

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня «Магістр»

за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»

на тему:

«Проект цеху по випуску насосів підживлення з розробкою технології обробки шайби та колеса та дослідженням операції зубообробки»

«The project of the workshop for the production of feeding pumps with the development of the washer and wheel processing technology and the research of the tooth processing operation»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2 року магістратури, групи ПМ(ТМ)-21М1,4 напряму 131 «Прикладна механіка»

Олег ФЛОРЕНКО

Керівник: доц., к.т.н.

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: доц., к.т.н.

Дмитро БОГАТИРЬОВ

Завідувач кафедрую: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький - 2022

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-наукова програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Олега ФЛОРЕНКА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проект цеху по випуску насосів підживлення з розробкою технології обробки шайби та колеса та дослідженням операції зубообробки

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » грудня 2022 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: спроектувати цех по випуску насосів підживлення, розробити технології виготовлення деталей шайба та колесо, дослідити операції та способи виготовлення зубчастих поверхонь.

Завдання:

- виконати аналіз службового призначення виробу, деталей та поверхонь деталей, виконати аналіз точності та технологічності деталей;
- проаналізувати базові технологічні процеси виготовлення деталей, виявити їх переваги та недоліки, розробити прогресивні технологічні процеси, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та вимірювальні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- спроектувати та розрахувати затискний, вимірювальний пристрої та різальний інструмент;
- дослідити способи виготовлення зубчастих поверхонь;
- спроектувати цех по випуску насосів підживлення.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Загальна частина	Олександр Скібінський		
Технологічна частина	Олександр Скібінський		
Конструкторська частина	Олександр Скібінський		
Дослідна частина	Олександр Скібінський		
Організаційна частина	Олександр Скібінський		
Економічна частина	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/ п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	Вступ	Вересень 2022	вик.
2	Загальна частина	Вересень 2022	вик.
3	Технологічна частина	Жовтень 2022	вик.
4	Конструкторська частина	Жовтень 2022	вик.
5	Конструкторська частина	Листопад 2022	вик.
6	Організаційна частина	Листопад 2022	вик.
7	Економічна частина	Грудень 2022	вик.
8	Загальні висновки	Грудень 2022	вик.
9	Графічна частина та оформлення	Вересень-грудень 2022	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2022 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2022 р.

Здобувач _____ Олег ФЛОРЕНКО
(підпис)

Анотація

Олег ФЛОРЕНКО. Проект цеху по випуску насосів підживлення з розробкою технології обробки шайби та колеса та дослідженням операції зубообробки. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2022. – 152 с. Матеріали презентації 13 креслень.

Метою даної роботи є спроектувати цех по випуску насосів підживлення, розробити технології виготовлення деталей шайба та колесо, дослідити операції та способи виготовлення зубчастих поверхонь.

В роботі на основі детального аналізу базових технологічних процесів розроблено нові технологічні процеси механічної обробки деталей колеса та шайба, які дають можливість підвищити продуктивність та зменшити собівартість виготовлення. Застосовано сучасне технологічне обладнання, прогресивний ріжучий та сучасний вимірювальний інструменти.

Досліджено способи формоутворення внутрішньої зубчастої поверхні колеса та розроблено метод шліфування внутрішніх зубців в умовах планетарного обкату.

Актуальність: підвищення продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталей за рахунок удосконалення технологічних процесів, розробка гнучких способів абразивної обробки внутрішнього зубчастого профілю є *актуальною* задачею.

Практичне значення: розроблено технологічні процеси виготовлення деталей, спроектовано та розраховано затискний та вимірювальний пристрої, різальний інструмент для виготовлення деталей; розроблено спосіб абразивної обробки внутрішніх евольвентних зубців колеса; спроектовано механічний цех для виготовлення деталей шайба та колесо.

Ключові слова: технологічний процес, насос підживлення, спосіб шліфування внутрішніх зубців, евольвентне зачеплення.

Annotation

Oleg FLORENKO. The project of the workshop is to produce feeding pumps with the development of the washer and wheel processing technology and the research of the tooth processing operation. Graduation thesis for a master's degree: CUNTU, 2022. - 152 p. Presentation materials 13 drawings.

The purpose of this work is to design a workshop for the production of feed pumps, to develop technologies for the production of washer and wheel parts, to investigate operations and methods of manufacturing toothed surfaces.

In the work, based on a detailed analysis of the basic technological processes, new technological processes of mechanical processing of wheel and washer parts were developed, which provide an opportunity to increase productivity and reduce the cost of production. Modern technological equipment, progressive cutting and modern measuring tools are used.

The ways of shaping the internal toothed surface of the wheel were studied and the method of grinding the internal teeth under planetary run-in conditions was developed.

Relevance: increasing the productivity and reducing the cost of manufacturing parts due to the improvement of technological processes, the development of flexible methods of abrasive processing of the internal toothed profile is an urgent task.

Practical significance: technological processes of manufacturing parts have been developed, clamping and measuring devices, cutting tools for manufacturing parts have been designed and calculated; a method of abrasive treatment of the inner involute teeth of the wheel was developed; a mechanical workshop for the production of washer and wheel parts was designed.

Key words: technological process, feed pump, method of grinding internal teeth, involute engagement.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	9
1.1.Характеристика виробу і деталей.....	9
1.2.Вибір режиму роботи цеху і організація виробництва.....	12
1.3.Характеристика програми виробництва.....	13
1.4.Визначення типу виробництва.....	14
1.5.Постановка задач дослідження.....	16
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	17
2.1.Аналіз технологічності та точності деталей	17
2.2.Аналіз діючих технологічних процесів.....	21
2.3. Вибір методу отримання заготовок.....	24
2.4.Вибір методів обробки поверхонь.....	27
2.5.Розробка маршрутів виготовлення деталей.....	31
2.6.Вибір технологічних баз.....	33
2.7.Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення.....	34
2.8.Вибір затискних пристроїв.....	55
2.9.Вибір ріжучих інструментів.....	56
2.10.Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....	58
2.11.Визначення припусків та міжопераційних розмірів.....	61
2.12.Визначення режимів різання.....	67
2.13.Технічне нормування операцій.....	70
2.14.Висновки до розділу.....	73
3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	75
3.1.Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою.....	75
3.1.1.Опис будови та роботи пристрою.....	75
3.1.2.Розрахунок сили затиску деталі	77
3.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу.....	83
3.1.4.Розрахунок на міцність слабких ланок пристосування.....	84

3.2.Розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою.....	86
3.2.1.Опис конструкцій та роботи пристрою.....	86
3.2.2.Визначення похибок вимірювання і перевірка умови працездатності пристрою.....	88
3.3.Розробка та розрахунок конструкції спеціального ріжучого інструменту.....	89
3.4.Висновки до розділу.....	92
4. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	93
4.1.Розробка та дослідженням способу формоутворення внутрішньої зубчатої поверхні в умовах планетарного обкату	93
4.2.Висновки до розділу.....	107
5. ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	117
5.1.Розрахунок програми запуску деталей.....	117
5.2.Розрахунок календарно-планових нормативів.....	119
5.3.Розробка системи ППР.....	124
5.4.Заходи по науковій організації праці (НОП).....	125
5.5.Визначення площ виробничих ділянок цеху.....	126
5.6.Вибір допоміжних відділень цеху та визначення їх площі.....	133
5.7.Визначення загальної площі та розмірів цеху.....	134
5.8.Розробка планування ділянок механічної обробки. Розробка загального плану цеху.....	135
5.9.Організація внутріцехового транспорту.....	135
5.10.Організація інструментального господарства.....	135
5.11.Організація технічного контролю.....	136
6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	137
6.1.Розрахунок капіталовкладень.....	137
6.2.Розрахунок планової цехової собівартості.....	144
6.3.Аналіз варіантів технологічних процесів.....	146
6.4.Планування техніко-економічних показників.....	146
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	150

ВСТУП

Соціально-економічний розвиток держави неможливий без інтенсифікації виробництва на основі науково-технічного прогресу, без застосування безвідходних технологій та екологічно чистих виробництв.

В усіх галузях народного господарства необхідно наполегливо проводити політику на більш швидке технічне переозброєння виробництва, створення і випуск машин та обладнання, які поліпшують умови праці робітників, підвищують продуктивність та є економічними по відношенню до матеріальних ресурсів.

До сучасних видів машин, які широко застосовуються у всіх галузях виробництва, відносяться і гідравлічні машини різного призначення. Застосування гідравлічних машин дозволяє розширити технологічні можливості обладнання, зменшити масу агрегатів та поліпшити умови праці робітників. Найбільший ефект гідравлічні машини дають в агрегатах, що працюють в сільськогосподарській, будівельній та дорожній техніці.

Деталі, які визначають тему кваліфікаційної роботи, входять в конструкцію тандему ТН90-1, який складається з гідронасосу аксіально-поршневого регулюємого НП90-1, насосу шестеренного двохсекційного НШ32Д-10Д-3. Вузол виготовляється на Кропивницькому підприємстві ПрАТ “Гідросила АПМ” і застосовується в гідравлічних системах переважно сільськогосподарських машин.

В кваліфікаційній роботі передбачається розробка технологічних процесів механічної обробки деталей гідронасоса із використанням верстатів з ЧПУ, з метою підвищення продуктивності та точності їх виготовлення, надійності та довговічності роботи тандему ТП90-1 з нижчою собівартістю виготовлення.

1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика виробу і деталей

Деталі колесо НПВЗ-00.002 та шайба НПВЗ-00.006 входять в конструкцію насосу підживлення внутрішнього зачеплення НПВЗ-00.000, який в свою чергу є складальною одиницею аксіально-поршневого регулюемого насосу НП90. Аксіально-поршневий гідронасос НП90 входить до складу тандему ТН90-1 (рис. 1.1), який є складовою частиною гідроприводу об'ємного.

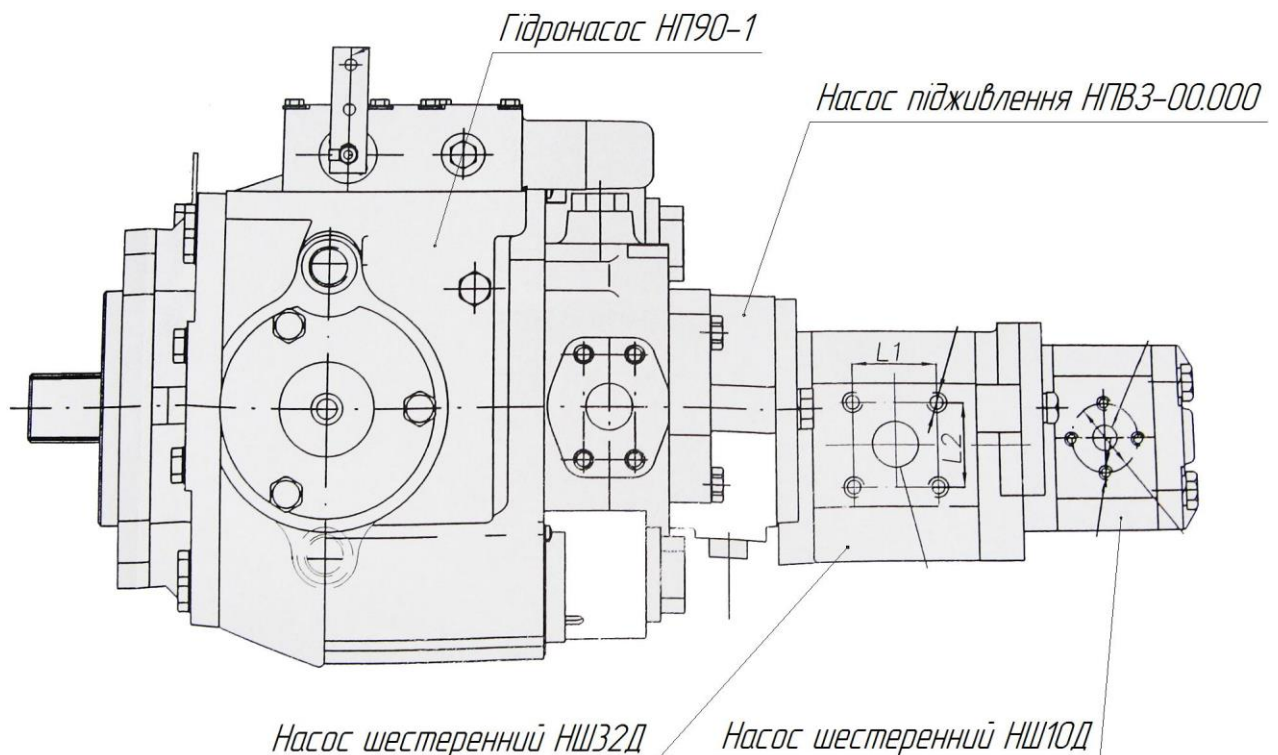


Рис. 1.1 Тандем ТН90-1

До складу тандему насосів входять: насос аксіально-поршневий регулюємий з гідромеханічною системою керування і насосом підживлення внутрішнього зачеплення та насоси шестеренні. Тандем насосів призначений для передачі руху від двигуна до ходової частини та подачі робочої рідини до різних виконавчих органів сільськогосподарських і інших мобільних машин. Наявність тандему шестеренних насосів дає можливість подавати робочу рідину під різними тисками до інших виконавчих органів машин. При цьому насос підживлення та шестеренні насоси приводяться в дію від одного валу.

Насос підживлення при роботі об'ємного гідроприводу у встановленому режимі, постійно подаючи робочу рідину в трубопровід низького тиску, здійснює поповнення її витікань, а інша рідина через переливний клапан зливається в корпус гідромотора. Конструкція насоса (рис. 1.2) передбачає високу точність виготовлення деталей, які входять до його складу та високі вимоги до якості їх матеріалу.

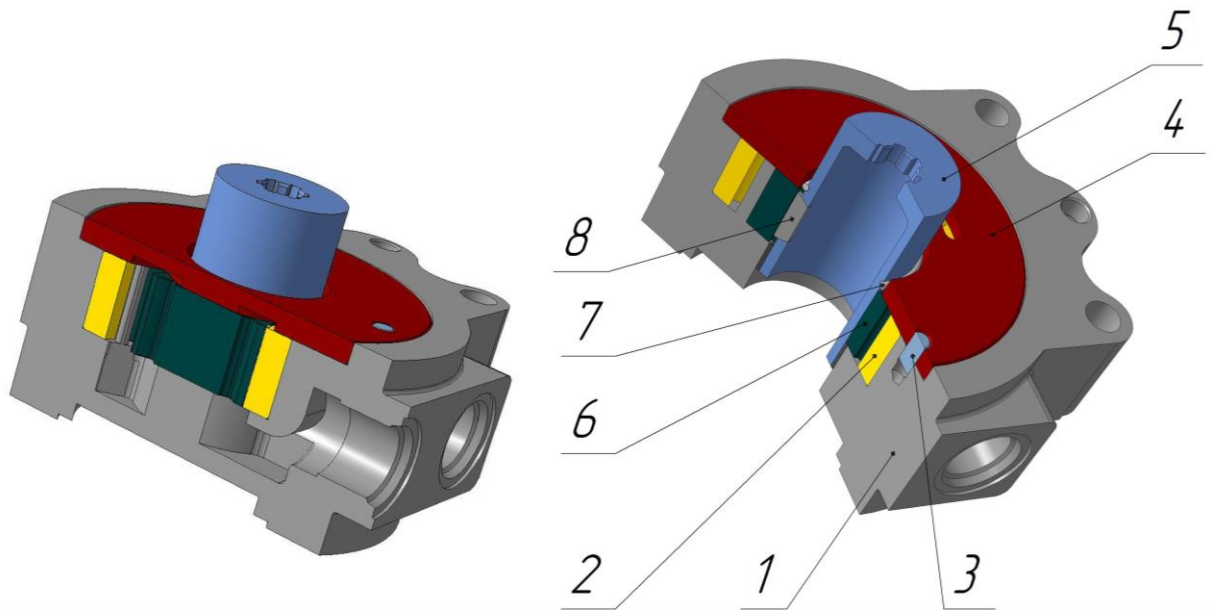


Рис. 1.2 Конструкція насоса підживлення:

1- корпус; 2- колесо; 3- штифт; 4- шайба; 5- вал; 6- шестерня; 7- кільце; 8- шпонка

Деталь колесо поз. 2 (рис. 1.2) представляє собою зубчасте колесо (рис. 1.3) із внутрішніми зубцями з евольвентним профілем. Разом із шестернею поз. 6 утворюють качаючийся вузол. Колесо та шестерня призначені для нагнітання робочої рідини в трубопровід низького тиску. Для передачі крутного моменту від валу аксіально-поршневого насоса, на валу 5 насоса підживлення виконано внутрішні шліці. Шестерня 6 встановлюється на валу 5 за допомогою шпонки 8. Колесо 2 розміщується у спеціальних розточках корпусу 1 насоса підживлення із можливістю обертання навколо власної вісі. Деталь має торцеві поверхні, внутрішню евольвентну зубчасту поверхню та фаски.

Функціональною є зубчаста евольвентна поверхня 4. Основними

поверхнями є зовнішня циліндрична поверхня 2 та одна із торцевих поверхонь 1 чи 5, які визначають положення деталі у виробі. Конструкторською базою є геометрична вісь деталі.

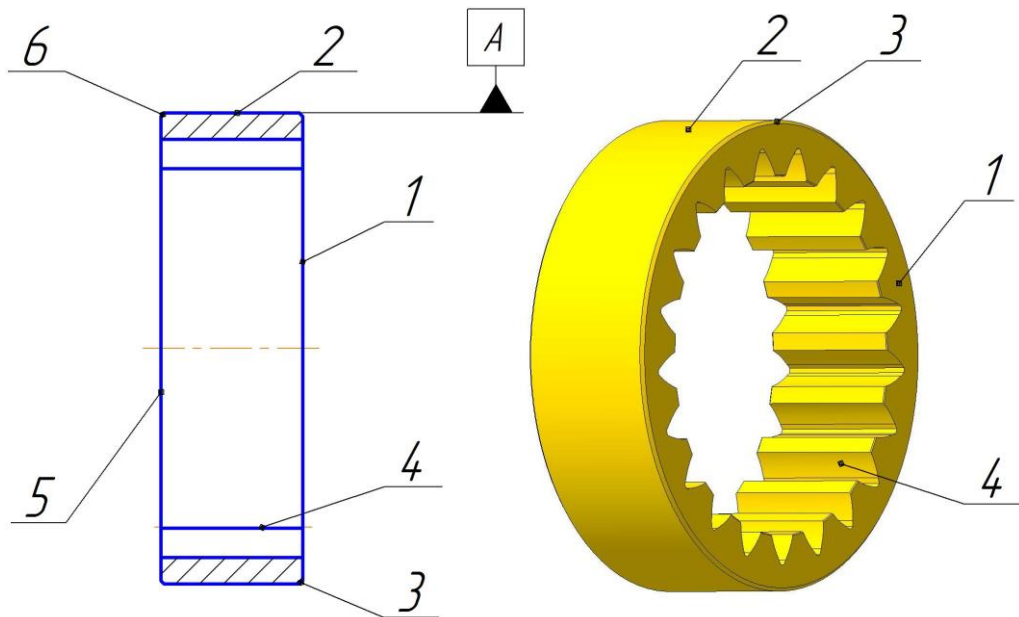


Рис. 1.3 Деталь колесо

Деталь шайба поз. 4 (рис. 1.2) призначена для підтискання колеса 3 та шестерні 6 (компенсації торцевих зазорів), підведення та відведення робочої рідини. Деталь шайба (рис.1.4) має декілька поверхонь: торцеві 1, 2; зовнішню циліндричну поверхню 3; внутрішні циліндричні 6, 8; фаски 4, 5 та 9; радіусні канавки 7; радіусні виточки 10; цековки 11.

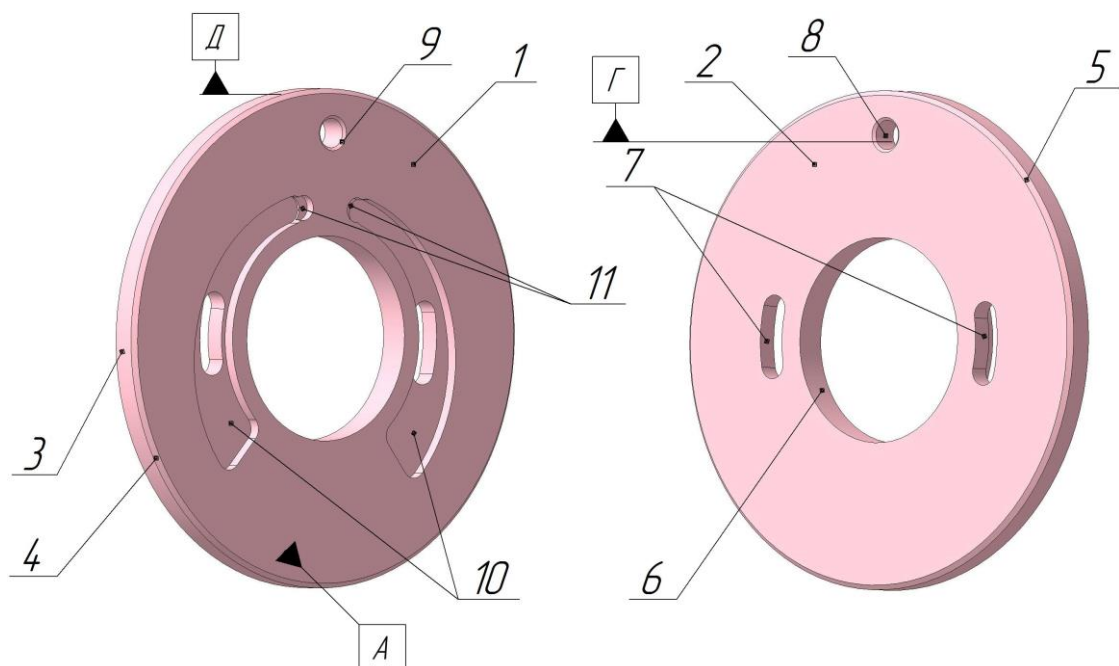


Рис. 1.4 Деталь шайба

Функціональними є: торцева поверхня 1, радіусні канавки 7, радіусні виточки 10 та цековки 11. Основними поверхнями є зовнішня циліндрична поверхня 3, торцева поверхня 1 та отвір 8. Конструкторською базою є геометрична вісь деталі.

1.2. Організація машинобудівного виробництва, режим роботи цеху

Вибір режиму роботи цеху передбачає встановлення змінності роботи основних підрозділів цеха, розрахунок дійсних річних фондів часу для обладнання робочих місць без обладнання та робітників.

Найбільш раціональним для машинобудівних заводів є двозмінний режим роботи основного виробництва. Такий режим роботи приймаємо для цеха, який проектуємо.

Дійсний річний фонд часу обладнання розраховуємо виходячи з кількості робочих днів за рік, кількості змін з урахуванням вимушеного простою на ремонт і підналадку обладнання. При цьому приймаємо 5-ти денний робочий тиждень з тривалістю зміни 8 год. Коефіцієнт простою звичайного обладнання приймаємо рівним 0,95. При підрахунку річного дійсного фонду часу для робітників приймаємо до уваги роботу в одну зміну, враховуючи час із-за хвороби, виконання державних обов'язків. Тоді для них приймаємо коефіцієнт вимушених втрат часу рівний 0,06.

Дійсний річний фонд часу робітничих місць без обладнання буде дорівнювати прийнятому річному фонду часу для обладнання, так як при цьому відсутні втрати часу, які пов'язані з ремонтами і підналадкою обладнання.

Відомості про режим роботи цеху представлені в табл.1.1.

Встановлюємо форму організації виробництва для проектуемого цеху. Його доцільно зробити механічним, в якому буде виконуватись вся механічна обробка виробу.

Складання вузлів і всього виробу в цілому буде виконуватись в окремому спеціальному складальному цеху. Таким чином форма організації виробництва буде – змішана.

Таблиця 1.1.

Фонд часу					
Елементів виробництва	Змінність	Номінальний фонд часу на рік, год.	Коефіцієнт простою обладнання в ремонті	Тривалість відпустки, днів	Дійсний річний фонд часу, год.
Обладнання різних категорій складності	2	4004	0,03	-	3884
Робочі місця без обладнання	2	4004	0,06	-	3767
Робітники	1	2093	0,06	24	1840

1.3. Характеристика програми виробництва

Проектуємий цех механічної обробки призначений для обробки деталей насосу аксіально-поршневого гідронасосу. Річна програма випуску $N_B = 6000$ штук.

Маса оброблювальних деталей колеса та шайби порівняно невелика, а тому для здійснення механічної обробки не потрібно застосовувати унікальне обладнання або спеціальні підйомно-транспортні засоби. Крім вказаних деталей в проектуємому цеху будуть оброблюватися інші деталі із чавуну, сталі та кольорових сплавів. А тому, щоб розділити стружку після обробки, потрібно передбачити дільниці по обробці окремо сталевих, чавунних та деталей із кольорових сплавів.

При проектуванні та розробці технологічних процесів механічної обробки деталей необхідно врахувати збільшення програми випуску на величину запасних частин, які складають 20% від заданої програми, а також величину

втрат від технологічно неминучого браку та величину приросту об'єму виробництва в плануємому році, що становить 4% від заданої програми.

Характеристика виробничої програми проектуємого цеху приведена в табл.1.2.

Таблиця 1.2.

Програма цеху річна

Назва виробу	Маса одного виробу	Річна програма випуску	
		штук	тон
Аксіально-поршневий гідронасос	78	6000	468
Колесо	0,325	6000	1,95
Шайба	0,33	6000	1,98

1.4. Визначення типу виробництва

Тип виробництва проектуємого цеха у відповідності з ГОСТ3.110-74 вибирається по коефіцієнту закріплення операції K_{30} , який визначається з формули:

$$K_{30}=O/P,$$

Де, О – кількість різних операцій, що виконуються по базовому технологічному процесу на дільниці протягом прийнятого календарного терміну;

Р – кількість робочих місць, що забезпечують (за трудомісткістю) виконання операцій базового технологічного процесу при заданій програмі випуску деталей.

Використовуючи вказані в таблиці дані базових технологічних процесів обробки деталей, за допомогою ПК та відповідного програмного забезпечення визначаємо тип виробництва, що дає можливість скоротити об'єм і час розрахунку. Результати визначення типу виробництва для деталей приведені

нижче відповідно.

Як показують розрахунки, тип виробництва для деталі колесо – середньосерійний, а для деталі шайба - дрібносерійний. Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженої номенклатури виробів партіями (серіями), які повторюються через певний проміжок часу, і широкою спеціалізацією робочих місць. При дрібносерійному виробництві можлива часткова спеціалізація обладнання і використання верстатів, які мають можливість швидкого переналагодження. Разом з цим широко застосовуються верстати з ЧПУ. При дрібносерійному виробництві доцільно використовувати предметну форму організації. Верстати розташовуються в послідовності виконання технологічних операцій, а деталі оброблюються партіями.

Колесо

Вихідні дані
Програма випуску 6000

Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	4015	2.4100
10	3890	8.2300
15	3890	7.2800
20	4015	2.0500
25	4015	2.0800
30	4015	2.0800
35	4015	1.9000
40	3890	5.0000
45	4015	2.4800
50	3890	36.1900
55	3890	0.4800
60	4015	0.4800
65	4015	0.6300

Результати розрахунку

Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.0750	1	10.66
10	0.2645	1	3.03
15	0.2339	1	3.42
20	0.0638	1	12.53
25	0.0648	1	12.35
30	0.0648	1	12.35
35	0.0592	1	13.52
40	0.1607	1	4.98
45	0.0772	1	10.36
50	1.1629	2	1.38

55		0.0154		1		51.87	
60		0.0149		1		53.53	
65		0.0196		1		40.79	

Коефіцієнт закріплення операцій 16.48409

Тип виробництва - середньосерійний

Шайба

Вихідні дані		
Програма випуску 6000		
Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час
5	4015	12.1100
10	3890	9.1800
15	3890	10.4200
20	4015	4.9200
25	4015	0.2300
30	3890	21.6000
35	4015	3.7700
40	4015	0.7100
45	3890	1.2400
50	3890	1.9700
55	4015	0.5500

Результати розрахунку			
Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.3770	1	2.12
10	0.2950	1	2.71
15	0.3348	1	2.39
20	0.1532	1	5.22
25	0.0072	1	111.72
30	0.6941	1	1.15
35	0.1174	1	6.82
40	0.0221	1	36.19
45	0.0398	1	20.08
50	0.0633	1	12.64
55	0.0171	1	46.72

Коефіцієнт закріплення операцій 22.52388

Тип виробництва - дрібносерійний

1.5. Постановка задач дослідження

В роботі необхідно проаналізувати базові технологічні процеси виготовлення деталей, виявити їх переваги та недоліки, розробити прогресивні технологічні процеси, вибрати металорізальні верстати, затискні, допоміжні та

- вимірювальні пристрої, розрахувати припуски, режими різання та норми часу;
- спроектувати та розрахувати затискний, вимірювальний пристрої та різальний інструмент;
- дослідити способи виготовлення зубчастих поверхонь;
- спроектувати цех по випуску насосів підживлення.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз технологічності та точності деталей

2.1.1. Аналіз технологічності деталей і технічних вимог на їх виготовлення

Деталь колесо

Конструкція деталі (рис. 1.3) не є технологічною і достатньо простою для механічної обробки. Деталь має внутрішню зубчасту поверхню, кінцева абразивна обробка якої досить складна. Доступ та розміри інструменту обмежені діаметром отвору, це вимагає застосування спеціальних способів обробки. Крім того є декілька поверхонь з підвищеними вимогами до точності. Деталь має поверхні які оброблюються лише з двох сторін і це дає можливість обробляти її з мінімальною кількістю установів. Обробка ведеться переважно стандартними інструментами: токарними різцями, довбачем, шліфувальними кругами. Отвір є наскрізним, його вісь паралельна вісі деталі. Доступ інструментів для обробки більшості поверхонь деталі є вільним. Деталь є достатньо жорсткою, що дає можливість застосування підвищених режимів обробки. Деталь має вдалі базові поверхні.

В якості заготовки використовується поковка з невеликими припусками на механічну обробку. Заготовку піддають термообробці – відпалу.

Аналіз технічних умов на виготовлення деталі: азотувати $h=0,09...0,12$ мм, твердість $\geq 600HV5/15$, твердість серцевини 24...30 HRC; допускається виготовлення із сталі 40ХГТР ГОСТ4543-71; залишкова намагніченість не

допускається; деталі розбити на три групи селективності по висоті (розмір В), від 24,935 до 24,94 мм, більше 24,94 до 24,945 мм, більше 24,945 до 24,95 мм; гострі кромки по профілю евольвенти скруглити R0,2max; увігнутість торцевих поверхонь не допускається; маркувати номер групи селективності шрифтом 4-Пр 3 по ГОСТ26.008-85; зубці нарізати довбачем по ГОСТ9323-79, діаметр вершин нового довбача привести до $\phi 42$ мм.

Метод простановки розмірів – комбінований. Технічні умови задані коректно і відповідають діючим стандартам. Кількість їх достатня для виготовлення деталі.

Деталь шайба

Деталь – шайба (рис. 1.4), виготовляється із сірого чавуну СЧ30 ГОСТ1412-85. Відливаються прутки $\phi 120 \times 1200$ мм, проводиться їх термообробка і потім прутки розрізаються на стрічкопильних верстатах на заготовки товщиною 11 мм. Конфігурація зовнішнього контуру поверхонь деталі не викликає значних ускладнень при її виготовленні.

Є декілька поверхонь з високими вимогами до точності та шорсткості: це торцеві поверхні 1 та зовнішня циліндрична поверхня 3. Високі вимоги до точності та якості зазначених поверхонь значно підвищує собівартість виготовлення деталі.

При виготовленні деталі допускається застосування високопродуктивних режимів обробки, деталь має базові поверхні для початкових операцій. Всі оброблювані поверхні легко доступні для обробки. Для даної форми заготовки базові поверхні мають вдалу форму та розташування.

Зважаючи на призначення, деталь має оптимальну форму.

Конструкція деталі забезпечує її обробку з найменшою кількістю установів.

Деталь немає похилих під кутом до осей координат поверхонь.

Заготовка деталі немає різких коливань припусків на обробку.

В цілому деталь є технологічною.

Технічні вимоги: твердість 180...220 НВ; точність відливки 8-4-11-7

ГОСТ26645-85; на поверхні 1 раковини та інші дефекти не допускаються, шорсткість зазначеної поверхні $R_{\max} 1,6$ без врахування несучільності матеріалу; на оброблюваних поверхнях допускаються окремі чисті раковини, які не виходять на краї, глибиною до 0,5 мм, діаметром до 1 мм, в кількості до 10 шт., на відстані одна від одної 5 мм, не менше; на поверхнях деталі корозія не допускається; зняти внутрішні напруження; невказані граничні відхилення розмірів: $H14, h14, \pm t2/2$.

Технічні вимоги назначені правильно, доцільно, однозначно і коректно, визначені умовами експлуатації.

Метод постановки розмірів – комбінований.

Розміри та їх допуски відповідають діючим стандартам.

2.1.2. Аналіз точності деталей

Для по елементного аналізу точності поверхонь деталей виконуємо спрощені ескізи деталей колесо (рис. 1.3) та шайба (рис. 1.4) із зазначенням всіх поверхонь, які підлягають механічній обробці, а дані аналізу точності заносимо в таблицю 2.1.

Колесо

Деталь має поверхні, які оброблюються з високою точністю та якістю. Такими є торцева поверхня 1: допуск на розмір 0,015 мм, допуск перпендикулярності 0,008 мм, допуск паралельності 0,004 мм, допуск площинності 0,0015 мм, шорсткість $Ra0,2$; торцева поверхня 5: допуск на розмір 0,015 мм, допуск паралельності 0,004 мм, допуск площинності 0,0015 мм, шорсткість $Ra0,2$; зовнішня циліндрична поверхня 2: шорсткість $Ra0,4$. Внутрішній діаметр зубчастого вінця відповідає квалітету точності H7, шорсткість $Ra1,6$. Обробка інших поверхонь ведеться з точністю 12, 14 квалітетів і не викликає труднощів. Вимоги по шорсткості більшості поверхонь складають $Ra 3,2 - 6,3$.

При розробці технологічного процесу особливу увагу слід звернути на забезпечення точності та якості найбільш відповідальних поверхонь.

Шайба

До найбільш точних відносяться наступні поверхні: торцева 1 має допуск на розмір 0,03 мм, допуск площинності 0,005 мм, шорсткість $R_{\max} 1,6$; торцева 2 має допуск на розмір 0,03 мм, допуск паралельності 0,01 мм, шорсткість $R 3,2$; зовнішня циліндрична поверхня 3 відповідає квалітету точності f7, шорсткість $R 2,5$.

Обробка інших поверхонь ведеться з точністю 13, 14 квалітетів і не викликає труднощів. Вимоги по шорсткості більшості поверхонь складають $R_a 6,3 - 12,5$.

Аналіз параметрів точності поверхонь деталі показує, що розміри та їх допуски відповідають діючим стандартам.

Таблиця 2.1

Параметри точності деталей

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні, R_a	Вагомість поверхні, як конструкторської бази
Колесо							
1, 5	Торцева	24,95 ^{-0,015}	-	$\perp 0,008 A$ // 0,004	$\sphericalangle 0,0015$	0,2	
2	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$	-	-	-	0,4	
3, 6	Фаска	0,6x45 ⁰	h13	-	-	6,3	
4	Зубчаста поверхня	$\varnothing 73,67^{+0,3}$ $60,54^{+0,110}$	H12	-	-	3,2	
7	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 63^{+0,03}$	H7	$\nearrow 0,01 A$	-	1,6	
Шайба							
1	Торцева	$7_{-0,02}^{0,01}$	-	-	$\sphericalangle 0,005$	$R_{\max} 1,6$	
2	Торцева	$7_{-0,02}^{0,01}$	-	// 0,01 A	-	3,2	

3	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 107^{+0,036}_{-0,071}$	f7	-	-	2,5	
4,5	Фаска	$1 \pm 0,2 \times 45^0 \pm 5^0$	-	-	-	12,5	
6	Внутрішня циліндрична	$\varnothing 44^{+0,62}$	H14	-	-	6,3	
7	Пази	$6^{+0,3}$ $31,43^{+0,62}_{-0,62}$ $R3^{+0,25}$ $4,75 \pm 0,15$	H14 h14 H14 JS14	-	-	12,5	
8	Отвір	$\varnothing 6,363^{+0,024}_{-0,024}$ 44	-	$\varnothing R0,0 \textcircled{M} \text{Д}$	-	2,5	
9	Фаски	$0,6 \times 45^0$	-	-	-	12,5	
10	Канавки дугоподібні	$\varnothing 52^{+0,24}_{-0,11}$ $\varnothing 73^{+0,11}_{-0,24}$ $80^0 \pm 30$ $2,5 \pm 0,5$ $14 \pm 0,8$ $R3^{+0,25}$	- - - JS17 - H14	$\equiv T/2 \text{ } 0,5 \text{ Г}$	-	12,5	
11	Виточки радіусні	$\varnothing 5,4^{+0,1}$ $9,5 \pm 0,11$ $27,72^{+0,52}_{-0,52}$ $2^{+0,25}$	- js13 h14 H14	-	-	6,3	

2.2. Аналіз діючих технологічних процесів.

Технологічний процес (табл. 2.2.1) обробки деталі колесо складається із 14 основних операцій. Позитивною ознакою базового технологічного процесу є те, що обрана послідовність операцій дозволяє забезпечити необхідну точність та якість обробки. В технологічному процесі застосовуються верстати токарної, зубообробної, свердлильно-розточувальної та шліфувальної груп.

Таблиця 2.2.1

Базовий технологічний процес обробки деталі колесо

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв.
210	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
215	Термообробна	-	
220	Дробоструйна	Установка дробоструйна	
225	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
226	Токарна	16К20 Токарно-гвинторізний	2,401
231	Токарна з ЧПУ	16К20Ф3С32 Токарно-гвинторізний з ЧПУ	8,232

236	Токарна з ЧПУ	16K20Ф3С32 Токарно-гвинторізний з ЧПУ	7,280
240	Контрольна	ГМ 1765 Стіл контрольний	0,045
245	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
250	Термообробна	-	
255	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
261	Плоскошліфувальна	3Л722В Плоскошліфувальний	2,05
266	Плоскошліфувальна	3Л722В Плоскошліфувальний	2,042
267	Плоскошліфувальна	3Л722 Плоскошліфувальний	2,078
268	Плоскошліфувальна	3Л722 Плоскошліфувальний	1,904
271	Алмазно-розточувальна	КК2381 Алмазно-розточувальний	4,996
276	Круглошліфувальна	3М152МВФ2 Круглошліфувальний	2,478
281	Промивочна	ГМ 3147Миюча установка	0,379
305	Зубодовбальна	5122 Зубодовбальний	36,19
328	Слюсарна	ГМ 1765 Стіл слюсарний	19,98
330	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,379
340	Контрольна	ГМ1765 Стіл контрольний	1,007
342	Доводочна	АЛ-2L Дводисковий доводочний	0,483
343	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,247
344	Промивочна	«Ультрасонс» миюча машина	1,65
345	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
350	Азотування	-	
355	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
385	Доводочна	АЛ-2L Дводисковий доводочний	0,483
390	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,247
395	Доводочна	FL-12 Одностисковий доводочний	0,632
397	Галтовочна	СА34ОРИЗ1С Галтовочний барабан	0,42
400	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,247
405	Промивочна	«Ультрасонс» Миюча машина	1,65
410	Полірувальна	ГМ 1975 Стіл слюсарний	1,435
415	Контрольна	ГМ 1765 Стіл контрольний	0,592
420	Комплектувальна	ГМ 1765 Стіл контрольний	0,062
425	Транспортна	037-072 Візок	0,094

Недоліком базового технологічного процесу є відсутність операцій по фінішній абразивній обробці зубчастого профілю колеса, що не дає можливості забезпечення високої точності та якості зубчастої поверхні. Точність та якість зубчастої поверхні суттєво впливає на експлуатаційні характеристики виробу. Крім того, в технологічному процесі спостерігається чергування лезової та абразивної обробки (лезова обробка, абразивна, знову лезова і абразивна). Доцільніше було б виконати спочатку лезову обробку, а потім всю абразивну обробку.

В проєктованому технологічному процесі планується для лезової обробки поверхонь деталі використовувати токарний обробляючий центр з ЧПУ та контршпінделем. На зазначеному верстаті виконується обробка деталі з двох сторін і забезпечується точність поверхонь, яка в базовому технологічному процесі досягалась за допомогою попереднього шліфування та розточування на алмазно-розточувальному верстаті. Далі буде виконано обробка внутрішньої зубчастої поверхні на зубодовбальному верстаті. Потім буде виконано чистове шліфування торців, зовнішньої циліндричної поверхні, абразивна обробка зубчастої поверхні і доведення торців деталі.

Технологічний процес механічної обробки деталі шайба складається із 11 основних операцій механічної обробки. Позитивною ознакою діючого технологічного процесу є те, що встановлена послідовність технологічних операцій дозволяє отримати задану точність та якість поверхонь.

В технологічному процесі застосовуються верстати різної, токарної, фрезерної, свердлильної та шліфувальних груп. Крім того, для обробки дугоподібних канавок застосовується обробляючий центр з ЧПУ. З метою підвищення гнучкості технологічного процесу, концентрації операцій в проєктованому технологічному процесі планується використовувати токарний багатоопераційний верстат з ЧПУ на якому буде виконуватись лезова обробка деталі з установкою її в основному шпинделі і в противошпинделі. Потім у відповідності до базового ТП буде виконано абразивну обробку деталі.

Таблиця 2.2.2

Базовий технологічний процес обробки деталі шайба

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв.
015	Транспортування	ЕВ-701 Електронавантажувач	
020	Стрічковідрізна	8А544 Стрічко-відрізний	12,108
025	Термообробна	-	
030	Дробоструйна	Очистити деталі	
035	Транспортна	ЕВ-678 Електронавантажувач	
200	Токарна з ЧПУ	1П420ПФ40 Токарно-револьверний з ЧПУ	9,184
205	Токарна з ЧПУ	1П420ПФ40 Токарно-револьверний з ЧПУ	10,416
210	Шліфувальна	3Г71М Плоскошліфувальний	4,921

215	Круглошліфувальна	3М151 Круглошліфувальний	0,225
220	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
235	Комплексна на ОЦ з ЧПУ	2206ВМ74-09 Обробляючий центр з ЧПУ	21,6
240	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
245	Обдувочна	082-020 Камера обдувочна	0,775
250	Контрольна	ГМ 3112 Стіл	
255	Транспортна	ЕВ-701 Електронавантажувач	
260	Термообробна	-	
265	Шліфувальна	3Г71М Плоскошліфувальний	3,774
270	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
275	Розмагнічувальна	ГМ 30892 Демагнітизуюча установка станка «Дискус»	0,134
280	Вертикально-свердлильна	НСР12М Вертикально-свердлильний	0,711
285	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
290	Доводочна	АЛ-2L Дводисковий доводочний	1,242
295	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
300	Ультразвукова очистка	КЛН Ультразвукова установка очистки	0,229
305	Віброабразивна	Трималь СА 340 (Віброабразивна установка)	1,413
310	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
315	Доводочна	FL-12 Односторонній доводочний	1,966
320	Промивочна	ГМ 752 Миюча машина	0,086
325	Ультразвукова очистка	КЛН Ультразвукова установка очистки	0,229
330	Полірувальна	ГМ 1765 Стіл контрольний	0,551
335	Контрольна	ГМ 3112 Стіл	0,179
350	Транспортна	ЕВ-678 Електронавантажувач	

Запропоновані зміни дадуть можливість підвищити точність обробки, розділити абразивну та лезову обробку, зменшити кількість верстатів, робітників, виробничих площ, зменшити час обробки деталей, підвищити гнучкість виробництва, що важливо в умовах сучасного ринку.

2.3. Вибір методу отримання заготовок

Для виготовлення деталей колесо використовуємо штамповки даних деталей. Штамповки отримуємо штампуванням у закритих штампах.

Матеріалом штамповки колеса служить сталь 40ХФДА по ТУ14-143-497-97.

При об'ємному штампуванні, формоутворення заготовки відбувається в порожнині спеціального інструмент (штампа). Штампування в закритих штампах відрізняється тим, що невеликий зазор між верхньою та нижньою частинами штампа, забезпечує лише їх взаємну рухомість і в процесі деформування металу залишається постійним. Відсутність заусенців в закритих штампах скорочує відхід металу, виключає необхідність в обрізанні заусенців. Але даний спосіб штампування застосовується для порівняно простих деталей, в основному тіл обертання, і вимагає використання точних заготовок із каліброваного прокату або попередньо оброблених. Точність розмірів досягає 12-го квалітету, шорсткість $R_z=80\ldots20$.

Для виготовлення деталей шайба використовуємо відливки.

Матеріалом відливки служить сірий чавун марки СЧ30 по ГОСТ 1412-85. Матеріал має добру текучість, мінімальну лінійну усадку, порівняно невисоку температуру плавлення, незначне газовиділення, невисоку схильність до ліквіації і невисоку вартість. Наявність пластинчатих включень графіту обумовлює низькі механічні властивості чавуну. Відносна подовжування складає 0,2...0,8%. Усадка при відливанні складає 1,3%. Відливанням отримуємо заготовки $\varnothing 120 \times 1200$ мм, які потім розрізаємо на стрічко-пильному верстаті на заготовки довжиною 11 мм.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталей наведено в таблицях 2.2 та 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2

Хімічний склад матеріалу деталей

Марка матеріалу	Вміст елементів, %								
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cu	Cr	V
Сталь 40ХФДА	0,37-0,44	0,5-0,8	0,17-0,37	до 0,025	до 0,025	до 0,3	до 0,3	0,8-1,1	0,1-0,18
СЧ30	3-3,2	0,7-1	1,3-1,9	до 0,12	до 0,2	-	-	-	-

Механічні властивості матеріалу деталей

Марка матеріалу	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	HB
	МПа		%		
Сталь 40ХФДА	880	730	10	35	241
СЧ30	700	80	1	1	190

Щоб остаточно переконатись в правильності вибраного методу отримання заготовки для деталі колесо, проведемо економічне обґрунтування вибору методу отримання заготовки згідно [3]. На підставі аналізу деталі по кресленню, довідковій літературі обираємо два види отримання заготовки: штамповка у закритих штампах і штамповка у відкритих штампах.

Вартість заготовок, які отримані штампуванням можна визначити за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000}$$

де:

C – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

k_T , k_C , k_B , k_M , k_{II} – коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, ваги, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

$S_{\text{від}}$ – вартість 1 т відходів, грн.

Розраховуємо вартість заготовки, отриманої методом штампування у відкритих штампах:

$$S_{\text{заг.к}} = \left(\frac{8500}{1000} \cdot 0,853 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,42 \cdot 1,98 \cdot 1,0 \right) - (0,853 - 0,356) \cdot \frac{450}{1000} \approx 18,1 \text{ грн.}$$

Розраховуємо вартість заготовки, отриманої методом штампування у закритих штампах:

$$S_{\text{заг.нф}} = \left(\frac{8500}{1000} 0,831 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1,42 \cdot 1,98 \cdot 1,0 \right) - (0,831 - 0,356) \cdot \frac{450}{1000} \approx 17,7 \text{ грн.}$$

Як видно із розрахунків вартість отримання заготовок приблизно однакова. Але при штампуванні у відкритих штампах зазор між верхньою і нижньою частинами штампу є змінним і зменшується в процесі деформації металу. В зазор витікає надлишок металу, який утворює заусенець. Наявність заусенців є небажаним відходом, але є необхідним для забезпечення повного заповнення штампу. Виходячи з цього в якості методу отримання заготовки приймаємо штампування в закритих штампах

2.4. Вибір методів обробки поверхонь

Розрахунок проводимо для зовнішньої циліндричної поверхні 2 (рис. 1.3) деталі колесо, яка характеризується розміром $83_{-0,12}^{-0,1}$, допуском радіального биття 0,01 мм та шорсткістю поверхні – Ra0,4.

Допуск на деталь становить $\delta_d = 0,02$ мм, шорсткість 0,4 мкм, а допуск на заготовку $\delta_z = 1,4$ мм.

Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{\delta_d}$$

де:

δ_z – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на розмір деталі.

$$\varepsilon_z = \frac{1,40}{0,02} = 70$$

Вибираємо два маршруту обробки поверхні.

Перший маршрут складається із чорного та чистового точіння, попереднього та кінцевого шліфування.

Другий маршрут складається із чорного та чистового точіння та шліфування.

По кожному проміжному методу обробки з таблиць економічної точності вибираємо допуски на обробку і розраховуємо частинні коефіцієнти уточнень за формулою:

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$$

де: δ_{i-1} , δ_i – допуск на розмір відповідно до попереднього і поточного методу обробки.

Наприклад, частинний коефіцієнт для чорнового точіння першого варіанту становить:

$$\varepsilon_{1ч.т.} = \frac{1,40}{0,130} = 6,46$$

Для чистового точіння:

$$\varepsilon_{1чист.т.} = \frac{0,130}{0,052} = 2,50 \text{ і т. д.}$$

Економічні допуски на проміжні методи обробки та частинні коефіцієнти уточнення становлять відповідно:

<u>Перший варіант</u>	δ_i	ε_i
1. Точіння попереднє -	0,540;	2,59
2. Точіння кінцеве -	0,087;	6,21
3. Шліфування попереднє -	0,035;	2,49
4. Шліфування кінцеве -	0,02;	1,75

<u>Другий варіант</u>	δ_i	ε_i
1. Точіння попереднє -	0,350;	4,0
2. Точіння кінцеве -	0,057;	6,1
3. Шліфування -	0,02;	2,87

Розраховуємо фактичні уточнення за формулою:

$$\varepsilon_z \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdots \varepsilon_n$$

$$\varepsilon_{\phi 1} = 2,59 \cdot 6,21 \cdot 2,49 \cdot 1,75 = 70,09$$

$$\varepsilon_{\phi 2} = 4,0 \cdot 6,1 \cdot 2,87 = 70,03$$

Із можливих варіантів маршрутів обробки перевагу слід надавати тим варіантам, які при відповідності до нерівності $\varepsilon_s \leq \varepsilon_\phi = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n$ ближче відповідають рівності:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_\phi$$

Остаточню приймаємо другий варіант маршруту обробки.

Обраний маршрут обробки поверхні повинен забезпечити не тільки точність розміру, а й допуск радіального биття, який складає 0,01 мм.

Результати розрахунків по деталях зведені до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталей

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням δ_n , мм	Шорсткість поверхні, мкм	Допуск на заготовку поверхні δ_s , мм	Загальне уточнення ε_s	Можливі технологічні маршрути обробки	Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
Колесо							
1, 5	0,015	0,2	0,84	56	<u>1 варіант:</u> 1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування кінцеве 5. Доведення попереднє 6. Доведення кінцеве $\varepsilon_{\phi 1} = 140,2$ <u>2 варіант:</u> 1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування 4. Доведення попереднє 5. Доведення кінцеве $\varepsilon_{\phi 2} = 140,1$	0,210 0,052 0,021 0,013 0,009 0,006	4,0 4,04 2,48 1,62 1,44 1,50

2	0,02	0,4	1,40	70	<u>1 варіант:</u> 1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування кінцеве $\epsilon_{\phi 1}=70,09$ <u>2 варіант:</u> 1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування $\epsilon_{\phi 2}=70,03$	0,540 0,087 0,035 0,020 0,350 0,057 0,020	2,59 6,21 2,49 1,75 4,0 6,1 2,87
3, 6	0,14	6,3	-	-	1. Точіння	0,14	-
4	0,03	1,6	0,74	24,7	1. Зубодовбання 2. Зубошліфування $\epsilon_{\phi 1}=24,7$	0,110 0,03	6,73 3,67
7	0,03	1,6	0,74	24,7	<u>1 варіант:</u> 1. Розточування попереднє 2. Розточування кінцеве 3. Шліфування $\epsilon_{\phi 1}=24,7$ <u>2 варіант:</u> 1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Розточування тонке $\epsilon_{\phi 2}=24,7$	0,460 0,074 0,030 0,460 0,074 0,030	1,61 6,22 2,47 1,61 6,22 2,47
Шайба							
1	0,01	1,6	0,5	50	<u>1 варіант:</u> 1. Точіння 2. Шліфування попереднє 3. Шліфування кінцеве 4. Доведення попереднє 5. Доведення кінцеве $\epsilon_{\phi 1}=125,1$ <u>2 варіант:</u> 1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування кінцеве 5. Доведення попереднє 6. Доведення кінцеве $\epsilon_{\phi 2}=125,1$	0,090 0,036 0,015 0,006 0,004 0,150 0,09 0,036 0,015 0,006 0,004	5,56 2,5 2,4 2,5 1,5 3,33 1,67 2,5 2,4 2,5 1,5

2	0,01	1,6	0,5	50	<u>1 варіант:</u> 1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове 3. Шліфування попереднє 4. Шліфування кінцеве $\varepsilon_{\phi 1}=50,05$ <u>2 варіант:</u> 1. Точіння 2. Шліфування попереднє 3. Шліфування кінцеве $\varepsilon_{\phi 2}=50$	0,150 0,09 0,036 0,01 0,150 0,032 0,01	3,33 1,67 2,5 3,6 3,33 4,69 3,6
3	0,035	2,5	0,87	24,9	<u>1 варіант:</u> 1. Точіння 2. Шліфування $\varepsilon_{\phi 1}=24,9$ <u>2 варіант:</u> 1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове 3. Шліфування $\varepsilon_{\phi 2}=24,9$	0,190 0,035 0,220 0,087 0,035	4,58 5,43 3,95 2,53 2,49
4,5	0,2	12,5	-	-	1. Точіння	0,2	-
6	0,62	6,3	-	-	<u>1 варіант:</u> 1. Свердління 2. Розточування чорнове 3. Розточування чистове <u>2 варіант:</u> 1. Свердління 2. Розточування	0,450 0,390 0,250 0,450 0,390	 1,15 1,56 1,15
7	0,3	12,5	-	-	1. Фрезерування	0,3	-
8	0,024	2,5	-	-	<u>1 варіант:</u> 1. Свердління 2. Розвертання <u>2 варіант:</u> 1. Свердління 2. Зенкерування 3. Розвертання	0,030 0,018 0,048 0,03 0,018	 1,67 1,6 1,67
9	0,14	12,5	-	-	1. Зенкування	0,14	-
10	0,13	12,5	-	-	1. Фрезерування	0,13	-
11	0,1	6,3	-	-	1. Фрезерування	0,1	-

2.5. Розробка маршрутів виготовлення деталей

Розроблені маршрути обробки деталей наведено в таблиці 2.5.

Таблиця технологічних маршрутів обробки деталей

Колесо
001 Транспортна Транспортувати заготовки.
005 Токарна з ЧПУ Точити торець, розточити отвір, перевстановити деталь в контршпіндель, точити торець, зовнішню циліндричну поверхню, фаску.
010 Зубодовбальна Довбати зубці
015 Контрольна Перевірити розміри
020 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю термообробки
025 Термообробна Термообробити деталі
030 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю
035 Плоскошліфувальна Шліфувати торець
040 Плоскошліфувальна Шліфувати торець
045 Круглошліфувальна Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню
050 Зубошліфувальна Шліфувати зубці
055 Доводочна Довести торці
060 Доводочна Довести торці
065 Полірувальна Полірувати поверхні
070 Контрольна Перевірити розміри
075 Комплектувальна Комплектувати деталі
080 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю складання
Шайба
001 Транспортна Транспортувати заготовки.
005 Стрічковідрізна Розрізати прутки на заготовки
010 Термообробна Термообробити деталі

015 Дробоструйна Очистити деталі
020 Транспортна Транспортувати заготовки на дільницю механічної обробки
025 Токарна з ЧПУ Точити торець, розточити отвір, перевстановити деталь в контршпindel, точити торець, свердлиити отвори , розточити отвір, фрезерувати дві виточки, розвернути отвір, фрезерувати дві канавки, фрезерувати два паза, зенкувати фаску
030 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю термообробки
035 Термообробна Термообробити деталі
040 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю механічної обробки
045 Плоскошліфувальна Шліфувати торці
050 Круглошліфувальна Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню
055 Плоскошліфувальна Шліфувати торці
060 Доводочна Довести торці
065 Доводочна Довести торці
070 Полірувальна Полірувати поверхні
075 Контрольна Перевірити розміри
080 Комплектувальна Комплектувати деталі
085 Транспортна Транспортувати деталі на дільницю складання

2.6. Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз починаємо з чорнової бази – бази на першій операції технологічного процесу, призначення якої – забезпечити отримання чистових технологічних баз для наступних операцій. При виборі чорнової технологічної бази необхідно виходити із забезпечення більш рівномірного зняття припуску з найбільш точних і важливих для деталей поверхонь.

При виборі технологічних баз необхідно керуватися принципами суміщення та постійності баз. При змушеній зміні баз доцільно переходити від

менш точної базової поверхні до більш точної.

Номери поверхонь вказані на рис. 1.3 - для колеса, на рис. 1.4 - для шайби.

Прийняті схеми базування наведені в таблицях 2.6 та 2.7 для деталей колесо та шайба відповідно.

При обробці деталі колесо в якості чорнової бази на 005 операції (установ А) використовуємо поверхні торцеву 5 (рис. 1.3) і зовнішню циліндричну 2, а на установі Б – внутрішню циліндричну поверхню 4 і торцеву 1. На 010 і 050 операціях в якості базових поверхонь використовуємо торцеву поверхню 5 і зовнішню циліндричну 2. На 035 операції базовою є торцева поверхня 5, а на 040 операції – торцева поверхня 1. На 045 операції базовими є внутрішня циліндрична поверхня 4 і торцева 1. На доводочних операціях 055 і 060 базовими є торцеві поверхні, які доводяться і зовнішня циліндрична поверхня 2.

При обробці деталі шайба в якості чорнової бази на 005 операції використовуємо зовнішню циліндричну поверхню 3. На 010 операції (установ А) в якості базових використовуємо торцеву поверхню 1 (рис. 1.4) і зовнішню циліндричну поверхню 3, а на установі Б – внутрішню циліндричну поверхню 6 і торцеву 2. На 045 і 055 операціях базовими є торцеві поверхні 1 і 2 (операції здійснюються з переустановленням деталі). На 050 операції в якості базових поверхонь використовуємо торцеву поверхню 1 і зовнішню циліндричну 3. На доводочних операціях 060 і 065 базовими є торцева поверхня 1, яка доводиться і зовнішня циліндрична поверхня 3.

2.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення.

Структура та зміст технологічних операцій наведені в таблицях 2.6 та 2.7 для деталей колеса і шайба відповідно.

Тип та модель використовуваних металорізальних верстатів визначаємо

відповідно обраному методу обробки поверхонь, їх точності та типу виробництва, враховуючи розміри заготовки. Моделі верстатів та їх технічні характеристики вибираємо з каталогів та довідників.

Вибрані верстати та їх короткі технічні характеристики наведені у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

Металорізальні верстати для обробки деталей

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
Колесо						
005	TL25 токарний з ЧПУ	76	0-5000	0-24м/хв	14,9	1867х3962х2464
010	5A122 зубодовбальний	200	200-850 подв.х.	0,16-1,6 0,003-0,286	3,0	2000х1450х1965
035	3Л722 плоскошліфу вальний	1600х320	1500	3-45м/хв	15	4780х2130х2360
040	3Л722 плоскошліфу вальний	1600х320	1500	3-45м/хв	15	4780х2130х2360
045	3М152 круглошліфув альний	120	50-1000 1900	0,02-5 0,05-5	7,5	2700х2540х1950
050	Hauser S35-400 координатно-шліфувальний	600х380	4500-80000	0,02-0,06	7,5	3570х2530х2780
055	AL-2L доводочна	1200	15-180	-	2,1	2550х2540х2010
060	FL-12 доводочна	1200	14-185	-	3,2	2547х2087=1980
Шайба						
005	8A544 стрічковідрізний	250	20-185	0,1-3	1,8	1550х2010х1789
025	TL25 токарний з ЧПУ	76	0-5000	0-24м/хв	14,9	1867х3962х2464
045	3Г71М плоскошліфувальний	40-400	1670 15-180	0,002 8-30	11	2350х1970х2300
050	3М151Д круглошліфувальний	60	50-500 1590	0,05-5 0,1-4	10	4505х2450х2170
055	3Г71М плоскошліфувальний	40-400	1670 15-180	0,002 8-30	11	2350х1970х2300
060	AL-2L доводочна	1200	15-180	-	2,1	2550х2540х2010
065	FL-12 доводочна	1200	14-185	-	3,2	2547х2087=1980

2.8. Вибір затискних пристроїв

Тип та конструктивні особливості затискних пристроїв для виконання кожної технологічної операції визначають з урахуванням обраної теоретичної схеми базування деталі та типу виробництва.

Вибрані затискні пристрої та їх стисла характеристика наведені в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Затискні пристрої для деталей

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
Колесо			
005	Патрон Кулачок Патрон Кулачок	7102-0071-У-1-2 ГОСТ 24351-80 7016-4150 7102-0071-У-1-2 ГОСТ 24351-80 7016-4137	Електромеханічний
010	Пристосування установочне	7520-4114	Пневматичний
035	Магнітна плита	7208-0038.25 ГОСТ 17519-84	-
040	Магнітна плита	7208-0038.25 ГОСТ 17519-84	-
045	Центр Оправка Пристосування	7032-0027 ГОСТ 13214-79 7110-6012-01 7800-6024	Механічний
050	Пристосування	7077-1254	Пневматичний
055	Сепаратор	7660-4077	-
Шайба			
005	Тиски	-	Пневматичний
025	Патрон Кулачок Патрон Кулачок	ПКП200.66.06.95 7016-4162 ПКП200.66.06.95 7016-4158	Електромеханічний
045	Магнітна плита	7208-0038.25 ГОСТ 17519-84	-
050	Центра Оправка	7032-0110/001-ВК6 ГОСТ 2575-79 7110-4222-00-03	Механічний
055	Магнітна плита	7208-0038.25 ГОСТ 17519-84	-
060	Сепаратор	7660-4074	-
065	Сепаратор	7660-4020-01	-

2.9. Вибір ріжучих інструментів

Враховуючи метод та стадію обробки, тип виробництва, фізико-хімічні характеристики матеріалів вихідної заготовки та інструменту, його міцність та стійкість, а також характер обробки обираємо для кожного переходу ріжучий інструмент. Відомості про обрані інструменти вибираємо з довідників.

Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталей наведені в таблиці 2.10.

При обробці деталі колесо на операції 005 токарній з ЧПУ, а при обробці деталі шайба на операції 010 токарній з ЧПУ, які здійснюється на верстаті мод. TL25 використовуємо інструмент ф. Kennametal (Німеччина).

На інших операціях механічної обробки деталей застосовуємо різальний інструмент, який використовується в базових технологічних процесах.

Таблиця 2.10

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталей

Номер		Найменування інструменту, індекс	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Операції	Переходу			Мате- ріал	Стандарт (ГОСТ)
Колесо					
005	2,3 4, 5, 6 8, 9 10, 11	Різець SCACL1616K09Q Пластина CNMG1204FP Різець A25RDLNL12RC04 Пластина CNMG1204FP Різець SCACR1616K09Q Пластина CNMG1204FP Різець SCACR1616K09Q Пластина CNMG1204FP	- - - - - - - -	- KU10N - KU10N - KU10N - KU10N	ISO
010	2	Довбач 2537-6001	ГОСТ 9323-78	P6M5	19265-73
035	2	Шліфувальний круг ПП450-63-203 25А 25 СМ1 СМ2 К8 35м/с	ГОСТ 2424-83	-	-
040	2	Шліфувальний круг ПП450-63-203 25А 25 СМ1 СМ2 К8 35м/с	ГОСТ 2424-83	-	-
045	2	Круг шліфувальний 500х50х203 24А 25СМ1 СМ2 к 50м/с	ГОСТ 2424-83	-	-
050	2	Круг спеціальний шліфувальний із КНБ	-	-	-
055	2	Мікропорошок карбіду кремнію 64СМ28 400 СТ2 МТ 74-8-78	ГОСТ2424-84	-	-
Шайба					
005	9	Пилка БМ EB34х3/4х1.1	Amada	-	-

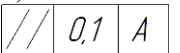
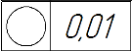
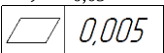
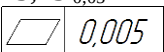
025	2	Різець SCACL1616K09Q Пластина CNMG1204FP	-	-	ISO
	3	Свердло DFT300R2WD32M Пластина DFT05T308	-	KU10N	
	4	Різець A25RDLNL12RC04 Пластина CNMG1204FP	-	-	
	5	Свердло B966A/F 060000	-	KUC20M	
	6	Фреза F2AH0540 A/B DK30	-	-	
	7	Розвертка 2363-4302-01	-	KU10N	
	8	Фреза F2AH0600 A/B DK30	-	KC7315	
	9	Фреза F2AH0600 A/B DK30	-	KC633M	
	10	Зенківка 2323-4009	-	T5K10	3882-74
	12	Різець SCACL1616K09Q Пластина CNMG1204FP	-	KC633M	
	13	Різець A25RDLNR12RC04 Пластина VNMG331FP	-	KC633M	
	14	Зенківка 2323-4009	-	P6M5	19265-73
045	2	Круг шліфувальний ПП250х32х76 14A16 CM2 35м/с	ГОСТ 2424-83	-	-
050	2	Круг шліфувальний ПП600х63х305 14A25CM1 50м/с	ГОСТ 24724-83		
055	2	Круг шліфувальний ПП250х32х76 14A16 CM235м/с	ГОСТ2424-83	-	-
060, 065	2	Мікропорошок карбіду кремнію 64CM28 400 CT2 MT 74-8-78	ГОСТ2424-84	-	-

2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Засоби технічного контролю технічних операцій обираємо з урахуванням точності вимірювання, розміру та якості вимірювальної поверхні і типу виробництва. Вибрані засоби технічного контролю наведені в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для деталей

№ операції	Контролюємий параметр	Найменування вимірювального інструменту (код)	Стандарт на конструкцію
Колесо			
005	$\varnothing 63,3^{+0,03}$ $27,15_{-0,05}$ $3,95 \times 45^0$ $\varnothing 83,1_{-0,1}$ $25,35_{-0,05}$ $0,65 \times 45^0$     	Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Калібр фасочний Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Калібр фасочний Стійка С-IV-8-160-100 Призма Індикатор ІЧ10 КЛ . 2 Профілометр системи «М» Центра контрольні ПБМ500 Індикатор 2МИГ Стійка С-IV-8-160-100 Індикатор ІЧ10 КЛ . 2	Mitutoyo500-181U Mitutoyo500-181U 8371-4001-12 Mitutoyo500-181U Mitutoyo500-181U 8371-4001-07 ГОСТ 10197-70 ГОСТ 577-68 ГОСТ 19300-86 ТУ2-034-450-75 ГОСТ9696-82 ГОСТ 10197-70 ГОСТ 577-68
010	$60,54^{+0,11}$ $\varnothing 73,67^{+0,3}$ $0,071$	Ролики вимірювальні $\varnothing 5,5\text{мм}$ 8022-6001 Калібр для контролю розміру по роликам 8141-6004 Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Пристосування для контролю радіального биття зубчатого вінця 8531-6009	- - Mitutoyo500-181U ГОСТ 166-89 -
035	$25,25_{-0,05}$  	Мікрометр МК50 Пристосування для контролю площинності 8533-4006 Індикатор 2 МИГ Стійка С-IV-8-160-100	ГОСТ 6707-76 - ГОСТ 9696-82 ГОСТ 10197-70
040	$25,15_{-0,05}$  	Мікрометр МК50 Пристосування для контролю площинності 8533-4006 Індикатор 2 МИГ Стійка С-IV-8-160-100	ГОСТ 6707-76 - ГОСТ 9696-82 ГОСТ 10197-70
045	$\varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$  	Скоба важільна СР100 Центра контрольні ПБМ 500 Індикатор 1МИГ Пристосування для контролю допуску 8338-6005	ГОСТ 11098-75 ГОСТ 19300-86 ГОСТ 9696-81 -
050	$60,5^{+0,02}$ $\varnothing 73,67^{+0,3}$ $0,03$	Ролики вимірювальні $\varnothing 5,5\text{мм}$ 8022-6001 Калібр для контролю розміру по роликам 8141-6004 Штангенциркуль електр. ШЦ-0-150-0,01 Пристосування для контролю радіального биття зубчатого вінця 8531-6009	- - Mitutoyo500-181U ГОСТ 166-89 -

		Стійка С-IV Індикатор 1 МИГ	ГОСТ10197-70 ГОСТ9696-82
065	7 ^{+0,01} _{+0,02} 	Скоба важільна СР 0-25 Кінцеві міри довжини №1 Пристосування для контролю площинності 8533-4043 Індикатор ИЧ 10 кл.2	ГОСТ11098-75 ГОСТ9038-90 ГОСТ577-68

2.11. Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Після вибору плану обробки поверхонь, розробки маршрутної технології, розраховуємо припуски на механічну обробку.

Припуски розраховуємо аналітичним методом на поверхню 2 (рис. 1.3) $\varnothing 83_{-0,012}^{-0,01}$ деталі колесо. Якість поверхні заготовки отриманої штампування визначаємо відповідно до табл. 27 [3].

Якість поверхні, яка досягається при механічній обробці визначаємо відповідно до табл. 29 [3].

Метод обробки	Rz, мкм	T, мкм	ρ, мкм
1. Точіння чорнове	50	50	40
2. Точіння чистове	30	30	32
3. Шліфування	5	15	16

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень відповідно до табл. 31 [3]:

$\rho_{\kappa 3}$ - короблення заготовки - 800 мкм.

Залишкові просторові відхилення на оброблених поверхнях, які мали вихідні відхилення, являються наслідком копіювання похибок при обробці, величина цих відхилень залежить як від режимних умов обробки, так і від параметрів, що характеризують жорсткість технологічної системи і механічні властивості оброблюваного матеріалу. Для визначення проміжних значень припусків на механічну обробку можна з достатньою для практичних цілей точністю скористатися емпіричною формулою:

$$\rho_{ост} = k_y \cdot \rho$$

де k_y - коефіцієнт уточнення форми [3, ст. 74].

Тоді:

Після точіння чорнового $\rho_{т.чорн.} = 0,05 \cdot 800 \approx 40$ мкм;

Після точіння чистового $\rho_{т.чист.} = 0,04 \cdot 800 \approx 32$ мкм;

Після шліфування $\rho_{ш} = 0,02 \cdot 800 \approx 16$ мкм;

Допуски на виготовлення:

$$\delta_z = 900 \text{ мкм};$$

$$\delta_{т.чорн.} = 500 \text{ мкм};$$

$$\delta_{т.чист.} = 100 \text{ мкм};$$

$$\delta_{ш} = 20 \text{ мкм};$$

Оскільки кінцевий розмір забезпечується при шліфуванні, а при поліруванні покращуються тільки вимоги, щодо шорсткості, то при розрахунку припусків операцію полірування можна не враховувати (припуск мінімальний і знаходиться в межах допуску на кінцевий розмір поверхні отриманій при шліфуванні).

Похибка установки визначається за формулою:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_\delta^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_{np}^2};$$

де: ε_δ - похибка базування, $\varepsilon_\delta = 0$, так як вимірювальна і установочна бази співпадають.

ε_z - похибка закріплення виникає в результаті зміщення оброблюваних поверхонь заготовок від дії затискної сили: це зміщення може бути враховано налаштуванням верстату, в ряді випадків, особливо, коли застосовується пневматичний, гідравлічний, електромеханічний затискний пристрій похибку закріплення можна виключити із розрахунків.

ε_{np} - похибка положення заготовки, є наслідком неточності виготовлення верстатного пристосування і зносу його установчих елементів, а також похибки

установки самого пристосування. Для одно позиційної обробки величин ε_{np} не враховується.

Визначаємо розрахункові величини мінімальних припусків на обробку по усім технологічним переходам.

При обробці зовнішньої поверхні обертання:

$$2z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2})$$

Враховуючи той факт, що в даному випадку ε_y не враховуємо, формула для розрахунку мінімального припуску матиме вигляд:

$$2z_{i\min} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$$

Тоді:

$$2z_{m,чорн.\min} = 2(150 + 200 + 800) = 2 \cdot 1150 \text{ мкм};$$

$$2z_{m,чист.\min} = 2(50 + 50 + 40) = 2 \cdot 140 \text{ мкм};$$

$$2z_{u\min} = 2(30 + 30 + 32) = 2 \cdot 92 \text{ мкм};$$

В таблицю 2.12 для кінцевого переходу в графу «Розрахунковий розмір» запишемо найменший граничний розмір деталі по кресленню $\varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$, тобто розмір $\varnothing 82,88$.

Визначаємо розрахункові розміри для кожного попереднього переходу додаванням до розрахункового розміру слідуючого за ним смішного переходу розрахункового припуску .

Записуємо найменші граничні розміри по усім технологічним переходам, округляючи їх збільшенням розрахункових розмірів, округлення необхідно виконувати до того ж знаку десяткового дробу, з яким задано допуск на розмір для кожного переходу.

Визначаємо найбільші граничні розміри додаванням допуску до округленого найменшого граничного розміру. Визначаємо граничні значення припусків $Z_{\max}$ як різницю найбільших граничних розмірів і $Z_{\min}$, як різницю найменших граничних розмірів попереднього і виконуемого переходів.

Визначаємо загальні припуски $2 \cdot z_{o \max}$ і $2 \cdot z_{o \min}$ сумуючи проміжні припуски на обробку.

Виконуємо перевірку:

$$2 \cdot z_{o \max} - 2 \cdot z_{o \min} = \delta d_3 - \delta d_o$$

Розрахунки виконано вірно. $3700 - 2820 = 900 - 20 = 880 = 880$

Таблиця 2.12

Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 83_{-0,12}^{0,1}$ деталі колесо

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск, мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення припусків, мм	
	R _z	T	ρ	2z _{min}	d _p	δ	d _{min}	d _{max}	2z _{min} ^{np}	2z _{max} ^{np}
Заготовка	150	200	800	-	85,64	900	85,7	86,6		
1. Точіння чорнове	50	50	40	2·1150	83,34	500	83,4	83,9	2300	2700
2. Точіння чистове	30	30	32	2·140	83,06	100	83,1	83,2	300	700
3. Шліфу- вання	5	15	16	2·92	82,88	20	82,88	82,9	220	300
Разом									2820	3700

На інші поверхні припуски визначаємо за довідниковими таблицями та заносимо в таблицю 2.13.

Схема графічного розташування припусків представлена на рис. 2.1.

Таблиця 2.13

Припуск на механічну обробку деталей

Номер поверхні	Найменування поверхні	Маршрут обробки	Припуск по переходам, на сторону, мм	Між-операційний розмір
Колесо				
1	Торцева	1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування 4. Доведення попереднє 5. Доведення кінцеве	1,3 0,55 0,1 0,095 0,005	27,7 _{-0,2} 27,15 _{-0,05} 25,25 _{-0,05} 24,96 ^{+0,005} 24,95 ^{+0,005}
5	Торцева	1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування 4. Доведення попереднє 5. Доведення кінцеве	1,35 0,45 0,1 0,095 0,005	25,8 _{-0,2} 25,35 _{-0,05} 25,15 _{-0,05} 24,96 ^{+0,005} 24,95 ^{+0,015}
2	Зовнішня циліндрична	1. Точіння попереднє 2. Точіння кінцеве 3. Шліфування	2,55 0,65 0,05	Ø84,4 _{-0,5} Ø83,1 _{-0,1} Ø83 _{-0,10} -0,12
3, 6	Фаска	1. Точіння	0,65	0,65x45 ⁰
4	Зубчаста поверхня	1. Зубодовбання 2. Зубошліфування	1,38 0,04	60,54 ^{+0,11} 60,5 ^{+0,02}
7	Внутрішня циліндрична	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Розточування тонке	2,15 0,47 0,10	Ø62,3 ^{+0,2} Ø63,1 ^{+0,05} Ø63,3 ^{+0,03}
Шайба				
1	Торцева	1. Точіння 2. Шліфування попереднє 3. Шліфування кінцеве 4. Доведення попереднє 5. Доведення кінцеве	1,5 0,5 0,23 0,14 0,01	9,5±0,1 7,5±0,05 7,15±0,01 7 ^{+0,01} +0,02
2	Торцева	1. Точіння 2. Шліфування попереднє 3. Шліфування кінцеве	1,5 0,6 0,13	8±0,1 7,4±0,05 7,27±0,01
3	Зовнішня циліндрична	1. Точіння 2. Шліфування	6,15	Ø107,7 _{-0,3}
4, 5	Фаска	1. Точіння	1,9	1,9x45 ⁰
6	Внутрішня циліндрична	1. Свердління 2. Розточування	15 7	Ø30 ^{+0,5} Ø44 ^{+0,1}
7	Пази	1. Фрезерування	6	R3 ^{+0,1}
8	Отвір	1. Свердління 2. Розвертання	3 0,182	Ø6 ^{+0,2} Ø6,363 ^{+0,024}
9	Фаски	1. Зенкування	1,7	1,7x45 ⁰
10	Канавки дугоподібні	1. Фрезерування	6	3±0,2
11	Виточки радіусні	1. Фрезерування	5,4	Ø5,4 ^{+0,1}

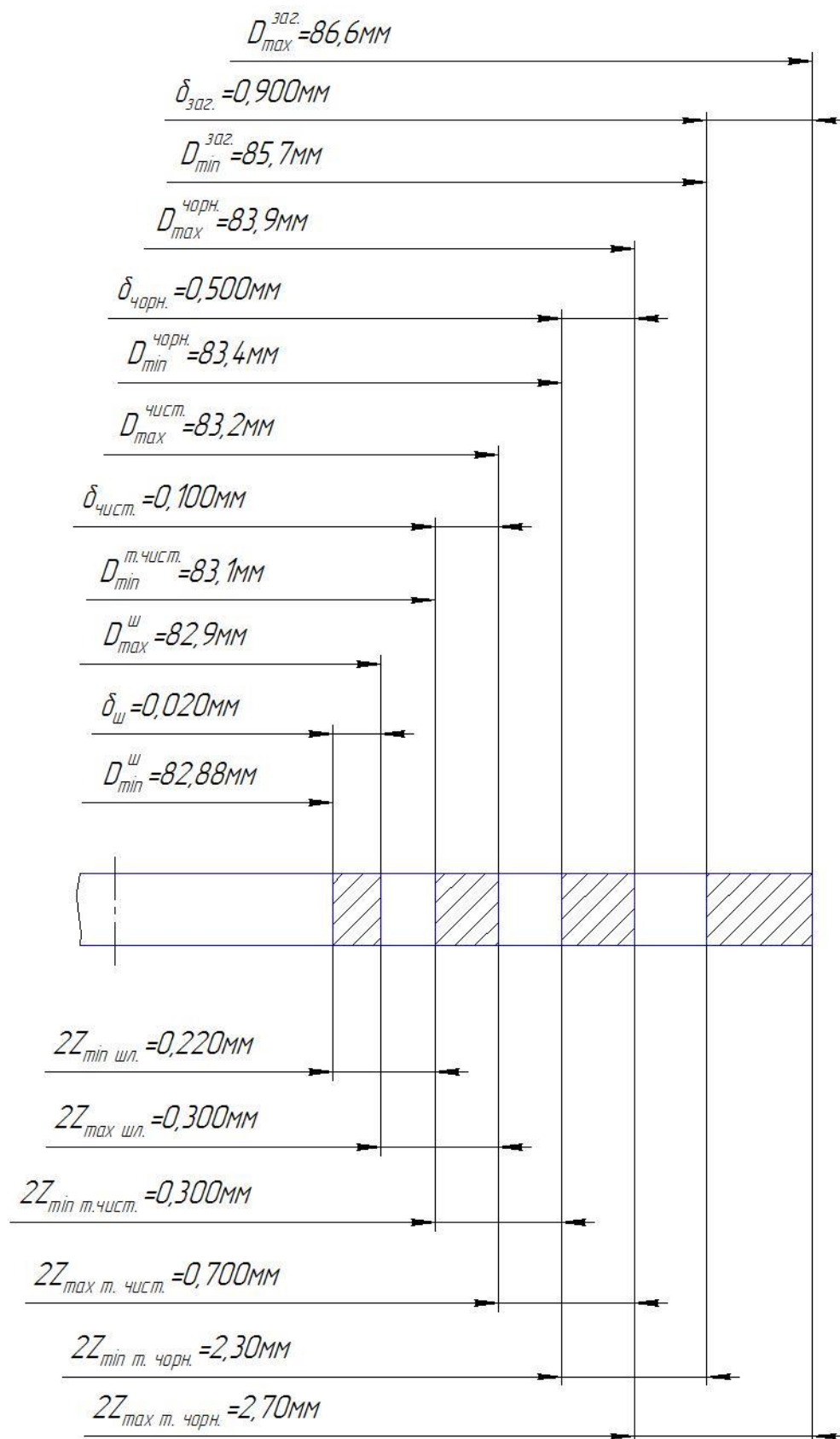


Рис. 2.1. Схема графічного розташування припусків і допусків на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$ колеса.

2.12. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання виконуємо на круглошліфувальну операцію 045, де виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні $2 \varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$.

Операція здійснюється на круглошліфувальному верстаті мод. 3М152МВФ2.

На вказаній операції виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні і забезпечується шорсткість $Ra\ 0,4$.

Зміст операції:

045 Круглошліфувальна з ЧПУ

3М152МВФ2 Круглошліфувальний з ЧПУ

1. Встановити деталь на оправку, встановити оправку в центра і закріпити.
2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.

РІ: 500х50х203 24А 25СМ1...СМ2 к50 м/с 1 кл. Б ГОСТ 2424-83 круг шліфувальний.

3. Зняти оправку, зняти деталь з оправки.
4. Перевірити розміри.
5. Покласти деталь в тару.

Основні параметри різання при шліфуванні:

Швидкість обертального руху деталі $v_{3,м/хв}$:

$$v = \frac{C_v \cdot d^2}{T^m \cdot t^x};$$

Де, T - період стійкості шліфувального круга в хвилинах машинного часу.

$$T = 15xв;$$

d - діаметр оброблюємої деталі, $м$;

t - поперечна подача, $мм/об$.

Коефіцієнти C_v і показники степені q, m, x, y відповідно до [4, табл. 50]:

$$C_v = 0,85 \quad q = 0,3 \quad m = 0,35 \quad x = 0,7$$

$$\nu = \frac{0,85 \cdot 83,1^{0,3}}{15^{0,35} \cdot 0,003^{0,7}} = 72,4 \text{ м/хв}$$

Згідно рекомендації [4, табл. 55], приймаємо $\nu_3 = 50 \text{ м/хв}$.

$$\text{Тоді } \nu = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000};$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot \nu}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 83,1} = 192 \text{ об/хв}.$$

Приймаємо згідно паспорта верстата $n_3 = 190 \text{ об/хв}$

$$\text{Тоді дійсна швидкість обертів } \nu_3 = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 83,1 \cdot 190}{1000} = 49,6 \text{ м/хв}.$$

Частота обертання шліфувального круга:

$$\text{При } \nu = 40 \text{ м/с}; \quad n_{кр} = \frac{1000 \cdot 2400}{3,14 \cdot 500} = 1528 \text{ об/х}$$

Оскільки вибраний круг допускає його використання із $\nu_{кр} = 50 \text{ м/с}$,

то приймаємо найближче значення частоти круга по паспорту $n_{кр} = 1590 \text{ об/хв}$.

$$\text{Тоді } \nu_{\text{д.кр}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n_{кр}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 500 \cdot 1590}{1000} = 2496,3 \text{ м/хв} = 41,6 \text{ м/с}.$$

Ефективна потужність при врізному шліфуванні периферією круга:

$$N = C_N \cdot \nu_3^r \cdot t^x \cdot d^q$$

d - діаметр шліфування, мм

b - ширина шліфування, $b = 25,4 \text{ мм}$

Значення коефіцієнта C_N та показники степенів вибираємо по [4, табл. 55].

Швидкість круга $\nu_k = 30 - 40 \text{ м/с}$;

Швидкість заготовки $\nu_3 = 20 - 50 \text{ м/хв}$;

Радіальна подача $0,001 - 0,005 \text{ мм/об}$.

Зернистість круга – 50

Твердість – с1

$$C_N = 0,14; \quad z = 0,8; \quad x = 0,8; \quad q = 0,2; \quad r = 1,0$$

$$N = 0,14 \cdot 49,6^{0,8} \cdot 0,003^{0,8} \cdot 83,1^{0,7} = 0,07 \text{ кВт}.$$

Машинний час [5]:

$$T_m = \frac{\pi \cdot d \cdot h}{1000 \cdot v_s \cdot t} \cdot f = \frac{3,14 \cdot 83,1 \cdot 0,2}{1000 \cdot 49,6 \cdot 0,003} \cdot 2,0 = 0,70 \text{ хв.}$$

h - припуск на обробку $h = 0,2 \text{ мм}$

d - діаметр заготовки $d = 83,1 \text{ мм}$

v_s - колова швидкість обертання заготовки: $v_s = 49,6 \text{ м/хв}$

t - поперечна подача $t = 0,003 \text{ мм/об}$

$f = 2,0$.

На інші операції механічної обробки деталей елементи режимів різання визначаємо по нормативам. Дані заносимо в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Режими різання на операціях механічної обробки деталей

Номер			t, мм	S _o , мм/об, S _{хв.} , мм/хв	v, м/хв	n, об/хв.	t _o , хв.
операції	позиції	переходу					
Колесо							
005		2	1,3	0,2	281	1000	0,1
		3	0,5	0,1	281	1000	0,2
		4	2,15	0,2	293	1500	0,1
		5	0,47	0,1	298	1500	0,2
		6	0,1	0,05	398	2000	0,3
		8	1,3	0,2	281	1000	0,1
		9	0,45	0,1	422	1500	0,13
		10	2,55	0,2	265	1000	0,15
		11	0,65	0,1	391	1500	0,2
010		2	2,1 0,5	0,25мм/п.х. 19,2	23,7	400	28,57
035		2	0,15	0,005 20мм/хід	35,3/15	1500	1,59
040		2	0,15	0,005 20мм/хід	35,3/15	1500	1,59
045		2	0,285	0,57	50/0,83	1590/190	0,7
050		2	0,04	0,02	54	4500	5,98
055		2	0,005	0,002	12,7	34	0,27
060		2, 4	0,005	0,002	12,7	34	0,46
Шайба							

005		2	1,3	100мм/хв	520	100	8,9
025		2, 12	1,5	0,2	754	2000	19,9
		3	15	0,1	75,4	800	
		4	1,4	0,2	276	2000	
		5	3	0,1	15,1	800	
		6	5,4	0,1	9,2	500	
		7	0,182	0,05	12	600	
		8	6	0,1	7	500	
		9	6	0,1	7	500	
		10, 14	0,75	0,1	24	1000	
		13	1,54	0,2	678	2000	
045		2, 4	0,5/0,1	0,02	-	1500	3,55
050		2	0,4	0,46	29	1115	0,08
055		2, 4	0,08	0,02	-	1500	2,89
060		2	0,04	0,002	12,7	44	0,89
065		2	0,01	0,002	12,7	44	1,12

2.13. Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу виконуємо на круглошліфувальну операцію 045, де виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні $2 \varnothing 83_{-0,12}^{-0,1}$.

Операція здійснюється на круглошліфувальному верстаті мод. 3М152МВФ2.

На вказаній операції виконується шліфування зовнішньої циліндричної поверхні і забезпечується шорсткість Ra 0,4.

Зміст операції:

045 Круглошліфувальна з ЧПУ

3М152МВФ2 Круглошліфувальний з ЧПУ

6. Встановити деталь на оправку, встановити оправку в центра і закріпити.

7. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.

РІ: 500х50х203 24А 25СМ1...СМ2 к50 м/с 1 кл. Б ГОСТ 2424-83 круг шліфувальний.

8. Зняти оправку, зняти деталь з оправки.

9. Перевірити розміри.

10. Покласти деталь в тару.

Норма штучно-калькуляційного часу визначається за формулою:

$$t_{шт.к} = t_{шт} + t_{пз} / n$$

де: $t_{пз}$ – підготовчо-заклучний час;

n – кількість деталей у партії.

Норма штучного часу $t_{шт}$, розраховується за формулою:

$$t_{шт} = t_o + t_d + t_{т.о} + t_{о.о} + t_{відп}$$

де: t_o – основний час визначається в розділі розрахунків режимів різання;

t_d – допоміжний час, який включає в себе: час на встановлення та зняття деталі; час на підведення, відведення та зміну ріжучого інструменту; час на керування верстатом; час на проведення контрольних вимірів.

Елементи допоміжного часу вибираються з нормативних таблиць:

$$t_d = t_{в.з.} + t_{кер.} + t_{вим.}$$

$t_{в.з.}$ - час на встановлення та зняття деталі – 0,6 хв., [3];

$t_{кер.}$ - час на керування верстатом – 0,11 [3];

$t_{вим.}$ - час на проведення контрольних вимірів – 0,35 [3].

Тоді:

$$t_d = 0,35 + 0,6 + 0,11 = 1,06 \text{ хв.}$$

$t_{оп}$ – оперативний час, є сумою основного та допоміжного часу:

$$t_{оп} = t_o + t_d = 0,7 + 1,6 = 1,76 \text{ хв.}$$

$t_{т.о}$ – час на технічне обслуговування обладнання для масового та серійного виробництва, розраховується за формулою:

$$t_{т.о} = \frac{t_{np} \cdot t_o \cdot 1,1}{T} = \frac{1,3 \cdot 0,7 \cdot 1,1}{15} = 0,07 \text{ хв}$$

Час на правку круга – $t_{np} = 1,3$ хв.

$t_{о.о}$ – час на організаційне обслуговування, розраховується за формулою:

$$t_{о.о} = \beta t_{оп}$$

де: β - нормативний процент від оперативного часу – 1,5% [3];

$$t_{o.o} = 0,015 \cdot 1,76 = 0,03 \text{ хв.}$$

$t_{\text{відп}}$ – час на перерви відпочинок та особисті потреби, розраховується за формулою:

$$t_{\text{пер.}} = \gamma t_{\text{оп}}$$

де: γ - нормативний процент від оперативного часу - 5% [3];

$$t_{\text{пер.}} = 0,05 \cdot 1,76 = 0,09 \text{ хв.}$$

Тоді норма штучного часу становить:

$$\begin{aligned} t_{\text{шт.}} &= t_o + t_d + t_{\text{т.о}} + t_{o.o} + t_{\text{пер.}} = \\ &= 0,7 + 1,06 + 0,07 + 0,03 + 0,09 = 1,95 \text{ хв.} \end{aligned}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$t_{\text{шт.к}} = t_{\text{шт.}} + t_{\text{пз}} / n = 1,95 + 12/408 = 1,98 \text{ хв.}$$

На решту операцій механічної обробки деталей виконуємо нормування виконані згідно відомих рекомендацій з використанням таблиць, довідників, виробничих нормативних документів. Результати вибору та розрахунку норм часу на інші операції механічної обробки деталей, заносимо в таблицю 2.15.

Норма часу на обробку деталей

Номер операції	t _о , хв.	t _д , хв.	t _{обсл} , хв.		t _{пер} , хв.	t _{шт} , хв.
			t _{техн. об.}	t _{орг. об.}		
Колесо						
005	11,09	3,57	0,02	0,01	0,01	14,7
010	28,57	7,57	0,02	0,02	0,01	36,19
035	1,59	0,45	0,02	0,01	0,01	2,08
040	1,59	0,45	0,02	0,01	0,01	2,08
045	0,7	1,06	0,07	0,03	0,09	1,95
050	5,98	1,5	0,02	0,02	0,01	7,52
055	0,27	0,17	0,02	0,01	0,01	0,48
060	0,46	0,61	0,003	0,008	0,01	0,63
Шайба						
005	8,9	3,17	0,01	0,02	0,01	12,11
025	19,9	7,99	0,01	0,02	0,012	27,93
045	3,55	1,36	0,01	0,02	0,01	4,95
050	0,08	0,102	0,01	0,02	0,018	0,23
055	2,89	0,825	0,03	0,015	0,01	3,77
060	0,89	0,295	0,03	0,015	0,01	1,24
065	1,12	0,81	0,01	0,02	0,01	1,97

2.14. Висновки до розділу

Виконано аналіз точності та технологічності деталей, виконано аналіз діючих технологічних процесів та запропоновані наступні зміни: для деталі колесо, операції базового технологічного процесу: токарно-гвинторізну, дві токарні з ЧПУ, дві плоскошліфувальні та алмазно розточувальну, замінити на одну токарну з ЧПУ, яка виконується на верстаті з контршпинделем мод. TL-

25. Для деталі шайба, операції базового технологічного процесу: дві токарні з ЧПУ та комплексну з ЧПУ замінити на одну операцію токарну з ЧПУ, яка виконується на верстаті з контршпинделем мод. TL-25. На зазначеному верстаті виконується як токарна обробка так і фрезерна обробка. Зазначені зміни дають можливість знизити собівартість випускаємої продукції та підвищити гнучкість технологічних процесів. Обрано заготовки для виготовлення деталей, верстати, затискні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розробка та розрахунок конструкції затискного пристрою

3.1.1. Опис будови та роботи пристрою

Затискний пристрій пневматичного типу (рис. 3.1.1) застосовується для закріплення деталі колесо.

Пристрій складається із корпусу 1, в отворах якого розміщуються гільза 4 пневмоциліндру. Шток 7 з'єднується із поршнем 5 за допомогою різьбового з'єднання гайкою 15 та шайбою 20. З іншої сторони в різьбовий отвір штоку 7 загвинчується болт 10 на якому розміщується гайка 14. Шток 7 спряжується своєю зовнішньою циліндричною поверхнею із внутрішньою циліндричною поверхнею втулки 6, яка запресовується в отвір корпусу 1.

Для забезпечення герметичності пневмоциліндру служить кришка 3 із встановленим на ньому гумовим кільцем 16. До корпусу кришка кріпиться за допомогою гвинтів 13 та шайб 19. Крім того, для забезпечення герметичності між зовнішньою поверхнею поршня та гільзою служать два кільця 16, між отвором поршня та штоком - кільця 18, між штоком та втулкою 6 - кільця 17.

До корпусу за допомогою гвинтів 12 закріплено плитку базову 9, на яку деталь встановлюється торцевою поверхнею. Крім того в отворах базової плитки встановлюються два штифти 11 призначені для кутової орієнтації статора при встановленні.

Корпус має виступ у формі зовнішньої циліндричної поверхні, по якій деталь базується своєю внутрішньою зубчастою поверхнею.

В корпусі є пази через які пристрій за допомогою болтів та гайок закріплюється на столі верстату.

Пристрій працює наступним чином: деталь встановлюється своєю внутрішньою циліндричною переривчастою поверхнею та торцевою

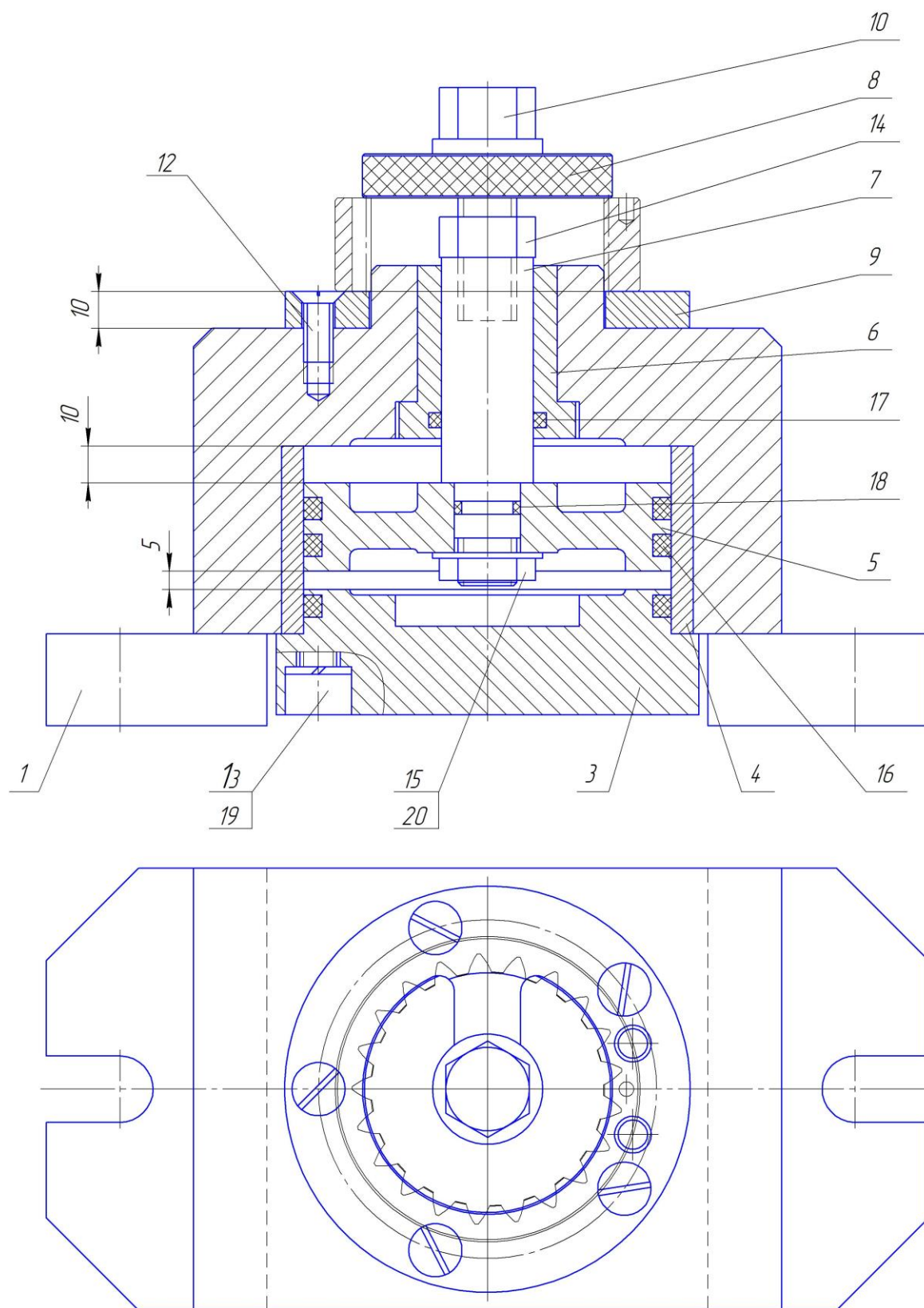


Рис. 3.1.1 Пристрій затискний.

поверхнею на зовнішній циліндричний виступ корпусу та торцеву поверхню плити базової відповідно. В кутовому положенні орієнтується циліндричними поверхнями штифтів 11.

Між болтом 10 і деталлю встановлюється шайба 8. При подачі стиснутого повітря в штокову порожнину поршень разом із штоком переміщується вниз притискаючи шайбу 8 до торцевої поверхні деталі, так відбувається затиск.

При подачі стиснутого повітря в безштокову порожнину, поршень разом із штоком переміщується вгору. При цьому шайба 8 звільняється від навантаження, виймається і деталь знімається із пристрій.

3.1.2. Розрахунок сили затиску деталі

Для забезпечення надійного затиску оброблюваної деталі під час обробки необхідно розрахувати потрібну силу затиску.

При цьому необхідно скласти рівняння рівноваги деталі під дією сил різання, сили затиску та сил тертя між деталлю та установчими елементами.

Визначену таким чином силу затиску необхідно збільшити шляхом множення на коефіцієнт запасу сили.

Розрахункова схема показана на рис. 3.1.2.

В даному випадку сила затиску та сила подачі діють в одному напрямку, притискаючи деталь до установчих поверхонь пристрій. Сила різання, що виникає при обробці створює момент, який намагається повернути заготовку навколо вісі ОО. Цьому моменту протидіє момент тертя, який створюється силою Q і осьовою силою P_o . Тому величина сили затиску буде незначною, вона повинна надійно затиснути деталь лише в момент засвердлювання.

Виконуємо розрахунок крутного моменту при свердлінні.

- Глибина різання:

$$t = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ мм.}$$

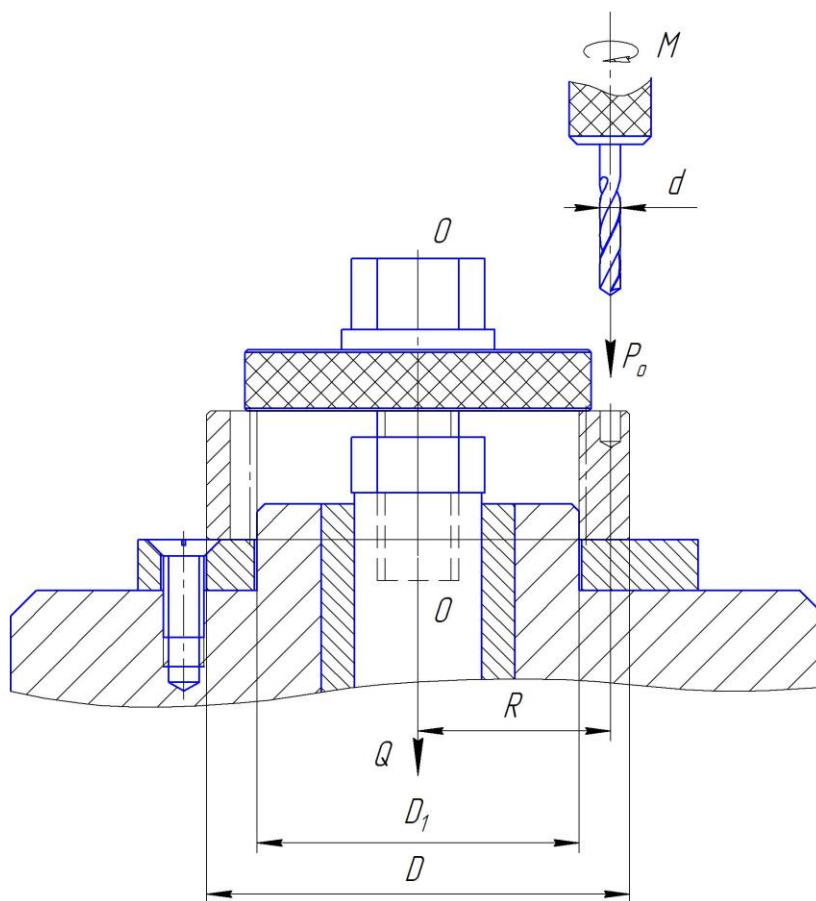


Рис. 3.1.2 Розрахункова схема для визначення сили затиску деталі.

- Подача при свердлінні визначається міцністю інструмента і не повинна перевищувати при обробці глухих отворів 0,3-0,6 мм/об, приймаємо $s = 0,3$ мм/об.
- Матеріал різальної частини інструменту - швидкорізальна сталь Р6М5.
- Швидкість різання:

При свердлінні швидкість різання визначаємо за формулою:

$$v = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot s^y} \cdot K_v$$

Значення коефіцієнту C_v та показники степені вибираємо з табл. 28 [4], величину періоду стійкості T^m з табл. 30 [4].

$$C_v = 9,8; q = 0,4; y = 0,5; m = 0,2; T = 15 \text{ хв.}$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, розраховується за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{lv}$$

де: K_{mv} – коефіцієнт, який враховує оброблюваний матеріал:

$$K_{mv} = K_{\hat{A}} \left(\frac{750}{\sigma_{\hat{A}}} \right)^{n_v} = 1 \left(\frac{750}{660} \right)^{1,05} = 1,14$$

K_{iv} – коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту – 1;

K_{lv} – коефіцієнт, який враховує глибину свердління – 1,0.

$$K_v = 1,14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,14.$$

Тоді:

$$v = \frac{9,8 \cdot 4^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 0,3^{0,5}} \cdot 1,14 = 20,7 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}$$

Тоді:

$$n = \frac{1000 \cdot 20,7}{3,14 \cdot 4} = 1648 \text{ об/хв};$$

Враховуючи геометрію інструмента, можливості верстату і нормальний режим його роботи приймаємо:

$$n_{\text{іаіі}} = 1000 \text{ об/хв}$$

- Дійсна швидкість різання:

$$v_{\text{д}} = \frac{\pi D n_{\text{іаіі}}}{1000} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 1000}{1000} = 12,6 \text{ м/хв}$$

- Крутний момент, осьова сила та потужність різання:

Крутний момент:

$$M_{\text{ед}} = 10 \cdot C_i \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p$$

Значення коефіцієнту C_m , та показники степені вибираємо з табл. 32 [4].

$C_m = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$.

Поправочний коефіцієнт $K_p = K_{mr}$:

$$K_{mv} = \left(\frac{\sigma_{\hat{A}}}{750} \right)^n = \left(\frac{660}{750} \right)^{0,75} = 0,9$$

Тоді:

$$M_{\text{ед}} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 4^2 \cdot 0,3^{0,8} \cdot 0,9 = 1,9 \text{ Н·м}$$

Осьова сила:

$$P_o = 10C_p D^q s^y K_p$$

Значення коефіцієнту C_p , та показники степені вибираємо з табл. 32 [4].

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

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 0,3^{0,7} \cdot 0,9 = 263 \text{ Н}$$

Потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{\text{ед}} \cdot n}{9750}$$

$$N_p = \frac{1,9 \cdot 1000}{9750} = 0,2 \text{ кВт};$$

Перевірка по потужності:

$$N_p \leq 1,2 \cdot N_{\text{дв}} \cdot \eta$$

$$0,2 \leq 1,2 \cdot 3,7 \cdot 0,8$$

$$0,2 \leq 3,55$$

Умова виконується.

Визначаємо коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$\eta_N = \frac{N_p}{N_{\text{дв}} \cdot \eta}$$

$$\eta_N = \frac{0,2}{3,7 \cdot 0,8} = 0,07$$

Сила затиску визначається за формулою:

$$(Q + P_o) fr = \frac{2M}{d} kR$$

Звідки:

$$Q = \frac{2kMR}{dfr} - P_o,$$

Де: f – коефіцієнт тертя $f = 0,1$;

P_o – зусилля подачі (осьова сила) $P_o = 263 \text{ Н}$;

k – коефіцієнт запасу $k = 2,5$;

M - крутний момент, що створює свердло $1,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$;

R - відстань від вісі свердла до вісі деталі $R = 37,5 \text{ мм}$.

$$r = \frac{D - D_1}{2} = \frac{83 - 63,3}{2} \approx 10 \text{ мм}.$$

Тоді, підставляючи значення маємо:

$$Q = \frac{2 \cdot 2,5 \cdot 1,9 \cdot 0,037}{4 \cdot 0,1 \cdot 0,010} - 263 = -174 \text{ Н}.$$

Дані розрахунки показують, що при ідеальному випадку свердління отворів сила затиску може бути відсутня, тобто деталь притискується до опори осьюовою силою інструмента.

У відповідності з прикладом 3 [17] стор. 153 маємо, що допуск на кут при вершині свердла зазвичай дорівнює $\pm 2^\circ$.

При неправильному заточуванні інструмента в межах цього допуску довжини ріжучих кромek отримуються різними. Це спричиняє появу неврiвноваженої радіальної складової, яка може призвести до зворотно - поступального та качального руху заготовки на оправці.

Згідно досліджень, ця складова дорівнює 65Н. Такого самого порядку може виникнути і радіальна складова сили через нерівномірне затуплення кромek свердла. Загальна неврiвноважена складова P може досягнути величини $P_0 = 80 \text{ Н}$.

Умова рівноваги при якій попереджається качальний рух заготовки записується у вигляді:

$$k \cdot \Delta P_y \cdot R = \frac{1}{3} Q \cdot f \cdot \left(\frac{D^3 - D_1^3}{D^2 - D_1^2} \right)$$

Звідки:

$$Q = \frac{3 \cdot k \cdot \Delta P_y \cdot R}{f \cdot \left(\frac{D^3 - D_1^3}{D^2 - D_1^2} \right)}$$

де $D = 83$; $D_1 = 63,3$; $K = 2,5$; $f = 0,1$.

Підставляємо значення у формулу маємо:

$$W = Q = \frac{3 \cdot 2,5 \cdot 80 \cdot 37,5}{0,1 \cdot \left(\frac{83^3 - 63,3^3}{83^2 - 63,3^2} \right)} = 2038 \text{ Н}.$$

3.1.3. Вибір типу силового приводу, розрахунок параметрів силового приводу

В якості силового приводу маємо пневматичний поршневий привід двосторонньої дії. Поршневі пневматичні двигуни мають більшу швидкодію у порівнянні із гідро двигунами і мають більш просту конструкцію.

Визначаємо діаметр циліндра силового приводу. Для приводу двохсторонньої дії, коли затискання заготовки відбувається при втягуванні штоку, діаметр циліндра визначаємо по формулі:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_{\text{с}} \cdot \eta}} - d^2 ;$$

де: d – діаметр штока, який визначається із умов забезпечення необхідної міцності та шорсткості;

$$d = 25 \text{ мм};$$

$$P_{\text{с}} - \text{тиск стиснутого повітря: } P_{\text{с}} = 3 \dots 5 \text{ кгс} / \text{см}^2;$$

$$\eta - \text{ККД приводу; } \eta = 0,85;$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2039}{3,14 \cdot 3 \cdot 0,85}} - 2,5^2 = 4,01 \text{ см} = 31,8 \text{ мм}.$$

Розраховане значення циліндра округлюємо до ближчого більшого значення, та вибираємо з нормального ряду діаметрів: $D = 50 \text{ мм}$. Але враховуючи те, що модернізована конструкція зазначеного пристрій застосовується для затиску деталей на інших операціях, де сили різання більші, приймаємо діаметр циліндра 100 мм.

Визначаємо внутрішній діаметр трубопроводу для подачі стиснутого повітря в циліндр по формулі:

$$d_T = \frac{0,009 \cdot D \cdot \sqrt{\varepsilon \cdot S Q_1}}{t};$$

де:

$$\varepsilon = Q / (F \cdot p \cdot f) > 0,528;$$

t – час спрацьовування приводу $t \leq 0,5$ с;

F – площа поршня, см^2 ; f – коефіцієнт тертя між поршнем і циліндром, який дорівнює 0,9; SQ_1 - робочий хід поршня.

Тоді:

$$d_o = \frac{0,009 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{1709 \cdot 5}{294,4 \cdot 0,9 \cdot 3}}}{0,5} = 5,9 \text{ мм};$$

Приймаємо $d_t = 8$ мм.

3.1.4. Розрахунок на міцність слабких ланок пристрою

До числа слабких відносяться ланки найбільш навантажені силами, які створює силовий привід.

Розраховуємо на міцність болт 10 (рис. 3.1).

Шийка болта працює на розтягування.

Максимальне навантаження на болт:

$$F = S \cdot P_{\max}$$

де: $P_{\max} = 5 \text{ кгс} / \text{см}^2$;

$$S = \pi \cdot d^2 = 3,14 \cdot 16^2 = 804 \text{ см}^2$$

Тоді:

$$F_{i\delta o} = 804 \cdot 5 = 4020 \text{ Н} = 40200 \text{ кг}$$

З врахуванням коефіцієнту затяжки:

$$F = K \cdot F_{i\delta o} = 1,5 \cdot 40200 = 60300 \text{ Н}$$

Звідки:

$$\delta = \frac{F}{\frac{\pi}{2} \cdot d^2} \leq [\delta] = \frac{40200}{\frac{3,14}{2} \cdot 16^2} = 100 \text{ мкм} \leq [\delta_a] = 580 \text{ мкм}$$

Болт виготовлений із сталі 40.

Умова виконується.

Виконуємо розрахунок на міцність різьбового з'єднання болта 10 із штоком 7. Основний вид руйнування різі – зріз витків. Необхідно перевірити умову:

$$\tau \leq [\tau]$$

Допустиме напруження зрізу:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T = 0,2 \cdot 490 = 98 \text{ МПа} = 9,8 \text{ кгс/см}^2$$

Напруження зрізу розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m}$$

Де: W – сила затиску, Н;

d – внутрішній діаметр різі, мм;

H – глибина загвинчування болта, мм;

K – коефіцієнт, який враховує тип різі;

K_m – коефіцієнт.

Тоді:

$$\tau = \frac{1709}{3,14 \cdot 16 \cdot 20 \cdot 0,87 \cdot 0,6} = 3,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Умову міцності дотримано.

3.2. Розробка конструкції контрольно-вимірювального пристрою

3.2.1. Опис конструкції та роботи пристрою

Пристрій контрольний використовується для контролю радіального биття 0,071 мм зубчастого вінця деталі колесо НПВ300.002.

Пристрій складається з основи 4 в отвори якої встановлено чотири опорних пальці 5. На основі 4 встановлено плиту 2, яку зорієнтовано за допомогою двох штифтів 23 і закріплено трьома гвинтами 18. На плиті 2 встановлено два пальці 3, а на основі 4 за допомогою двох штифтів 22 і двох гвинтів 17 встановлено стійку 11. В стійці 11 за допомогою втулки 12 і гвинта 10 встановлено індикатор годинникового типу 20.

Важіль 1 за допомогою двох пластин 6, чотирьох замкових шайб 7, чотирьох гвинтів 16 приєднуються до планки 8, яка закріплюється до основи 4 за допомогою гвинтів 17. Для регулювання положення важеля 1 служить гвинт 19. Для того, щоб наконечник важеля 1 був притиснутий до контрольованої поверхні деталі, служить пружина 21, яка за допомогою гвинта 9 кріпиться до стійки 11, а за допомогою гвинта 16 до важеля 1.

Вимірювання радіального биття зубчастого вінця деталі здійснюється наступним чином: колесо встановлюють торцевою поверхнею на плиту 2, так, щоб наконечник важеля 1 дотикався до поверхні зубчастого вінця деталі, а зовнішня циліндрична поверхня дотикалася до зовнішніх поверхонь двох пальців 3, фіксуються показники індикатора 20 і деталь повертають на повний оберт.

Деталь вважають годною при алгебраїчній різниці показників індикатора менше 0,071 мм за повний оберт деталі.

В конструкції контрольного пристрою застосовуємо індикатор годинникового типу 1 МИГ ГОСТ9696-82 з ціною поділки 0,01, що дасть можливість з необхідною точністю виконувати вимірювання.

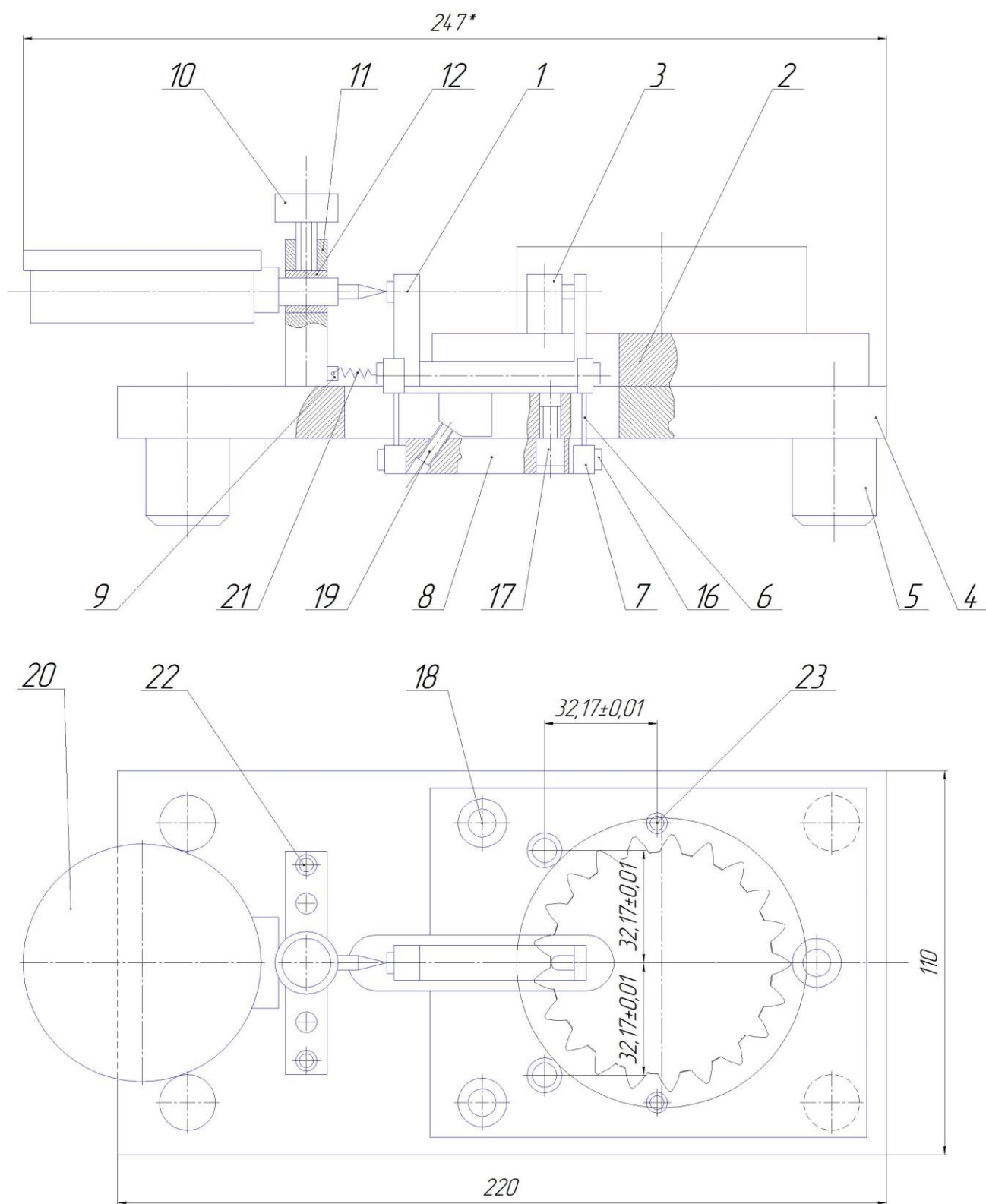


Рис. 3.2 Пристрій контрольний

3.2.2. Визначення похибок вимірювання і перевірка умов працездатності пристрою

Точність вимірювального пристрою:

$$\Delta_{\epsilon z} \leq (0,2 \dots 0,3) T_a ;$$

де T_a - допуск контролюваного параметру.

$$\Delta_{\epsilon z} \leq 0,2 \cdot 0,071 = 0,014 \text{ мм}.$$

Перевірку умов працездатності контрольного пристрою визначаємо за формулою:

$$\sqrt{\Delta_{\epsilon}^2 + \Delta_{\epsilon \partial}^2 + \Delta_{nn}^2 + \Delta_{\epsilon z}^2 + \Delta_{\epsilon z \partial}^2 + \Delta_{\epsilon i \partial}^2} \leq [\Delta_{\text{вим}}],$$

де: Δ_{ϵ} - похибка базування контролюваної деталі, $\Delta_{\epsilon} = 0,015 \text{ мм}$;

$\Delta_{\epsilon \partial}$ - похибка встановлення деталі, $\Delta_{\epsilon \partial} = 0,002 \text{ мм}$;

Δ_{nn} - похибка передавального пристрою, $\Delta_{nn} = 0,001 \text{ мм}$;

$\Delta_{\epsilon z}$ - похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\epsilon z} = 0,004 \text{ мм}$;

$\Delta_{\epsilon z \partial}$ - похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\epsilon z \partial} = 0,0017 \text{ мм}$;

$\Delta_{\epsilon i \partial}$ - похибка відліку, $\Delta_{\epsilon i \partial} = 0,2 j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, $\Delta_{\epsilon i \partial} = 0,2 \cdot 0,01 = 0,002 \text{ мм}$;

$[\Delta_{\text{вим}}]$ - допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,014 \text{ мм}$.

Тоді:

$$\sqrt{0,015^2 + 0,001^2 + 0,002^2 + 0,004^2 + 0,0017^2 + 0,002^2} = 0,006 \text{ мм}$$

Умова виконується.

3.3. Розробка та розрахунок конструкції спеціального ріжучого інструменту

Зуборізний довбач (рис. 3.3) застосовується при довбанні зубців колеса на операції 010, яка виконується на зубодовбальному верстаті мод. 5122.

Зуборізні довбачі використовується для нарізання коліс довільного типу, але і мають особливі області застосування, в яких інші типи інструментів не можна застосовувати або нераціонально застосовувати. В зазначеному область входить і нарізання коліс внутрішнього зачеплення.

Зуборізний довбач представляє собою зубчасте колесо, спряжене з оброблюваним колесом і перетворене в різальний інструмент. Тобто потрібно забезпечити передні і задні кути і скоригувати профіль спряженого колеса для того щоб він перетворився в інструмент.

Виконаємо проектний розрахунок довбача.

Число зубців z відповідно до (11, рис.24) $z_u = 12$.

Діаметр ділительного кола:

$$d_{ou} = m \cdot z_u = 3 \cdot 12 = 36 \text{ мм}$$

Теоретичний діаметр основного кола :

$$d'_{ou} = d_{ou} \cdot \cos \alpha_o = 36 \cdot \cos 20^\circ = 33,829 \text{ мм}$$

Бічний задній кут в площині, паралельній осі довбача:

$$t_o \delta_{бок} = \frac{t_o \delta_u}{\cos \alpha_o} = \frac{t_o 3^\circ}{\cos 20^\circ} = 0,056$$

$\delta_u = 2^\circ 30' \dots 3^\circ$ - задній кут по нормалі:

$$\delta_{бок} = \arctg 0,056 = 3,19^\circ$$

Визначаємо параметри довбача у вихідному перерізі.

Діаметр зовнішнього кола довбача:

$$D'_{eu} = d_{i1} - d_{o1} + d_{ou} = 73,67 - 63 + 36 = 46,67 \text{ мм}.$$

$$d_{o1} = m \cdot z_k = 3 \cdot 21 = 63 \text{ мм}.$$

d_{i1} - діаметр кола западин зубців колеса

Товщина зуба на ділительному колі:

$$s'_{ou} = \pi \cdot m - s_{o1} = 3,14 \cdot 3 - 6,41 = 3,01 \text{ мм}$$

Кут тиску на головці зуба довбача:

$$\cos \alpha'_{eu} = \frac{d'_{ou}}{D'_{eu}} = \frac{33,829}{46,67} = 0,725$$

$$\alpha'_{eu} = \arccos 0,725 = 43,54^0$$

Товщина зуба на вершині у вихідному перерізі

$$\begin{aligned} s'_{eu} &= D'_{eu} \left(\frac{s'_{ou}}{d_{ou}} + \text{inv} \alpha_{\delta} - \text{inv} \alpha'_{eu} \right) = 46,67 \left(\frac{3,01}{36} + \text{inv} 20^0 - \text{inv} 43,54^0 \right) = \\ &= 46,67 \left(\frac{3,01}{36} + 0,14939 \right) = 1,69 \text{ мм} \end{aligned}$$

Визначення вихідних відстаней:

Верстатний кут зачеплення переточеного довбача, який гарантує відсутність зрізу вершини зубців колеса неєвольвентною частиною профіля зуба довбача:

$$t_g \alpha'_c = \frac{\sqrt{R_{e1}^2 - z_{o1}^{21}} - \rho_u}{z_{o1} - z_{ou}}$$

z_{o1} - радіус основного кола колеса.

R_{e1} - радіус вершин зубців колеса.

ρ_u - найменший радіус кривизни профіля зуба довбача приймається рівним: $\rho_u = 1 \text{ мм}$ при $d_{ou} = 36 \text{ мм}$.

$r_{o1} = 29,8 \text{ мм}$.

$R_{e1} = 31,65 \text{ мм}$;

Діаметр основного кола довбача при шліфуванні його профілю:

$$d_{ou} = d_{ou} \cdot \cos \alpha = 36 \cdot \cos 20^0 = 33,829 \text{ мм}.$$

$$tga'_c = \frac{\sqrt{63,3^2 - 59,2^2} - 1}{59,2 - \frac{33,829}{2}} = 0,006;$$

Визначення розмірів зуба по середній поверхні.

$B_u = 28 \text{ мм}$ – висота нового довбача.

$B = 6,5 \text{ мм}$ – висота повністю зношеного довбача

$B'_\rho = 21,5 \text{ мм}$ - висота робочої частини довбача.

$s_{eu} = 1 \text{ мм}$ - допустима товщина зубців по вершині.

Товщина зуба на ділільному циліндрі довбача:

$$s_{ou} = s'_{ou} + 2 \cdot a \cdot t_{\delta} \delta_{бок} = 3,01 + 2 \cdot 1 \cdot 0,056 = 3,12 \text{ мм}.$$

Зовнішній діаметр нового довбача:

$$D_{eu} = d_{i1} - \frac{d_{o1} - d_{ou}}{\cos \alpha_n} = 73,67 - \frac{59,2 - 33,829}{\cos 20^0} = 46,67 \text{ мм}$$

Прийнята висота довбача:

$$B_u = B'_\rho + b = 21,5 + 6,5 = 28 \text{ мм};$$

Висота головки зуба довбача по передній поверхні:

$$h'_u = \frac{D_{eu} - d_{ou}}{2 \cos \gamma}$$

γ - передній кут довбача, який приймається для чистових довбачі рівним 5^0 .

$$h'_u = \frac{46,67 - 36}{2 \cdot \cos 5^0} = 5,36 \text{ мм}.$$

Повна висота зуба довбача:

$$h_u = h + 0,3 \cdot m;$$

Де, h – висота зуба колеса:

$$h_u = 24,95 + 0,3 \cdot 3 = 25,85 \text{ мм}.$$

Коригований профільний кут довбача для зменшення спотворення профіля зуба колеса із-за наявності переднього і заднього кутів:

$$t_g \alpha = t_g \alpha_g + t_g \gamma \cdot t_g \delta_{бок} = t_g 20^0 + t_g 5^0 \cdot t_g 3,19^0 = 0,507$$
$$\alpha = 26,9^0.$$

Робоче креслення довбача представлено в графічній частині магістерської роботи.

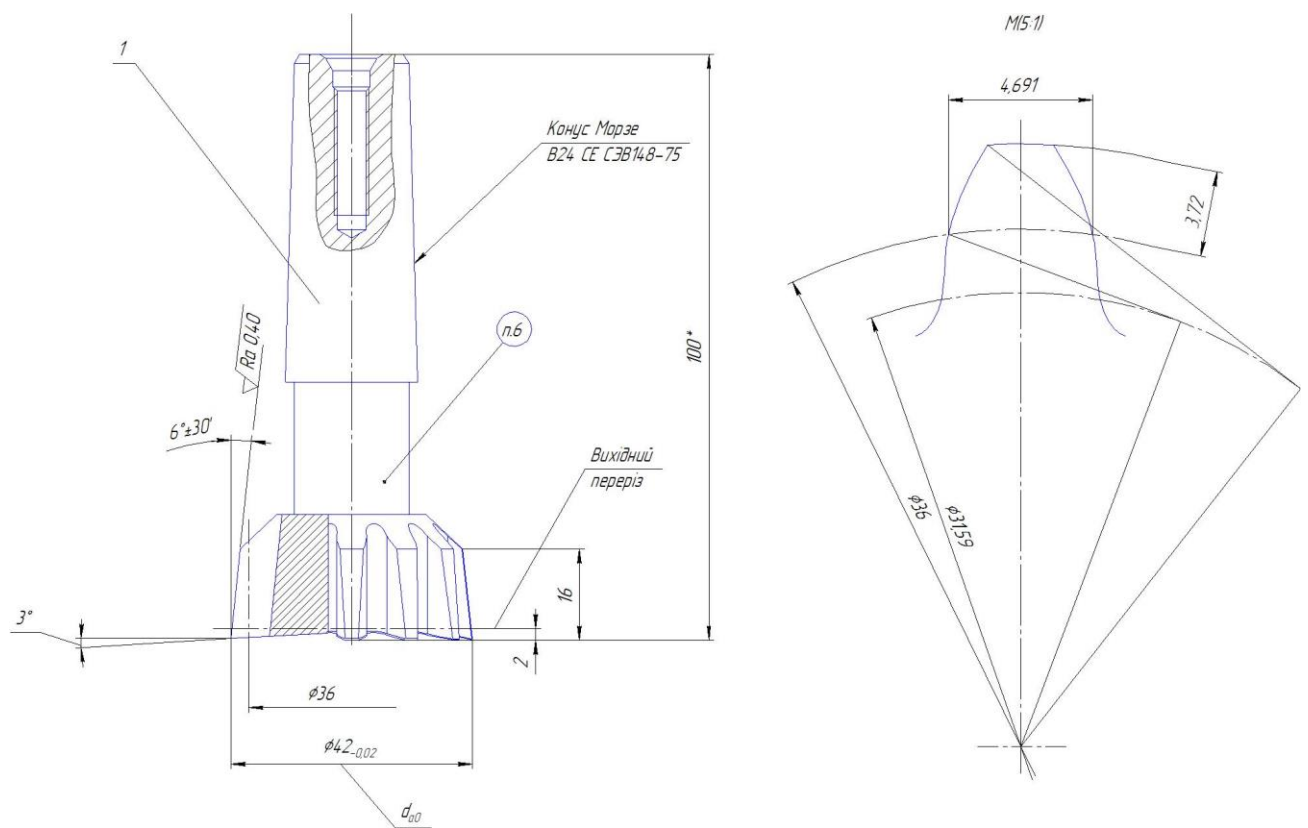


Рис. 3.3. Довбач для довбання зубців колеса

3.4. Висновки до розділу

Розроблено та розраховано затискний та вимірювальний пристрої та різальний інструмент для довбання внутрішнього евольвентного профілю.

4. ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1. Розробка та дослідженням способу формоутворення внутрішньої зубчатої поверхні в умовах планетарного обкату

Виготовлення зубчастих коліс - складний багатоопераційний процес, що вимагає застосування спеціального устаткування. Специфіка виконання операцій має на увазі комплексний підхід, адже усі етапи, з яких складається виробництво зубчастих коліс, тісно взаємозв'язані, починаючи з проектування і закінчуючи технічним контролем готового виробу. Саме від якості виконання окремих операцій залежить надійна і безпечна робота зубчастого колеса і термін його експлуатації.

Для плавного і надійного зачеплення зубчасте колесо повинне мати не менше 6 зубців.

Виготовлення шестерень здійснюється з вуглецевих, хромистих сталей, легованих (для високонавантажених шестерень), деяких марок чавуну.

Виробництво зубчастих коліс починається з формування заготовки. Форма, розмір майбутнього колеса і матеріал виготовлення визначають метод його виготовлення. Найбільш економними і менш витратними є холодне і гаряче штампування, гаряча висадка, литво, гаряча накатка, вирубкування, порошкова металургія.

Наступний етап виготовлення шестерень - нарізування зубців на заготівці обкаткою або копіюванням. Зважаючи на низьку продуктивність і похибки при нарізці методом копіювання, у великосерійному виробництві перевага віддається методу обкатки. Нарізка обкаткою може виконуватися довбачем, черв'ячною фрезою, зубчастими валками, різцем на зубостругальних, зубодовбальних і універсально-фрезерних верстатах. Технічні характеристики верстатів дозволяють нарізувати внутрішні і зовнішні зуби коліс, прямі і косі зубці з відкритим і закритим вінцем, зубчасті рейки.

Зубошліфування і зубохонінгування - операції фінішної обробки у виробництві шестерень, призначені для формування остаточного виду поверхні виробів.

Питанню формоутворення евольвентних зубців деталей циліндричної передачі з внутрішнім зачепленням (рис. 4.1) присвячено дуже багато робіт.

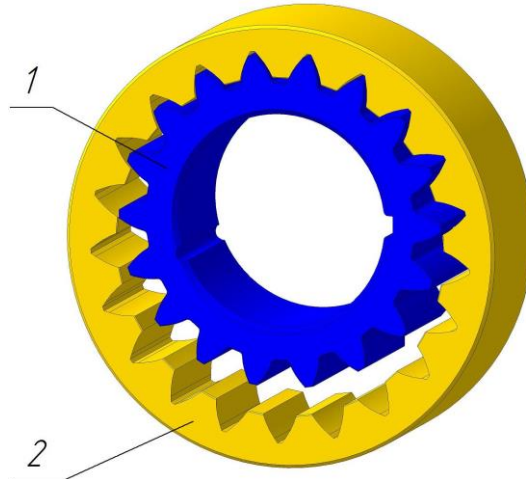


Рис. 4.1. Евольвента циліндрична передача з внутрішнім зачепленням:

1- шестерня із зовнішніми зубцями; 2- колесо із внутрішніми зубцями

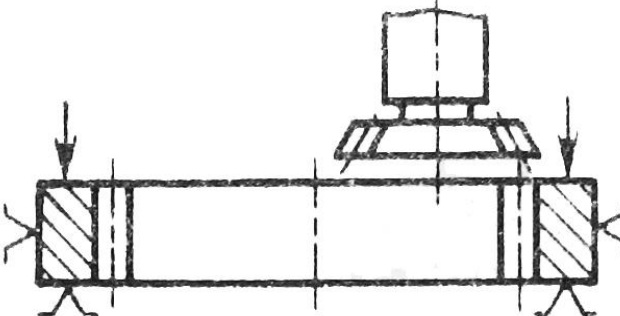
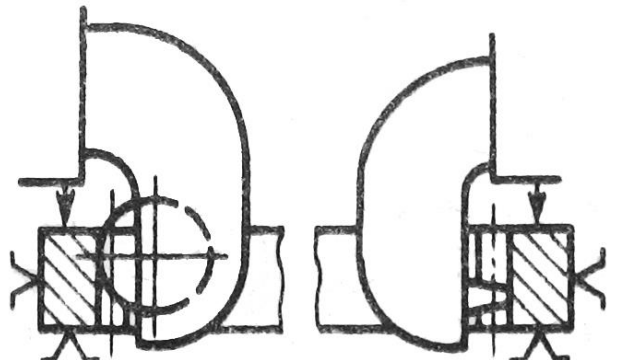
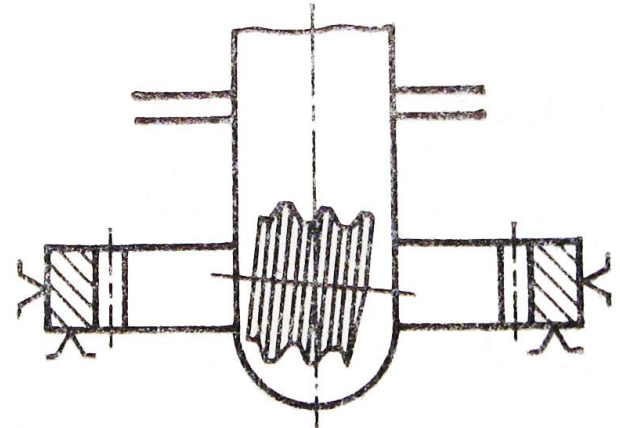
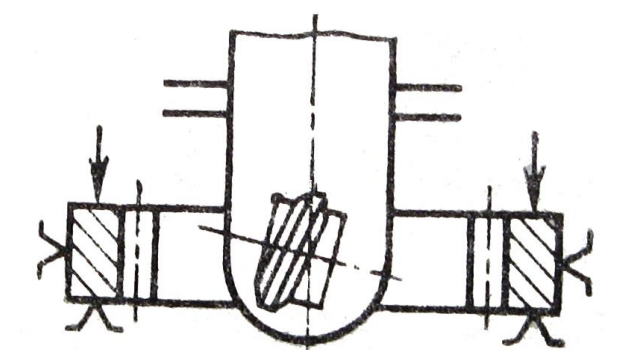
Робочий профіль шестерні 1 має багато способів лезової та абразивної обробки описаних в спеціальній літературі та патентах. Пов'язано це з тим, що шестерня має зовнішні зубці і це дає змогу застосовувати різні способи формоутворення, це не обмежує габарити інструменту, які визначають його жорсткість.

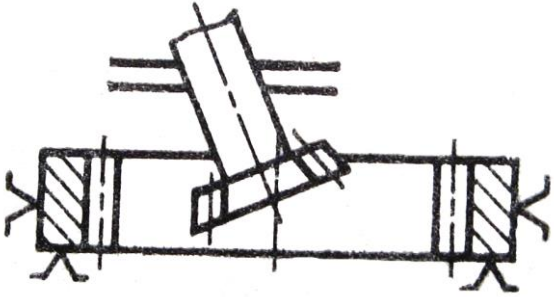
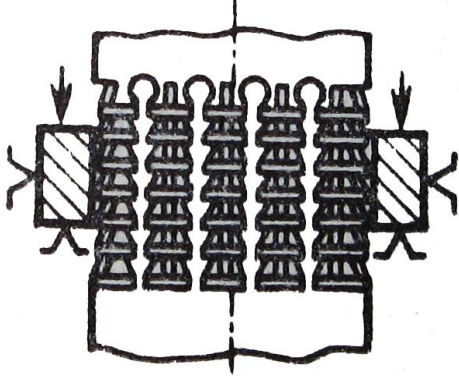
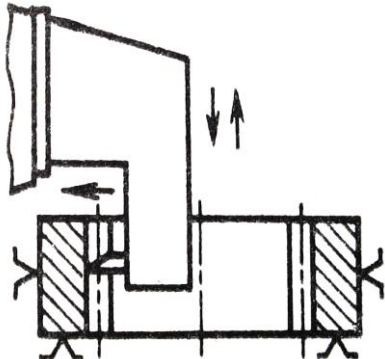
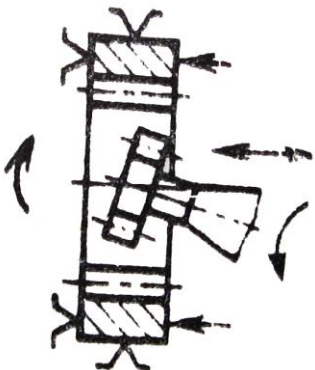
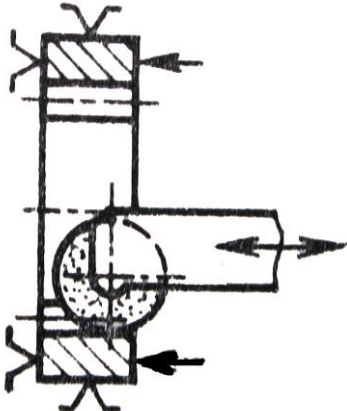
Робочий профіль колеса 2 має невелику кількість способів обробки, особливо абразивної, це пов'язано із проблемами при проектуванні інструментів та розробці способів для ефективної та якісної обробки внутрішнього евольвентного профілю. Це пов'язано із тим, що колесо має внутрішні зубці, розміри металорізального інструменту обмежуються міжзубовими западинами і діаметром вершин зубців, це знижує міцність та жорсткість інструмента, перешкоджає його доступу до оброблюваних поверхонь.

Способи лезової та абразивної обробки внутрішніх зубців колеса представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Способи обробки коліс з внутрішніми зубцями

Метод обробки	Схема
Довбання на зубодовбальних універсальних верстатах, зуборізними довбачами усіх типів	
Фрезерування на зубофрезерних верстатах з накладною головкою: а- дисковими модульними фрезами; б- пальцевими модульними фрезами.	
Фрезерування на зубофрезерних верстатах з накладною головкою черв'ячними фрезами	
Обробка обкаточним інструментом на зубофрезерних верстатах одновитковою фрезою- "уліткою"	

Зуботочіння на верстатах для зуботочіння, багатозахідною обкаточною голівкою	 A schematic diagram of a gear hobbing machine. It shows a horizontal workpiece with a central gear blank. A hob, represented by a long, thin, multi-fluted tool, is positioned above the workpiece and is shown in the process of cutting the teeth. The hob is tilted at an angle relative to the workpiece's axis. The workpiece is supported by two sets of bearings or guides at its ends.
Протягування на зубопротяжних верстатах	 A schematic diagram of a gear broaching machine. It shows a horizontal workpiece with a central gear blank. A broach, which is a long, multi-toothed tool, is positioned above the workpiece and is shown in the process of cutting the teeth. The broach is tilted at an angle relative to the workpiece's axis. The workpiece is supported by two sets of bearings or guides at its ends.
Стругання на зубостругальних верстатах, зуборізними гребінками для обробки внутрішніх зубців	 A schematic diagram of a gear shaping machine. It shows a horizontal workpiece with a central gear blank. A shaping tool, which is a long, thin, multi-fluted tool, is positioned above the workpiece and is shown in the process of cutting the teeth. The tool is tilted at an angle relative to the workpiece's axis. The workpiece is supported by two sets of bearings or guides at its ends.
Шевінгування на зубошевінгувальних верстатах	 A schematic diagram of a gear shaving machine. It shows a horizontal workpiece with a central gear blank. A shaving tool, which is a long, thin, multi-fluted tool, is positioned above the workpiece and is shown in the process of cutting the teeth. The tool is tilted at an angle relative to the workpiece's axis. The workpiece is supported by two sets of bearings or guides at its ends.
Шліфування на зубошліфувальних верстатах, тарілчастим шліфувальним кругом, або профільним шліфувальним кругом	 A schematic diagram of a gear grinding machine. It shows a horizontal workpiece with a central gear blank. A grinding wheel, which is a circular tool, is positioned above the workpiece and is shown in the process of grinding the teeth. The wheel is tilted at an angle relative to the workpiece's axis. The workpiece is supported by two sets of bearings or guides at its ends.

У відповідності до табл. 4.1 внутрішні зубці нарізують зубодовбанням на верстатах усіх моделей, фрезеруванням спеціально спрофільованими дисковими і пальцевими фрезами на зубофрезерних верстатах, оснащених спеціальними голівками, а абразивну обробку виконують шліфуванням профільними кругами. Крім того, для обробки внутрішніх зубців застосовують методи, які характерні тільки для цього виду коліс, наприклад обробку зуботочінням на зубофрезерних верстатах обкатувальними різцями, обробку черв'ячними фрезами з вкороченими профілюючими кромками (рис. 4.2), протягування циліндричними протяжками, зубостругання спеціальними різцями, а також зубошліфування і шевінгування спеціально спроектованими шеверами.

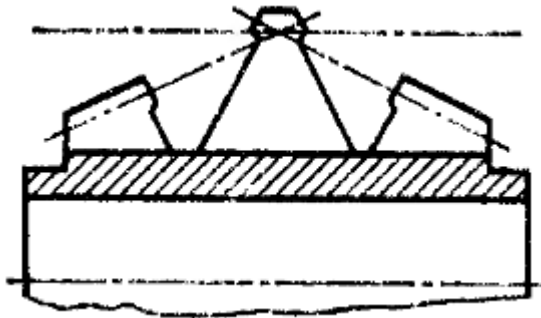


Рис. 4.2. Схема черв'ячної фрези з вкороченими профілюючими кромками

Основним методом нарізання внутрішніх зубців коліс є зубодовбання на універсальних верстатах. Від нарізання зовнішніх зубців відрізняється співпадінням напрямку обертання колеса і довбача, а також відведенням інструменту при зворотному русі шпинделя. При обробці косих зубців напрям зубців довбача і заготовки колеса співпадають.

При нарізанні внутрішніх зубців довбачі перевіряються у відповідності до стандартів на умови відсутності інтерференції в передачі $\rho_{l2} \geq \rho_{p2}$.

Зубці відкритих і напіввідкритих вінців коліс зазвичай нарізають дисковими довбачами; при обробці зубців закритих вінців коліс застосовують чашкові і хвостові довбачі.

Тертя між задньою поверхнею зубця довбача і поверхнею зубця колеса при зворотному русі довбача усувають збільшенням кута верстатного зачеплення (застосуванням довбача з великими Z_0 і X_0), "косим відведенням" довбача, збільшенням числа робочих ходів зубодовбання, збільшенням відстані, на яку відводиться довбач при зворотному ході Δa_0 .

Нарізання внутрішніх зубців модульними фрезами застосовують при обробці крупномодульних коліс великого діаметру на універсальних зубофрезерних верстатах, які мають механізм одиничного ділення і змінну фрезерну голівку, що встановлюється на каретці фрезерного супорта.

Наладку верстата виконують так само, як при обробці коліс із зовнішніми зубцями. Для нарізування внутрішніх зубців застосовують спеціальні модульні фрези (дискові і пальцьові) з опуклим профілем, які відтворюють профіль западин оброблюваного колеса.

Обробка внутрішніх зубців обкатувальним інструментом на спеціальних або універсальних зубофрезерних верстатах знаходить усе більш широке застосування. Профіль зубців обкатувального інструменту залежить від модуля m , числа зубців z , коефіцієнта зміщення x і кута нахилу зубців β колеса.

Конструкція однозахідного обкатувального інструменту, що містить також різці для чорнової обробки, може бути цільною - фреза-«улітка» (рис. 4.3) і збірною - фреза конструкції представленої на рис. 4.4.

Застосування одно- і двозахідних обкатувальних інструментів звичайно є раціональним при обробці заготовок косозубих коліс або коліс з великою шириною зубчастого вінця.

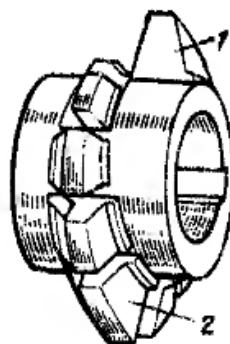


Рис. 4.3. Фреза-«улітка»: 1- калібруючий зуб; 2- чорнові зубці.

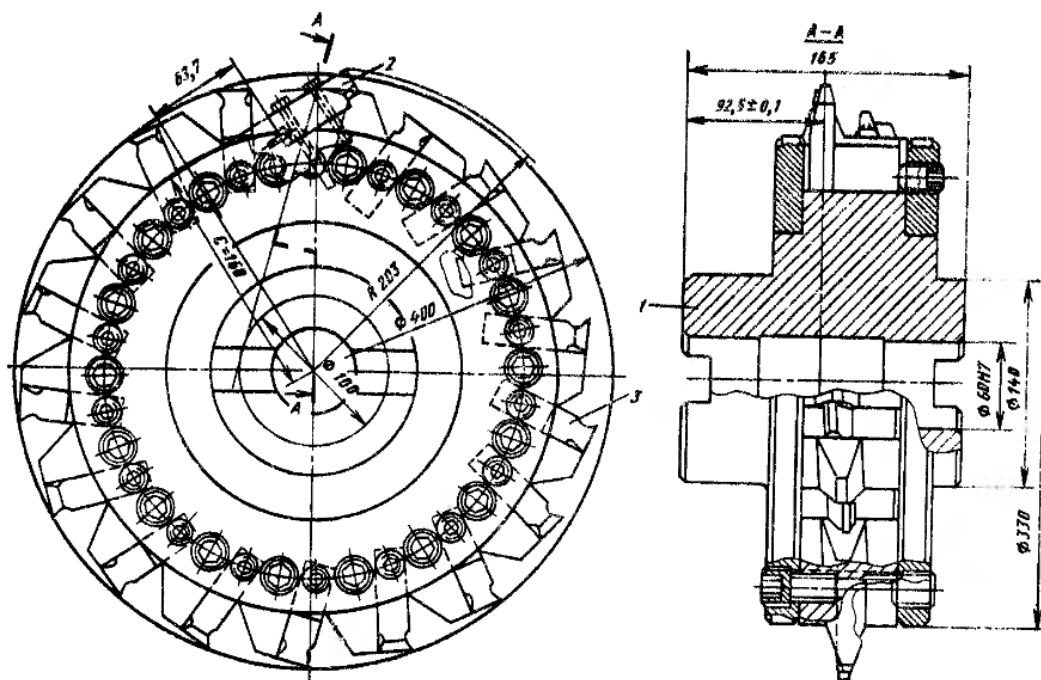


Рис. 4.4. Одновиткова фреза для нарізання коліс із внутрішніми зубцями:
1- корпус; 2- чистовий (профільюючий) різець; 3- чорновий різець

Багатозахідний обкатувальний інструмент, по конструкції подібний до зуборізного довбача і застосовується на спеціальних або універсальних зубофрезерних верстатах із спеціальною голівкою. Такі спеціальні верстати характеризуються більшою частотою обертання столу для установки заготовок - допускаються десятки (на останніх моделях навіть сотні) оборотів столу за 1 хв.

При великосерійному виробництві коліс з відкритими вінцями діаметром до 300 мм, особливо за відсутності потреби в точному орієнтуванні внутрішніх зубців відносно інших поверхонь заготовки (зубчасті і шліцеві втулки), обробка зубців може здійснюватися протягуванням на горизонтально-протяжних верстатах. Зубчаста протяжка має центруючу забірну частину, що базує заготовку в процесі обробки. Число робочих ходів і протяжок в комплекті визначається модулем і матеріалом колеса.

Серія зубостругальних верстатів фірми "МАОГ" (Швейцарія) пристосована для обробки внутрішніх зубців круглими довбачами або спеціальними різцями. Застосовуються пристосування для обробки прямих внутрішніх зубців круглим довбачем, косих внутрішніх зубців "точковим" методом і зубців одним фасонним різцем.

Для шевінгування внутрішніх зубців при виготовленні коліс відносно великого діаметру випускають модифікації основних моделей зубошевінгувальних верстатів або пристосування до них, що забезпечують консольне кріплення заготовки і шевера.

При шевінгуванні внутрішніх зубців перевіряються умови відсутності інтерференції в передачі $\rho_{12} \geq \rho_{p2}$, і достатнього зазору в западинах зубців колеса $c_0 \geq (0,1 \dots 0,2)m$. За наявності інтерференції застосовують спеціальні шевери.

Внутрішні зубці відкритих вінців коліс шліфують на спеціальних зубошліфувальних верстатах методом копіювання (як правило, прямозубі колеса), інструмент - профільний круг. Використання універсальних верстатів можливе тільки за наявності змінної шліфувальної голівки з виносним шпинделем, діаметр шліфувального круга має бути не більше 0,5-0,7 внутрішнього діаметру шліфованих зубців.

Для шліфування внутрішніх зубців методом обкату фірма "МАОГ" випускає спеціальні верстати. Принцип роботи верстата такий як, у верстатів для шліфування коліс із зовнішніми зубцями, що випускаються цією фірмою, але він має тільки один тарілчатий шліфувальний круг (рис. 4.5).

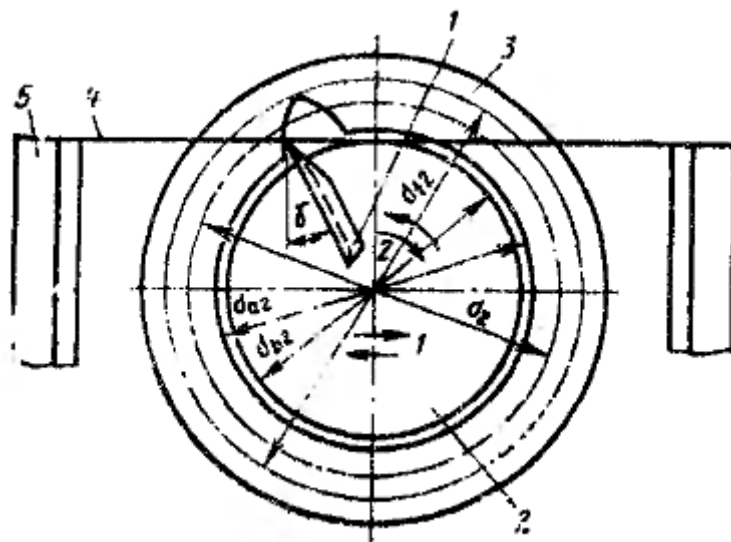


Рис. 4.5. Схема профілювання внутрішніх зубців на зубошліфувальному верстаті фірми "МАОГ" (Швейцарія):

1- шліфувальний круг; 2 - обкатувальний барабан; 3 – оброблювальне колесо;
4- стрічки; 5 – стійки

Тому обробку заготовок коліс з внутрішніми зубцями виконують за два окремих установок заготовки. Особливістю наладки таких верстатів являється установка осі шліфувального шпинделя під кутом γ . При $\gamma = \alpha_u - \alpha$, де $\alpha_u = \arctg 2\rho_{lu} / d_b$, виключається зрізання голівок зуба в крайніх положеннях колеса під час обкату. При крайньому положенні круга на відстані ρ_{lu} від осьової площини колеса довжина ходу обкату:

$$L = \rho_{lu} - \rho_a,$$

Де,

$$\rho_a = 0,5\sqrt{d_a^2 - d_b^2}$$

В іншому шліфування внутрішніх зубців, включаючи режими обробки, виконується так само, як зовнішніх зубців.

Застосовують також обробку внутрішніх зубців багаторізцевими голівками.

Зубохонінгування застосовують для чистової обробки зубців загартованих циліндричних коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення. Хонінгування зубців здійснюють на спеціальних верстатах. Загартоване оброблюване колесо обертається в щільному зачепленні з абразивним зубчастим хоном при куті схрещування осей 10-15°. Підтиск деталі до хону здійснюється пружиною з силою 150 - 450 Н. Зубчасте колесо, окрім обертання, здійснює зворотно-поступальний рух уздовж осі. Напрямок обертання інструменту змінюється при кожному ході столу. Хонінгування дозволяє зменшити параметр шорсткості поверхні до $Ra = 0,32$ мкм, видалити забоїни і задирки розміром до 0,25 мм, понизити рівень звукового тиску на 2 - 4 дБ і підвищити довговічність зубчастої передачі. В процесі хонінгування похибки в елементах зачеплення виправляються незначно при зніманні металу близько 0,01 - 0,03 мм на товщину зуба. Припуск під хонінгування не залишають. Частота обертання хону 180-200 об/хв, подача столу 180 - 210 мм/хв, число ходів столу 4 - 6. Зубчасті колеса, що мають забоїни і задирки перед хонінгуванням, доцільно обкатувати на спеціальному верстаті або

пристосуванні між трьома накатниками під навантаженням для усунення похибок профілю зубців. Забоїни і задирки на зубцях оброблюваного колеса скорочують термін служби і викликають передчасну поломку зубців хону.

Інтерес представляє і аналіз сучасних конструкцій верстатів з ЧПУ для абразивної обробки зубців коліс. Обсяг виробництва зубообробних верстатів в порівнянні із загальним випуском верстатного устаткування завжди був невеликим. Нині для цієї галузі характерна наростаюча концентрація виробників зазначеного устаткування і інтенсивна кооперація між ними. Якщо в 1993 р. у світі налічувалося 6 великих фірмових об'єднань, які могли виготовляти усі або майже усі типи зубооброблювальних верстатів, то до 1997 р. їх залишилося всього 3. Видатним виробником цих верстатів до теперішнього часу стала американська фірма Gleason, що купила німецькі фірми Pfauter і Hurth і що налагодила кооперацію з японською фірмою Okamoto. Єдиним її серйозним конкурентом нині являється група Sigma, що об'єднала в 1995 р. для забезпечення спільного збуту німецькі фірми Klingelnberg, Liebherr, Lorenz, швейцарську Oerlikon Geartec та американську Star Cutter, що кооперується з японською фірмою Kanzaki. Третім світовим виробником є японська фірма Mitsubishi. Слід зазначити, що на початку 1997 р. до складу фірми Kapp, що випускає шліфувальні верстати, у тому числі зубошліфувальні, увійшла фірма Niles, єдиний в колишній ГДР виробник зубошліфувальних верстатів для циліндричних коліс. З числа нових виробників в цій області слід зазначити фірму Emag, яка працює спільно з фірмою Liebherr в області виготовлення зубообробних верстатів.

В зв'язку з розширенням сфер застосування зубошліфувальних верстатів, зокрема для автомобілебудування виробників верстатів для шліфування коліс з'являється все більше і більше. Серед цих фірм, окрім тих, що входять до складу найбільших об'єднань (Gleason - Pfauter, Sigma Pool, Mitsubishi Heavy) є немало що спеціалізуються безпосередньо на шліфуванні, а нерідко і контролі зубчастих коліс, наприклад, Höfler, Kapp, Niles, Okamoto, Reishauer, Samputensili. В цілому можна відмітити, що розвиток нових надтвердих

абразивних матеріалів, зокрема КНБ, що має підвищену зносостійкість, привело до поступового розширення випуску верстатів, що працюють продуктивнішим профільним методом. Нерідко на одному верстаті можна працювати як одним, так і іншим методом. Це залежить від типу виробництва. Так, при експлуатації верстата мод. LCS282 фірми Liebherr в умовах одиничного, дрібно- або середньосерійного виробництва застосовують профільний метод, а в умовах великосерійного - метод обкату. Ці методи можна і комбінувати, виконуючи чорнове шліфування абразивним черв'яком, тобто методом обкату, а чистове (з вищою точністю при мінімальному припуску і меншій продуктивності) - профільним кругом, причому матеріалом для обох кругів служить КНБ. Цей верстат, як і більшість інших, може оснащуватися різними засобами автоматизації, наприклад, карусельними завантажувачами і накопичувачами заготовок, що дозволяє йому цілу зміну працювати без втручання обслуговуючого персоналу.

Ще більша кількість методів шліфування зубців може бути використана на 2-шпиндельному оброблювальному центрі мод. KX3 фірми Карр. У їх числі профільне шліфування методом ділення одним або декількома багатовитковими кругами, шліфування методом обкату циліндричним абразивним черв'яком, профільне методом обкату глобоїдним абразивним черв'яком і хонінгування абразивними зубчастими хонами (т.з. коронування). Шліфування профільними і глобоїдними кругами застосовують для чорнової обробки, циліндричними абразивними черв'яками - для чорнової і чистової, а зубчастим хонем - тільки для чистової, оскільки в цьому випадку у зубців досягається структура поверхні, порівнянна з отримуваною після шевінгування або хонінгування. Сукупність використовуваних методів шліфування зубчастих коліс дозволяє здійснювати практично будь-яку геометрію зачеплення разом з модифікаціями, а також обробляти не лише голівку, але і ніжку зуба.

Іншим прикладом комбінованої обробки зубців на одному верстаті стала розроблена на базі верстата мод. RZP фірми Reishauer мод. RZF цієї фірми. За один установ на ньому можна шліфувати, а потім хонінгувати зубчасті колеса.

Профільним методом працюють також і верстати фірми Gleason - Pfauter (мод. P200 G) і Oerlikon (мод. Oral 80). Їх відмінність від розглянутих вище полягає в тому, що верстат мод. P200 G розроблений на базі відомих зубофрезерних верстатів фірми Pfauter для середньо- і великосерійного виробництва коліс зовнішнього зачеплення діаметром до 200 мм, що забезпечило його значну уніфікацію з цими верстатами і, отже, здешевило виробництво і експлуатацію, а верстат мод. Oral 80 проектувався як зубошліфувальний для коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплень. Тому верстат мод. P200 G має властиву зубофрезерним верстатам дуже високу жорсткість і ступінь автоматизації.

На верстаті мод. Oral 80 можна застосовувати профільні круги як з корунду на керамічній зв'язці, так і (в основному для шліфування коліс внутрішнього зачеплення) з КНБ, що піддається правці, на керамічній зв'язці і що не піддається правці - на гальванічній. При великих зніманнях припусків, застосовують двопрофільний метод шліфування, а при обробці складних профілів - однопрофільний з урізуванням шляхом повороту шліфованого колеса на шліфувальний круг.

Найбільша світова фірма Fässler, що спеціалізується на виробництві зубохонінгувальних верстатів випускає верстат мод. K - 300 призначена для хонінгування зубчастих коліс зовнішнього і внутрішнього зачеплення.

Як бачимо з аналізу шліфування зубців евольвентного профілю виробляється на зубошліфувальних верстатах, які діляться на три групи.

Верстати, що працюють по методу обкату дисковими шліфувальними кругами, профіль яких повторює зубчасту рейку (для зовнішніх зубців). Верстати, що працюють по методу обкату черв'ячним абразивом, аналогічним черв'ячній фрезі (для зовнішніх зубців). Верстати, що працюють по методу копіювання абразивним кругом, профіль якого повторює з високою точністю профіль зуба шліфованого колеса (для зовнішніх та внутрішніх зубців).

На рис. 4.6 показано шліфування внутрішніх та зовнішніх зубців на зубошліфувальних верстатах ф. NILES, яка з 1997 р. входить в групу KAPP.

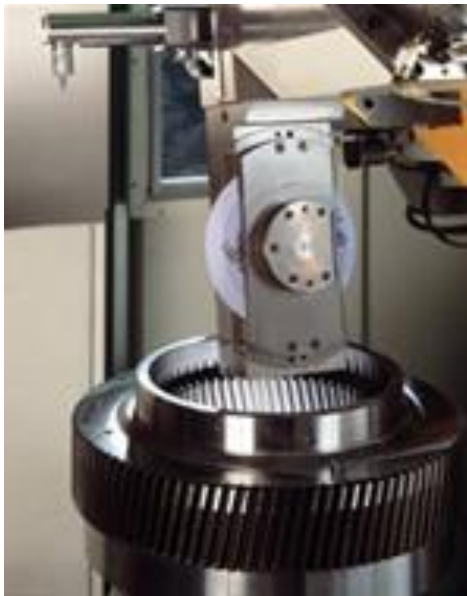


Рис. 4.6. Шліфування внутрішніх та зовнішніх зубців на верстаті мод. ZP10 ф. NILES

Шліфування здійснюють за допомогою дискових профільних кругів із КНБ (рис. 4.7) в умовах копіювання з дискретним діленням.

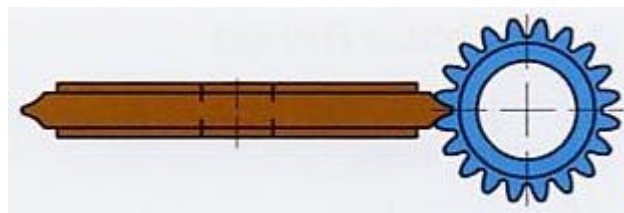


Рис. 4.7. Дисковий профільний круг

Як видно з аналізу абразивна обробка зубців колеса виконується, в більшості випадках в умовах копіювання.

Суть методу копіювання полягає в тому, що виготовлення зубчастого вінця виробляється інструментом, що має профіль, який співпадає з профілем його западини. Після обробки однієї западини заготовка обертається на кутовий крок, і процес повторюється до тих пір, поки не будуть оброблені усі западини. Основні недоліки методу копіювання :

- низька точність. Для точної профілізації коліс з різними числами зубців (одного модуля і основного кроку) потрібний окремий круг з точною установкою по відношенню до заготовки.

- велике інструментальне господарство - в наборі одного модуля (і основного кроку) до 26 інструментів;
- низька продуктивність, оскільки западини нарізаються послідовно, а не одночасно.

При обробці коліс по методу обкатки автоматичне утворення евольвентного профілю, виходить в результаті узгоджених переміщень інструменту і заготовки. При цьому зубці формуються поступово і одночасно для усього колеса.

Перевага методу обкатки в порівнянні з методом копіювання полягає, в першу чергу, в універсальності інструменту. При цьому, вибираючи відповідну установку інструменту по відношенню до заготовки, можна отримати найвигідну форму профілю зуба, зокрема, таким чином можна усунути явище підрізування. Метод забезпечує більшу точність кутового кроку.

Тому метою дослідної частини є розробка способу формоутворення внутрішніх зубців колеса, що реалізується на верстатах із спрощеними кінематичними схемами формоутворення в умовах планетарного обкату з особливими умовами.

4.2. Сутність пропонуємого способу формоутворення внутрішніх зубців колеса

Інструмент виконано у вигляді дискового профільного шліфувального круга 1 (рис. 4.8) із кубічного нітриду бору, робочий профіль якого відповідає профілю зубця шестерні з зовнішніми зубцями (рис. 4.2). Оброблюване колесо 2 виконує рух, який складається із обертання B_3 навколо власної вісі і руху B_2 власної вісі по колу обкату радіусом $r_{обк}$. Шліфувальний круг виконує обертання навколо власної вісі зі швидкістю B_1 . Крім цього, шліфувальний круг виконує зворотно-поступальний рух $П_1$ паралельно до власної вісі та рух $S_{поп}$ у перпендикулярному напрямку до власної вісі. Для виключення зрізання головки зуба в крайніх положеннях колеса під час обкату, перед початком

зрізання зубців колеса інструментом (невиконання умов обкату), шліфувальний круг виводиться вгору в напрямку П1, а після проходження умови зрізання опускається вниз. Планетарний рух обкату, при цьому не припиняється. Таке вимушене виведення шліфувального круга із зони обробки повторюється для кожної оброблюваної западини зубців колеса.

Обертання від електродвигуна передається на інструмент через пасову передачу 4 завдяки якій інструмент виконує рух різання B_1 .

Таким чином при одночасних наступних рухах: планетарне обертання деталі та обертанні і переміщенні шліфувального круга відтворюється формоутворюючий рух.

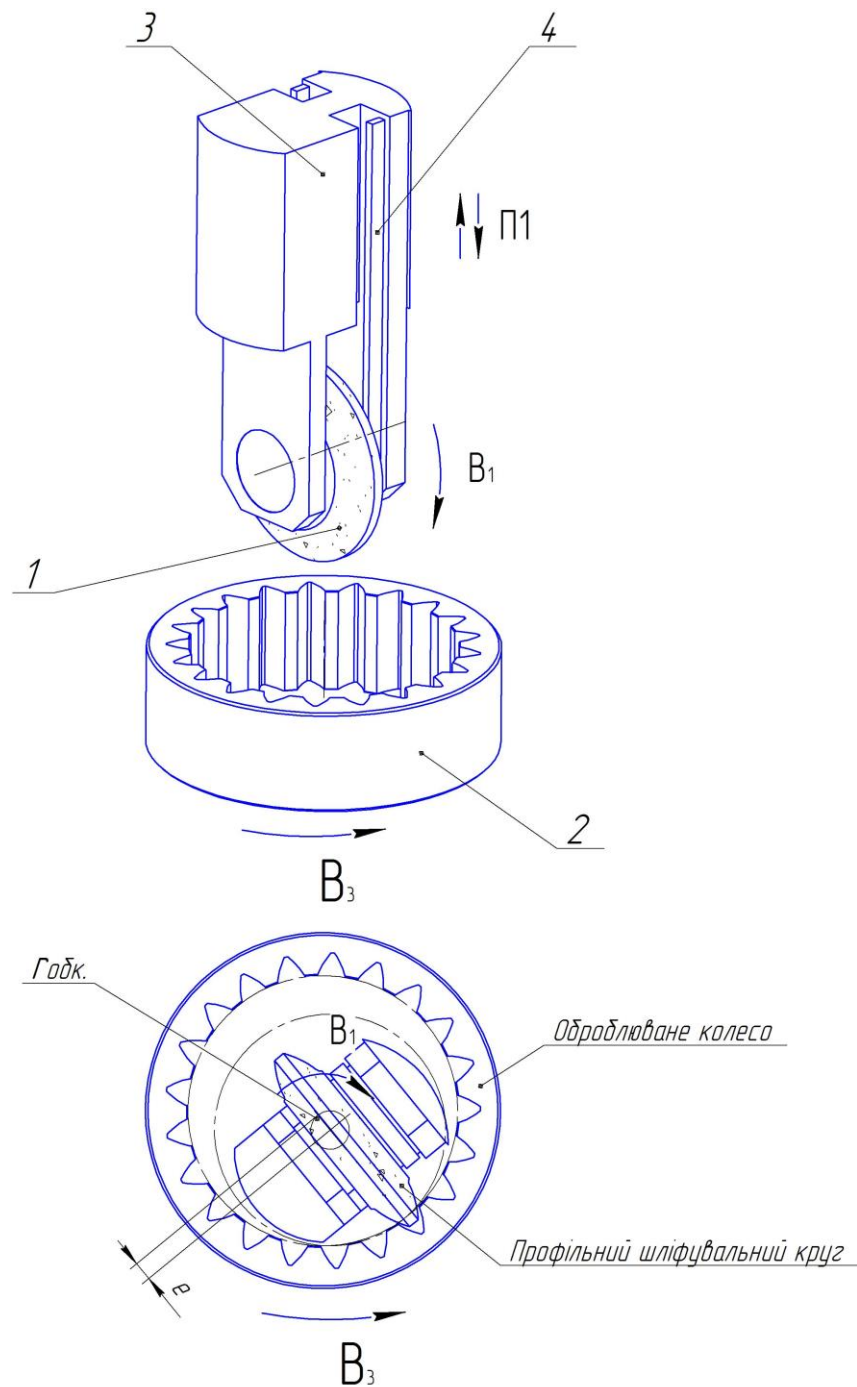


Рис. 4.8. Спосіб шліфування внутрішніх зубців колеса, профільним кругом в особливих умовах обкату

1- шліфувальний круг; 2- оброблюване колесо; 3- оправка; 4- пасова передача; П1- зворотно-поступальний рух шліфувального круга та рух його виведення із зони різання; В1- обертальний рух шліфувального круга навколо власної вісі; В2- рух центру оброблюваного колеса по колу обкату; В3- обертальний рух колеса навколо власної вісі; e - ексцентриситет передачі; $r_{обк}$ - радіус кола обкату.

Для визначення умов, коли відбувається зрізання головки зуба в крайніх положеннях колеса під час обкату потрібно виконати моделювання обробки.

При планетарному русі колеса під час обробки або в процесі роботи передачі, при умові, що внутрішнє колесо нерухоме центр ділильного кола колеса переміщується по колу обкату в результаті обкочування ділильного кола колеса без ковзання по ділильному колі шестерні (інструмента) на кут φ , що визначається за формулою:

$$\varphi = 360^\circ \frac{Z_{\text{кол.}}}{Z_{\text{шест.}}}$$

Центр ділильного кола колеса переміщуючись по колу обкату на кут ϕ відносно точки, на колі обкату, яка відповідає куту ϕ повертається на кут θ , який визначається за формулою:

$$\theta = \varphi \frac{Z_{\text{кол.}} - Z_{\text{шест.}}}{Z_{\text{кол.}}}$$

Для виключення зрізання необхідно шліфувальний круг виготовляти з однією симетричною ділянкою (тарілчастий круг) і встановлювати під кутом γ .

$$\gamma = \alpha_{\text{ш}} - \alpha, \text{ де } \alpha_{\text{ш}} = \arctg 2\rho_{\text{ш}} / d_b.$$

Найбільш продуктивною буде обробка колеса з внутрішніми зубцями при різниці в кількості зубців з спряжуваною шестернею, яка дорівнює одиниці. При невиконанні зазначеної умови, траєкторія переміщення точки оброблюваного профілю в результаті планетарного руху буде відповідати не замкнутій епіциклоїдальній кривій. Для визначення умов обробки потрібно проводити серйозні дослідження. На рис. 4.9 та 4.10 показано положення оброблюваного колеса яке відповідає умовам коли обробка відбувається без зрізання оброблюваного профілю та із зрізанням.

В результаті проведених експериментальних дослідженнях по обробці внутрішніх зубців колеса планетарної передачі з різницею зубців рівною 1, на

рис. 4. 11 по результатам вимірювань побудовано криву розсіювання відхилень профілю.

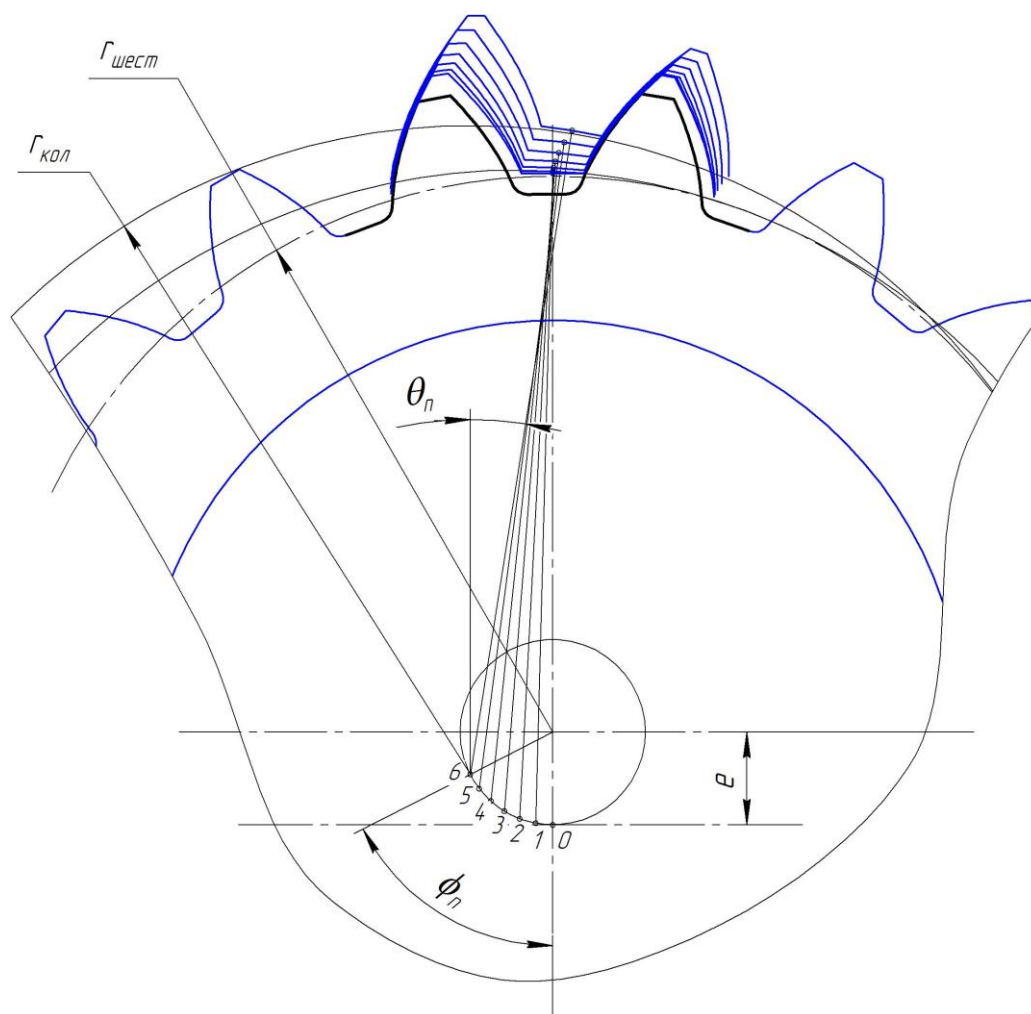


Рис. 4.9. Формоутворення без зрізання профілю

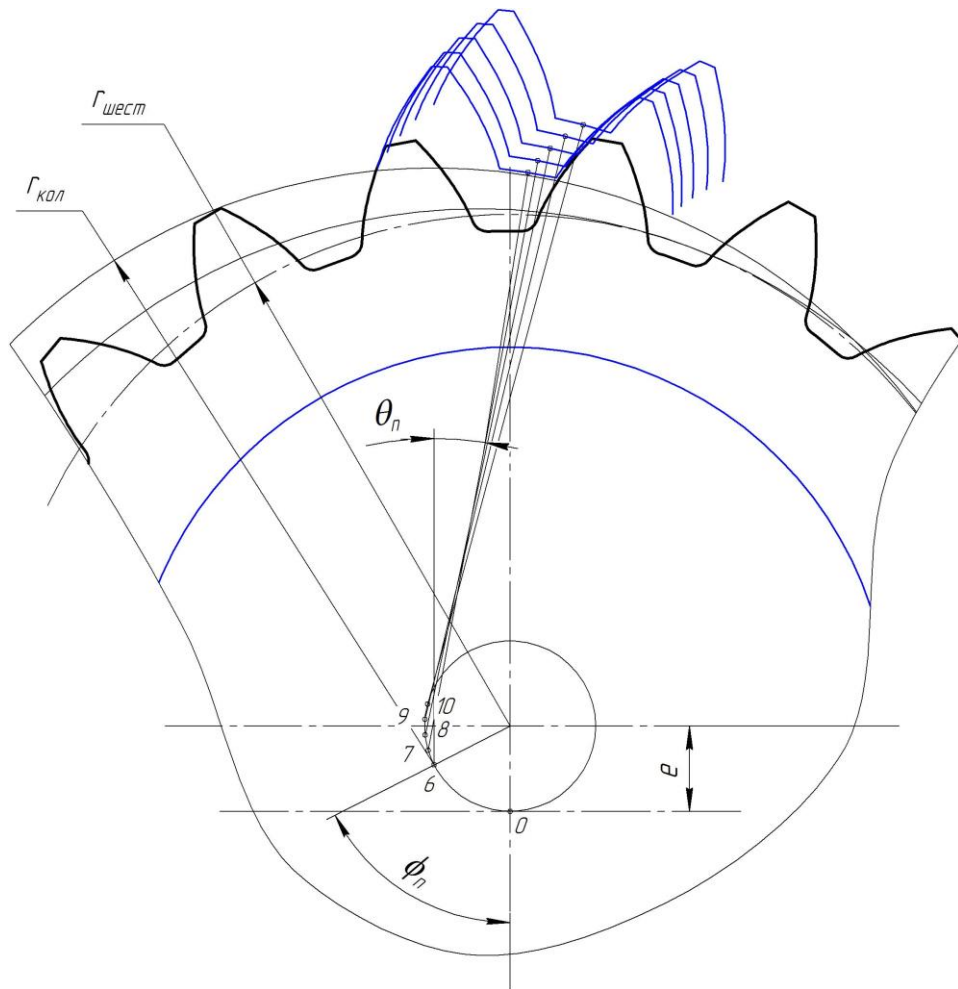


Рис. 4.10. Зрізання оброблюваного профілю

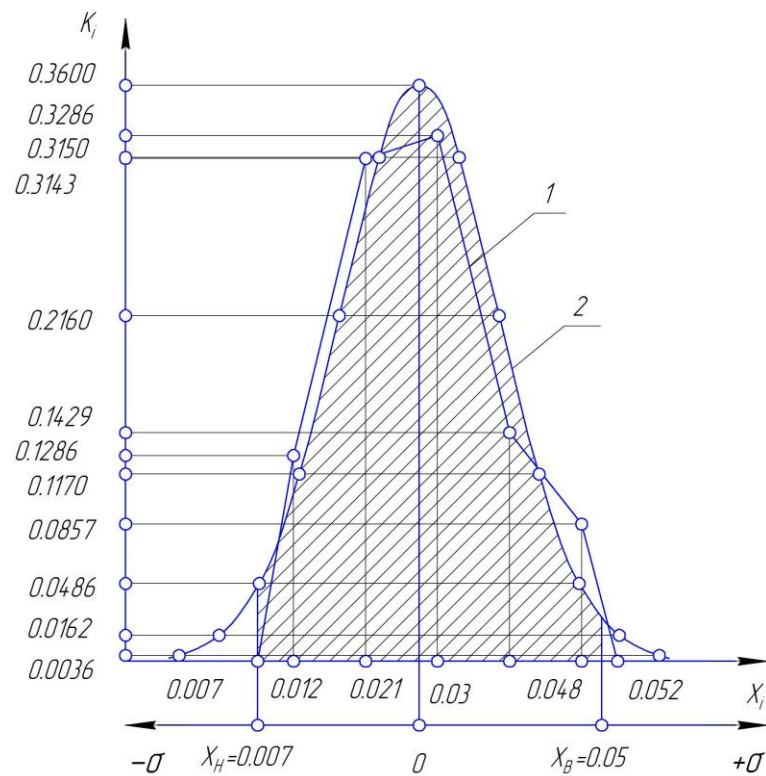


Рис. 4.11. Розсіювання відхилень профілю

Для реалізації розробленого способу формоутворення необхідно координатно-шліфувальний верстат (наприклад, HAUSER S35-400, рис. 4.12) оснастити спеціальним планетарним столом, який би забезпечував рух закріпленої на столі оброблюваної деталі, який відповідає рухові при роботі планетарної передачі при умові, що внутрішнє колесо нерухоме.

Для обробки коліс з внутрішніми зубцями із різними вхідними параметрами необхідне виготовлення спеціального пристрою, який забезпечить необхідний рух обкату.



Рис. 4.12. Координатно-шліфувальний верстат HAUSER S35-400

Відомі пристрої подібного типу включають в себе велику кількість змінних шестерень, а це в свою чергу приводить до виникнення додаткових похибок. Дані пристрої не можна швидко переналагодити на виготовлення інших типорозмірів зубчастих коліс, а також вони мають великі габарити та вагу.

Тому актуальною є задача розробки спеціального пристрою з числовим програмним управлінням, який можна було б швидко переналагоджувати на

виготовлення внутрішніх зубців зубчастих коліс із різними вхідними параметрами.

При здійсненні зазначеної обробки шліфувальному кругу надається рух різання – обертальний рух шліфувального круга. Оброблюваному зубчастому колесу надається рух обертання навколо власної вісі B_2 і рух по колу обкату $r_{к.об.} - B_3$ (рис. 4.8).

Параметрами, які є змінними при виготовленні деталей різних типорозмірів є ексцентриситет передачі e та кількість зубців оброблюваного колеса $z_{кол.}$ та шестерні $z_{шест.}$. Частота обертання n_2 , визначається за формулою:

$$n_2 = \frac{1000 v}{2\pi r_{кол.}} = \frac{n[s_k]}{2\pi r_{кол.}}$$

а частота обертання n_3 :

$$n_3 = n_2 i = \frac{n[s_k]}{2\pi (r_{кол.} - r_{шест.})}$$

Пристрій має шестерні 1, які розміщуються на деталі 3, яка закріплена до хомута 12. Таке виконання дає змогу змінювати величину ексцентриситету під час обробки.

При роботі пристрою шпиндель 4, виконує обертання B_3 і коловий рух B_2 . За допомогою двигуна 10, черв'ячної передачі 11, обертання передається на спеціальне черв'ячне колесо 2. Шпиндель 4 розташовано в отворі каретки 5.

Процедура швидкої зміни величини ексцентриситету e , можливість регулювання частот двигунів, дає можливість швидко виконувати його налаштування на інші параметри обробки.

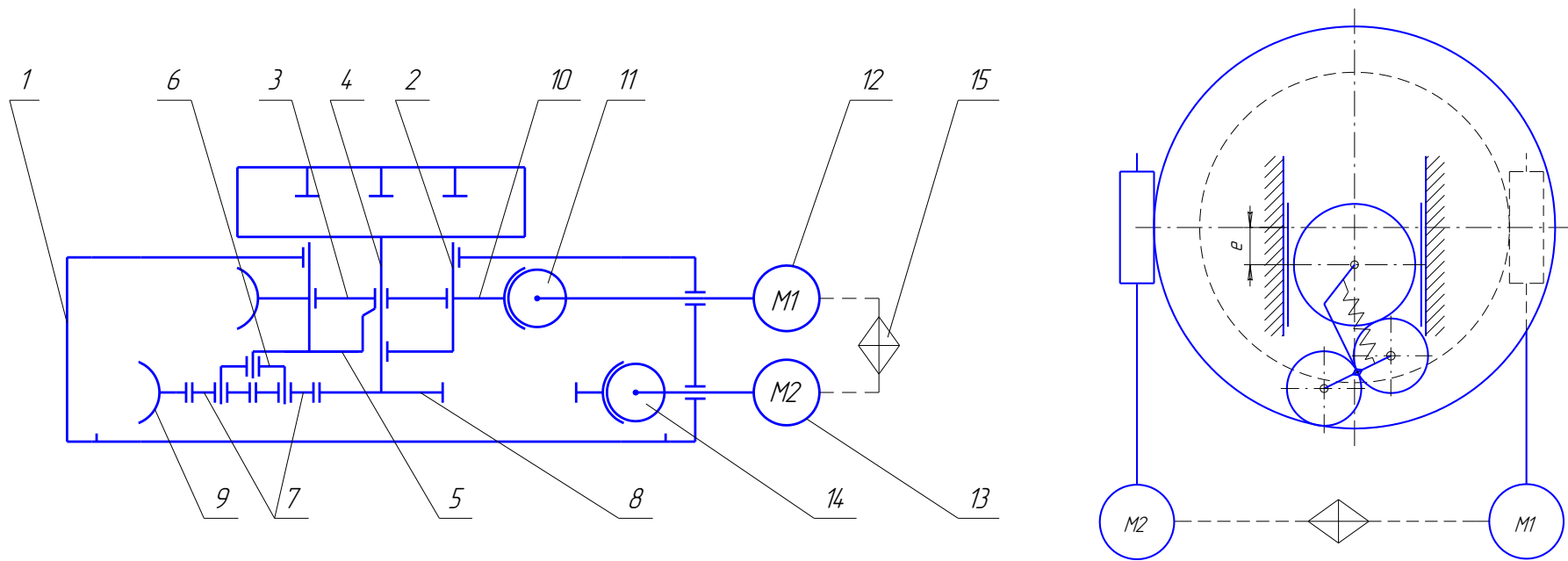


Рис. 4.13. Схема пристрою для обробки зубчастих коліс із внутрішнім профілем

Висновок до розділу

В дослідній частині виконано аналіз методів обробки внутрішніх зубців. Запропоновано принципово новий метод шліфування внутрішніх зубців з евольвентним профілем, який здійснюється в умовах планетарного обкату з виведенням-введенням інструменту під час виконання умови зрізання профілю. Рух обкату при цьому не припиняється. Керування виведенням інструмента здійснюється від системи ЧПУ верстату. Спосіб вимагає додаткових досліджень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Проект цеху по випуску насосів підживлення з розробкою технології обробки шайби та колеса та дослідженням операції зубообробки» виконано аналіз діючих на базовому підприємстві технологічних процесів, на основі чого запропоновані зміни: для деталі колесо, операції базового технологічного процесу: токарно-гвинторізну, дві токарні з ЧПУ, дві плоскошліфувальні та алмазно розточувальну, замінити на одну токарну з ЧПУ, яка виконується на верстаті з контршпинделем мод. TL-25. Для деталі шайба, операції базового технологічного процесу: дві токарні з ЧПУ та комплексну з ЧПУ замінити на одну операцію токарну з ЧПУ, яка виконується на верстаті з контршпинделем мод. TL-25. На зазначеному верстаті виконується як токарна обробка так і фрезерна обробка. Зазначені зміни дають можливість знизити собівартість випускаємої продукції та підвищити гнучкість технологічних процесів. Обрано заготовки для виготовлення деталей, верстати, затискні та вимірювальні пристрої, різальні інструменти. Розраховано припуски, режими різання та норми часу.

Розроблено та розраховано затискний та вимірювальний пристрої та різальний інструмент для довбання внутрішнього евольвентного профілю.

В дослідній частині виконано аналіз методів обробки внутрішніх зубців. Запропоновано принципово новий метод шліфування внутрішніх зубців з евольвентним профілем, який здійснюється в умовах планетарного обкату з виведенням-введенням інструменту під час виконання умови зрізання профілю. Рух обкату при цьому не припиняється. Керування виведенням інструмента здійснюється від системи ЧПУ верстату. Спосіб вимагає додаткових досліджень.

Для випуску деталей насоса підживлення було розроблено компоновку механічного цеху і план дільниці.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено економічними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
2. Методические указания к выполнению дипломного проекта по кафедре «Технология машиностроения» – Кировоград: КИСХМ, 1986.
3. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсовое проектирование по технологии машиностроения. – Мн.: Высшая школа, 1983.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986.
5. Балабанов А.Н. Краткий справочник технолога-машиностроителя. М.: Издательство стандартов, 1992.
6. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. А.Н. Малова. М.: Машиностроение, 1972.
7. Руденко П.А. и др. Проектирование и производство заготовок в машиностроении. К.: Высшая школа, 1991.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. М.: Экономика, Часть I, 1990.
9. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. М.: Экономика, Часть II, 1990.
10. Общемашиностроительные нормативы времени. М.: Машиностроение, 1974.
11. Кузнецов Ю.И. и др. Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник. М.: Машиностроение, 1990.
12. Вардашкин Б.Н. и др. Станочные приспособления. Т.1,2. М.: Машиностроение, 1984.

13. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1,2,3. М.: Машиностроение, 1979.
14. Локтева Е.С. Станки с программным управлением. М.: Машиностроение, 1979.
15. Проектування технологічних процесів механічної обробки деталей на верстатах з ЧПК. Методичні вказівки до виконання курсового проекту по спеціальності 8090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград, 2000.
16. Егоров М.Е. и др. Технология машиностроения. “Высшая школа”, 1976.
17. Абрамов Ф.Н. и др. Справочник по обработке металлов резанием. Киев: “Техніка”, 1983.
18. Корсаков В.С. Основы конструирования приспособлений. М.: Машиностроение, 1983.
19. Методические указания к изучению курса “Проектирование приспособлений” Кіровоград: КИСХМ, 1990.
20. Кузнецов Ю.М. Верстаты з ЧПК та верстатні комплекси. Київ – Тернопіль, 2001.
21. Методичні вказівки до практичних робіт по курсу “Проектування механоскладальних цехів та дільниць” для студентів спеціальностей 8.090202 /Укл. І.І. Павленко, А.І. Валявський, В.П. Короп. – Кіровоград: КДТУ, 2001.
22. Егоров М.Е. Основы проектирования машиностроительных заводов. – М.: Высшая школа, 1969.
23. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202 – Кіровоград, КНТУ, 2004 р. –с.44 Укл. Л.В. Лебедева. Організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки.
24. ЦБНТ. Москва: Экономика, 1988 г., Типовые нормы времени на разработку технической документации.
25. Каплунов Р.С. Точность контрольных приспособлений. М.: Машиностроение, 1968.

26. Медведицков С.Н. Высокопроизводительное зубонарезание фрезами, М., Машиностроение, 1981. – 137 с.
27. Романов В.Ф. Расчеты зуборезных инструментов, М., Машиностроение, 1969. – 253 с.
28. Поворотний стіл зі змінним ексцентриситетом: Пат. 46348А Україна, МПК 7 В 23 F5/00 / Мажара В.А., Підгаєцький М.М., Скібінський О.І.– № 2001064472/UA; Заявл. 26.06.2001; Опубл. 15.05.2002, Бюл. № 5.
29. Производство зубчатых колес. Под ред. Б.А. Тайца. Изд. 2-е перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1975. -728 с.
30. Родин П.Р. Основы формообразования поверхностей резанием. - К.: Вища школа, 1977. - 192 с.
31. Спосіб обробки внутрішніх зубців зовнішнього зубчастого колеса позацентроїдного внутрішнього цівкового зачеплення: Пат. 55734А Україна, МКВ 7 В 23 F15/00 / Підгаєцький М.М., Скібінський О.І., Валявський А.О.– № 2002054401/UA; Заявл. 29.05.2002; Опубл. 15.04.2003, Бюл. № 4.
32. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. - 585с.
33. Litvin F.L. Gear Geometry and Applied Theory, Prentice Hall, New Jersey, 1994. - 724p.