні дані:

1) деталі: розмір - $\varnothing 62,5h6_{(-0,019)}$; квалітет – h6; шорсткість – Ra1,6; допуск – Td=0,019 мм;

2) заготовка: квалітет – IT17; шорсткість – Ra50; допуск – Td=2,2 мм.

Загальне уточнення визначаємо за формулою (1.11):

$$\varepsilon_{Ra(d),(\Delta)} = \frac{Ra_{\text{заг.}}(Td_{\text{заг.}}, \Delta_{\text{заг.}})}{Ra_{\text{дет.}}(Td_{\text{дет.}}, \Delta_{\text{дет.}})} \quad (1.11)$$

де $Ra_{\text{заг.}}$, $Ra_{\text{дет.}}$ – шорсткість заготовки та деталі відповідно;

$Td_{\text{заг.}}$, $Td_{\text{дет.}}$ – точність заготовки та деталі відповідно;

$\Delta_{\text{заг.}}$, $\Delta_{\text{дет.}}$ – відхилення заготовки та деталі відповідно.

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,019} = 115,8 \qquad \varepsilon_{Ra} = \frac{50}{1,6} = 31,25$$

За більшим розрахованим значенням уточнення проводимо визначення кількості переходів за формулою (1.12):

$$k \approx 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.12)$$

де ε – загальне уточнення.

$$k = 2 \cdot \lg(115,8) = 4,13$$

Приймаємо кількість переходів: $k = 5$.

Розраховуємо різницю показників за формулою (1.13):

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{КВ}} &= T_{\text{дзаг}} - T_{\text{дет}} \\ \Delta_{\text{КВ}} &= 17 - 6 = 11 \quad (17 - 13 - 10 - 8 - 7 - 6) \end{aligned} \quad (1.13)$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ) розписуємо за різницею показників:

$$\begin{aligned} \text{ППТЯ}_{T_d} &= \text{IT17} \rightarrow \text{h13} \rightarrow \text{h10} \rightarrow \text{h8} \rightarrow \text{h7} \rightarrow \text{h6} \\ \text{ППТЯ}_{R_a} &= \text{Ra50} \rightarrow \text{Ra25} \rightarrow \text{Ra12,5} \rightarrow \text{Ra6,3} \rightarrow \text{Ra3,2} \rightarrow \text{Ra1,6} \end{aligned}$$

З даних, наведених вище, складаємо МОП:

- 1) заготовка - IT17, $T_d=2,2$ мм, R_a50 мкм;
- 2) Т/О;
- 3) точіння чорнове - h13, $T_d=0,46$ мм, R_a25 мкм;
- 4) точіння напівчистове – h10, $T_d=0,12$ мм, $R_a12,5$ мкм;
- 5) точіння чистове – h8, $T_d=0,046$ мм, $R_a6,3$ мкм;
- 6) точіння тонке – h7, $T_d=0,03$ мм, $R_a3,2$ мкм;
- 7) шліфування – h6, $T_d=0,019$ мм, $R_a1,6$ мкм.

Розраховуємо уточнення за кожним переходом окремо за формулою (1.14):

$$\varepsilon_{R_{a_i}(d_i),(\Delta_i)} = \frac{R_{a_{i-1}}(T_{d_{i-1}}, \Delta_{i-1})}{R_{a_1}(T_{d_1}, \Delta_1)} \quad (1.14)$$

де $R_{a_{\text{заг}}}$, $R_{a_{\text{дет}}}$ – шорсткість заготовки та деталі відповідно;

$Td_{\text{заг.}}, Td_{\text{дет.}}$ – точність заготовки та деталі відповідно;

$\Delta_{\text{заг.}}, \Delta_{\text{дет.}}$ – відхилення заготовки та деталі відповідно;

$$\begin{aligned}\varepsilon_{d_3} &= \frac{2,2}{0,46} = 4,8 & \varepsilon_{Ra_3} &= \frac{50}{25} = 2 \\ \varepsilon_{d_4} &= \frac{0,46}{0,12} = 3,8 & \varepsilon_{Ra_4} &= \frac{25}{12,5} = 2 \\ \varepsilon_{d_5} &= \frac{0,12}{0,046} = 2,6 & \varepsilon_{Ra_5} &= \frac{12,5}{6,3} \approx 2 \\ \varepsilon_{d_6} &= \frac{0,046}{0,03} = 1,6 & \varepsilon_{Ra_6} &= \frac{6,3}{3,2} \approx 2 \\ \varepsilon_{d_7} &= \frac{0,03}{0,019} = 1,6 & \varepsilon_{Ra_7} &= \frac{3,2}{1,6} = 2\end{aligned}$$

Проводимо перевірку за формулою (1.15):

$$\begin{aligned}\varepsilon_{oTd(Ra),(\Delta)} &= \prod_{i=1}^k \Sigma \varepsilon_i \geq \varepsilon_o \\ \varepsilon_{oTd} &= 4,8 \cdot 3,8 \cdot 2,6 \cdot 1,6 \cdot 1,6 = 121,4 \geq 115,8 \\ \varepsilon_{oRa} &= 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 32 \geq 31,25\end{aligned} \quad (1.15)$$

Поверхня циліндрична зовнішня – 12.

Вихідні дані:

1) деталі: розмір $\varnothing 20 \pm 0,0045$; квалітет – IT5; шорсткість – Ra0,4; допуск – Td=0,4 мм;

2) заготовка: квалітет – IT17; шорсткість – Ra50; допуск – Td=2 мм.

Загальне уточнення визначаємо за формулою (1.11):

$$\varepsilon_d = \frac{2}{0,009} = 222,2 \quad \varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0,4} = 25$$

Визначення кількості перехові проводимо, за більшим з розрахованих уточнень, по формулі (1.12):

$$k = 2 \cdot \lg(222,2) = 4,69$$

Приймаємо кількість переходів: $k = 5$.

Розраховуємо різницю показників за формулою (1.13):

$$\Delta_{\text{кв}} = 17 - 5 = 12 \quad (17 - 13 - 10 - 7 - 6 - 5)$$

Виходячи з кількості переходів та різності показників уточнюємо послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

$$\text{ППТЯ}_{T_d} = \text{IT}17 \rightarrow \text{h}13 \rightarrow \text{h}10 \rightarrow \text{h}7 \rightarrow \text{h}6 \rightarrow \text{IT}5$$

$$\text{ППТЯ}_{R_a} = \text{Ra}50 \rightarrow \text{Ra}6,3 \rightarrow \text{Ra}3,2 \rightarrow \text{Ra}1,6 \rightarrow \text{Ra}0,8 \rightarrow \text{Ra}0,4$$

З даних наведених вище складаємо МОП:

- 1) заготівельна операція - IT17, $T_d=2$ мм, Ra50 мкм;
- 2) Т/О – загартування та відпуск;
- 3) токарна чорнова операція – h13, $T_d=0,33$ мм, Ra6,3 мкм;
- 4) токарна напівчистова операція – h10, $T_d=0,084$ мм, Ra3,2 мкм;
- 5) токарна чистова операція – h7, $T_d=0,021$ мм, Ra1,6 мкм;
- 6) шліфувальна чистова операція – h6, $T_d=0,013$ мм, Ra0,8 мкм;
- 7) шліфувальна тонка операція – IT5, $T_d=0,009$ мм, Ra0,4 мкм.

Розраховуємо уточнення за кожним переходом окремо за формулою (1.14):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{d_3} &= \frac{2}{0,33} = 6,1 & \varepsilon_{Ra_3} &= \frac{50}{6,3} \approx 8 \\ \varepsilon_{d_4} &= \frac{0,33}{0,084} \approx 4 & \varepsilon_{Ra_4} &= \frac{6,3}{3,2} \approx 2 \\ \varepsilon_{d_5} &= \frac{0,084}{0,021} = 4 & \varepsilon_{Ra_5} &= \frac{3,2}{1,6} = 2 \\ \varepsilon_{d_6} &= \frac{0,021}{0,013} = 1,6 & \varepsilon_{Ra_6} &= \frac{1,6}{0,8} = 2 \\ \varepsilon_{d_7} &= \frac{0,013}{0,009} = 1,4 & \varepsilon_{Ra_7} &= \frac{0,8}{0,4} = 2 \end{aligned}$$

Проводимо перевірку за формулою (1.15):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{oTd} &= 6,1 \cdot 4 \cdot 4 \cdot 1,6 \cdot 1,4 = 224 \geq 222,2 \\ \varepsilon_{oRa} &= 8 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 128 \geq 125 \end{aligned}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Маршрут обробки усіх поверхонь на деталі

Номер поверхні та її характеристики	Показники	Загальне уточнення	Кіль- кість перехо- дів		Квалітет точності	МОП		Уточнення			
			розрахована	прийнята		і	метод обробки	допуск	шорсткість	допуск	шорсткість
								Td	Ra	Td	Ra
1	2	3	4		5	6		7			
пов. 1 - 7js7(±0,0075) плоска зовнішня дет.: Ra1,6 заг.: IT18, Td=2 мм, Ra50	Td	133,3	4,25	4	IT18	1	Заготовка	2	50	-	-
					-	2	T/O	-	-	-	-
					h14	3	Точіння чорнове	0,36	12,5	5,6	2
	Ra	31,25			h11	4	Точіння напівчистове	0,09	6,3	4	2
					h9	5	Точіння чистове	0,035	3,2	2,6	2
					h7	6	Шліфування	0,015	1,6	2,3	2
	Перевірка:								134	32	
	пов. 2 - Ø10,5H10 ^(+0,07) , циліндрична внутрішня дет.: Ra1,6	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-
-						1	T/O	-	-	-	-
Ra		-	H12			2	Розточування чорнове	0,18	3,2	-	-
			H10			3	Розточування чистове	0,07	1,6	-	-
пов. 3 - Ø20h7 _(-0,021) , циліндрична зовнішня дет.: Ra1.6	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
					-	1	T/O	-	-	-	-
	Ra	-			h9	2	Точіння чорнове	0,052	3.2	-	-
					h7	3	Точіння чистове	0,021	1,6	-	-

Продовження таблиці 1.4.

1	2	3	4		5	6			7			
пов. 4 - $2 \pm 0,2$ плоска внутрішня дет.: Ra1,6, IT15	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			H16	2	Розточування чорнове	0,75	3,2	-	-	
					IT15	3	Розточування чистове	0,4	1,6	-	-	
пов. 5, 9 - $\varnothing 48H7^{(+0,025)}$, циліндрична внутрішня дет.: Ra1,6	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			H9	2	Розточування чорнове	0,062	3,2	-	-	
					H7	3	Розточування чистове	0,025	1,6	-	-	
пов. 6, 20 - $\varnothing 52,5h7_{(-0,03)}$, циліндрична зовнішня дет.: Ra1,6	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			h9	2	Точіння чорнове	0,074	3,2	-	-	
					h7	3	Точіння чистове	0,03	1,6	-	-	
пов. 7 - $\varnothing 65,2h6_{(-0,019)}$, циліндрична зовнішня дет.: Ra1,6 заг.: IT17, Td=2,2 мм, Ra50	Td	115,8	4,13	5	IT17	1	Заготовка	2,2	50	-	-	
					-	2	T/O	-	-	-	-	
					h13	3	Точіння чорнове	0,46	25	4,8	2	
					h10	4	Точіння напівчистове	0,12	12,5	3,8	2	
	Ra	31,25			h8	5	Точіння чистове	0,046	6,3	2,6	2	
					h7	6	Точіння тонке	0,03	3,2	1,6	2	
					h6	7	Шліфування	0,019	1,6	1,6	2	
					Перевірка:							
пов. 8, 21 - $0,5_{-0,4}$ плоска зовнішня дет.: Ra1,6, IT15	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	
	Ra	-			H16	2	Точіння чорнове	0,75	3,2	-	-	
					IT15	3	Точіння чистове	0,4	1,6	-	-	

Продовження таблиці 1.4.

1	2	3	4		5	6			7			
пов. 10 - Ø12H7 ^(+0,018) , циліндрична внутрішня дет.: Ra1,6	Td	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	
					-	2	Центрування	-	-	-	-	
	Ra	-			H10	3	Свердління	0,07	6,3	-	-	
					H8	4	Зенкерування	0,027	3,2	-	-	
					H7	5	Розгортання	0,018	1,6	-	-	
пов. 11 - 3JS7(±0,005) плоска внутрішня дет.: Ra1,6	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			H9	2	Розточування чорнове	0,03	3,2	-	-	
					JS7	3	Розточування чистове	0,01	1,6	-	-	
пов. 12 - Ø20 ± 0,0045 циліндрична зовнішня дет.: Ra0,4, IT5 заг.: IT17, Td=2 мм, Ra50	Td	222,2	4,69	5	IT17	1	Заготовка	2	50	-	-	
					-	2	T/O	-	-	-	-	
					h13	3	Точіння чорнове	0,33	6,3	6,1	8	
					h10	4	Точіння напівчистове	0,084	3,2	4	2	
	Ra	125			h7	5	Точіння чистове	0,021	1,6	4	2	
					h6	6	Шліфування чистове	0,013	0,8	1,6	2	
					IT5	7	Шліфування тонке	0,009	0,4	1,4	2	
					Перевірка:							
	пов. 13 - Ø20 ₋₅ , циліндрична внутрішня дет.: Ra6,3, IT18	Td			-	-	1	-	-	-	-	-
Ra		-	-	1	T/O			-	-	-	-	
			IT18	2	Фрезерування			5	6,3	-	-	
пов. 14 - Ø14H11 ^(+0,11) циліндрична внутрішня дет.: Ra3,2	Td	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	
					-	1	T/O	-	-	-	-	-
	Ra	-			H13	2	Розточування чорнове	0,27	6,3	-	-	
					H11	3	Розточування чистове	0,11	3,2	-	-	

Продовження таблиці 1.4.

1	2	3	4		5	6			7			
пов. 22, 23 - 4H12 ^(+0,12) плоска внутрішня дет.: Ra6,3	Td	-	-		-	-	-	-	-	-	-	
	Ra	-			-	1	T/O	-	-	-	-	
					H12	2	Фрезерування	0,12	6,3	-	-	

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Для проєктування маршруту виготовлення деталі (МВД) необхідно проаналізувати ряд даних таких, як: креслення деталі; метод отримання та вимоги до заготовки; МОП. За необхідності використовуємо додаткові фінішні методи обробки для забезпечення якості зубчастих елементів шестерні.

МВД для деталі схематично показано у графічній частині дипломного проєкту та наведено на рисунку 1.9.

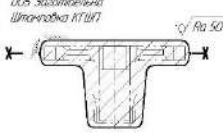
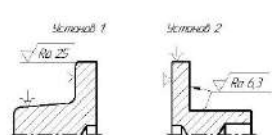
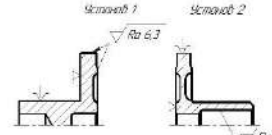
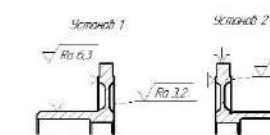
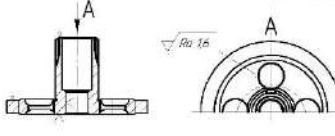
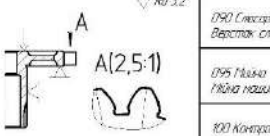
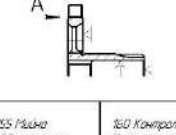
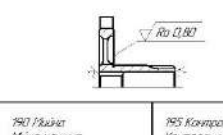
005 Заготівельна Штанговий КТШГ  010 Термічна обробка Нідрогенування – пін	015 Точарна операція з ЧПК Точарний верстат з ЧПК мод. GCL-28  020 Точарна операція з ЧПК Точарний верстат з ЧПК мод. GCL-28  025 Точарна операція з ЧПК Точарний верстат з ЧПК мод. GCL-28 		030 Точарна операція з ЧПК Точарний верстат з ЧПК мод. GCL-28 	035 Мийна Мийна машина 040 Складання Верстат складання 045 Мийна Мийна машина 050 Контрольна Контрольний стан	055 Фрезерна з ЧПК Фрезерний центр партійного типу з ЧПК DAVEL PT-220  060 Мийна Мийна машина 065 Складання Верстат складання 070 Мийна Мийна машина 075 Контрольна Контрольний стан	080 Зубофрезерна Зубофрезерний верстат мод. SE32  085 Мийна Мийна машина 090 Складання Верстат складання 095 Мийна Мийна машина 100 Контрольна Контрольний стан
	105 Термічна обробка Нідрогенування білки – електроліт 110 Проточна операція Горизонтальний- проточний верстат мод. T655 	115 Мийна Мийна машина 120 Складання Верстат складання 125 Мийна Мийна машина 130 Контрольна Контрольний стан	135 Різбонорка з ЧПК Різбонорний багатопозиційний верстат з ЧПК мод. RP 15/30APC  140 Мийна Мийна машина 145 Контрольна Контрольний стан	150 Зубошліфувальна операція Зубошліфувальний верстат HSS-10  155 Мийна Мийна машина 160 Контроль параметрів зубів Контрольний стан 165 Мийна Мийна машина 170 Контроль проточення Контрольний стан 175 Мийна Мийна машина 180 Контрольна Контрольний стан	185 Мийна Мийна машина 190 Контрольна Контрольний стан 195 Мийна Мийна машина 200 Шліфувальна з ЧПК Круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК мод. G53P  205 Мийна Мийна машина 210 Контрольна Контрольний стан	215 Мийна Мийна машина 220 Контрольна Контрольний стан 225 Термічна обробка Стабілізація відпуску – білки 230 Мийна Мийна машина 235 Контрольна Контроль параметрів зубів – контрольний стан 240 Мийна Мийна машина 245 Мийна Мийна машина 250 Контрольна операція Контрольний стан

Рисунок 1.9 - Ескіз МВД «Шестерні привоу відцентрового суфлера»

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для досягнення необхідної шорсткості та точності поверхонь деталі необхідно провести розрахунок припусків і технологічних розмірів.

Для розрахунків вихідні данні беремо з рисунку 1.8 та таблиці 1.4.

На одну поверхню проводимо розрахунок табличним методом, а на інші поверхні данні заносимо до спільної таблиці 1.5.

Поверхня 1 – зовнішня плоска $7js7(\pm 0,0075)$.

Мінімальні припуски визначаємо за формулою (1.16):

$$2Z_i^{min} = 2 \left[(Rz_{i-1} + h_{i-1}) + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right], \text{ мкм} \quad (1.16)$$

де Rz, h, ε – параметри якості поверхні та похибка на встановлення згідно з [5, с.186, т.12,24];

$Rz_1 = 160 \text{ мкм}$	$h_1 = 200 \text{ мкм}$	$\varepsilon_1 = 0 \text{ мкм}$
$Rz_3 = 125 \text{ мкм}$	$h_3 = 120 \text{ мкм}$	$\varepsilon_3 = 100$
$Rz_4 = 40 \text{ мкм}$	$h_4 = 40 \text{ мкм}$	$\varepsilon_4 = 80$
$Rz_5 = 5 \text{ мкм}$	$h_5 = 15 \text{ мкм}$	$\varepsilon_5 = 50$
$Rz_6 = 2,5 \text{ мкм}$	$h_6 = 5 \text{ мкм}$	$\varepsilon_6 = 30$

ρ - просторове відхилення заготовки, формула (1.17):

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \text{ мм} \quad (1.17)$$

де $\rho_{зм}$ - зміщення поверхні, визначається згідно з [5, с.187, т.18];

$\rho_{кор}$ - короблення поверхні, яке розраховується за формулою (1.18):

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot l, \text{ мм} \quad (1.18)$$

де $\Delta_{кор}$ – питоме короблення, визначається згідно з [5, с.187, т.20];

l – довжина поверхні, мм.

$$\rho_{кор} = 0,3 \cdot 52,5 \cdot 10^{-3} = 0,01575 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок просторового відхилення заготовки за формулою (1.17):

$$\rho_1 = \sqrt{1^2 + 0,01575^2} = 1 \text{ мм} \approx 1000 \text{ мкм}$$

Просторові відхилення для інших механічних переходів визначаємо за формулою (1.19):

$$\rho_i = K_y \cdot \rho_{i-1}, \text{ мкм} \quad (1.19)$$

де K_y - коефіцієнт уточнення, визначається згідно з [5, с.190, т.29];

ρ_{i-1} - просторове відхилення попереднього переходу, мкм.

$$\rho_3 = 0,06 \cdot 1000 = 60 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = 0,05 \cdot 60 = 3 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,04 \cdot 3 = 0,12 \approx 0 \text{ мкм}$$

$$\rho_6 = 0,03 \cdot 0,12 = 0,0036 \approx 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски визначаємо за формулою (1.16):

$$2Z_3^{min} = 2 \left[(160 + 210) + \sqrt{1000^2 + 100^2} \right] = 2750 \text{ мкм}$$

$$2Z_4^{min} = 2 \left[(125 + 120) + \sqrt{60^2 + 80^2} \right] = 690 \text{ мкм}$$

$$2Z_5^{min} = 2 \left[(40 + 40) + \sqrt{3^2 + 50^2} \right] = 260 \text{ мкм}$$

$$2Z_6^{min} = 2 \left[(5 + 15) + \sqrt{0^2 + 30^2} \right] = 100 \text{ мкм}$$

Максимальні припуски визначаємо за формулою (1.20):

$$2Z_i^{max} = Td_{i-1} + 2Z_i^{min} + Td_i, \text{ мм} \quad (1.20)$$

де Td_i, Td_{i-1} – допуск даного та попереднього переходів відповідно, мм;

$2Z_i^{min}$ – мінімальний припуск даного переходу, мм.

$$2Z_3^{max} = 2 + 2,75 + 0,36 = 5,11 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{max} = 0,36 + 0,69 + 0,09 = 1,14 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{max} = 0,09 + 0,26 + 0,035 = 0,385 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{max} = 0,035 + 0,1 + 0,015 = 0,15 \text{ мм}$$

Номінальні припуски розраховуємо за формулою (1.21):

$$2Z_i^H = 2Z_i^{min} + Td_{i+1}, \text{ мм} \quad (1.21)$$

$$2Z_3^H = 2,75 + 0,7 = 3,45 \text{ мм}$$

$$2Z_4^H = 0,69 + 0,36 = 1,05 \text{ мм}$$

$$2Z_5^H = 0,26 + 0,09 = 0,35 \text{ мм}$$

$$2Z_6^H = 0,1 + 0,035 = 0,135 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок номінального розміру згідно переходів за формулою (1.22):

$$d(l)_i^H = d(l)_{i+1} \pm 2Z_i^H, \text{ мм} \quad (1.22)$$

$$l_6^H = 7 \text{ мм}$$

$$l_5^H = 7 + 0,135 = 7,135 \text{ мм}$$

$$l_4^H = 7,135 + 0,35 = 7,485 \text{ мм}$$

$$l_3^H = 7,485 + 1,05 = 8,535 \text{ мм}$$

$$l_1^H = 8,535 + 3,45 = 11,985 \text{ мм}$$

Для проведення перевірки необхідно провести розрахунок загального номінального припуску за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = \sum_{i=2}^k 2Z_i^H, \text{ мм} \quad (1.23)$$

$$2Z_0^H = 3,45 + 1,05 + 0,35 + 0,135 = 4,985 \text{ мм}$$

Тепер можливо провести перевірку за рівнянням (1.24):

$$2Z_0 = D(L)_{\text{заг}}^H - d(l)_{\text{дет}}^H \quad (1.24)$$

$$4,985 = 11,985 - 7$$

$$4,985 \text{ мм} = 4,985 \text{ мм}$$

Схема припусків показано на рисунку 1.10. Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.5.

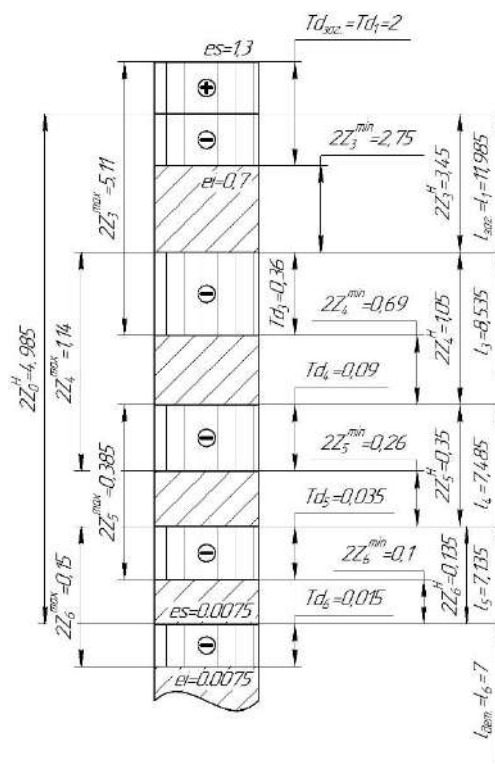


Рисунок 1.10 – Розрахункова схема для поверхні 1

Поверхня №7 – зовнішня циліндрична $\varnothing 62,5h6_{(-0,019)}$.

Мінімальний припуск визначаємо за формулою (1.25):

$$2Z_i^{min} = \gamma_i \cdot 2Z_0^{min}, \text{ мм} \quad (1.25)$$

де γ_i – коефіцієнт співвідношення припусків;

Z_0^{min} – загальний припуск, згідно з [3, ст.12, таб.1.3].

$$2Z_3^{min} = 0,6 \cdot 2 \cdot 1,4 = 1,68 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,56 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{min} = 0,1 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,28 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{min} = 0,08 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,224 \text{ мм}$$

$$2Z_7^{min} = 0,02 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,056 \text{ мм}$$

Таблиця 1.5 – Припуски та технологічні розміри

№ пер		МОП	Відхи- лення		Елементи припуса				Граничні припуса мм		Номінальні значення припуса та розміри мм		Виконавчий технологічний розмір, мм
i	Es(es)		Ei(ei)	Rz	h	ρ	ε	2Z ^{max}	2Z ^{min}	2Z ^H	2l ^H		
пов. 1, 19 – плоска зовнішня, 7js7(±0,0075)													
1	Заготовка	+1,3	-0,7	160	210	1000	0	.	.	.	11,985	11,99 ^{+1,3} _{-0,7}	
2	Т/О	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	l	
3	Точіння чорнове	-	-0,36	125	120	60	100	5,11	2,75	3,45	7,535	8,54 _{-0,36}	
4	Точіння напівчистове	-	-0,09	40	40	3	80	1,14	0,69	1,05	7,485	7,5 _{-0,09}	
5	Точіння чистове	-	-0,035	5	15	0	50	0,385	0,26	0,35	7,135	7,14 _{-0,035}	
6	Шліфування	+0,0075	-0,0075	2,5	5	0	30	0,15	0,1	0,135	7	7±0,0075	

Максимальний припуск визначаємо за формулою (1.20):

$$2Z_3^{max} = 2,2 + 1,68 + 0,46 = 4,34 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{max} = 0,46 + 0,56 + 0,12 = 1,14 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{max} = 0,12 + 0,28 + 0,046 = 0,446 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{max} = 0,046 + 0,224 + 0,03 = 0,3 \text{ мм}$$

$$2Z_7^{max} = 0,03 + 0,056 + 0,019 = 0,105 \text{ мм}$$

Номінальний припуск розраховуємо за формулою (1.21):

$$2Z_3^H = 1,68 + 1,5 = 3,18 \text{ мм}$$

$$2Z_4^H = 0,46 + 0,56 = 1,02 \text{ мм}$$

$$2Z_5^H = 0,12 + 0,28 = 0,4 \text{ мм}$$

$$2Z_6^H = 0,046 + 0,224 = 0,27 \text{ мм}$$

$$2Z_7^H = 0,03 + 0,56 = 0,086 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок номінального розміру згідно переходу за формулою (1.22):

$$d_7^H = 62,5 \text{ мм}$$

$$d_6^H = 62,5 + 0,086 = 62,586 \text{ мм}$$

$$d_5^H = 62,586 + 0,27 = 62,856 \text{ мм}$$

$$d_4^H = 62,856 + 0,4 = 63,256 \text{ мм}$$

$$d_3^H = 63,256 + 1,02 = 64,276 \text{ мм}$$

$$d_1^H = 64,276 + 3,18 = 67,456 \text{ мм}$$

Для проведення перевірки необхідно провести розрахунок загального номінального припуску за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = 3,18 + 1,02 + 0,4 + 0,27 + 0,086 = 4,956 \text{ мм}$$

Тепер можливо провести перевірку за рівнянням (1.24):

$$4,956 = 67,456 - 62,5$$

$$4,956 \text{ мм} = 4,956 \text{ мм}$$

На рисунку 1.11 показуємо схематичне відображення проведених розрахунків для даного розміру.

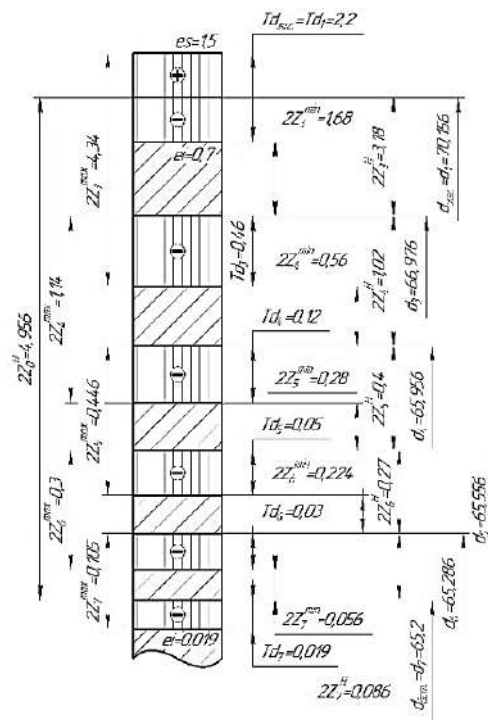


Рисунок 1.11 – Розрахункова схема для поверхні 7

Поверхня 12 – зовнішня циліндрична $\varnothing 20 \pm 0,0045$.

Мінімальний припуск визначаємо за формулою (1.25):

$$2Z_3^{min} = 0,6 \cdot 2 \cdot 1,4 = 1,68 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,56 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{min} = 0,1 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,28 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{min} = 0,08 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,224 \text{ мм}$$

$$2Z_7^{min} = 0,02 \cdot 2 \cdot 1,4 = 0,056 \text{ мм}$$

Максимальний припуск визначаємо за формулою (1.20):

$$2Z_3^{max} = 2 + 1,68 + 0,33 = 4,01 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{max} = 0,33 + 0,56 + 0,084 = 0,974 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{max} = 0,084 + 0,28 + 0,021 = 0,385 \text{ мм}$$

$$2Z_6^{max} = 0,021 + 0,224 + 0,013 = 0,258 \text{ мм}$$

$$2Z_7^{max} = 0,013 + 0,056 + 0,009 = 0,069 \text{ мм}$$

Номінальний припуск розраховуємо за формулою (1.21):

$$2Z_3^H = 1,68 + 1,3 = 2,98 \text{ мм}$$

$$2Z_4^H = 0,56 + 0,33 = 0,89 \text{ мм}$$

$$2Z_5^H = 0,28 + 0,084 = 0,364 \text{ мм}$$

$$2Z_6^H = 0,224 + 0,021 = 0,245 \text{ мм}$$

$$2Z_7^H = 0,056 + 0,013 = 0,069 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок номінального розміру згідно переходу за формулою (1.22):

$$d_7^H = 20 \text{ мм}$$

$$d_6^H = 20 + 0,069 = 20,069 \text{ мм}$$

$$d_5^H = 20,069 + 0,245 = 20,314 \text{ мм}$$

$$d_4^H = 20,314 + 0,364 = 20,678 \text{ мм}$$

$$d_3^H = 20,678 + 0,89 = 21,568 \text{ мм}$$

$$d_1^H = 21,568 + 2,98 = 24,548 \text{ мм}$$

Для проведення перевірки необхідно провести розрахунок загального номінального припуску за формулою (1.23):

$$2Z_0^H = 2,98 + 0,89 + 0,364 + 0,245 + 0,069 = 3,87 \text{ мм}$$

Тепер можливо провести перевірку за рівнянням (1.24):

$$4,548 = 24,548 - 20$$

$$4,548 \text{ мм} = 4,548 \text{ мм}$$

На рисунку 1.12 показуємо схематичне відображення проведених розрахунків для даного розміру.

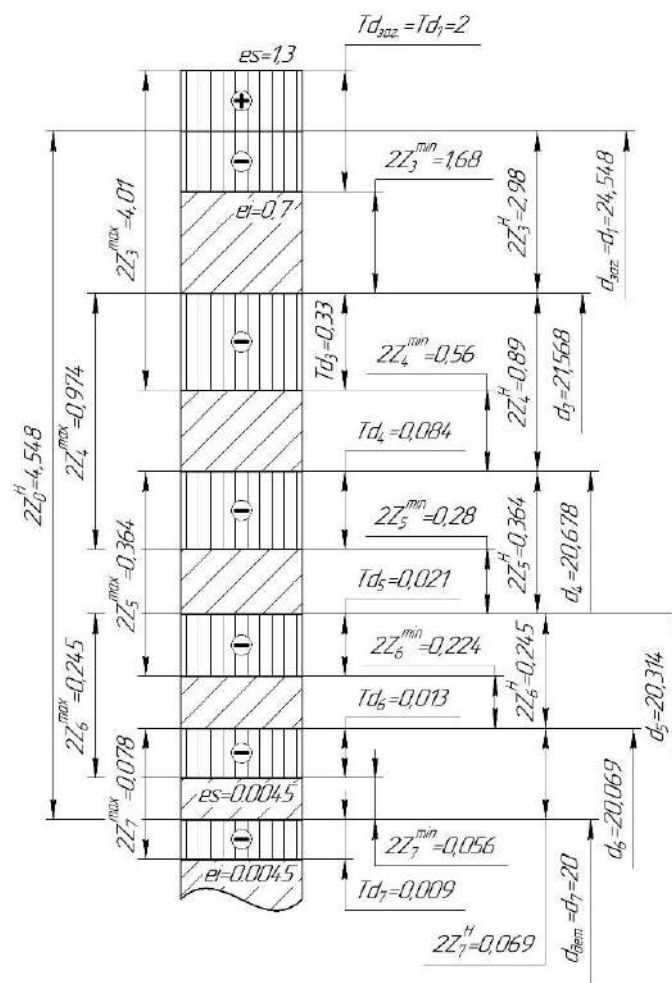


Рисунок 1.12 – Розрахункова схема для поверхні 12

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам

№ пер.	МОП	Відхилення		Граничні значення припусків, мм		Номінальні значення припусків та розміри, мм		Виконавчий технологічний розмір, мм
i		Es (es)	Ei (ei)	2Z ^{max}	2Z ^{min}	2Z ^H	2d ^H	
1	2	3		4		5		6
пов. 7 – циліндрична зовнішня, Ø65,2h6 _(+0,019)								
1	Заготовка	+1,3	-0,7	-	-	-	Ø70,156	Ø70,2 ^(+1,3) _(-0,7)
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0,46	4,34	1,68	3,18	Ø66,976	Ø67h13 _(-0,46)
4	Точіння напівчистове	-	-0,12	1,14	0,56	1,02	Ø6,956	Ø66h10 _(-0,12)
5	Точіння чистове	-	-0,046	0,446	0,28	0,4	Ø65,556	Ø65,6h8 _(-0,046)
6	Точіння тонке	-	-0,03	0,3	0,224	0,27	Ø65,286	Ø65,3h7 _(-0,03)
7	Шліфування	-	-0,019	0,105	0,056	0,086	Ø65,2	Ø65,2h6 _(-0,019)
пов. 12 – циліндрична зовнішня, Ø20 ± 0,0045								
1	Заготовка	+1,3	-0,7	-	-	-	Ø24,548	Ø24,5 ^(+1,3) _(-0,7)
2	Т/О	-	-	-	-	-	-	-
3	Точіння чорнове	-	-0,33	4,01	1,68	0,98	Ø21,568	Ø21,6h13 _(-0,33)
4	Точіння напівчистове	-	-0,084	0,974	0,56	0,89	Ø20,678	Ø20,7h10 _(-0,084)
5	Точіння чистове	-	-0,021	0,385	0,28	0,364	Ø20,314	Ø20,3h7 _(-0,021)
6	Шліфування чистове	-	-0,013	0,258	0,224	0,245	Ø20,069	Ø20,1h6 _(-0,013)

Продовження таблиці 1.5

1	2	3		4		5		6
7	Шліфування тонке	+0,0045	-0,0045	0,078	0,056	0,069	Ø20	Ø20 ± 0,0045

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція – 030 токарна з ЧПК

Вихідні данні:

- верстат: токарний з ЧПК мод. GCL-2В;
- інструмент: різець прохідний ГОСТ 18868-73 з R=0,4 мм;
- операційний ескіз: рисунок 1.13.

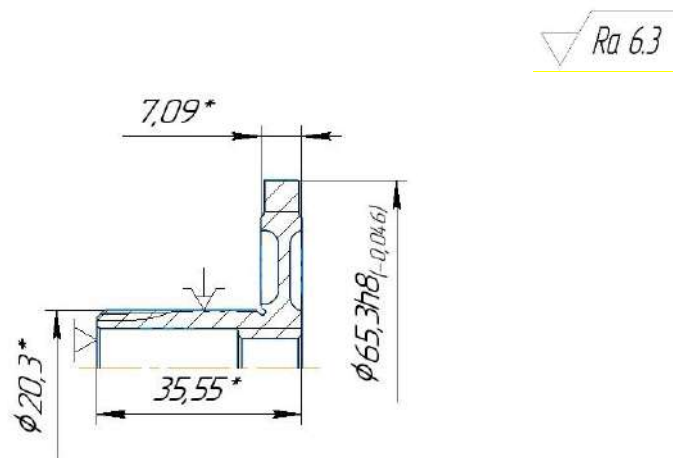


Рисунок 1.13 – Операційний ескіз – операція 030

Розрахунок режимів різання:

Розрахунок глибини різання проводимо за формулами (1.26), (1.27):

$$t = H - h, \text{ мм} \quad (1.26)$$

$$t = \frac{D - d}{2}, \text{ мм} \quad (1.27)$$

де H, h - розмір торця до та після механічної обробки відповідно, мм;

D, d – діаметральний розмір до та після механічної обробки відповідно, мм.

$$t_2 = \frac{65,5 - 65,3}{2} = 0,15 \text{ мм}$$

Визначення подачі [6,ст.266,табл.11]: $S_T = 0,3 \dots 0,4 \text{ мм/об.}$

Приймаємо: $S_0 = 0,3 \text{ мм/об.}$

Розрахунок швидкості різання проводимо за формулою (1.28):

$$V_p = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \cdot K, \text{ м/хв} \quad (1.28)$$

де C_v – коефіцієнт швидкості різання, згідно [6,ст.269-270,табл.17];

x, y, m – ступені швидкості, згідно [6,ст.269-270,табл.17];

T – стійкість інструменту, хв;

K – додатковий коефіцієнт, який враховується при розточенні; $K=0.9$;

K_v – коефіцієнт швидкості різання, розраховується за формулою (1.29):

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \quad (1.29)$$

де K_{mv} – коефіцієнт залежності від оброблюваного матеріалу, згідно [6,ст.261,табл.1];

K_{iv} – коефіцієнт залежності від стійкості та марки матеріалу інструменту, згідно [6,ст.263,табл.6];

K_{nv} – коефіцієнт залежності від якості поверхні заготовки, згідно [6,ст.263,табл.5].

$$K_v = 0,4 \cdot 0,35 \cdot 1 = 0,14$$

Проводимо розрахунок швидкості різання за формулою (1.28):

$$V_p = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 0,15^{0,15} \cdot 0,3^{0,2}} \cdot 0,14 = 43,8 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання розраховуємо за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot V_p}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1} \quad (1.30)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 43,8}{3,14 \cdot 65,6} = 212,9 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 213 \text{ хв}^{-1}$

Розраховуємо фактичну швидкість різання за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \text{ м/хв} \quad (1.31)$$

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 65,6 \cdot 213}{1000} = 43,9 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.32)$$

де i – кількість переходів;

$L_{p.x.}$ – довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{p.x.} = l_{рез} + l_{вр} + l_{пр}, \text{ мм} \quad (1.33)$$

де $l_{рез}$ – довжина різання, мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання, $l_{вр} = 2 \dots 3 \text{ мм}$;

$l_{пр}$ – довжина перебігу, $l_{пр} = 2 \dots 3 \text{ мм}$.

$$L_{p.x.} = 7 + 3 + 3 = 13 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{13}{0,3 \cdot 213} \cdot 2 = 0,41 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція – 055 фрезерна з ЧПК

Вихідні данні:

- верстат: обробний центр портального типу з ЧПК DАHLІН РТ-128;
- інструмент: 1) фреза дискова спеціальна D=30 мм, B=4 мм, d=12 мм z=10;
- 2) свердло спіральне ГОСТ 10902-77 з D=10,5 мм;
- 3) зенкер ГОСТ 12489-71 з D=11,5 мм;
- 4) розгортка ГОСТ 7722-77 з D=12 мм;
- операційний ескіз: рисунок 1.14.

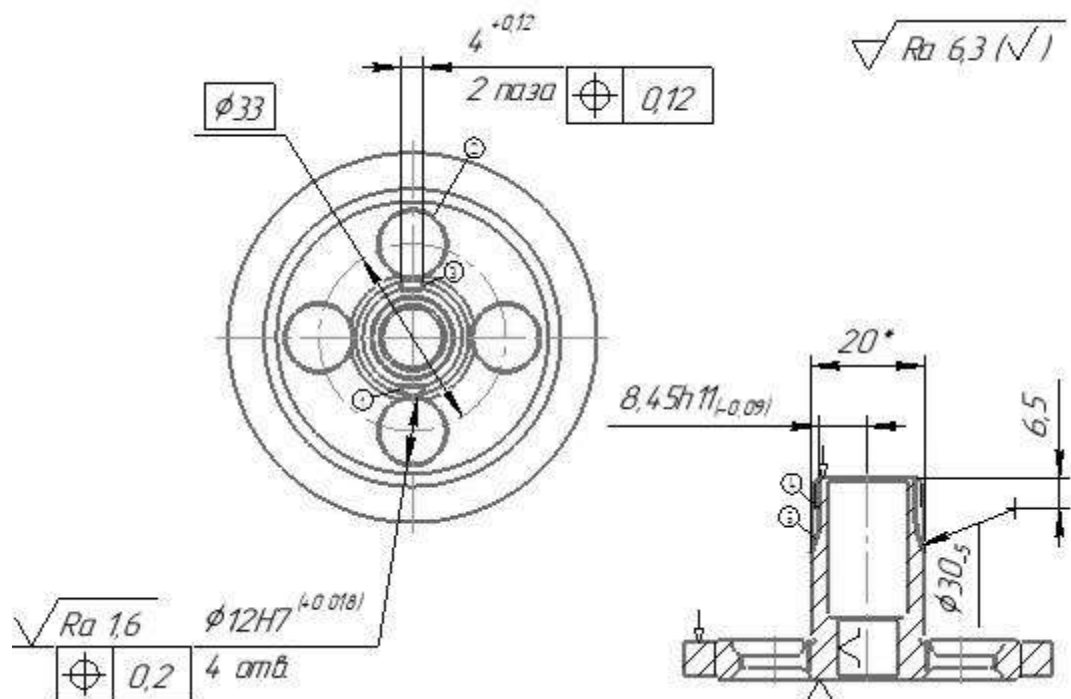


Рисунок 1.14 – Операційний ескіз – операція 030

Розрахунок режимів різання:

I. Перший перехід – фрезерувати поверхні 1, 3, 4, 5.

Приймаємо глибину різання : $t = 1,55$ мм.

Визначаємо подачу згідно [6,с.285,табл. 36]: $S_z = 0,09 \dots 0,18$ мм/зуб

Приймаємо згідно параметрів верстата подачу: $S_z = 0,09$ мм/зуб.

Розраховуємо розрахункову швидкість різання за формулою (1.34):

$$V_p = \frac{C_p \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (1.34)$$

де D – діаметр фрези, мм;

B – ширина фрезерування, мм;

Z – число зубців фрези, шт;

C_p – коефіцієнт, знаходиться за [6,с.286,табл. 39];

q, m, x, y, u, p – показники швидкості, знаходиться за [6,с.286,табл. 39];

T – період стійкості фрези, знаходиться за [6,с.290,табл. 40].

$$V_p = \frac{68,5 \cdot 30^{0,25}}{80^{0,2} \cdot 1,55^{0,3} \cdot 0,09^{0,2} \cdot 4^{0,1} \cdot 14^{0,1}} \cdot 0,14 = 8,87 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 8,87}{3,14 \cdot 30} = 94,16 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 95 \text{ хв}^{-1}$.

Проводимо розрахунок фактичної швидкості різання за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 30 \cdot 75}{1000} = 8,95 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{p.x.} = 13,14 + 3 + 3 = 19,14 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{19,14}{(0,09 \cdot 14) \cdot 95} \cdot 2 = 0,32 \text{ хв}$$

II. Другий перехід – свердлити отвори 2.

Визначення глибини різання проводимо за формулою (1.27):

$$t_1 = \frac{10,5}{2} = 5,25 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу згідно [6,с.277,т.25]: $S_T = 0,07 \dots 0,11 \text{ мм/об}$

Приймаємо згідно параметрів верстата подачу: $S_o = 0,07 \text{ мм/об}$.

Розрахована швидкість визначається за формулою (1.35):

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (1.35)$$

де C_v – коефіцієнт швидкості різання, згідно [6,с.278,т.28];

q, y, m – ступені швидкості, [6,с.278,т.28];

T – стійкість інструменту, згідно [6,с.279-280,т.30];

$$V_p = \frac{3,5 \cdot 10,5^{0,5}}{15^{0,2} \cdot 0,07^{0,45}} \cdot 0,3 = 3,1 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 3,1}{3,14 \cdot 10,5} = 92,7 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 93 \text{ хв}^{-1}$.

Проводимо розрахунок фактичної швидкості різання за формулою (1.31):

$$V_\phi = \frac{3,14 \cdot 10,5 \cdot 93}{1000} = 3,1 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{p.x.} = 4 + 3 + 3 = 10 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{10}{0,07 \cdot 93} \cdot 4 = 0,38 \text{ хв}$$

III. Третій перехід – зенкерувати отвори 2.

Визначення глибини різання проводимо за формулою (1.27):

$$t = \frac{11,5 - 10,5}{2} = 0,5 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу згідно [6,с.277,т.26]: $S_T = 0,5 \dots 0,6 \text{ мм/об}$

Приймаємо згідно параметрів верстата подачу: $S_o = 0,5 \text{ мм/об.}$

Розрахована швидкість визначається за формулою (1.36):

$$V_p = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (1.36)$$

де C_v – коефіцієнт швидкості різання, згідно [6,с.279,т.29];

q, y, m – ступені швидкості, [6,с.279,т.29];

T – стійкість інструменту, згідно [6,с.279-280,т.30];

$$V_p = \frac{10 \cdot 11,5^{0,6}}{30^{0,45} \cdot 0,5^{0,3} \cdot 0,5^{0,6}} \cdot 0,14 = 2,4 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 2,4}{3,14 \cdot 11,5} = 67,8 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 68 \text{ хв}^{-1}$.

Проводимо розрахунок фактичної швидкості різання за формулою (1.31):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 11,5 \cdot 68}{1000} = 2,5 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{\text{р.х.}} = 4 + 3 + 3 = 10 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{10}{0,5 \cdot 68} \cdot 4 = 0,701 \text{ хв}$$

IV. Четвертий перехід – розгортати отвори 2.

Визначення глибини різання проводимо за формулою (1.27):

$$t_1 = \frac{12 - 11,5}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу згідно [6.с.277,т.26]: $S_T = 0,9 \text{ мм/об}$

Розрахована швидкість визначається за формулою (1.36):

$$V_p = \frac{14 \cdot 12^{0,4}}{40^{0,85} \cdot 0,25^{0,75} \cdot 0,9^{1,05}} \cdot 0,14 = 0,7 \text{ м/хв}$$

Частоту обертання визначаємо за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot 0,7}{3,14 \cdot 12} = 10,6 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n = 11 \text{ хв}^{-1}$.

Проводимо розрахунок фактичної швидкості різання за формулою (1.31):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 11}{1000} = 0,4 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою (1.33):

$$L_{\text{р.х.}} = 4 + 3 + 3 = 10 \text{ мм}$$

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.32):

$$T_o = \frac{10}{0,9 \cdot 11} \cdot 4 = 0,31 \text{ хв}$$

За формулою (1.37) проводимо розрахунок загального основного часу на операцію:

$$T_{\Sigma o} = \Sigma T_o$$

$$T_{\Sigma o} = 0,32 + 0,54 + 0,07 + 0,31 = 1,24 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція – 110 протяжна

Вихідні данні:

- верстат: горизонтально-протяжний 7Б55;
- інструмент: протяжка внутрішня ГОСТ 25157-82;
- операційний ескіз: рисунок 1.15.

Розрахунок режимів різання:

Визначення глибини різання проводимо за формулою (1.27):

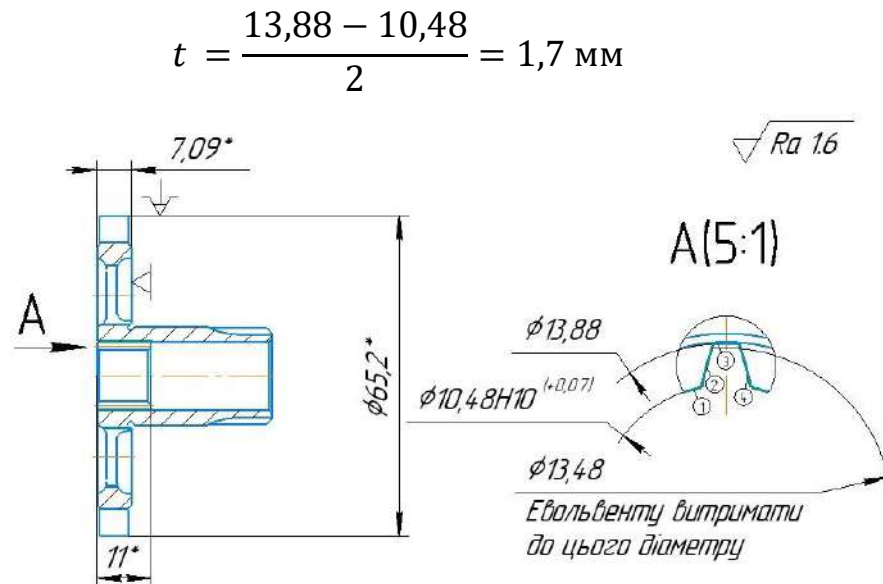


Рисунок 1.15 – Операційний ескіз – операція 110

Визначаємо подачу згідно [6.с.300,табл. 54]: $S_z = 0,1 \text{ мм/зуб}$

Між ріжучими і калібруючими зубами роблять кілька зубів, що зачищають, з постійно спадаючим підйомом на зуб.

Приймаємо: $z_{зач}=3$.

Розподіляємо підйом на зуб:

$$\frac{1}{2} \cdot s_z = 0,05 \text{ мм} \quad \frac{1}{3} \cdot s_z = 0,03 \text{ мм} \quad \frac{1}{6} \cdot s_z = 0,017 \text{ мм}$$

Площу перерізу стружкової канавки визначаємо за формулою (1.37):

$$F_k = k \cdot F_c, \text{ мм}^2 \quad (1.37)$$

де k – коефіцієнт заповнення канавки;

F_c – площа канавки, розраховується за формулою (1.38):

$$F_c = l \cdot s_z, \text{ мм}^2 \quad (1.38)$$

де l – довжина протягнутої ділянки, мм;

$$F_c = 11 \cdot 0,1 = 1,1 \text{ мм}^2$$

Площу перерізу стружкової канавки визначаємо за формулою (1.37):

$$F_k = 3 \cdot 1,1 = 3,3 \text{ мм}^2$$

Згідно з [7,с.475,табл.12] приймаємо: $F_k = 4 \text{ мм}^2$, $t=5 \text{ мм}$, $h=1,8 \text{ мм}$, $q=1,6 \text{ мм}$, $r=1,1 \text{ мм}$.

Максимальне число одночасно працюючих зубів розраховуємо за формулою (1.39):

$$z_{max} = \frac{l}{t} + 1, \text{ шт} \quad (1.39)$$

$$z_{max} = \frac{11}{5} + 1 = 3$$

Визначаємо швидкість різання згідно [6.с.299,т.52]: $V_p = 4,5 \text{ м/хв}$.

Приймаємо: $V_\phi = 3 \text{ м/хв}$.

Розраховуємо основний час на обробку за формулою (1.40):

$$t_o = \frac{l \cdot K}{1000 \cdot V_\phi}, \text{ хв} \quad (1.40)$$

де l – довжина робочого ходу, мм;

$$t_o = \frac{200 \cdot 2}{1000 \cdot 3} = 1,3 \text{ хв}$$

1.6.4 Операція – 200 шліфувальна з ЧПК

Вихідні данні:

- верстат: круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК мод. G32P;
- інструмент: шліфувальний круг Ø400×50×127 25А 10-П С2 7 К1А ГОСТ 2424-83;
- операційний ескіз: рисунок 1.16.

Розрахунок режимів різання:

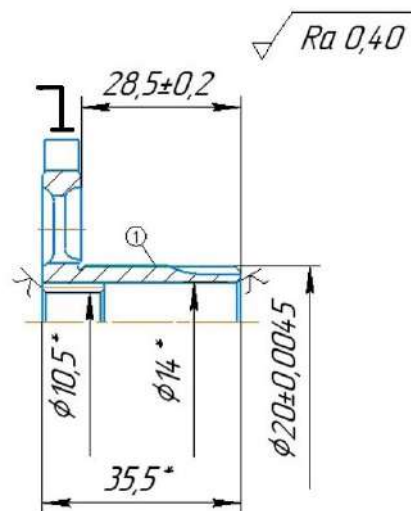


Рисунок 1.16 – Операційний ескіз – операція 200

Розрахунок глибини різання проводимо за формулою (1.27):

$$t = \frac{20,1 - 20}{2} = 0,05 \text{ мм}$$

Глибина шліфування $S_{\text{шл}} = 0,0025 \text{ мм}$.

Визначаємо швидкість обертання круга [6.ст.301,табл.55]: $V_{\text{кр}} = 35 \text{ м/с}$.

Частоту обертання круга розраховуємо за формулою (1.41):

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_{\text{кр}}}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1} \quad (1.41)$$

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 400} = 1651,3 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n_{\text{кр}} = 1650 \text{ хв}^{-1}$.

Визначаємо дійсну швидкість обертання круга за формулою (1.42):

$$V_{\text{д.кр}} = \frac{\pi \cdot D_{\text{кр}} \cdot n_{\text{кр}}}{1000 \cdot 60}, \text{ м/с} \quad (1.42)$$

$$V_{д.кр} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 1650}{1000 \cdot 60} = 34,54 \text{ м/с}$$

Визначаємо швидкість обертання деталі [6.ст.301,табл.55]: $V_d = 10 \text{ м/с}$.

Частоту обертання деталі розраховуємо за формулою (1.43):

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_d}{\pi \cdot D}, \text{хв}^{-1} \quad (1.43)$$

$$n_d = \frac{1000 \cdot 10}{3,14 \cdot 20} = 159,24 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо: $n_d = 158 \text{ хв}^{-1}$.

Визначаємо дійсну швидкість обертання деталі за формулою (1.44):

$$V_{д.д} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000}, \text{м/с} \quad (1.44)$$

$$V_{д.д} = \frac{3,14 \cdot 20 \cdot 158}{1000} = 9,92 \text{ м/хв}$$

Визначаємо подовжню подачу [6.ст.301,табл.55] з співвідношення (1.45):

$$S = (0,3 \dots 0,7) \cdot B, \text{мм/об} \quad (1.45)$$

де B – ширина кола, мм.

$$S = 0,3 \cdot 8 = 2,4 \text{ мм/об}$$

Визначаємо довжину робочого ходу за формулою (1.46):

$$L_{р.х.} = l_{ш} - \frac{1}{3} \cdot B, \text{мм} \quad (1.46)$$

$$L_{р.х.} = 28,5 - \frac{1}{3} \cdot 8 = 25,83 \text{ мм}$$

Проводимо розрахунок основного часу за формулою (1.47):

Продовження таблиці 1.6

030	Токарна з ЧПК - токарний верстат з ЧПК мод. GCL-2B							
			точити пов. 1	0,15	213	0,3	43,9	0,41
055	Фрезерна з ЧПК - обробний центр портального типу з ЧПК DANLİN PT-128							
		перехід 1	фрезерувати пов. 1, 3-5	1,55	95	0,09	8,95	0,32
		перехід 2	свердлити отв. 2	5,25	93	0,07	3,1	0,54
		перехід 3	зенкерувати отв. 2	0,5	68	0,5	2,5	0,07
		перехід 4	розгортати отв. 2	0,25	11	0,9	0,4	0,31
ΣT_0								1,24
080	Зубофрезерна з ЧПК - зубофрезерний верстат мод. 5E32							
			фрезерувати пов. 1- 4	7,09	80	0,5	22,6	10,5
110	Протяжна – горизонтально протяжний верстат мод. 7B55							
			протягувати пов. 1- 4	5			3	1,3
135	Різьбонарізна з ЧПК – Різьбонарізний багатоцільовий верстат з ЧПК мод. RMV500APC							
			Нарізання різьби пов. 1	0,4	50	0,5	3,1	0,3
150	Зубошліфувальна - зубошліфувальний верстат HSS-10							
			шліфувати пов. 1-4	0,08	1800	0,008	35	7,5
185	Шліфувальна з ЧПК - круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК мод. G32P							
			шліфувати пов. 1-4	0,2	$n_{кр} = 955$ $n_n = 49$	$S_n = 2,4$ $S_{n.n.} = 0,0025$	$V_{кр} = 10$ $V_n = 10,1$	14,12
200	Шліфувальна з ЧПК - круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК мод. G32P							
			шліфувати пов. 1	0,05	$n_{кр} = 1650$ $n_n = 158$	$S_n = 2,4$ $S_{n.n.} = 0,0025$	$V_{кр} = 34,54$ $V_n = 9,97$	2,4

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Операція - 030 токарна з ЧПК

Проводимо розрахунок додаткового часу на операцію; формула (1.48):

$$T_{\text{доп.}} = T_{\text{вст-зн}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{х.х.}} + T_{\text{зм.ін.}} + T_{\text{контр.}}, \text{хв} \quad (1.48)$$

де $T_{\text{вст-зн}}$ – час на встановлення та зняття заготовки з верстату, визначається згідно [8,с.199,к.5.5];

$T_{\text{упр}}$ – час на управління верстатом, хв;

$T_{\text{х.х.}}$ – час на холостий хід інструментів, хв;

$T_{\text{зм.ін.}}$ – час, потрібний для зміни інструменту, хв;

$T_{\text{контр.}}$ – час, необхідний для контролю розмірів після обробки, розраховується за формулою (1.49):

$$T_{\text{контр.}} = K \cdot (L \cdot i), \text{хв} \quad (1.49)$$

де L – час на контроль заданим інструментом, визначається згідно [8,с.206-208,к.5.11-5.13];

i – кількість контрольованих розмірів;

K – коефіцієнт для розрахунку часу.

$$T_{\text{контр.}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 4 = 0,666 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.50):

$$T_{\text{зм.ін.}} = K \cdot i \cdot a, \text{хв} \quad (1.50)$$

де a – час, необхідний на зміну одного інструменту, хв;

i – кількість використовуваних інструментів, шт.

$$T_{\text{зм.ін.}} = 1,85 \cdot 1 \cdot 0,035 = 0,065 \text{хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.51):

$$T_{x.x.} = T_{ш.в.і.} \cdot i \cdot K + T_{ш.п.і.} \cdot k \cdot K, \text{ хв} \quad (1.51)$$

де $T_{ш.в.і.}$ – час, необхідний для швидкого відводу інструменту, визначається з [8, с.202, к.5.8], хв;

$T_{ш.п.і.}$ – час, необхідний для швидкого підводу інструменту, визначається з [8, с.202, к.5.8], хв;

i, k – кількість використовуваних інструментів, шт.

$$T_{x.x.} = 0,025 \cdot 1 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 1 \cdot 1,85 = 0,102 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.52):

$$T_{упр} = T_{ввімк-вимк} \cdot i + T_{смоб} \cdot k, \text{ хв} \quad (1.52)$$

де $T_{ввімк-вимк}$ – час, необхідний для включення та виключення верстата, визначається з [8, с.202, к.5.8], хв;

$T_{смоб}$ – час закриття та відкриття захисного екрану, визначається з [8, с.202, к.5.8], хв;

i, k – кількість дій.

$$T_{упр} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 1 = 0,074 \text{ хв}$$

За формулою (1.48) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{доп} = 0,666 + 0,065 + 0,102 + 0,074 + 0,111 = 1,02 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.53):

$$\begin{aligned} T_{оп} &= T_o + T_{доп}, \text{ хв} \\ T_{оп} &= 1,02 + 0,41 = 1,43 \text{ хв} \end{aligned} \quad (1.53)$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.54):

$$T_{\text{дод}} = T_{\text{оп}} \cdot \alpha_{\Sigma}, \text{ хв} \quad (1.54)$$

де α_{Σ} – відсоток додаткового часу, визначається з [8,с.214,к.6.1].

$$T_{\text{дод}} = 1,43 \cdot 0,06 = 0,09 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.55):

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{оп}} + T_{\text{дод}}, \text{ хв} \quad (1.55)$$

$$T_{\text{шт}} = 1,43 + 0,09 = 1,51 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховуємо за формулою (1.56):

$$T_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{N}, \text{ хв} \quad (1.56)$$

де N – об'єм партії заготовок, шт;

$T_{\text{пз}}$ – підготовчо-заключний час, який розраховується за формулою (1.57):

$$T_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}}, \text{ хв} \quad (1.57)$$

де $t_{\text{пз1}}, t_{\text{пз2}}, t_{\text{пз3}}$ – нормативи підготовчо-заключного часу, визначається з [8,с.215,к.6.3].

$$T_{\text{пз}} = 7 + 2 + 7 = 16 \text{ хв}$$

За формулою (1.56) розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 1,51 + \frac{16}{402} = 1,55 \text{ хв}$$

1.7.2 Операція - 055 фрезерна з ЧПК

Час, необхідний для контролю операційних розмірів, розраховується за формулою (1.49):

$$T_{\text{контр.}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 7 = 1,166 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.50):

$$T_{\text{зм.ін.}} = 1,85 \cdot 4 \cdot 0,035 = ,259 \text{ хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.51):

$$T_{\text{х.х.}} = 0,025 \cdot 4 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 4 \cdot 1,85 = 0,407 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.52):

$$T_{\text{упр}} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 4 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 4 = 0,296 \text{ хв}$$

За формулою (1.48) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{\text{доп}} = 1,166 + 0,259 + 0,407 + 0,296 + 0,111 = 2,24 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.53):

$$T_{\text{оп}} = 0,97 + 2,24 = 3,21 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.54):

$$T_{\text{дод}} = 3,21 \cdot 0,09 = 0,29 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.55):

$$T_{\text{шт}} = 3,21 + 0,29 = 3,5 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час, який розраховується за формулою (1.57):

$$T_{\text{пз}} = 7 + 4 + 7 = 18 \text{ хв}$$

За формулою (1.56) розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 3,5 + \frac{18}{402} = 3,54 \text{ хв}$$

1.7.3 Операція – 110 протяжна

Час, необхідний для контролю розміру за операцією, розраховується за формулою (1.49):

$$T_{\text{контр.}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 4 = 0,666 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.50):

$$T_{\text{зм.ін.}} = 1,85 \cdot 1 \cdot 0,035 = 0,065 \text{ хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.51):

$$T_{\text{х.х.}} = 0,025 \cdot 1 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 1 \cdot 1,85 = 0,102 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.52):

$$T_{\text{упр}} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 1 = 0,074 \text{ хв}$$

За формулою (1.48) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{\text{доп}} = 0,666 + 0,065 + 0,102 + 0,074 + 0,111 = 1,02 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.53):

$$T_{\text{оп}} = 1,3 + 1,02 = 2,32 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховується за формулою (1.54):

$$T_{\text{дод}} = 2,32 \cdot 0,09 = 0,21 \text{ хв}$$

За формулою проводимо визначення штучного часу (1.55):

$$T_{\text{шт}} = 2,32 + 0,21 = 2,53 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час, який розраховується за формулою (1.57):

$$T_{\text{пз}} = 4 + 1 + 4 = 9 \text{ хв}$$

За формулою (1.56) розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 2,53 + \frac{9}{402} = 2,55 \text{ хв}$$

1.7.4 Операція – 200 шліфувальна з ЧПК

Час, необхідний для контролю розмірів за операцією, розраховується за формулою (1.49):

$$T_{\text{контр.}} = 1,85 \cdot 0,09 \cdot 2 = 0,333 \text{ хв}$$

Проводимо розрахунок часу на зміну інструменту за формулою (1.50):

$$T_{\text{зм.ін.}} = 1,85 \cdot 1 \cdot 0,035 = 0,065 \text{ хв}$$

Час, затрачений на холостій хід, розраховуємо за формулою (1.51):

$$T_{\text{х.х.}} = 0,025 \cdot 1 \cdot 1,85 + 0,03 \cdot 1 \cdot 1,85 = 0,102 \text{ хв}$$

Час на управління верстатом розраховуємо за формулою (1.52):

$$T_{\text{упр}} = 0,01 \cdot 1,85 \cdot 1 + 0,03 \cdot 1,85 \cdot 1 = 0,074 \text{ хв}$$

За формулою (1.48) проводимо розрахунок допоміжного часу:

$$T_{\text{доп}} = 0,333 + 0,065 + 0,102 + 0,074 + 0,111 = 0,68 \text{ хв}$$

Операційний час на операцію визначається за формулою (1.53):

$$T_{\text{оп}} = 2,4 + 0,68 = 3,08 \text{ хв}$$

Додатковий час на операцію розраховуємо за формулою (1.54):

$$T_{\text{дод}} = 3,08 \cdot 0,12 = 0,37 \text{ хв}$$

За формулою (1.55) проводимо визначення штучного часу:

$$T_{\text{шт}} = 3,08 + 0,37 = 3,45 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час який розраховується за формулою (1.57):

$$T_{\text{пз}} = 5 + 2 + 5 = 12 \text{ хв}$$

За формулою (1.56) розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 3,45 + \frac{12}{402} = 3,48 \text{ хв}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технологічне нормування операцій

№ оп.	Операції	T _о , хв	T _{доп} , хв	T _{оп} , хв	T _{дод} , хв	T _{шт} , хв	T _{пз} , хв	T _{шт-к} , хв
015	Токарна з ЧПК	7,09	2,74	9,03	0,59	10,42	16	10,46
020	Токарна з ЧПК	10,43	5,72	16,15	0,97	17,12	16	17,16
025	Токарна з ЧПК	1,5	6,38	7,88	0,47	8,36	16	8,4
030	Токарна з ЧПК	0,41	1,02	1,43	0,09	1,51	16	1,55
055	Фрезерна з ЧПК	0,97	2,24	3,21	0,29	3,5	18	3,54
080	Зубофрезерна з ЧПК	10,5	1,85	12,35	1,11	13,46	18	13,51
110	Протяжна	1,3	1,02	2,32	0,21	2,53	9	2,55
135	Різьбонарізна фрезерна з ЧПК	0,3	0,68	0,98	0,12	1,1	10	1,13
150	Зубошліфувальна	7,5	1,35	8,85	1,06	9,91	12	9,94
185	Шліфувальна з ЧПК	14,12	1,02	15,14	1,82	16,95	12	16,98
200	Шліфувальна з ЧПК	2,4	0,68	3,08	0,37	3,45	12	3,48

1.8 Розробка технологічних операцій оброблення деталі на високопродуктивних верстатах з ЧПК

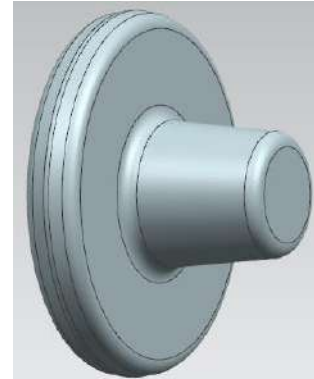
Керуючу програму розробляють спеціально для обробки деталей на верстатах з ЧПК.

У магістерській роботі для виготовлення деталі «Шестерня приводу відцентрового суфлера» розробляється керуюча програма у модулі програми NX 12.0.

Проводимо розробку програм для трьох операцій з ЧПК. Для цього необхідно у комп'ютерному програмному пакеті створити модель деталі та заготовки (рис. 1.17).



а)



б)

Рисунок 1.17 – 3D-моделі (а – деталь; б – заготовка)

1.8.1 Операція 030 – токарна з ЧПК

На даній операції обробка деталі виконується за один перехід (див.п.1.6).

Інструмент та його характеристики задані на рисунку 1.18. Генерація траєкторії руху інструменту задані на рисунку 1.19.

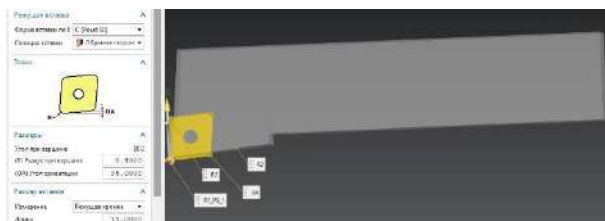


Рисунок 1.18 – Інструмент та його параметри

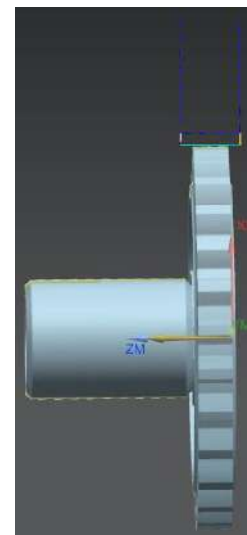


Рисунок 1.19 – Траєкторія руху різця

Програма обробки в ISO 7 bit:

%

N0080 G0 X1.3797

N0010 G40 G17 G94 G90 G70

N0090 X1.3794 Z.063

N0020 G91 G28 Z0.0	N0100 G1 X1.3007
:0030 T01 M06	N0110 Z-.3386
N0040 G0 G90 X2.1654 Y0.0 Z.0618 A0.0	N0120 G0 X1.3794
B0.0 S0 M04	N0130 X2.1668
N0050 X1.3797 Z.0619	N0140 M02
N0060 G1 X1.3009 F.1 M08	%
N0070 Z-.3374	

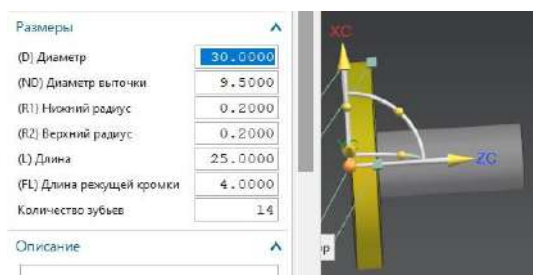
1.8.2 Операція 055 – фрезерна з ЧПК

На даній операції обробка деталі виконується за чотири переходи (п.1.6).

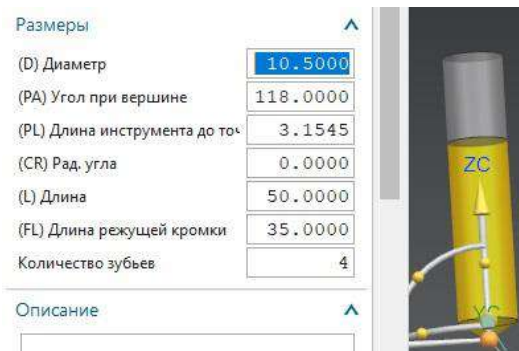
Інструмент та його характеристики задані на рисунку 1.20. Генерація траєкторії руху інструменту задані на рисунку 1.21.

Програма обробки першого переходу в ISO 7 bit:

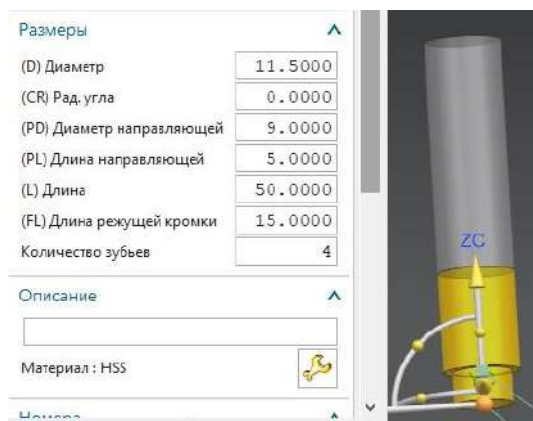
%	:0110 T00 M06
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0120 T01
N0020 G91 G28 Z0.0	N0130 G0 G90 X1.3015 Y1.7185 A0.0
:0030 T01 M06	B0.0 S706 M03
N0040 T00	N0140 G43 Z.0787 H00
N0050 G0 G90 X2.7756 Y-.9232 A0.0 B0.0	N0150 G1 X1.1433 Y.9311 F4.7
S706 M03	N0160 X1.3976
N0060 G43 Z-.0787 H01	N0170 X2.7756
N0070 G1 X1.3976 F4.7 M08	N0180 M02
N0080 X1.1417	%
N0090 X1.3151 Y-1.7106	
N0100 G91 G28 Z0.0	



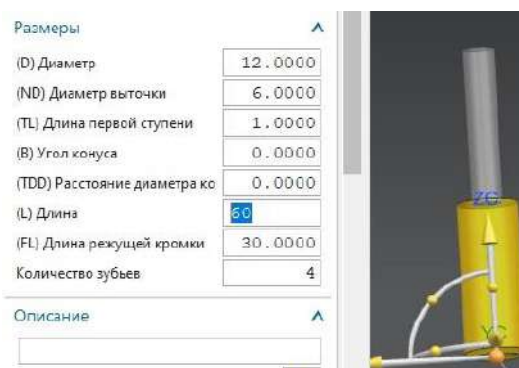
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.20 – Инструмент та його параметри (а – перший перехід; б – другий перехід; в – третій перехід; г – четвертий перехід)

Програма обробки другого переходу в ISO 7 bit:

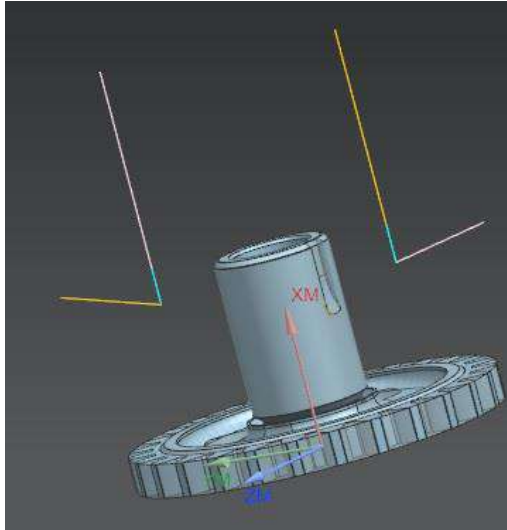
```
%
N0010 G40 G17 G94 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
:0030 T02 M06
N0040 G0 G90 X0.0 Y.6496 A0.0 B0.0 S94
M03
N0050 G43 Z1.7913 H02
N0060 G81 X0.0 Y.6496 Z-.1807
R.3937 F1
N0070 X-.6496 Y0.0
N0080 X0.0 Y-.6496
N0090 X.6496 Y0.0
N0100 G80
N0110 M02
%
```

Програма обробки третього переходу в ISO 7 bit:

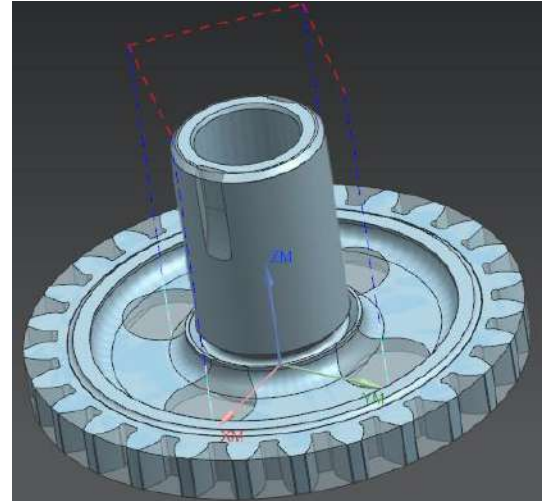
```
%
N0010 G40 G17 G94 G90 G70
N0020 G91 G28 Z0.0
:0030 T03 M06
```

N0040 G0 G90 X-.6496 Y0.0 A0.0 B0.0
 S69 M03
 N0050 G43 Z1.7913 H03
 N0060 G81 X-.6496 Y0.0 Z-.2533
 R.3937 F147.8
 N0070 X0.0 Y-.6496

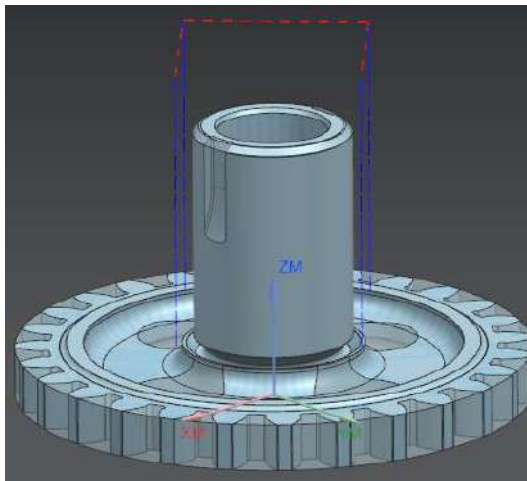
N0080 X.6496 Y0.0
 N0090 X0.0 Y.6496
 N0100 G80
 N0110 M02
 %



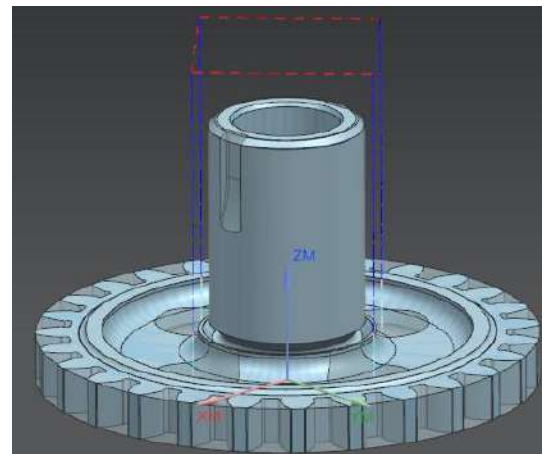
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.21 – Траєкторія руху різця (а – перший перехід;
 б – другий перехід; в – третій перехід; г – четвертий перехід)

Програма обробки четвертого переходу в ISO 7 bit:

%

N0020 G91 G28 Z0.0

N0010 G40 G17 G94 G90 G70	:0030 T04 M06
N0040 G0 G90 X-.6496 Y0.0 A0.0 B0.0	N0080 X.6496 Y0.0
S11 M03	N0090 X0.0 Y.6496
N0050 G43 Z1.7913 H04	N0100 G80
N0060 G81 X-.6496 Y0.0 Z-.0959 R.3937	N0110 M02
F1.6	%
N0070 X0.0 Y-.6496	

1.8.3 Операція 135 – різьбонарізна з ЧПК

На даній операції обробка деталі виконується одним переходом (див.п.1.6).

Для виконання операції необхідно правильно підібрати інструмент та задати режими різання, які показано на рисунках 1.22 та 1.23 відповідно.

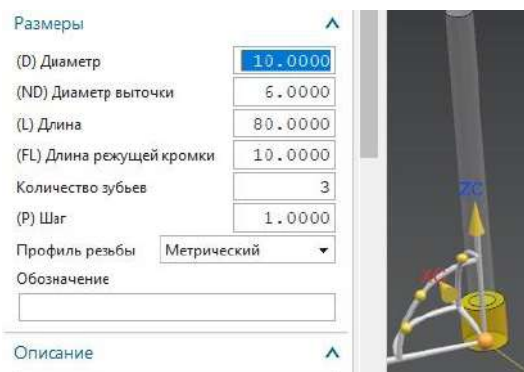


Рисунок 1.22 - Інструмент та його параметри

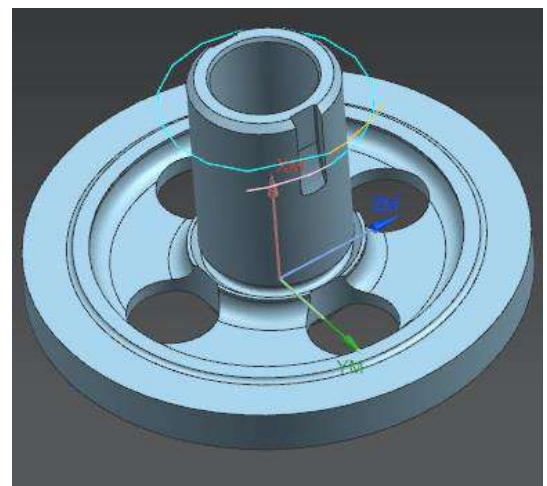


Рисунок 1.23 – Траєкторія руху різця

Програма обробки ISO 7 bit:

%	B90. S99 M03
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0050 G43 Z1.2701 H00

N0020 G91 G28 Z0.0

:0030 T00 M06

N0040 G0 G90 X-.4315 Y.4315 A0.0

K.0125

N0080 X.4315 Y.4315 Z1.1708 I0.0 J-.8377

K.019

N0060 G2 X0.0 Y.5512 Z1.2598 I.4315 J-

.7181 K.019 F5.8

N0070 X0.0 Y.5512 Z1.1811 I0.0 J-.5512

N0090 M02

%

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Робоче пристосування спроектовано для токарної обробки (рис.2.1). Воно працює в парі з вбудованим верстатним гідроциліндром, який забезпечує вільне обертання цангового пристосування. До шпиндельного вузла пристосування кріпиться планшайбою 1 з посадковою втулкою 4.

Пристосування для токарної обробки складається з таких основних частин: планшайби 1; стакану 2; цанги 3.

Деталь встановлюється у цангу 3, шток 5 рухається ліворуч, пелюстки цанги стискаються через конічну поверхню стакану та розрізи пелюстків деталь затискається.

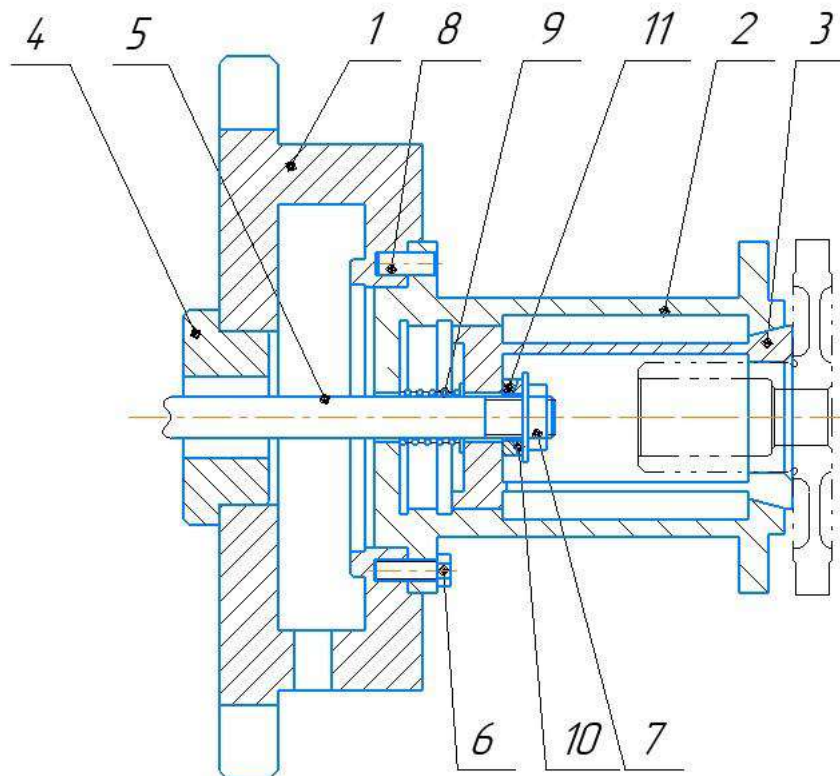


Рисунок 2.1 – Ескіз робочого пристосування

Після закінчення обробки для розкріплення деталі, рідина під тиском подається у протилежну порожнину вбудованого гідроциліндру, шток 5 рухається праворуч, спрацьовує пружина 9, за рахунок чого пелюстки цанги 3 розтискаються.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Похибка встановлення розраховується за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{\text{в}} = 1,2 \cdot \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}, \text{ мм} \quad (2.1)$$

де ε_3 - похибка закріплення, мм;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - похибка неточності пристосування, мм;

ε_6 - похибка базування, розраховується за формулою (2.2):

$$\varepsilon_6 = \frac{S_{\text{max}}}{2}, \text{ мм}$$

$$\varepsilon_6 = \frac{0,046}{2} = 0,023 \text{ мм}$$

Похибкою закріплення називається різниця між найбільшою і найменшою величинами проекцій зсуву вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру в результаті додатка до заготовки сили затиску.

Отже: $\varepsilon_3 = 0 \text{ мм}$.

Похибка неточності даного цангового пристосування розраховується за формулою (2.3):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{виг}} + \varepsilon_{\text{зн}}, \text{ мм} \quad (2.3)$$

де $\varepsilon_{\text{виг}}$ - похибка виготовлення, мм;

$\varepsilon_{\text{зн}}$ - похибка зносу, мм.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 0,01 + 0,01 = 0,02 \text{ мм}$$

Похибка встановлення розраховується за формулою (2.1):

$$\varepsilon_{\text{в}} = 1,2 \cdot \sqrt{0,023^2 + 0^2 + 0,02^2} = 0,037 \text{ мм}$$

Згідно розрахунку похибки встановлення під час обробки деталі, пристосування забезпечить необхідну точність розмірів.

Розрахунок на точність проводиться за формулою (2.4):

$$T_{\text{н}} \leq \varepsilon_{\text{в}} + \tau + \varepsilon_{\text{і}}, \text{ мм} \quad (2.4)$$

де $\varepsilon_{\text{і}}$ - похибка установки пристосування на верстат, розраховується за формулою (2.5):

$$\varepsilon_{\text{і}} = \varepsilon_{\text{і1}} + \varepsilon_{\text{і2}}, \text{ мм} \quad (2.5)$$

де $\varepsilon_{\text{і1}}$ - похибка встановлення на шпиндель верстата, мм;

$\varepsilon_{\text{і2}}$ - похибка встановлення на перехідний фланець корпуса цанги, мм.

$$\varepsilon_{\text{і}} = 0,005 + 0,057 = 0,062 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність проводиться за формулою (2.4):

$$0,046 \leq 0,037 + 0,08 + 0,062 = 0,179 \text{ мм}$$

Провівши аналіз проведених розрахунків, можливо зробити висновок, що отримання необхідної точності під час обробки на даному пристосуванні є можливим.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Осьова сила, яка необхідна для затискання цанги розраховується за формулою (2.6):

$$Q = (P_1 + P_2) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi), \text{ Н} \quad (2.6)$$

де α – половина кута конуса цанги, град;

φ – в стику конічних поверхонь цанги і корпусу, град;

P_2 – потрібна сила затиску заготовки, Н;

P_1 – сила стискування пелюсток цанги для вибору проміжку між її губками і заготовлею, розраховується за формулою (2.7):

$$P_1 = 3 \cdot \frac{E \cdot f \cdot z}{l^3} \cdot \frac{D^3 \cdot S}{8} \cdot \left(\alpha_1 + \sin \alpha_1 \cdot \cos \alpha_1 - \frac{2 \sin^2 \alpha_1}{\alpha_1} \right), \text{ Н} \quad (2.7)$$

де E – модуль пружності, Н/мм²;

f – зазор між цангою і заготовкою, мм;

z – число пелюстків цанги, шт;

D – зовнішній діаметр пелюстків цанги, мм;

S – товщина пелюстка цанги, мм;

l – довжина пелюстка цанги, мм;

α_1 – кут сегменту пелюстка цанги.

$$P_1 = 3 \cdot \frac{2,2 \cdot 10^6 \cdot 0,0025 \cdot 4}{52,4^3} \cdot \frac{27,3^3 \cdot 1,88}{8} \times \\ \times \left(82^\circ + \sin 82^\circ \cdot \cos 82^\circ - \frac{2 \sin^2 82^\circ}{82^\circ} \right) = 2532,48 \text{ Н}$$

Необхідна сила затискання в цанговому затискачі визначається за формулою (2.8):

$$P_2 = \frac{1}{f_1} \cdot \sqrt{\frac{M^2}{r^2} + P_x^2 \cdot K}, \text{ Н} \quad (2.8)$$

де f_1 – фактор тертя між заготовкою і цангою;

r – радіус заготовки на ділянці затискання, мм;

K – коефіцієнт запасу;

M – момент різання;

P_x – осьову силу різання, визначається за формулою (2.9):

$$P_x = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \text{ Н} \quad (2.9)$$

де C_p, x, y, n – коефіцієнт та показники ступеня [6,ст.273,табл.22];

K_p – загальний поправочний коефіцієнт, розраховується за формулою (2.10):

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \quad (2.10)$$

де $K_{\varphi p}$ – поправний коефіцієнт, який враховує головний кут у плані [6,ст.275,табл.23];

K_{rp} – поправний коефіцієнт, який враховує радіус при вершині [6,ст.275,табл.23];

$K_{\gamma p}$ – поправний коефіцієнт, який враховує передній кут [6,ст.275,табл.23];

$K_{\lambda p}$ – поправний коефіцієнт, який враховує кут нахилу головного леза [6,ст.275,табл.23];

K_{mp} – поправний коефіцієнт, який враховує вплив обробляемого металу, розраховується за формулою (2.10):

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n$$

$$K_{mp} = \left(\frac{880}{750} \right)^{0.75} = 1,13$$

Загальний поправочний коефіцієнт розраховуємо за формулою (2.9):

$$K_p = 1,13 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 0,96$$

Осьову силу різання визначаємо за формулою (2.8):

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 0,15^1 \cdot 0,3^{0,5} \cdot 43,9^{-0,4} \cdot 0,96 = 58,92 \text{ Н}$$

Проводимо розрахунок моменту різання за формулою (2.11):

$$M = P_z \cdot r_1 \quad (2.11)$$

де r_1 – відстань від вісі до точки прикладання сили різання;

P_z – окружна сила різання, визначається за формулою (2.12):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_p, \text{ Н} \quad (2.12)$$

де C_p, x, y, n – коефіцієнт та показники ступеня [6, ст. 273, табл. 22].

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,15^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 43,9^{-0,15} \cdot 0,96 = 99,32 \text{ Н}$$

Проводимо розрахунок моменту різання за формулою (2.11):

$$M = 99,32 \cdot 32,65 = 3242,91 \text{ Н/мм}^2$$

Необхідна сила затискання в цанговому затискачі визначається за формулою (2.7):

$$P_2 = \frac{1}{0,12} \cdot \sqrt{\frac{3242,91^2}{10,15^2} + 58,92^2 \cdot 1,5} = 2729,55 \text{ Н}$$

Кут тертя визначається за формулою (2.13):

$$\varphi = \arctg(f_1) \quad (2.13)$$

де f_1 – коефіцієнт тертя конусної поверхні.

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

Розраховуємо осьову силу за формулою (2.6):

$$Q = (2532,48 + 2729,55) \cdot \operatorname{tg}\left(15^\circ 25' + 6,84^\circ\right) = 1170,35 \text{ Н}$$

Згідно визначеної сили затиску розраховуємо необхідний діаметр гідравлічного циліндра за формулою (2.14):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}} \quad (2.14)$$

де ρ – тиск рідини, $\rho = 2 \dots 5$ МПа;

η – коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,95$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1170,35}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,95}} = 28,01 \text{ мм}$$

Згідно ГОСТ 25553-82 підбираємо найбільш підходящі параметри циліндру:

- діаметр штока – $d = 14$ мм;
- діаметр циліндра – $D = 32$ мм;
- шифр циліндра – 7021-0221.

Проводимо перевірку правильності підбору параметрів гідравлічного циліндру за формулою (2.15):

$$W = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \rho \cdot \eta}{4}, \text{ Н} \quad (2.15)$$

$$W = \frac{3.14 \cdot (32^2 - 14^2) \cdot 2 \cdot 0,95}{4} = 1234,96 \text{ Н}$$

Проводимо порівняння необхідної осьової сили затиску та розрахованої за обраними параметрами циліндру.

$$Q = 1170,35 \text{ Н} < W = 1234,96 \text{ Н}$$

Згідно проведеної перевірки можливо зробити висновок, що гідравлічний циліндр підібрано вірно, деталь під час обробки не вирве.

2.2 Проєктування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Для контролю деталі спроектовано спеціальне пристосування для контролю биття. Ескіз пристосування показано на рисунку 2.2.

Для закріплення деталі права частина стійки 4 має можливість переміщуватися по пазу у плиті 3. Це виконано для того, щоб між деталлю і стійкою був зазор, необхідний для ручного обертання деталі. Для того, щоб контролер міг обертати деталь вручну, у широкому отворі встановлюється деталь діаметром $\varnothing 20$ донизу.

Для відхилення. перевірки відхилення на усій поверхні деталь вручну контролером обертають та виводять середнє значення. Також на блоці датчиків поз.2 показується деталь виконана гідно чи ні. Так, контролер бачить на який елемент з датчиків загорається, та розуміє деталь гідна, чи потребує подальшого доопрацювання або виконана з невиправним браком.

2.2.2 Розрахунок на точність

Контрольне пристосування має бути високоточним для забезпечення правильності вимірів. Для цього необхідно провести розрахунок сумарної похибки контрольно-вимірювального приладу за формулою (2.15):

$$E_{\text{кп}} = \varepsilon + \Delta_e + \Delta_{\text{зас}} + \Delta_t + \Delta_p + \Delta_{\text{вз}} \quad (2.15)$$

де Δ_p – похибка передаючого пристрою;

Δ_e – похибка виготовлення еталонної деталі;

$\Delta_{\text{зас}}$ – похибка вибраного засобу виміру;

Δ_t – похибка, викликана зміною температури довкілля;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка, що викликається вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації;

ε – похибка положення контрольованої деталі в пристосуванні, розраховується за формулою (2.16):

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2} \quad (2.16)$$

де ε_6 – похибка базування;

ε_3 – похибка закріплення;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – неточність виготовлення елементів пристосування, розраховується за формулою (2.17):

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} \quad (2.17)$$

де Δ_1 – відхилення положення осі наконечника від заданої точки виміру;

Δ_2 – похибка положення наконечника у горизонтальному напрямі;

Δ_3 – похибка осьового переміщення;

Δ_4 – похибка виміру величини відхилення від перпендикулярності

переміщення вимірювального наконечника відносно осі отвору в деталі;

Δ_5 – похибка від неспівпадіння напрямку виміру і розміру.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \sqrt{0 + 10^2 + 4^2 + 0 + 0} = 10,77 \text{ мкм}$$

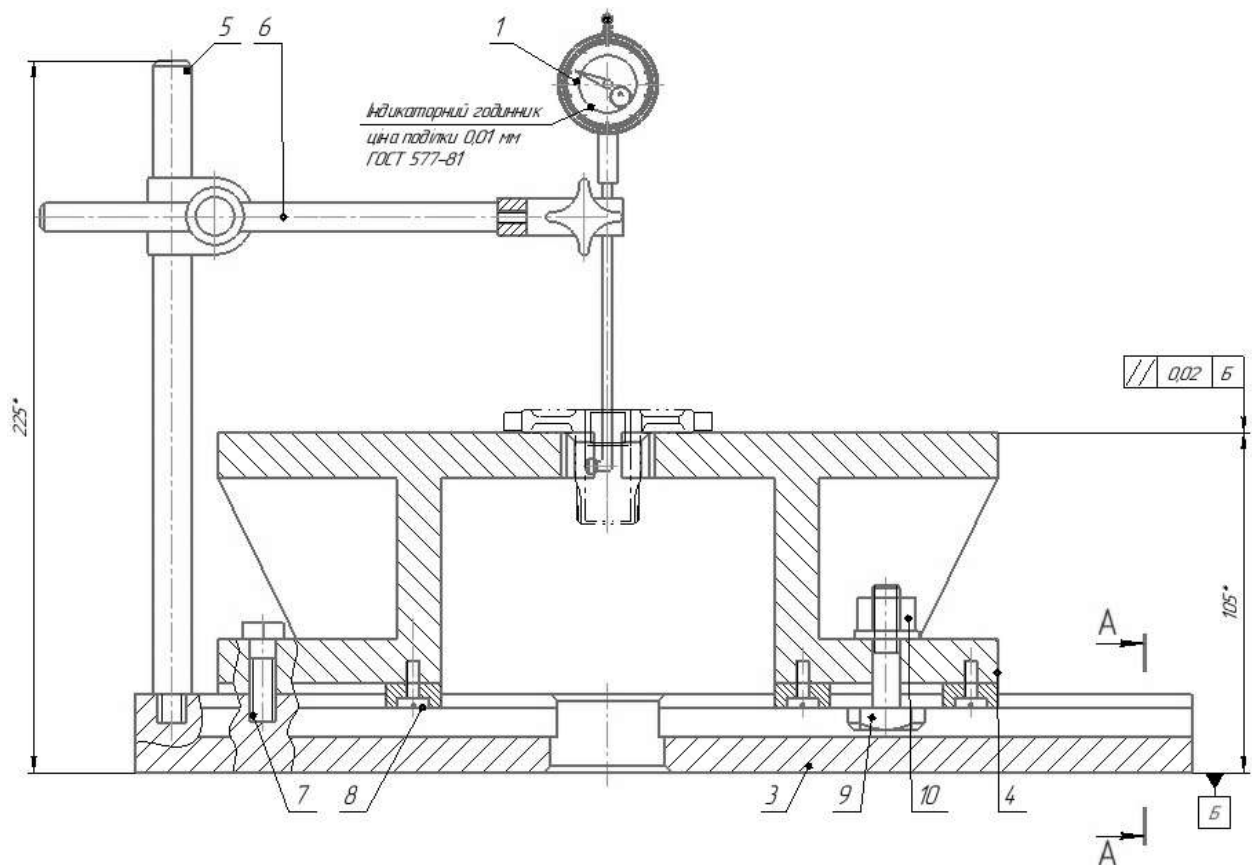


Рисунок 2.2 - Ескіз контрольного пристрою

Проводимо розрахунок похибки положення контрольованої деталі за формулою (2.16):

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 0 + 10,77^2} = 10,77 \text{ мкм}$$

Похибка, що викликається вимірювальним зусиллям за рахунок контактної деформації, розраховуємо за формулою (2.18):

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{\text{зус}}^2}{r}} \quad (2.18)$$

де $P_{\text{зус}}$ – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус вимірювального наконечника;

K – коефіцієнт, залежний від матеріалу наконечника.

$$\Delta_{\text{вз}} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{4,8}} = 0,13 \text{ мкм}$$

Проводимо розрахунок сумарної похибки контрольно-вимірювального приладу за формулою (2.15):

$$E_{\text{кп}} = 10,77 + 0 + 2 + 0 + 0 + 0,13 = 12,9 \text{ мкм}$$

Порівнявши розраховану фактичну сумарну похибку з допустимою (згідно ДСТУ 8.051-81 [9]):

$$E_{\text{кп}} = 12,9 \text{ мкм} < |E_{\text{кп}}| = 20 \text{ мкм}$$

Отже робимо висновок, що необхідна умова точності при вимірюванні буде витримана.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНТРОЛЮ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Зубчасті колеса є невід'ємною частиною багатьох передач, через що до якості та точності їх виготовлення ставляться високі вимоги. Оцінку якості обробки зубчастого вінця можна достовірно проводити приладами високої точності контролю, і бажано високої продуктивності. Досягнення точного контролю можливе через розвиток сучасного метрологічного забезпечення.

3.1 Способи контролю зубчатих коліс

3.1.1 Традиційні способи вимірювання

При виготовленні зубчастих коліс їх якість забезпечується як високим рівнем остаточного (приймального) контролю, так і іншими організаційно-попереджувальними заходами [11]:

1. Остаточний контроль - встановлює, чи відповідає точність виготовлення зубчастих коліс умовам технологічного процесу.

2. Профілактичний контроль - полягає в перевірці стану технологічного обладнання: верстату, пристосування або ріжучого інструменту. Він повинен проводитися до початку виготовлення зубчастих коліс.

3. Технологічний контроль - полягає в поелементному контролі зубчастих коліс. Він дозволяє встановити точність окремих елементів технологічного обладнання і, в разі потреби, вжити своєчасних заходів для виключення неякісних деталей.

4. Активний контроль - полягає в тому, що в процесі обробки вимірюють один або кілька параметрів. Використовуючи результати вимірювань, здійснюється управління технологічним процесом, наприклад, переривається процес обробки після досягнення необхідного розміру.

5. Поелементний (диференційований) контроль - полягає в перевірці відповідності значень окремих параметрів вимогам креслення. Дані, одержані при диференційованому контролі зубчастих коліс, дозволяють оперативно проводити наладку технологічного обладнання для попередження можливого виготовлення неякісних деталей.

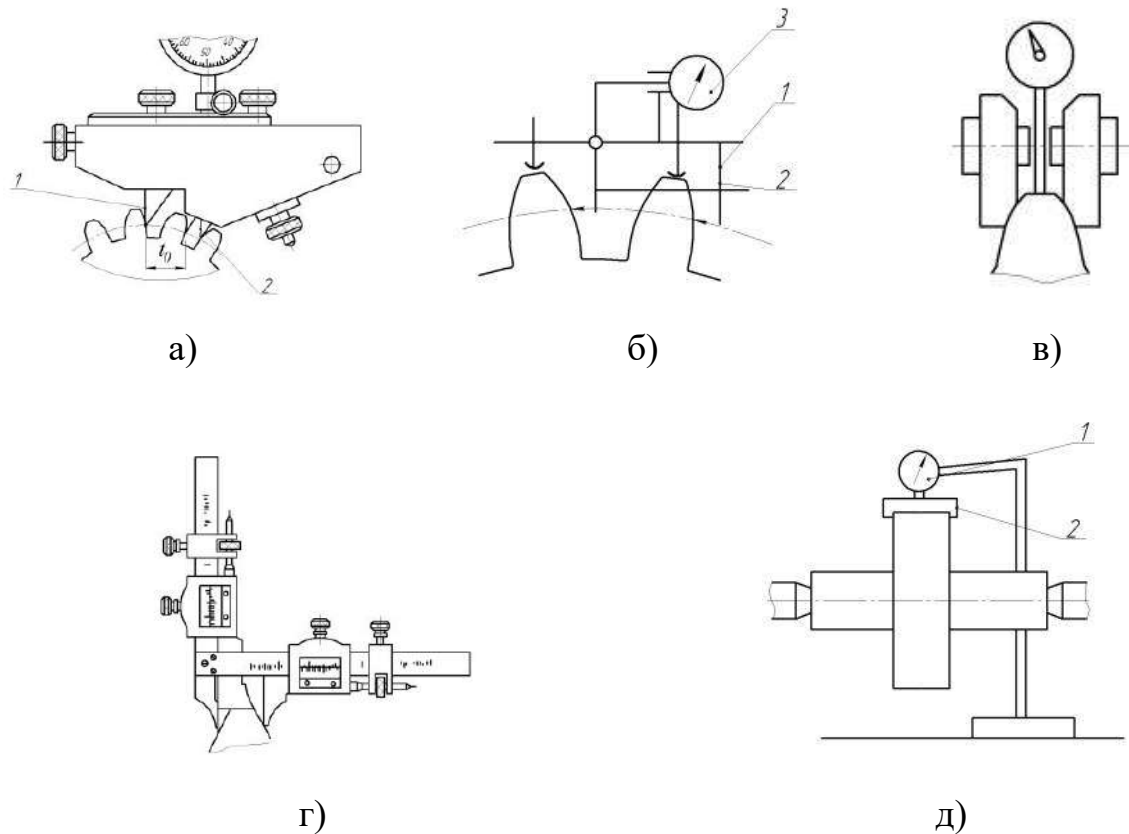
Для вимірювання практично кожного з цих параметрів є необхідними спеціалізовані метрологічні засоби, до яких належать [12]:

- прилад для комплексного однопрофільного контролю;
- прилад для абсолютного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- прилади для відносного вимірювання накопиченої похибки кроку;
- кінематомер;
- зубомірний мікрометр для контролю довжини загальної нормалі;
- нормалемір для визначення відхилень від номінального значення довжини загальної нормалі;
- биттяміри;
- прилад для двопрофільного контролю (міжцентромір);
- хвилемір (для контролю циклічної похибки);
- евольвентоміри;
- крокомір накладний;
- ходомір (для контролю лінії зуба);
- зубоміри зсуву;
- штангензубоміри.

На рисунку 3.1 показано основні схеми вимірювання зубчастих коліс.

Основними тенденціями розвитку контролю зубчастих коліс є не просто вимірювання деталі з висновком «придатна / непридатна», а аналіз відхилень зі зворотним зв'язком з виробництвом; забезпечення більш високої точності та швидкості вимірювань; можливість контролю безпосередньо в процесі виробництва; впровадження нових стандартів вимірювання та оцінки якості [12].

Усі ці види контролю проводяться за допомогою різноманітного обладнання, яке має різні рівні точності.



а – відхилення основного кроку (1 – жорстка опора, 2 – пересувний упор);

б – різниця кругового кроку (1 – прилад упор; 2 – рухомий упор);

в - зміщення початкового контуру; г - товщину зубів коліс;

д - радіальне биття зубчастого вінця (1 – індикатор, 2 – ролик)

Рисунок 3.1 – Схеми основних способів перевірки зубчастих коліс

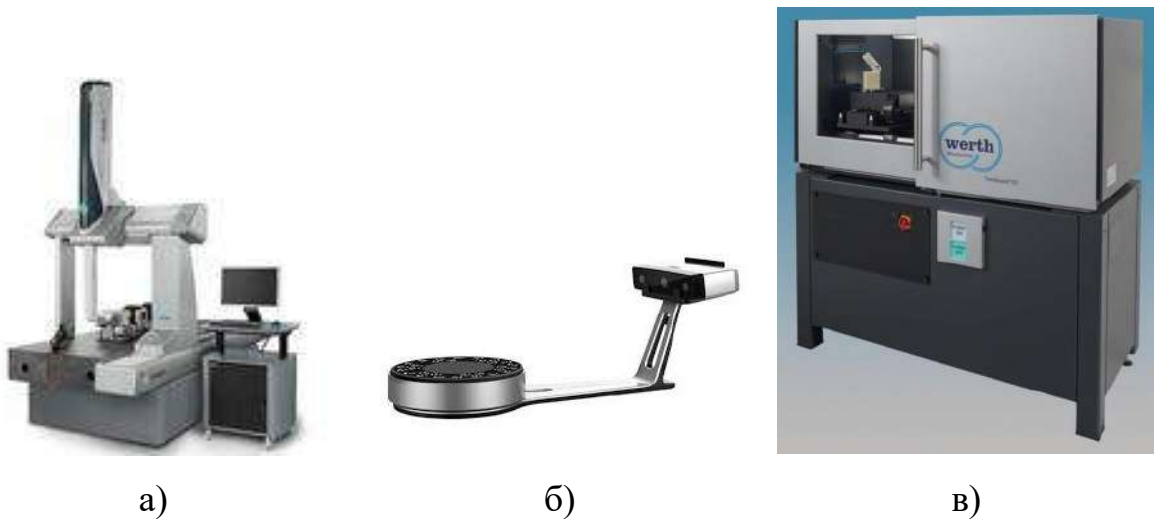
3.1.2 Сучасні методи контролю

У сучасному виробництві до зубчастих коліс надають посилені вимоги, такі як: точність, довговічність, надійність, передача великих моментів, мінімальна вартість.

Дані вимоги можливо забезпечити сучасним контролем.

Тому у сучасному виробництві віддають перевагу вимірюванню на координатно-вимірювальних машинах (КВМ), томографі та тривимірних

сканерах (рис.3.2).



а – КВМ; б - 3D-сканери; в - томограф
Рисунок 3.2 – Засоби автоматизованого контролю

Координатно-вимірювальна машина (КВМ) - програмно-технічний комплекс, використовуваний в багатьох галузях виробництва для контролю геометричних параметрів готових виробів, заготовок, інструменту, оснащення тощо. Управління координатно-вимірювальною машиною здійснюється у ручному режимі або по керуючій програмі з персонального комп'ютера. Робочим елементом КВМ є піноль, на якій встановлена вимірювальна головка з датчиком. Датчики можуть бути контактні, лазерні та оптичні [13].

Принципова база координатного способу виміру полягає в тому, що будь-яка поверхня або профіль складається з нескінченного числа окремих точок i , відомого стану у просторі якогось обмеженого числа цих точок, тобто за допомогою прецизійного координатно-вимірювального обладнання по відповідним формулам можна розрахувати розміри цих поверхонь та відхилення форми, а також визначити розташування поверхонь у просторі та між собою.

На рисунку 3.3 показано приклад проведення вимірювання на КВМ.

Ще одним способом сучасного вимірювання зубчастих коліс є використання томографів. Основні характеристики томографів: - основним

призначенням найчастіше є: інспекційний аналіз; специфікація відповідає вимогам стандартів; дуже малий вимірювальний діапазон; обмеження при вимірі деталей із товстими стінками або деталей із високою щільністю; регулярна заміна рентгенівської трубки.

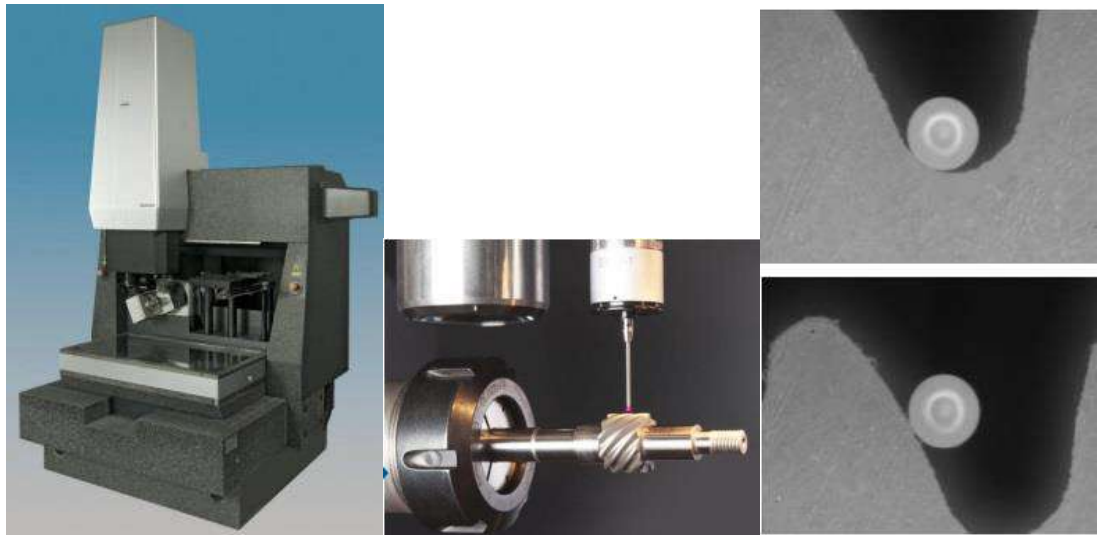


Рисунок 3.3 - Приклад вимірювання зубчастих коліс на КВМ

На рисунку 3.4 показано приклад проведення вимірювання на томографі.



Рисунок 3.4 - Приклад вимірювання зубчастих коліс на томографі

Ще одним методом сучасного контролю зубчастих коліс є 3D-сканери. 3Д-сканери дозволяють безконтактне вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс. За допомогою спеціального програмного забезпечення (ПЗ) проводиться порівняння отриманих даних після сканування та математичної моделі заданого виробу.

При використанні 3D-сканерів відпадає необхідність вибору точки відліку, полегшуються перпендикулярні та паралельні виміри, різко зростає точність усіх вимірів. ПЗ забезпечує виявлення будь-яких геометричних відхилень, а також раковин, тріщин, корозії та інших дефектів. 3D-сканування дозволяє оперативно виявляти та усувати вади, коригувати розміри та проводити інші заходи, спрямовані на підвищення якості [14].

3D-сканування дозволяє повністю автоматизувати процес і, як наслідок [14]: підвищити якість контролю, перейшовши від вибіркового контролю до суцільного; суттєво прискорити процес контролю, підвищити продуктивність; здешевити процес, знизивши і кількість працівників, та вимоги до їхньої кваліфікації.

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Розрахунок деталі на міцність дозволяє оцінити найуразливіші частини деталі та конструкції в цілому.

Для розрахунку на міцність використовується спеціальний модуль програми NX 12.0 та тривимірна модель даної деталі.

3D-модель деталі розбиваємо на сітку кінцевих елементів (рис.4.1), задаємо параметри елементів – трикоординатна-тетроедральна, з розміром 2 мм.

Для проведення розрахунків необхідно закріпити деталь та прикласти навантаження, як показано на рисунку 4.2.



Рисунок 4.1 – Математична модель деталі

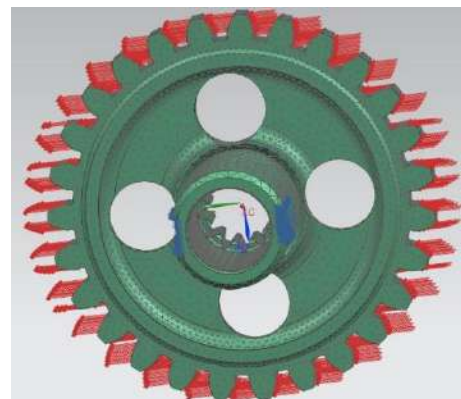


Рисунок 4.2 – Схема закріплення та прикладання сили до деталі

До зубців прикладаємо силу у 100 Н, а за двома пазами проводимо закріплення.

Далі проводимо розрахунок, а його результати, тобто НДС моделі, розташування небезпечного перерізу, приведемо на рисунку 4.3.

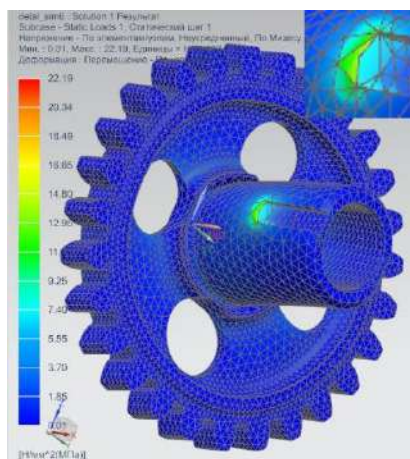


Рисунок 4.3 – Результати розрахунку

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Для виявлення впливу, при яких змінах геометрії деталі зміниться навантаження, у більшу або меншу сторону, проведемо ще два розрахунки. Для проведення розрахунків змінимо ширину пазів з 4 мм на 2 мм та 6 мм.

Результати проведених додаткових розрахунків НДС показуємо на рисунку 4.5.

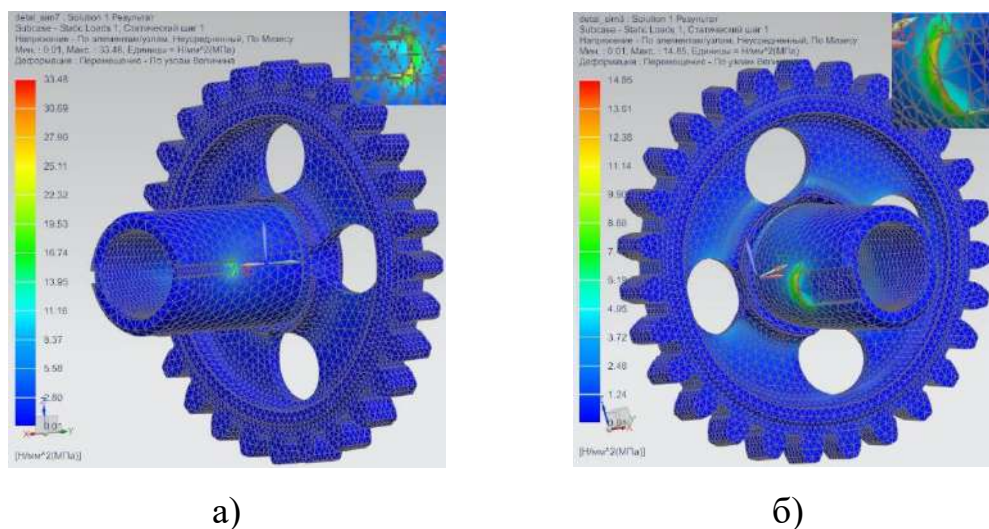


Рисунок 4.5 – Результати проведених розрахунків (а – 2 мм; б – 6 мм)

За результатами проведених розрахунків будемо графік залежності та покажемо його на рисунку 4.6.

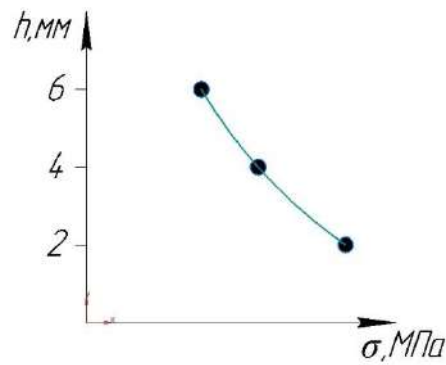


Рисунок 4.6 – Графік залежності зростання навантаження від зменшення ширини пазу

4.3 Оптимізація геометрії деталі (рекомендації)

Провівши дослідження можемо зробити висновки та дати рекомендації щодо оптимізації геометрії деталі.

Так порівнявши максимальне навантаження, яке виникає при прикладанні сили у 100 Н (див. рис. 4.6) можемо порекомендувати зменшити ширину пазу, що призведе до зниження навантаження, яке виникає у критичній точці.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ: ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ЗУБЧАСТОГО ВІНЦЯ ШЕСТЕРНІ ФІНІШНИМИ МЕТОДАМИ

Зубчасті колеса є важливими елементами різного роду конструкцій, від автомобільних виробів, кораблів, вітроенергетичних установок, верстатів до конструкцій авіаційної промисловості. Міжнародний ринок зубчастих передач постійно розширюється завдяки постійному зростанню попиту на виготовлення цих конструкцій. Загальний обсяг ринку дуже важко оцінити, але в будь-якому випадку це багатомільярдний бізнес, що потребує чималих вкладень та взамін вимагає відповідної якості зубчастих коліс. З конструктивних особливостей сучасних зубчастих коліс, можна зробити висновок про важливість належної і точної обробки цих коліс в серійному виробництві, що в основному включає в себе вимоги економічності та безпеки виробництва в різних умовах. Найбільш важливими потребами є:

- переважно високоміцні та індивідуальні характеристики матеріалу серцевини шестерні та валу шестерні для забезпечення їх низької ваги, гарантуючи при цьому незначні зміни положення посадки в залежності від стану навантаження;

- надзвичайно тверді та зносостійкі характеристики матеріалу верхнього шару зубчастого зачеплення для отримання високої міцності бічних поверхонь та вершин зубів;

- геометрична видозміна зубчастого зачеплення за розміром, положенням і формою для забезпечення безперебійного зачеплення зубів, а також компенсації деформацій зубчастого зачеплення, що залежать від навантаження, для досягнення меншого відхилення фактичного положення посадки в порівнянні з бажаним положенням посадки [15].

На початку технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс є або процеси формоутворення, наприклад кування в штампах, або процеси різання з

геометрично чітко визначеними ріжучими кромками, такі як свердління, точіння та фрезерування, тобто зубофрезерування. Така попередня механічна обробка в поєднанні з подальшою термічною обробкою, особливо загартуванням або нітроцементацією, призводять до викривлень, які вимагають жорсткої фінішної обробки корпусу колеса і бічних поверхонь зубців [16]. Таким чином, фінішна обробка зубчастих коліс є необхідним завершальним етапом процесу для досягнення двох найважливіших цілей підвищення якості зубчастого вінця – збільшення показників експлуатаційних властивостей – максимальної навантаженості та мінімального рівня шуму під час роботи (рис. 5.1). Тому, пов'язані з цим заходи, тобто видозміна бічних поверхонь та зменшення похибок форми, повинні бути досягнуті за допомогою найбільш раціональних виробничих процесів.

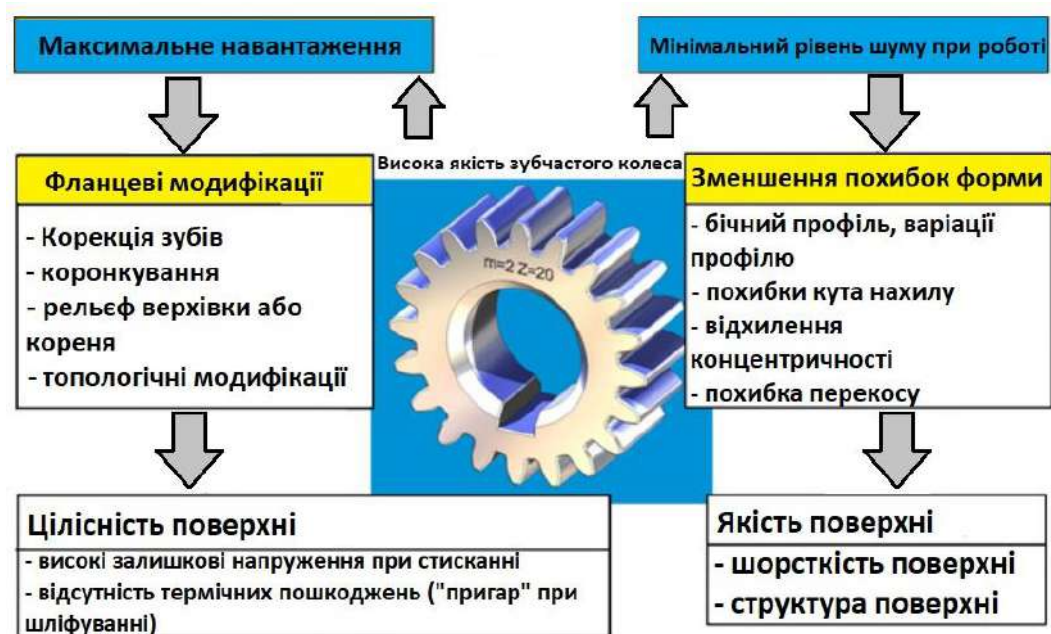


Рисунок 5.1 – Схематичне зображення загальних цілей фінішної обробки зубчастих коліс.

Для зубчастих коліс 6-7 класів точності, які є особовідповідальними деталями авіаційного двигуна та сприймають високообертові навантаження, задіяння фінішної обробки є обов'язковим. Дослідження та використання існуючих фінішних методів, таких як хонінгування, та пошук і розробка нових

методів є актуальним завданням при виготовленні зубчастих коліс в авіадвигунобудуванні.

5.1 Види фінішної обробки зубчастих коліс

Залежно від виду зубчастого колеса підбирається кінцева чистова обробка, вона може бути такою:

1. Шевінгування (рис.5.2) – це фінішна обробка зубчастих коліс, які не піддавались загартуванню. Сутністю шевінгування є зняття надтонкого шару металу для виправлення ексцентриситету початкового кола та її похибки у кроці, профілі евольвенти та кутах підйому гвинтової лінії. Після застосування шевінгування ступінь точності виробу підвищується на 1...2 пункти.

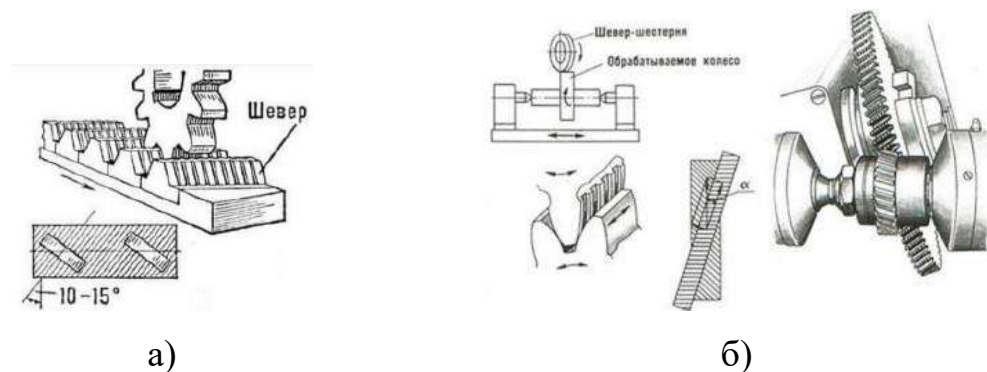


Рисунок 5.2 – Приклади шевінгування (а - шевінгування шевер-рейкою;
б - шевінгування дисковим шевер-колесом)

Переваги шевінгування [17]: найбільш-універсальна, поширена схема; можливість використовувати для зубчастих коліс будь-якої ширини вузького шевера.

Недоліки шевінгування [17]: малий період стійкості шеверу, та нерівномірна співпраця окремих зубців; тривало довга довжина робочого ходу, яка впливає на продуктивність.

2. Шліфування зубчастого колеса – застосовується для підвищення точності поверхні після загартування.

Зубошліфування буває декількох видів [18]:

1) шліфування двома тарілчастими колами - відтворюється зачеплення зубчастого колеса з рейкою, при цьому два тарілчастих кола відтворюють один зуб вихідної рейки;

2) шліфування конусним колом - при цьому методі профіль конусного кола відтворює один зуб вихідної рейки. Таким чином при шліфуванні відтворюється зубчасте зачеплення колесо-рейка. Обкатний рух здійснює колесо, воно повертається і переміщається перпендикулярно власній вісі;

3) шліфування черв'ячним колом - відтворюється черв'ячне зачеплення, при якому коло і колесо взаємно обкатуються;

4) Шліфування зубчастих коліс методом копіювання - при цьому методі для виправлення кола необхідно попередньо виготовити спеціальні криволінійні еталони (копіри).

Приклади шліфування наведені на рисунку 5.3.

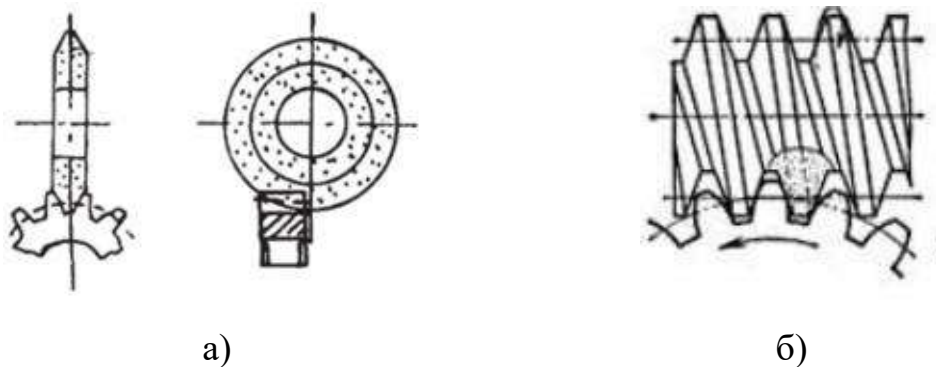


Рисунок 5.3 – Схеми шліфування зубчастих колес
(а – профільним колом; б - черв'ячним колом)

3. Притирання - застосовується для фінішної обробки зубчастих коліс після ТО. Процес притирання полягає в тому, що оброблюване зубчасте колесо вводиться в зачеплення з чавунною шестернею - притиром, змащеним пастою, яка складається із суміші дрібного абразивного порошку з мастилом.

Притирання являє собою малопродуктивну операцію фінішної обробки. На рисунку 5.4 показано схему притирання.

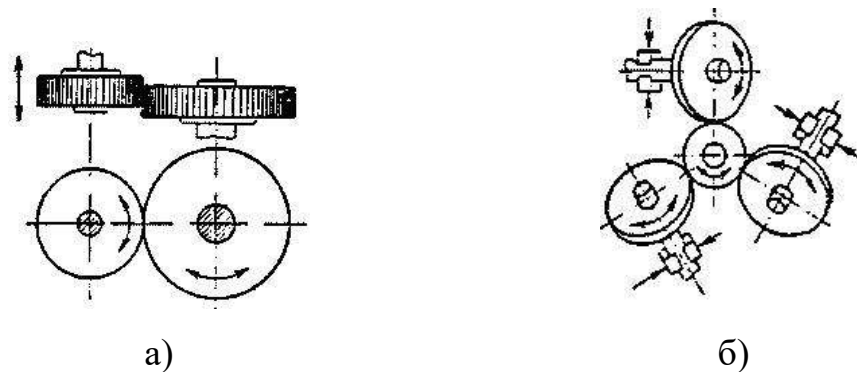


Рисунок 5.4 – Схема притирання зубчастого колеса

(а – з рівнобіжними осями притирів; б – з перехресними осями притирів)

4. Зубохонінгування (рис. 5.5) - процес чистової обробки зубців загартованих циліндричних зубчастих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення. Обробку виконують зубчастими хонами, ріжучими елементами яких є хаотично розташовані на поверхні зубів хона зерна абразивного матеріалу, алмазів або кубічного нітриду бору [17].

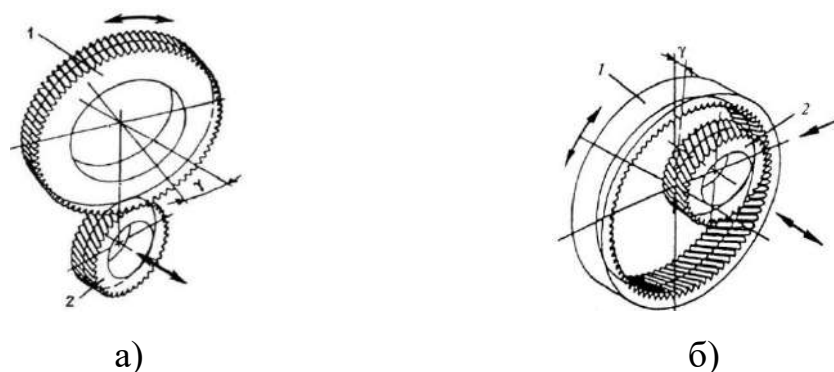


Рисунок 5.5 – Зубохонінгування (а – з зовнішнім зачепленням; б – з внутрішнім зачепленням; 1 – хон; 2 – зубчасте колесо)

На рисунку 5.6 проводимо порівняння якості та точності поверхні отриманих зубчастих коліс.

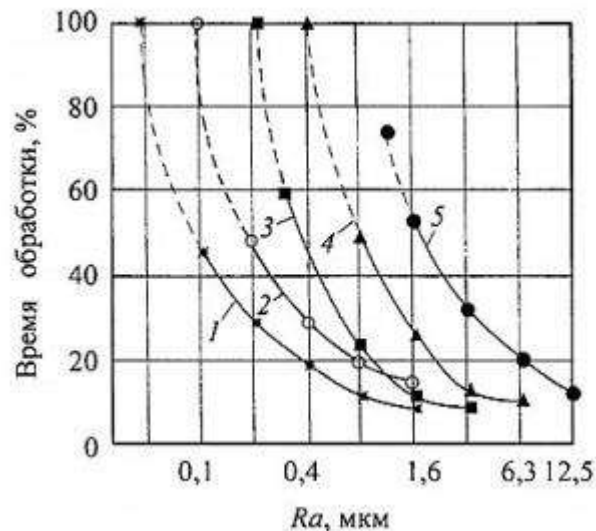


Рисунок 5.6 - Шорсткість поверхні зубів, що отримується при різних методах зубообробки
(1 - хонінгуванні; 2 - фрезеруванні після ХТО; 3 - шліфуванні; 4 - шевінгуванні; 5 - фрезеруванні і довбання до ХТО)

Одним з найефективніших процесів фінішної обробки зубчастих коліс є хонінгування, завдяки своїй високій ефективності та відмінній якості поверхні.

5.2 Зубохонінгування

Вперше хонінгування зубчастих коліс було застосовано для усунення транспортних пошкоджень на загартованих бічних поверхнях зубців.

Зубохонінгування відноситься до групи методів, виконують мікрорізання твердих поверхневих шарів зубів великою кількістю не орієнтованих у просторі ріжучих елементів [19]

Даний метод обробки виконується на зубохонінгувальних верстатах (рис. 5.7), з використанням інструменту - хона (рис.5.8).

При зубохонінгуванні відсутній жорсткий кінематичний зв'язок між

інструментом та заготовкою. Під час операції інструмент та заготовка здійснюють відносне осьове переміщення при невеликому та рівномірному радіальному або окружному навантаженні.



Рисунок 5.7 – Зубохонінгувальний верстат



Рисунко 5.8 – Зубохонінгувальний інструмент

При зубохонінгуванні усуваються задирки, пошкодження поверхні зубів, зменшується шорсткість поверхні зубів, знижується рівень шуму, підвищується контактна міцність коліс. При зубохонінгуванні можливе лише зменшення похибок, які виникли під час попередньої обробки [20].

Зубохонінгування використовують для обробки циліндричних зубчастих коліс з модулем 2...6 мм, діаметром до 500 мм та шириною вінця до 150 мм. Припуск на обробку призначають 0.02...0.03 мм на бік зуба. Час обробки середнього за розмірами колеса становить 27...60 с. Хонінгування використовується в серійному та масовому виробництві зубчастих коліс 5...10 ступенів точності [20].

Дослідження та використання покращених сучасних фінішних методів, таких як хонінгування, є актуальним при виготовленні зубчастих коліс в авіадвигунобудуванні.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПНОВАНИХ ЗАХОДІВ

Оцінка економічної ефективності від проведених заходів під час розробки ТП залежить від правильності підібраних та проведених заходів.

Проводимо порівняння базового та проектного ТП. Вихідні данні наведено у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу		
	Базовий ТП		Проектований ТП
	Оп. 075	Оп. 095	Оп. 055
Річна програма випуску деталей N_p	10000		
Модель верстата	65A60-ПМФ4		обробний центр патронного типу з ЧПК мод. DANLIN PT-128
Штучний час $T_{шт}$, хв.	2,86	2,15	3,21
Розряд верстатника	5		
Розряд наладчика	-		
Основний час t_{oi} , хв	0,86	0,65	0,97
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1		
Число змін m	2		
Оптова ціна верстата F , грн	229600	229600	268000
Число верстатів, шт	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	10	10	15
Норма амортизаційних відрахувань H_a %	12	12	12
Встановлена потужність електродвигунів, N	8,5	8,5	18

Розрахуємо умовну економічну ефективність за формулою (6.1):

$$E_{ye} = (C_1 - C_2) \cdot N, \text{ грн} \quad (6.1)$$

де C_1, C_2 – собівартість одиниці продукції обох ТП, які розраховуємо за формулою (6.2):

$$C_i = Z_{oi} + Z_{ni} + A_{в\ddot{u}д.i} + S_{pi} + S_{iн.i} + S_{ni} + S_{ei} + I_{ni}, \text{ грн} \quad (6.2)$$

де Z_{oi} - заробітна плата верстатника, грн.;

Z_{ni} - заробітна плата наладчика, грн.;

$A_{в\ddot{u}д.i}$ - відрахування на амортизацію обладнання, грн.;

S_{pi} - витрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн.;

$S_{iн.i}$ - витрати на різальний інструмент, грн.;

S_{ni} - витрати на налаштування інструментів поза верстатом, грн.;

S_{ei} - витрати на електроенергію, грн.;

I_{ni} - витрати інші, розраховуємо за формулою (6.3):

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг}, \text{ грн} \quad (6.3)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [21,ст.17];

Z_{oi} - заробітна плата верстатника, розраховуємо за формулою (6.4):

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{штi} \cdot C_{тар} \cdot K_d \cdot k_{доп} \cdot k_{соц} \quad (6.4)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у ТП;

$t_{штi}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [21,ст.33,табл.А.1];

K_d – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERCLOCKING обслуговуванні [21,ст.13,табл.2.1];

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, [21,ст.13];

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [21,ст.13].

$$З_{0,075} = 2,86 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 2,03 \text{ грн}$$

$$З_{0,095} = 2,15 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 1,53 \text{ грн}$$

$$З_{0,055} = 3,21 \cdot 65,1 \cdot 0,39 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 2,28 \text{ грн}$$

Інші загальновиробничі витрати розраховуємо за формулою (6.3):

$$I_{н,075} = 2,03 \cdot 0,2 = 0,41 \text{ грн}$$

$$I_{н,095} = 1,53 \cdot 0,2 = 0,31 \text{ грн}$$

$$I_{н,055} = 2,28 \cdot 0,2 = 0,46 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.2.

Таблиця 6.2 - Заробітна плата верстатника згідно ТП

Технологічний процес			Показники					
	Оп.	Найменування операції	$T_{шт},$ хв.	$C_{тар},$ грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$I_{н},$ грн	$З_{о},$ грн
Базовий	075	Свердлильна з ЧПК	2,86	65,1	1,2	1,4	0,41	2,03
	095	Фрезерна з ЧПК	2,15	65,1	1,2	1,4	0,31	1,53
	$\Sigma:$						0,71	3,56
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	3,21	65,1	1,2	1,4	0,46	2,28

Амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби розраховуємо за формулою (66):

$$A_{від} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{oi}}{1000 \cdot F_d \cdot 60}, \text{ грн} \quad (6.6)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції;

t_{oi} – основний час на і-ої операції, хв;

F_d – дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

$$A_{\text{від},075} = \frac{229600 \cdot 12 \cdot 0,86}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,01 \text{ грн}$$

$$A_{\text{від},095} = \frac{229600 \cdot 12 \cdot 0,65}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,01 \text{ грн}$$

$$A_{\text{від},055} = \frac{268000 \cdot 12,2 \cdot 0,97}{1000 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,01 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 - Амортизаційні відрахування на обладнання згідно ТП

Технологічний процес			Показники				
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт}}$, хв.	К, грн	H_a , %	F_d	$A_{\text{від}}$, грн
Базовий	075	Свердлильна з ЧПК	0,86	229600	12	4015	0,01
	095	Фрезерна з ЧПК	0,65	229600	12	4015	0,01
	Σ :						0,02
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	0,97	268000	12	4015	0,01

Витрати на інструмент розраховуємо за формулою (6.7):

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \cdot \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін},ij} \cdot t_{\text{шт},ij} \cdot \eta_{\text{т}}}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)}, \text{ грн} \quad (6.7)$$

де $C_{\text{ін},ij}$ – ціна інструменту j-го виду на і-ої операції, грн./шт;

$t_{\text{шт},ij}$ – штучний час роботи j-го інструменту на і-ої операції, хв;

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на і-ої операції [21,ст.22,табл.3.8];

T_{ij} – період стійкості інструменту j-го виду на і-ої операції, хв [21,ст.22,табл.3.8];

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [21,ст.22,табл.3.8];

η_T – коефіцієнт машинного часу.

$$S_{in,075} = \frac{150 \cdot 2,86 \cdot 0,7}{15 \cdot (10 + 1)} = 1,82 \text{ грн}$$

$$S_{in,095} = \frac{150 \cdot 2,15 \cdot 0,7}{15 \cdot (10 + 1)} = 1,37 \text{ грн}$$

$$S_{in,055} = \frac{10 \cdot 3,21 \cdot 0,7}{15 \cdot (10 + 1)} = 2,04 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.4.

Таблиця 6.4 - Витрати на інструмент згідно ТП

Технологічний процес			Показники							
	Оп.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$\text{Ц}_i, \text{грн}$	Типорозміри інструменту	n_i	$T, \text{хв}$	n_j	η_{mi}	$S_{in}, \text{грн}$
Заводський	075	Свердлильна з ЧПК	2,86	150	свердло зенкер розгортка	1	15	10	0,7	1,82
	095	Фрезерна з ЧПК	2,15	150	фреза конічна	1	15	10	0,7	1,37
	$\Sigma:$									3,19
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	3,21	150	фреза конічна свердло спіральне зенкер розгортка	2	15	10	0,7	2,04

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо за формулою (6.8):

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_w \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_B} \cdot \text{Ц}_e, \text{грн} \quad (6.8)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [21,ст.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [21,ст.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [21,ст.16];

k_w – коефіцієнт,що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [21,ст.16];

Ц_e – вартість 1 кВт · год електроенергії, грн/кВт.

$$S_{e,075} = \frac{8,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 2,86}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 1,02 \text{ грн.}$$

$$S_{e,095} = \frac{8,5 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 2,15}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 0,76 \text{ грн.}$$

$$S_{e,055} = \frac{18 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 3,21}{0,85 \cdot 1,1 \cdot 60} \cdot 3,45 = 2,42 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 - Витрати на технологічну електроенергію згідно ТП

Технологічний процес			Показники									
	Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт, хв.}}$	$\text{Ц}_e, \text{грн./кВт}\cdot\text{год}$	$N_e \text{ кВт}$	k_N	$k_{\text{ч}}$	$k_{\text{од}}$	k_w	η_e	k_b	$S_e, \text{грн}$
Базовий	075	Свердлильна з ЧПК	2,86	3,45	8,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	1,02
	095	Фрезерна з ЧПК	2,15	3,45	8,5	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,76
	$\Sigma:$											1,78
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	3,21	3,45	18	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	2,42

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.9):

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N}, \text{ грн} \quad (6.9)$$

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн;

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [21,ст.16];

C_p – кількість верстатів на кожну операцію розраховуємо за формулою (6.10):

$$C_p = \frac{t_{шт-кл} \cdot N}{F_d \cdot k_b \cdot k_3 \cdot 60} \quad (6.10)$$

де k_b – коефіцієнт виконання норм часу;

k_3 – коефіцієнт завантаження обладнання.

$$C_{p,075} = \frac{2,86 \cdot 10000}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,13 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,075}=1$$

$$C_{p,095} = \frac{2,15 \cdot 10000}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,1 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,095}=1$$

$$C_{p,055} = \frac{3,21 \cdot 10000}{4015 \cdot 1,1 \cdot 0,8 \cdot 60} = 0,15 \quad \text{Приймаємо: } C_{п,055}=1$$

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.9):

$$S_{p,075} = \frac{229600 \cdot 0,02 \cdot 0,13}{10000} = 0,06 \text{ грн}$$

$$S_{p,095} = \frac{229600 \cdot 0,02 \cdot 0,1}{10000} = 0,05 \text{ грн}$$

$$S_{p,055} = \frac{268000 \cdot 0,02 \cdot 0,15}{10000} = 0,08 \text{ грн}$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.6.

Собівартість одиниці продукції обох ТП, які розраховуємо за формулою (6.2):

$$C_6 = 3,56 + 0,02 + 3,19 + 1,78 + 0,11 + 0,71 = 9,37 \text{ грн}$$

Таблиця 6.6 - Витрати на ремонт та обслуговування обладнання згідно ТП

Технологічний процес			Показники		
	Оп.	Найменування операції	K_p	C_p	S_p , грн
Базовий	075	Свердлильна з ЧПК	0,02	0,13	0,13
	095	Фрезерна з ЧПК	0,02	0,1	0,1
	Σ:				0,24
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	0,02	0,15	0,15

$$C_{\pi} = 2,28 + 0,01 + 2,04 + 2,42 + 0,08 + 0,46 = 7,29 \text{ грн}$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за варіантами наведено у табл. 6.7.

Таблиця 6.7 - Розрахунок елементів технологічної собівартості

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Проектуємий
Заробітна плата верстатника, грн	Z_o	3,56	2,28
Заробітна плата наладчика, грн	Z_n	-	-
Відрахування на амортизацію обладнання, грн	$A_{\text{від}}$	0,02	0,01
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання, грн	S_p	0,11	0,08
Витрати на різальний інструмент, грн	$S_{\text{ін}}$	3,19	2,04
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом, грн	S_n	-	-
Витрати на електроенергію, грн	S_e	1,78	2,42
Витрати інші, грн	I_n	0,71	0,46
Технологічна собівартість, грн	C_T	9,37	7,29

Також необхідно розрахувати:

1) фактичний коефіцієнт завантаження верстата розраховуємо за формулою (6.11):

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{C_{п}}, \% \quad (6.11)$$

$$\eta_{зф} = \frac{0,13}{1} = 0,13 \quad \eta_{зф} = \frac{0,1}{1} = 0,1 \quad \eta_{зф} = \frac{0,15}{1} = 0,15$$

2) кількість операцій, що виконуються на робочому місці, розраховуємо за формулою (6.12):

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} \quad (6.12)$$

$$O_{090} = \frac{0,8}{0,13} = 5,94 \quad O_{105} = \frac{0,8}{0,1} = 7,89 \quad O_{080} = \frac{0,8}{0,15} = 5,28$$

Результати розрахунків наводимо у таблицю 6.8.

Таблиця 6.8 - Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій згідно ТП

Технологічний процес			Показники					
	Оп.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	C_p	$C_{п}$	$\eta_{зф}$	O	$K_{зoi}$
Базовий	075	Свердлильна з ЧПК	2,86	0,13	1	0,13	5,94	5,94
	095	Фрезерна з ЧПК	2,15	0,1	1	0,1	7,89	7,89
	$\Sigma:$						13,82	6,91
Проектуємий	055	Фрезерна з ЧПК	3,21	0,15	1	0,15	5,28	5,28

Розрахуємо умовну економічну ефективність за формулою (6.1):

$$E_{ye} = (9,37 - 7,29) \cdot 10000 = 20800 \text{ грн}$$

Провівши аналіз розрахунків можливо сказати, що впровадження розробленого ТП приведе до зниження витрат на 20800 грн. на рік.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для компенсації природного освітлення в умовах його відсутності в темний період доби або його неефективності передбачається застосування загального штучного освітлення. Штучне освітлення вибирається та нормується у відповідності ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення». До штучного освітлення висуваються декілька вимог [22], а саме:

- забезпечити безпечне виконання виробничих обов'язків;
- безпечне переміщення будь кого із співробітників по території підприємства, по коридорах та сходах;
- економічно доцільним;
- відчуття комфорту для робітників.

Останні роки джерела освітлювальних приладів постійно удосконалюються, набуваючи цілий ряд переваг порівняно з тими засобами, що широко застосовувались навіть 10-15 років тому. Для освітлення робочих кімнат та адміністративних приміщень рекомендується впроваджувати світлодіодні LED-лампи. Вони є найбільш економічними, а, при цьому, забезпечують високій рівень світловіддачі, майже до 180 лм/Вт, тривалий термін експлуатації. В умовах промисловості важливо, що вони досить механічно міцні, не вимагають спеціальних правил утилізації. Основним недоліком є висока собівартість. Враховуючи, що для виконання будь-яких робіт на комп'ютері необхідно стабільне та якісне освітлення, то є доцільним в кімнатах технологів передбачити використання світлодіодних LED приладів. Для збереження зору в умовах його інтенсивної роботи в приміщенні рекомендується забезпечити рівень нормованого освітлення в 400 люкс. Довжина приміщення $A=18$ м, ширина $B=6$ м, висота $H=3,5$ м. Стіни та стеля світлих кольорів забезпечує високий коефіцієнт відбиття світла, це сприяє усуненню різких тіней та забезпечує більш сприятливі умови роботи.

1. Вибираємо джерелом світла - світлодіодні LED лампи, орієнтовна

потужність яких 40 Вт, а світловий потік Φ -5100лм [23, додаток В];

2. Вибір типу світильника – INOX LED50 [23 дод. В].

3. Клас світильника по світлорозподілу - прямого світла , по типу кривої сили світла – Л, напівширока, доцільно застосовувати в приміщеннях висотою від 2.5 до 6 м, що відповідає нашому робочому приміщенню.

4. Визначеному типу кривої світла відповідає коефіцієнт відношення L / h , який дорівнює 1,4 [23, табл.2].

5. Світильник захищений від проникнення пилу, $IP = 65$ [23, дод. В].

6. Оцінка коефіцієнта запасу і коефіцієнта нерівномірності освітлення - $K3 = 1,4$ [23 дод. Г, табл.4].

7. Для LED-світильників коефіцієнт нерівномірності (мінімального) освітлення z (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), дорівнює 1,1 [23, стр.12].

7 Чисельне значення індексу приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)} \quad (7.1)$$

де A - довжина приміщення, м; $A = 18$ м;

B - ширина приміщення, м; $B = 6$ м;

h -висота розміщення світильників над робочою поверхнею, м.

Кількість рядів світильників в приміщенні знаходимо за формулою:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]} \quad (7.2)$$

$$N_p = \frac{6}{(3,5 - 0,8) \cdot 1,4} = 2$$

Мінімально допустима відстань між рядами світильників:

$$L_{max} = \frac{B}{N_p} \quad (7.3)$$

$$L_{max} = \frac{6}{2} = 3$$

Висота підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = \frac{L_{max}}{[L/h]} \quad (7.4)$$

$$h = \frac{3}{1,4} = 2,14 \text{ м}$$

Висота зависання світильника від стелі:

$$h_3 = H - h_p - h \quad (7.5)$$

$$h_3 = 3,5 - 0,8 - 2,14 = 0,56 \text{ м}$$

$$i = \frac{18 \cdot 6}{2,14(18 + 6)} = 2,1$$

8. Для світильника INOX LED50 та враховуючи коефіцієнтів відбиття стелі, стін та підлоги і значення індексу приміщення ($i=2.1$), значення коефіцієнта використання світлового потоку - $\eta = 62\%$ [23, дод. Д].

9. Визначення світлового потоку лампи і загальної кількості світильників провести за схемою:

а) сумарний світловий потік установки в даному виробничому приміщенні:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\eta} \quad (7.6)$$

де E_n — нормоване значення освітленості, лк;

S — площа освітлюваної поверхні, м^2 ;

K_3 — коефіцієнт запасу;

z — коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості;

η — коефіцієнт використання світлового потоку:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{400 \cdot 108 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,62} = 107303 \text{ лм}$$

б) умовна загальна кількість світильників у приміщенні:

$$N^* = \frac{AB}{L_{max}^2} \quad (7.7)$$

$$N^* = \frac{18 \cdot 6}{3^2} = 12$$

в) розраховуємо світловий потік умовного джерела світла:

$$\Phi_{л}^* = \frac{\Phi_{\Sigma}}{N_{л}} \quad (7.8)$$

$$N_{л} = N^* \cdot n = 12 \cdot 1 = 12$$

$$\Phi_{л}^* = \frac{107303}{12} = 8942 \text{ лм}$$

г) вибираємо з джерела [23, дод. В] тип стандартної лампи з найближчим значенням до розрахункового світлового потоку лампи $\Phi_{л}$: $\Phi_{л} = 8500 \text{ лм}$, якому відповідає лампа потужністю 75 Вт, а світильника ECO LB/S LED75.

Розрахуємо коефіцієнт пропорційності m за формулою:

$$m = \frac{\Phi_{л}}{\Phi_{л}^*} \quad (7.9)$$

$$m = \frac{8500}{8942} = 0,95$$

д) визначаємо оптимальну кількість світильників в приміщенні:

$$N = N^* \cdot m \quad (7.10)$$

$$N = 12 \cdot 0,95 = 11,4$$

Таким чином, реальна кількість світильник приладів -12.

10. Перевіримо чи дійсно 12 світильників може забезпечити освітленість у 400 люкс.

$$E_p = \frac{\Phi_l \cdot N_l \cdot \eta}{S \cdot K_3 \cdot z} \quad (7.11)$$

$$E_p = \frac{8500 \cdot 12 \cdot 0,62}{108 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 380,23 \text{лк}$$

11. Визначаємо загальну потужність освітлюваної установки за формулою:

$$P_{\Sigma} = N_l \cdot P_l \quad (7.12)$$

де P_l —потужність вибраної стандартної лампи, [23, дод.В]

$$P_{\Sigma} = 12 \cdot 75 = 900 \text{ Вт}$$

Таким чином, для комфортної і безпечної роботи в кімнаті технологів необхідно встановити систему загального освітлення, до складу якої входять світильники типу ECO LB/S LED75, потужністю 75 Вт, довжиною 757 мм. Світильники необхідно розмістити у два ряди, відстань між якими 3 метри, в кожному ряду - шість штук, що забезпечує рівномірне освітлення відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [23, 24].

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи з метою підвищення якості обробки було проведено удосконалення заводського ТП виготовлення деталі «Шестерня приводу відцентрового суфлера». Було запропоновано новий метод отримання заготовок, розраховано припуски, режими різання та технологічні норми часу. У конструкторській частині запроєктовано робоче та контрольне пристосування, які значно скорочують час для виготовлення та контролю виробу.

В економічній частині було проведено розрахунок від об'єднання декількох операцій в одну. Економія становить – 20800 грн. на рік.

З метою підвищення якості поверхонь отриманих зубчастих поверхонь і продуктивності самого процесу, у розділі автоматизація розглянуто питання – «Автоматизація контролю зубчастих коліс», а у розділі спеціальне завдання – «Підвищення якості обробки зубчастого вінця шестерні фінішними методами».

В розділі охорона праці розраховані параметри освітлення приміщення відділу технологів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології авіадвигунобудування. / Яценко В. К., Ципак В. І., Коренєвський Е. Я. та ін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2000. – 245с.: ил.

2. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Технології машинобудування» (розділ – проектування технологічних процесів), для студентів напрямку 6.050502. Спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання, / Укр.: О.В. Алексеєнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011 – 86 с.

3. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисципліни «Технологічні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 6.05050201 – технологія машинобудування всіх форм навчання // Укр.: В.І. Ципка. (перевидання 2-е). Під ред., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 62 с.

4. Навчальний матеріал. Лекції з САПР ТП. Електронний ресурс: <https://uadoc.zavantag.com/text/37218/index-17.html>.

5. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.1./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 656 с.

6. А.Г. Косилова Справочник технолога-машиностроителя [Текст]:/ В 2т. Т.2./ Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова; 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с

7. Справочник инструментальщика/ И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И. А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846с.: ил.

8. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: [Учебное пособие для машиностроительных специальностей вузов] – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1983 – 256 с.

9. ГОСТ 8.051-81. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм (68829). Электронний ресурс: https://dnaop.com/html/68829/doc-%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_8.051-81

11. Підвищення точності вимірювання геометричних параметрів зубчастих коліс. Електронний ресурс: <https://nau.edu.ua/site/variables/news/2020/2%D0%9B%D1%8E%D1%82%D0%B8%D0%B9/2020.02.10%D0%94%D0%98%D0%A1%D0%95%D0%A0%D0%A2%D0%90%D0%A6%D0%98%D0%AF.docx>

12. Посібник рекомендовано до друку науково-методичною комісією факультету інженерії машин, споруд та технологій ТНТУ, протокол № 1 від 27 квітня 2016 року.

13. Координатно-вимірювальні машини. Електронний ресурс: <http://www.koda.ua/ukr/products/group.html?id=299>.

14. 3D-сканеры для метрологического контроля: выбор и характеристики. Электронний ресурс: <https://top3dshop.ru/blog/metrological-3d-scanners-review.html>.

15. В. Karpuschewski. Gear finishing by abrasive processes, В. Karpuschewski, Н.-J. Knoche, М. Hipke // CIRP Annals - Manufacturing Technology (2008) in Vol. 57 – pp. 621–640.

16. Gawronski Z, Kruszynski B. Synergistic Effects of Thermo-Chemical Treat-Ment and Super Abrasive Grinding In Gears // Manufacturing. Journal of Materials Processing Technology (2005) 159/2 – pp. 249–256.

17. Воронецкий, Я. Ю. Розроблення установки для алмазного зубохонінгування циліндричних зубчастих коліс : дипломний проєкт ... бакалавра : 131 Прикладна механіка / Воронецкий Ярослав Юрійович. – Київ, 2022. – 71 с.

18. Шліфування зубів зубчастих коліс. Електронний ресурс: <http://um.co.ua/1/1-1/1-16595.html>.

19. Институт сверхтвердых материалов им. В. М. Бакуля НАН Украины, ул. Автозаводская, 2, 04074, г. Киев, Украина

20. Зубохонингование. Електронний ресурс:
<https://studme.org/161782/tehnika/zubohoningovanie>

21. Методичні рекомендації для дипломного проєктування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спец. 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.

22. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

23. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок загального рівномірного штучного освітлення виробничих приміщень» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання /Укл. : В.І. Шмирко, О.В. Коробко, Ю.І. Троян. – Запоріжжя: каф. ОПіНС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 36с., 3 рис., 12 табл.

24. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

Період примен.	Формат	Зона	Плз	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Стр. №					Документация		
	A3			НУЗП 293154.042	Складальне креслення		
					Детали		
Підп. і дата			1		Планшайда-корпус	1	
			2		Стакан	1	
			3		Цанга	1	
			4		Втулка посадочна	1	
			5		Шток		
					Стандартные изделия		
			6		Болт М3,8-6g 13,7 ГОСТ 7798-70	5	
			7		Гайка М7.5-6Н 3.3 ГОСТ 14087-69	1	
			8		Палець Ø43-f7 11,3 ГОСТ 17774-72	1	
			9		Пружина 1086-0816 ГОСТ 18793-73	1	
			10		Ущільнювач УС-16,5 Іб ГОСТ 30778-2001	1	
Взам. інв. №			11		Ущільнювач УС-16,5 Іб ГОСТ 30778-2001	1	
Підп. і дата							
Інв. № підл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 293154.042	
	Разр.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристосування цангове для токавної обробки	Лист
	Пров.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лист
	Листов	1					
	Нконтр.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП гр.М-122М	
Утв.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			

Копіював

Формат А4

