

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ

імені адмірала Макарова

Машинобудівний навчально-науковий інститут

Кафедра інженерної механіки та технології машинобудування

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри ІМ та ТМ

д-р техн. наук, професор М.Р. Ткач

«» _____ 2025 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Удосконалення технології виготовлення

вал-шестерні редуктора ($m = 4$ мм, $z = 16$)»

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування»

Студент групи 6261м



Гончаров О.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник



Поліщук В.А.

(прізвище та ініціали)

Миколаїв 2025

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

Інститут _____ Машинобудівний навчально-науковий _____
Кафедра _____ Інженерної механіки та технології машинобудування _____
Освітній рівень _____ Магістр _____ Спеціальність _____
131 «Прикладна механіка» _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма «Технології машинобудування» _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІМ та ТМ
д.т.н., професор М.Р.ТКАЧ

“ _____ ” _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Гончаров Олександр Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи „Удосконалення технології виготовлення вал-шестерні редуктора
($m = 4$ мм, $z = 16$)” _____

керівник роботи к.т.н., доцент Поліщук В.А.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “15”10.2025р. № 1226 уч

2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи Робоче креслення деталі; нормативна література;
держстандарт; довідники

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

1) Загальний розділ: Призначення та аналіз технологічності деталі.

2) Науковий розділ – Аналіз та дослідження з наукової теми роботи.

3) Технологічний розділ: Аналіз заводського техпроцесу. Вибір заготовки.

Розробка маршрутної та операційної технології. Розрахунок припусків та режимів
різання на одну з поверхонь деталі. Технічне нормування. Вибір обладнання,
ріжучого та вимірювального інструменту.

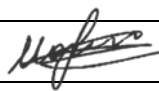
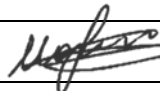
4) Конструкторський розділ - Розрахунок і проектування спеціальних конструкцій
пристроїв для верстатів та спеціального металорізального
інструменту.

5,6) Охорона праці та навколишнього середовища – Розробка заходів з охорони
праці та навколишнього середовища на ділянці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення деталі, заготовки, спеціального пристрою до металорізального верстату, спеціального металорізального або вимірювального інструменту, налагодження до однієї з технологічних операцій, планування ділянки цеху, плакати до наукової частини

6. Консультанти розділів проекту

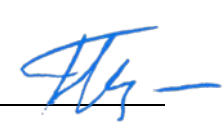
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
7,8			
Нормоконтроль	к.т.н., доц. Моргун С.О.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Оформлення та затвердження технологічного процесу. Оформлення креслення деталі (роздруковка у форматі A3)	25.10.2025	
2	Оформлення загального та технологічного розділів (1, 3)	6.11.2025	
3	Оформлення конструкторського розділу (4)	11.11.2025	
4	Оформлення наукового розділу (2)	22.11.2025	
5	Оформлення розділу з охорони праці та навколишнього середовища (7,8)	25.11.2025	
6	Оформлення розділу з цивільного захисту (9)	29.11.2025	
7	Оформлення креслень	до 1.12.2025	
8	Нормоконтроль (креслення у форматі A3)	1-9.12.2025	
9	Затвердження МР на кафедральному перегляді (ПЗ, креслення у форматі A1)	6-13.12.2025	
10	Оформлення та передача електронного варіанту роботи(текстові та графічні матеріали у форматі PDF)	11-16.12.2025	
11	Затвердження МР зав.кафедрою (подання, анотація)	11-16.12.2025	
12	Рецензування	16-22.12.2025	

Студент _____
(підпис)

 Гончаров О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

 Поліщук В.А.
(прізвище та ініціали)

« ____ » _____ 2025 р.

АНОТАЦІЯ

В магістерській роботі на тему «Удосконалення технології виготовлення вал-шестерні редуктора ($m = 4$ мм, $z = 16$)» надано опис призначення деталі та характеристика матеріалу, з якого вона виготовлена, зроблено аналіз її технологічності, вибір та обґрунтування типу виробництва, розроблено технологічний процес виготовлення, а також розглянуті питання удосконалення технології високопродуктивного зубофрезерування циліндричних коліс.

В магістерській роботі наведені розрахунки спеціальних пристосувань та ріжучого і вимірювального інструментів, розглянуті методи зменшення небезпек пов'язаних зі стружкою, розроблені заходи з охорони праці та навколишнього середовища на ділянці.

Ключові слова: вал-шестерня, заготівка, припуски, патрон повідцевий, фреза черв'ячна, скоба індикаторна.

ABSTRACT

The master's thesis on the topic "Improvement of the technology for manufacturing a gear shaft of a reducer ($m = 4$ mm, $z = 16$)" provides a description of the purpose of the part and the characteristics of the material from which it is made, an analysis of its manufacturability, the choice and justification of the type of production, the technological process of manufacturing, and the issues of improving the technology of high-performance gear milling of cylindrical wheels are considered.

The master's thesis presents calculations of special devices and cutting and measuring tools, considers methods for reducing hazards associated with chips, develops measures for labor protection and the environment at the site.

Key words: gear shaft, workpiece, allowances, lead chuck, worm cutter, indicator bracket.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Загальна частина	7
1.1. Службове призначення деталі	8
1.2. Характеристика властивостей матеріалу деталі	8
1.3. Визначення та обґрунтування типу виробництва	10
2. Наукова частина	12
2.1. Удосконалення технології високопродуктивного зубофрезерування циліндричних коліс	13
2.1.1. Принцип утворення зубів черв'ячною фрезою	13
2.1.2. Методи і способи нарізування зубів	15
2.1.3. Інструмент для нарізування циліндричних зубчастих коліс	19
2.2. Загальна теорія формоутворення поверхні циліндричних зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами	25
2.2.1. Загальні положення	25
2.2.2. Узагальнена схема формоутворення циліндричних зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами	27
2.2.3. Підрізання бічної поверхні зубчастих коліс при формоутворенні ВІП черв'ячної фрези	30
2.3. Дослідження умов формоутворення зубчастого колеса	35
2.4. Фреза для нарізання малозубих коліс	39
2.5. Висновки	44
3. Технологічна частина	46
3.1. Вибір способу отримання заготовки	47
3.2. Розрахунок штампованої заготовки	47
3.3. Розрахунок операційних припусків на механічну обробку	
3.4. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі	
3.5. Вибір технологічного обладнання	
3.6. Вибір ріжучого інструменту	
3.7. Вибір вимірювальних інструментів	

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.8. Розрахунок режимів різання та технічне нормування

3.8.1. Розрахунок режимів різання при точінні

3.8.2. Визначення технічно обґрунтованих норм часу

4. Конструкторська частина

4.1. Розрахунок і проектування пристосування

4.1.1. Службове призначення і опис пристосування

4.1.2. Розрахунок сил затиску заготовки

4.1.3. Розрахунок пристосування на точність

4.1.4. Розрахунок пристосування на міцність

4.2. Опис індикаторної скоби

5. Охорона праці

5.1. Аналіз безпечних та шкідливих виробничих факторів, які впливають на виробничий персонал ділянки

5.1. Методи зменшення небезпек пов'язаних зі стружкою

6. Охорона навколишнього середовища

6.1. Механічні забруднення

6.2. Хімічні забруднення

6.3. Фізичне забруднення

6.4. Загальні висновки

Література

Специфікації

						Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

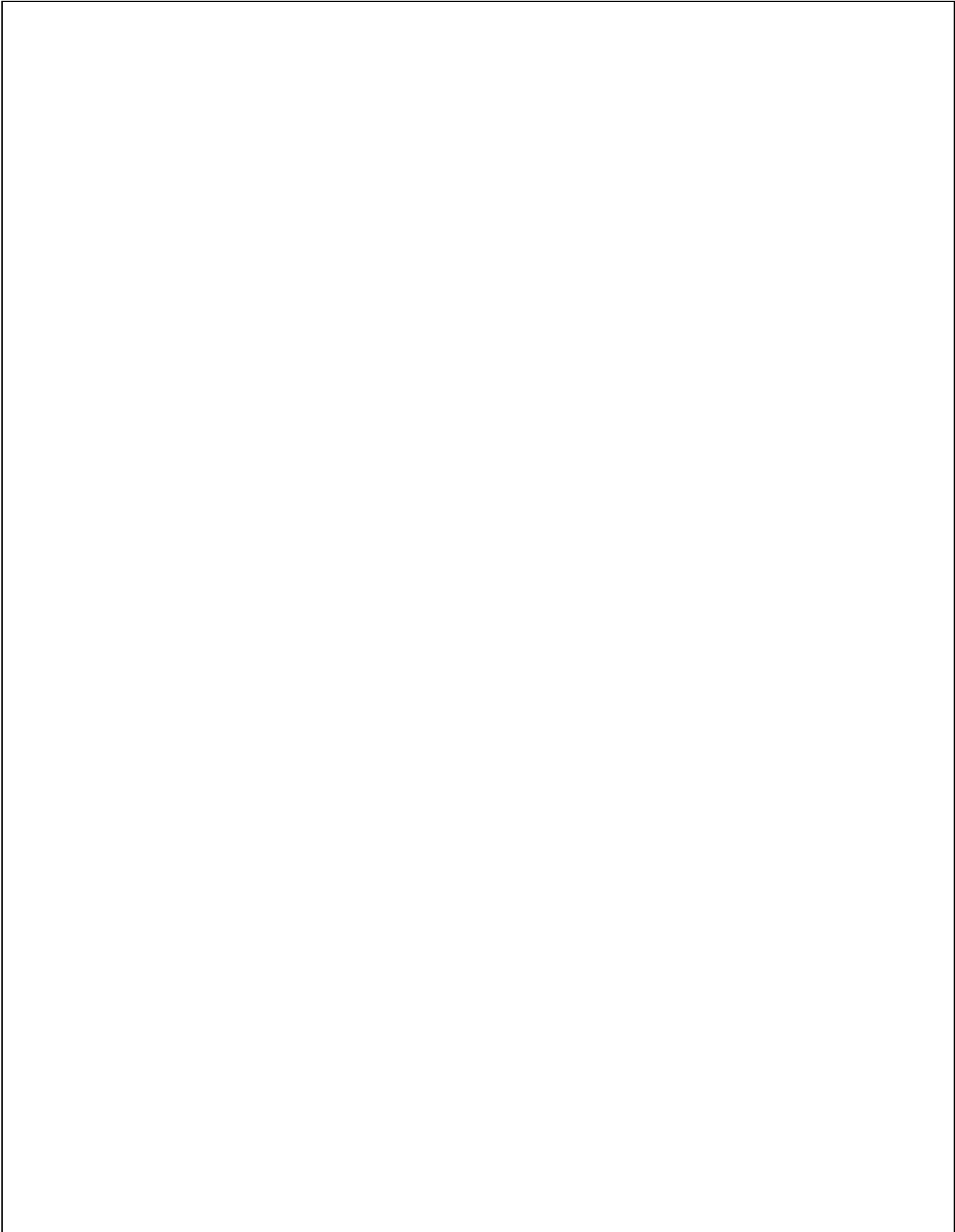
Ступінь прогресу технології машинобудування визначала інтенсивність вивчення виробничих процесів, а відповідно, і наукове їх узагальнення з встановленням закономірностей у технології механічної обробки та зборки.

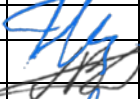
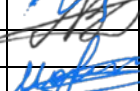
Головна задача технології машинобудування полягає у забезпеченні подальшого зросту добробуту людей на основі стійкого розвитку народного господарства, більш раціонального використання, поліпшення продуктивності праці та якості продукції.

У зв'язку з цим найбільша увага приділяється розробці, впровадженню нових високоефективних технологічних процесів, нових матеріалів, зниження металоємності виробів, економії паливно-енергетичних ресурсів, механізації та автоматизації виробничих процесів, підвищенню надійності та довговічності виробів відповідних (або переважаючих) по своєму технологічному рівню та якості кращим вітчизняним або зарубіжним аналогам.

Фахівець у галузі машинобудування повинен володіти комплексом знань, методів аналізу та розрахунку, необхідним для рішення технологічних проблем, виникаючих на всіх етапах створення машин, засобів автоматизації та систем керування для забезпечення показників якості при низькій собівартості виробництва.

						Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					6261м.02.МР.06.01.ПЗ				
					Загальна частина				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Гончаров О.М.							
Перевірив		Поліщук В.А							
Консульт.									
Н.контр.		Моргун С.О.							
Затвердив		Ткач М.Р.							
						Літ		Арк.	Аркушів
						М	Р		
						НУК			

1. Загальна частина

1.1. Службове призначення деталі

З'єднувальний вал лебідки передає обертання від валу відбору потужності провідної шестірні, яка знаходиться в постійному зачепленні з веденою шестірнею правого барабана. Шестерня лівого барабана знаходиться в зачепленні з шестірнею.

Таким чином, при включеній муфті зчеплення трактора обертання безперервно передається шестерні і далі шестерням барабанів, що обертається в протилежні сторони.

Шестерня обертається на двох конічних роликоподшипниках, укріплених на втулці, яка сидить на осі. На різьбі внутрішнього кінця осей і встановлена гайка, на якій закріплений кулак важеля управління. До торця маточини шестерні прикріплений болтами провідний конус з обкладками з феродо або пластмаси.

При повороті гайки кулаком важеля управління вісь разом з ведучим конусом буде, в залежності від напрямку обертання гайки, притискатися до веденого конусу барабана або, навпаки, відходити від нього. Барабан змонтований на осі на двох конічних роликових підшипниках (на таких же, як і шестерня).

Затяжку підшипників регулюють зміною товщини набору прокладок. На задньому кінці валика встановлений двуплечий важіль.

Одне плече важеля з'єднане з пружиною, а інше — з роликом, що спирається на кулак гайки управління.

1.2. Характеристика властивостей матеріалу деталі

Матеріал вал-шестерні – сталь 20Х. Ця сталь застосовується при виготовленні втулок, шестерень дисків та інших цементованих деталей, до яких пред'являються вимоги високої поверхні при невисокої міцності серцевини, деталей, що працюють в умовах зносу при терті.

Хімічні і механічні властивості наведені в табл.1.1 і 1.2.

					6261м. 02.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічний склад, %

Таблиця 1.1

C	Si	Mn	Cr	P	S	Cu	Ni
				не більш			
0,17- 0,23	0,17- 0,37	0,50- 0,80	0,70- 1,00	0,035	0,035	0,30	0,30

Механічні властивості поковок

Таблиця 1.2

Термооб- робка	Січення, мм	КП	$\tau_{0,2}$	τ_B	σ_B	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ, не більш
			МПа		%			
			не менше					
Нормалізація	100-300	195	195	390	23	50	54	111-156
Закалка, відпуск	100-300	275	275	530	17	38	34	156-197

Технологічні властивості: Температура кування, °С, початок 1260, кінця 750. Заготовки перерізом до 200 мм охолоджуються на повітрі; 201-700 мм піддаються низькотемпературного відпалу.

Зварюваність – зварюється без обмежень (крім хіміко-термічно оброблених деталей). Способи зварювання: РДС, КТС без обмежень.

Оброблюваність різанням в горячекатанном стані при НВ =131 і $\sigma_B = 460$ МПа $K_{VVCST} = 1,3 K_{VTV.CPL} - 1,7$

Флокеночутливість – малочутливі.

Схильність до відпускної крихкості – не схильна.

Зуби шестерні піддаються цементації, глибина шару $h = 0,8...1,2$;

Твердість шестерні –207-340 НВ – піддається загартуванню.

					6261м. 02.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Визначення та обґрунтування типу виробництва

Тип виробництва – це класифікаційна категорія, виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності, стабільності і об'єму випуску продукції.

Організація виробництва і характер технологічного процесу, вживані верстати і інструменти залежать від кількості виробів, що виготовляються, і трудомісткості їх виготовлення.

У машинобудівному виробництві розрізняють три основних типу виробництва: масове, серійне, одиничне. Приналежність виробництва до того або іншого типу визначається ступенем спеціалізації робочих місць, номенклатурою виробів, формою руху цих об'єктів по робочим місцям.

Ступінь спеціалізації робочих місць характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, під яким кількість різних операцій, що виконуються на одному робочому місці протягом місяця:

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P},$$

де O – число різноманітних операцій, які виконуються на робочих місцях ділянки протягом місяця; P – кількість робочих місць на ділянці або в цеху.

Якщо за робочим місцем, незалежно від його завантаження, закріплена лише одна операція, то $K_{з.о.} = 1$, що відповідає масовому виробництву.

При $1 < K_{з.о.} < 10$ – багатосерійне виробництво;

При $10 < K_{з.о.} < 20$ – середньосерійне;

При $20 < K_{з.о.} < 40$ – дрібносерійне;

При $K_{з.о.} > 40$ – одиничне.

Для нашого випадку:

число операцій, які виконуються на ділянці 7;

число робочих місць – 7; отже $K_{з.о.} = 7/7 = 1$ – що відповідає багатосерійному виробництву.

Попередньо тип виробництва можа визначити за масою деталі і річною програмою випуску. Приймаємо середньосерійний тип виробництва.

					6261м. 02.МР.06.01.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

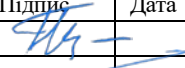
Залежність типу виробництва від обсягу випуску (шт.) і маси деталі

Таблиця 1.3

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	одиничне	дрібносерійне	середньосерійне	багатосерійне	масове
< 1,0	< 10	10-2000	1500- 100 000	75 000- 200 000	200 000
1,0-2,5	< 10	10-1000	1000- 50 000	50 000- 100 000	100 000
2,5-5,0	< 10	10-500	500-35 000	35 000-75 000	75 000
5,0-10	< 10	10-300	300-25 000	25 000-50 000	50 000
> 10	< 10	10-200	200-10 000	10 000-25 000	25 000

Розділення серійного виробництва на багатосерійне, дрібносерійне, середньосерійне – умовно, оскільки в різних галузях машинобудування при одній і тій же кількості виробів, що випускаються, в серії, але при істотній відмінності їх розмірів, складності і трудомісткості виробництва може бути віднесено до різних типів.

Для серійного виробництва характерно застосування як універсального, так і спеціального обладнання, яке розташовується по ходу технологічного процесу; оснастка – уніфікована. Технологічний процес розробляється поопераційне, кваліфікація робочих – середня.

					6261м.02.МР.06.02.ПЗ				
					Наукова частина Введіть текст				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Гончаров О.М.							
Перевірив		Поліщук В.А							
Консульт.									
Н.контр.		Моргун С.О.							
Затвердив		Ткач М.Р.							
					Літ		Арк.		Аркушів
							М	Р	
					НУК				

2. Наукова частина

2.1. Удосконалення технології високопродуктивного зубофрезерування циліндричних коліс

2.1.1. Принцип утворення зубів черв'ячної фрезою

Незважаючи на те що обкатне зубофрезерування черв'ячними фрезами відомо вже більше 100 років, його широко застосовують в сучасній машинобудівній промисловості завдяки універсальності, а також високих показників продуктивності і точності. На зубофрезерних верстатах черв'ячними фрезами нарізають зубчасті колеса зовнішнього зачеплення з прямими і косими зубами, конусної і бочкоподібної форми, черв'ячні колеса, шліцьові з'єднання з прямобічним і евольвентним профілем, зірочки ланцюгових передач та інші деталі.

При обробці зубчастих коліс з твердістю HB=150-200 цільними і збірними черв'ячними фрезами класу А (ГОСТ 9374-80) стабільно досягається 8-9 ступінь по ГОСТ 1643-81 і шорсткість поверхні $R_a = 1,6-5,0$ мкм. Якщо потрібна вища 7-8 ступінь точності, то застосовують черв'ячні фрези класу АА, зубофрезерні верстати і технологічне оснащення високої точності і жорсткості в статичному стані і під робочим навантаженням.

Для забезпечення згинальної і контактної витривалості сталеві зубчасті колеса зазвичай піддають хіміко-термічної обробки (ХТО). В результаті ХТО поверхню зубів отримує високу твердість HRC= 58-63 і в'язку серцевину HRC =33-45. Однак під дією термічних деформацій точність зубів знижується на 1-2 ступеня.

У зв'язку з цим зубофрезерування черв'ячними фрезами застосовують в якості:

- попередньої обробки зубів під подальше шевінгування, шліфування, хонінгування;

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- остаточної обробки зубів циліндричних коліс загального машинобудування невисокої точності, наприклад крупномодульних з зовнішнім діаметром ≥ 1500 мм.

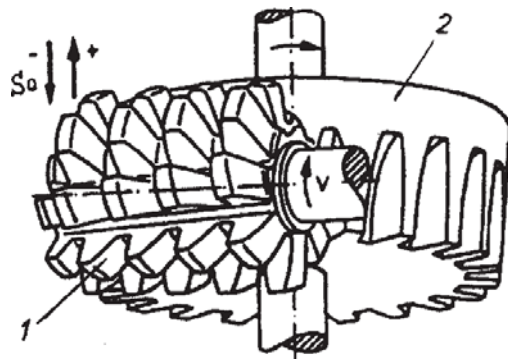


Рис.2.1. Принцип утворення зубів циліндричних коліс черв'ячною фрезою

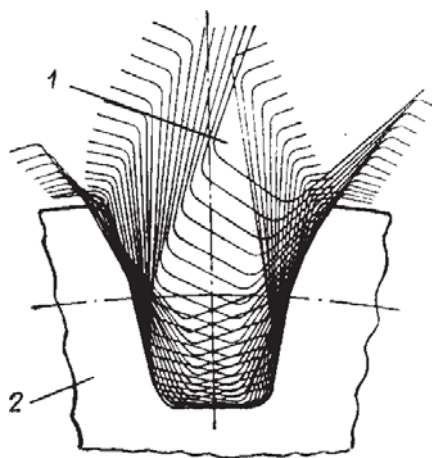


Рис.2.2. Схема утворення евольвентного профілю зубів

При фрезеруванні зубчастого колеса 2 (рис.2.1.) Методом обкату профіль зубів утворюється черв'ячної фрезою 1 з вихідним контуром виробляє зубчастій рейки при швидкості головного руху різання V і подачі на оборот S_0 . Черв'ячна фреза є черв'яком, її витки розділені поздовжніми стружковими канавками на окремі зуби з прямолінійним профілем, у яких в результаті затилування виникають задні і бічні кути, необхідні для обробки різанням. Евольвентний профіль зубів колеса утворюється прямолінійними ріжучими крайками фрези в результаті їх взаємного обкату.

На рис.2.2 показано, як один за одним зуби 1 черв'ячної фрези входять в контакт з бічними поверхнями і дном западини зубів колеса 2 і формують евольвентний профіль.

Найбільшого поширення набули методи зубофрезерування черв'ячної фрезою з осьовим, радіально-осьових і діагональних рухом подачі, а також двопрохідне зубофрезерування.

2.1.2. Методи і способи нарізування зубів

Нарізування циліндричних зубчастих коліс. Циліндричні прямозубі та косозубі колеса нарізають двома основними методами: копіювання і обката.

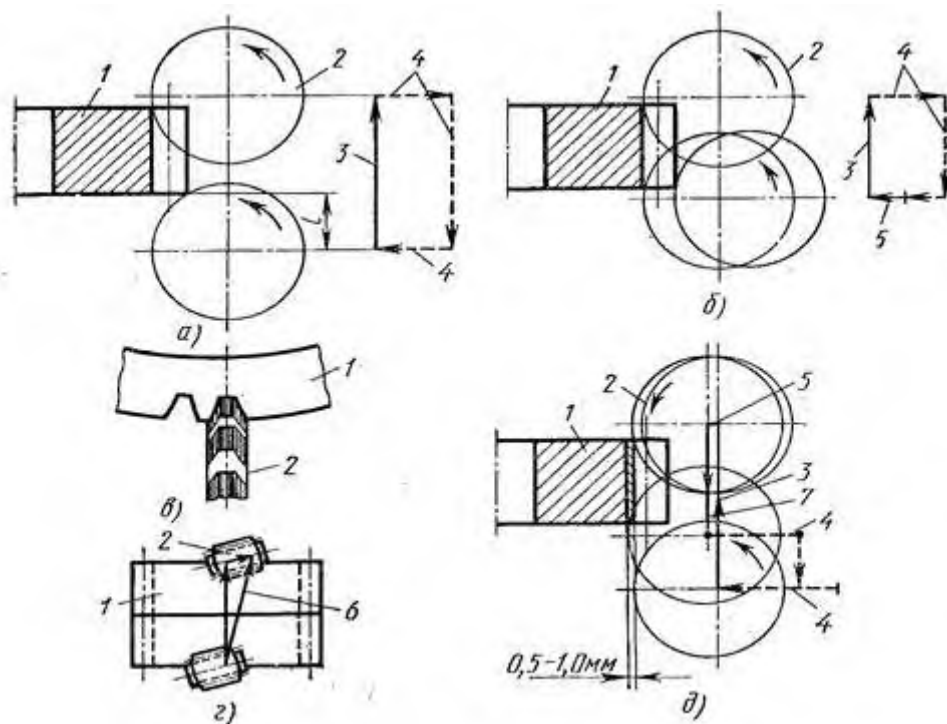


Рис.2.3. Схеми методів зубофрезерування

метод обката: а - з осьовою подачею; б - з радіально-осьовою подачею; в - метод копіювання дисковою фрезою; г - з діагональною подачею; д - двопрохідне зубофрезерування; 1 - заготовка, 2 - ріжучий інструмент, 3 - осьова подача, 4 - холості ходи, 5 - радіальна подача, 6 - тангенціальна подача, 7 - осьова подача другого ходу

Метод копіювання, при якому профіль ріжучої частини інструменту відповідає профілю западини зуба нарізується колеса (рис.2.3, в), має в основному малу продуктивність і невисоку точність, тому його застосовують обмежено, зазвичай в одиничному виробництві для обробки невідповідальних зубчастих передач (наприклад, дисковими модульними фрезами на універсально-фрезерних

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

верстатах з використанням ділильної головки). Метод копіювання пальцевими модульними фрезами застосовують для обробки крупномодульних циліндричних і шевронних коліс, а також коли виготовлення черв'ячними фрезами неекономічне.

Метод обката, що володіє більш високою продуктивністю і точністю, широко застосовується в різних галузях промисловості. В даний час найбільшого поширення набули наступні способи зубофрезерування методом обката.

Зубофрезерування з осьової подачею здійснюється при подачі черв'ячної фрези паралельно осі оброблюваного колеса (рис.2.3, а). Цей універсальний спосіб має найбільше застосування в промисловості для нарізування циліндричних коліс та шліцевих валів на звичайних зубофрезерувальних верстатах. До недоліків цього способу відноситься велика довжина врізання l , яка зростає зі збільшенням діаметра черв'ячної фрези і кута нахилу лінії зуба.

Зубофрезерування з радіальної осьової подачею полягає в тому, що подача черв'ячної фрези на початку різання і до отримання повної висоти зуба здійснюється радіально до осі оброблюваного колеса, потім вона припиняється і включається осьова подача (рис.2.3, б). Цей спосіб здійснюється на спеціальних зубофрезерних верстатах звичайними черв'ячними фрезами. Продуктивність при радіально-осьової подачі вище, ніж при осьової, за рахунок скорочення часу на врізання. Через підвищений знос зубів черв'ячної фрези радіальна подача вибирається в межах 0,7-0,9 мм / об. Цей спосіб рекомендується застосовувати там, де це необхідно за умовами обробки, наприклад, при зубофрезеруванні зубчастих коліс з великим нахилом лінії зуба і закритих зубчастих вінців, при зубофрезеруванні двома робочими ходами і роботі черв'ячними фрезами великого діаметра. У звичайних умовах спосіб з осьової подачею є більш економічним.

Зубофрезерування з діагональною подачею здійснюється на спеціальних зубофрезерувальних верстатах, де осьова подача поєднується з тангенціальною. Фреза переміщається по діагоналі паралелограма, який складається з двох подач - осьової і тангенціальною (рис.2.3, г).

Зубофрезерування з діагональною подачею в порівнянні з осьовим покращує сполучуваність профілів зубів прямозубих коліс при обкаті завдяки

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

схрещуванню огинають різів. Це особливо важливо для зубчастих коліс, які в подальшому не піддаються остаточній обробці (наприклад, зубчасті колеса насосів). Зменшується також шорсткість поверхні на профілях зубів. Істотно підвищується період стійкості черв'ячних фрез через більш рівномірного зносу зубів по всій робочій довжині фрези.

Цей спосіб доцільно застосовувати для обробки коліс з широкими зубчастими вінцями, пакета коліс або коліс з підвищеною твердістю, коли необхідно мати великий період стійкості інструменту в процесі обробки. При діагональному зубофрезеруванні економічно виправдано застосовувати довгі і точні черв'ячні фрези.

Зубофрезерування зі змінною осьової подачею засноване на збільшенні подачі при вході і виході черв'ячної фрези з заготовки. Фрезерування зубчастого колеса починається на максимальній подачі, потім вона поступово зменшується до постійної величини. На постійній подачі верстат продовжує працювати до початку виходу фрези з заготовки. У цей момент подача знову автоматично підвищується до встановленого максимального значення.

Збільшення подачі викликає збільшення шорсткості поверхні на зубах, тому цей спосіб застосовують для зубчастих коліс до $m = 5$ мм під наступні чистові операції - шевінгування або шліфування, а також в разі нарізування зубчастих коліс з великим кутом нахилу лінії зуба, де шлях врізання досить великий. Зубофрезерування зі змінною осьової подачею дозволяє підвищити продуктивність на 20-35%.

Суть методу зубофрезерування за два робочих ходу полягає в тому, що перший і другий робочі ходи здійснюються послідовно, за один установ заготовки (рис.2.3, д), причому другий робочий хід проводиться при мінімальному припуску - глибина різання становить 0,5-1,0 мм. Перший робочий хід, як правило, виробляють на попутній подачі, другий - на зустрічній. Через малого припуску при другому робочому ході швидкість різання і осьова подача вище, ніж при першому.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При зубофрезерування за два робочих ходу, яке застосовують для коліс з модулем понад 4 мм крім підвищення продуктивності досягається висока стабільна точність параметрів зубів, особливо у напрямку зуба, створюються сприятливі умови для автоматизації процесу зубофрезерування, збільшується період стійкості інструменту і продуктивність на наступній операції зубошевінгування.

При зустрічному зубофрезеруванні проникнення ріжучого інструменту має форму коми, на початку її товщина мінімальна, а в кінці - максимальна. При цьому ріжучі кромки, особливо коли вони затуплені. На початку врізання не ріжуть, а ковзають по поверхні, ущільнюють її, самі піддаються підвищеному зносу. Умови різання значно ускладнені.

При попутному зубофрезеруванні навпаки, товщина стружки на початку різання максимальна, а в кінці - мінімальна. В цьому випадку незначне ковзання на початку різання створює більш сприятливі умови різання. Верстат менш завантажений і працює більш спокійно. Період стійкості інструмента підвищується на 10-30%, досягається хороша (матова) поверхню, зменшуються вириви на профілях зубів, можливі при зустрічному зубофрезеруванні, утворюється менше задирок на торцях. Особливо ефективно попутне фрезерування при обробці в'язких матеріалів. При обробці чавуну воно не має переваг. При попутної подачі гвинт з гайкою для переміщення супорта з фрезою практично не повинен мати зазору.

Поєднане зубофрезерування і зубодовбання - новий напрямок в розширенні технологічних можливостей зубофрезерних верстатів. Створено верстати, на яких можна виконувати одночасно зубофрезерування і зубодовбання двох або трьох зубчастих вінців, а також тільки зубофрезерування або зубодовбання зовнішніх або внутрішніх вінців. Верстати виготовлені на базі зубофрезерного верстата. Зубодовбальна голівка встановлена замість задньої колони.

Основні переваги поєданого зубофрезерування і зубодовбання: більш короткий час виготовлення однієї деталі завдяки одночасній обробці двох-трьох

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зубчастих вінців; для обробки двохвінцевого колеса необхідний один верстат, одне затискні пристрої, при цьому скорочується вартість обладнання, виробнича площа і та ін.; підвищується точність обробки щодо концентричності обох зубчастих вінців, так як вони нарізуються за одну установку.

2.1.3. Інструмент для нарізування циліндричних зубчастих коліс

Черв'ячна фреза являє собою одно- або багатозахідний черв'як, який має певний вихідний контур зубчастої рейки, а розташовані уздовж осі поздовжні стружкові канавки утворюють зуби з ріжучими крайками, необхідні для обробки різанням.

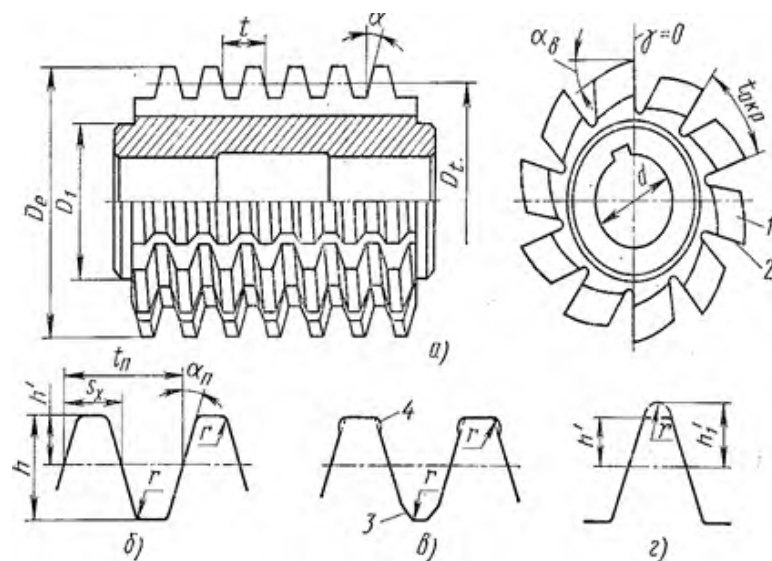


Рис.2.4. Черв'ячна фреза суцільна:

a - загальний вид фрези; *б, в, г* - профіль зуба фрези в нормальному перетині; D_e - зовнішній діаметр; D_t - ділительний діаметр; t - осьової крок; t_n - нормальний крок; $t_{окр}$ - окружний крок фрези; S_x - товщина зуба; h - висота зуба; h' - висота головки; D_r - діаметр контрольного буртик

Конструктивні елементи черв'ячної фрези наведені на рис.2.4. Модуль і кут профілю фрези повинні дорівнювати модулю і куту профілю нарізається колеса. Зуби 1 черв'ячної фрези затилування по Архімедовій спіралі, завдяки чому при переточуванні фрези по передній поверхні 2 задні кути при вершині зуба $\alpha_b=10-12^\circ$ і на бічній ріжучої кромці $\alpha_\theta = 2-4^\circ$, а також товщина зуба практично не

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

змінюються. Для чистових черв'ячних фрез передній кут $\gamma = 0$, для чорнових фрез $\gamma = 5-10^\circ$. Стандартний профіль зубів фрези в осьовому перетині має прямі боки (рис.2.4, б). Черв'ячні фрези під шліфування і шевінгування мають модифікований профіль (рис.2.4, в). Потовщення, так названий «вусик» 4 на голівці зуба фрези, служить для поднутрення ніжки зуба колеса, фланк 3 зрізає фаску на вершині зуба колеса. Для підвищення міцності зубів колеса головка зуба фрези округляється і висота її збільшується (рис.2.4, г), при цьому необхідно відповідно збільшити повну висоту зуба колеса.

Залежно від виду виробництва і необхідної точності найбільш широке застосування мають чотири основні групи черв'ячних фрез: цільні фрези зі шліфованим профілем, збірні фрези з поворотними вставними рейками, цільні затилування фрези з нешліфованим профілем підвищеної точності і твердосплавні черв'ячні фрези.

Суцільні фрези зі шліфованим профілем застосовують для обробки високоточних циліндричних коліс з прямими і косими зубами, черв'ячних коліс, шліців і зубчастих коліс в одиничному і серійному виробництві. Чистові черв'ячні фрези виготовляються по ГОСТ 9324-80Е. Точність виготовлення черв'ячних фрез різна. Фрези найвищої точності класу АА призначені для обробки зубчастих коліс 7-го ступеня точності (ГОСТ 1643-81) з модулем 1-10 мм. Цілісні чистові черв'ячні фрези загального призначення класів точності А, В і С використовують для обробки коліс з модулем 1-14 мм. Чорнові черв'ячні фрези виготовляють зі зниженою точністю, в більшості випадків з нешліфованим профілем зубів. Цілісні фрези з модулем приблизно до 10 мм мають невеликі довжину і зовнішній діаметр. У фрез цієї групи довжина фрези практично дорівнює зовнішньому діаметру. Суцільні фрези, як правило, виготовляють однозаходними.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

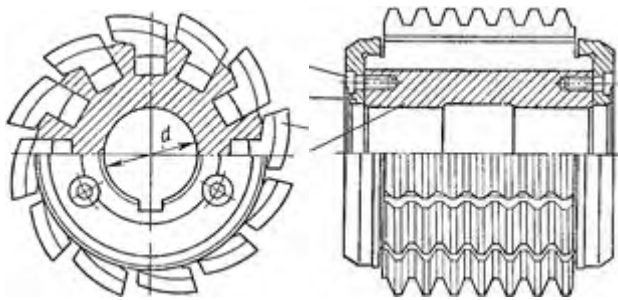


Рис.2.5. Черв'ячна фреза з поворотними вставними рейками

Черв'ячні фрези з поворотними вставними рейками застосовують головним чином в умовах масового виробництва. Ці фрези мають велику довжину рейок (до 200 мм), кількість заходів 2-3, підвищену твердість рейок ($HRC = 66-68$), ширина зуба рейки збільшена до 20-25 мм, кількість рейок коливається в межах 10-17. Спостерігається тенденція до збільшення зовнішнього і внутрішнього діаметрів.

Основна причина, яка викликала створення довгих фрез, пов'язана зі збільшенням часу роботи фрези на верстаті. В результаті підвищення потужності, жорсткості і автоматизації сучасних зубофрезерних верстатів, а також збільшення режимів різання машинний час зубофрезерування значно скоротився і фрезу доводиться часто міняти на верстаті. Крім того, довгі фрези більш економічні, ніж короткі.

На рис.2.5. показана збірна черв'ячна фреза з поворотними вставними рейками, що має найбільше застосування в промисловості. Фрези цієї конструкції мають великий період стійкості, забезпечують високу точність і продуктивність.

Остаточне шліфування профілю рейок виробляють на різбошліфувальному верстаті з великими бічними і задніми кутами. Шліфування здійснюється великим колом із забезпеченням високої продуктивності і якості. Підігріваючи робочий корпус 1 черв'ячної фрези, запресовують рейки 2 в прямокутні пази. Щільна посадка рейок гарантує високу жорсткість проти осьового переміщення. Додатково рейки утримуються бічними кришками 3, які запресовуються в нагрітому стані з натягом 0,1 мм і закріплюються гвинтами 4.

Суцільні черв'ячні фрези з нешліфованим профілем підвищеної точності відрізняються від шліфованих тим, що після гарту профіль зубця не піддається

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

механічній обробці. Їх точність в порівнянні з фрезами зі шліфованим профілем нижче і відповідає класу В. Фрези з нешліфованим профілем в порівнянні з цільними фрезами зі шліфованим профілем мають більше число переточувань, великі задні і бічні кути, які забезпечують підвищений період стійкості, і нижчу вартість.

За останні роки намітився новий напрямок при виготовленні фрез з нешліфованим профілем. З метою підвищення їх точності до класу А профіль зубів фрези після термообробки піддають електроіскровий обробці.

Цілісні фрези, виготовлені методом електроіскровий обробки, широко застосовують в автомобільній промисловості під подальше шевінгування. Фрези з модулем від 1,75 до 3,5 мають велику довжину 150 мм, малий зовнішній діаметр в межах 65-77 мм. Шпонковий паз для передачі обертання роблять в отворі або на торці, в останньому випадку внутрішнє отвір зменшують - жорсткість фрези збільшується. Для підвищення періоду стійкості на зуби фрези наносять покриття з нітриду титану.

Твердосплавні черв'ячні фрези виготовляють цільними і збірними з монолітними твердосплавними рейками. У фрез з модулем понад 10 мм твердосплавні пластини припаюють до зуба корпусу фрези.

Через часті викришування різальних крайок, високу вартість і практично відсутності спеціальних зубофрезерних верстатів з високою жорсткістю і потужним приводом область застосування твердосплавних фрез обмежена. Твердосплавні фрези в основному застосовують для обробки зубчастих коліс з неметалічних матеріалів (пластмас) і кольорових металів в годинниковою і приладобудівної промисловості.

При обробці сірого чавуну викришуванні різальних крайок не спостерігається, тому ряд провідних автомобільних заводів застосовують ці фрези в серійному виробництві. Твердосплавні фрези застосовують і для обробки сталевих зубчастих коліс малого модуля 1-2,5 мм. Ці колеса нарізають на спеціальних зубофрезерних верстатах при швидкості різання 200-300 м/хв.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Великий негативний передній кут на зубах фрези забезпечує рівномірне різання при великій подачі з мінімальним зусиллям різання і відсутністю ударів і вібрацій. Ці фрези знімають невеликий припуск збоку зуба (0,1-0,4), не торкаючись дна западини, що сприяє отриманню високої якості шорсткості бічних поверхонь зубів колеса ($Ra = 1-2$ мкм). Великий період стійкості фрези дозволяє остаточно обробляти зубчасті колеса великого діаметру без проміжної її заточки із забезпеченням високої якості.

Багатозахідні черв'ячні фрези застосовують для підвищення продуктивності верстата при зубофрезеруванні. Щоб раціонально використовувати переваги многозаходних фрез, необхідне дотримання певних умов.

Однозахідна черв'ячна фреза має тільки одну гвинтову лінію (виток), навиту на зовнішню циліндричну поверхню. За один оборот такий фрези обробляється зубчасте колесо повернеться на один зуб. Двохзахідна черв'ячна фреза має дві гвинтові лінії, навиті на зовнішню циліндричну поверхню. За один оборот фрези колесо повернеться на два зуба та ін.

Таким чином, при зубофрезеруванні багатозахідними фрезами заготовка обертається швидше по відношенню до фрези в прямій залежності від числа заходів. Це є головною перевагою багатозахідного зубофрезерування. Час фрезерування двоохзахідною фрезною вдвічі менше, ніж однозахідною. Однак при роботі двоохзахідною фрезною перетин проникнення ріжучого інструменту більше, ніж однозахідною. Наприклад, 12-зуба однозахідна фреза при роботі за методом обкату формує профіль зуба колеса 12 різками, двоохзахідна - 6, а трьохзахідна - тільки 4 різками. Отже, перетин стружки у багатозахідних фрез збільшується, профіль зубів колеса стає менш точним. Ось чому доводиться кілька зменшувати величину подачі при роботі багатозахідними фрезами. При переході з однозахідних фрез на двоохзахідні продуктивність збільшується на 40-50%, а трьохзахідних - на 60-70%. Крім того, при застосуванні багатозахідних фрез число зубів колеса не повинно бути кратним числу заходів фрези. Помилки в західній фрезі викликають похибку в кроці певних зубів колеса під час зубофрезерування, усунути які на подальших операціях важко. У однозахідної фрези всі зуби колеса

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворюються одним заходом, отже, помилки фрези впливають на всі зуби однаково.

Коли відношення числа зубів колеса до числа заходів фрези виражено цілим числом, наприклад у разі нарізання зубчастого колеса з числом зубів 22 двохзахідною фрезою, то кожен з заходів фрези нарізають тільки певні западини зубів, парні або непарні при кожному оберті заготовки. Тому помилки кроку і профілю між заходами фрези будуть передані певним зубам вчасно зубофрезерування.

Наступною важливою умовою є відношення між числом заходів фрези і числом стружкових канавок, який мав би бути кратним. Для зменшення похибки профілю зубів колеса при фрезеруванні багатозахідними фрезами необхідно, щоб ці фрези мали більше стружкових канавок. Щоб при цьому не зменшилася ефективна ширина зуба фрези, слід збільшити зовнішній діаметр.

У зв'язку зі створенням нових, більш жорстких зубофрезерних верстатів застосування багатозахідних фрез з кожним роком зростає. У більшості випадків багатозахідні фрези застосовують при попередньому зубофрезерування під подальше шевінгування або шліфування. При чистовому нарізуванні багатозахідні фрези використовують там, де точність є другорядним умовою, наприклад для обробки зірочок, зубчастих вінців маховика та ін.

При виборі параметрів черв'ячної фрези необхідно враховувати ряд факторів.

Переваги великого діаметра фрези: якомога більшу кількість зубів і менше навантаження на зуби фрези, що дозволяє підвищити продуктивність верстата, більш висока точність огинають різів.

Переваги малого діаметра фрези: невеликі довжина врізання і шлях перебігаючи фрези, а також більш висока частота обертання фрези підвищують продуктивність і зменшують навантаження на верстат.

При обробці зубчастих коліс в масовому і великосерійному виробництві економічно застосовувати довгі черв'ячні фрези, вони мають великий термін

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

служби. У дрібносерійному виробництві через більш низької вартості застосовують короткі фрези.

При нарізанні зубчастих коліс з кутом нахилу зубів понад 20° доцільно застосовувати фрези з збірними конусом. Такі фрези зменшують шлях врізання, працюють без пересування в одному положенні. Кут забірного конуса вибирають так, щоб всі його зуби брали участь в різанні. На якій стороні фрези повинна бути виконана для огорожі частина, залежить від напрямку підйому гвинтової лінії фрези, напрямки лінії зуба колеса, способу фрезерування (з попутним або зустрічної подачею). Косозубі колеса з правим напрямком лінії зуба краще нарізати правозахідними черв'ячними фрезами, а з лівим напрямком - лівозахідними фрезами.

Особливо велике значення для підвищення ефективного використання черв'ячної фрези має пристрій для автоматичного переміщення її вздовж осі. У процесі різання зуби фрези знімають різну за величиною стружку в залежності від її положення щодо осі оброблюваного колеса. Одні зуби знімають великий шар металу, інші невеликий, а багато хто взагалі не беруть участь в різанні. Зуби навантажені по-різному, тому знос їх також різний. Більш навантажені ріжучі крайки зубів мають великий знос. В процесі заточки в один розмір зшліфовують як зношені зуби, так і ті, які не брали участі врізанні. Щоб усунути цей недолік (повністю використовувати всі зуби фрези), розроблено пристрій для автоматичного переміщення фрези. Фреза періодично переміщується вздовж осі на певну величину після обробки одного колеса, пакета або партії зубчастих коліс.

На рис.2.6. представлений графік зносу зубів черв'ячної фрези по задній поверхні при ручному 1 і автоматичному 2 її переміщенні. При ручному переміщенні фрези в порівнянні з автоматичним спостерігається значна нерівномірність в затуплення зубів і більш низька стійкість. Впровадження механізму автоматичного переміщення черв'ячних фрез дозволяє підвищити період стійкості на 20 ~ 40% за рахунок більш повного і рівномірного затуплення зубів. Крім того, підвищується продуктивність, полегшуються умови праці наладчика і підвищується якість обробки.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

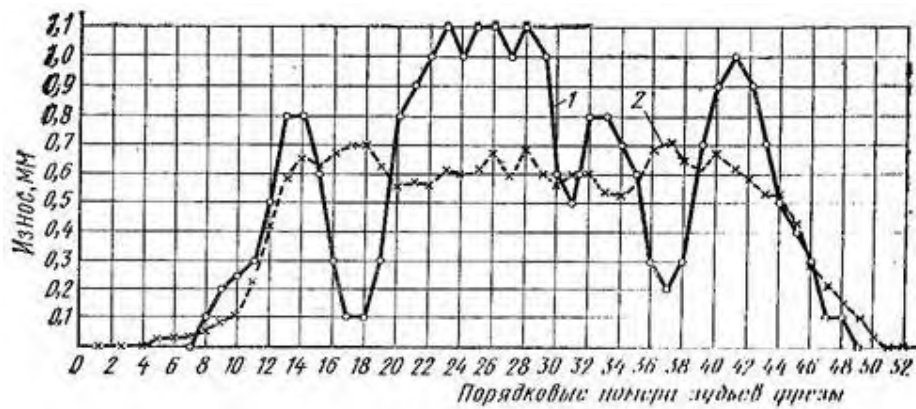


Рис.2.6. Характер зносу зубів черв'ячної фрези

Зуби фрези, що знаходяться на вхідній стороні, зношуються більше, ніж інші, тому періодичне переміщення повинно бути спрямоване проти обертання оброблюваного колеса. В цьому випадку невикористані зуби фрези на вихідній стороні будуть остаточно нарізати зуби колеса. На верстатах з автоматичним переміщенням інструменту особливо ефективно працювати довгими черв'ячними фрезами.

При автоматичному переміщенні фрези важливе значення мають величина періодичного переміщення і положення фрези відносно осі нарізується колеса в початковому і кінцевому положенні. Ці величини визначаються дослідним шляхом в кожному конкретному випадку. Якщо при прийнятій величині пересування знос фрези малий, величину пересування необхідно зменшити і, навпаки, величину пересування збільшити, якщо знос великий. Оптимальна величина пересування зазвичай знаходиться в межах 0,8-2,0 мм.

2.2. Загальна теорія формоутворення поверхні циліндричних зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами

2.2.1. Загальні положення

Згідно основних положень теорії формоутворення поверхонь обробка поверхні зубчастих коліс черв'ячними фрезами відноситься до схем третього класу, яка зводиться до кочення з ковзанням гіперболоїда по гіперболоїду.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

ВІП таких фрез визначається за другим способом утворення вихідних інструментальних поверхонь [11-16]. Де твірна допоміжна поверхня Т є зуборізна інструментальна рейка спряжена з зубчастим колесом. В такому випадку робоча бічна поверхня ВІП фрези є евольвентна гвинтова поверхня, це питання досить детально розроблено в існуючих джерелах літератури з цього питання.

Проте при виготовленні зубчастих коліс вирішується не пряма задача знаходженні ВІП, а обернена при чому профіль зуборізної рейки є твірна архімедової чи конволютної гвинтової поверхні, яка і є ВІП проектуємої фрези. Тому основне питання проектування фрез є знаходження геометричних параметрів профілю зуба колеса, що утворені ВІП неевольвентною гвинтовою поверхнею рейки фрези.

Існуюча теорія формоутворення поверхні зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами ґрунтується на багатьох припущеннях. Одним із таких є те, що процес формоутворення при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами представляється, як процес формоутворення плоскою рейкою, що зводить цю задачу до вирішення у площині, це не зовсім вірно. І це також не пояснює багатьох розбіжностей у порівнянні результатів такого моделювання з поверхнею реально оброблених зубчастих косозубих коліс, що не можуть бути віднесені до похибок від технологічної системи викликаними явищами, що супроводжують процес різання.

Для вирішення цього необхідно розглянути узагальнену схему формоутворення циліндричних зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами. Така схема повинна враховувати формоутворення не тільки прямозубих зубчастих коліс черв'ячними фрезами, але й косозубих і також на базі цих коліс необхідно розглянути варіант формоутворення зубчастих коліс з профільною модифікацією колеса у вздовж ширини зуба, що також є актуальним у використанні таких коліс в сучасних машинах та механізмах.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.2. Узагальнена схема формоутворення циліндричних зубчастих коліс при зубофрезеруванні черв'ячними фрезами

Розглянемо схему формоутворення поверхні циліндричних зубчастих коліс вихідною інструментальною поверхнею черв'ячної фрези рис.2.7 [11, 12].

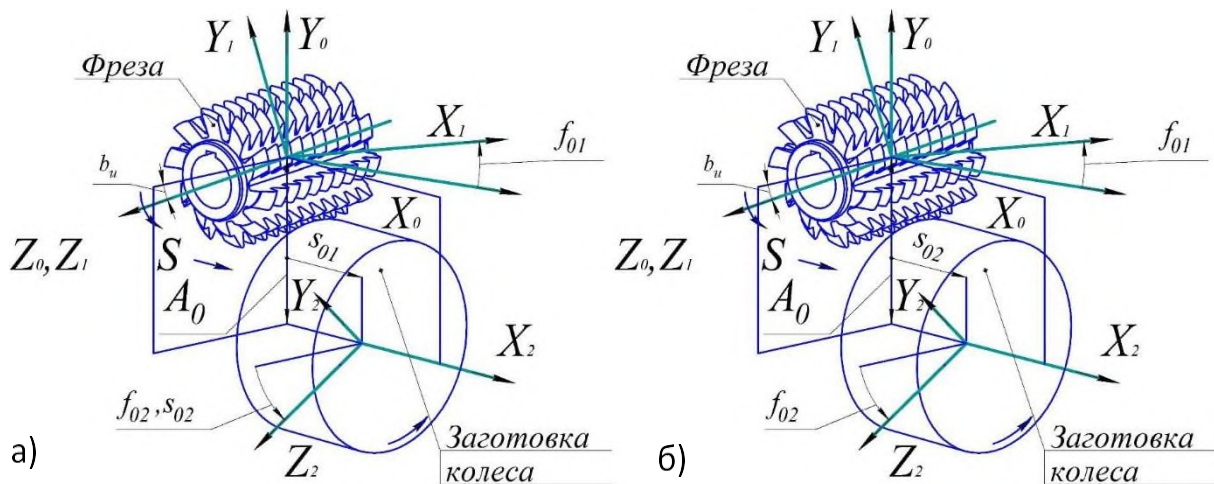


Рис. 2.7. Розрахункова схема формоутворення циліндричних зубчастих коліс черв'ячними фрезами: а) косозубі колеса, б) прямозубі колеса

Розглянемо 3 системи координат:

- $S_0(X_0Y_0Z_0)$ – нерухома система координат пов'язана з зубофрезерними верстатом, вісь Z_0 співпадає з віссю шпинделя верстата;
- $S_1(X_1Y_1Z_1)$ – рухома система координат пов'язана з черв'ячною фрезою, вісь Z_1 співпадає з віссю фрези, система обертається навколо осі Z_0 і рухається поступально уздовж осі X_2 ;
- $S_2(X_2Y_2Z_2)$ – рухома система координат пов'язана з колесом, що нарізається, вісь X_2 співпадає з віссю колеса, система обертається навколо осі X_2 ;

Розглянувши дану схему формоутворення отримуємо, що в системі присутні два незалежні між собою рухи, це сумісне обертання фрези а і колеса навколо свої осей – рух обкату, та гвинтовий рух фрези відносно осі колеса, що приводить до утворення косозубих коліс, це рух подачі. При

виродженні гвинтового руху фрези відносно осі колеса в прямолінійний, це відповідає формоутворенню прямозубих зубчастих коліс.

Рух обкату будемо позначати через коефіцієнт f , рух подачі будемо позначати через коефіцієнт s .

Позначимо наступні параметри руху в системі: для руху обкату f_{01} – обертання фрези навколо своєї осі, f_{02} – обертання колеса навколо своєї осі; для руху обкату подачі, s_{01} – прямолінійний рух фрези відносно осі колеса, s_{02} – додаткове обертання колеса навколо своєї осі при нарізанні косозубих коліс.

Зв'язок між параметрами руху буде наступним:

$$i_{12} = \frac{f_{01}}{f_{02}} = \frac{k_f}{Z_k}; S_{01} = p_k s_{02}, \quad (2.1)$$

де i_{12} – передаточне відношення при русі обкату, k_f – кількість заходів фрези, Z_k – число зубів колеса, що нарізується, p_k – параметр гвинтової поверхні косозубого колеса.

Параметр гвинтової поверхні косозубого колеса знайдеться за наступною залежністю:

$$p_k = \frac{mZ_k}{2\sin b_k}, \quad (2.2)$$

де m – модуль зубчастого колеса, що нарізується, b_k – кут нахилу зубців косозубого колеса.

Зв'язок між системами координат запишемо в матрично-структурному вигляді наступним чином:

$$R_2 = m_{20s} \times m_{20f} \times m_{20} \times m_{01} R_1, \quad (2.3)$$

де: R_1, R_2 – радіус вектор точки в системі пов'язаною з фрезою та колесом відповідно $m_{01}, m_{02}, m_{20f}, m_{20s}$ – матриці перетворень координатних систем і з врахуванням (2.1), (2.2) вони запишуться наступним чином:

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{01} = \begin{pmatrix} \cos f_{01} & -\sin f_{01} & 0 & 0 \\ \sin f_{01} & \cos f_{01} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; m_{20} = \begin{pmatrix} \cos b_u & 0 & \sin b_u & 0 \\ 0 & 1 & 0 & A_0 \\ -\sin b_u & 0 & \cos b_u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix};$$

$$m_{20f} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(i_{12}^{f_{01}}) & -\sin(i_{12}^{f_{01}}) & 0 \\ 0 & \sin(i_{12}^{f_{01}}) & \cos(i_{12}^{f_{01}}) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; m_{20s} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_k \cdot s_{02} \\ 0 & \cos s_{02} & -\sin s_{02} & 0 \\ 0 & \sin s_{02} & \cos s_{02} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

де b_u – кут розвороту фрези відносно осі колеса, A_0 – відстань між осями обертання фрези та колеса m_{01} – матриця повороту фрези, m_{20} – матриця розвороту фрези і встановлення міжосьової відстані, m_{20f} – матриця повороту колеса, m_{20s} – матриця руху фрези вздовж осі колеса.

Кут розвороту фрези b_u розраховується за залежністю:

$$b_u = -(b_k - b_f), \quad (2.5)$$

де b_f – кут нахилу гвинтової лінії фрези.

Додатні значення установочних параметрів в залежностях (2.3), (2.4), (2.5) приведені для випадку нарізання лівими фрезами лівих зубчастих коліс, у випадку нарізання правими фрезами, або правих зубчастих коліс необхідно значення b_f , b_u підставляти з від'ємними значеннями.

При формоутворенні прямозубих зубчастих коліс (рис.2.7, б) матриця m_{20s} в (3.4) перетворюється в наступний вид:

$$m_{20s} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & s_{02} \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (2.6)$$

де s_{02} , це параметр переміщення фрези уздовж осі колеса, а не повороту, як для випадку нарізання косозубого зубчастого колеса. Це визвано тим, що при нарізанні прямозубих зубчастих коліс параметр p_k приймається рівним нескінченності і в матриця m_{20s} є невизначеність яку розкриваючи приходимо до виду (2.6).

Також розглянемо формоутворення повздовжньої модифікації зуба колеса, що досягається за рахунок зміни міжосьової відстані A_0 при зубофрезеруванні в залежності від зміни параметру s_{02} . В такому випадку при повздовжній модифікації зуба колеса функція міжосьової відстані запишеться:

- випадок нарізання косозубих коліс;

$$A_0(s_{02}) = A_0' + f_1(p_k \cdot s_{02}), \quad (2.7)$$

- випадок нарізання прямозубих коліс;

$$A_0(s_{02}) = A_0' + f_1(s_{02}), \quad (2.8)$$

де A_0' – початкове значення міжосьової відстані,

f_1 – функція зміни міжосьової відстані.

Тоді матриця m_{20} при розгляді формоутворення зубчастих коліс з повздовжньою модифікацією зуба запишеться наступним чином:

$$m_{20} = \begin{pmatrix} \cos b_u & 0 & \sin b_u & 0 \\ 0 & 1 & 0 & A_0(s_{02}) \\ -\sin b_u & 0 & \cos b_u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}; \quad (2.9)$$

Функція зміни міжосьової відстані міжосьової відстані вибирається за рекомендаціями в залежності від того, яку форму зуба необхідно отримати.

Змінюючи складові матриць перетворень в виразі (2.3) отримаємо зв'язок між системами координат при описі різних випадків формоутворення зубчастих коліс.

Отримані залежності далі використовуємо при знаходженні рівняння контакту ВІП(вихідної інструментальної поверхні) фрези і зубчастого колеса. Для запису рівняння контакту поверхні фрези і колеса, визначення геометрії різальної частини інструменту, завантаження різальної частини черв'ячних фрез необхідно визначити вектор швидкості руху обкату і подачі при зубофрезеруванні.

2.2.3. Підрізання бічної поверхні зубчастих коліс при формоутворенні ВІП черв'ячної фрези

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Явище підрізання поверхні зубчастого колеса виникає тоді коли відсутнє плавне спряження бічної сторони зуба колеса з перехідною поверхнею [16, с . 139, 145]. Згідно з положеннями теорії формоутворення поверхонь це є порушенням другої умови формоутворення. Що пов'язано з виникненням на огинаючому профілю зубчастого колеса особливої точки (ребра повернення). Точка повернення виникає на бічній поверхні зубчастого колеса, яка формується бічною гвинтовою поверхнею ВІП фрези [8, с.114-116, 145].

Тому задача визначення підрізання бічної поверхні зубчастих коліс при формоутворенні ВІП черв'ячної фрези зводиться до визначення точки повернення на профілі і параметрів відповідної точки на ВІП фрези, яка формує цю точку (рис.2.7). І в подальшому визначення параметрів фрези чи її установки при яких точка повернення на профілі буде формуватися відповідною точкою на профілі ВІП фрези, яка лежить за межами робочої ділянки.

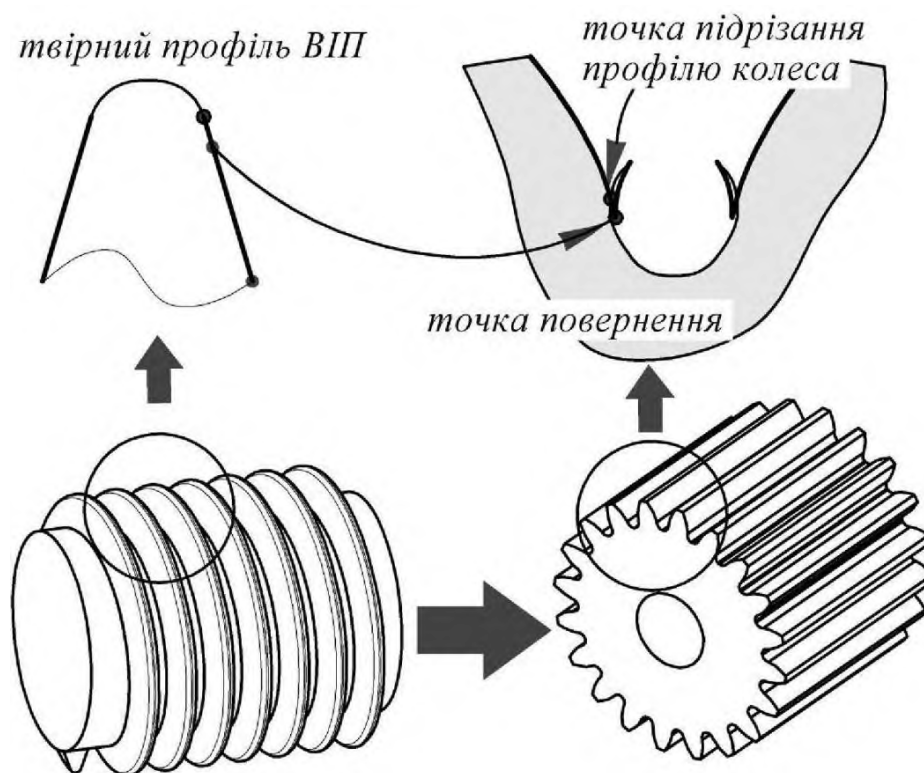


Рис. 3.8. Формування підрізання профілю колеса і точки повернення на ньому

Точка повернення визначається, як особлива точка на профілю колеса, що формується при його огинанні бічною поверхнею ВІП черв'ячної фрези.

Згідно [4, с.80] необхідна ознака існування ребра (точки) повернення на згинаючій поверхні параметризованого сімейства поверхонь при огинанні сімейством поверхонь знаходиться за наступними залежностями [4], це відповідає схемі однопараметричного огинання, для двопараметричного огинання, що відповідає задачі визначення поверхні зуба спряженого зубчастого колеса при зубофрезеруванні необхідно розглядати утворення особливої точки на поверхні деталі від дії двох рухів: обкату і руху фрези уздовж осі колеса. Проте цей випадок можна спростити і звести його до випадку однопараметричного огинання, це пов'язано з тим, що особлива точка, яка впливає на підрізання формується в основному тільки від одного руху обкату – обертання фрези та колеса, а від другого руху – рух фрези відносно осі колеса при значеннях параметрів коліс для, яких використовується процес зубофрезерування відсутня. Тому можна використовувати спосіб визначення описаний для однопараметричного руху, додавши для сумісного розгляду, ще друге рівняння контакту при двопараметричному руху і ця система повністю визначить параметри точки повернення на поверхні зубчастого колеса:

$$\begin{aligned} NV_{f01} &= 0 \\ NV_{s02} &= 0, \\ g_{f01} &= 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Де згідно [8]:

$$g_{f01} = \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial t} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial u} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial f_{01}} NV_{f01} \\ \frac{\partial}{\partial t} (m_{01} R_1)_x & \frac{\partial}{\partial u} (m_{01} R_1)_x & V_{fx} \\ \frac{\partial}{\partial t} (m_{01} R_1)_y & \frac{\partial}{\partial u} (m_{01} R_1)_y & V_{fy} \end{vmatrix}, \quad (2.11)$$

або згідно [4]:

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$g_{f01} = \begin{vmatrix} \frac{\partial}{\partial t} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial u} NV_{f01} & \frac{\partial}{\partial f_{01}} NV_{f01} \\ \frac{\partial}{\partial t} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} R2 & \frac{\partial}{\partial t} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial u} R2 & \frac{\partial}{\partial t} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial f_{01}} R2 \\ \frac{\partial}{\partial u} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial t} R2 & \frac{\partial}{\partial u} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial u} R2 & \frac{\partial}{\partial u} R2 \cdot \frac{\partial}{\partial f_{01}} R2 \end{vmatrix}, \quad (2.12)$$

$$R2 = m_{20f} \cdot m_{20} \cdot m_{01} R1$$

де $-(m_{01}R1)_X, (m_{01}R1)_Y, V_{fX}, V_{fY}$ - складові компоненти векторів по відповідним координатам: X, Y [138].

Залежності (2.34) і (2.35) були використані для перевірки адекватності отриманих рівнянь, так як вони в розгорнутому вигляді мають дуже громіздкий вид і їх важко аналізувати, тому привизначенні параметрів розташування особливих точок використовувались рівняння (2.11) і (2.12), а потім порівнювався результат, який підтвердив правильність розрахунків. Для прикладу наведені розрахунки визначення точки повернення рис.2.9, рис.2.10, для різних типів ВІП фрез при формоутворенні зубчастих коліс. Показано, що тип ВІП фрези не суттєво впливає на положення точки повернення на профілі колеса.

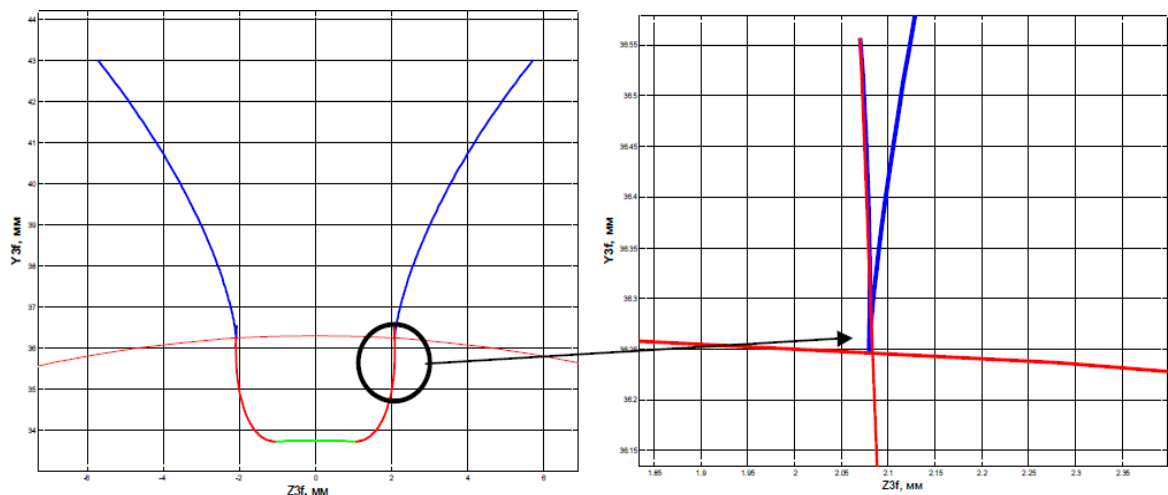


Рис. 2.9. Профіль торцевого перерізу зубчастого колеса: $m=3, Z=25, \alpha_{01}=14.5^\circ$, $d_a=80, r_{a0}=0.1m, b_k=0$, ВІП: конволютний черв'як, радіус точки повернення – 36,3085мм, архімедовий черв'як, радіус точки повернення – 36,3086мм

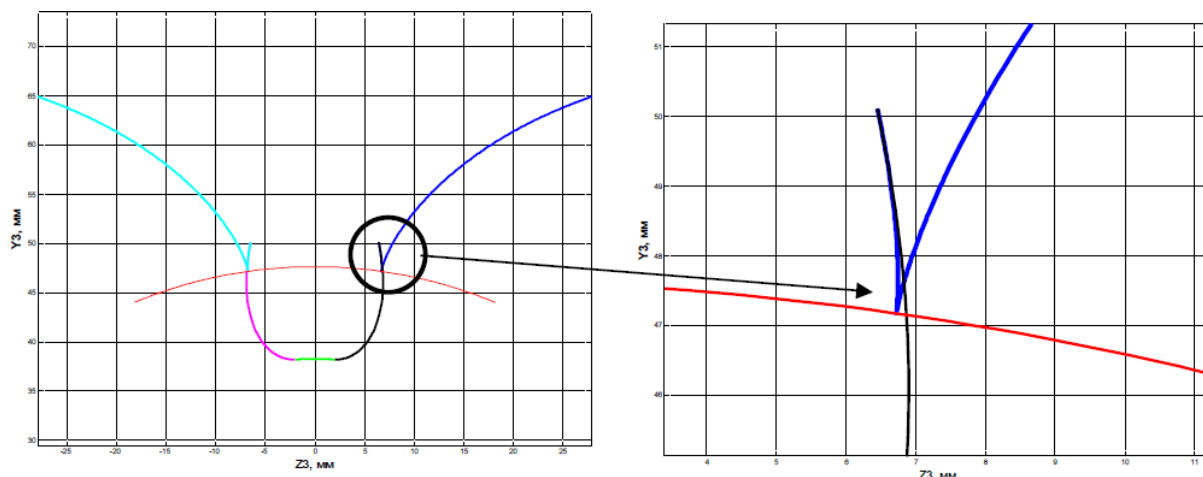


Рис.2.10. Профіль торцевого перерізу зубчастого колеса: $m=10$, $Z=10$, $\alpha_{01}=20^\circ$, $d_a=150$, $r_{a0}=0.1m$, $b_k=10^\circ$, ВІП: конволютний черв'як, радіус точки повернення – 47,5854мм, архімедов черв'як, радіус точки повернення – 47,5855мм

Для знаходження величини підрізання необхідно визначити параметри точки повернення визначаються значеннями змінних: u , t , f_{01} з рівнянь (2.33). Положення точки на профілі ВІП фрези, що формує точку повернення визначається параметром u , тому необхідно порівняти його значення з значенням, що описує робочу ділянку ВІП фрези. Для всіх ділянок профілю фрези зміна параметру u лежить в межах $[0, 1]$, якщо знайдене значення цього параметру знаходиться за межами цього діапазону, або на границі то явище підрізання при формоутворенні відсутнє.

В іншому випадку необхідно знайти точку перетину від огинаючих суміжних ділянок. Для цього необхідно сумісно розглянути координати точок в торцевому перерізі від сумісних ділянок ВІП фрези разом з відповідними рівняннями контакту:

$$\begin{aligned} NV_{f01}i &= 0; NV_{f01}i + 1 = 0 \\ NV_{s02}i &= 0; NV_{s02}i + 1 = 0 \quad , \\ R2_{iY} &= R2_{i+1Y} : R2_{iZ} = R2_{i+1Z} \end{aligned} \quad (2.13)$$

де, i - номер ділянки ВІП фрези, що розглядається, $i+1$ - суміжна ділянка, до i сторони.

З залежностей (2.13) знайдемо межі зміни параметру u для опису суміжних ділянок профілю ВІП фрези з врахуванням явища підрізання, при чому, якщо

знайдені значення будуть лежати за межами діапазону $[0, 1]$ то друга умова формоутворення буде виконуватись, в іншому випадку необхідно прийняти міри по виключенню такої точки з профілю ВІП черв'ячної фрези.

За розробленою уточненою теорією формоутворення необхідно провести дослідження формоутворення поверхні циліндричних зубчастих коліс і диференціювати похибки, які виникають при проектуванні інструменту в наслідок заміни типу черв'яка та інших чинників від похибок, що викликані дією технологічної системи.

2.3. Дослідження умов формоутворення зубчастого колеса

Підрізання зубчастого колеса згідно загально прийнятої теорії формоутворення рейковим інструментом [7, 11, 19] виникає при нарізанні прямозубого зубчастого колеса з числом зубів менше 17. Ця залежність наводиться для вихідного контуру – висота ніжки, якого складає m – модуль зубчастого колеса. Однак профіль колеса утворюється вихідною інструментальною рейкою висота ніжки якої складає $1,25 m$ і тоді мінімальна кількість зубів колеса, яке можна нарізати без підрізання буде становити 21 зуб.

Формоутворення фреза-колесо відбувається у просторі на відміну від рейка-колесо і тому положення радіуса підрізання ніжки колеса буде залежати не тільки від кількості зубів колеса, що нарізується, але й від параметрів фрези: тип вихідного черв'яка, діаметр фрези, що не враховуються при розгляді плоскої задачі, ці дослідження для просторової задачі до цих пір не проводились. Існують роботи по визначенню точки повернення у просторових зачепленнях [6, 8], наявність якої на профілі приводить до порушення другої умови формоутворення [14] – підрізання, однак для випадку зубофрезерування черв'ячними фрезами ці дослідження не проводились.

Використовуючи результати пункту 3.2 було досліджено вплив конструктивних розмірів фрези на положення радіуса підрізання на профілі прямозубих зубчастих коліс і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка (рис.2.11, 2.12, 2.13), так як явище підрізання найбільш

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

небезпечне для прямозубих зубчастих коліс. Тип ВІП черв'ячної фрези не суттєво впливає на отримані результати.

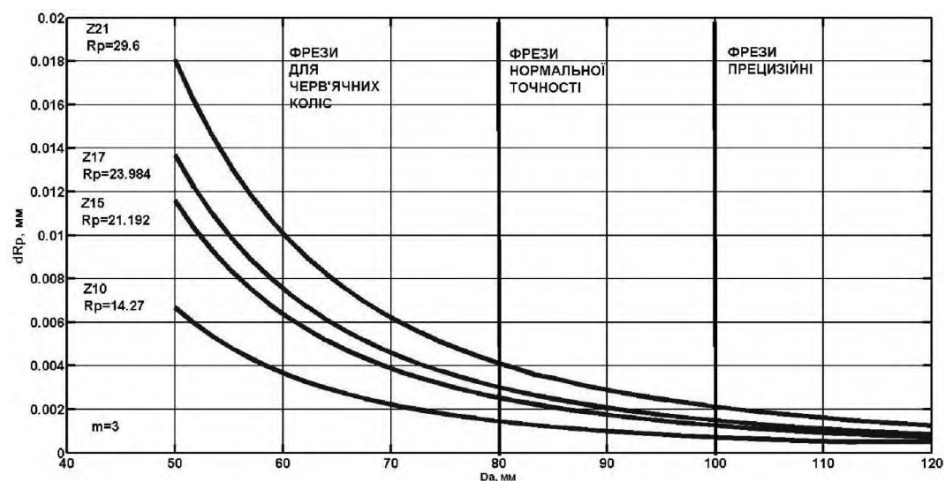


Рис.2.11. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і проведено порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка $m=3$, Z – кількість зубів, D_a - діаметр фрези, R_p - радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволютна

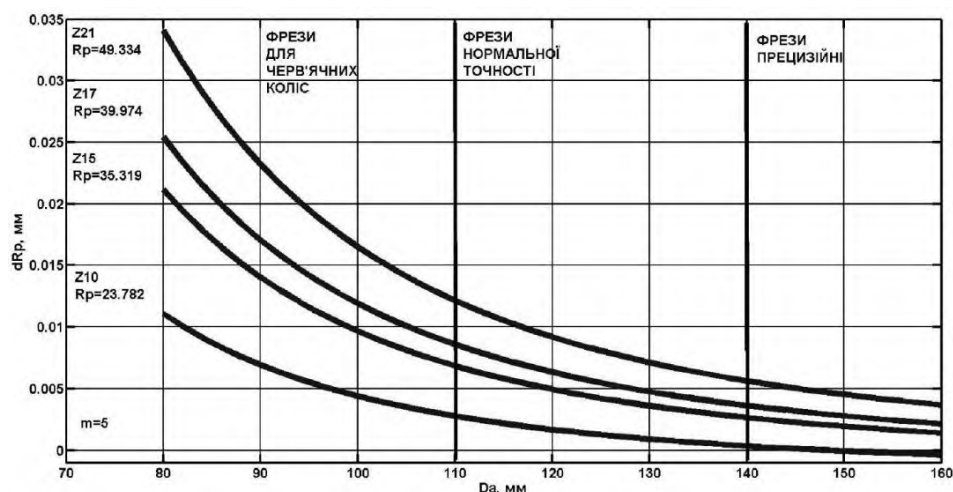


Рис.2.12. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка $m=5$, Z – кількість зубів колеса, D_a - діаметр фрези, R_p - радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволютна

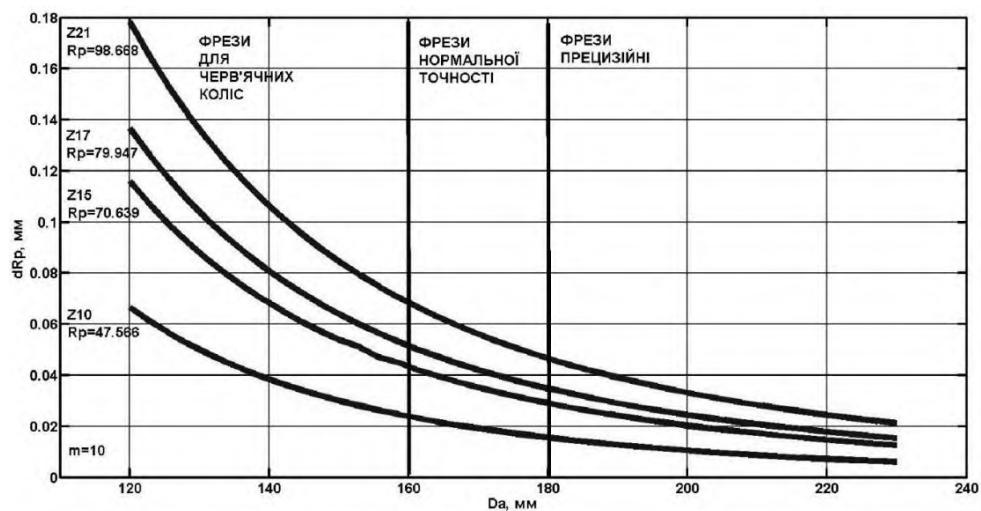


Рис.2.13. Вплив діаметру фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса і порівняння його з радіусом підрізання, який формує рейка $m=10$, Z – кількість зубів, D_a - діаметр фрези, R_p - радіус підрізання, який формує рейка, фреза конволютна

За результатами проведених розрахунків отримано, що в залежності від збільшення діаметру фрези різниця між радіусом підрізання отриманого ВПІ фрези та рейкою зменшується, однак ця різниця для прецизійних фрез та фрез нормальної точності невелика. Для фрез призначених для нарізання черв'ячних коліс це може бути суттєвою і тому необхідно контролювати це явище. Також це може бути важливим для зубчастих коліс, які використовуються в авіаційних двигунах, що мають збільшену висоту головки зуба $1.25m$ і явище підрізання для таких коліс більш актуальне. При збільшенні числа зубів нарізаємого колеса різниця між радіусами підрізання росте, а значить зменшується довжина бічної сторони зуба і збільшується підрізання профілю перехідною кривою. Також встановлено, що тип черв'яка несуттєво впливає на зміну радіуса підрізання, різниця для всіх фрез модулів 1-10 не перевищує 1 мкм.

Так як явище підрізання профілю зубів колеса найбільш поширеним є для зубчастих коліс з малою кількістю зубів, також нарізання таких коліс черв'ячними спряжено з значними труднощами, а саме значні динамічні навантаження в процесі різання пов'язані з швидкою зміною параметрів зрізаємого шару і несприятлива геометрія бічних сторін зуба фрези, що в

цілому призводить до зменшення працездатності такого інструменту і точності коліс, що обробляються.

Було досліджено висоту неробочої бічної ділянки зуба фрези h_{amin} , що приймає участь у формоутворенні бічного профілю зуба (рис.2.14, 2.15).

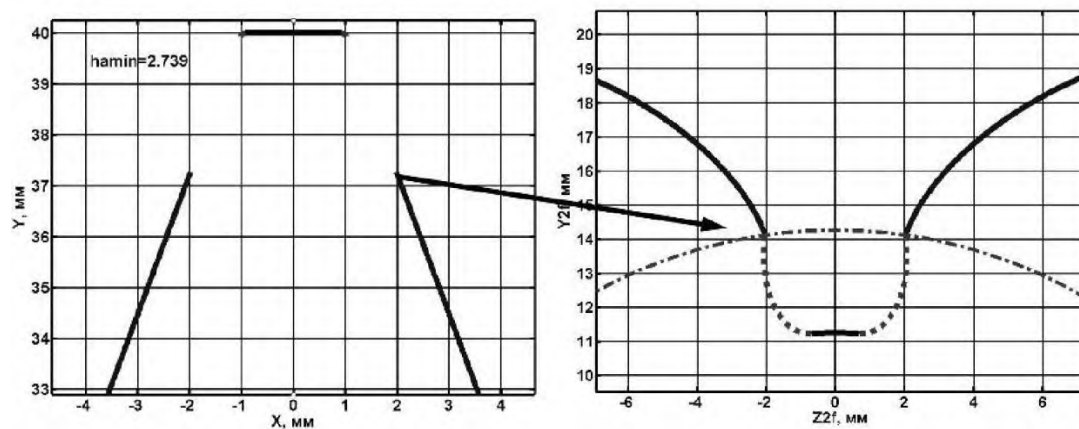


Рис.2.14. Робоча частина бічного профілю твірної черв'ячної фрези
а) профіль зубчатого колеса сформований такою фрезою б) $m=3$,

$$d_a=80, r_{a0}=0.1, \text{ фреза конволютна, } Z_k=10, \chi=0, b_k=0^\circ$$

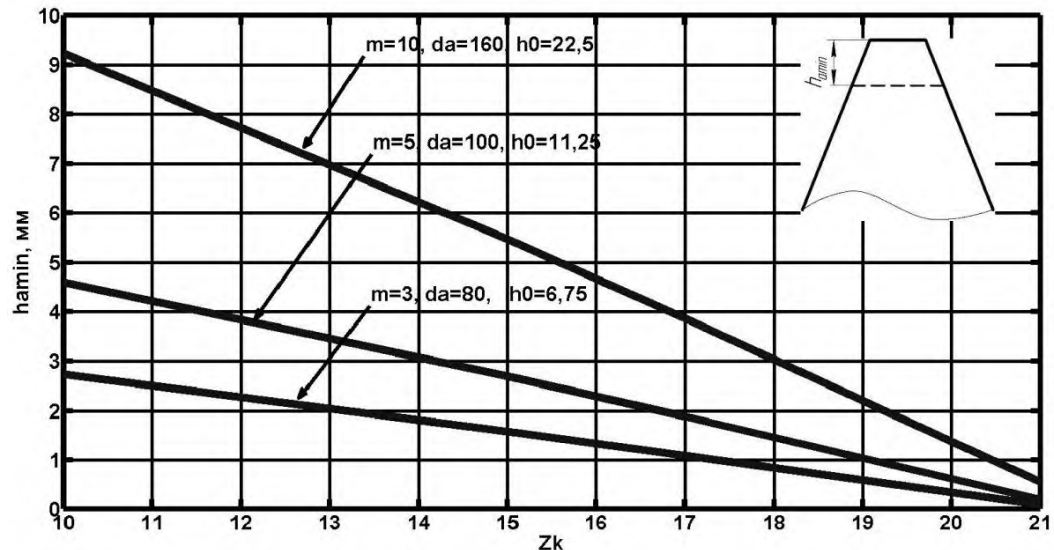


Рис. 2.15. Висота неробочої бічної ділянки h_{amin} ВІП фрези в залежності від кількості зубів коліс Z_k не коригованих, що нарізується та фрез різних модулів з різними діаметрами вершин зубів

Як показують розрахунки на профілі зуба присутня ділянка починаючи з вершини і до певного значення (рис.2.15), яка не бере участь у

формоутворенні, а тільки зрізує певний припуск. Тому ділянку профілю фрези яка формує особливу точку можна виключити з формоутворення бічної сторони профілю зуба.

Проте в результаті виготовлення фрез з затилованим шліфованим профілем, які є більшістю конструкцій черв'ячних фрез, що на даний час експлуатуються за рахунок особливостей кінематики формоутворення різальної поверхні зуба різальна кромка таких фрез не лежить на поверхні черв'яка для якого вона була спроектована. Це додатково вносить похибки в профіль зубчастого колеса і тому необхідно розглянути питання визначення форми різальної кромки зуба затилованих фрез і вплив їх на профіль зубчастого колеса.

2.4. Фреза для нарізування малозубих коліс

За результатами досліджень в пункті 3.3 було встановлено вплив конструктивних параметрів фрези на положення радіуса підрізання на профілі зубчастого колеса з малим числом зубів і тому пропонується змінити конструкцію зуба фрези так, щоб виключити з формоутворення ділянку зуба фрези, що формує особливу точку на профілі колеса, яка потім приводить до підрізання профілю.

Це зробимо за рахунок додаткової ділянки у вершини зуба фрези (рис.2.16, а) з збільшеним кутом профілю α_{ha} , яка починається з розрахункової величини h_{amin} , за рахунок цього на цій ділянці формуються значення задніх кутів більші ніж на основній бічній стороні зуба фрези, що повинно покращити працездатність такої фрези.

Недоліком таких фрез є те, що вони є не зовсім універсальними, так як висота розташування h_{amin} залежить від параметрів нарізуваного колеса, однак можна розрахувати для певного числа зубів і використовувати такі фрези для виготовлення зубчатих коліс з меншим числом зубів. Такі фрези можуть бути використані у масовому виробництві зубчастих коліс проектованої деталі, які мають малу кількість зубів $Z_k=8-15$.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для прикладу наведено розрахунок такої фрези для колеса вала лебідки. Параметри зубчастого колеса: $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k=0^\circ$, діаметр вершин зубів колеса $d_{a1}=38.1$, діаметр западин $d_{f1}=24.7$, фреза конволютна $d_a=80$, $r_{a0}=0.05$. За результатами розрахунків отримали значення $h_{amin}=1.272$, радіус підрізання $R_{flim}=14.139$ і пропонується наступна конструкція зуба фрези (рис.2.16, б). На рис.2.17 показано розрахунок зачеплення поверхні колеса з ВПІ фрези за залежностями (2.10).

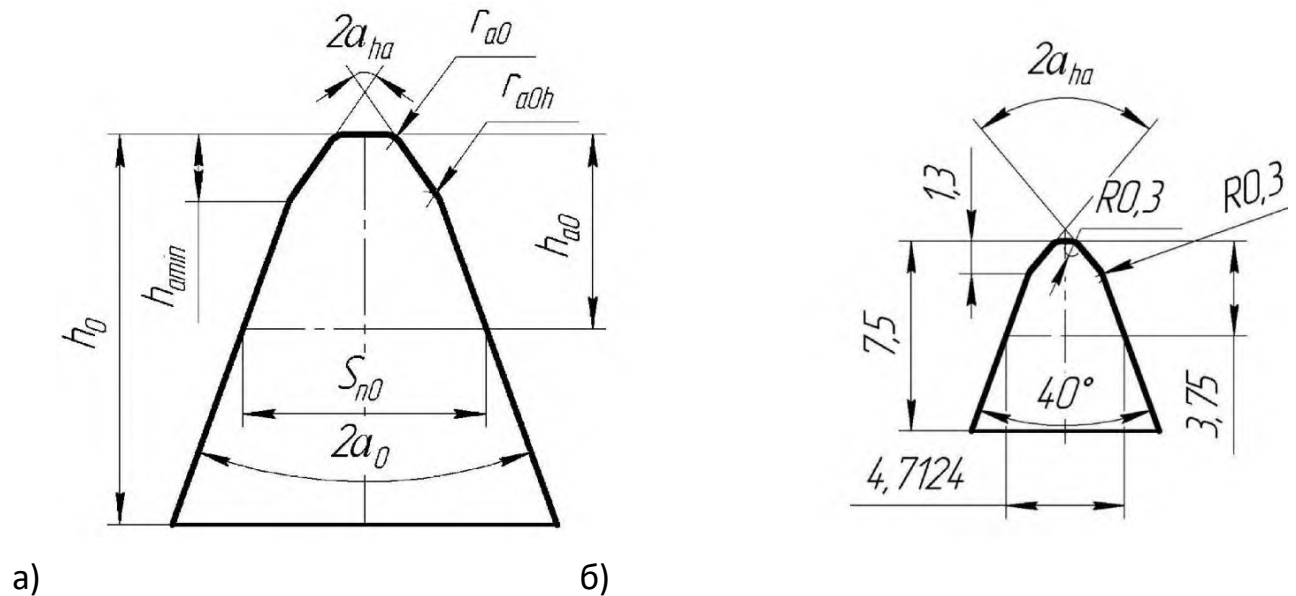


Рис.2.16: а) профіль зуба фрези, що дозволяє виключити особливу точку на поверхні зубчастого колеса, що обробляється. б) розрахунковий профіль ВПІ конволютної черв'ячної фрези призначеної для формоутворення без підрізання зубчастого колеса: $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k = 0^\circ$, діаметр вершин зубів колеса $d_{a1}=38.1$, діаметр западин $d_{f1}= 24.7$, фреза конволютна $d_a=80$, $r_{a0}=0.05$

За результатами розрахунків встановлено, що можна отримати профіль зубчастого колеса без підрізання всі його ділянки будуть спряжені плавно між собою рис.2.18, б і складається з 9 ділянок плавно спряжених між собою, по дві ділянки: 1- від основних бічних сторін, 2-ділянки утворені округленням при з'єднанні основної бічної сторони з допоміжною бічною стороною, 3- ділянки утворені від допоміжної бічної сторони, 4-ділянки утворені округленням вершини зуба і 1 ділянка 5-утворена вершиною зуба.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Так як западина такого колеса має складну форму (рис.2.17, б) ділянки 2,3,4 і відрізняється від западини зубчатих коліс то такі зубчасті зачеплення необхідно перевіряти на інтерференцію. Було розраховано форму западини такого зубчастого колеса в залежності від кута допоміжного профілю α_{h0} [25°...40°] рис.2.18.

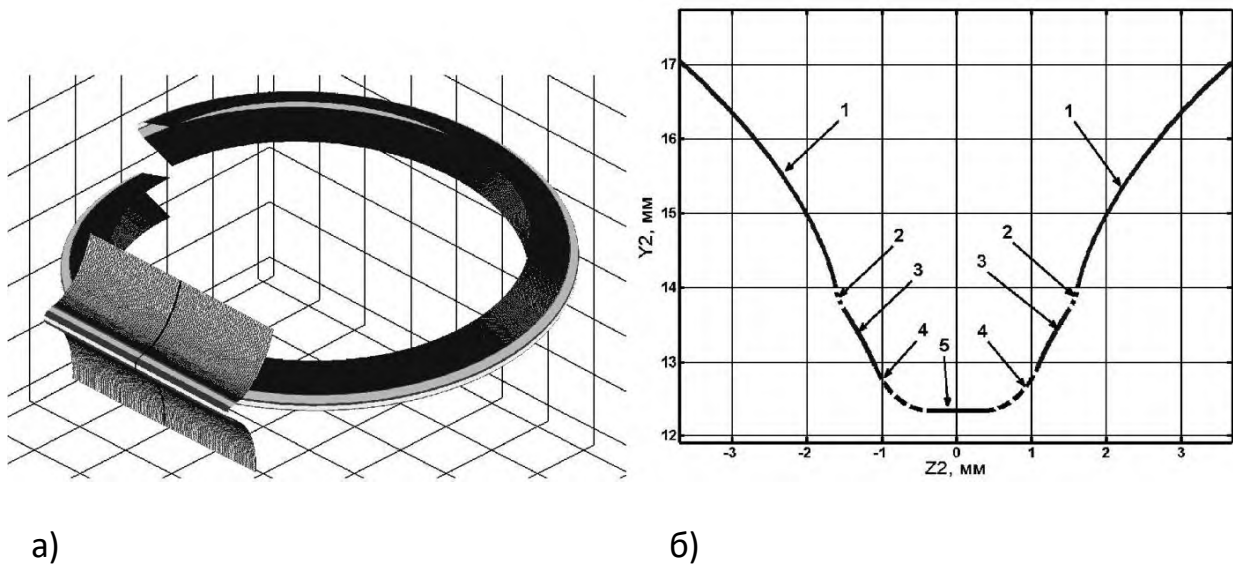


Рис.2.17. Зубчасте колесо $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k=0$ утворене без підрізання конволотною фрезою $d_a=80$, $r_{a0}=0.05$ а)- просторове зачеплення колеса з ВПІ фрези, б)- профіль западини колеса.

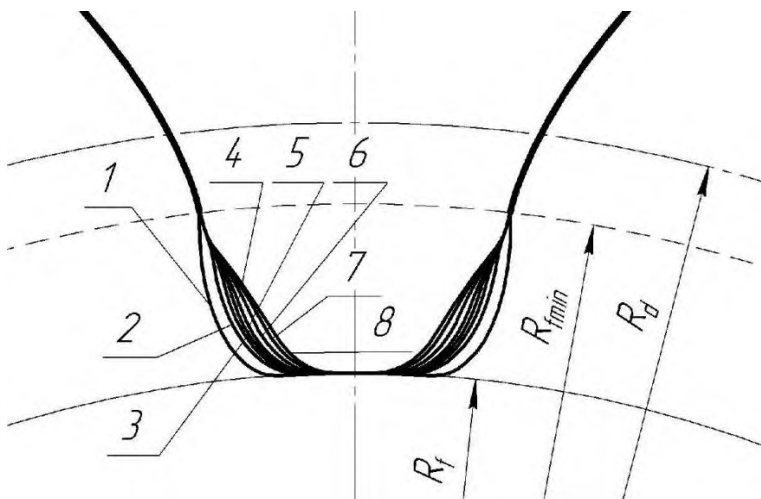


Рис.2.18. Профіль западини зубчастого колеса $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k=0$ утворене конволотною фрезою $d_a=80$, $r_{a0}=0.05$ зі зміненим профілем ВПІ фрези в залежності від кута α_{h0} 1- стандартний профіль з підрізанням, 2-25°, 3-28°, 4-30°, 5-32°, 6-35°, 7-38°, 8-40°

Так як теорія зачеплень таких коліс з складним профілем западини (рис.2.18) не розроблена, то необхідно було перевірити таке зачеплення на випадок інтерференції, це було зроблено графічним моделюванням для всіх профілів і випадок інтерференції встановлено на рис.2.19 для кута $\alpha_{h0} = 40^\circ$.

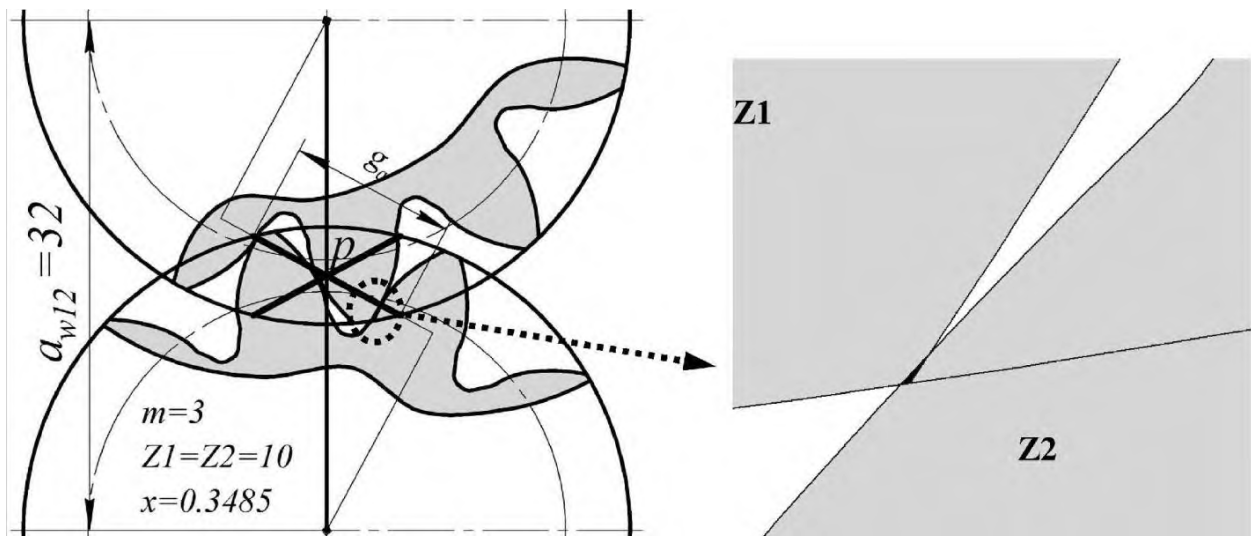


Рис.2.19. а) зачеплення зубчастих коліс $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k=0$

б) інтерференція зубчастих коліс при $\alpha_{h0} = 40^\circ$

Тому для нарізання коліс $m=3$, $Z_k=10$, $x=+0.3485$, $b_k = 0^\circ$ можна рекомендувати фрези з кутом допоміжного профілю згідно розрахунків $\alpha_{h0} \leq 38^\circ$. Такі фрези будуть забезпечувати нарізання профілю зубчастого колеса без підрізання і за рахунок того, що на допоміжній бічній кромці кут профілю становить 38° то середнє значення заднього кута розрахованого за для фрези $d_a=80$, $r_{a0}=0.05$, $\alpha_b=10^\circ$ -задній кут при вершині зуба буде становити $\alpha_{б1ч}=6^\circ$, що більше ніж на головній бічній кромці за $\alpha_{б1ч}=3,5^\circ$ тому такі фрези повинні мати перевагу за працездатністю над фрезами стандартної конструкції. Недолік таких фрез, дещо складніша технологія виготовлення і не універсальність, однак при нарізанні інших зубчастих коліс їх потрібно перевіряти на параметри роботи в зачепленні, якщо вони будуть задовольняти вимогам та такі фрези можна використовувати.

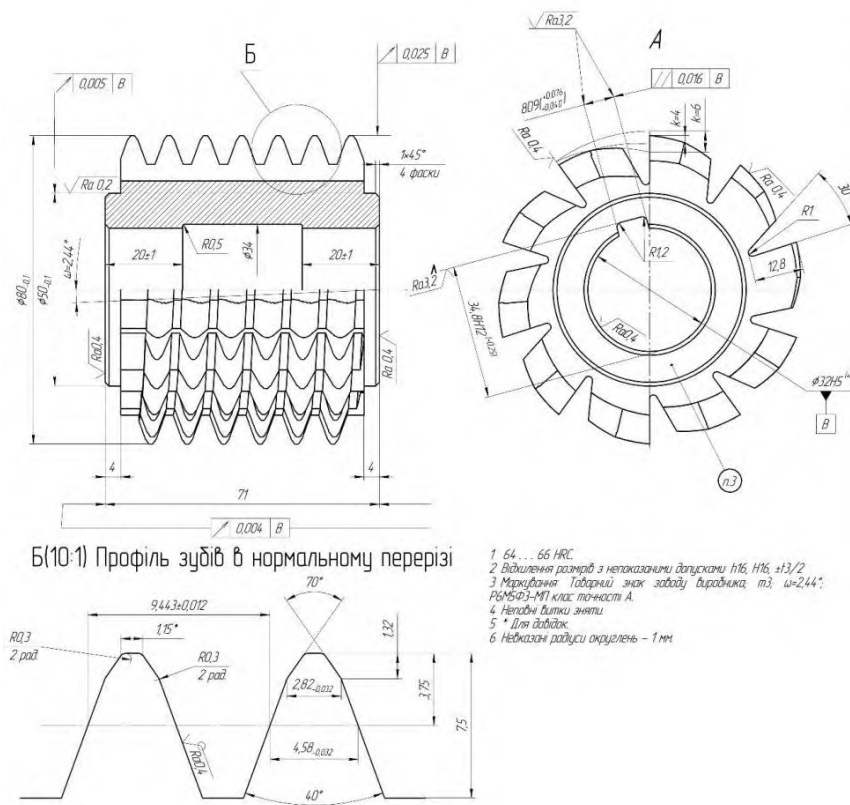
Для перевірки запропонованих положень було виготовлено дослідний зразок черв'ячної фрези, в якості базової конструкції фрези було обрано стандартну фрезу (табл.2.1.).

Основні параметри фрези

Таблиця 2.1

Назва параметру		Стандартна
Модуль	m	3
Зовнішній діаметр	d_a	80
Кількість зубів	Z_f	10
Крок у нормальному перерізі	P_n	9.425
Крок в осьовому перерізі	P_0	9.427
Кут нахилу спіралі на ділільному	ω	$2^0 20' 51''$
Кут профілю інструментальної	α_{np}	20^0
Кількість заходів	-	1
Передній інструментальний кут	γ_{inst}	0
Падіння затилку	K	4
Матеріал фрези	-	P6M5
Клас точності фрези		B

Так як фреза мала достатню довжину різальної частини то було прийнято рішення частину зубів фрези модифікувати, а іншу частину залишити без змін, основні елементи конструкції фрези наведені на рис.2.20. додаток В. При розробці дослідного зразка конструкції прийнято рішення задню затиловану допоміжну бічну поверхню зуба при вершині з кутом профілю 35° замінити на плоску, так щоб вона була дотичною до задньої поверхні в точці спряження основної бічної кромки зуба з допоміжною, це дозволить створити необхідну геометрію різальної частини на різальній кромці не використовуючи складний технологічний процес затилування і для виготовлення даного зразка фрези можна використовувати заточний універсальний верстат моделі 3В642.



Модуль	m	3
Кількість стружечних канавок	Z	10
Напрямок витків фрези	-	Лівий
Кут нахилу стружечних канавок	ω	2,44°
Накопичена похибка кругового кроку стружечних канавок	F _{ρ0}	0,005
Напрямок стружечних канавок	f _x	±0,008
Відхилення товщини зуба	T _{so}	-0,032
Похибка зацеплення від зуба до зуба	F _{ρ0}	0,008
Похибка зацеплення	F _{ρ0}	0,014
Клас точності	-	A

Рис. 2.20. Конструкція дослідної фрези

2.5. Висновки

Уточнено форму поверхні циліндричних зубчастих коліс в залежності від конструктивних параметрів фрез.

Встановлено, що розрахункова точність профілю зубчастих коліс залежить від кількості зубів колеса, величина похибки профілю зростає зі збільшенням числа зубів. Показано, що різке збільшення значень похибки профілю колеса відбувається до значень числа зубів 21, це пояснюється явищем підрізання профілю зубчастого зубом фрези.

Показано, що значення кута профілю вихідної інструментальної поверхні черв'ячних фрез, які забезпечують мінімальні розрахункові відхилення зубчастого колеса від евольвенти відрізняються від стандартного значення 20°, так для архімедових фрез вони лежать в сторону збільшення, а для конволютних навпаки. За рахунок корекції кута профілю ВІП фрези отримали підвищення розрахункової точності прямозубих зубчастих коліс для циліндричних

конволютних фрез на 30%, архімедових – на 5%, а для косозубих зубчастих коліс

підвищення точності становить в декілька разів у порівнянні зі стандартними конволютними фрезами і на 25% для архімедових фрез. Діапазон зміни значень цих кутів росте зі збільшенням модуля і із зменшенням діаметру фрези.

Встановлено особливості формоутворення поверхні зубчастих коліс під подальшу фінішну обробку профілем фрези з протуберанцем. Показано, що при кількості зубів більше 50 перехідна крива западини зуба формується усім периметром профілю зуба фрези.

Для розрахунків на міцність зубчастих коліс встановлено параметри і форму перехідної кривої у ніжки зуба колеса, радіус кривизни профілю прямозубих і косозубих зубчастих коліс, встановлено зміну цих значень від параметрів фрези та колеса.

					6261м. 02.МР.06.02.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Введіть текст

					6261м.02.МР.06.03.ПЗ						
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Технологічна частина		Літ		Арк.	Аркушів	
Розробив		Гончаров О.М.					М	Р			
Перевірив		Поліщук В.А					НУК				
Консульт.											
Н.контр.		Моргун С.О.									
Затвердив		Ткач М.Р.									

3. Технологічна частина

3.1. Вибір способу отримання заготовки

Одним з основних напрямків сучасної технології машинобудування є вдосконалення заготованих процесів з метою зниження припусків на механічну обробку, обмеження її операціями кінцевої відділки, а у ряді випадків повного виключення, тобто забезпечення маловідходної або без відхідної технології.

Необхідність економії матеріальних ресурсів виставляє високі вимоги до раціонального вибору заготовок, до рівня їх технологічності, в значній мірі визначає витрати та технологічну підготовку виробництва, собівартість, надійність та довговічність виробу.

Правильно вибрати заготовку – це значить визначити раціональний метод її отримання, розрахувати припуски на механічну обробку кожної з оброблюваних поверхонь, вказати розміри заготовки та встановити допуски на неточність їх виготовлення, назначити на нахили та технічні умови на виконання заготовки.

Для отримання заготовки використовується метод гарячої об'ємної штамповки. Цей засіб найбільш ефективний при серійному виробництві деталей. Для гарячої об'ємної штамповки рекомендуються конструкційні сталі. [4]

Привілеї гарячої об'ємної штамповки: змога виготовляти заготовки складної форми с поліпшеною якістю поверхні з шорсткістю $R_z = 80 \dots 20 \mu\text{м}$; підвищується продуктивність праці.

Вид об'ємної штамповки: Горизонтально кувальна машина (ГКМ).

Штамповка на ГКМ відрізняється високими КВМ та продуктивністю, відсутності на заготовці заусенців.

3.2. Розрахунок штампованої заготовки

1. Заготовка – штампована поковка отримана на ГКМ. Для встановлення величини допусків та припусків на розміри штампованої поковки необхідно встановити наступні параметри:

Точність виготовлення Т4 – вибираємо в залежності від технологічного процесу та устаткування для її виготовлення.

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Група сталі – М1 – леговані сталі із вмістом вуглецю 0,18%.

Маса поковки – орієнтована величина розрахункової маси поковки (VC) розраховується за формулою:

$$G_{ков} = G_{дет} \times k_p, \quad (3.1)$$

де $G_{фiз}$ - маса деталі, кг;

k_p - 1,3...1,8 – розрахунковий коефіцієнт.

$$G_{ков} = 4 \cdot 1,32 = 5,3(\text{кг})$$

$$C = \frac{G_{пок}}{G_{фiз}} = \frac{5,3}{4} = 1,28$$

$$G_{фiз} = H \times S_{пер} = H \cdot \left(\frac{\pi D_2^2}{4} \cdot \gamma \right) = 63 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 63_2^2}{4} \cdot \frac{2,7 \cdot 7,95}{1000} \right) = 4,0 (\text{кг})$$

Ступінь складності – С2

2. В залежності від розрахункової маси поковки, групи сталі, ступеня складності, класу точності поковки встановлюємо: вихідний індекс – 9 [дод. 4. табл.4.1Д.]

Основні припуски на номінальні розміри деталі визначаємо з урахування вихідного індексу та шорсткості поверхонь деталей по таблиці. Доповнюючи припуски, враховуючі по поверхні роз'єму штампуг – 0,3мм [дод.4. табл.4.9Д.].

Витрати матеріалу на одну деталь:

$$G_{в.к.} = 0,001 [G_{ков.} \cdot G_{фiз.} - (G_{ков.} - G_{дет.}) C_{в.л.}] + G_{о.в.} \quad (3.2)$$

$$G_{в.к.} =$$

$$0,001 [G_{ков.} \cdot G_{фiз.} - (G_{ков.} - G_{дет.}) C_{в.л.}] + G_{о.в.} = 0,001 [1000 \cdot 4 - (4 - 2) \cdot 470] = 30,6(\text{грн.})$$

$$G_{в.к.} = 30,6 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використаного матеріалу

$$KBM = \frac{G_{дет.}}{G_{в.л.}} = \frac{4}{5,3} = 0,72$$

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Характеристика технологічного процесу по операціям

Таблиця 3.1

№	Найменування операції	Обладнання	Пристосування
1	2	3	4
005	Контрольна	Верстак слюсарний 2280	Плита контрольна
010	Фрезерувально-центрувальна	Поздовжньо-фрезерувальний 6620	Лещата 7200-0252 ГОСТ 21168-75
015	Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний 1М61	Патрон повідцевий 7108-0025 ГОСТ2571-71
020	Слюсарна	Верстак слюсарний 2280	
025	Контрольна	Верстак слюсарний 2280	Плита контрольна
030	Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний 1М61	Патрон повідцевий 7108-0025 ГОСТ2571-71
035	Токарно-гвинторізна	Токарно-гвинторізний 1М61	Патрон повідцевий 7108-0025 ГОСТ2571-71
040	Горизонтально-фрезерувальна	Горизонтально-фрезерувальний 6Р81Ш	Пристосування фрезерувальне
045	Горизонтально-фрезерувальна	Горизонтально-фрезерувальний 6Р81Ш	Пристосування фрезерувальне
050	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3М151	
055	Контрольна	Верстак слюсарний 2280	Плита контрольная

Технологічний процес розроблений для серійного виробництва. Всі зміни в ньому, в порівнянні з базовим, направлені на максимальне скорочення ручної

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

праці, механізацію і автоматизацію процесу виробництва. Застосовуються спеціальні пристосування, комбінований інструмент, спеціальний вимірювальний інструмент, що значно скорочує виробничий цикл і окупає витрати.

3.4. Розрахунок операційних припусків на механічну обробку

Розрахунок припусків на механічну обробку робиться розрахунково - аналітичним методом і по таблицям.

Загальним припуском на обробку називається шар матеріалу, що знімається із заготовки в процесі механічної обробки для отримання готової деталі.

Проміжним (між операційним) припуском називається шар металу, що видаляється при виконанні одного технологічного переходу; припуск визначається різницею розмірів попереднього та наступного переходів. Для зовнішніх поверхонь деталей:

Для зовнішніх поверхонь деталі:

$$Z_i = a - b$$

Для внутрішньої:

$$Z = a - b$$

Z - проміжний припуск;

a - розмір, який отримується на попередньому переході;

b - розмір, який повинен бути знайдений на виконуваному переході.

Розмір припуску повинен бути достатнім для того, щоб при його зрізанні були забрані різні дефекти заготівлі(нерівності, дефектний шар тощо), а також для компенсації погрішності установки і базування заготівлі на даній операції.

Розрахунок припусків аналітичними методом

1. Розраховуємо величину мінімального однобічного операційного припуску:

$$2Z_{i \min} = 2 \cdot \left[(R_z + h_{i-1}) + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \xi_i^2} \right] \text{ мкм,} \quad (3.3)$$

2. Визначаємо величину розрахункового однобічного операційного припуску:

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2Z_{iooz.} = T_{i-1} + 2Z_{i \min} \text{ мкм}, \quad (3.4)$$

де Rz_{i-1} , h_{i-1} , $\Delta_{\Sigma i-1}$ - висота мікронерівностей, величина дефектного шару та векторна сума просторових відхилень відповідно, отримані на попередньому переході, мкм; ξ_i - векторна сума похибок установлення та базування деталі на переході, що виконується, мкм; T_{i-1} - допуск попереднього переходу, мкм. [4]

Розрахунок операційних припусків зробимо у вигляді таблиці.

Rz_i , h_i , Δ_{Σ} , ξ та допуск T вибираємо з довідників [1,2,3]

Мінімальний припуск для чорнового точіння:

$$2Z_{i \min} = 2 \cdot \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \xi_i^2} \right] \quad (3.5)$$

Розрахунок припусків на обробку поверхні $\varnothing 62.5^{+0.19}_{-0.49}$ мм

Заготівка – штамповка

$Rz = 200$; $h = 250$

Визначаємо Σ і E_y

$$E_K = 2\Delta_K \cdot l \cdot \cos \left[(\arctg(2\Delta_K)) \right] \quad (3.6)$$

Величину $\cos \left[(\arctg(2\Delta_K)) \right]$ упускаємо

$$\Delta E_K = 2 \cdot 0,6 \cdot 70 = 84 \text{ мкм}$$

$$\Delta E_y = \sqrt{(\Delta E_6) + (E_3)} \quad (3.7)$$

$$\Delta E_6 = 500 \text{ мкм}$$

$$E_3 = k_3 \cdot b; \quad (3.8)$$

$$k_3 = 17,5 \text{ мкм}$$

$$b = 113 \text{ мм}$$

$$E_3 = 17,5 \cdot 113 = 1977,5 \text{ мкм}$$

$$\Delta E_y = \sqrt{500 + 1977,5} = 2040 \text{ мкм}$$

$$\Delta E = \sqrt{\Delta E_K} \quad (3.9)$$

Розраховуємо мінімальні і максимальні значення припусків по кожному технологічному переході.

Чорнове точіння:

$$2Z_{\min} = [(200+250) + \sqrt{342 + 122,4}] = 471,5 \text{ мкм}$$

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2Z_{\max} = 471,5 + 5200 - 520 = 4631,5 \text{ мкм}$$

Чистове точіння:

$$2Z_{\min} = 2 \left[(63 + 60) + \sqrt{20,52 + 4,896} \right] = 288 \text{ мкм}$$

$$2Z_{\max} = 288 + 520 - 210 = 598 \text{ мкм}$$

Спільні припуски на обробку поверхонь:

$$2Z_{0\min} = 471,5 + 288,192 = 759,692 \text{ мкм}$$

$$2Z_{0\max} = 4631,5 + 598 = 5229,5 \text{ мкм}$$

Перевірка :

$$2Z_{0\max} - 2Z_{0\min} = 5229,5 - 759,692 = 4470 \text{ мкм}$$

$$TD_{\text{заг}} - TD_{\text{дет}} = 5200 - 730 = 4470 \text{ мкм}$$

$$4470 = 4470$$

Визначаємо граничні розміри:

$$D_{\text{чист.точ.}}^{\max} = 79 + 0,50 = 39,5 \text{ мм}$$

$$D_{\text{чист.точ.}}^{\min} = 79 + 0,25 = 79,25 \text{ мм}$$

$$D_{\text{чор.точ.}}^{\max} = 79,5 - 0,598 = 78,911 \text{ мм}$$

$$D_{\text{чор.точ.}}^{\min} = 78,9 - 0,520 = 78,38 \text{ мм}$$

$$D_{\text{заг}}^{\max} = 75 - 7,0 = 68 \text{ мм}$$

$$D_{\text{заг}}^{\min} = 67,7 - 5,2 = 62,5 \text{ мм}$$

Розрахунок припусків на обробку поверхні Ø72h9

Розраховуємо величину припусків на обробку поверхні валу діаметром 72h9. Технологічний маршрут обробки цієї поверхні складається з наступних переходів: обточування попереднє і остаточне, шліфування попереднє і остаточне. Величина припуску розраховується по формулі, приведеній вище. Оскільки обробка ведеться в центрах, то погрішність установки на усіх переходах дорівнює нулю. Сумарне відхилення визначаємо по формулі:

$$\rho_z = \sqrt{\rho_{2\text{см}}^2 + \rho_{2\text{кор}}^2 + \rho_{2\text{ц}}^2}$$

де $\rho_{\text{см}} = 1000 \text{ мкм}$ для поковок;

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta k l$$

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Δk - питоме викривлення, мкм;

$\Delta k = 1$ мкм.

$L = 515$ - довжина поверхні валу

$\rho_{\text{кор}} = 1 \cdot 515 = 0,515$ мм.

$$\rho_y = \sqrt{\left(\frac{\delta_z}{2}\right)^2 + 0,25^2}$$

де $\delta_z = 1,8$ мм - допуск на поверхні, що використовуються як бази на першій операції.

$$\text{Тоді: } \rho_y = \sqrt{\left(\frac{1,8}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 0,93 \text{ мм}$$

Сумарне відхилення буде рівне:

$$\rho_z = \sqrt{1000^2 + 515^2 + 930^2} = 1460 \text{ мкм}$$

Мінімальний припуск:

Під попереднє обточування:

$$2Z = 2(150 + 200 + 1460) = 3620 \text{ мкм}$$

під остаточне обточування:

$$2Z = 2(80 + 50 + 88) = 436 \text{ мкм}$$

під попереднє шліфування:

$$2Z = 2(20 + 30 + 58) = 217 \text{ мкм}$$

під остаточне шліфування:

$$2Z = 2(6,3 + 20 + 58) = 169 \text{ мкм}$$

Заповнюємо таблицю. Графа з розрахунковими розмірами заповнюється, починаючи з кінцевого розміру, шляхом збільшення розрахункового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

На отримані значення призначаємо допуски. Найбільші граничні розміри обчислюємо збільшенням допуску до заокругленого найменшого граничного розміру. Максимальні значення припусків визначаємо як різницю найбільших граничних розмірів, а мінімальні значення припусків - як різницю найменших граничних розмірів передуючого і такого, що виконується переходів.

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$2Z_{\max 1}=74,065-73,88=0,185 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 2}=74,356-74,065=291 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 3}=74,971-74,356=0,615 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max 4}=79,5-74,971=4,53 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 1}=74,019-73,85=0,169 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 2}=74,236-74,019=0,217 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 3}=74,671-74,236=0,435 \text{ мм}$$

$$2Z_{\min 4}=78,29-74,671=3,62 \text{ мм}$$

Отримані дані заносимо в таблицю і на їх основі графічно зображуємо величини припусків і допусків.

Загальний мінімальний припуск з урахуванням несиметричного розташування поля допуску заготівлі :

$$Z_{0 \text{ ном}} = Z_{0 \text{ min}} + H_{\text{заг}} - H_{\text{дет}} = 4441 + 400 - 30 = 4811 \text{ мкм.}$$

Номінальний розмір заготівлі :

$$d_{\text{заг ном.}} = d_{\text{дет. min}} + Z_{0 \text{ ном}} = 73,85 + 4,811 = 78,66 \text{ мм}$$

Приймаємо номінальний розмір заготівлі 79 мм

Розрахунок припусків і граничних розмірів на обробку поверхні діаметром 72h9

Таблиця 3.2

Технологічний перехід	Елементи припуска, мкм				Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мкм	Граничний розмір, мм		Граничний припуск, мкм	
	Rz	T	ρ	ε				D _{min}	D _{max}	Z _{min}	Z _{max}
Заготівка	150	200	1460			78,29	1200	78,29	79,5		

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						54

Точіння чорнове	80	50	88	-	3620	74,671	300	74,671	74,97	3,62	4,52
Точіння чистове	20	30	58	-	435	74,236	120	74,236	74,356	0,435	0,615
Шліфування чорнове	6,3	20	58	-	217	74,019	46	74,019	74,065	0,217	0,291
Шліфування чистове	2,5	15		-	169	73,85	30	71,95	72,08	0,169	0,185
Разом										4441	5611

3.5. Вибір технологічного обладнання

При виборі обладнання враховують наступні основні фактори:

- ✓ об'єм випуску деталі по задані;
- ✓ тип виробництва;
- ✓ габарити деталі;
- ✓ розміри і розташування обробляючих поверхонь;
- ✓ вимогання до точності шорсткості поверхні економічності обробки;
- ✓ необхідність найбільш повного використання станків по потужності по завантаженню (години праці);
- ✓ простота обслуговування верстатів, степінь їх використання і вартість.

По своїй технологічній характеристиці вибраний верстат повинен відповідати наступним вимогам :

- ✓ робоча зона верстата (висота центрів, відстань між центрами , розміри стола та ін.) повинна відповідати габаритам оброблюваної деталі;

- ✓ потужність, жорсткість і кінематичні можливості верстата повинні дозволяти вести роботу на дійсних режимів різання ;
- ✓ виробництво верстата повинно відповідати даному обсягу випуску виробів.

На ділянці механічного цеху по виробництву валів-індукторів використовую наступне обладнання:

1. Токарно-гвинторізний 1М61

Верстати моделі 1М61 призначені для різноманітних токарних робіт.

Клас точності верстата по ГОСТ 8-82 (Н, П, В, А, С) Н

Найбільший діаметр оброблюваної деталі над станиною, мм 320

Найбільший діаметр оброблюваної деталі над супортом, мм 160

Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм 710, 1000

Межі частот обертання шпинделя min/max об/хв 12,5 / 1600

Потужність двигуна головного руху / сумарна потужність, кВт 4

Габарити машини: довжина/ширина/висота, мм 2055/1095/1450,
2345/1095/1450

Маса машини з виносним обладнанням, кг 1300, 1375

2. Горизонтально-фрезерувальний 6Р81Ш

Верстати моделі 6Р81Ш призначені для виконання різноманітних фрезерувальних робіт циліндричними, торцевими, кінцевими, фасонними та іншими фрезами.

Робоча поверхня стола, мм 250x1000

Переміщення столу, мм, найбільша

поздовжнє 710

поперечний 250

вертикальне 400

Переміщення гільзи вертикального шпинделя, мм, найбільша 80

Кут повороту осі вертикального шпинделя, град

до станини 45

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від станини / в поздовжній площині 90 / 90

Швидкість швидкого переміщення столу, мм/хв

поздовжнього 2900

поперекового 2300

вертикального 765

Кількість швидкостей шпинделя

вертикального 12

горизонтального 21

Частота обертання шпинделя, хв-1

вертикального 31,5-1400

горизонтального 16-1600

Подача стола, мм/хв

поздовжня 35-1020

поперекова 27-790

вертикальна 9-264

Конус шпинделя

горизонтального ISO 50

вертикального ISO 40

Потужність електродвигуна, кВт

приводу подач 1,5

приводу вертикального шпинделя 2,2

приводу горизонтального шпинделя 5,5

Габаритні розміри, мм

довжина 2135

ширина 1725

висота 2015

Маса, кг 2500

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Круглошліфувальний 3М151.

Верстати моделі 3М151 призначені для зовнішнього шліфування гладких і переривчастих і пологих циліндричних і конічних поверхонь методами поздовжнього і врізного шліфування

Найбільші розміри встановлюваної заготовки:

Діаметр: 200 мм

довжина: 700 мм

Висота центрів: 125 мм

Діаметр шліфувального круга:

Найменший: 450 мм

Найбільший: 600 мм

Частота обертання шліфувального круга: 1590 хв-1

Частота обертання заготовки: 50-500 хв-1

Потужність електродвигуна привода шліфувального круга: 10 кВт

Швидкість переміщення стола від гідроприводу: 0,05—5 м/хв

Врізна подача: 0,01-3 мм/хв

Габаритні розміри верстата:

Довжина: 4635 мм

Висота: 2450 мм

ширина: 2170 мм Маса: 6032 кг

3.6. Вибір ріжучого інструменту

При розробці технологічного процесу бажано застосовувати стандартний, більш дешевий ріжучий інструмент, який дозволяє з'єднувати обробку декількох поверхонь, скорочуючи цим основний час.

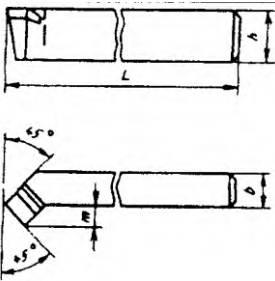
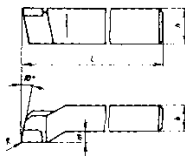
При проектуванні нового ріжучого інструмента крім розробки конструкції необхідно зробити розрахунки геометричних параметрів, посадочних місць, розмірів інструмента. Вибір матеріалу для інструмента, матеріалу оброблюваної заготовки, прийнятих режимів різання і типу виробництва. У даному дипломному

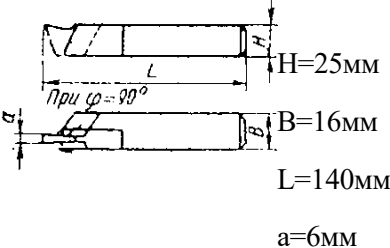
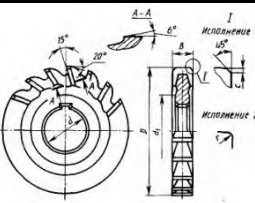
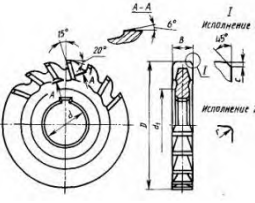
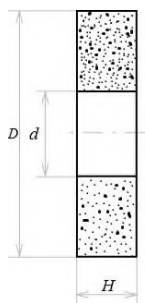
					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проекті при розробці технологічного процесу виготовлення вал-шестерні використовують як стандартний, так і спеціальний ріжучий інструмент.

Ріжучий інструмент

Таблиця 3.3

Нумерація			Ескізне зображення інструментів та основні розміри	Найменування, позначення, марка
Операцій	Установів	Переходів		
1	2	3	4	5
30	1	2		Різець токарний прохідний відігнутий правий з пластинами із твердого сплаву 2112-0036-ВК6-IV ГОСТ 18880-73
	8	9		
35	1	3		
	4	6		
10	1	2	d=6,3 мм L=71мм l=9,8мм D=16мм	Свердло центрове комбіноване 2317-0008 Р18 ГОСТ 14952-75
	3	4		
15	1	2		Різець токарний прохідний упорний відігнутий правий 2103-0037-ВК8-IV ГОСТ 1878-73
	3	4		
30	1	3,7		
	8	10,1		
35	1	1		
	4	2		
		5		

30	1 8	4-6 12	 $H=25\text{мм}$ $B=16\text{мм}$ $L=140\text{мм}$ $a=6\text{мм}$	Різець токарний відрізний з пластинками із твердого сплаву 2130-0517 Т15К6 ГОСТ 18884-73
40	1	2-17	 $D=60$ $B=8$ $d=22$ $d_1=34$ $z=16$ $r=0.25$	Фреза модульна дискова 2240-0356 ГОСТ 3755-78
45	1	2-16	 $D=63$ $B=60$ $d=22$ $z=15$ $m=8$	Фреза дискова трьохстороння 2240-0356 ГОСТ 3755-78
50	1 4	2 3	 $D=300\text{мм}$ $H=40\text{мм}$ $d=50\text{мм}$	Круг шліфувальний ПП 300x40x50 СМ2 10К ГОСТ 2424-83

3.7. Вибір вимірювальних інструментів

При виборі вимірювального інструмента потрібно враховувати, що погрішність вимірювання звичайно більше погрішності самого засобу вимірювання і визначається контактними деформаціями у місці доторкання вимірювального елемента з об'єктом контролю, не повинна бути більше 0,1 допустимої погрішності вимірювання.

Вимірювальний інструмент

Таблиця 3.4

Нумерація			Найменування та позначення	Коротка характеристика
Операцій	Установів	Переходів		
1	2	3	4	5
5 10 15 30 35	1 1;3 1;3 1;8 1;4	2 2;4 2;4 2-7 9-12 2;3;5 6	Штангенциркуль ШЦ – I; 0-125; 0.1мм ГОСТ 166-89	1. Величина відрахунку по ноніусу 0.1 2. Вильот вимірювальних губок: - для зовнішніх вимірювань 40 - для внутрішніх вимірювань 17-18 3. Гранична похибка показників ± 0.1
50	1	2	Скоба індикаторна спеціальна	1. Ціна ділення ноніусного барабану 0.01 2. Гранична похибка показників ± 0.002
50	2	3	Мікрометр гладкий МК 75; 50-75; 0.01мм ГОСТ 6507-90	1. Ціна ділення ноніусного барабану 0.01 2. Гранична похибка показників ± 0.02
40 45	1 1	2-17 2-17	Штангензубомір ШЗ-18 ГОСТ 5568-68	1. Величина відрахунку по ноніусу 0.01 2. Гранична похибка показників ± 0.02
55	1	2	Прибор для перевірки на биття в центрах ПБ-1600 ТУ 2-034-543-81	1. Висота центрів 250 мм 2. Ціна поділки 0,01 мм 3. Гранична похибка показників ± 0.02

3.8. Розрахунок режимів різання та технічне нормування

При призначенні елементів режимів різання враховують характер обробки, тип і розміри інструменту, матеріал його ріжучій частини, матеріал і стан заготовки, тип і стан устаткування.

Елементи режимів різання встановлюються в наступному порядку:

- глибина різання **t**: при чорновій (попередній) обробці призначають по можливості максимальну **t**, рівну припуску або його більшій частині; при чистовій

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

(остаточній) обробці, залежно від вимог точності розмірів і шорсткості обробленої поверхні.

-подача **S**: при чорновій обробці вибирають максимально можливу подачу, виходячи з жорсткості і міцності системи СНІД, потужності приводу верстата і

- інших обмежуючих чинників; при чистовій обробці – залежно від необхідного ступеня точності і шорсткості обробленої поверхні.

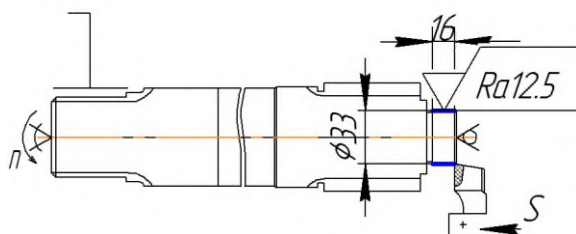
- сила різання – під нею звично розуміють її головну складову P_z , визначальну потужність N_e , що витрачається на різання, і що крутить момент на шпинделі верстата. Силкові залежності розраховуються по емпіричним формулам.

- швидкість різання **V** розраховується по емпіричним формулам, встановленим для кожного виду обробки, які мають загальний вигляд

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot k_v$$

Аналітичний розрахунок режимів різання.

3.8.1 Розрахунок режимів різання при точінні



Обладнання: Верстат токарно-гвинторізний 1М61

Установ 1: Встановити вал в повідцевий патрон, підтиснути центром задньої бабки, закріпити й зняти.

Пристосування: 1. Патрон токарний повідцевий 7108-0051 ГОСТ 2572-72 2. Центр верстатний упорний 7032-А-1-2 НІ ГОСТ 13214-79

Допоміжний час на установ в центрах при масі валу 4 кг:

$$T_{\text{доп}}^1 = 0.30 \times v \text{ ([4], с. 82 табл. 51)}$$

Перехід 2: Точити посадочну поверхню під підшипник з Ø35мм до Ø33мм, на довжину 16мм.

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інструмент:

Ріжучий – різець токарний прохідний упорний

відігнутий правий 2103-0037-ВК8-IV ГОСТ 1879-73 ([5], с. 282 табл.2)

Вимірювальний інструмент – штангенциркуль

ШЦ-I; 0-125; 0.1мм ГОСТ 166-89 ([5], с. 414 табл.3)

Режими різання

1. Припуск на чорнове точіння зовнішньої поверхні h , мм, визначається за формулою:

$$h = \frac{D - d}{2},$$

де D і d - відповідно діаметри до та після обробки поверхонь:

$$D = 35\text{мм} \text{ і } d = 33\text{мм}$$

$$h = \frac{35 - 33}{2} = 1\text{мм};$$

2. Глибина різання при чорновому зовнішньому точінні чисельно дорівнює припуску t , мм:

$$t = h = 1\text{мм}$$

3. Кількість проходів i визначається за формулою:

$$i = \frac{h}{t} = \frac{1}{1} = 1$$

4. Подача при чорновому повздовжньому точінні для обробки поверхні $\varnothing 35\text{мм}$ і глибини різання $t=1\text{мм}$, $S, \frac{\text{мм}}{\text{об}}$:

$$S = 0.4 \dots 0.5 \frac{\text{мм}}{\text{об}} \quad ([4], \text{с.55 табл.17})$$

Для розрахунку приймаю:

$$S = 0.50 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

5. Швидкість різання розрахункова при чорновому точінні $v_P, \frac{\text{м}}{\text{хв}}$ визначається за формулою:

$$v_P = v_T \cdot k_m \cdot k_x \cdot k_{m.p.} \cdot k_{ox},$$

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де v_T - таблична швидкість різання при точінні вуглецевої
конструкційної сталі

$\sigma_B = 650 \text{ МПа}$ при обробці різцями Т15К6 без охолодження при
 $t = 1 \text{ мм}$ і $S = 0.50 \text{ мм/об}$

$$v_T = 147 \text{ м/хв} \quad ([4], \text{ с.63 табл.31})$$

k_M - поправочний коефіцієнт на швидкість різання при обробці Сталі
20Х, $\sigma_B = 780 \text{ МПа}$; $k_M = 0.87$ ([4], с.57 табл.21)

k_x - поправочний коефіцієнт на швидкість різання при обробці валу

$$k_x = 1.0 \quad ([4], \text{ с.58 табл. 23})$$

$k_{M.p.}$ - поправочний коефіцієнт на швидкість різання при обробці різцями зі
сталі Т15К6

$$k_{M.p.} = 0.8 \quad ([4], \text{ с.58 табл.24})$$

k_{ox} - поправочний коефіцієнт на швидкість різання при обробці без
охолодження

$$k_{ox} = 1.0 \quad ([4], \text{ с.58 табл.24})$$

$$v_P = 147 \cdot 0.87 \cdot 1.0 \cdot 0.8 \cdot 1.0 = 102.3 \text{ м/хв}$$

6. Частота обертання шпинделя розрахункова $n_p, \text{ об/хв}$ визначається за
формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v_P}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 102.3}{3.14 \cdot 35} = 930,8 \text{ об/хв}$$

7. Частота обертання шпинделя фактична $n_\phi, \text{ об/хв}$ за паспортними даними
верстату:

$$n_\phi = 958 \text{ об/хв}$$

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

8. Швидкість різання фактична $v_\phi, \text{ м/хв}$ визначається за формулою:

$$v_\phi = \frac{\pi \cdot D \cdot n_\phi}{1000} = \frac{3.14 \cdot 35 \cdot 958}{1000} = 105.28 \text{ м/хв}$$

Перевірка вибраних режимів

по зусиллю різання і потужності основного електродвигуна верстата

1. Зусилля різання при чорновому зовнішньому точінні $P_z, \text{ Н}$ визначається за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t_p^x \cdot S_y \cdot V_\phi^n \cdot k_p,$$

де C_p, x, y, n - коефіцієнт і показники ступеня при точінні конструкційної сталі $\sigma_B = 750 \text{ МПа}$

$$C_p = 300; x = 1; y = 0,75; n = -0,15 \quad ([6], \text{ с.372 табл.22})$$

k_p - поправочний коефіцієнт на зусилля різання, визначається за формулою:

$$k_p = k_{mp} \cdot k_{\phi p} \cdot k_{\gamma p} \cdot k_{\lambda p} \cdot k_{rp},$$

де k_{mp} - поправочний коефіцієнт для обробки сталі, з врахуванням впливу якості оброблюваного матеріалу на силові залежності, визначається за формулою:

$$k_{mp} = \left| \frac{\sigma_B}{750} \right|^n, \quad ([6], \text{ с.362 табл.9})$$

де σ_B - межа міцності, для Сталі 40Х, $\sigma_B = 980 \text{ МПа}$;

n - показник ступеня, $n = 0,75$ ([6], с.362 табл.9)

$$k_{mp} = \left| \frac{780}{750} \right|^{0.75} = 1.03$$

$k_{\phi p}$ - поправочний коефіцієнт, при обробці різцем з головним кутом в плані $\phi = 90^\circ$

$$k_{\phi p} = 1.0; \quad ([6], \text{ с.374 табл. 23})$$

$k_{\gamma p}$ - поправочний коефіцієнт, при обробці різцем з переднім кутом $\gamma = 10^\circ$.

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{\lambda p} = 1.0 ; \quad ([6], \text{с.374 табл.23})$$

$k_{\lambda p}$ - поправочний коефіцієнт, при обробці різцем з кутом нахилу
ГОЛОВНОГО леза $\lambda = 15^\circ$

$$k_{\lambda p} = 1.0 ; \quad ([6], \text{с.374 табл.23})$$

$$k_p = 1.03 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 1.03;$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1.0^1 \cdot 0.5^{0.75} \cdot 105.28^{-0.15} \cdot 1.03 = 913,8 \text{ Н}$$

2. Ефективна потужність двигуна верстату $N_{ef}, \text{кВт}$, визначаються за формулою:

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot v_\phi}{61200} = \frac{913.8 \cdot 105.28}{61200} = 1.57 \text{ кВт}$$

3. Необхідна потужність основного електродвигуна верстату $N_{el}^H, \text{кВт}$, визначається за формулою:

$$N_{el}^H = \frac{N_{ef}}{\eta},$$

де η - ККД трансмісії верстату, $\eta = 0.85$

$$N_{el}^H = \frac{1.57}{0.85} = 1.85 \text{ кВт}$$

4. Коефіцієнт завантаження основного електродвигуна верстату k_3 , визначається за формулою:

$$k_3 = \frac{N_{el}^H}{N_o} = \frac{1.85}{4.5} \approx 0.41 \leq 1.1$$

Норми часу по переходу

1. Допоміжний час при чорновому точінні на верстаті з висотою центрів
160 мм $T_o^2, \text{хв}$:

$$T_o^2 = 0.3 \text{ хв} \quad ([4], \text{с.83 табл.52})$$

2. Основний час при чорновому точінні $T_o^2, \text{хв}$ визначається за формулою:

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_o^2 = \frac{(l + y_1 + y_2) \cdot i}{n_{\phi} \cdot S}$$

де l - довжина оброблюваної поверхні при точінні, $l = 16 \text{ мм}$

y_1, y_2 - відповідно величина врізання й перебігу різця при глибині різання $t = 1 \text{ мм}$:

$$y_1 + y_2 = 2 \text{ мм}$$

([4], с.77 табл.44)

$$T_o^2 = \frac{(16 + 2) \cdot 1}{958 \cdot 0.7} = 0.04 \text{ хв}$$

Режими різання і норми часу по решті переходів визначаються аналогічно.

3.8.2. Визначення технічно обґрунтованих норм часу

Норми часу по операціям розраховуються у такій послідовності:

1. Оперативний час:

$$T_{\text{опер}} = \sum T_{\partial} + \sum T_o$$

де $\sum T_{\partial}$ – сумарний допоміжний час по операціям, хв.

$\sum T_o$ – сумарний основний час по операціям, хв.

2. Додатковий час по операціям:

$$T_{\text{дод}} = \frac{T_{\text{опер}} \cdot K}{100}$$

де K – відсоток додаткового часу від оперативного ([4], с.43 табл.14)

3. Штучний час:

$$T_{\text{шт}} = T_{\text{опер}} + T_{\text{дод}}$$

4. Норма штучно-калькуляційного часу:

$$T_{\text{ук}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{Q}$$

де $T_{\text{пз}}$ – норма підготовчо-заключного часу, хв.;

Q – розмір партії деталей в штуках, $Q = 500$ шт.

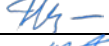
Результати розрахунків норм часу по операціям зведені до табл.3.5.

					6261м. 02.МР.06.03.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Норми часу по операціям

Таблиця 2.5

Нумерація та найменування операції	Підсумковий допоміжний час Т _д , хв	Підсумковий основний час Т _{ос} , хв	Оперативний час Т _{оп} , хв	Додатковий час		Штучний час Т _{шт} , хв	Підготовчо-заклучний час Т _{пз} , хв	Норма штучно-калькуляційного часу
				К, %	Т _{дод} , хв			
005 КОНТРОЛЬНА	—	—	—	—	—	—	—	—
010 ФРЕЗЕРУВАЛЬ НО-ЦЕНТРУВАЛЬНА	1,36	0,17	1,53	8	0,12	1,65	11	1,66
015 ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНА	1,20	0,16	1,36	8	0,11	1,47	8	1,48
030 ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНА (чорнова)	2,50	0,97	3,47	8	0,28	3,75	8	3,76
035 ТОКАРНО-ГВИНТОРІЗНА(чистова)	1,70	0,56	2,26	8	0,18	2,44	8	4,45
040 ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРУВАЛЬНА	3,54	8,16	11,70	7	0,82	12,52	27	12,54
045 ГОРИЗОНТАЛЬНО-ФРЕЗЕРУВАЛЬНА	3,54	3,52	7,06	7	0,49	7,55	27	3,57
050 КРУГЛО-ШЛІФУВАЛЬНА	2,98	0,21	3,19	9	0,29	3,48	7	3,49
055 КОНТРОЛЬНА	—	—	—	—	—	—	—	—

					6261м.02.МР.06.04.ПЗ						
					Конструкторська частина						
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив		Гончаров О.М.									
Перевірів		Поліщук В.А.									
Консульт.											
Н.контр.		Моргун С.О.									
Затвердив		Ткач М.Р.									
					Літ		Арк.	Аркушів			
					М	Р					
					НУК						

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертатися, пружини розводять вантажі і кулачки і оброблювана деталь розтискається.

4.1.2 Розрахунок сил затиску заготовки

Розрахунок сил затиску зводиться до розв'язання задачі статичної рівноваги твердого тіла під дією зовнішніх сил. Величина сил затиску визначається з умови рівноваги всіх сил, при повному збереженні контакту технологічних баз оброблюваної заготовки з настановними елементами пристосування і неможливості її зсуву або повороту в процесі обробки.

Розрахуємо зусилля необхідне для затиску заготовки одним кулачком.

Вихідні дані для розрахунку:

- діаметр оброблюваної поверхні, $D=50,7$ мм;
- діаметр затискний поверхні $D_z=50,6$ мм;
- глибина різання $t=0,65$ мм;
- частота обертання $n=800$ хв;
- швидкість різання $v=72,6$ м/хв;
- сила різання $P_z = 519$ Н

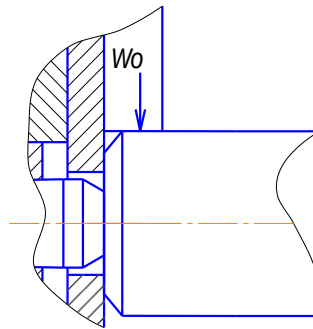


Рис.4.2 - Схема для розрахунку зусилля, необхідного для затиску заготовки.

Необхідну силу затиску на кожному кулачку визначимо за формулою:

$$W_o = \frac{2 \cdot k \cdot M}{\pi \cdot f \cdot D}, \text{ Н} \quad (4.1)$$

де k - коефіцієнт запасу;

M – крутний момент від зусилля різання;

f - коефіцієнт тертя на робочих поверхнях кулачка;

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$f = 0,45$ ([12], стр. 211);

D - діаметр затискної поверхні.

Крутний момент:

$$M = P_z \cdot \frac{D_{\phi}}{2}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (4.2)$$

Підставивши в (4.1) формулу (4.2) отримаємо:

$$W_o = \frac{\kappa \cdot P_z}{\pi \cdot f}, \text{ Н} \quad (4.3)$$

Коефіцієнт запасу

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (4.4)$$

де $K_0 = 1,5$ - гарантований коефіцієнт запасу;

$K_1 = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки ([12], с.199);

$K_2 = 1,2$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання внаслідок затуплення інструмента; ([12], с.206 табл.95)

$K_3 = 1,0$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при переривчастому різанні;- ([12], с.199)

$K_4 = 1,0$ - коефіцієнт мінливості затискного зусилля; ([12], с.199)

$K_5 = 1,0$ - ступінь зручності розташування рукояток ([12], с.206);

$K_6 = 1,5$ - коефіцієнт, що враховує вплив крутних моментів; ([12], с.207)

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 3,24$$

По ГОСТ 12.2.029-77 мінімальний запас надійності закріплення дорівнює 2,5, а розрахований коефіцієнт перевищує це значення.

За формулою (4.3) зусилля необхідне для затиску заготовки:

$$W_o = \frac{3,24 \cdot 519}{3,14 \cdot 0,45} = 1190 \text{ Н}$$

Розрахуємо силу затиску деталі одним кулачком повідкового патрона при даній частоті обертання деталі

$$W_3 = 0,01 \cdot G \cdot R \cdot n^2, \text{ Н} \quad (4.5)$$

де G – вага протипаги, $G = 20 \text{ Н}$;

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

R – відстань від центра ваги вантажу до осі обертання патрона, $R = 0,07\text{м}$.

$$W_3 = 0,01 \cdot 20 \cdot 0,07 \cdot 800^2 = 8960 \text{ Н}$$

4.1.3 Розрахунок пристосування на точність

Мета розрахунку пристосування на точність полягає у визначенні необхідної точності виготовлення пристосування по обраному точностному параметру і завданні допусків розмірів деталей і елементів пристосування.

Розрахуємо похибку пристосування при установці цапфи до нього:

$$\epsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \cdot \sqrt{(k_{T1} \cdot \epsilon_6)^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_{\text{и}}^2 + \epsilon_{\text{пи}}^2 + (k_{T2} \cdot \epsilon)^2} \quad (4.6)$$

де $\epsilon_{\text{пр}}$ - похибка пристосування, мкм;

T - допуск радіального биття, $T = 150 \text{ мкм}$;

K_T - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу, $K_T = 1,1$;

k_{T1} - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на налагоджених верстатах, $k_{T1} = 0,85$;

k_{T2} - коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки сумарної похибки, спричиненої факторами, незалежними від пристосування, $k_{T2} = 0,7$;

ϵ_6 - похибка базування, мкм;

ϵ_3 - похибка закріплення, мкм;

ϵ_y - похибка установки пристосування на верстаті, мкм;

$\epsilon_{\text{и}}$ - похибка положення робочих поверхонь робочих елементів в ре-док їх зношування в процесі експлуатації пристосування, мкм;

$\epsilon_{\text{пи}}$ - похибка від перекосу інструменту через неточності виготовлення напрямних елементів пристосування, мкм;

ϖ - економічна точність обробки ($\varpi = 0,09 \text{ мкм}$).

$\epsilon_6 = 0$, так як технологічна та вимірювальна бази збігаються.

Похибка закріплення, з урахуванням того, що установка здійснюється за обробленої поверхні, буде становити:

$\epsilon_3 = 0$, так як установка здійснюється в центрах.

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\varepsilon_y = 0$, так як установка проводиться з розвиненою поверхні і невизначеності не виникає.

Похибка від зношення установочних елементів визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{и}} = \frac{u}{n}, \text{ мкм} \quad (4.7)$$

де n – кількість змін опор протягом року, приймаємо $n=2$;

u – величина ізноса.

$$\varepsilon_{\text{и}} = \frac{20}{2} = 10 \text{ мкм} \quad (4.8)$$

Так як установка відбувається на опору з великою площею контакту:

$$u = \beta_1 \cdot N^{0,8}, \text{ мкм} \quad (4.9)$$

де β - постійна, що залежить від виду інсталяційного елемента та умови контакту ($\beta_1 = 0,002 \text{ мкм}$);

N - кількість контактів заготовки з опорою (установок в пристосування, зняття з нього), рік. В нашому випадку дорівнює річній програмі випуску: $N_r=37000$ шт.

$$u = 0,002 \cdot 37000^{0,8} = 7,4 \text{ мкм}$$

$\varepsilon_{\text{ми}} = 0$, так як у пристосуванні відсутні направляючі елементи.

Підставимо значення в (4.6), отримаємо:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq 150 - 1,1 \cdot \sqrt{(0,85 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0^2 + 10^2 + 0^2 + (0,7 \cdot 0,85)^2} = 139 \text{ мкм}$$

$$\text{Приймаємо } \varepsilon_{\text{пр}} = 139 \text{ мкм} = 0,139 \text{ мм}$$

На підставі розрахунку можна зробити висновок, що сумарна похибка пристосування $\varepsilon_{\text{пр}}$ не повинна перевищувати 0,139мм.

4.1.4 Розрахунок пристосування на міцність

Розрахуємо на міцність найнебезпечніше ланка пристосування.

Розглядаючи дане пристосування можна прийти до висновку, що найбільш навантаженим ланкою є вісь, що з'єднує противагу з кулачком.

Вісь працює на зріз. Вона виготовлена зі сталі 20.

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок на міцність проводимо за наступною формулою :

$$\tau_{CP} = \frac{4 \cdot Q}{n \cdot n \cdot i \cdot d^2} \leq [\tau_{CP}], \text{ МПа} \quad (4.9)$$

де: Q - розрахункова осьова сила, Q = 8960 Н ;

d – діаметр вісі, мм;

n – число осей в з'єднанні;

i – число площин зрізу;

$[\tau_{CP}]$ - припустиме навантаження зрізу;

Для сталі 20 $[\tau_{CP}] = 120 \text{ МПа}$

Висловлюючи d з формули (4.9) знаходимо необхідний розмір небезпечного перерізу:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 8690}{3,14 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 120}} = 6,8 \text{ мм}$$

Оскільки використовуваний розмір d=26 мм більше розрахованого мінімально допустимого, то залишаємо його тим же.

4.2. Опис індикаторної скоби

Скоби з відліковим пристроєм призначені для вимірювань лінійних розмірів до 1000 мм, оснащені відліковим пристроєм з ціною поділки 0,002 0,01 мм. Вони виготовляються двох типів:

- СВ важільні, з вбудованим в корпус відліковим пристроєм (рис. 4.3).
- СІ індикаторні, оснащені вимірювальними головками (рис. 4.4).

Основні параметри скоб відповідають зазначеним у табл.4.1

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Параметри скоб

Таблица 4.1

Типи скоб	Межі вимірювань скоб, мм	Відліковий пристрій		Діапазон переміщень переставний п'яти, мм	Кількість перестав них п'ят, шт.
		Ціна поділки, не більше, мм	Межі вимірювань, не більше, мм		
СВ	0-25	0,002	0,14	25	1
	25-50				
	50-75				
	75-100				
	100-125				
	125-150				
СІ	0-50	0,01	3	50	1
	50-100				2
	100-200				
	200-300				
	300-400				
	400-500		5		
	500-600				
	600-700				
	700-850				3
850-1000					

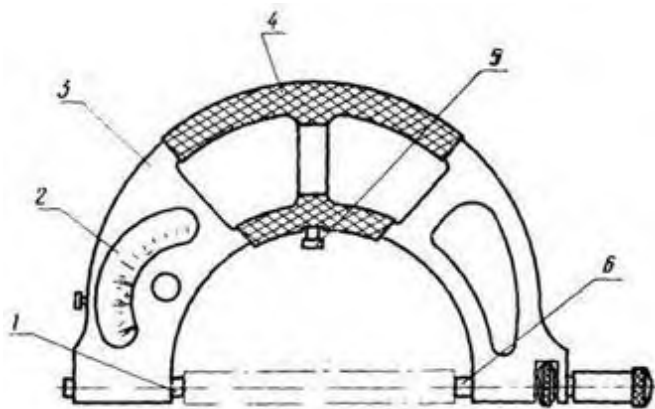


Рис.4.3 Скоба важільна

1 - п'ятка рухома; 2 - відліковий пристрій; 3 - корпус; 4 - теплоізоляційна накладка; 5 - упор; 6 - п'ятка переставна

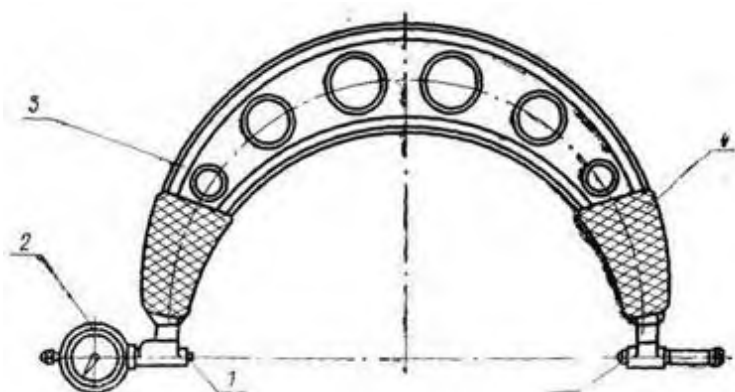


Рис. 4.4 Скоба індикаторна

1 - п'ятка рухома; 2 - відліковий пристрій; 3 - корпус; 4 - теплоізоляційна накладка; 5 - п'ята переставна

На основі базових скоб, у дипломному проекті була розроблена спеціальна індикаторна скоба представлена на рис. 4.5.

Відміна від базових - шкала.

У мікрометра в сотих частках міліметра. У пассаметра в мікронах (на порядок точніше).

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювань приладу — 25-50мм;

Ціна поділки відлікового пристрою скоби — 2мкм (0,002 мм);

					6261м. 02.МР.06.04.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Діапазон показів відлікового пристрою — ± 80 мкм;

Габарити — 210x85x35 мм;

Маса виробу — не більше 0,70 кг;

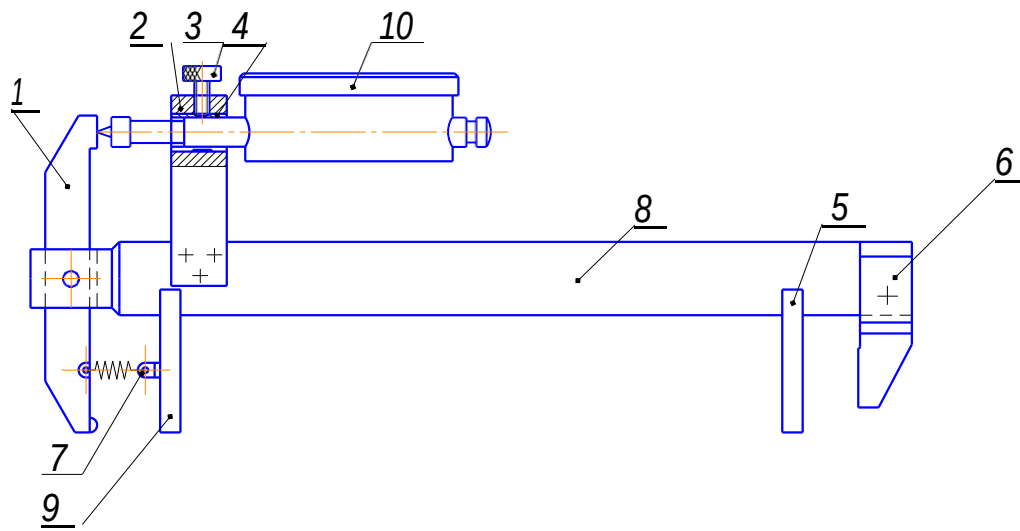


Рис.4.5. Скоба індикаторна спеціальна

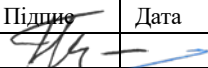
1 - упор; 2 – кронштейн; 3 - гвинт притискний 4 - теплоізоляційна накладка; 5 - п'ята переставна; 7 – пружина; 8 – штанга; 9 - п'ятка рухома; 10 - відліковий пристрій

Вимірювальні поверхні скоб виконані з твердого сплаву. Скоби оснащені теплоізоляційними накладками, і орієнтиром для відводу рухомий п'яти і переставними покажчиками поля допуску.

Унікальні особливості інструменту:

- Установка індикатора для вирішення різних вимірювальних завдань.
- Підходить для швидких вимірювань деталей, особливо циліндричних, в умовах серійного і масового виробництва для оцінки потрапляння в поле допуску.
- Встановлюється за зовнішнім стандартам довжини, таким як кінцеві міри.
- Зручний у використанні арретир.

Введіть текст

					6261м.02.МР.06.05.ПЗ				
					Охорона праці				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив		Гончаров О.М.							
Перевірів		Поліщук В.А							
Консульт.									
Н.контр.		Моргун С.О.							
Затвердив		Ткач М.Р.							
						Літ			
						Арк.			
						Аркушів			
						М	Р		
						НУК			

5. Охорона праці

5.1. Аналіз безпечних та шкідливих виробничих факторів, які впливають на виробничий персонал ділянки

Дільниця, призначена для обробки деталей типу «Вал–шестерні барабана лебідки». Для механічної обробки використовуються наступні верстати:

- токарні;
- фрезерувальні;
- шліфувальні;

Розглянемо безпечні та шкідливі фактори, характерні для дільниці.

1. Фізичні

- 1.1. Рухомі частини машин та устаткування, ріжучий інструмент(можуть бути травми при випадковому доторкуванню, захваті одягу)
- 1.2. Оброблювана деталь, яка при не досить надійному закріпленні її в оснащенні або при підвищених режимах різання може вирватися з закріплюючих пристроїв.
- 1.3. Важлива заготовка, яка встановлюється на верстат без допоміжних пристроїв (тобто, власноруч)
- 1.4. Висока температура оброблювальної поверхні та інструменту
- 1.5. Високі напруги в електромережі та статична електрична напруга, при яких людину може вразити електричний струм.
- 1.6. Металева стружка («стрічкова, зливна»), яка має високу температуру та швидкість.
- 1.7. Підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони, наявність аерозолів ЗОР.
- 1.8. Високий рівень шуму та вібрації.
- 1.9. Недостатнє освітлення робочої зони, наявність прямої та відображаючої блискучості поверхні.

					6261м. 02.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Хімічні

2.1. Наявність в повітрі робочої зони продуктів термоокиснення та речовин розпаду які присутні в ЗОР.

2.2. Наявність парів та аерозолів ЗОР.

3. Психофізіологічні

3.1. Перевантаження при встановленні та переміщенні вантажу, вагою яка перевищує встановлену норму.

4. Біологічних шкідливих факторів на ділянці немає

Розглянемо перераховані фактори більш докладно.

За для уникнення нещасних випадків при контакті з рухомими частинами машин та механізмів, необхідно пофарбувати останні у жовто – чорний колір та при змозі відокремити небезпечні зони.

Найбільш розповсюджені у механічних цехах травми очей, які займають при токарній обробці 50% загального числа травм, при фрезеруванні – 10%, при шліфуванні – 8%. Очі пошкоджуються відлітаючою стружкою, сталевими часками оброблюваного матеріалу, осколками інструменту та частинами абразивів.

Для захисту робочих від травм від літаючої стружки верстати мають загороджувальні щитки. Заходи індивідуального захисту – захисні окуляри типу Б – відкриті, захищені, з безкольоровим склом ГОСТ12.4.003 – 80.

При чистовому точінні, шліфуванні, зубошліфуванні утворюється малопомітний дисперсний пил (2 – 60 мкм), причому при шліфуванні частини розміром до 10 мкм складають 50 – 60% загального числа пилових часток. Пил таких розмірів найбільш небезпечний, так як, потрапляючи у легені він добре змащується та затримується. Має неправильну геометричну форму та гострі кути, частини роздратовують слизову оболонку дихальних шляхів, що може призвести до запалення.

Запиленість повітряного середовища повинна відповідати ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007.

					6261м. 02.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш ефективний засіб прибирання продуктів роботи абразивного круга та абразивного металевго пилу – видалення їх безпосередньо від ріжучого інструменту. За допомогою місцевої витяжної вентиляції.

Для забезпечення чистоти повітря та нормальних параметрів мікроклімату у виробничому приміщенні окрім місцевої вентиляції передбачається притоко – вентиляційна система загально обмінної природної вентиляції. Природна вентиляція здійснюється крізь спеціальні вентиляційні отвори, які розташовані у стінах приміщення цеху на висоті 1,5 м для подачі повітря у літній період та на висоті 4 м для потрапляння повітря у зимовий період.

За ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 «Повітря робочої зони» в цеху на дільниці температура повітря у зимовий час повинна бути 15 - 18°C, у літній час $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Швидкість руху повітря взимку повинна бути не більше 0,5 м/с, влітку не більше 0,7 м/с.

Система опалення цеху складається з нагріваючих приладів(радіаторів), розташовані повз стіни та повітряного опалення агрегату СДТ – 40В. Теплоносій – вода або пара під тиском 4...5атм.

Повітряне опалення є основним, забезпечуючим рівномірний нагрів та переміщення повітря.

Високий рівень шуму та вібрації є шкідливим фактором, так як веде до порушення фізіологічних функцій організму, центральної нервової системи, поява головних болей, запаморочень, зниження працездатності та уваги людини, в технічних випадках до розвитку віброхвороби та глухоти.

Доступний рівень шуму визначається за ГОСТом 12.1.003 – 83. У механічних цехах припускається використовувати в якості нормативного граничного спектру ПС – 80, для якого нормальний рівень шуму – 80дБ при частоті 1000Гц для постійних робочих місць.

Допустимі параметри вібрації визначаються за ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «Система стандартів безпечної праці, загальні вимоги безпечності». Допустиме середньоквадратичне значення коливань швидкості складає 22мм/с, рівень коливальної швидкості – 929Б.

					6261м. 02.MP.06.05.ПЗ	Арк.
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Джерелом вібрації на ділянці є вузли верстатів: шліцові з'єднання, кулачкові муфти та ін.

Загальні шляхи зниження вібрацій:

1. Застосування малошумних та точних передач.
2. Установка амортизаційних прокладок.

На ділянці використовується напруга 220 В та 380 В. Для запобігання ураженню людей електричним струмом застосовується захисне заземлення устаткування за ДСТУ 7237:2011 та по «Правилам пристосування електроустановок» ПУЕ-86.

Дільниця працює в дві зміни, тому необхідно використовувати штучне освітлення. Нормативний документ, регламентуючий штучне освітлення, - ДБН В.2.5-28-2006. Детальна система освітлення розглядається окремо у пункті 62.

В технологічному процесі на дільниці використовуються наступні ЗОР:

- для шліфування та зубошліфування – 5% розчин напівсинтетичної ЗОР Аквол – 6 ГОСТ 6243-75;
- для зубофрезерування, токарних робіт – Укрінол - 1 ГОСТ 6243-75.

Аерозолі нафтових мастил, які входять у склад ЗОР можуть роздратовувати слизові оболонки дихаючих шляхів, понижувати імунобіологічну реактивність. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007, встановлює гранично – допустиму концентрацію 5% емульсії – 10 мг/м³. Для забезпечення нормальної концентрації аерозолів, мастил та парів ЗОР також застосовують систему місцевої вентиляції та загально обмінної природної вентиляції.

З пожежобезпеки ділянка відноситься до категорії Г (не вибухонебезпечна). За для гасіння пожеж на дільниці передбачені наступні засоби пожежогасіння:

1. Вогнегасник ОХП10 для гасіння твердих та рідких горючих матеріалів.
2. Вогнегасники ОУ – 2; ОУ – 6 для гасіння пожеж у закритих приміщеннях.

Засоби пожежогасіння підбираються за ГОСТ 12.4.009 – 83. ССБТ.

					6261м. 02.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2.Методи зменшення небезпек пов'язаних зі стружкою

При обробці деталей в механічних цехах формуються різні види стружки:

1.елементна стружка, являє собою окремі зрізані елементи.

2.стружка злому, елементи котрої з'єднані між собою.

Зливна стружка, яка не має помітних слідів площини зсуву.

Найбільшу небезпеку являє собою зливна стружка, яка при обробці може накручуватися на деталь, інструмент, рукоятки керування, чіплятися за одяг та призвести до травми робочого. Також при точінні сталей з подачами $S > 0,25$ мм/об., новими прохідними різцями може утворюватися стружка міцна та пружна, практично пряма. Стружка такої форми являє собою небезпеку не тільки для робочого, який обслуговує верстат, але і для робочих, які зайняті на сусідніх верстатах. Стружка – шпага дуже незручна для прибирання, зберігання, для повторної утилізації.

Один з най ефективніших методів боротьби зі зливною стружкою – це стружко подрібнення та стружко завертання.

Засоби стружко подрібнення та стружко-завертання :

1. Лункою, заточеною на передній грані різця
2. Уступами, заточеними на передній грані різця
3. Накладними стружко ламами, встановленими на передню грань
4. Застосування екранів
5. Вібраційне різання
6. Попереднє нарізання канавок на глибину 70% припуску.

Недоліками перших двох методів є те, що заточка лунок та уступів призведе до послаблення ріжучої частини інструмента. Перші чотири методи не завжди забезпечують надійне стружко подрібнення. Також параметри заточки необхідно підбирати експериментально згідно даних умов обробки. Однак, ці методи не потребують збільшення машинного часу та змінюють якість оброблюваної поверхні. Метод вібраційного дроблення дає надійне стружко подрібнення незалежно від матеріалу та режимів різання. Однак його використання потребує

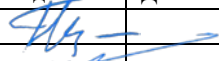
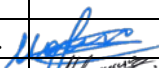
					6261м. 02.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

додаткових пристроїв, створює перемінне навантаження, іноді знижує чистоту поверхні.

Попереднє нарізання канавок потребує додаткової операції, що призведе до збільшення часу на обробку деталі та відповідно її вартості.

На ділянці мається можливість використовувати стружко лами або спеціально заточений ріжучий інструмент.

					6261м. 02.МР.06.05.ПЗ	Арк.
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					6261м.02.МР.06.06.ПЗ						
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Охорона навколишнього середовища	Літ			Арк.	Аркушів	
Розробив		Гончаров О.М.				М	Р				
Перевірив		Поліщук В.А.				НУК					
Консульт.											
Н.контр.		Моргун С.О.									
Ватвердив		Ткач М.Р.									

6. Охорона навколишнього середовища

6.1. Механічні забруднення

У результаті механічної обробки відбувається викид пилу різного хімічного та геометричного складу. Зміст пилу в повітрі робочої зони не повинен перевищувати ГДК по ГОСТ 12.1.005 – 88. Особливо шкідливий дрібнодисперсний пил, виникаючий при шліфуванні та зубошліфуванні. Пил, який є у процесі абразивної обробки, на 30 – 40% складається з матеріалу деталі. При шліфуванні виділяється приблизно 50г/г пилу з одного верстату. Для зменшення концентрації пилу в повітрі застосовують місцевий забір повітря з зони різання та його очищення, забезпечування очищування повітря перед виходом в атмосферу за допомогою циклонів.

6.2. Хімічні забруднення

Використання на ділянці змащувально – охолоджуючої рідини веде до хімічного забруднення оточуючого середовища аерозолями мастил, випарень ЗОР, а також відробленими ЗОР при скиданні їх в каналізацію.

На ділянці використовуються наступні ЗОР:

- при підрізанні торців та інших токарних роботах – Укріол-1 ГОСТ 6243-75;
- при зубошліфуванні, шліфуванні – Аквол – 6 ГОСТ 6243-75.

Відроблена ЗОР збирається у спеціальні ємкості. Водну та мастильну фази можна вторинно використовувати для виготовлення емульсій. Мастильна фаза емульсій може зріджуватися. Водяна фаза очищається до допустимого змісту нафтопродуктів та скидається у каналізацію. Концентрація нафтопродуктів у стічних водах при скиданні їх у каналізацію регламентується вимогами ДСТУ 8691:2016 та «Правилами охорони вод від забруднень стічними водами».

					6261м. 02.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для приймання, очищення та знешкодження хімічно забруднених стоків, а також обезводнення осаду, зникаючого при освітленні стоків при скиданні їх у господарсько – побутову каналізацію.

6.3.Фізичне забруднення

Рівень шумового забруднення від механічних цехів перевищує рівень шумів великої кількості інших галузей. Джерелом шуму є елементи приводів (електродвигун, зубчасті передачі, підшипники), особливо зношені, а також сам процес різання. Спектр шуму – середньо та низькочастотний, рівень шуму – 85 – 100 дБ.

Найбільш високий рівень шуму при роботі крупних токарних, фрезерних, шліфувальних верстат. Допоміжні джерела шуму – різні пневматичні інструменти (188 – 118 дБ). Вентиляційна система є джерелом аеродинамічних шумів.

Для зменшення шумового забруднення необхідно проводити своєчасний огляд та ремонт обладнання, використовувати балансування обертаючих елементів машин, звукоізоляцію вентиляційних систем.

Відповідно вимогам СН і П П 33 – 88 ворота, двері та технологічні процеси механічних цехів володіють повітряними та повітряно – тепловими завісами, котрі захищають виробничий персонал від охолодження.

Для зняття зарядів статичної напруги, яка може викликати вибух, пило приймачі, обладнання, повітряні проводи вентиляційних устаткувань заземлення.

6.4.Загальні висновки

1. При проектуванні нових технологічних процесів та устаткування необхідно досягти виключення або різкого зниження виділення шкідливих речовин у повітря та оточуюче середовище.

2. При змозі необхідно заміщати токсичні речовини – нетоксичними, веде та рідке паливо – газоподібним.

3. Необхідно застосовувати шумо– та звукоізолюючі та пиловловлювачі.

					6261м. 02.МР.06.06.ПЗ	Арк.
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Магістерська робота на тему «Удосконалення технології виготовлення вал-шестерні редуктора ($m = 4$ мм, $z = 16$)» розроблена відповідно до діючих стандартів ЄСТД.

В кваліфікаційній роботі надано опис призначення деталі та характеристика матеріалу, з якого вона виготовлена, зроблено аналіз її технологічності, вибір та обґрунтування типу виробництва, розроблено технологічний процес виготовлення, а також розглянуті питання удосконалення технології високопродуктивного зубофрезерування циліндричних коліс.

В магістерській роботі наведені розрахунки спеціальних пристосувань та ріжучого і вимірювального інструментів: принцип дії вимірювального інструменту, опис і розрахунок патрона самозатискного повідкового інерційного, скоби індикаторної. Наведено аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що впливають на виробничий персонал дільниці, методи зменшення небезпек пов'язаних зі стружкою, аналіз впливу виробництва та технологічного процесу виготовлення деталі на довкілля та розглянуті заходи з охорони навколишнього середовища.

						Арк.
						89
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Література

1. Проектування технологічних процесів обробки типових деталей: Навчальний посібник/ Б.К. Хлопенко, М.М. Івахненко, О.П. Шумілов, О.О. Козленко. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 56 с.
2. Курсове проектування з дисциплін "Технологія машинобудування", "Організація та нормування в машинобудуванні", "Організація виробництва": Навчальний посібник/ Під ред. О.П. Гурченкова. – Миколаїв: НУК, 2004. – 212 с.
3. Проектування і виробництво заготовок у машинобудуванні: Навч. пос./ П.А. Руденко, Ю.А. Харламов, В.М. Плескач; Під заг. ред. В.М. Плескача. – К.: Вища школа, 1991. – 247 с.
4. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготівок: Підручник. – Львів: Світ, 1996. – 368 с.
5. Довідник технолога-машинобудівника. в 2-х т. /Під заг.ред. А.Г.Косилової та Р.К.Мещерякова. – 5 вид., переробл. і доп. – Київ, Техніка, 1990.
6. Базування і бази в машинобудуванні: Навч. пос./ Я.Д. Колкер, О.Н. Руднев. – Київ: Вища школа, 1991. – 100 с.
7. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для вищих навчальних закладів/ За ред. М.П. Гандзюка. – Київ: Каравела, 2003. – 408 с.
8. Тубальцев А.М. Виробниче освітлення і його розрахунок: Навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2001. – 84 с.
9. Антонюк В. Е. Технологія виробництва і методи забезпечення я кості зубчастих колес і передач / В. Е. Антонюк, М. М. Кане, В. Е. Старжинський. – СПб: Професія, 2007. – 837 с.
10. Антонюк В. Е. Тенденции современного производства зубчастих колес/ В. Е. Антонюк //інженерний журнал. Довідник. Д о д а т о к . – 2004.-№12.- с. 2–15.
11. Богуслаєв В. О. Формоутворення черв'ячних зуборізних фрез./ В. О. Богуслаєв, Н. С. Равська, О. Я. Качан. - Запоріжжя: вид. ВАТ «Мотор Січ», 2007. – 179 с.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	90

12.Івченко Л.І. Державні стандарти в машинобудуванні і металообробці/Л.І.Івченко, В.В.Петракін. – Харків, Компанія «Сміт», 2006. – 320 с.

13.Мельничук П.П., Боровик А.І., Лінчевський П.А. Технологія машинобудування. – Підручник для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування», «Металорізальні верстати та системи». – Житомир, Держ.університет «Житомирська політехніка», 2009.

14. Обробка металів різанням. Довідник технолога /Н.А.Панов, В.В.Анікін, Н.Г.Бойм та ін. Під заг.ред. А.Н.Панова. – Київ, Техніка, 1991. – 740 с.

15. Паливода Ю.Є., Дячун А.Е., Лешук Р.Я. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки. – Навчально-методичний посібник. – Тернопіль: Тернопільський нац.техн.університет ім. Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

16.Пістун І.П., Кіт Ю.В., Березовецький А.П. Практикум з охорони праці. – Навчальний посібник. - /За заг.ред. к.т.н., І.П.Пістуна. – Суми, Вид-во «Університетська книга», 2000. – 207 с.

17.Технологія машинобудівних підприємств. - Підручник /В.Л.Дикань, Ю.Є.Калабухін, Н./Каличева та ін. За заг.ред. В.Л.Диканя. – Харків, УкрДЧЗТ, 2020. – 386 с.

18. Технологія машинобудування. Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт. – Навчальний посібник/І.І.Юрчишин, Я.М.Литвиняк, І.Е.Грицай, М.Л.Кухляк, Я.М.Кусій, В.В.Ступницький, В.А.Яцюк, А.М.Кук, Е.М.Махоркін, В.П.Свізінський. За заг.ред.І.І.Юрчишина. – Львів, Вид-во національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 528 с.

19. Ткаченко І.Г., Капаціла Ю.Б., Паливода Ю.Є. Технологія машинобудування: Вступ до спеціальності. – Навчальний посібник. – Тернопіль, Тернопільський нац.тех.університет ім.Івана Пулюя, 2013. – 84 с.

18. Ткачук К.Н., Іванчук Д.Ф. та ін. Довідник з охорони праці на промисловому підприємстві. – ДОО, Техніка, 1991.

					Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

