

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:

«Підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень
гідравлічних машин роторного типу»
«Improving the efficiency of machining gears of rotary hydraulic machines»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2
року магістратури, групи ПМ-22М-2
напряму 131 «Прикладна механіка»

Валентина ШЕВЧЕНКО

Керівник: ст. викладач, к.т.н.

Антон АПАРАКІН

Рецензент: доц., к.т.н.

Олександр КУЗИК

Завідувач кафедру: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

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

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧКИ
Валентини ШЕВЧЕНКО

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу
2. Керівник роботи: к.т.н., ст. викл., Антон АПАРАКІН
3. Строк подання роботи до захисту « » січня 2024 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є: підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу, а саме шестеренних насосів, з огляду на те, що саме точність та якість шестерень відіграє ключову роль у формуванні вихідних характеристик гідравлічних машин.

Завдання:

- проаналізувати основні способи механічної обробки шестерень гідравлічних машин, визначити основні сучасні напрямки підвищення ефективності технології механічної обробки зубчастих поверхонь.
- проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення шестерні на підприємстві АТ «Гідросила», виявити сильні та слабкі риси, запропонувати заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу.
- провести комплекс робіт по обґрунтованому підбору металорізального обладнання, різального, допоміжного та вимірювального інструменту, затискних верстатних пристосувань, виконати розрахунки припусків, режимів різання та провести нормування операцій.
- виконати проектування затискного верстатного пристосування, різального інструменту та контрольно-вимірювального пристрою із розробкою конструкторської документації.
- провести економічні розрахунки запропонованого раціоналізаторського рішення.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 2	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 3	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 4	Антон АПАРАКІН		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		
РОЗДІЛ 6	Ірина ЖУРИЛО		
ДОДАТКИ	Антон АПАРАКІН		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	ВСТУП	Жовтень 2023	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Жовтень 2023	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Жовтень 2023	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Жовтень-листопад 2023	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2023	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад-грудень 2023	вик.
7	РОЗДІЛ 6	Листопад-грудень 2023	вик.
8	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2023	вик.
9	ДОДАТКИ	Грудень 2023	вик.
10	Графічна частина та оформлення	Жовтень-грудень 2023	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи _____ Антон АПАРАКІН

(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2023 р.

Здобувач _____ Валентина ШЕВЧЕНКО

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Валентина ШЕВЧЕНКО. Підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2024. – 151 с. Матеріали презентації 9 креслень.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу, а саме шестеренних насосів, з огляду на те, що саме точність та якість шестерень відіграє ключову роль у формуванні вихідних характеристик гідравлічних машин.

У роботі було проаналізовано основні способи механічної обробки шестерень гідравлічних машин, визначено основні сучасні напрямки підвищення ефективності. Проаналізовано базовий технологічний процес виготовлення шестерень, запропоновано заходи по підвищенню ефективності. Проведено підбір металорізального обладнання, різального, допоміжного та вимірювального інструменту, затискних пристосувань, виконано розрахунки припусків, режимів різання та проведено нормування операцій. Виконано проектування затискного верстатного та контрольного пристосування та різального інструменту. Проведено необхідні економічні розрахунки.

Актуальність. Шестеренні насоси широко використовуються завдяки своїм численним перевагам. Підвищення ефективності механічної обробки шестерень для насосів, з метою покращення якості, підвищення точності і зменшення собівартості їх виготовлення це актуальна задача для досліджень.

Практичне значення. Виконано аналіз основних сучасних напрямків підвищення ефективності технології механічної обробки зубчастих поверхонь, на його основі розроблено рекомендації щодо раціоналізації технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча; розроблено удосконалений технологічний процес, верстатне пристосування, різальний інструмент та контрольний пристрій.

Ключові слова: зубофрезерування, шестерня, черв'ячна фреза, шестеренний насос, технологія виробництва.

ABSTRACT

Valentyna Shevchenko. Improving the efficiency of machining gears of rotary hydraulic machines. Master's thesis: CUNTU, 2024. – 151 p. Presentation materials 9 drawings.

The purpose of the work is to improve the efficiency of the mechanical processing of the gears of the rotary type hydraulic machines, namely gear pumps, considering that the accuracy and quality of the gears plays a key role in the formation of the output characteristics of hydraulic machines.

The paper analyzed the main methods of mechanical processing of gears of hydraulic machines, identified the main modern directions for increasing efficiency. The basic technological process of manufacturing gears was analyzed, and measures to increase efficiency were proposed. Metal-cutting equipment, cutting, auxiliary and measuring tools, clamping devices were selected, allowances, cutting parameters were calculated, and time rationing of operations were done. The design of a clamping device, control device and a cutting tool has been completed. Necessary economic calculations have been carried out.

Relevance. Gear pumps are widely used due to their many advantages. Increasing the efficiency of mechanical processing of gears for pumps, with the aim of improving quality, increasing accuracy and reducing the cost of their production, is an urgent task for research.

Practical value. An analysis of the main modern directions for increasing the efficiency of the technology of mechanical processing of gear surfaces was performed, based on it, recommendations were developed for the rationalization of the technological process of manufacturing the driver gear part; an improved technological process, a clamping device, a cutting tool and a control device were developed.

Key words: hobbing, gear, hob mill, gear pump, production technology.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН	
РОТОРНОГО ТИПУ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Класифікація гідравлічних машин роторного типу	8
1.2 Постановка мети і задач дослідження	14
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	
ШЕСТЕРЕНЬ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПУ	16
2.1 Основні способи механічної обробки шестерень гідравлічних машин	17
2.2 Сучасний стан технології механічної обробки шестерень	26
2.3 Висновки	51
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРНІ ВЕДУЧОЇ	53
3.1 Службове призначення шестерні ведучої та її характеристика	53
3.2 Розробка технології виготовлення шестерні ведучої	56
3.3 Висновки	91
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА	
ІНСТРУМЕНТІВ	92
4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою	92
4.2 Розробка конструкції та розрахунок контрольного пристрою	99
4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту	101
4.4 Висновки	106
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	107
5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	107
5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	108
5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху	112
5.4 Висновки	112
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ	
ПРОЦЕСІВ	113
6.1 Аналіз варіантів технологічних процесів	113
6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі	121
6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	124
6.4 Висновки	125
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	127
ДОДАТКИ	130

ВСТУП

Машинобудування поєднує в собі галузі промисловості, які забезпечують виробництво засобів праці для всіх галузей господарства, авіації та військової техніки. Машинобудування завжди було відображенням технологічного розвитку країни, та має велике значення для розвитку економіки та рівня життя населення в цілому.

Основними завданнями машинобудування є забезпечення споживачів сучасними машинами та механізмами, підвищення їх якості, надійності і довговічності, підвищення продуктивності та автоматизація праці, зменшення матеріаломісткості та собівартості продукції. Ці задачі закликає вирішувати технологія машинобудування.

Основними напрямками розвитку технології машинобудування на сучасному етапі розвитку ринкової економіки є типізація технологічних процесів, що є передумовою впровадженні механізації і автоматизації виробництва, подальше використання продуктивного обладнання та скорочення маршрутів обробки деталей.

У роботі необхідно проаналізувати відомі методи механічної обробки зубчастої поверхні шестерень гідравлічних машин та розробити відповідні рекомендації по підвищенню ефективності процесу. Виконати детальний аналіз базового технологічного процесу обробки деталі шестерня ведуча та розробити раціоналізований технологічний процес, зі скороченням кількості операцій, задіяних робітників, часу на виробництво. Метою такої раціоналізації є вирішення головної мети – підвищення ефективності виробництва, тобто зниження собівартості продукції, яка виробляється, при забезпеченні вимог точності та якості.

РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПУ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація гідравлічних машин роторного типу

У сучасній техніці, не зважаючи на тенденції та розвиток електромеханічних систем приводу, значне місце все ще займає об'ємний гідропривід. Міцні позиції об'ємний гідропривід (ОГ) займає у конструкції вузлів будівельної та підйомної техніки, сільськогосподарської техніки, авіації та суднобудуванні, видобувній галузі, важкій техніці та верстатобудуванні. Головною перевагою ОГ над електроприводом (навіть над гідродинамічним приводом) є те, що для забезпечення еквівалентної потужності, масо-габаритні характеристики ОГ будуть значно менші.

Принцип роботи ОГ – це поперемінне заповнення робочою рідиною під тиском порожнин гідравлічних машин та витіснення рідини з нього. Основна маса гідравлічних машин ОГ це гідравлічні машини роторного типу, тобто витіснення робочої рідини із порожнин робочим органом відбувається під час обертального (обертально-поступального) руху. Види роторних гідромашин [2, 5, 11]:

- шестеренні гідромашини (рис. 1.1, а);
- гвинтові гідромашини (рис. 1.1, б);
- кулачкові (ротаційно-поршневі) гідромотори (рис. 1.1, в);
- пластинчасті (шиберні) гідромашини (рис. 1.1, г);
- аксіально-поршневі (рис. 1.1, д) та радіально-поршневі (рис. 1.1, е) гідромашини.

По принципу перетворення енергії, роторні гідромашини можна поділити на насоси та гідродвигуни [1, 2, 5]. Насоси сприймають енергію від обертання робочого органу гідравлічної машини і перетворюють її у гідравлічну енергію переміщення робочої рідини. Гідродвигуни навпаки, сприймають робочим органом гідравлічну енергію від переміщення робочої рідини під тиском і перетворюють її у обертання вихідного валу.

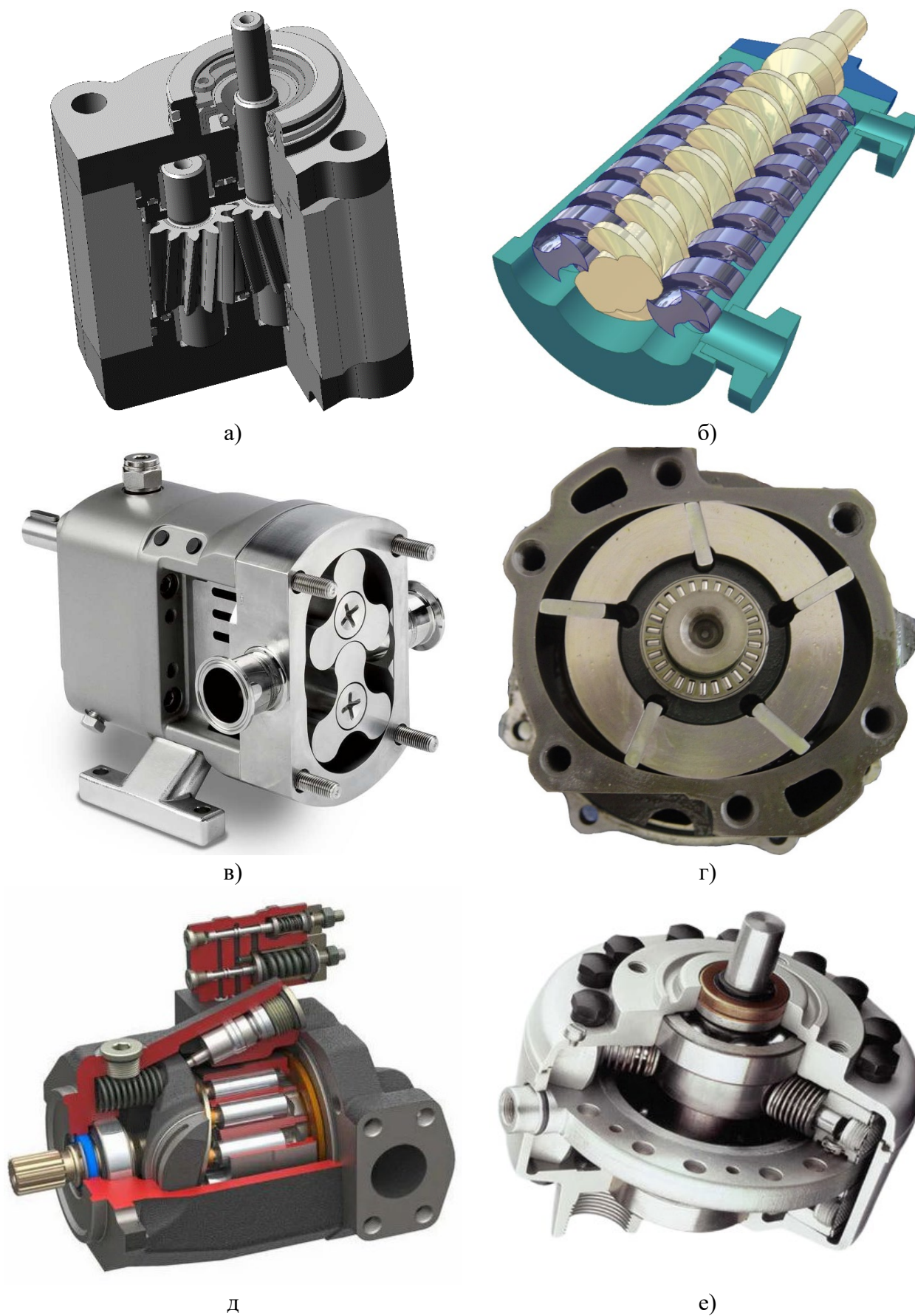


Рис. 1.1 Види роторних гідромашин.

а) шестеренна; б) гвинтова; в) кулачкова; г) пластинчаста;
 д) аксіально-поршнева; е) радіально-поршнева.

Одна з ключових особливостей роторних гідромашин – це оборотність, тобто здатність працювати як у режимі насосу, так і в режимі гідродвигуна.

Далі у роботі розглядаються роторні гідромашини шестеренного типу.

1.1.1 Основні параметри шестеренних гідромашин

До основних параметрів шестеренних гідромашин відносять [2, 5]:

1) Подача насоса. Визначається як кількість рідини (об'єм), яку нагнітає насос за одиницю часу. Позначається як « Q », і вимірюється у $\text{м}^3/\text{с}$.

2) Робочий об'єм. Один із основних параметрів шестеренних гідромашин. Під робочим об'ємом розуміють зміну об'єму робочої камери за один цикл роботи машини, тобто різниця між максимальним і мінімальним значенням об'єму робочої камери за один оберт. Наприклад, робочий об'єм шестеренних насосів, що представлені різними виробниками, буває від 0,2 до 200 см^3 .

Робочий об'єм може бути визначений за формулою:

$$q_o = 2\pi \cdot m^2 \cdot b \cdot z,$$

де m – модуль зубчастого зачеплення шестерень насосу,

b – ширина шестерень насосу;

z – число зубців однієї шестерні насосу.

3) Напір насосу. Параметр який визначає енергію, яка передається на одиницю ваги робочої рідини робочим органом насосу. Напір визначається за формулою:

$$H = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g},$$

де Δp – різниця тиску на виході і вході насосу;

ρ – густина робочої рідини;

g – прискорення вільного падіння.

4) Тиск. Розрізняють тиск на вході та на виході гідромашини.

5) Напір гідродвигуна. Визначається по аналогії із напором насосу, враховуючи принцип оборотності. Враховуючи, що при роботі гідродвигуна

енергію передає потік робочої рідини на робочий орган гідродвигуна, то розраховується перепад тиску входу відносно виходу.

6) Потужність. Розрізняють механічну і гідравлічну.

7) Коефіцієнт корисної дії. Також буває механічний, гідравлічний та об'ємний (витрати на внутрішні перетікання рідини, характерні для конструкції).

1.1.2 Шестеренний насос

Як вже було обумовлено, шестеренний насос являє собою роторну гідравлічну машину [13]. Шестеренний насос має відносно просту конструкцію, складається із пари зубчастих коліс, які розміщено у корпусі і герметично закрито кришками, завдяки чому у насосі утворюються робочі камери, між поверхнями зубців шестерень і розточок корпусу, для всмоктування та нагнітання робочої рідини.

Шестеренний насос також наслідує принцип «оборотності», як і решта роторних гідромашин ОГ. Конструктивні зміни при цьому переході незначні, а іноді і зовсім відсутні. Так шестеренний насос, при звичайних умовах роботи, сприймає вихідним кінцем ведучої шестерні обертання від зовнішнього джерела (електродвигуна, двигуна внутрішнього згорання, тощо), перетворюючи цю енергію в енергію тиску робочої рідини. Гідравлічний двигун навпаки, сприймає тиск робочої рідини на зубчасте зачеплення, який і приводить у рух вихідний вал.

Принцип роботи насосу можна пояснити за декілька ключових позицій безперервного циклу. Так, на першому етапі зачеплення ведучої та веденої шестерень при обертанні утворює розрідження у зоні всмоктування насосу, за рахунок виходу зубців із зачеплення. Далі, утворене розрідження заповнюється робочою рідиною з гідросистеми, яка потім переноситься в зону нагнітання у порожнинах міжзубових западин обох шестерень, які обмежуються розточками корпусу та торцями підшипників. При подальшому обертанні, у зоні нагнітання зубчасте зачеплення замикає зубці із щільним контактом між їх поверхнями і відбувається підвищення тиску робочої рідини у напірній магістралі ОГ. Звісно, при не якісному виконанні деталей насосу, або при зносі його основних вузлів

існує доля внутрішніх перетікань рідини із зони високого тиску в зону низького, що відображається на вихідних характеристиках насосу, на його ККД. Саме тому, всі виробники дуже сумлінно слідкують за якістю матеріалів, хіміко-термічної та механічної обробки корпусних деталей, підшипникових вузлів, а особливо – за якістю обробки зубчастого вінця шестерень. Адже саме якість виконання зубчастого вінця впливає на цілий ряд параметрів кінцевого продукту – шум, вібрації, об’ємні втрати на внутрішні перетікання, ресурс насосу та його ККД.

Традиційно, шестеренні насоси застосовуються в гідросистемах ОГ, із високим тиском, порядку 15...20 МПа, при невеликій подачі. В окремих випадках тиск може досягати 30 МПа.

Крупносерійне виробництво шестеренних насосів та гідромоторів освоєно підприємством АТ «Гідросила», м. Кропивницький. Холдинг, в який входить АТ «Гідросила» – найбільший у Східній Європі виробник гідрокомпонентів світового рівня для мобільних машин, окрім шестеренних гідромашин виробляються аксіально-поршневі гідромашини, гідророзподільники, гідроциліндри, різна арматура гідроприводу, рукава високого тиску.

1.1.3 Конструктивне виконання шестеренних насосів

Виробниками шестеренних гідронасосів представлено конструкції із зовнішнім зачепленням (рис. 1.2, а) зубчастого вінця та з внутрішнім зачепленням (рис. 1.2, б) [13].

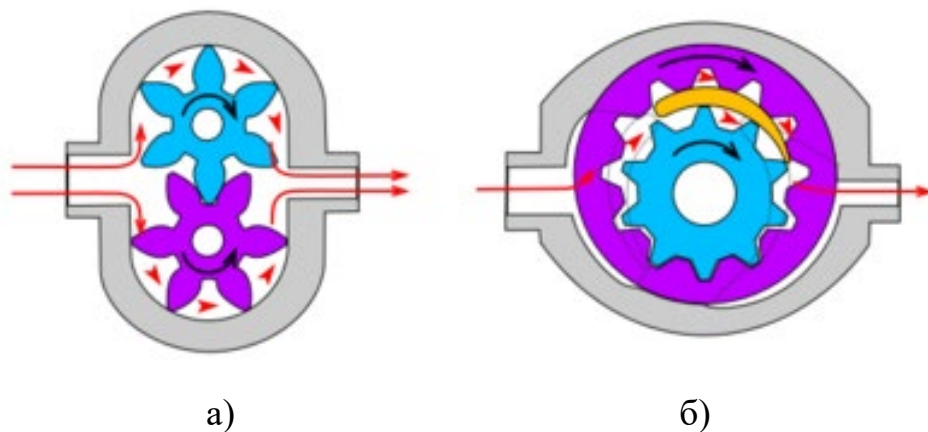


Рис. 1.2 - Принцип роботи шестеренного насоса

а) із зовнішнім зачепленням; б) із внутрішнім зачепленням.

Найбільшого розповсюдження отримала конструкція із зовнішнім зачепленням, з огляду на простоту виготовлення шестерень. Самі шестерні виконуються прямозубі, крупномодульні та з якомога малою кількістю зубців, це спричинено тим, зі збільшенням зубців – зменшується продуктивність насосу, однак і зменшується пульсація, нерівномірність подачі. В окремих моделях насосів, з метою зниження шуму та пульсації робочої рідини, застосовують косозубе зачеплення, або спеціально розроблені нестандартні профілі.

Сучасна конструкція шестеренного насосу із зовнішнім зачепленням шестерень представлена на рис. 1.3 [18]. У корпусі насосу, який виготовляють із відлитого профілю із алюмінієвого сплаву, встановлюються деталі качаючого вузла – пару шестерень із комплектами підшипникових опор і торцевих ущільнень. Зазвичай шестерні виконані заодно із цапфами, і при роботі виконують обертання у метало-фторопластових втулках, які запресовуються у отвори підшипникових опор. Вихідний кінець ведучої шестерні може мати декілька виконань, на вимогу споживача – різного виду шліци, шпонки, лиски, шипи для муфт, різьбу.

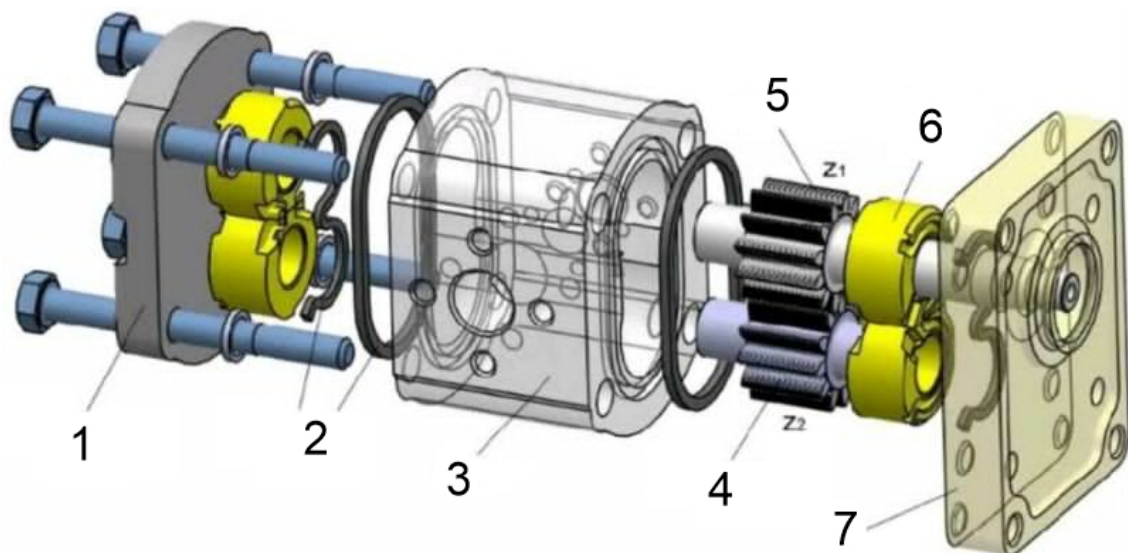


Рис. 1.3 Шестеренний насос із зовнішнім зачепленням

1 – задня кришка; 2 – ущільнення; 3 – корпус; 4 – ведена шестерня; 5 – ведуча шестерня;
6 – підшипниковий вузол; 7 – передня кришка з елементами фланцевого кріплення.

Зовнішня герметичність насосу забезпечується передньою та задньою кришкою, у канавках котрих встановлюються гумові ущільнення, а вихідний

кінець ведучої шестерні, зазвичай, ущільнюють манжетою, яка закріплюється стопорним кільцем.

1.1.4 Висновки

Об'ємний гідропривід не втрачає своєї актуальності, та міцно тримає свої позиції у конструкціях різноманітної техніки. Одним із елементів ОГ є шестеренні насоси, які широко використовуються завдяки своїм перевагам [13]:

- відносна простота конструкції;
- надійність в експлуатації, якщо порівнювати з іншими роторними машинами, наприклад, з аксіально-поршковими;
- низька собівартість;
- можливість роботи насоса на високих обертах, що спрощує їх приєднання до електродвигунів або двигунів внутрішнього згорання.

Однак, на ряду з перевагами, використання шестеренних насосів має свої недоліки:

- регулювання робочого об'єму відсутнє;
- проблеми з роботою при високих тисках, пов'язані з герметизацією;
- має місце пульсація подачі робочої рідини, через що, у окремих випадках, надають перевагу пластинчастим насосам;
- висока вимога до точності та якості виготовлення шестерень та корпусних деталей.

У роботі здійснена спроба підвищення рівня ефективності механічної обробки шестерень для насосів, з метою покращення якості, підвищення точності і зменшення собівартості виготовлення.

1.2 Постановка мети і задач дослідження

Метою роботи є підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу, а саме шестеренних насосів, з огляду на те, що саме точність та якість шестерень відіграє ключову роль у формуванні вихідних характеристик гідравлічних машин.

Для досягнення мети, необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проаналізувати основні способи механічної обробки шестерень гідравлічних машин, визначити основні сучасні напрямки підвищення ефективності технології механічної обробки зубчастих поверхонь.
2. Проаналізувати базовий технологічний процес виготовлення шестерні на підприємстві АТ «Гідросила», виявити сильні та слабкі риси, запропонувати заходи по підвищенню ефективності базового технологічного процесу.
3. Провести комплекс робіт по обґрунтованому підбору металорізального обладнання, різального, допоміжного та вимірювального інструменту, затискних верстатних пристосувань, виконати розрахунки припусків, режимів різання та провести нормування операцій.
4. Виконати проектування затискного верстатного пристосування, різального інструменту та контрольно-вимірювального пристрою із розробкою конструкторської документації.
5. Провести економічні розрахунки запропонованого раціоналізаторського рішення.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ШЕСТЕРЕНЬ ГІДРАВЛІЧНИХ МАШИН РОТОРНОГО ТИПУ

Широке розповсюдження зубчастих коліс у сучасних механізмах і машинах стало причиною того, що їх виготовлення стало однією з головних задач практичного машинобудування.

Історично, розвиток виробництва зубчастих коліс і обладнання для їх обробки припадає на другу половину XIX століття. У німецькій Саксонії, в області міста Хемніц, почало розвиватися машинобудування, а саме верстатобудування. Саме тут сформувалися фірми-піонери, які розробляли конструкції верстатів для зубообробки, які у подальшому відігравали рушійну роль у світовому машинобудуванні – Pfauter, Modul, Niles, Heckert та інші. Під кінець XX століття кількість виробників зубообробних верстатів і інструментів, які увібрали у себе досвід та традиції основоположників галузі, тільки збільшувалася.

У сучасному виробництві шестерень для гідравлічних машин також існує традиційно сформована технологія виробництва. Так як дані шестерні мають свою специфіку (див. р. 1.1.3), то і виробництво таких шестерень має свої відмінні риси. З однієї сторони, такі шестерні мають значний об'єм міжзубової западини, і під час виробництва шестерні із суцільної заготовки, із цієї западини потрібно прибрати матеріал. З іншої – високі вимоги до точності та якості зубчастої поверхні, так як саме вони визначають вихідні параметри майбутнього шестеренного насоса.

На підприємстві АТ «Гідросила» технологічний маршрут обробки зубчастого вінця реалізований у наступній послідовності, методами черв'ячного зубофрезерування, зубодовбання дисковим довбачем та шевінгування. Обробка виконується на наступних універсальних та спеціальних верстатах:

- зубофрезерні 53A80H, BC12-715;
- зубодовбальний 5122KH4, 5140, KH24H32;
- шевінгувальний 5702B.

Проаналізуємо обумовлені методи механічної обробки шестерень з метою визначення основних напрямків підвищення ефективності технології.

2.1 Основні способи механічної обробки шестерень гідравлічних машин

2.1.1 Способи формоутворення зубчатих коліс

Усі способи механічної обробки зубчастих коліс, не зважаючи на їх різноманітність, поділяють за принципом формоутворення на дві групи – методи копіювання і методи обкатки [4].

Відмінною рисою методів копіювання (рис. 2.1), є те, що профіль різального інструменту повторює профіль міжзубової западини оброблюваного колеса. Такі фрези стандартизовані і для кожного модуля застосовується комплект фрез, що пов'язано з тим, що профіль зубчастого колеса змінюється в залежності від кількості зубців зубчастого колеса.

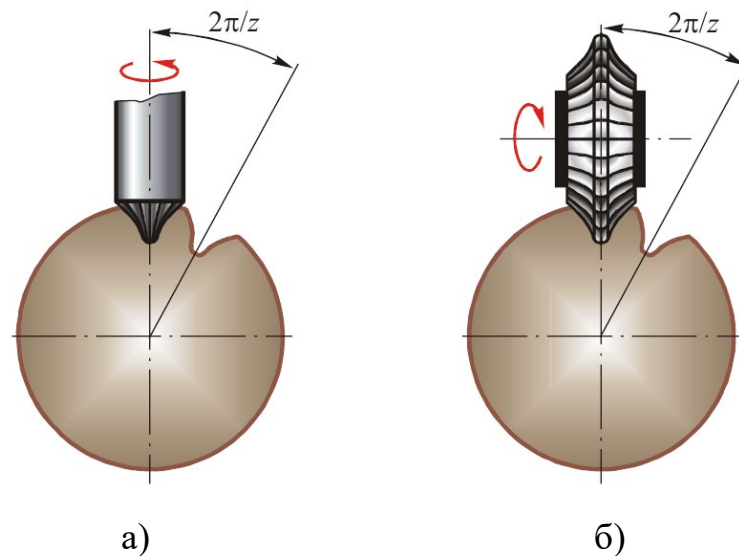


Рис. 2.1 Обробка методом копіювання пальцевою (а) та дисковою (б) фрезами.

Обробку методами копіювання можна виконувати навіть на універсальних фрезерних верстатах (горизонтальних і вертикальних), що є перевагою. До недоліків можна віднести низьку продуктивність методу та низьку точність, що викликано як прямим переносом похибки профілю інструменту на деталь, так і необхідністю здійснювати рух одиничного ділення для обробки кожної наступної

западини. Копіювання займає свою нішу у чорновій обробці та одиничному виробництві.

Метод обкатки являється більш точним та продуктивнішим методом, однак вимагає складнішого інструменту, кінематики різання та спеціальних верстатів. До цих методів відносяться: зубофрезерування черв'ячною фрезою, зубодовбання дисковим довбачем, рейковим довбачем (гребінкою), зубострогальними різцями, різцевою голівкою, накоченням зубчастими валками.

Сутність методу обкату (рис. 2.2) полягає у узгодженому русі (обкаті) заготовки та різального інструменту, та форми різальної частини інструменту. Наприклад, зубці черв'ячної фрези мають прямолінійний профіль, та розташовані по спіралі на корпусі інструменту і при обробці по черзі врізаються у міжзубову западину, поступово формуючи необхідну її форму. Під час такої обробки заготовка і інструмент обертаються безперервно, дотримуючись передавального відношення, при якому за один оберт черв'ячної фрези деталь здійснює $1/z$ оберту, тобто повертається на один зуб.

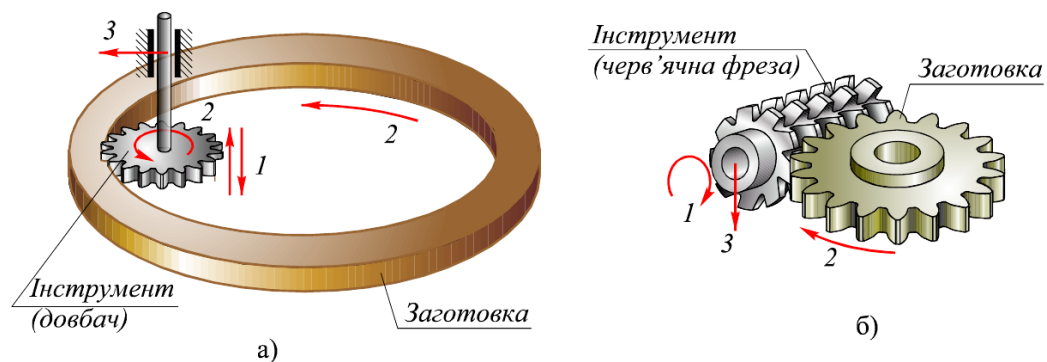


Рис. 2.2 Обробка методами обкату.

а) обробка дисковим довбачем; б) обробка черв'ячною фрезою.

1 – напрямок руху різання; 2 – рух обкату; 3 – напрямок руху подачі інструмента.

2.1.2 Черв'ячне зубофрезерування

У сучасному виробництві найбільшого розповсюдження отримав метод обробки зубчастих коліс черв'ячним зубофрезеруванням [4].

Різальний інструмент – черв'ячна фреза (рис. 2.3) являє собою черв'як, який у нормальному перерізі має профіль вихідної рейки евольвентного колеса

та має повздовжні канавки, які утворюють профіль різальних зубців. Повздовжні канавки можуть бути гвинтові (якщо $\omega > 4^\circ$), або прямі (якщо $\omega \leq 4^\circ$).

Черв'ячними фрезами можна нарізати без похибки профілю, однаково точно, зубчасті колеса з будь-яким числом зубців, завдяки профілю твірної рейки. У порівнянні з обробкою методами копіювання, це велика перевага.

Черв'ячні фрези мають можливість оброблювати як прямозубі, так і косозубі шестерні, а фрезами зменшеної довжини – навіть вінець внутрішнього зачеплення.

По аналогії із черв'ячними передачами, черв'ячна фреза може бути однозаходною та багатозаходною. Останні використовуються, переважно, для чорнової обробки.

Обробка черв'ячними фрезами виконується на спеціальних зубофрезерних верстатах.

Класичний зубофрезерний верстат (рис. 2.4) це вертикальний напівавтомат, який використовується

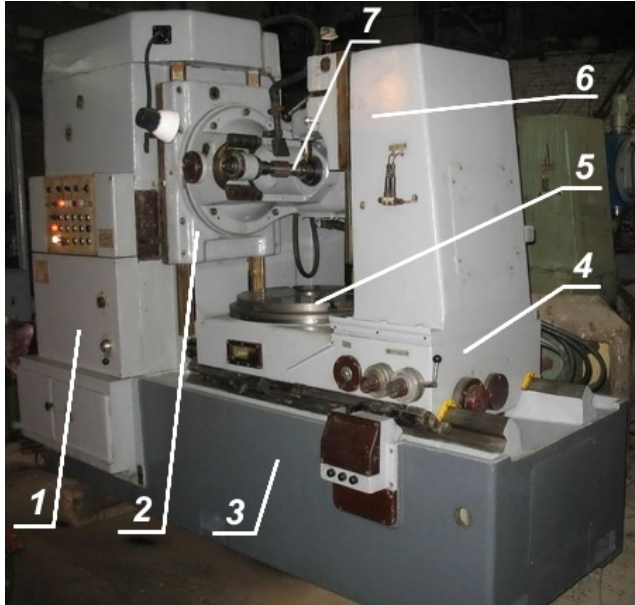
для виготовлення циліндричних зубчастих коліс та черв'ячних коліс. Черв'ячні колеса, переважно виготовляються методом радіального врізання. Супорт зубофрезерного напівавтомата має можливість осьового періодичного переміщення черв'ячної фрези в автоматичному режимі, яке виконується окремим електродвигуном, що дозволяє використовувати подовжені фрези і ефективно використовувати їх по всій довжині.

Зубофрезерний верстат (рис. 2.4) складається з розміщених на станині 3 вузлів: стойки супорту інструменту 1, супорту інструменту 2 із інструментальним шпинделем 7, супорт деталі 4 із шпинделем 5, стійка контрпідтримки деталі 6.



Рис. 2.3 Черв'ячна фреза.

Інструментальний супорт має можливість вертикального переміщення у вертикальній площині по напрямних, цим забезпечується рух вісєвої подачі інструменту. Інструментальний шпіндель має можливість повороту, для налагодження на кут підйому гвинтової лінії фрези.



а)

б)

Рис. 2.4 Зубофрезерний верстат 53А50 (а) та робоча зона верстата (б).

1 – стійка супорту інструменту; 2 – супорт інструменту, 3 - станина; 4 - супорт деталі; 5 – шпіндель деталі, 6 - стійка контрпідтримки деталі; 7 - інструментальний шпіндель.

Супорт деталі виконує допоміжні рухи підведення та відведення деталі у горизонтальній площині. Шпіндель деталі являє собою поворотний стіл на якому, за допомогою пристосування, встановлюється оброблювана деталь і підтискається контрпідтримкою. Рух обертання шпінделя деталі кінематично пов'язаний із рухом обертання шпінделю інструменту.

У порожнинах інструментального супорту і станини розміщені кінематичні ланцюги: ланцюг головного руху, ланцюг ділення, ланцюг осьових подач.

2.1.3 Зубодовбання

Метод нарізання шестерень в умовах обкату, при відтворенні зубчастого зачеплення двох циліндричних зубчастих коліс, одному з яких надано рис різального інструменту, називається зубодовбання дисковими довбачами [10].

Для реалізації такої обробки необхідно, окрім обкату, щоб різальний інструмент – довбач (рис. 2.5), здійснював зворотно-поступальний рух, та мав геометрію різального клину на торці. Довбачі бувають:

- дискові, використовуються для зовнішніх коліс;
- чашкові, з більшою глибиною виточки;
- хвостові, для нарізання шестерень внутрішнього зачеплення.

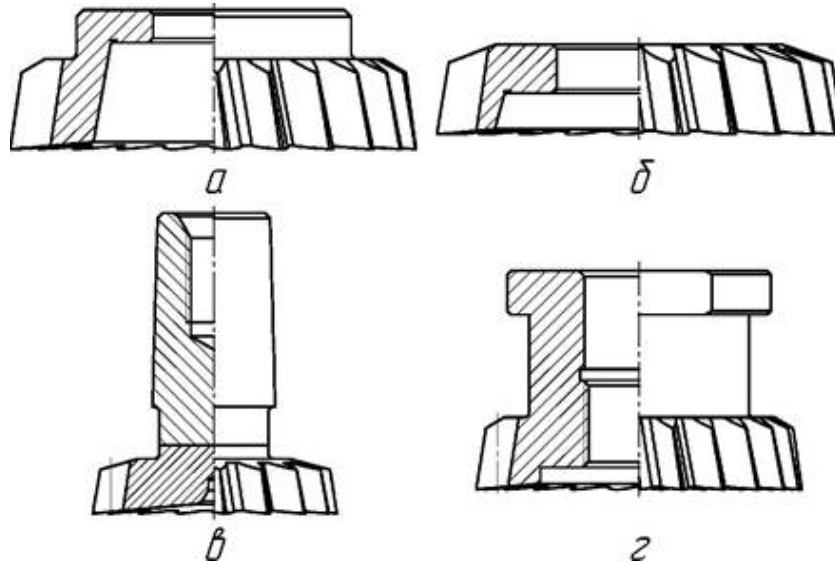


Рис. 2.5 Зуборізні довбачі

а) чашковий довбач; б) дисковий довбач;
в) хвостовий довбач; г) втулковий довбач.

Також, методом зубодовбання дисковими довбачами можна виконувати як обробку прямозубих, так і косозубих зубчастих коліс, обробку блоків зубчастих коліс та шевронних коліс. При обробці косозубих та шевронних коліс зубодовбальні верстати додатково оснащуються спеціальним напрямними пристосуваннями, що називаються гвинтовими копірами.

У порівнянні із черв'ячним зубофрезеруванням, зубодовбання менш продуктивний процес і йому притаманні деякі похибки, які впливають із самого процесу формоутворення евольвентного профілю: похибки кроку обробленого колеса, та похибки евольвентного профілю. Однак метод широко використовується при обробці зубчастих коліс внутрішнього зачеплення, та у випадках, коли конструкція деталі перешкоджає безпечному виходу черв'ячної фрези.

Для здійснення обробки цим методом, використовуються спеціальні зубодовбальні верстати (рис. 2.6), які здатні виконувати всю гамму технологічних прийомів, характерних методу зубодовбання. Верстати бувають вертикальної компоновки та горизонтальної. Горизонтальні зубодовбальні верстати використовуються, переважно, для обробки двома довбачами із зустрічною подачею, що доцільно при обробці шевронних коліс.



а)



б)

Рис. 2.6 Зубодовбальний верстат моделі 5122

а) загальний вигляд; б) робоча зона.

Процес нарізання зубців виглядає наступним чином. На шпінделі інструменту (штосселі), закріплюють різальний інструмент, довбач, який у процесі роботи верстату отримує зворотно-поступальний рух, вздовж вісі заготовки. З метою зменшення зносу інструменту по заднім поверхням, під час зворотного (холостого) ходу довбач відводиться на деяку величину від тіла заготовки в автоматичному циклі.

Рух обкату забезпечується кінематичним ланцюгом, передавальне відношення якого встановлюють заздалегідь за допомогою гідари змінних

шестерень. Прискорений підвід та вихід інструменту на робочу глибину різання забезпечується гідравлічним підводом стола із шпінделем заготовки. Швидкість кругової подачі (тобто швидкість взаємного обертання інструменту і заготовки) налагоджується окремо на чистовий і чорновий перехід за допомогою коробки кругових подач. Радіальна подача інструменту (врізання на глибину різання у циклі) виконується гідроциліндром, який регулюється дросселем.

В межах одного робочого циклу всі перемикання здійснюються автоматично.

2.1.4 Зубошевінгування

Необхідність застосування оздоблювальної операції при виробництві шестерень продиктована високими вимогами до точності та якості зубчастої поверхні (див. р. 1.2). Серед широкої номенклатури оздоблювальних операцій (притирання та обкочування, шліфування та хонінгування, тощо) широкого розповсюдження у машинобудуванні отримав метод шевінгування [10]. Цей метод достатньо продуктивний, дає змогу оброблювати незагартовані колеса з зовнішнім та внутрішнім зачепленням.

Зубошевінгуванням називають операцію механічної обробки евольвентних профілів циліндричних зубчастих коліс. Операцію виконують на спеціальних шевінгувальних верстатах різальним інструментом – шевером. Шевери бувають дискові, рейкові та черв'ячні, останніми можливо виконувати обробку навіть на універсальних фрезерних верстатах, але по причині низької продуктивності, складності у виготовленні інструменту та налагодження, ці методи не отримали широкого розповсюдження.

Виходячи з того, що припуски під зубошевінгування невеликі ($\sim 0,04$ мм), воно не видаляє в значній степені похибок попередньої обробки, а тільки збільшує площу контакту на бокових поверхнях зуба, покращує шорсткість бічних поверхонь зубців до $Ra\ 0,63 \dots 0,32$, та точність профілю до 6-го квалітету.

Основним методом зубошевінгування на сьогодні є обробка шестерень дисковим шевером на перехресних вісях. На рис. 2.7, а показано верстатне

зачеплення дискового шевру 1 з оброблюваним колесом 2, а на рис. 2.7, б – схема наладки шевру і колеса, на якій показано кут схрещування φ між зубцями шевру 1 та колеса, яке обробляється 2. При обробці шевр обертається від електродвигуна, а оброблювана деталь отримує примусове обертання від нього. При обертанні шевра і колеса у зачепленні, внаслідок схрещування вісей, виникає складова векторів швидкості ковзання евольвентних профілів, яка спрямована вздовж твірної зубців. Ця складова і являється швидкістю різання, за сприяння якої гострі кромки, які утворені канавками на зубцях шевра, знімають з поверхні зубців деталі дуже тонкі стружки. Загалом, при шевінгуванні необхідні такі рухи: обертання шевра і оброблюваної деталі, зворотно-поступальне переміщення шестерні вздовж вісі і переміщення її в радіальному напрямку(до шевра).

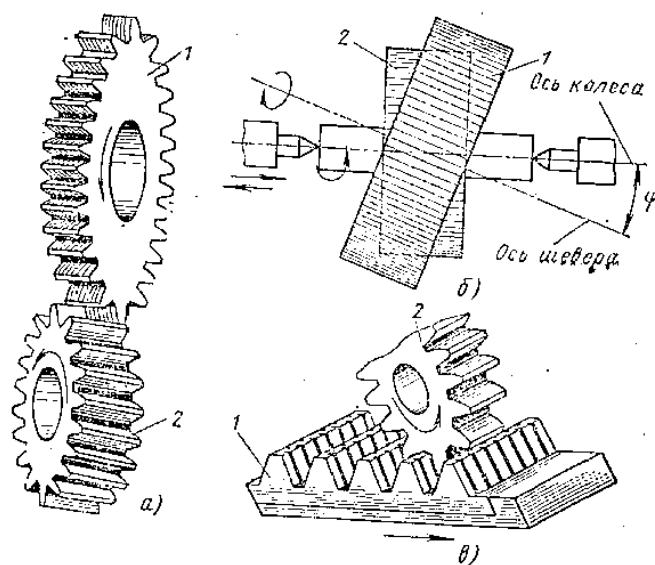


Рис. 2.7 Шевінгування зубчатих коліс.

а) зачеплення шевра та деталі; б) кут схрещування колеса та шевра; в) обробка рейковим шевром.

1 – шевр; 2 – оброблювана деталь.

За способом подачі, розрізняють такі види шевінгування (рис. 2.8):

- з поздовжньою подачею; самий розповсюджений метод, при цьому методі рух шевру паралельний осі оброблюваного зубчастого колеса;
- з діагональною або поперечною подачею; здійснюється з подачею під визначеним кутом до зубчастого колеса, що скорочує довжину робочого

ходу L , але потребує правильного розрахунку кута, який залежить від ширини шевру;

- з дотичною (тангенціальною) подачею; при цьому методі мінімальна довжина робочого ходу L , тому продуктивність збільшується у 1,5 рази, у порівнянні із схемою поздовжньої подачі.

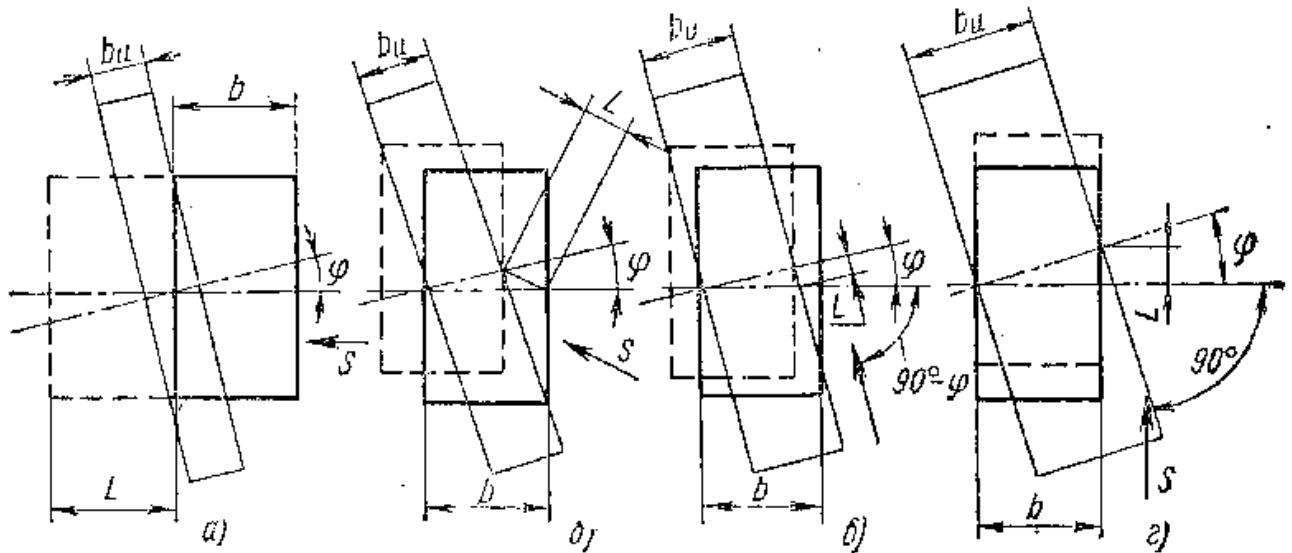


Рис. 2.8 Методи шевінгування:

- а) з поздовжньою подачею; б) з діагональною подачею;
в) з поперечною подачею; г) з тангенціальною подачею.

Що стосується шевінгувальних верстатів, то вони бувають з вертикальним розташуванням вісей інструмента та деталі та з горизонтальним.

Верстати з горизонтальною віссю оброблюваного колеса та інструменту набули найбільшого розповсюдження. Їх виготовляють із верхнім і заднім розташуванням шевінгувальної головки. Поздовжню подачу в цих верстатах здійснюють уздовж вісі центрів бабок. Радіальну подачу одержують шляхом підйому консолі зі столом або поперечним переміщенням стійки.

На класичному зубошевінгувальному верстаті (рис. 2.9) можна шевінгувати циліндричні шестерні з прямими та косими зубцями як зовнішнього, так і внутрішнього зачеплення. Для шевінгування зубчастих коліс з внутрішнім зачепленням необхідно верстат оснастити спеціальною шевінгувальною головкою та бабкою.

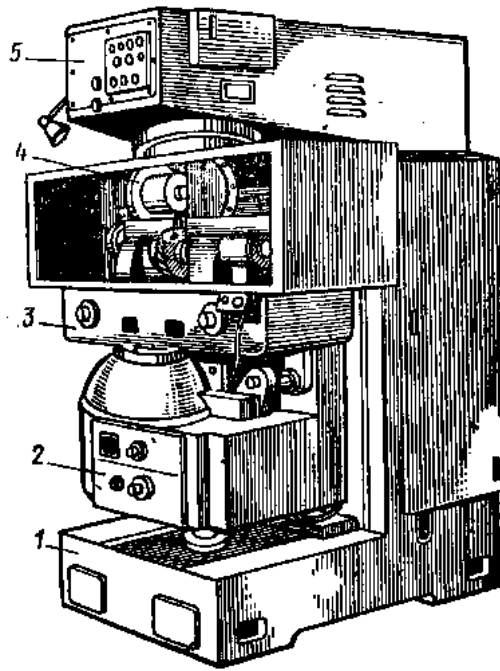


Рис. 2.9 Зубошевінгувальний верстат мод. 5702.

1 – станина; 2 – консоль; 3 – стіл; 4 – шевінгувальна головка; 5 – основа.

Верстат складається із станини 1 складної форми, яка має внизу плиту, а верхня частина являється стійкою. Стійка має площину, на якій кріплять основу 5, а до неї монтують шевінгувальну головку 4. Знизу станини розташовані вертикальні напрямні, на яких встановлюється консоль 2 з механізмами поздовжньої та поперечної подачі. По горизонтальним напрямним консолі переміщується стіл 3, із встановленими бабками. Кінематично, верстат має два незалежних ланцюги: привод шеверу та привод подачі столу (поздовжньої та поперечної).

2.2 Сучасний стан технології механічної обробки шестерень

За останні роки різними дослідниками та фірмами-виробниками особливо багато зусиль було приділено черв'ячному зубофрезеруванню [16, 17, 19, 25, 26]. Було представлено кілька нових розробок щодо зубофрезерування – інновації стосувались інструментальних матеріалів фрези та систем зносостійких покриттів. Це хоч і призвело до підвищення продуктивності за рахунок вищих швидкостей різання та довшого терміну служби інструменту, однак за рахунок

вищих цін на інструменти. В таких умовах з'явилася ще одна перспектива підвищення продуктивності – скорочення технологічного маршруту.

Для початку, у підрозділі проводиться аналіз відомих «слабких місць» та органічно притаманних недоліків технології черв'ячного зубофрезерування. Далі досліджується можливість економії витрат на виробництво за рахунок заміни технологічного процесу та застосування чистового фрезерування. Це дасть змогу відмовитись від шевінгування як від традиційного методу фінішної обробки нетермообробленої («сирої») шестерні. Також досліджуються нові розробки, спрямовані на підвищення продуктивності процесу, довговічності інструменту та якості обробленої деталі.

2.2.1 Аналіз похибок, притаманних черв'ячному зубофрезеруванню

Аналіз технології зубофрезерування слід розпочати із дослідження похибок, які виникають при обробці черв'ячною фрезою, з різних причин. Серед найбільш впливових причин розрізняють:

- похибки верстату, його жорсткість та динамічні характеристики;
- похибки інструменту, точність виготовлення та встановлення.

Систематичні похибки зубофрезерування викликані неточністю виготовлення черв'ячної фрези приведені на рис. 2.10 та рис. 2.11 [30].



Рис. 2.10 Вплив відхилення вісєвого кроку фрези на точність

- 1 – евольвентний профіль; 2 – відхилення при малому вісєвому кроці;
3 – відхилення при великому вісєвому кроці.

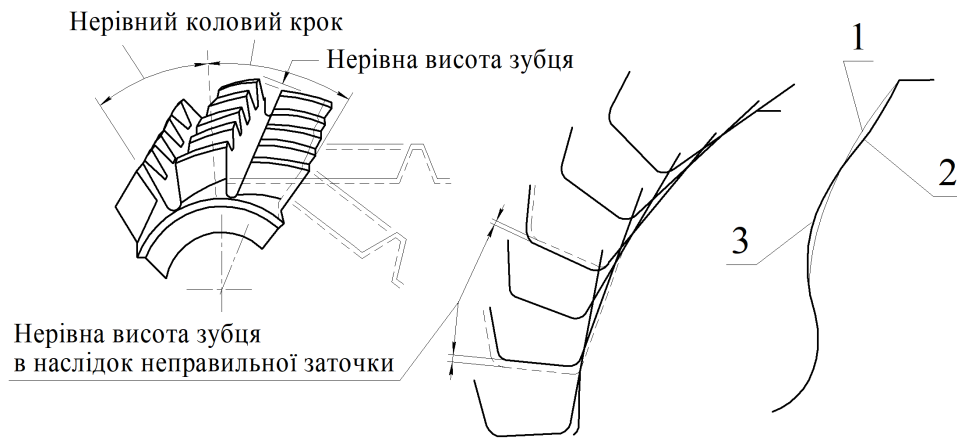


Рис. 2.11 Відхилення евольвентного профілю деталі внаслідок похибки колового кроку черв'ячної фрези.

1 – евольвентний профіль; 2 – відхилення при зменшеному коловому кроці;
3 – відхилення при збільшеному коловому кроці.

Характерними при обробці черв'ячними фрезами також є похибки викликані неточністю переточки фрези, рис. 2.12.

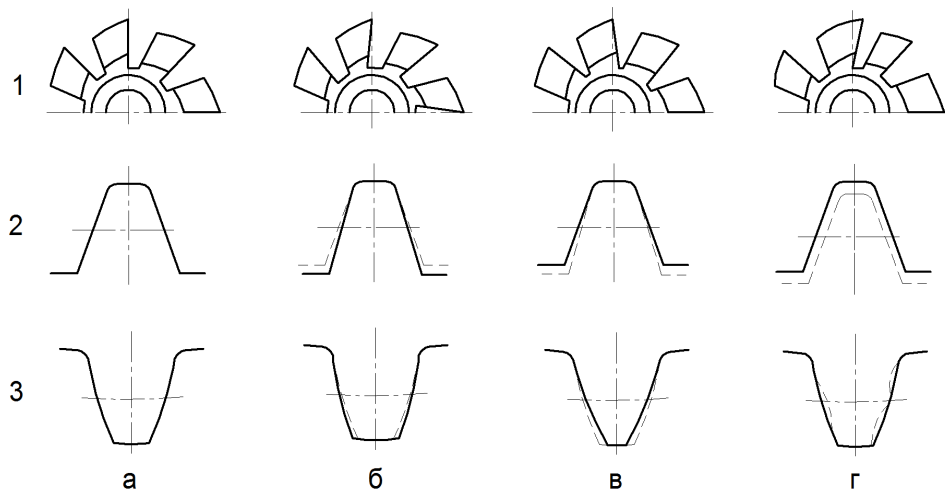


Рис. 2.12 Відхилення евольвентного профілю деталі внаслідок відхилення передньої поверхні рейки черв'ячної фрези.

1 – характер відхилення передньої поверхні; 2 – проекція зубця фрези в плані;
3 – профіль зубців деталі;
а - правильна заточка фрези; б, в, г – заточка з відхиленням.

Переточування черв'ячних фрез здійснюють по переднім граням рейок. Після переточування, черв'ячна фреза перевіряється:

- передня грань рейки на відхилення від прямолінійності;
- по відхиленню гвинтової поверхні;

- нерівномірність колового кроку рейок.

Вплив на профіль деталі також має точність встановлення фрези на інструментальній оправці верстату, рис. 2.13 [30].

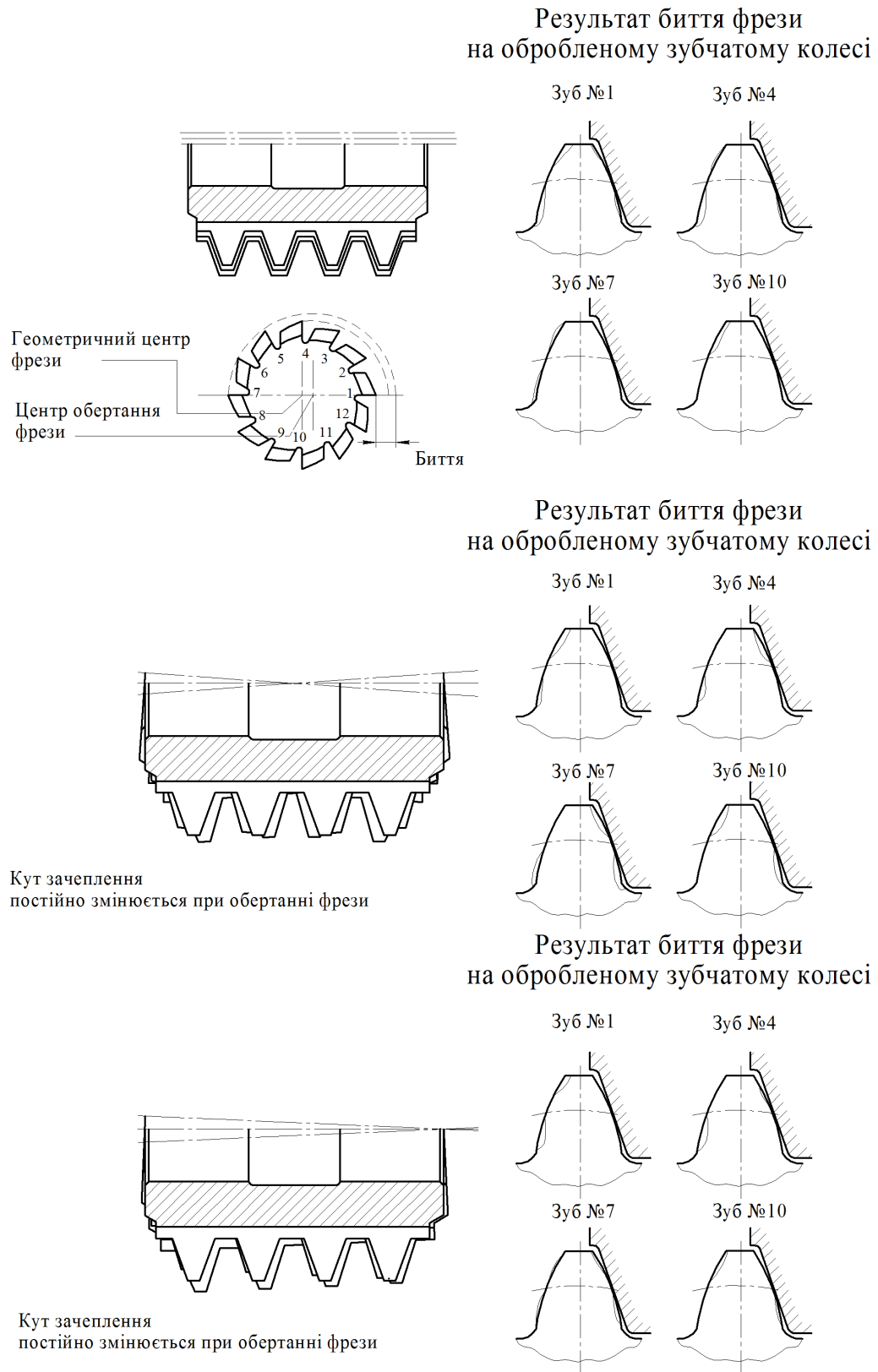


Рис. 2.13 Відхилення профілю деталі внаслідок радіального биття фрези.

2.2.2 Аналіз процесу різання та стружкоутворення при черв'ячному зубофрезеруванні

Аналіз процесів різання та стружкоутворення при черв'ячному зубофрезеруванні ґрунтується на знанні значень перетинів зрізів, які знімаються кожним зубцем фрези, що і було основою досліджень у відомій роботі [25, 29].

На рис. 2.14 показані значення перетинів зрізів та головної сили різання на кожному окрему зубці фрези. Як видно, значення різні, цим черв'ячне зубофрезерування відрізняється від інших видів механічної обробки, у яких зі збільшенням подачі збільшується товщина зрізів. Вплив вісєвої подачі на знімаємі окремими ріжучими кромками фрези товщини зрізів приведено на рис. 2.15.

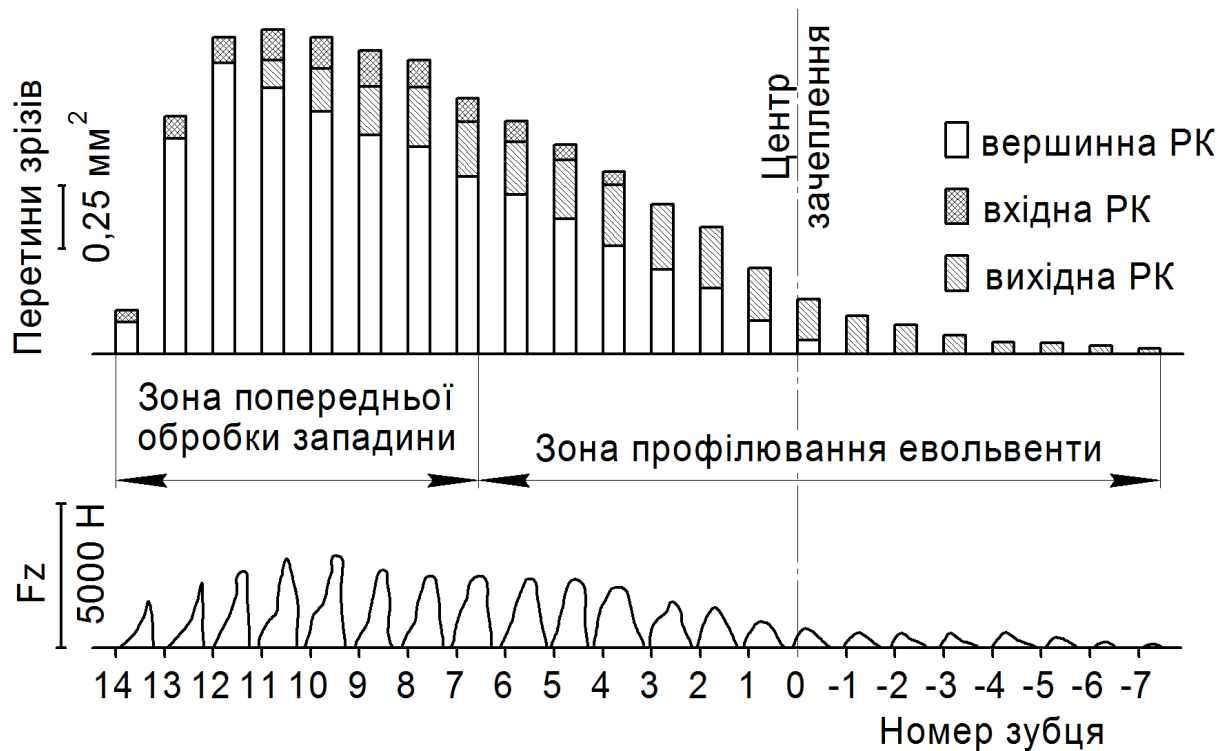


Рис. 2.14 Перетини зрізів, які знімає кожен окремий зубець фрези та сили різання, які на них виникають.

Перетини зрізів, наведені на рис. 2.14, розподіляються по трьом ріжучим кромкам - вершинній і двом бічним. Наглядно видно, як в зоні входження зубця фрези у заготовку, на вершинна кромка знімає істотно більші площі зрізів, ніж бічні кромки.

На рис. 2.15, видно характер зростання товщини зрізів від міжвісєвого перпендикуляру в напрямку вхідної частини фрези. Товщини зрізів не залежать від значень осьових подач і відхиляються від лінійного характеру зростання тільки на різальних кромках, які врізаються у заготовку першими.

Знаючи залежності між силою різання і перетинами зрізів, можна більш точно встановити величину і види зносу інструменту і їх причини.

У роботі [29] описано методику розрахунку, яка дозволяє достатньо точно визначити геометрію окремих зрізів, які знімаються зубцем черв'ячної фрези. Для цієї мети досліджується утворення стружки в різних січних площинах при проходженні зубця фрези по оброблюваній западині. На основі цих даних можна отримати уявлення про завантаженість окремих зубців інструменту і окремих ділянок ріжучих кромek одного зубця.

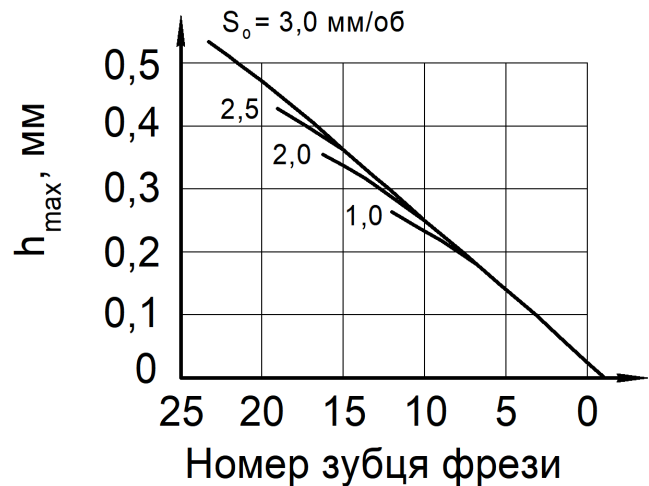


Рис. 2.15 Вплив вісєвої подачі на товщину зрізів

$h_{\max}$ - максимальна товщина зрізів;
 S_0 - величина подачі.

Дещо осучаснену та розвинену методику запропоновано у роботі [21]. Процес різання згідно цієї методики схематично представлений на рис. 2.16, а.

Через складну кінематику процесу формоутворення при зубофрезеруванні виникають складнощі із моделюванням, тому що кожна впадина зубчастого колеса утворюється шляхом послідовного проникнення зубцями фрези у заготовку в окремих твірних положеннях. Для врахування обертання фрези під час кожного проникнення зубця у впадину шестерні, було введено ряд радіальних січних площин – позицій повороту, для просторового описання поперечного перерізу стружки. На рис. 2.16, б показані фотографії стружок із зазначенням поверхонь заготовки та твірних положень, на яких вони отримані. У роботі було обчислено геометрію недеформованої стружки в різних позиціях повороту та

положеннях формоутворення міжзубової западини, яка також представлена на рис. 2.16, б.

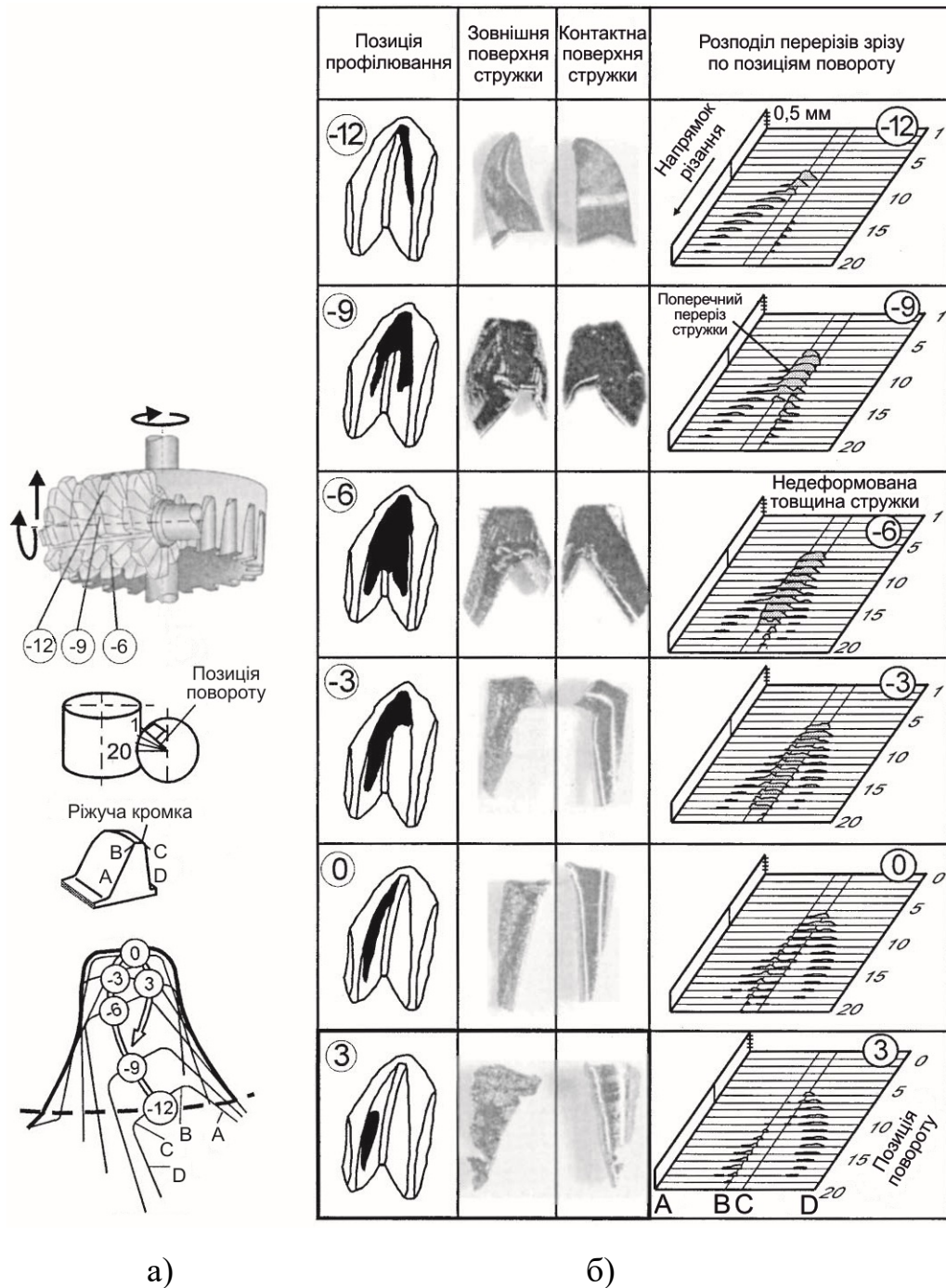


Рис.2.16 Процес стружкоутворення (а) і типові форми зрізів (б) на різних положеннях формоутворення при черв'ячному зубофрезеруванні.

Під час врізання інструменту в заготовку процес стружкоутворення, очікувано, відрізняється від стружкоутворення в зоні роботи інструменту на повну глибину різання, що продемонстровано на рис. 2.17. Те саме для перебігу.

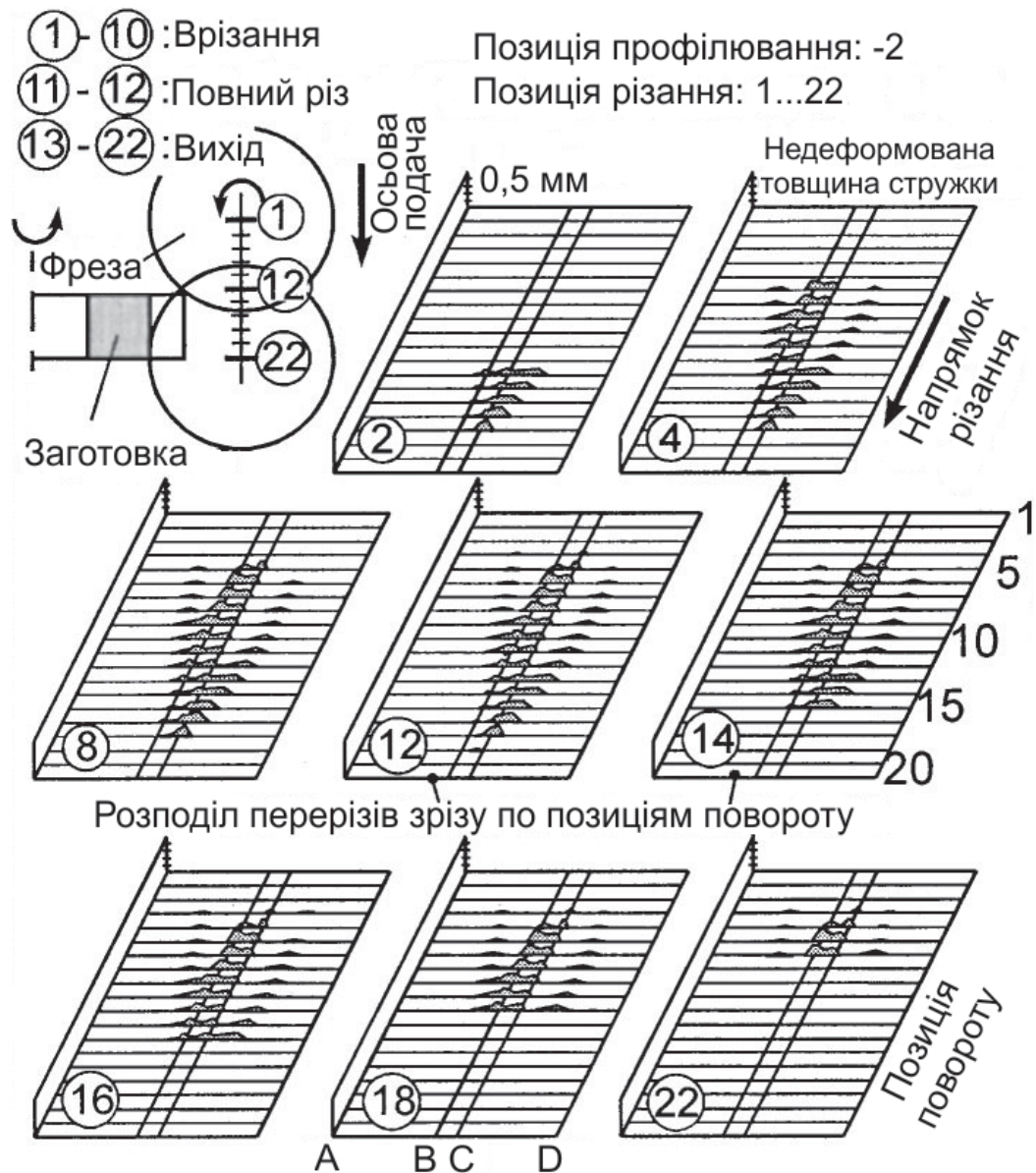


Рис.2.17 Поперечні перерізи недеформованих стружок в зоні врізання інструменту, виходу на повну глибину, та при виході з зони обробки.

Зі схем видно, що геометрія недеформованої стружки, з урахуванням напрямку різання, являється передньою або задньою частиною форми стружки, яка знімається при обробці при повній глибині різання. У твірних положеннях 11-му і 12-му, в даному випадку зубофрезерування, наявні форми різів із аналогічною формою та розмірами за прохід зубця інструменту. У той час як на інших позиціях формоутворення зрізаються фрагменти геометрії повного різ. При вході різальної кромки збільшується довжина стружки, а при виході, в аналогічних положеннях формоутворення, навпаки – довжина зменшується.

2.2.3 Аналіз факторів зносу зубців черв'ячних фрез

Проведений аналіз факторів, що впливають на знос зубців черв'ячних фрез, дозволяє виділити з них три групи: ті, що викликані геометрією різальної частини, викликані процесом різання, та пов'язані із параметрами оброблюваної деталі [29].

Перша група це зовнішній діаметр фрези, кількість витків, кількість стружкових канавок, напрямок гвинтової лінії витків, геометрія різального клину (передній та задній кути), радіальне биття інструменту на оправці, інструментальний матеріал фрези, тощо.

Елементи режиму різання можуть впливати через крок та періодичність вісєвих пересувок фрези, вісєвої подачі та швидкості різання, глибини різання, через метод фрезерування (зустрічне або попутне), через стан верстату, МОР. Також впливає якість встановлення та закріплення інструмента і заготовки.

Параметри оброблюваної деталі, які впливають на знос фрези: модуль, зовнішній діаметр, кут нахилу гвинтової лінії зубців, величина зміщення профілю, ширина зубчастого вінця і його матеріал.

Всі ці параметри також можна розділити на дві групи:

- 1) параметри, які безпосередньо впливають на геометрію взаємодії інструмента та оброблюваної деталі, які впливають на ширину та товщину зрізів, які знімаються кожним зубцем фрези;
- 2) параметри технології, тобто геометрія різальної частини, швидкість різання, фізична взаємодія пари оброблюваного-інструментального матеріалів, вид МОР, тощо.

Знос зубців черв'ячних фрез відбувається як по передній так і по заднім граням. Переважним є знос по задній поверхні, з огляду на малі значення задніх кутів. Схематично усі види елементів зносу зубця фрези приведено на рис. 2.18 [17]. Характер зносу, як правило, нерівномірний в наслідок ускладнених умов різання та стружкоутворення і набуває різних масштабів, які залежать від положення зубця відносно вісєвого перпендикуляру інструмент-деталь, як показано на графіку рис. 2.19.

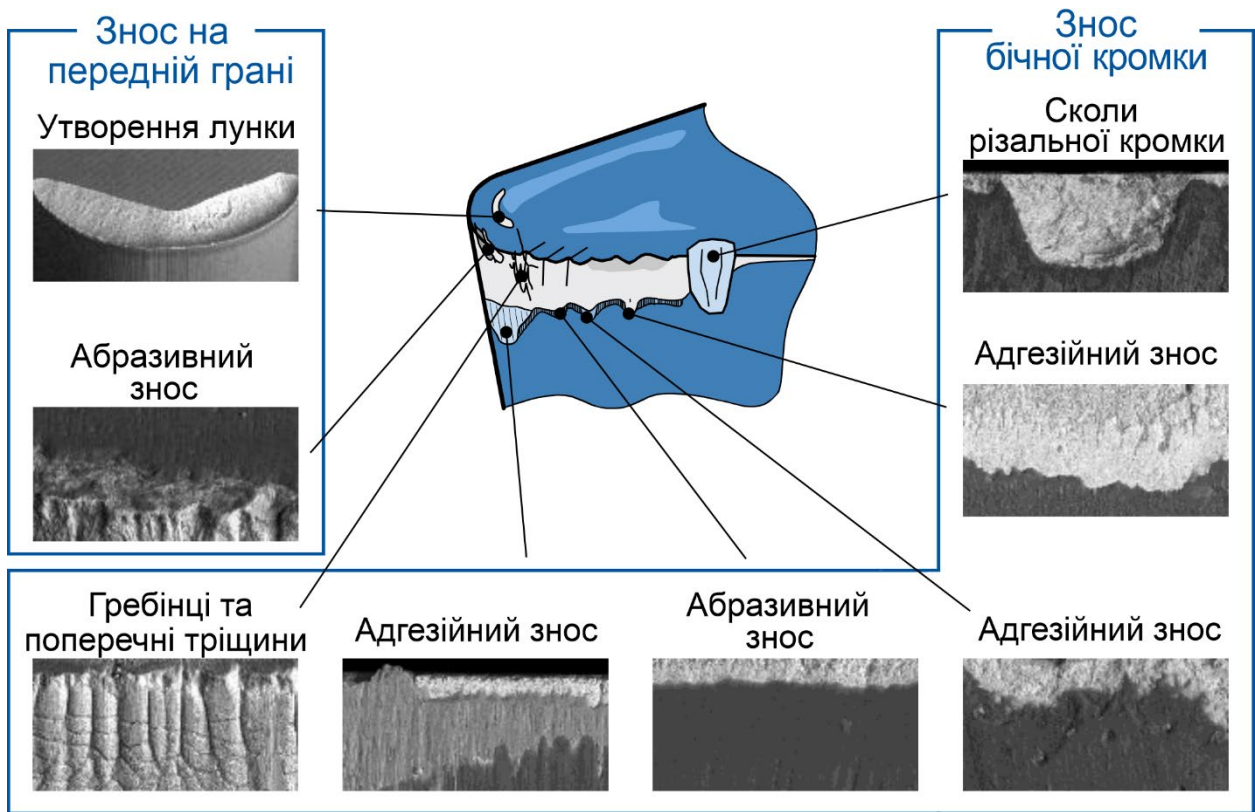


Рис. 2.18 Схема розташування елементів зносу на зубці черв'ячної фрези.

Беручи до уваги розподіл значень геометрії зрізів (рис. 2.16), можна зробити висновок, що параметри, які мають значний вплив на знос черв'ячної фрези це процес формування стружки і її потік. Як видно із рис. 2.18 [25, 29], найбільший знос по бічних кромках відбувається на переходах від вершинної кромки до бічних, де навантаження відносно невеликі. Найбільша величина зносу по задній грані спостерігається по куточках нижче вершинної кромки, де майже відсутнє різання, що дозволяє зробити висновок про відсутність прямої залежності між товщиною зрізу і зносом ріжучої кромки зубця фрези.

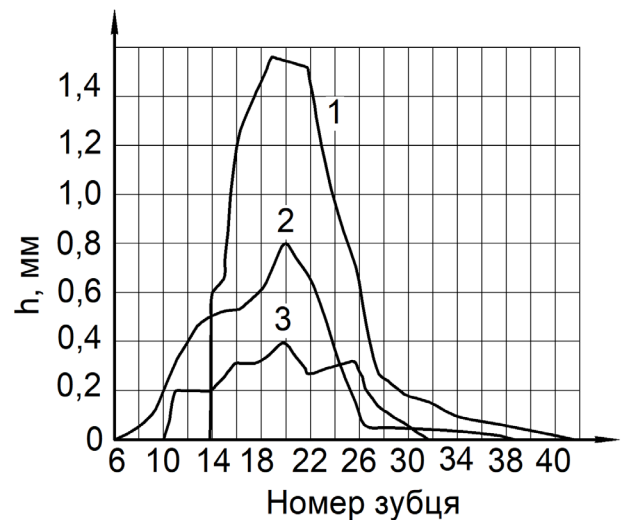


Рис. 2.19 Розподілення зносу задньої поверхні зубців черв'ячної фрези

1 – величина зносу по бічній вихідній кромці; 2 – величина зносу по бічній вхідній кромці; 3 – величина зносу по вершинній різальній кромці.

Знос черв'ячних фрез має сенс досліджувати в умовах виробництва, коли є можливість зібрати статистичні данні при різних умовах обробки. На рис. 2.20 наведено результати таких досліджень [25, 29]. Ширина стрічки зносу B у випадку, який розглядається, це найбільша величина зносу по бічним сторонам профілю зубця фрези.

На рис. 2.20, а верхня крива описує залежність величини зносу задньої поверхні від кількості оброблених шестерень. Крива виглядає звично, характеризується зростанням зносу на початку роботи фрези, після припрацювання фрези настає етап майже лінійного зростання зносу. При продовженні обробки, знос фрези зростає стрімко. Крива, що розташована знизу на рис. 2.20, а показує величину зносу, приведену до однієї обробленої деталі. Обумовлена крива має мінімум, який показує найбільш раціональний час та величину для вісевого пересування фрези, для зменшення витрат на інструмент.

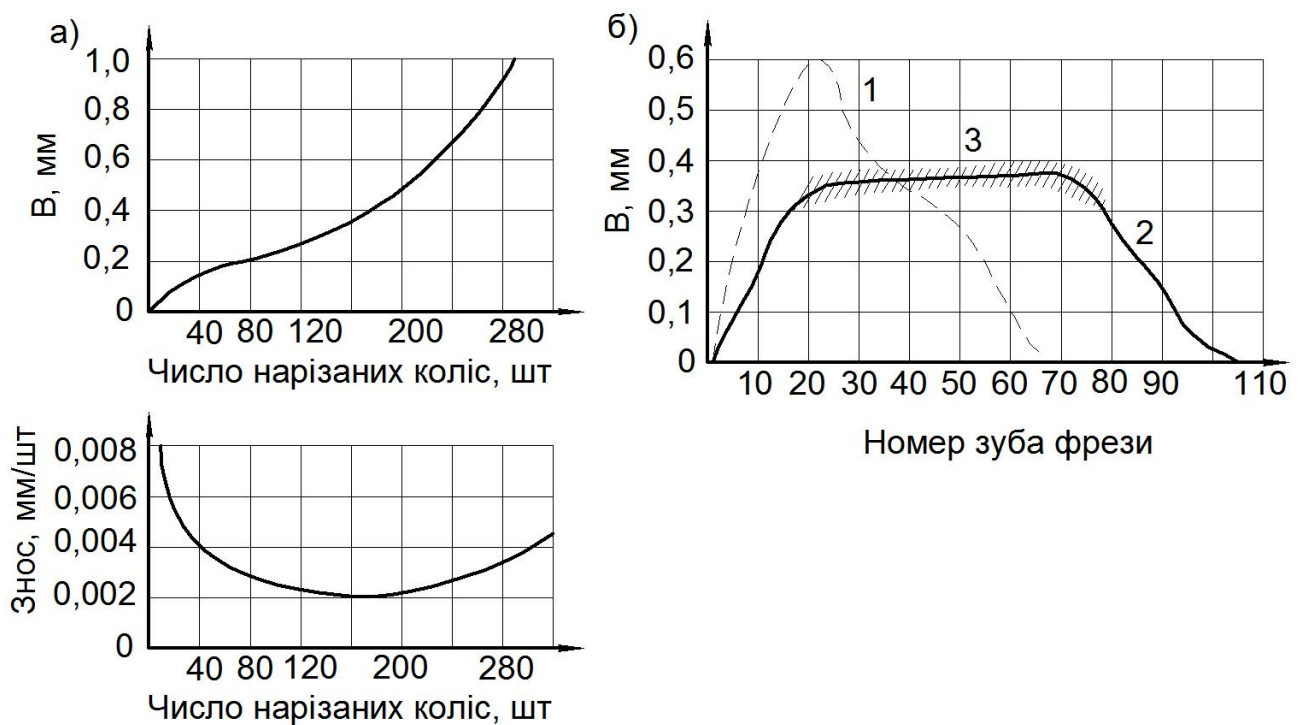


Рис. 2.20 Залежність величини зносу по бічній задній поверхні зубця від кількості нарізаних коліс (а) та порівняння зносу окремих зубців черв'ячної фрези при роботі з вісевими пересувками та без (б).

B – величина зносу, мм; 1 – обробка 40 деталей без вісевої пересувки; 2 – обробка 160 деталей із кроком пересувки 0,64 мм/пакет; 3 – поле розсіювання даних.

Результати дослідження впливу вісєвих пересувок фрези приведено на графіку рис.2.20, б, де показано величини зносу зубців фрези при нарізанні 40 коліс без вісєвого пересування та при нарізуванні 160 коліс з вісєвим пересуванням фрези. При роботі фрезою без пересувок, обробка здійснюється одними і тими ж зубцями фрези, тому максимальному значенню зносу підлягає обмежена кількість зубців. У випадку обробки з вісєвими пересувками фрези, у зоні високого навантаження знаходяться, при черговій пересувці, раніше не задіяні зубці фрези, тому знос майже однакової величини розповсюджується по всій довжині різального інструменту.

Особливий інтерес представляють результати дослідження впливу елементів режиму різання на зношування зубців черв'ячних фрез. На рис. 2.21, а показано як розподіляється величина зносу на окремих зубцях черв'ячної фрези, в залежності від вісєвої подачі. На рис.2.21, б приведено поле максимальних значень зносу відносно значень подачі.

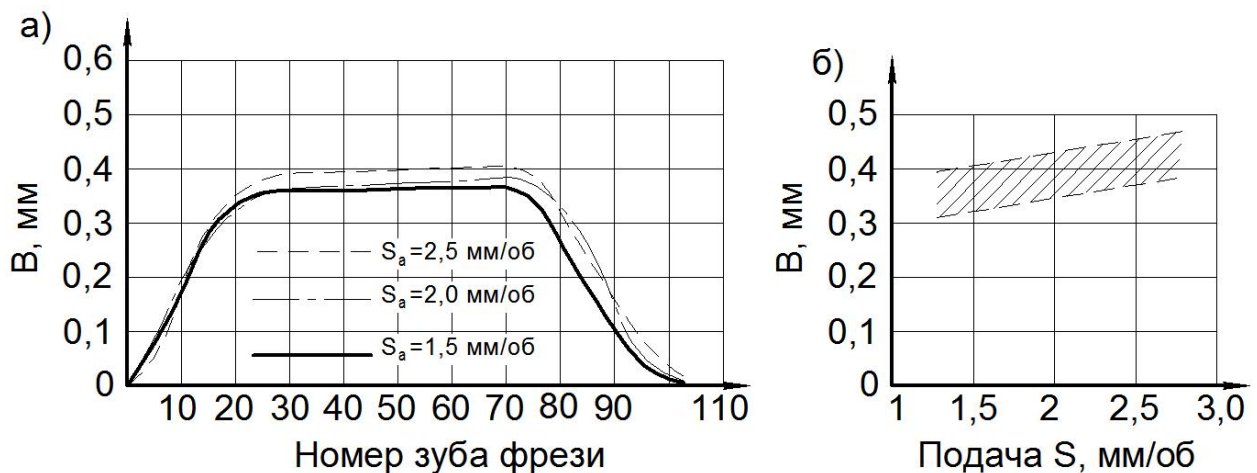


Рис. 2.21 Вплив подачі на величину зносу зубців черв'ячної фрези.

а) розподілення зносу по зубцям фрези, в залежності від подачі;

б) величина зносу як функція вісєвої подачі.

B – величина зносу, мм; S_a – вісєва подача, мм/об.

Аналізуючи приведені графіки можна зробити висновки, що при малих значеннях подачі знос виникає в результаті великої кількості врізань фрези у заготовку, які необхідні для зняття всього обсягу стружки; товщина одиничних зрізів і сила різання при цьому невелика. Однак при збільшенні подачі товщини зрізів зростають, та збільшується навантаження на ріжучі кромки інструменту та

збільшується температура різання, хоча число врізань зменшується. Порівнюючи середні значення зносу при різних подачах видно, що підвищення зносу фрези, в результаті збільшення подачі, незначне і з лихвою нівелюється отриманим підвищенням продуктивності обробки (зменшення машинного часу). На основі цього можна зробити висновок, що в інтервалі подач, який розглядається, збільшення подачі обмежується не зносом черв'ячної фрези, а якістю обробки, зокрема, слідами вісевої подачі, які виникають на профілях оброблених зубців.

2.2.4 Аналіз впливу режимів різання на силу різання, яка виникає при черв'ячному зубофрезеруванні

У відомих дослідженнях сил різання при черв'ячному зубофрезеруванні [25, 29] стверджується, що сили різання, які сприймають кожна різальна кромка кожного окремого зубця фрези, можна визначити, знаючи величини перетинів зрізу, які нею знімаються. Їх визначення дозволить також спрогнозувати знос фрези, або виконати раціональний підбір інструментальних матеріалів. Вплив швидкості різання і подачі інструменту на товщину і ширину зрізів при черв'ячному зубофрезеруванні дуже незначний. Геометричні параметри зрізів залежать, переважно, від геометричних параметрів фрези і заготовки.

На рис. 2.22 показано величини головної сили різання F_z , яка виникає на окремих зубцях черв'ячної фрези. Значення дані для трьох різних величин подач при зустрічному черв'ячному зубофрезеруванні прямозубих шестерень. З графіку видно, що на вхідній стороні фрези (значення +) сили різання мають високі значення і як поступово спадають до кінця активної ділянки лінії зачеплення. Незалежно від величини вісевої подачі, на всіх зубцях фрези сили різання майже однакові, за винятком зубів, які вступають в роботу першими. Викликано це тим, що ширина та товщина зрізів на цих позиціях визначається переважно геометрією черв'ячної фрези і оброблюваної заготовки.

З рис.2.22 також видно, як збільшується кількість працюючих зубців фрези із збільшенням подачі: при величині вісевої подачі в 1 мм/об на вхідній стороні фрези приймають участь у обробці тільки 13 зубів, при подачі 2 мм/об – вже 17,

тоді як при подачі 2,5 мм/об – 20, тобто майже на половину більше, ніж при подачі 1 мм/об.

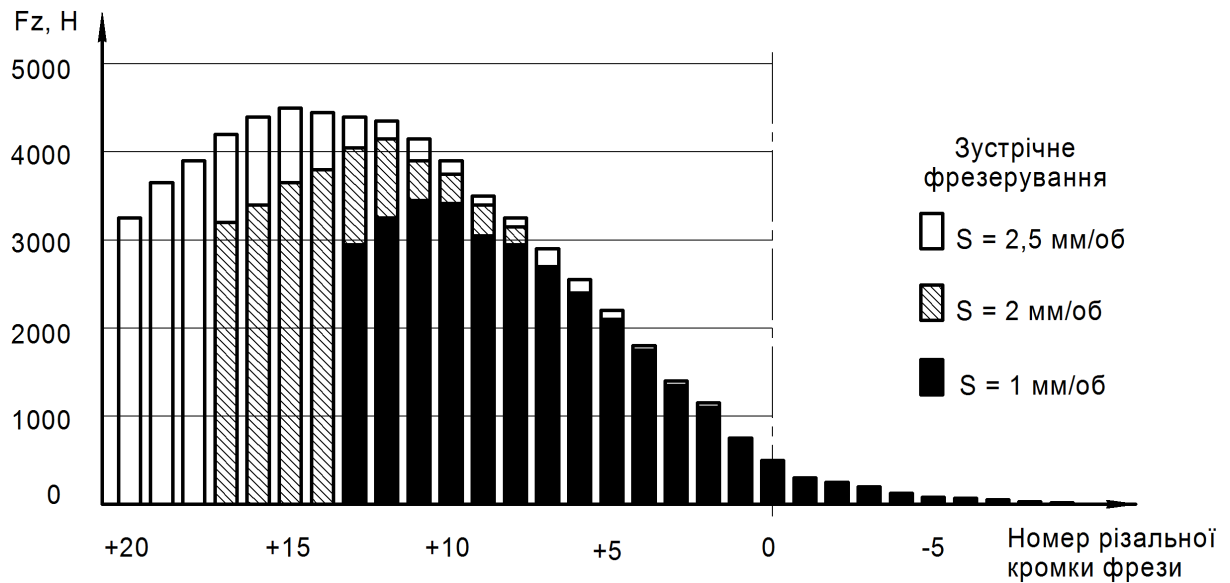


Рис. 2.22 Вплив величини подачі на силу різання при зубофрезеруванні.

F_z – головна сила різання; S – вісєва подача.

Наведена на рис. 2.22 діаграма також підтверджує, що окремі різальні кромки черв'ячної фрези навантажуються неоднаково під час роботи, внаслідок чого слід очікувати і неоднаковий знос.

На рис.2.23 показані результати дослідження [25, 29] впливу вісєвої подачі на значення складової сили різання F_z при зустрічному черв'ячному зубофрезеруванні.

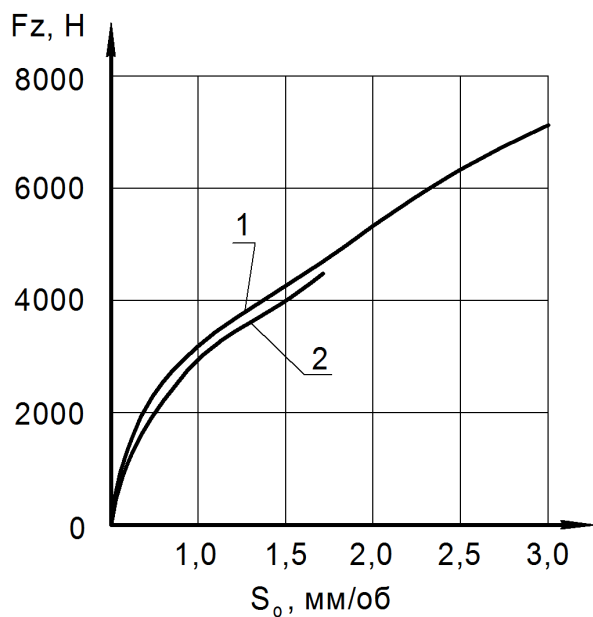


Рис. 2.23. Вплив вісєвої подачі на значення головної сили різання F_z .

1 – розраховані значення;
2 – заміряні значення.
Параметри шестерні: $m = 5$ мм; $z = 9$;
матеріал деталі - сталь 45; $\beta_o = 0^\circ$.
Параметри фрези: $d_k = 100$ мм; $g = 1$;
 $i = 10$; $\gamma_o = 0^\circ$.

Сила різання у випадку, який розглядається, стрімко зростає із збільшенням величини подачі до $S = 1,25$ мм/об, а вище цієї подачі зростання сили різання дещо уповільнюється. При $S = 3$ мм/об значення сили різання F_z приблизно в два рази перевищує свої значення при $S = 1,5$ мм/об.

У тій же роботі [29], досліджувалося як впливає швидкість різання на головну силу різання при черв'ячному зубофрезеруванні, та показано несуттєвий її вплив. Для всіх матеріалів заготовки, які досліджувались, значення сили майже не змінювалося при швидкостях різання ≥ 50 м/хв, та мали тенденцію до зростання при зменшенні швидкості різання. Тенденція до зменшення F_z не залежить від методу фрезерування та параметрів оброблюваної деталі, як це можна спостерігати під час підвищенням швидкості різання до 20 м/хв. Як видно з графіків на рис. 2.24, при подальшому збільшенні швидкості різання сила F_z не зменшувалася. Вихідні данні дослідження наведено у табл. 2.1.

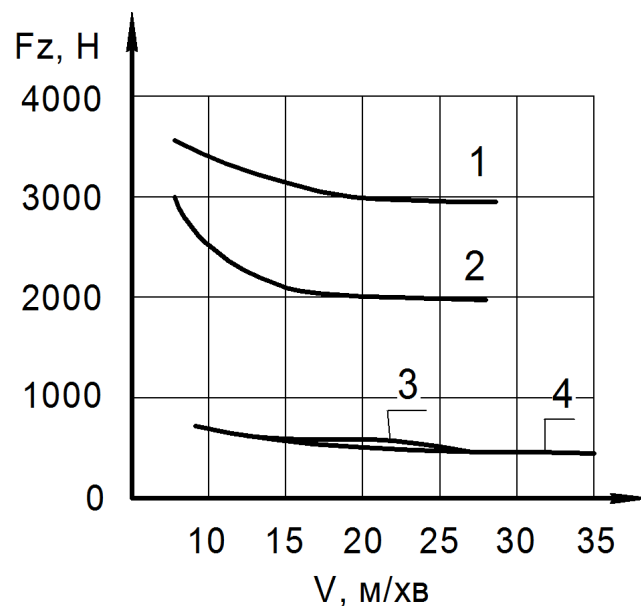


Рис. 2.24. Залежність головної сили різання F_z від швидкості різання V
Матеріал деталі – сталь 45; глибина різання: 2м; зміщення профілю: $x = 0$; колесо прямозубе.

Таблиця 2.1.

Крива	Параметри коліс			Параметри фрез		d_k , мм	i
	модуль m , мм	z	S , мм/об	Вид фрезерування	Фреза		
1	5	9	3	Зустрічне	P6M5	100	10
2	3	10	2		P6M5	100	10
3	5	8	1	Попутне	P6M5	100	10
4	5	8	1		P6M5K5	100	10

Крива залежності сили різання від швидкості різання під номером 1 це особливо наочно підтверджує. Чисельне значення подачі становить в цьому досліді приблизно 2/3 від величини модуля.

Головна сила різання F_z крім елементів режиму різання залежить також від параметрів заготовки, зокрема від числа зубців і коефіцієнту зміщення профілю. Число стружкових канавок черв'ячної фрези та її радіальне биття при обертанні також впливають на величину сили різання.

2.2.5 Аналіз сучасних інструментальних матеріалів та зносостійких покриттів, які використовуються при виробництві черв'ячних фрез

Аналіз відомих досліджень за останні десятиліття [14, 15, 17, 19, 26], проведених з метою вдосконалення черв'ячного зубофрезерування, показав, що вони переважно зосереджені на інструментальних матеріалах та на системах зносостійкого покриття. Разом ці розробки дали змогу виконувати обробку при значно вищих швидкостях різання та підвищили термін служби інструменту. Завдяки проведеним вдосконаленням, такі процеси як зубофрезерування без МОР (сухе зубофрезерування) стали реальністю.

Розповсюджені на початку розвитку цього напрямку фрези зі звичайних інструментальних швидкорізальних сталей (наприклад, EMo5Co5 або M35) покривалися нітридом титану (TiN). Це покриття не задовольняло вимог сухого зубофрезерування, особливо при нанесенні на твердосплавні фрези. Мали місце проблеми із надійністю та довговічністю інструменту, а також під час переточування із наступним відновленням покриття, тож розвиток напрямку був дещо пригальмований. Розвиток і впровадження технологій більш жаростійких покриттів, наприклад титан алюміній нітрид (TiAlN), у поєднанні з високолегованими та більш однорідними порошковими швидкорізальними сталями (PM-HSS), повернуло сухе зубофрезерування на правильний шлях.

На сьогодні, сухе зубофрезерування фрезами із PM-HSS, або з твердого сплаву не є рідкістю. А покриття на основі нітриду алюміній-хрому (AlCrN), яке

набуло розповсюдження останній час, дозволило підвищити швидкість різання та подачу при зубофрезеруванні ще більше у багатьох випадках застосування.

Окрім більш однорідної структури, основною перевагою порошкових швидкорізальних сплавів є здатність містити більшу кількість легуючих елементів, табл. 2.2 [26, 31]. У деяких сплавів залишковий вміст заліза було зменшено з приблизно 70% для стандартних сталей (наприклад, ASP2030, S590 або Rex 45) до мінімум 55–60% для так званих «перехідних» (наприклад, ASP2080, S290 або Rex 121). Ці надзвичайно леговані сталі більше схожі на твердий сплав, ніж на PM-HSS, та мають вищу зносостійкість, хоча й вищу крихкість. Таким чином, середньо леговані матеріали, такі як ASP2052, S390 або Rex 76, є гарним компромісом для високопродуктивної зубофрезерної обробки.

Таблиця 2.2

Марка матеріалу	Вміст елементів, %					
	C	Cr	Mo	V	W	Co
ASP2030, S590, Rex 45	1.28	4.2	5	6.4	3.1	8.5
ASP2052, S390, Rex 76	1.65	4.82	2.1	4.9	10.5	8.1
ASP2080, S290, Rex 121	2	3.75	14.3	2.5	5	11

Що стосується різних систем покриття, то найважливіші їх характеристики зведено у табл. 2.3 для порівняння [27].

Таблиця 2.3.

Найменування	Матеріал покриття	Мікротвердість (HV)	Коефіцієнт тертя зі сталлю	Внутрішнє напруження, ГПа	Жаростійкість, С°	Колір	Структура
BALINIT® A	TiN	2300	0,4	-2,5	600	Золотий-жовтий	Одношарова
BALINIT® ALCRONA	AlCrN	3200	0,35	-3	1100	Сіро-голубий	Одношарова
BALINIT® B	TiCN	3000	0,4	-4,0	400	Сіро-голубий	Багатошарова, градієнтна
BALINIT® C	WC/C	1000/2000	0,1-0,2	-1,0	300	Чорно-сірий	Пластинчаста
BALINIT® D	CrN	1750	0,5	-1,5/-2,0	700	Срібло-сірий	Одношарова

Продовження табл. 2.3.

Найменування	Матеріал покриття	Мікротвердість (HV)	Коефіцієнт тертя зі сталлю	Внутрішнє напруження, ГПа	Жаростійкість, С°	Колір	Структура
BALINIT® Diamond	Полі-кристал	8000-10000	0,15-0,2	-	600	Світло-сірий	Одношарова
BALINIT® Futura Nano	TiAlN	3300	0,30-0,35	-1,3/-1,5	900	Фіолетово-сірий	Наноструктура
BALINIT® Futura Top	TiAlN	3300	0,25	-1,3/-1,5	900	Фіолетово-сірий	Наноструктура
BALINIT® G	TiCN+TiN	3000	0,4	-4,0	400	Золотий-жовтий	Багатошарова, градієнтна
BALINIT® Hardlube	TiAlN+WC/C	3000	0,15-0,2	-1,7/-2,0	800	Темно-сірий	Багатошарова, пластинчаста
BALINIT® Triton	DLC (a-C-H)	2500	0,1-0,2	-	350	Чорно-сірий	Одношарова
BALINIT® X.Ceed	TiAlN	3300	0,4	-3,0/-3,5	900	Сіро-голубий	Одношарова
BALINIT® X.Treme	TiAlN	3500	0,4	-4,0	800	Фіолетово-сірий	Одношарова

Хоча вища твердість покриття TiCN порівняно із покриттям TiN продемонструвала потенціал для покращення продуктивності інструменту при різанні із МОР, низька жаростійкість обох покриттів була недостатньою для реалізації на їх основі сухого зубофрезерування. Ефективна реалізація сухої обробки стала можливою за допомогою покриттів TiAlN, і особливо нового покриття AlCrN. Завдяки максимальним робочим температурам 900...1100 С°, у поєднанні з їхньою теплоізоляційною дією на матеріал корпусу фрези стало можливим досягнення нового рівня ефективності сухого різання.

Однак, вища продуктивність означає вищу ціну, рис. 2.25 [26]. Як правило, на черв'ячних фрезах із PM-HSS покриття TiAlN коштує приблизно на 20% дорожче, ніж покриття TiN. Покриття AlCrN буде коштувати додатково на 30% дорожче порівняно з покриттям TiAlN або приблизно на 55% дорожче, ніж покриття TiN. Ціни на твердосплавні черв'ячні фрези зазвичай приблизно на 20% вищі, ніж на інструменти із PM-HSS.

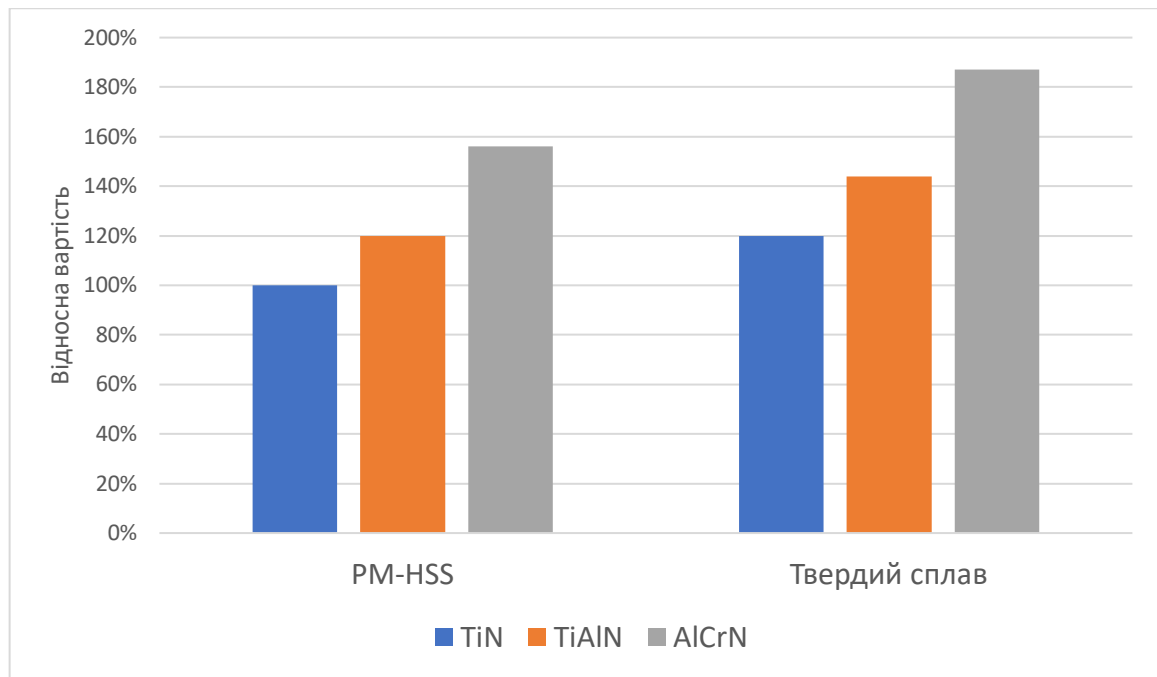


Рис. 2.25 Відносна вартість покриття інструментальних сталей.

Завдяки, зазвичай, нижчій вартості інструменту, PM-HSS фактично є кращим інструментальним матеріалом для черв'ячних фрез, особливо для малих модулів (наприклад, автомобільна та тракторна промисловість). Для PM-HSS характерною рисою є його надійність при зношуванні в широкому діапазоні застосувань. Твердий сплав, в свою чергу, має переваги в області обробки високоміцних матеріалів ($\sigma_b > 900 \text{ Н/мм}^2$), завдяки своїй високій зносостійкості. При обробці матеріалів низької та середньої міцності ($\sigma_b = 500 \dots 700 \text{ Н/мм}^2$) інструмент із PM-HSS зазвичай забезпечує більшу товщину стружки (більшу подачу), а з твердого сплаву – вищі швидкості різання.

Остаточне рішення щодо вибору раціонального інструментального матеріалу має базуватися на детальному аналізі вартості обробки за штуку, рис 2.26 [26]. Передбачається, що використання PM-HSS призводить до зниження вартості інструменту (в даному випадку на 16%). Твердосплавні інструменти пропонують менший час обробки (22%) і, отже, менші витрати на обробку. У цьому прикладі обидві переваги майже нівелюють одна одну щодо вартості за штуку. Це чітко демонструє, що рішення щодо раціонального вибору інструментального матеріалу завжди має прийматися на основі умов конкретного

випадку. Якщо немає значних переваг від використання твердого сплаву, то в більшості випадків фактично віддають перевагу PM-HSS через його більш надійну роботу та менші інвестиційні витрати.

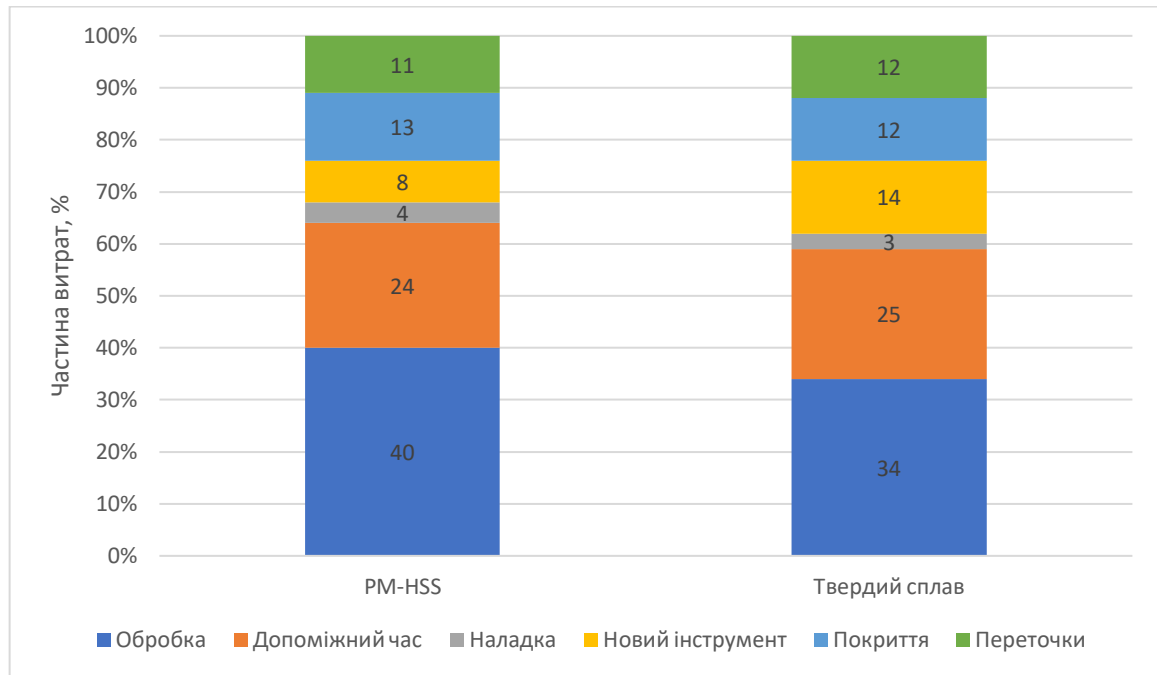


Рис. 2.26 Приклад розрахунку вартості обробки однієї деталі.

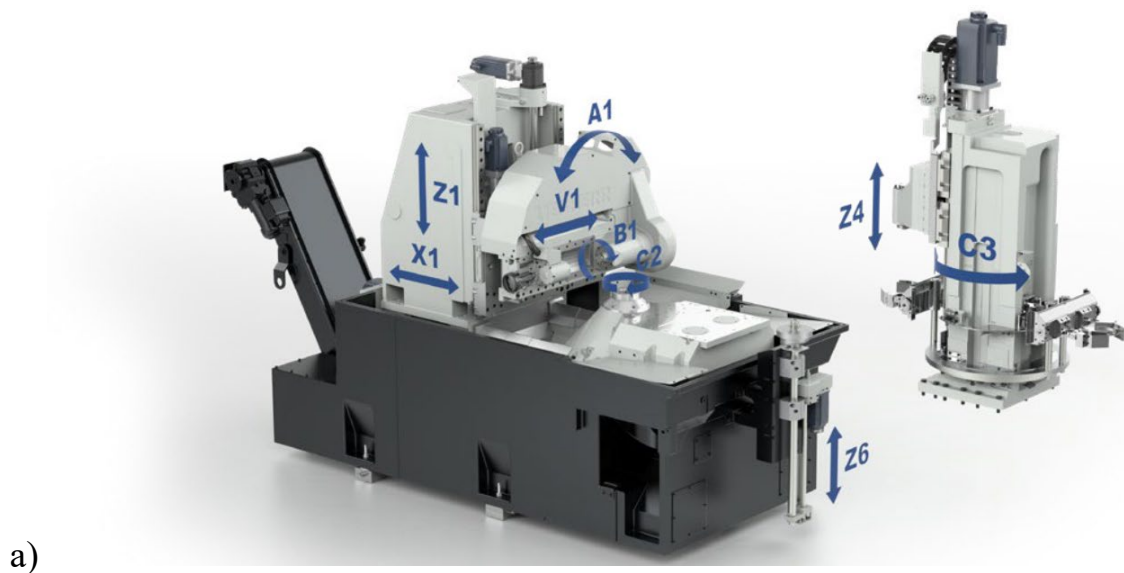
Також, цей приклад вказує на кілька інших аспектів. Якщо обробку виконувати на старому верстаті, то автоматизація процесу досить повільна, або відсутня. Таким чином, допоміжний час (завантаження-вивантаження заготовки тощо) може сягати близько 40% часу циклу. Один із принципів автоматизації полягає в тому, що чим вищі параметри різання (швидкість і подача) і менший час обробки, тим швидшою повинна бути автоматизація.

Ще один цікавий момент полягає в тому, що досить висока вартість інструменту, яка може сягати близько 35% вимагає незначних інвестицій в інструмент, в розмірі близько 10%. Тобто, ціна нового інструменту не повинна бути основним критерієм, оскільки вона має дуже незначний вплив на загальні витрати. Навіть навпаки, якщо висока ціна за інструментальний матеріал чи покриття фрези пов'язана з вищою продуктивністю, ця інвестиція у багатьох випадках окупається.

2.2.6 Аналіз конструкції сучасних зубофрезерних верстатів

За останні десятиліття, зубофрезерні верстати також значно вдосконалилися, хоча й рушійною силою розвитку технології черв'ячного фрезерування все ж таки був розвиток інструменту.

Основним трендом сучасних зубофрезерних верстатів [19, 22, 24] є використання систем ЧПУ, а отже відмова від механічних ланцюгів (шестерень, валів, шківів, ременів) та використання мехатронних модулів із прямим приводом, рис. 2.27 [19, 24]. Такими модулями можуть бути як допоміжні механізми, так і основні робочі органи верстату – фрезерний шпіндель та шпіндель заготовки.



а)

Рис. 2.27 Основні робочі рухи виконавчих органів (а) та зовнішній вигляд (б) зубофрезерного верстата.



б)

X1 – радіальне переміщення фрезерної стійки; V1 – тангенціальне переміщення різального інструменту; Z1 – осьове переміщення фрезерної головки; B1 – обертання різального інструменту; C2 – обертання заготовки; A1 – поворот шпінделя; Z4 – вертикальне переміщення контрпідтримки; C3 – обертання кільцевого навантажувача.

Шпінделі інструменту з прямим приводом широко представлені на ринку такими виробниками як HAAS, IBAG, GMN, YAMA SEIKI, SPINDER, та іншими.

На прикладі шпінделя з прямим приводом фірми GMN, рис. 2.28 [23], можна дослідити типову конструкцію. Шпіндель позбавлений кінематичних ланцюгів, статор електродвигуна монтується у корпусі, а ротор фактично і являється шпінделем інструмента. Виріб має датчики, інформація з яких надходить до системи ЧПУ верстата і служить для адаптації до умов різання.

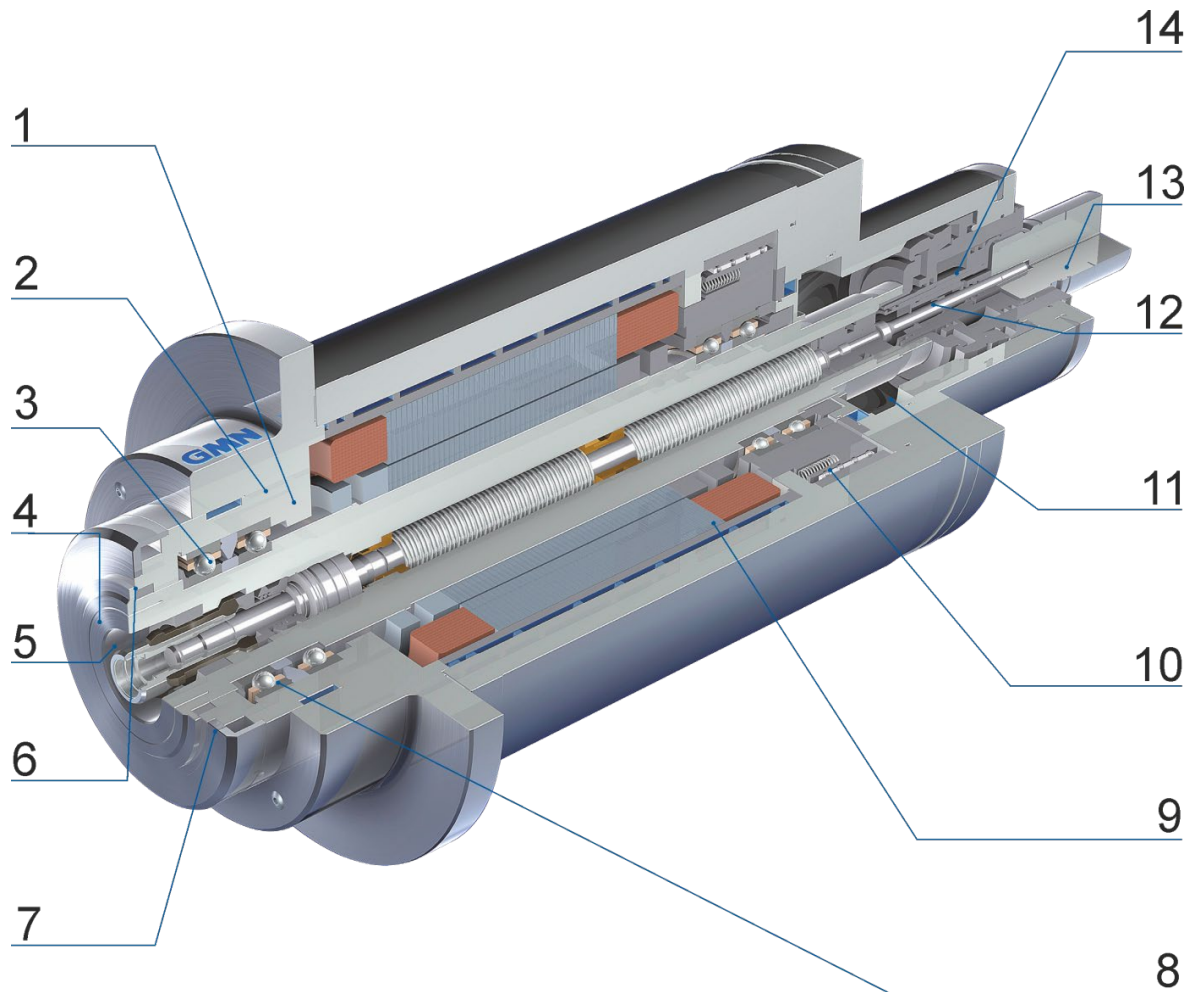


Рис. 2.28 Фрезерний шпіндель із прямим приводом GMN [23]

- 1 – демпфер; 2 – датчик вібрації; 3 – прецизійні шпіндельні підшипники; 4 – пневматичний датчик контролю контакту інструментальної оправки і шпінделя; 5 – очищувач інструментального конусу; 6 – система захисту від забруднень; 7 – датчик осьового зазору; 8 – температурний датчик; 9 – ротор і статор прямого приводу; 10 – система адаптивного попереднього натягу підшипників; 11 – енкодер; 12 – датчик затиску інструменту; 13 – поворотний блок системи змащування; 14 – система розтиску інструменту.

По аналогії з фрезерним шпінделем, шпіндель заготовки також виконується по схемі прямого приводу, як показано на рис. 2.29 [28]. У

конструкції відсутня традиційна для зубофрезерних верстатів черв'ячна ділильна передача, яка являлась перепоною для забезпечення високих швидкостей обертання, що підтримуються сучасними інструментами.

Поворотні столи з прямим приводом виробляються фірмами HAAS, FIBRO, UCAM, ETEL, LCM, та іншими.

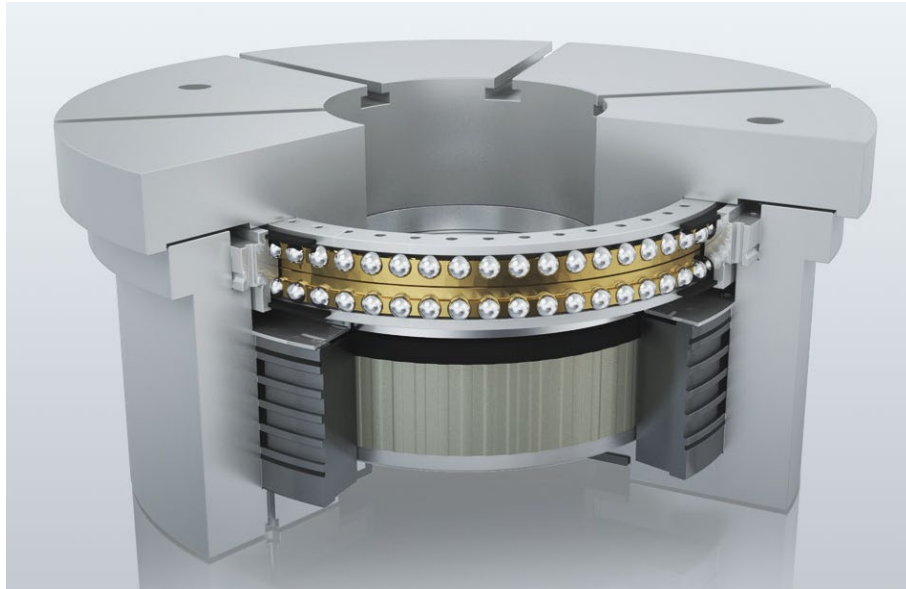


Рис. 2.29 Поворотний стіл з прямим приводом Schaeffler [28].

2.2.7 Перспективи реалізації технології чистового черв'ячного зубофрезерування

Незважаючи на те, що чистова абразивна обробка загартованих шестерень (наприклад, хонінгування або шліфування) має сильні позиції, «м'яка» чистова обробка незагартованих шестерень (наприклад, шевінгування) все ще економічно більш ефективна. І хоча шевінгування все ще є найбільш розповсюдженим процесом «м'якої» фінішної обробки, чистове зубофрезерування досягло великих успіхів завдяки підвищеній точності сучасних фрезерних верстатів у поєднанні з високоякісними інструментами [25] (точності AAA або кращої).

Таким чином, розрив у якості обробки між чистовим зубофрезеруванням і шевінгуванням продовжує скорочуватися. Там, де це можливо, чистове черв'ячне зубофрезерування забезпечує найкоротший технологічний маршрут виготовлення деталі [26].

Якщо порівнювати обидва процеси безпосередньо, то шевінгування являє собою усталений, дуже економічний процес, особливо в масовому виробництві. З одного боку, цим методом можна досягти дуже високої точності евольвентного профілю до термічної обробки, з іншого – шевінгування завжди буде процесом різання, який вимагає МОР, та на рівні розвитку фактично знаходиться близько до своїх технологічних меж. Потенціал для майбутнього демонструє чистове черв'ячне зубофрезерування, зокрема, його можливість виконувати «суху» обробку, без використання МОР, та впроваджувати нові концепції інструментів.

Сучасна технологія черв'ячного зубофрезерування замінює весь маршрут лезової обробки шестерень з використанням МОР (зубофрезерування, зубодовбання, шевінгування) на «сухе» зубофрезерування у два проходи. Добре підходять для цього застосування твердосплавні черв'ячні фрези, завдяки своїй високій зносостійкості та можливості реалізувати вищі значення швидкості різання, що дозволяє значно скоротити час циклу. Важливо, що технологія прямого приводу робочих органів зубофрезерних верстатів (див. р. 2.2.6) має змогу забезпечити необхідні оберти шпинделя для найвищих швидкостей різання. Як правило, досяжна якість шестерень знаходиться в районі 6–7 квалітету по DIN 3962 [25].

У таких звичайних процесах чистового фрезерування перший і другий проходи виконуються однією черв'ячною фрезою без пересувок. Недоліком тут є те, що завжди існує компроміс щодо конструкції різальної частини інструменту, щоб відповідати потребам чорнового і чистового переходу. Наприклад, об'єм стружки в першому проході набагато більший, тому потрібно більше місця в пазах. Товщина стружки та довжина стружки менші під час другого проходу, що дозволяє використовувати більш тверді інструментальні матеріали на вищих швидкостях різання.

Перший крок у напрямку окремої оптимізації для обох проходів показано на рис. 2.30 [25, 26]. Завдяки використанню сучасних систем ЧПУ можливості для оптимізації інструменту стають ще більшими.

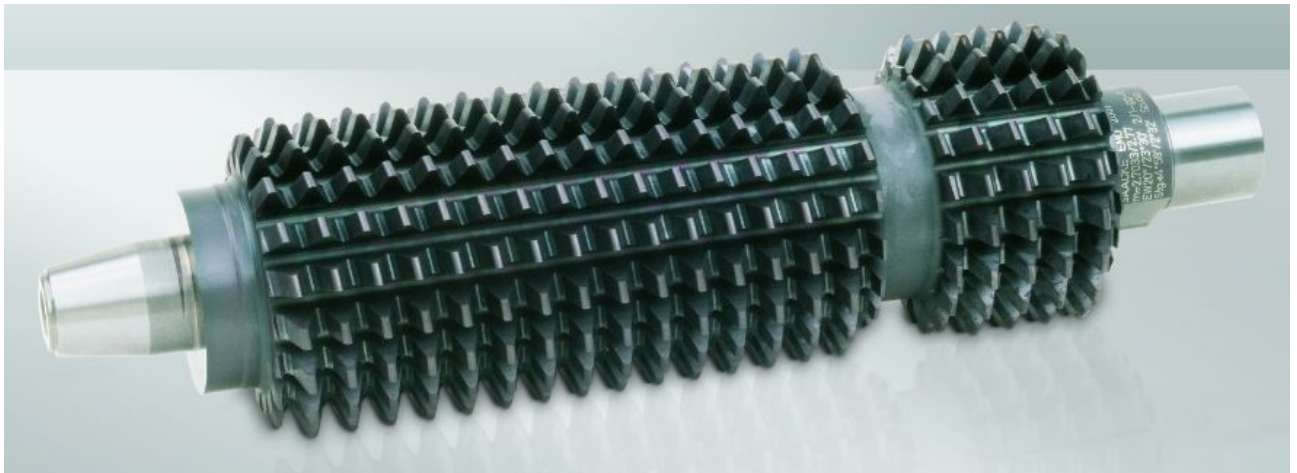


Рис. 2.30 Фрезерна оправка із розділенням чорнової та чистової зони.

У цьому випадку поверхню черв'ячної фрези було розділено на дві зони – довшу чорнову та коротшу чистову. Поділ чорнової та чистової зони відкриває численні нові можливості для оптимізації процесу. Наприклад, термін служби інструменту зони чистової обробки дуже високий, оскільки вплив чорнової обробки на процес зношування усувається, а кількість видаленого матеріалу мінімізується. Зона чорнової обробки також показує підвищений термін служби інструменту, оскільки знос більше не впливає на якість заготовки, і в цій зоні немає додаткового зносу, викликаного другим переходом. Завдяки такій раціоналізації загальна кількість деталей, що оброблюються на одну заточку, збільшується. Крім того, обидві зони різальної частини черв'ячної фрези можна оптимізувати незалежно одна від одної відповідно до конкретних потреб кожного переходу. По перше, реалізувати різну кількість заходів, що може скоротити час різання. По друге, задати різні профілі вихідного контуру інструменту в обох зонах, для того, щоб фінішна фреза здійснювала обробку лише бічних поверхонь зубців шестерні, тобто усувала гребінці з першого переходу. Завдяки такій схемі, теоретичний припуск у міжзубовій западині (де мають місце найскрутніші умови різання) буде рівний нулю.

Досягнута якість задокументована на рис. 2.31. Як правило, евольвентний профіль зубця шестерні визначає рівень якості. Оскільки якість черв'ячної фрези найбільше впливає на кінцеву точність евольвентного профілю, насправді є

максимальний потенціал для покращення якості. У цьому випадку була досягнута дуже хороша загальна якість.

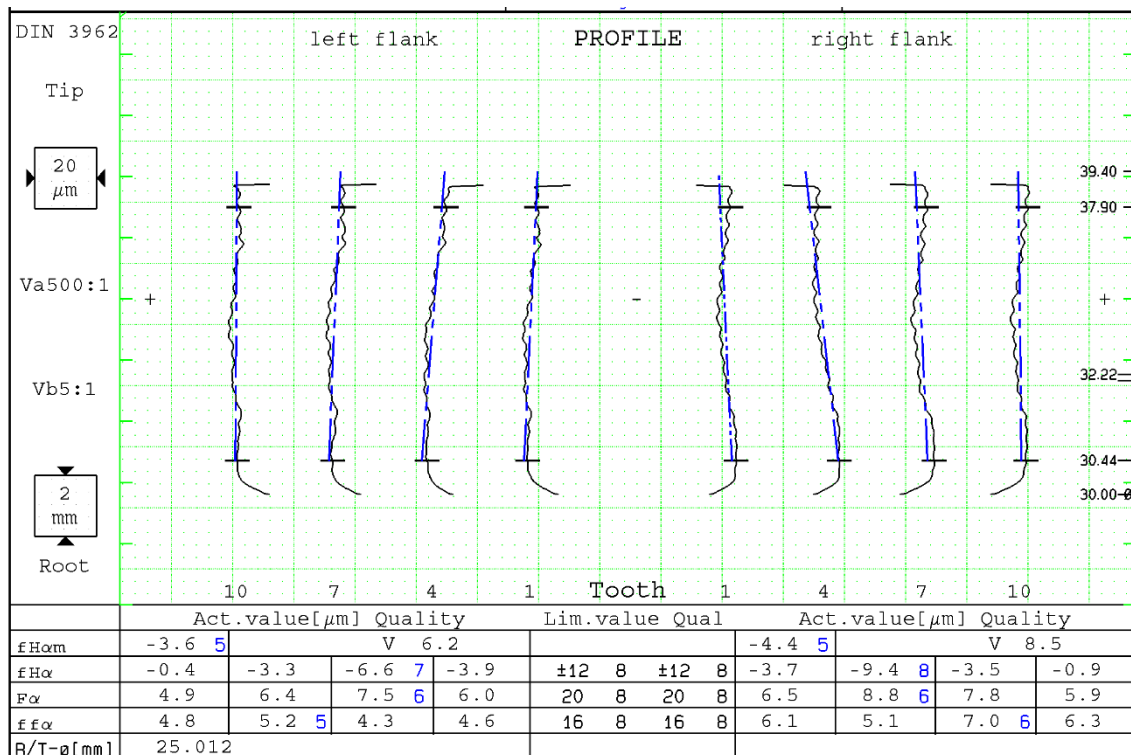


Рис. 2.31 Протокол обмірів обробленої деталі.

У цьому випадку була досягнута якість поверхні $R_a = 0,35$ мкм після чистового фрезерування [26]. Це підтверджує постулат, що використання високоякісних інструментів і сучасних фрезерних верстатів у поєднанні з відповідною технологією обробки може усунути розрив або навіть перевершити рівень якості шевінгування в деяких випадках.

2.3 Висновки

1. У розділі було проаналізовано методи механічної лезової обробки шестерень з метою визначення основних напрямків підвищення ефективності технології.
2. Проведений аналіз досліджень та джерел за останні роки щодо сучасного стану технології обробки зубчастих коліс, та визначено, що різними дослідниками та фірмами-виробниками особливо багато зусиль було приділено черв'ячному зубофрезеруванню.

3. Було проведено аналіз відомих «слабких місць» та органічно притаманних недоліків технології черв'ячного зубофрезерування. На точність процесу впливає велика кількість факторів, зокрема:

- перенесення похибок виготовлення або переточувань різального інструменту на евольвентні поверхні шестерень;
- нерівномірний або підвищений знос різального інструменту в процесі експлуатації, невідповідне стружкоутворення, малі значення задніх кутів;
- наявність зносу або зазорів напрямних верстата, в кінематичних ланцюгах, та підвищений знос ділильної черв'ячної пари верстата.

У кожному конкретному випадку, за наявності відхилень від геометричної точності зубців необхідно проводити обстеження верстата, інструменту і засобів технологічного оснащення на відповідність їх заданим нормам точності. При цьому необхідно чітко розділяти випадкові і систематичні похибки обробки.

4. Було представлено та обговорено кілька нових розробок щодо технології черв'ячного зубофрезерування. Розробки стосуються сучасних інструментальних матеріалів та нових зносостійких покриттів AlCrN, які значно підвищують продуктивність інструменту та термін його служби. З цих причин, більші інвестиції в інструмент виявляються рентабельними.

5. Було представлено доцільність чистового фрезерування як можливості скоротити технологічний маршрут обробки. Було зазначено, що за допомогою сучасних інструментів і верстатів фінішне фрезерування може конкурувати з якістю шевінгування. А у випадку розділення інструменту на зони для чорнової та чистової обробки, виникають нові можливості для оптимізації технології.

6. У майбутньому можна припустити, що поточний розвиток інструментальних матеріалів та покриттів запропонує додатковий потенціал для підвищення продуктивності. Стосовно чистового фрезерування, застосування нових концепцій інструменту та покращення якості обробки може призвести до збільшення кількості застосувань чистового фрезерування.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ШЕСТЕРНІ ВЕДУЧОЇ

3.1 Службове призначення шестерні ведучої та її характеристика

Деталь шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08 (рис. 3.1) входить до складу насосу НШ20М-4, що призначений для подачі робочої рідини в гідравлічні системи мобільної техніки, тракторів, сільськогосподарських, землерийних, підйомно-транспортних та інших машин.

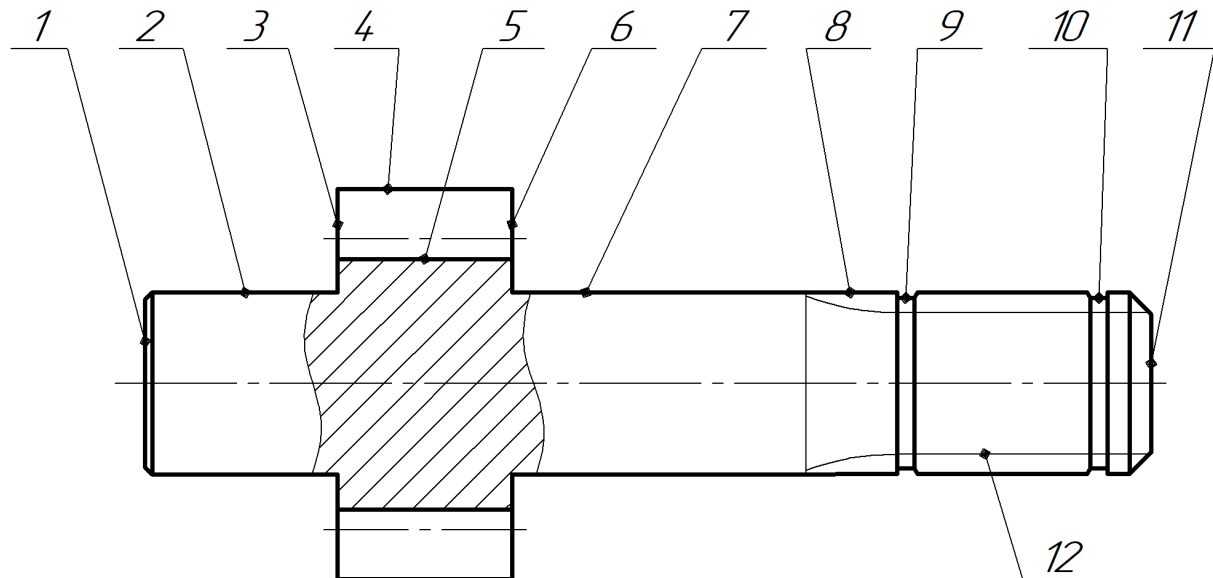


Рис. 3.1 Шестерня ведуча НШ20М4-00-01-08

1, 11 – торці цапф; 2, 7 – цапфи; 3, 6 – торці зубчастого вінця; 4 – зовнішня циліндрична поверхня зубчастого вінця; 5 – внутрішній діаметр зубчастого вінця; 8 – зовнішня циліндрична поверхня шліцевої шийки; 9, 10 – канавки; 12 – шліцева поверхня.

Шестерня належить до класу деталей «тіла обертання», виготовляється як одне ціле із цапфами різної довжини. Цапфи призначені для вставлення і обертання у металофторпластових втулках насосу, які виконують роль підшипників. У конструкції ведучої шестерні, на відміну від веденої, відсутній центральний наскрізний отвір. На довшій шийці цапфи шестерня має дві канавки, призначені для встановлення стопорних кілець для упора кулачкової муфти. Під час роботи насосу торці зубчастого вінця підтискаються компенсаторами, для уникнення внутрішніх витікань робочої рідини. Шліцева поверхня призначена для з'єднання з муфтою привода. При роботі деталь сприймає великі навантаження від крутного моменту та тиску робочої рідини.

Функціональною є зубчаста евольвентна поверхня та шліцева поверхня. Основними поверхнями є зовнішні циліндричні поверхні 2, 4, 7. Вільними поверхнями є торці 1, 11. Конструкторською базою є геометрична вісь деталі, яка являється і технологічною базою на більшості операцій технологічного процесу механічної обробки (центрові отвори R5 ГОСТ14034-74).

Загальний вигляд насосу НШ20М-4 наведено на рис. 3.2. Агрегат складається із таких деталей: ведучої вал-шестерні поз. 1, веденої вал-шестерні поз. 2, корпусу поз. 3, кришки поз. 8, манжети поз. 10, чотирьох втулок поз. 4, двох компенсаторів поз. 5 із комплектами ущільнень поз. 6, 7.

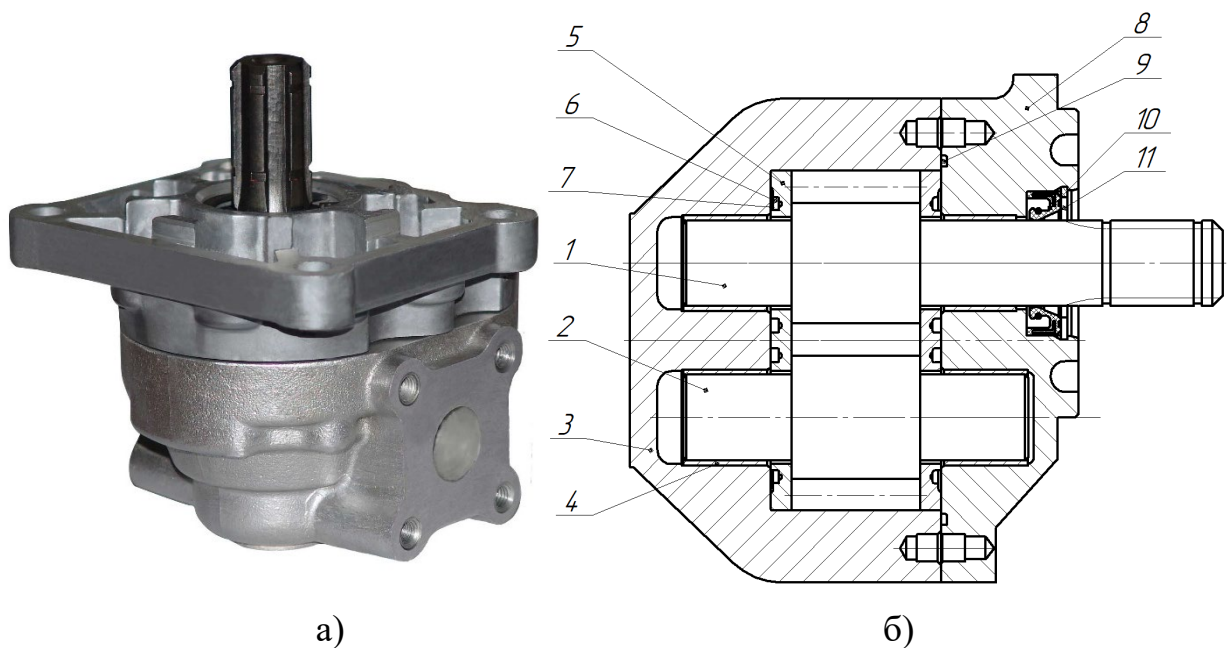


Рис. 3.2 Шестеренний насос НШ20М-4

а) зовнішній вигляд; б) внутрішня будова;

1 – шестерня ведуча; 2 – шестерня ведена; 3 – копус; 4 – металофторопластові втулки;
5 – компенсатор; 6 – ущільнення; 7 – захисна пластина; 8 – кришка;
9 – ущільнення кришки; 10 – манжета; 11 – стопорне кільце.

Тиск та подача робочої рідини в шестеренному насосі утворюється за рахунок обертання ведучої і веденої шестерень (ведуча приводить в рух ведену), які знаходяться в постійному зачепленні та розташовані у розточках корпусу між компенсаторами. Із вхідної порожнини насоса рідина зачерпується впадинами між зубцями, і переноситься вздовж циліндричних стінок колодязів корпусу до вихідної порожнини.

Для отримання необхідного тиску рідини насос повинен бути герметичний, та мати високий коефіцієнт корисної дії (ККД). Вплив на ККД має зазор між зовнішнім діаметром шестерень та стінкою колодязів, який повинен бути мінімальний. Це забезпечується точною обробкою корпусу і шестерень, та надійним і точним встановленням шестерень в металфторопластові втулки, які запресовані консольно в розточки корпусу та кришки. Торцеві поверхні шестерень ущільнюються двома компенсаторами, що також впливає на ККД.

Зовнішня герметичність забезпечується за рахунок ущільнення ведучого валу насоса манжетою, що фіксується в кришці за рахунок натягу по діаметру та стопорного кільця. По площині роз'єму корпус-кришка герметичність досягається за допомогою гумового ущільнюючого кільця. Кришка приєднується до корпусу болтами із пружинними шайбами.

Коротка технічна характеристика насоса НШ20М-4 наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Назва параметру	Одиниця виміру	Значення
Номінальний робочий об'єм	см ³	20
Частота обертання: - номінальна - максимальна - мінімальна	с ⁻¹	40 60 8,3
Номінальна подача, не менше	л/хв	42,9
Тиск на виході: - номінальний - максимальний	МПа	20 25
Тиск на вході: - номінальний - максимальний	МПа	0,08 0,15
Коефіцієнт подачі, не менше	-	0,94
Коефіцієнт корисної дії, не менше	-	0,83
Маса, не більше	кг	4
Номінальна потужність, не більше	кВт	20,8
Габаритні розміри	мм	152×148×134
Температура навколишнього середовища: - мінімальна - максимальна	С°	-60 +50
Характеристика робочої рідини: - кінематична в'язкість, номінальна - температура: а) мінімальна б) максимальна	мм ² /с С°	30...40 0 +80

3.2 Розробка технології виготовлення шестерні ведучої

3.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва - це класифікаційна категорія, що залежить від широти номенклатури, регулярності випуску виробів, і чинить значний вплив на побудову технологічного процесу механічної обробки.

Тип виробництва можна визначити в залежності від програми виготовлення деталі та її маси за даними довідників, більш точно – розрахувавши коефіцієнт закріплення операцій. У даній роботі, тип виробництва для деталі шестерня ведуча визначено за допомогою комп'ютерної програми «ТИП» [9, 12].

Вихідні данні для розрахунку – значення штучних часів за окремими операціями базового технологічного процесу, дійсний фонд часу роботи обладнання 3758 год. та програма випуску продукції – 35000 шт.

Визначений тип виробництва – крупносерійний.

Крупносерійне виробництво характеризується великим обсягом випуску продукції, яка безперервно виготовляється на одних і тих же робочих місцях впродовж значного проміжку часу. Широко використовують високопродуктивне спеціалізоване устаткування та пристосування, автоматизовані пристрої і автоматичні лінії, спеціальні інструменти, механізоване та автоматизоване транспортування деталей між операціями технологічного процесу. В крупносерійному виробництві вимоги до кваліфікації працівників невисокі, кількість працівників мінімальна необхідна.

Детальність розробки технологічних процесів висока. Спорядження операцій допоміжними засобами на високому рівні, що дозволяє забезпечити високу точність та взаємозамінність деталей, незначні витрати часу на виготовлення та невелику собівартість продукції. Розташування устаткування здійснюється в послідовності виконання операцій, використовується високопродуктивне обладнання.

Зазначені особливості типу виробництва потрібно врахувати при розробці технологічного процесу шестерні ведучої.

3.2.2 Аналіз точності та технологічності

Аналіз вимог точності та якості поверхонь, які висуваються до деталі у кресленні, виконується з метою розробки найоптимальнішого технологічного процесу виготовлення деталі [9, 12].

Ключові вимоги, що висуваються до деталі у технічних вимогах креслення:

- цементувати h 0,6...1,0 мм, 57...63 HRC, серцевина 25...45 HRC, допускається по поверхнях шийок шестерень 52...64 HRC;
- гострі кромки по профілю евольвенти впадин закруглити R 0,06...0,15 мм.

Вимоги до точності розмірів поверхонь, форми, розташування та шорсткості (якості) представлено у табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

Позначення поверхні за рис. 3.1	Назва поверхні	Розмір, квалітет, поле допуску	Точність		Шорсткість поверхні
			форми	розташування, відстаней, відносних поворотів	
1, 11	Торець	$138,5h13_{(-0,63)}$	-	-	Ra 12,5
2, 7	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 25_{-0,055}^{-0,040}$			Ra 0,16
3, 6	Торці зубчатого вінця	$24,02_{(-0,02)}$			Ra 0,16
4	Зубчатий вінець	$\varnothing 54,1_{-0,07}^{-0,04}$	-		Ra 1,25
5	Впадина зубатого вінця	$\varnothing 35_{-0,39}^{+0,10}$	-	-	Ra 3,2
8	Зовнішня циліндрична поверхня	$\varnothing 25e9_{(-0,092)}^{(-0,040)}$	-		Ra 1,25
9, 10	Канавки	$\varnothing 23,5h12_{(-0,21)} 2,4/S16(\pm 0,3)$	-	-	Ra 6,3 Ra 3,2
12	Товщина зубця шліца	$5_{-0,200}^{-0,035}$	-		Ra 3,2

Точність виготовлення деталі шестерня ведуча визначається службовим призначенням поверхонь деталі. Слід мати на увазі, що від точності та якості виготовлення зубчатого вінця та його торців залежать вихідні параметри та працездатність шестеренного насоса.

Аналіз параметрів точності поверхонь шестерні ведучої показує, що всі розміри деталі відповідають діючим стандартам та умовам експлуатації та задані в достатній кількості для обробки поверхонь.

Відповідно до табл. 3.2, до поверхонь з високими вимогами до точності та шорсткості можна віднести:

- торцеві поверхні 3, 6 із розміром $24,02_{(-0,02)}$ та шорсткістю $R_a 0,16$;
- зовнішні циліндричні поверхні 2, 7, які призначені для базування деталі у підшипниках ковзання (металофторопластових втулках) і мають розмір $\varnothing 25_{-0,055}^{-0,040}$ із шорсткістю $R_a 0,16$.

Також слід відмітити, що по розміру $24,02_{(-0,02)}$, торцевих поверхонь 3, 6, виконується розбивка деталей на 5 груп, з кроком 0,004 мм по допуску, для забезпечення селективного збирання пари шестерень однієї групи.

Підвищені вимоги по точності та якості обумовлені службовим призначенням зазначених поверхонь. І хоча наявність вказаних поверхонь значно підвищує собівартість виготовлення деталі, при розробці технологічного процесу слід приділити увагу забезпеченню зазначених вимог.

В конструкції деталі відсутні бурти і фланці, що дозволяє застосувати точіння прохідними різцями, доступ до оброблюваних поверхонь не обмежений. Зменшення розмірів діаметральних поверхонь до кінців валу відсутнє. Забезпечення контролю параметрів точності забезпечується за допомогою стандартних та спеціалізованих засобів вимірювання.

В цілому деталь можна вважати достатньо технологічною.

3.2.3 Аналіз базового технологічного процесу

Технологічний процес АТ «Гідросила» є вихідним матеріалом при розробці проектного варіанту. Цей технологічний процес є комплексним технологічним процесом і включає операції механічної обробки, транспортування, промивки. Проаналізувавши вихідний технологічний процес встановлено, що загалом він спроможний забезпечити виготовлення деталей із заданими вимогами щодо точності, якості та у необхідні строки [9, 12].

Базовий технологічний процес виготовлення деталі шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08 наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3.

№ операції	Найменування та зміст операції	Технологічне обладнання	Час виконання
201	Транспортування Транспортувати заготовки на механічну дільницю	Автонавантажувач АВ-2	-
200	Токарна з ЧПУ Точити цапфу, зовнішній діаметр та торець зубчастого вінця, габаритний торець, фаску, канавку для виходу шліфувального круга, свердлити центровий отвір	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	1,4
205	Токарна з ЧПУ Точити цапфу, сальникову та шліцеву шийки, торець зубчастого вінця, габаритний торець, фаску, канавку для виходу шліфувального круга, канавки під стопорні кільця, свердлити центровий отвір	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	1,382
240	Зубофрезерна Фрезерувати зубці шестерні	Зубофрезерний ВС-12-720	2,86
245	Зубодовбальна Довбати зубці шестерні	Зубодовбальний 5122КН24	3,5045
250	Зубошевінгувальна Шевінгувати зубці шестерні	Зубошевінгувальний 5702В	3,2046
255	Шліцефрезерна Фрезерувати шліци деталі	Шліцефрезерний 5350А	1,3284
265	Промивка Промити деталі	Машина мийна ГМ752	0,069
270	Контроль Перевірити деталі	Стіл контрольний ГМ1765	0,95
271	Транспортування Транспортувати деталі	Електрокара ЕВ-2	-
275	Дифузійно насичувальна	-	-
280	Очистка дробоструйна	-	-
286	Транспортування Транспортувати деталі	Електрокара ЕВ-2	-
296	Круглошліфувальна Розкатати центрові отвори	Круглошліфувальний 3А151	0,4
300	Круглошліфувальна Шліфувати зубчастий вінець	Круглошліфувальний 3А151	0,5650
305	Круглошліфувальна Шліфувати шліцеву і сальникову шийку попередньо	Круглошліфувальний 3М151	0,8025
310	Круглошліфувальна Шліфувати шліцеву і сальникову шийку кінцево	Круглошліфувальний 3М151	0,8865

Продовження табл. 3.3.

№ операції	Найменування та зміст операції	Технологічне обладнання	Час виконання
325	Торцекруглошліфувальна Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно	Торцекруг-лошліфувальний SASE 200/05	0,7395
330	Торцекруглошліфувальна Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно	Торцекруг-лошліфувальний SASE 200/05	0,8865
340	Електрохімічна Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадини зуба	Установка електрохімічна ГМ2685	0,2556
345	Промивочна Промити деталі	Мийна машина ГМ2879	0,0699
350	Суперфінішна Суперфінішувати дві цапфи і шийку	Безцентрово-суперфінішний 3879	0,9213
353-1	Доводочна Довести торець зубчастого вінця	Круглошліфувальний 3Б12	0,6617
353-2	Доводочна Довести торець зубчастого вінця	Круглошліфувальний 3Б12	0,6617
365	Заточна Зачистити торець шліцевої шийки під маркування	Верстат заточний 3В634	0,101
370	Протирка Протерти поверхні та центрові отвори	Верстак ГМ1765	0,2736
375	Контрольна Перевірити деталі	Стіл контрольний ГМ1765	1,4279
377	Комплектування Розбити деталі по групам	Стіл контрольний ГМ1765	0,198
381	Транспортна Транспортувати деталі на дільницю складання	Електрокара ЕВ-678	-

Технологічний процес механічної обробки шестерні ведучої, який діє на базовому підприємстві, складається з шістнадцяти операцій, на яких задіяне різне за продуктивністю технологічне обладнання, в тому числі і верстати з ЧПУ.

Для чорнової обробки зовнішніх циліндричних поверхонь використовуються токарні верстати з ЧПУ, для обробки зубців використовуються зубофрезерний, зубодовбальний та зубошевінгувальний верстати, для обробки шліців – шліцефрезерний верстат. Для чистової обробки зовнішніх циліндричних та торцевих поверхонь шестерні, після термообробки, застосовуються круглошліфувальні верстати мод. 3А151, 3М151 та

торцекруглошліфувальні верстати мод. SASE 200/05. Для забезпечення вимог шорсткості зовнішніх циліндричних поверхонь застосовується безцентровий суперфінішний верстат мод. 3879, а для доводки торців – круглошліфувальні 3Б12.

Базовий технологічний процес використовує принцип диференціації операцій, який не дуже ефективний в умовах крупносерійного виробництва з огляду на значну кількість перевстановлень деталі, що впливає на точність обробки.

Також, до недоліків діючого технологічно процесу можна віднести стратегію обробки зубчастого вінця шестерні шляхом зубофрезерування, зубодовбання та зубошевінгування на застарілих моделях технологічного обладнання.

Пропонується, з метою зменшення собівартості виготовлення, обробку зубчастого вінця виконувати на одній операції зубофрезерування, використавши зубофрезерний верстат з ЧПУ Liebherr LC180a (наявний на підприємстві). Це суттєво підвищить гнучкість виробництва, при забезпеченні заданої точності, якості та продуктивності обробки, дозволить зменшити кількість верстатів, робітників, час на виготовлення, а також кількість міжопераційних переміщень деталі. Також має сенс виконувати доводку обох торців зубчастого вінця одночасно, на спеціальному верстаті для алмазної доводки мод. 020-145, що також наявний на підприємстві. Верстат обладнано завантажувально-розвантажувальною системою з накопичувачем-столом, що позитивно вплине на продуктивність обробки.

3.2.4 Вибір заготовки

Вибір способу отримання заготовки для виготовлення шестерні ведучої здійснюється з урахуванням її розмірів та конструктивної форми, призначення та фізико-механічних властивостей її матеріалу, а також типу виробництва та технологічних можливостей заготівельного виробництва конкретного підприємства [9, 12].

Проаналізувавши метод отримання заготовки на базовому підприємстві, а також довідкові матеріали, щодо методів отримання заготовок для виготовлення деталей аналогічних конструктивних форм та призначення, обираємо метод отримання заготовки – поковка на горизонтально-кувальних машинах (ГКМ).

Горизонтально-кувальна машина являється механічним кривошипним штампувальним пресом, який має роз'ємну матрицю із однією рухомою частиною (затискною). Штмп складається з трьох частин: рухомої матриці, нерухомої матриці і пуансона, що розмикаються у двох взаємно перпендикулярних площинах. Заготовку з нагрітою ділянкою на кінці закладають у нерухому матрицю. При роботі машини рухома матриця притискає заготовку до нерухомої матриці, а пуансон стикається з частиною прутка, який виступає, та деформує її. Заготовка при цьому заповнює формуючу порожнину, розташовану попереду затискної частини. По закінченні деформування пуансон рухається у зворотному напрямку, виходячи із порожнини матриці. Матриці розтискаються, отриману поковку виймають або вона сама випадає із матриць.

Застосування матеріалу сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015 для ведучої шестерні обумовлено необхідністю забезпечення підвищеної міцності і в'язкості серцевини, а також високої поверхневої твердості 57...63 HRC, так як шестерня працює під дією високих навантажень. За хімічним складом, механічними характеристиками та призначенням матеріал відповідає експлуатаційному призначенню деталі. Хімічний склад матеріалу приведено у табл. 3.4, а механічні властивості у табл. 3.5.

Таблиця 3.4

Марка матеріалу	Вміст елементів, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mg	Ti
18ХГТ	0,17...0,23	0,17...0,37	0,80...1,10	1,0...1,3	0,3	0,1	0,1

Таблиця 3.5

Марка матеріалу	σ_T , МПа	σ_B , МПа	Твердість НВ
	Не менше		Не більше
18ХГТ	90	100	217

Розрахуємо собівартість виготовлення штамповки за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000},$$

де: C_i – базова вартість 1 т. заготовок (84600 грн. АТ «Гідросила» 2023 р.);

$k_T = 1$; $k_C = 0,88$; $k_B = 1,05$; $k_M = 1,21$; $k_{\Pi} = 1,0$ - коефіцієнти, які залежать від точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

Q – маса заготовки ($Q = 1,24$ кг);

q – маса готової деталі ($q = 0,67$ кг);

$S_{\text{відх.}}$ – ціна 1 т. відходів ($S_{\text{відх.}} = 1800$ грн.).

Підставивши значення у формулу, отримаємо, грн.:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{84600}{1000} \cdot 1,24 \cdot 1,0 \cdot 0,88 \cdot 1,05 \cdot 1,21 \cdot 1,0 \right) - (1,24 - 0,67) \cdot \frac{1800}{1000} = 116,15$$

На річну програму випуску (35000 шт/рік): $S_{\text{заг}} = 4065350,38$ грн.

3.2.5 Розробка маршруту виготовлення шестерні ведучої

Маршрут обробки деталі будуємо з урахуванням базового маршруту обробки окремих поверхонь, типу виробництва, обраної заготовки, технологічних можливостей металорізальних верстатів, технічних вимог та розмірних ланцюгів на кресленні деталей [9, 12].

Розроблений маршрут приводиться як послідовність назв технологічних операцій, короткий зміст технологічних переходів та найменування технологічного обладнання.

При розробці маршруту також слід враховувати схеми базування на виконуваних операціях для забезпечення принципів єдності та постійності баз.

Також слід проводити контроль точності і якості поверхонь на кожному етапі обробки, для забезпечення позитивного кінцевого результату.

Розроблений маршрут представлено в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

№ операції	Найменування	Технологічне обладнання	Зміст операції
200	Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	Точити цапфу, зовнішній діаметр та торець зубчастого вінця, габаритний торець, фаску, канавку для виходу шліфувального круга, свердлити центровий отвір
205	Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	Точити цапфу, сальникову та шліцеву шийки, торець зубчастого вінця, габаритний торець, фаску, канавку для виходу шліфувального круга, канавки під стопорні кільця, свердлити центровий отвір
210	Зубофрезерна	Зубофрезерний з ЧПУ Liebherr LC180a	Фрезерувати зубці шестерні
215	Шліцефрезерна	Шліцефрезерний 5350A	Фрезерувати шліци деталі
220	Промивка	Машина мийна ГМ752	Промити деталі
225	Контроль	Стіл контрольний ГМ1765	Перевірити деталі
230	Транспортування	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати деталі
240	Дифузійно насичувальна	-	-
245	Очистка дробоструйна	-	-
250	Транспортування	Електрокара ЕВ-2	Транспортувати деталі
300	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3A151	Шліфувати зубчастий вінець
305	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати шліцеву і сальникову шийку попередньо
310	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Шліфувати шліцеву і сальникову шийку кінцево

Продовження табл. 3.6

№ операції	Найменування	Технологічне обладнання	Зміст операції
315	Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно
320	Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Шліфувати торець зубчастого вінця і цапфу шестерні одночасно
325	Електрохімічна	Установка електрохімічна ГМ2685	Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадини зуба
330	Промивочна	Мийна машина ГМ2879	Промити деталі
335	Суперфінішна	Безцентрово-суперфінішний 3879	Суперфінішувати дві цапфи і шийку
340	Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-145	Довести два торці зубчастого вінця одночасно
345	Заточна	Верстат заточний 3В634	Зачистити торець шліцевої шийки під маркування
350	Протирка	Верстак ГМ1765	Протерти поверхні та центрові отвори
355	Контрольна	Стіл контрольний ГМ1765	Перевірити деталі
360	Комплектування	Стіл контрольний ГМ1765	Розбити деталі по групам
365	Транспортна	Електрокара ЕВ-678	Транспортувати деталі на дільницю складання

3.2.6 Вибір технологічних баз

Від вірного вибору баз у значній мірі залежить одержання заданої точності деталі [8, 9, 12]. Обґрунтований вибір технологічних баз це невід’ємна частина розробки технологічного процесу. При виборі баз необхідно дотримуватись принципів базування:

- розподілення чорнової та чистової бази;
- єдності технологічної та вимірювальної баз;
- постійності баз на протязі технологічного процесу.

Для чорнової бази вибираємо поверхню, що має найменший припуск на механічну обробку і забезпечує вимоги до якості, чистоти, точності форми та розмірів. При виборі чистових баз користуємося принципом запобігання деформації деталі, простоти та надійності конструкції пристрою та не припустимості повторного використання чорнових баз. Результати вибору баз для операцій механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08 наведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

Номер та назва операції	Технологічне обладнання	Технологічні бази	Число відібраних ступенів свободи
200 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	Торець зубчатого вінця, зовнішня циліндрична поверхня (ЗЦП)	5
205 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	Торець зубчатого вінця, ЗЦП	5
210 Зубофрезерна	Зубофрезерний з ЧПУ Liebherr LC180a	Центрові отвори, торець цапфи	5
215 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний 5350A	Центрові отвори, ЗЦП	5
300 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3A151	Центрові отвори, ЗЦП	5
305 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Центрові отвори, ЗЦП	5
310 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	Центрові отвори, ЗЦП	5
315 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Центрові отвори, ЗЦП	5
320 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE 200/05	Центрові отвори, ЗЦП	5
335 Суперфінішна	Безцентрово-суперфінішний 3879	ЗЦП	4
340 Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-145	Центрові отвори	5

3.2.7 Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

Розробка структури та змісту технологічних операцій здійснюється на основі створеного маршруту обробки (табл. 3.6). Для виробництва деталі шестерня ведуча використовують різноманітне обладнання: токарні верстати, зубо- та шліцефрезерні верстати, шліфувальні верстати, верстати для відділкової обробки, які забезпечують високу точність та продуктивність обробки [8, 9, 12].

При розробці структури технологічних операцій, важливо враховувати взаємозв'язок між операціями задля уникнення зайвих переходів, так як це може призвести до збільшення витрат на виробництво та збільшення часу обробки.

Характеристики металорізальних верстатів зведена в табл. 3.8. Структура та зміст операцій механічної обробки шестерні ведучої представлено в табл. 3.9.

Таблиця 3.8

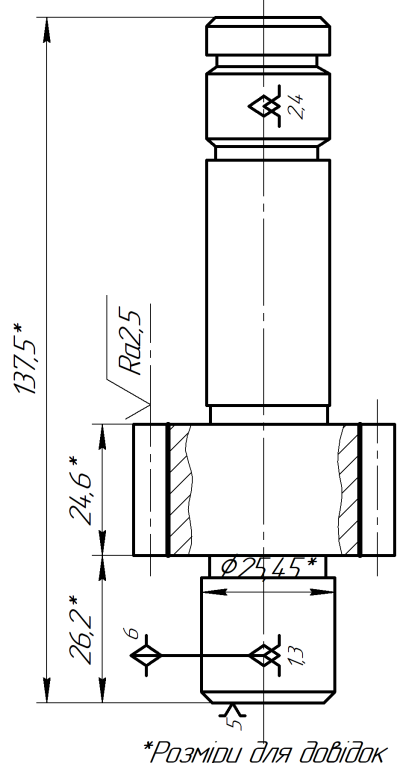
№ операції	Модель та назва верстату	Розміри робочого столу, діаметр обробки, робочі переміщення	Діапазон частот обертання (хв ⁻¹)	Діапазон подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри (мм)
200	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	Ø580 L=309	48...4800	0,02...1,0	11	1900x1600x1700
205						
210	Зубофрезерний з ЧПУ Liebherr LC180a	Ø180 L=400 m=5	36...2250	0,04...7,22	28	3400x2600x4810
215	Шліцефрезерний 5350A	Ø150 L=170 m=6	80...250	0,63...5	10	2335×1550×1650
300	Круглошліфувальний 3A151	Ø180 L=630	1112/1272	0,08...4,7	9	3100×2100×1500
305	Круглошліфувальний 3M151	Ø200 L=700	1115	0,05...5	13	4635×2450×2170
310						
315	Торце- круглошліфувальний SASE 200/05	Ø200 L=630	31,5...710	0,006...12	11	2500x2300x2000
320						
335	Безцентрово- суперфінішний 3879	Ø125 Lmin=0,8	5...50 ход/хв	-	3,2	2400×1400×1800
340	Верстат для алмазної доводки 020-145	Ø125 L=180	40...2400	0,075...0,15	4,6	2300×1700×1380

Таблиця 3.9

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
200 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	The drawing shows a mechanical part with the following features and dimensions: Main View: A shaft with a central hole of diameter $\phi 54_{+0.4}^{-0.4}$. A keyway is located at the center. The total length is $139_{-0.7}^{+0.7}$. A flange is at the right end with an outer diameter of $\phi 25_{+0.062}^{-0.062}$ and a thickness of $26.2_{-0.2}^{+0.2}$. A shoulder has a diameter of $\phi 25_{+0.062}^{-0.062}$ and a length of $25_{-0.1}^{+0.1}$. The left end has a diameter of $\phi 24_{+0.52}^{-0.52}$ and a length of $17_{+0.6}^{-0.6}$. A keyway is also present on the left end with a width of $0.6_{-0.05}^{+0.05}$. Surface texture symbols are $Ra 6.3$ for the main shaft and $Ra 2.5$ for the flange. Detail View A: Shows a cross-section of the keyway with a width of $0.6_{-0.05}^{+0.05}$ and a depth of $17_{+0.6}^{-0.6}$. The keyway has a 45° chamfer and a radius of $R0.6$. Detail View B: Shows a cross-section of the flange with a diameter of $\phi 25_{+0.062}^{-0.062}$ and a thickness of $26.2_{-0.2}^{+0.2}$. The flange has a 60° chamfer and a radius of $R12.5 \dots 16^*$.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити начорно поверхні цапфи і вінця, підрізати торець зубчастого вінця, підрізати торець цапфи начисто. 3. Точити фаску, точити цапфу начисто, точити вінець начисто витримуючи розміри 9, 10, 11, 12, 13, 14 та допуски 1, 2, 3, 5. 4. Точити канавку в торці вінця витримуючи розміри 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21. 5. Свердлити центровий отвір, витримуючи розміри 4, 6, 7, 8.

Продовження табл. 3.9

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Токарна з ЧПУ	Токарний з ЧПУ GA 2000/300	The drawing shows a mechanical part with the following features and dimensions: Point 1: Surface texture symbol with values 0,05 and 0,02. Point 2: Surface texture symbol with values 0,07 and 0,02. Point 3: Surface texture symbol with values 0,07 and 0,02. Point 4: Chamfer dimension 3,2x45°. Point 5: Dimension 29^{+0,33}. Point 6: Dimension 35±0,3. Point 7: Dimension 87^{+0,33} / -0,35. Point 8: Dimension 137,5^{-0,54}. Point 9: Dimension 24,6^{-0,1}. Point 10: Dimension 24,6^{-0,1}. Point 11: Dimension 17^{-0,6}. Point 12: Dimension 0,6^{-0,05}. Point 13: Dimension 112^{-0,4}. Point 14: Dimension 10,6±0,15. Point 15: Dimension 60°. Point 16: Dimension 112^{-0,4}. Point 17: Dimension 17^{-0,6}. Point 18: Dimension 17^{-0,6}. Point 19: Dimension 17^{-0,6}. Point 20: Dimension 17^{-0,6}. Point 21: Dimension 17^{-0,6}. Point 22: Dimension 17^{-0,6}. Point 23: Dimension 17^{-0,6}. Point 24: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 25: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 26: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 27: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 28: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 29: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 30: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 31: Dimension 23,5^{-0,21}. Point 32: Dimension 23,5^{-0,21}.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити начорно поверхні цапфи з довшої сторони, підрізати торець зубчастого вінця, підрізати торець цапфи начисто. 3. Точити фаску, точити цапфу начисто витримуючи розміри 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12 та допуски 1, 2, 3. 4. Точити канавку в торці вінця витримуючи розміри 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23. 5. Точити канавки на цапфі витримуючи розміри 5, 7, 11, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33. 5. Свердлити центровий отвір, витримуючи розміри 13, 14, 15, 16.

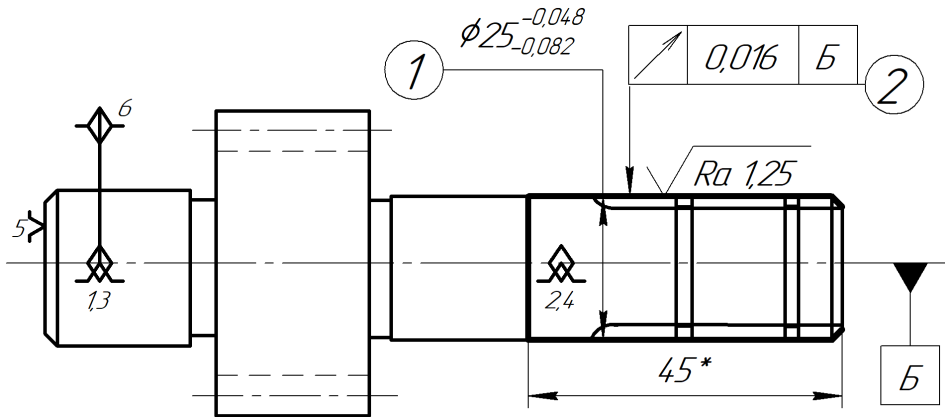
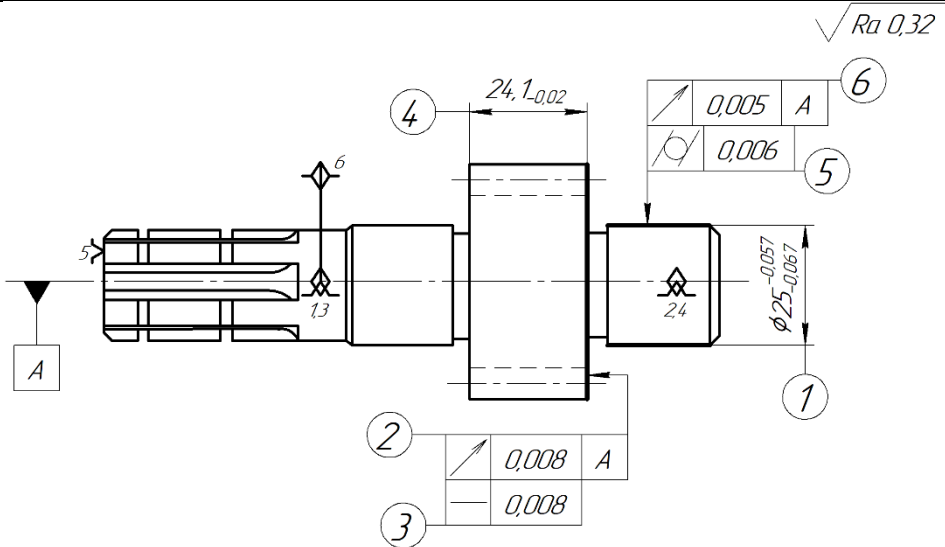
Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції																																			
210 Зубофрезерна	Зубофрезерний з ЧПУ Liebherr LC180a	 <table><tr><td>Модуль</td><td><i>m</i></td><td>4</td></tr><tr><td>Число зубців</td><td><i>z</i></td><td>11</td></tr><tr><td>Вихідний контур</td><td>–</td><td>ГОСТ 13755–81</td></tr><tr><td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td><td><i>x</i></td><td>+0,135</td></tr><tr><td rowspan="2">Граничне відхилення виміральної міжосьової відстані</td><td>верхнє</td><td><i>E_a</i>''</td><td>+0,015</td></tr><tr><td>нижнє</td><td><i>E_{as}</i>''</td><td>–0,110</td></tr><tr><td rowspan="2">Допуск на коливання виміральної міжосьової відстані</td><td>за оберт колеса</td><td><i>F_i</i>''</td><td>0,052</td></tr><tr><td>на одному зубці</td><td><i>f_i</i>''</td><td>0,028</td></tr><tr><td>Допуск на похибку напрямлення зубця</td><td><i>F_β</i></td><td>0,015</td></tr><tr><td>Довжина загальної нормалі</td><td><i>W_n</i></td><td>18,698^{–0,254}_{–0,324}</td></tr><tr><td>Діаметр впадин</td><td><i>d_f</i></td><td>φ35^{+0,10}_{–0,39}</td></tr></table>	Модуль	<i>m</i>	4	Число зубців	<i>z</i>	11	Вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,135	Граничне відхилення виміральної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	+0,015	нижнє	<i>E_{as}</i> ''	–0,110	Допуск на коливання виміральної міжосьової відстані	за оберт колеса	<i>F_i</i> ''	0,052	на одному зубці	<i>f_i</i> ''	0,028	Допуск на похибку напрямлення зубця	<i>F_β</i>	0,015	Довжина загальної нормалі	<i>W_n</i>	18,698 ^{–0,254} _{–0,324}	Діаметр впадин	<i>d_f</i>	φ35 ^{+0,10} _{–0,39}	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.
Модуль	<i>m</i>	4																																				
Число зубців	<i>z</i>	11																																				
Вихідний контур	–	ГОСТ 13755–81																																				
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,135																																				
Граничне відхилення виміральної міжосьової відстані	верхнє	<i>E_a</i> ''	+0,015																																			
	нижнє	<i>E_{as}</i> ''	–0,110																																			
Допуск на коливання виміральної міжосьової відстані	за оберт колеса	<i>F_i</i> ''	0,052																																			
	на одному зубці	<i>f_i</i> ''	0,028																																			
Допуск на похибку напрямлення зубця	<i>F_β</i>	0,015																																				
Довжина загальної нормалі	<i>W_n</i>	18,698 ^{–0,254} _{–0,324}																																				
Діаметр впадин	<i>d_f</i>	φ35 ^{+0,10} _{–0,39}																																				

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції																											
215 Шліцефрезерна	Шліцефрезерний 5350А	<table><tr><td>Кількість шліців</td><td>z</td><td>6</td></tr><tr><td>Тип шліца</td><td>—</td><td>прямобічний</td></tr><tr><td>Довжина шліців з повною глибиною</td><td>l</td><td>26,5</td></tr><tr><td>Сумарна довжина шліців</td><td>L</td><td>47,5</td></tr><tr><td>Діаметр впадини</td><td>df</td><td>20,1-0,7</td></tr><tr><td>Середній діаметр</td><td>D</td><td>21</td></tr><tr><td>Товщина шліца</td><td>S</td><td>5^{-0,11}_{-0,19}</td></tr><tr><td>Діаметр фрези</td><td>d</td><td>70</td></tr><tr><td>Величина фаски</td><td>C</td><td>0,3^{+0,2}</td></tr></table>	Кількість шліців	z	6	Тип шліца	—	прямобічний	Довжина шліців з повною глибиною	l	26,5	Сумарна довжина шліців	L	47,5	Діаметр впадини	df	20,1-0,7	Середній діаметр	D	21	Товщина шліца	S	5 ^{-0,11} _{-0,19}	Діаметр фрези	d	70	Величина фаски	C	0,3 ^{+0,2}	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шліци, витримуючи розміри згідно таблиці на карті ескізів.
Кількість шліців	z	6																												
Тип шліца	—	прямобічний																												
Довжина шліців з повною глибиною	l	26,5																												
Сумарна довжина шліців	L	47,5																												
Діаметр впадини	df	20,1-0,7																												
Середній діаметр	D	21																												
Товщина шліца	S	5 ^{-0,11} _{-0,19}																												
Діаметр фрези	d	70																												
Величина фаски	C	0,3 ^{+0,2}																												

Продовження табл. 3.9

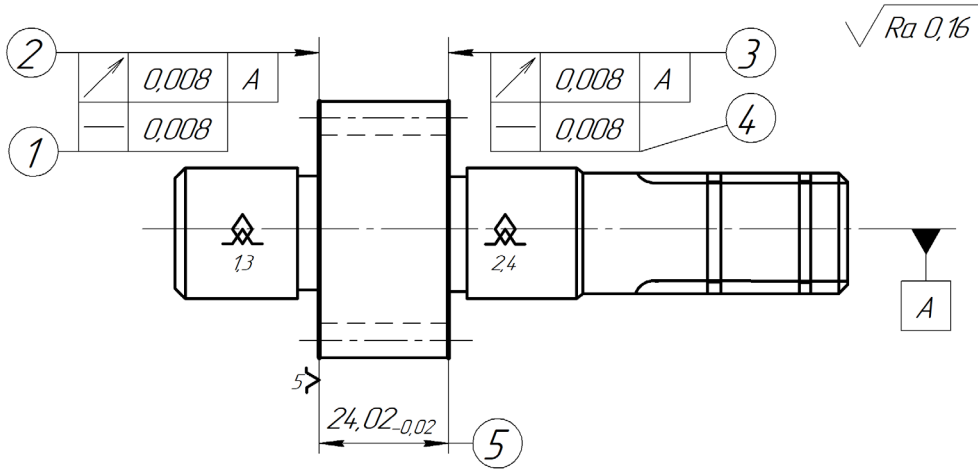
Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
300 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3A151		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зубчастий вінець, витримуючи розмір 1, допуск 2 та шорсткість Ra 1,25.
305 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3M151	* Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати шийку витримуючи розмір 1, допуск 2 та шорсткість Ra 2,5.

Продовження табл. 3.9

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
310 Круглошліфувальна	Круглошліфувальний 3М151	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати шийку витримуючи розмір 1, допуск 2 та шорсткість Ra 1,25.
315 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно шліфувати цапфу з короткого кінця та торець, витримуючи розміри 1, 4, допуски 2, 3, 5, 6 та шорсткість Ra 0,32.

Продовження табл. 3.9

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
320 Торцекруглошліфувальна	Торцекруглошліфувальний SASE200/05		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно шліфувати цапфу з довгого кінця та торець, витримуючи розміри 1, 6, допуски 2, 3, 4, 5 та шорсткість Ra 0,32.
335 Суперфінішна	Безцентровосуперфінішний 3879		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно суперфінішувати дві шийки витримуючи розміри 1, 2 до шорсткості Ra 0,16.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
340 Доводочна	Верстат для алмазної доводки 020-145	 Technical drawing of a mechanical part showing grinding operations. The part is a shaft with a central section. Dimensions include a diameter of 24.02 ± 0.02 and a length of 5. Surface texture symbols indicate Ra 0.008 and A. Circled numbers 1 through 5 indicate specific features or operations. A reference symbol A is also present.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Одночасно довести торці, витримуючи розмір 5, допуски 1, 2, 3, 4 та шорсткість Ra 0,16.

3.2.8 Вибір верстатних пристроїв для затиску деталі

На наступному етапі проектування технологічного процесу необхідно для кожної операції механічної обробки обрати затискні верстатні пристрої [9, 12]. Верстатні пристрої повинні відтворювати вже обрані раніше схеми базування, забезпечувати надійне кріплення деталей під час обробки, бути ергономічними, забезпечувати мінімальний час на встановлення та зняття деталі. Перевагу слід надавати механізованим пристроям із гідравлічним, пневматичним та електромеханічним приводом.

Вибрані затискні пристрої та їх стисла характеристика наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт	Вид приводу
200	Патрон трикулачковий	-	Гідравлічний
205	Strong UBN 208H6		
210	Пристосування 11 57 66 11	-	Гідравлічний
215	Центр 7032-0056 Центр 7032-4006	ГОСТ 13214 – 79 -	Гідравлічний
300	Центр 7032-0030 Морзе 4	ГОСТ 13214 – 79	Гідравлічний
305	Центр передній 7162-4042 Центр задній 7032-4172	-	Гідравлічний
310	Центр передній 7162-4042 Центр задній 7032-4172 Поводок 7067-4120	-	Гідравлічний
315	Центр передній 7032-0030 Центр задній 7032-4082 Поводок 7067-4004	ГОСТ 13214 – 79 - -	Гідравлічний
320	Центр плаваючий 7032-4159 Центр задній 7032-4082	-	Гідравлічний
335	Валок ведучий 7662-4116 Валок 7662-4117 Валок ведучий 7662-4129 Валок 7662-4130	-	-
340	Центр передній 7032-4231-05 Центр задній ЗНК5	- ГОСТ 2742 – 75	Гідравлічний

3.2.9 Вибір різального інструменту

Критеріями щодо вибору інструменту являються вид обробки (чорнова, чистова, відділкова), механічні характеристики оброблюваного матеріалу (твердість, структура), технологічні спроможності обладнання. Для кожної операції інструмент обирається за каталогами виробників металорізального інструменту та стандартами за можливості такий, що забезпечить оптимальні показники точності, якості, стійкості, продуктивності. Рішення про використання спеціального інструменту приймається при неможливості підібрати стандартний [9, 12].

Дані по різальному інструменту представлено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

№ оп.	№ пер.	Найменування інструменту	Стандарт (код), виробник	Різальна частина	
				Матеріал	Стандарт
200	2	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	3	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8115	TaeguTec
	4	Пластина VNMG 16040 4MT	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	5	Свердло центровочне R3,15	ГОСТ 14952-72	P6M5	ГОСТ 19265-73
205	2	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	3	Пластина WNMG 432 ML	TaeguTec	TT 8115	TaeguTec
	4	Пластина VNMG 16040 4MT	TaeguTec	TT 8125	TaeguTec
	5	Пластина TTG32L15020 R10	TaeguTec	СТТ9030	TaeguTec
	6	Свердло центровочне R3,15	ГОСТ 14952-72	P6M5	ГОСТ 19265-73
210	2	Фреза черв'ячна m=4 DE19016	Vergnano	S390	ISO/IEC 23360-7:2006
215	2	Фреза шліцева 6x21x25 2520-4005	-	P6M5	ГОСТ 19265-73
300	2	Круг шліфувальний ПП600x40x305	ГОСТ 2424-83	14A25CT1; CT3 K	ГОСТ 28818-90
305	2	Круг шліфувальний ПП600x100x305	ГОСТ 2424-83	24 25 CT1; CT2 6K6	ГОСТ 28818-90
310	2	Круг шліфувальний ПП600x100x305	ГОСТ 2424-83	24 25 CT1; CT2 6K6	ГОСТ 28818-90
315	2	Круг шліфувальний ПП750x50x305	ГОСТ 2424-83	25A 25П CM1 6K8	ГОСТ 28818-90
320	2	Круг шліфувальний ПП750x50x305	ГОСТ 2424-83	25A 25П CM1 6K8	ГОСТ 28818-90
335	2	Брусok алмазний АБС 125x80x5x20 R16 СК-8-1-К	ТУ 88 106-87 ИСМ	АМК 20/14	ГОСТ 9206-80
340	2	Круг алмазний АЧК 200x32x50x5x3 В3-01 50%	ТУ2-037-233-78	24A25CM1	ГОСТ 9206-80

3.2.10 Вибір допоміжних пристроїв та інструментів

Допоміжним інструментом називають той інструмент, що призначений для закріплення та встановлення у необхідній орієнтації різального інструменту. Отже тип та розмір допоміжного інструменту залежить від верстату та різального інструменту, що використовується при обробці [9, 12]. Вибраний допоміжний інструмент представлено у табл. 3.12.

Таблиця 3.12

№ оп.	№ пер.	Найменування допоміжного інструменту	Стандарт (код), виробник
200	2	Державка TWLNL 2525 M08	TaeguTec
	3	Державка TWLNL 2525 M08	TaeguTec
	4	Державка MVQNL 2525 M16	TaeguTec
	5	Патрон цанговий ST 40x75 ER32F	Iscar
		Цанга ER32 SPR 7-8	Iscar
205	2	Державка TWLNL 2525 M08	TaeguTec
	3	Державка TWLNL 2525 M08	TaeguTec
	4	Державка MVQNL 2525 M16	TaeguTec
	5	Державка TGTEL2525 M16	TaeguTec
	6	Патрон цанговий ST 40x75 ER32F	Iscar
		Цанга ER32 SPR7-8	Iscar
210	2	Оправка фрезерна 56 07 167 02	Liebherr
215	1	Поводок 7067-4120 Втулка 6104-4001-02	-
	2	Оправка фрезерна 6220-4020-02	-
300	1	Поводок 7067-4004	-
305	1	Поводок 7067-4120	-
310	1	Поводок 7067-4120	-
315	1	Поводок 7067-4004	-
320	1	Поводок 7067-4004	-
335	2	Державка 6380-4026	-
340	2	Вилка 020-002-00-00-10	-
		Оправка для круга 7020-4105	

3.2.11 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Для контролю параметрів точності деталі шестерня ведуча вибираємо вимірювальний пристрій та інструменти [9, 12]. Основними критеріями щодо вибору є точність поверхні, вимірювальний параметр, конструктивна форма поверхні та обраний тип виробництва. Як і з випадком різального інструменту, перевагу слід надавати стандартним засобам вимірювання і контролю, а вже потім – спеціальним.

На деяких верстатах шліфувальної групи є можливість використання приладів активного контролю, що значно підвищує продуктивність отримання необхідного розміру деталі.

Вибрані засоби технічного контролю зведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13

№ оп.	№ пер.	Параметр, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт (код)
200	3	Фаска 1,6x45°	Калібр 1,6x45°	8371-4001
		Ø25,6 _{-0,062}	Скоба Ø25,6 _{-0,062}	8113-0102
		Ø54,9 _{-0,4}	Скоба Ø54,9 _{-0,4}	8113-0104
		25 _{-0,1} 139 _{-0,7} 26,2 _{-0,2}	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1	ГОСТ 166-89
	4	Ø24,85 _{-0,52}	Скоба Ø24,85 _{-0,52}	8114-1001
		Ø28 max	Кільце Ø28 max	8124-4019-02
		0,6 _{-0,05}	Калібр 0,6 _{-0,05}	8151-4175
	5	Ø10,6±0,15	Пристосування	8514-4032
			Індикатор ИЧ10 кл.1	ДСТУ ГОСТ 577:2009
		Ø5 ^{+0,1} 11,2 _{-0,4}	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1	ГОСТ 166-89
205	3	Фаска 1,6x45°	Калібр 1,6x45°	8371-4001
		Ø25,45 _{-0,05}	Скоба Ø25,6 _{-0,062}	8113-0102
		Допуск радіального биття	Центра контрольні ТИП ПБ-500	ТУ2-034-450-75
			Індикатор ИЧ10 кл.1	ДСТУ ГОСТ 577:2009
		24,6 _{-0,1} 87 ^{+0,33} _{-0,35} 137,5 _{-0,54}	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1	ГОСТ 166-89
		Допуск прямолінійності	Кільце лекальне	8533-4037-00-05
			Щуп 0,02-100 кл.2	ТУ2-034-225-87
	4	Ø24,85 _{-0,52}	Скоба Ø24,85 _{-0,52}	8114-1001
		Ø28 max	Кільце Ø28 max	8124-4019-02
		0,6 _{-0,05}	Калібр 0,6 _{-0,05}	8151-4175
	5	Ø23,5 _{-0,21}	Скоба	8113-4127
		35±0,3	Калібр	8150-4766
		29 ^{+0,33}	Калібр	8102-4335
		Ø23,5 _{-0,21} 2,4±0,3	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1	ГОСТ 166-89
	6	Ø10,6±0,15	Пристосування	8514-4032
			Індикатор ИЧ10 кл.1	ДСТУ ГОСТ 577:2009
		Ø5 ^{+0,1} 11,2 _{-0,4}	Штангенциркуль ШЦ 1-160-0,1	ГОСТ 166-89

Продовження табл. 3.13

№ оп.	№ пер.	Параметр, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт (код)
210	2	F_i'' f_i'' E_{as}'' E_{ai}''	Міжцентромір МЦ-400Б	ГОСТ 5368-81
			Індикатор ИЧ10 кл.1	ДСТУ ГОСТ 577:2009
			Колесо еталонне m=4	8473-4020
		F_β	Пристосування для контролю допуску направлення зубця	8532-4054
			Плитка установча	8431-4123
		W_n	Нормалемір М1-АВ	ТУ2-034-212-85
			Контрольний зразок	8431-4022
		$\varnothing 35,1_{-0,39}$	Калібр НЕ	8124-4060-01
Калібр ПР	8124-4060			
215	2	$5_{-0,19}^{-0,11}$	Калібр скоба	8152-6005
		$\varnothing 20,1_{-0,7}$ $\varnothing 21_{0,3}^{+0,2}$	Кільце шліцеве	8312-4012
300	2	$\varnothing 54,3_{-0,04}^{-0,01}$	Скоба індикаторна	8515-4094
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
			Контрольний зразок	8515-4094-00-01
		Допуск радіального биття	Центра контрольні ТИП ПБ-500	ТУ2-034-450-75
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
		Шорсткість Ra 1,25	Профілометр системи М	ГОСТ 19300-86
305	2	$\varnothing 25,4_{-0,05}$	Пристрій управляючий БВ-4066-00	-
			Датчик Б1-2001.000	-
310	2	$\varnothing 25_{-0,082}^{-0,048}$	Пристрій управляючий БВ-4066-00	-
			Датчик Б1-2001.000	-
		Допуск радіального биття	Центра контрольні ТИП ПБ-500	ТУ2-034-450-75
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
		Шорсткість Ra 1,25	Профілометр системи М	ГОСТ 19300-86
		315	2	$\varnothing 25_{-0,067}^{-0,057}$
Скоба активного контролю	Б1.01.00			
Перетворювач індуктивний	Б1.02.00			
Пристрій вісєвої орієнтації	Б120.01.00.000			
Калібр скоба	8113-01-02			
$24,1_{-0,02}$	Пристосування			8012-4004
	Контрольний зразок			8012-4004-01
Допуск радіального та торцевого биття	Центра контрольні ТИП ПБ-500			ТУ2-034-450-75
	Індикатор 1МИГ			ГОСТ 9696-82
Допуск прямолінійності	Пристосування			8533-4029
	Контрольний зразок			8533-4029-00-02
	Індикатор 1МИГ			ГОСТ 9696-82
Шорсткість Ra 0,32	Профілометр системи М			ГОСТ 19300-86

Продовження табл. 3.13

320	2	$\varnothing 25_{-0,067}^{-0,057}$	Прилад активного контролю	120.01.00.000
			Скоба активного контролю	Б1.01.00
			Перетворювач індуктивний	Б1.02.00
			Пристрій вісєвої орієнтації	Б120.01.00.000
			Калібр скоба	8113-01-02
		24,025 _{-0,02}	Пристосування	8012-4004
			Контрольний зразок	8012-4004-02
		Допуск радіального та торцевого биття	Центра контрольні ТИП ПБ-500	ТУ2-034-450-75
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
		Допуск прямолінійності	Пристосування	8533-4029
			Контрольний зразок	8533-4029-00-02
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
335	2	Шорсткість Ra 0,32	Профілометр системи М	ГОСТ 19300-86
		$\varnothing 25_{-0,075}^{-0,060}$	Калібр-скоба	8113-0102
340	2	24,02 _{-0,02}	Профілометр системи М	ГОСТ 19300-86
			Скоба важільна СР 25	ГОСТ 11098-75
		Допуск радіального та торцевого биття	Контрольний зразок	8012-4004-02
			Центра контрольні ТИП ПБ-500	ТУ2-034-450-75
		Допуск прямолінійності	Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
			Пристосування для контролю допуску	8533-4029
			Контрольний зразок	8533-4029-00-02
			Індикатор 1МИГ	ГОСТ 9696-82
		Шорсткість Ra 0,16	Профілометр системи М	ГОСТ 19300-86

3.2.12 Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Після розробки маршрутної технології, розраховуємо припуски на механічну обробку [9, 12].

Розрахунок проведемо за методикою професора Кована для поверхні цафпа $\varnothing 25_{-0,055}^{-0,040}$ (зовнішня циліндрична поверхня) деталі шестерня ведуча.

Розрахуємо припуски на наступні етапи обробки поверхні:

- 1) точіння чорнове;
- 2) точіння чистове;
- 3) шліфування чорнове;
- 4) шліфування чистове;

Заготовка: поковка, допуск $\delta_3=2,2$ мм (верхнє відхилення +1,4, нижнє –0,8). Значення елементів припуску заготовки та механічної обробки вибираємо з довідників, та заносимо до табл. 3.14.

Для більшості операцій механічної обробки базою є вісь деталі (деталь встановлюється в центрах), тому в радіальному напрямку похибка встановлення дорівнює нулю, тобто впливу на розмір, який розраховується, немає. Сумарні просторові відхилення ρ для деталей типу тіла обертання при встановленні в центрі з притисканням до торцевої поверхні визначається за формулою, мкм:

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot l = 5 \cdot 26 = 130,$$

де $\Delta_k = 5$ мкм/мм - питома кривизна заготовки.

Залишкові просторові відхилення по операціях визначаємо за формулою:

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \cdot \rho_{\text{кор}},$$

1 операція – точіння чорнове: $\rho_1 = 0,06 \cdot 130 = 7,8$ мкм;

2 операція – точіння чистове: $\rho_2 = 0,04 \cdot 130 = 5,2$ мкм;

3 операція – шліфування чорнове: $\rho_3 = 0,03 \cdot 130 = 3,9$ мкм;

4 операція – шліфування чистове: $\rho_4 = 0,02 \cdot 130 = 2,6$ мкм.

Визначаємо мінімальні припуски по переходах за формулою:

$$2z_{\text{min}} = 2(R_{zi-1} + T_{i-1} + \rho_{\text{кор}}).$$

Мінімальні припуски, мкм:

- під точіння чорнове

$$2z_{\text{min1}} = 2(150 + 200 + 130) = 2 \cdot 480;$$

- під точіння чистове:

$$2z_{\text{min2}} = 2(50 + 50 + 7,8) = 2 \cdot 107,8;$$

- під шліфування чорнове:

$$2z_{\text{min3}} = 2(30 + 30 + 5,2) = 2 \cdot 65,2;$$

- під шліфування чистове:

$$2z_{\text{min4}} = 2(10 + 20 + 3,9) = 2 \cdot 33,9.$$

Розраховуємо розміри по операціям, починаючи з фінального (по кресленню) шляхом додавання розрахункового мінімального припуску кожної операції, мм:

$$d_{p3} = 24,945 + 0,068 = 25,013;$$

$$d_{p2} = 25,013 + 0,13 = 25,143;$$

$$d_{p1} = 25,143 + 0,216 = 25,359;$$

$$d_{p\text{ заг}} = 25,359 + 0,96 = 26,319;$$

Визначення граничних (максимальних) розмірів також виконуємо починаючи з фінального розміру (з креслення). Результати зводимо в табл. 3.14.

$$d_{\max 4} = d_{\min 4} + \delta_4 = 24,945 + 0,013 = 24,958 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3} = d_{\min 3} + \delta_3 = 25,013 + 0,084 = 25,097 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = d_{\min 2} + \delta_2 = 25,15 + 0,13 = 25,28 \text{ мм};$$

$$d_{\max 1} = d_{\min 1} + \delta_1 = 25,36 + 0,33 = 25,69 \text{ мм};$$

$$d_{\max \text{ заг}} = d_{\min \text{ заг}} + \delta_{\text{заг}} = 26,4 + 2,2 = 28,6 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків визначаємо, як різницю найбільших або найменших граничних розмірів за формулами, мм:

$$2Z_{\min}^{\text{гп}} = d_{\max i} - d_{\max i-1};$$

$$2Z_{\max}^{\text{гп}} = d_{\min i} - d_{\min i-1};$$

$$2Z_{\min 4}^{\text{гп}} = 25,013 - 24,945 = 0,068;$$

$$2Z_{\min 3}^{\text{гп}} = 25,15 - 25,013 = 0,137;$$

$$2Z_{\min 2}^{\text{гп}} = 25,36 - 25,15 = 0,21;$$

$$2Z_{\min 1}^{\text{гп}} = 26,4 - 25,36 = 1,04;$$

$$2Z_{\max 4}^{\text{гп}} = 25,097 - 24,958 = 0,139;$$

$$2Z_{\max 3}^{\text{гп}} = 25,28 - 25,097 = 0,183;$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{гп}} = 25,69 - 25,28 = 0,41;$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{гп}} = 28,6 - 25,69 = 2,91.$$

Перевірка:

$$2Z_{\max 4}^{\text{гп}} - 2Z_{\min 4}^{\text{гп}} = 139 - 68 = 71 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 - \delta_4 = 84 - 13 = 71 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 3}^{\text{гп}} - 2Z_{\min 3}^{\text{гп}} = 183 - 137 = 46 \text{ мкм};$$

$$\delta_2 - \delta_3 = 130 - 84 = 46 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2}^{\text{гп}} - 2Z_{\min 2}^{\text{гп}} = 410 - 210 = 200 \text{ мкм};$$

$$\delta_1 - \delta_2 = 330 - 130 = 200 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 1}^{\text{гп}} - 2Z_{\min 1}^{\text{гп}} = 2910 - 1040 = 1870 \text{ мкм};$$

$$\delta_{\text{заг}} - \delta_1 = 2200 - 330 = 1870 \text{ мкм}.$$

Розрахунки виконано вірно.

Таблиця 3.14

Технологічний маршрут обробки цапфи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення, мкм	
	R_z	T	ρ				d_{min}	d_{max}	$2Z_{min}$	$2Z_{max}$
Заготовка	150	200	130	-	26,319	2200	26,4	28,6	-	-
1. Точіння чорнове	50	50	7,8	2·480	25,359	330	25,36	25,69	1040	2910
2. Точіння чистове	30	30	5,2	2·107,8	25,143	130	25,15	25,28	210	410
3. Шліфування чорнове	10	20	3,9	2·65,2	25,013	84	25,013	25,097	137	183
4. Шліфування чистове	5	15	2,6	2·33,9	24,945	13	24,945	24,958	68	139
Разом									1455	3642

Будуємо схему графічного розташування припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 25^{+0,040}_{-0,055}$, рис. 3.3.

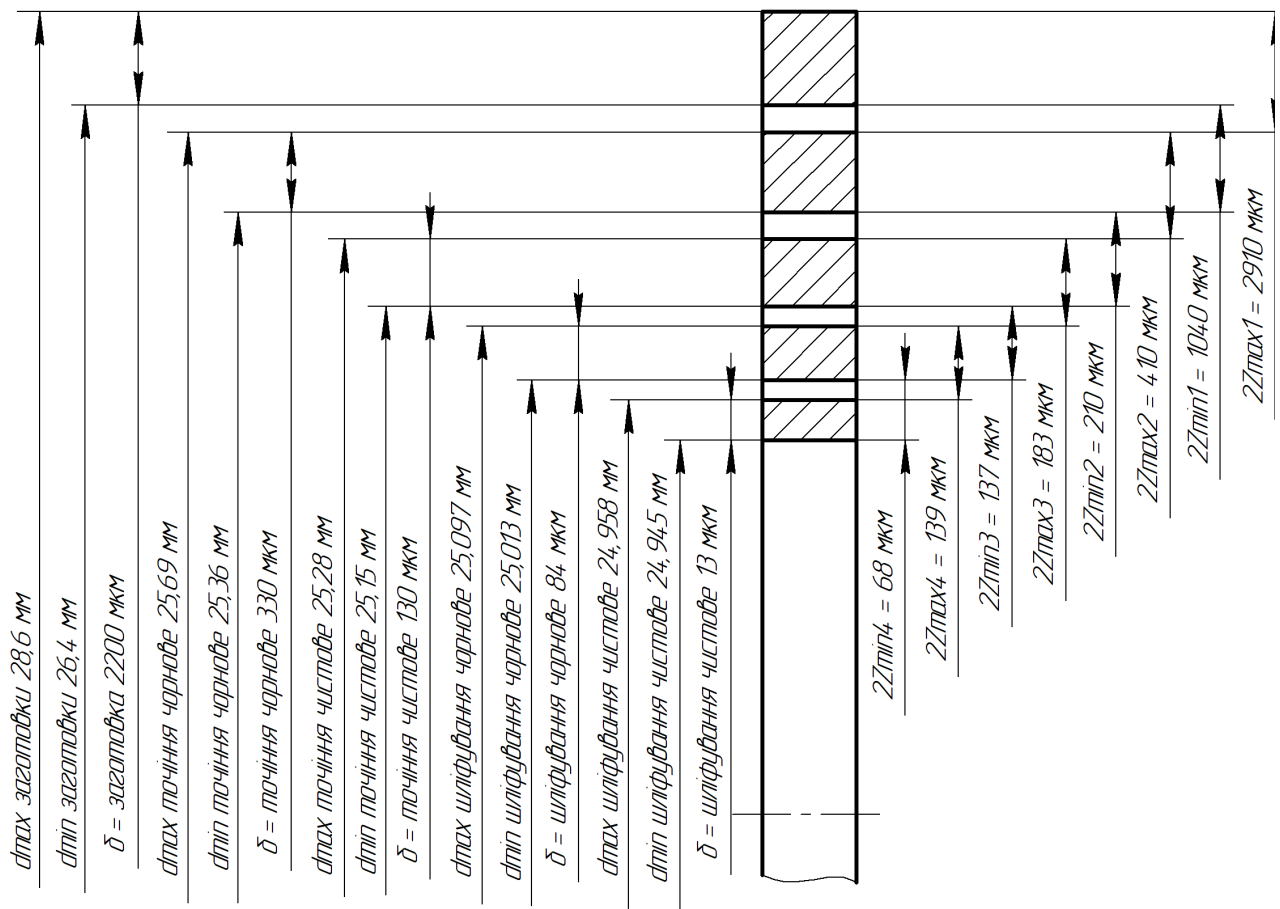


Рис. 3.3 Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку

На інші поверхні припуски визначаємо по нормативним даним, і заносимо їх до табл. 3.15.

Таблиця 3.15.

№ поверхні по рис. 3.1	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1, 11	Торець	Точіння чорнове	2,4	0,4
		Точіння чистове	0,8	0,062
2, 7	Цапфа вала	Точіння чорнове	1,04	0,4
		Точіння чистове	0,21	0,062
		Шліфування чорн.	0,137	0,021
		Шліфування чист.	0,068	0,005
3, 6	Торець зубчастого вінця	Точіння чорнове	2,4	1,26
		Точіння чистове	0,8	0,1
		Шліфування чорн.	0,28	0,025
		Шліфування чист.	0,06	0,008
9,10	Канавка	Точіння чорнове	0,3	0,33
4	Зовнішня циліндрична поверхня зубчастого вінця	Точіння чорнове	2,4	0,4
		Точіння чистове	0,8	0,12
		Шліфування чорн.	0,28	0,03
5	Зубці	Фрезерування	9	0,017
8	Шліцева шийка	Точіння чорнове	2,4	0,34
		Точіння чистове	0,8	0,062
		Шліфування чорн.	0,28	0,021
		Шліфування чист.	0,06	0,008
12	Шліцева поверхня	Фрезерування	2,9	0,7

3.2.13 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання проводимо для шліфувальної операції 300 обробки шестерні ведучої [9, 12]. На даній операції відбувається обробка зовнішньої циліндричної поверхні зубчастого вінця.

Вихідні дані:

- круглошліфувальний верстат 3А151;
- матеріал деталі – сталь 18ХГТ;
- оброблюваний розмір $D = \varnothing 54,9_{-0,04}$;
- шліфувальний круг ПП 600 х 40 х 305 14А25СТ1;
- частота обертів круга $n_{кр} = 1112 \text{ хв}^{-1}$.

Визначаємо дійсну швидкість шліфувального круга, м/с:

$$V_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60},$$

де: $n_{кр}$ – частота обертання круга згідно паспорту верстата;

$D_{кр}$ = діаметр круга.

$$V_{кр} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1112}{1000 \cdot 60} = 34,92$$

Рекомендований робочий діапазон швидкостей круга $V_{кр} = 30 \dots 35$ м/с.

Визначаємо швидкість різання деталі по нормативам:

$$V_d = 20 \dots 40 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо частоту обертання деталі, хв^{-1} :

$$n_d = \frac{1000 \cdot V_d}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 40}{3,14 \cdot 54,9} = 232,03.$$

Привод передньої бабки верстата має змогу безступінчастого регулювання частоти обертів оброблюваної деталі у межах $63 \dots 400 \text{ хв}^{-1}$, тому приймаємо частоту обертання деталі $n_d = 230$.

Уточнюємо швидкість обертання деталі, м/хв:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n_d}{1000} = \frac{3,14 \cdot 54,9 \cdot 200}{1000} = 39,64.$$

Призначаємо радіальну подачу. За довідниками, рекомендований діапазон радіальних подач $S_p = 0,001 \dots 0,005$ мм/об. Обраний верстат має технологічну можливість безступінчастого регулювання радіального врізання у межах $0,0005 \dots 0,01$ мм/об. Приймаємо $S_p = 0,005$ мм/об.

Визначаємо ефективну потужність при шліфуванні, кВт:

$$N_p = C_N \cdot V_d^r \cdot S_p^y \cdot D^q \cdot b^z.$$

Значення коефіцієнта та показників степені вибираємо з довідника:

$$C_N = 0,14; r = 0,8; y = 0,8; q = 0,2; z = 1,0.$$

Отже, потужність різання, кВт:

$$N_p = 0,14 \cdot 39,64^{0,8} \cdot 0,005^{0,8} \cdot 54,9^{0,2} \cdot 24,6^{1,0} = 2,102.$$

Перевіряємо, чи достатня потужність верстату для здійснення обробки.

Визначаємо потужність шпінделя інструменту $N_{шп}$ із виразу:

$$N_{шп} = N_{дв} \cdot \eta,$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність двигуна шпіндельної бабки, $N_{\text{дв}} = 7,5$ кВт,

η – ККД = 0,8.

Отже, потужність шпінделя верстата, кВт:

$$N_{\text{шп}} = 7,5 \cdot 0,8 = 6.$$

Вираз $N_p \leq N_{\text{шп}}$ виконується, обробка можлива.

Визначаємо основний технологічний час, хв:

$$t_o = \frac{a}{n_d \cdot S_p} \cdot k,$$

де a – припуск на сторону, мм;

k – коефіцієнт, який враховує точність обробки, $k = 1,4$.

$$t_o = \frac{0,4}{230 \cdot 0,005} \cdot 1,4 = 0,487.$$

Режими різання на інші операції вибираємо з довідників та каталогів і зводимо до таблиці 3.16.

Таблиця 3.16

Номер		t, мм	S, мм/об S, мм/хв	V, м/хв	N, хв ⁻¹	t _o , хв
Оп.	Пер.					
200	2	1,0	0,2	200	1200	0,2
	3	0,8	0,25	200	1200	0,4
	4	3,6	0,35	200	1200	0,03
	5	11,2	0,08	20	1200	0,175
205	2	1,0	0,2	200	2500	0,28
	3	0,8	0,25	200	2500	0,46
	4	3,6	0,35	200	2500	0,03
	5	1,4	0,35	200	2500	0,06
	6	11,2	0,08	20	1200	0,175
210	2	9	2	78,5	250	1,524
215	2	2,9	1,2	56	224	0,98
300	2	0,4	0,005	39,64	230	0,487
305	2	0,12	0,048	14,6	180	0,42
		0,07	0,032	14,57	180	
310	2	0,12	0,048	14,4	180	0,42
		0,07	0,032	14,2	180	
315	2	0,09	0,002	14,5	180	0,18
		0,01	-	14,5	180	
320	2	0,09	0,002	14,5	180	0,28
		0,01	-	14,5	180	
335	2	0,005	-	17	300	0,5
340	2	0,005	0,0015	70	300	0,4

3.2.14 Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання технологічної операції визначаємо розрахунково-аналітичним методом [9, 12]. Виконуємо розрахунок норм часу для круглошліфувальної операції 300 шестерні ведучої при $t_0 = 0,487$ хв.

Штучний час на операцію визначається за формулою, хв:

$$t_{\text{шт.}} = t_0 + t_{\text{доп.}} + t_{\text{техн.обсл.}} + t_{\text{орг.обсл.}} + t_{\text{відп.}}$$

де $t_{\text{доп.}}$ – допоміжний час, хв;

$t_{\text{техн.обсл.}}$ – час на технічне обслуговування верстату, хв;

$t_{\text{відп.}}$ – час на перерву, на відпочинок і особисті потреби робітника, хв.

Допоміжний час визначаємо як суму часів на допоміжні прийоми, які обираються за довідниками:

- часу на установку і закріплення деталі, хв: $t_1 = 0,07$;

- час на керування верстатом, хв: $t_2 = 0,04$;

- час на вимірювання деталі, хв: $t_3 = 0,08$;

- час на правку круга, хв: $t_4 = 0,02$.

Отже, допоміжний час на операцію, хв:

$$t_{\text{доп.}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 0,07 + 0,04 + 0,08 + 0,02 = 0,21.$$

Після розрахунку допоміжного часу, з'являється можливість визначити оперативний час, хв:

$$t_{\text{опер.}} = t_0 + t_{\text{доп.}} = 0,487 + 0,21 = 0,697.$$

Час на технічне обслуговування визначають як відсоток від оперативного часу. Із довідників визначаємо $\alpha = 9\%$, та розраховуємо:

$$t_{\text{техн.обсл.}} = 0,697 \times 0,09 = 0,063 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування також визначають як відсоток від оперативного часу. Із довідників визначаємо $\beta = 1,7\%$, та розраховуємо:

$$t_{\text{орг.обсл.}} = 0,697 \times 0,017 = 0,012 \text{ хв.}$$

Норма часу на перерву, відпочинок і особисті потреби робітника також визначається як відсоток від оперативного часу: $\gamma = 7\%$. Визначаємо $t_{\text{відп.}}$:

$$t_{\text{відп.}} = 0,697 \times 0,07 = 0,049 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час на операцію, хв:

$$t_{\text{шт.}} = 0,487 + 0,21 + 0,063 + 0,021 + 0,049 = 0,83.$$

Для крупносерійного виробництва також слід визначити штучно-калькуляційний час:

$$t_{\text{шт.-к.}} = t_{\text{шт.}} + \frac{t_{\text{п.з.}}}{n},$$

де $t_{\text{п.з.}}$ – підготовчо-заклучний час, визначається за довідниками, $t_{\text{п.з.}} = 17$ хв.;
 n – кількість деталей в партії, шт.:

$$n = \frac{N_{\text{е}} \times a}{F},$$

де $N_{\text{е}}$ - програма випуску продукції – 35000 шт
 a - періодичність запуску-випуску виробу, $a = 5$ днів;
 F - число робочих днів в році, $F = 259$ днів (за 2023 рік).

$$n = \frac{35000 \cdot 5}{259} = 675 \text{ шт.}$$

$$t_{\text{шт.-к.}} = 0,83 + \frac{17}{675} = 0,855 \text{ хв.}$$

На інші операції механічної обробки технологічного процесу розрахунок норм часу проводим аналогічно і результати зводимо в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

№ операції	Час, хв							
	t_0	$t_{\text{доп.}}$	$t_{\text{техн. обсл.}}$	$t_{\text{орг. обсл.}}$	$t_{\text{відп.}}$	$t_{\text{шт.}}$	$t_{\text{п.з.}}$	$t_{\text{шт.к.}}$
200	0,805	0,362	0,07	0,07	0,0817	1,389	16	1,4127
205	1,005	0,402	0,0844	0,0844	0,0844	1,66	16	1,684
210	1,524	0,305	0,0548	0,0914	0,1097	2,085	23	2,1189
215	0,98	0,343	0,039	0,066	0,0793	1,508	19	1,5364
300	0,487	0,21	0,063	0,012	0,049	0,83	17	0,855
305	0,42	0,214	0,057	0,038	0,0444	0,7737	15	0,796
310	0,42	0,235	0,0589	0,0393	0,0458	0,7993	15	0,8216
315	0,18	0,108	0,0259	0,0173	0,0201	0,3514	17	0,3765
320	0,28	0,154	0,039	0,026	0,03	0,5295	17	0,5547
335	0,5	0,225	0,065	0,0435	0,051	0,8845	10	0,8993
340	0,4	0,116	0,031	0,0206	0,0206	0,5882	15	0,6104

3.3 Висновки

У розділі було здійснено розробку технологічного процесу механічної обробки деталі шестерня ведуча НШ20-М4-00-01-08. Проаналізувавши базовий технологічний процес, запропоноване рішення, що дасть змогу скоротити час на обробку шестерні, зменшити кількість задіяного металорізального обладнання, номенклатури різального, вимірювального інструменту, підвищити гнучкість виробничого процесу. В перспективі все це повинно вплинути на собівартість виробу.

Для забезпечення вимог точності та шорсткості, які висунуто до деталі у кресленні, проведено роботу по раціональному і обґрунтованому вибору технічного забезпечення (металорізальні верстати, верстатні затискні пристосування, різальні, допоміжні та вимірювальні інструменти), та розрахунок припусків на механічну обробку, режимів різання і технічне нормування операцій.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Розробка конструкції та розрахунок затискного пристрою

Операція – 210 зубофрезерна.

Зміст операції – фрезерувати зубці шестерні.

Верстат – зубофрезерний з ЧПУ Liebherr LC180a.

Тип виробництва – крупносерійний.

Матеріал деталі – сталь 18ХГТ ГОСТ 4545-71.

Інструмент – черв'ячна модульна фреза VergNano DE19016 Ø100 L160.

Операційний ескіз оброблюваної деталі наведено в додатку.

4.1.1 Схема базування деталі

Схема базування деталі приведена у табл. 3.9.

Для обробки деталей базується на два центрові отвори (нижній та верхній) в центрах пристрою, вони позбавляють деталь п'яти ступенів свободи, та притискається торцем цапфи до рифлення на установчому фланці, що лишає деталь ще однієї ступені свободи. Всього у деталі відбирається шість ступенів вільного переміщення. При такій схемі, похибка базування рівна нулю.

4.1.2 Призначення пристрою та принцип його роботи

Затискний пристрій використовується для встановлення та надійного кріплення деталі при обробці на зубофрезерному з ЧПУ Liebherr LC180a.

Пристрій класифікують по ознакам:

- по типу верстата – зубофрезерний;
- по ступеню спеціалізації – спеціальний;
- по рівню механізації – механізований;
- по джерелу енергії – гідравлічний.

Зображення та комплектність пристрою приведено на рис. 4.1.

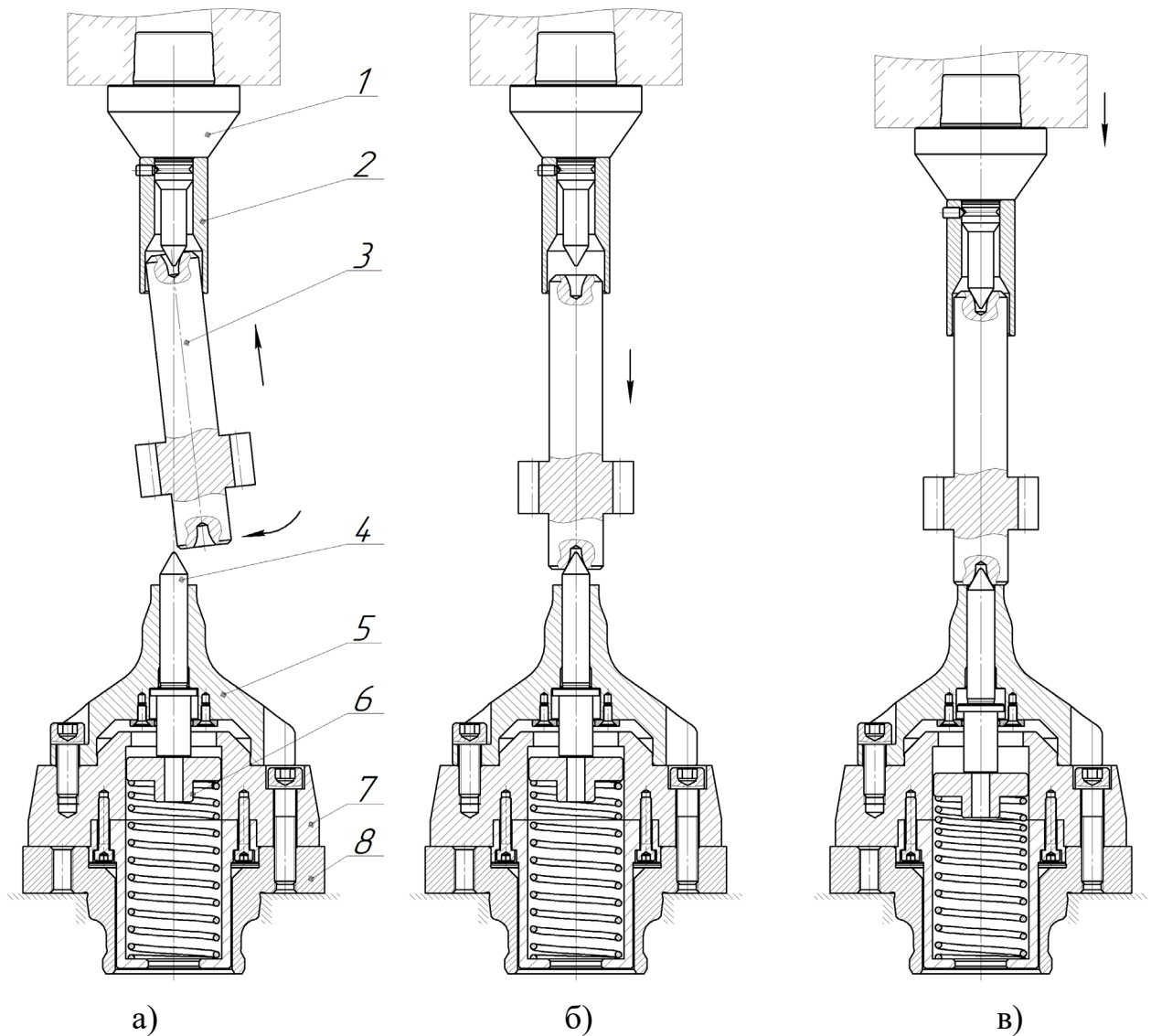


Рис. 4.1 Затискний пристрій верстата Liebherr LC180a

а), б) встановлення деталі; в) затиск

1 – верхній центр; 2 – гільза; 3 – оброблювана деталь; 4 – центр установчого фланцю;
5 – установчий фланець; 6 – підпружинена опора установчого фланця;
7 – перехідна насадка; 8 – основа.

Пристрій складається з верхнього центру поз. 1, установчого фланцю поз. 5, перехідної насадки поз. 7 та основи поз. 8. Затиск деталі виконується за допомогою гідроциліндру, який приводить у рух верхній центр.

Деталь встановлюють наступним чином. Спершу, заводять довшою цапфою у гільзу верхнього центру, орієнтуючи центровим отвором деталі відносно кінця верхнього центру (рис. 4.1, а). Потім, встановлюють деталь центровим отвором коротшої цапфи на кінець центру установчого фланця (рис. 4.1, б). Попереднє встановлення деталі закінчено, форма гільзи верхнього

центру забезпечить гарантоване орієнтування деталі центровим отвором відносно верхнього центру.

Наступним етапом необхідно закрити захисне огороження верстату, натиснути кнопку затиску на панелі керування системи ЧПУ верстату і рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у штокову порожнину гідроциліндру, тисне на поршень. Шток із приєднаним верхнім центром переміщується вниз. По мірі руху верхнього центру вниз спочатку відбувається встановлення деталі у центрах, а потім, за рахунок підпружиненої опори установчого фланця, відбувається переміщення деталі у центрах вниз і притискання торцю цапфи до рифлення на установчому фланці (рис. 4.1, в). Затиск деталі в центрах здійснено.

Розтискання деталі відбувається наступним чином. Після натиснення кнопки на розтиск, рідина під тиском із гідросистеми потрапляє у безштокову порожнину гідроциліндру і тисне на поршень. Шток із приєднаним верхнім центром переміщується вгору. Розтиск деталі в центрах здійснено. Деталь знаходиться у гільзі верхнього центру, для зняття деталі необхідно підняти її та відвести від нижнього центру, потім вивести вниз.

4.1.3 Розрахунок зусиль затиску та визначення розмірів приводу

Проводити розрахунок сил затиску [9, 12] необхідно для забезпечення стабільного і надійного закріплення заготовки при обробці. Розрахунок враховує вплив сил різання, інерції, тертя, тяжіння, реакції в опорах та самої сили затиску.

Структурна схема пристрою наведена на рис. 4.2.

Схема дії сил та моментів різання і затиску показана на рис. 4.3.

Вихідні данні до розрахунків:

- модуль $m = 4$ мм;
- діаметр фрези $d_\phi = 100$ мм;
- подача фрези $S_o = 2$ мм/об;
- швидкість різання $V = 78,5$ м/хв;
- зусилля підпружиненої опори $F_p = 190$ Н;
- тиск в гідросистемі $\rho = 5 \cdot 10^6$ Па;

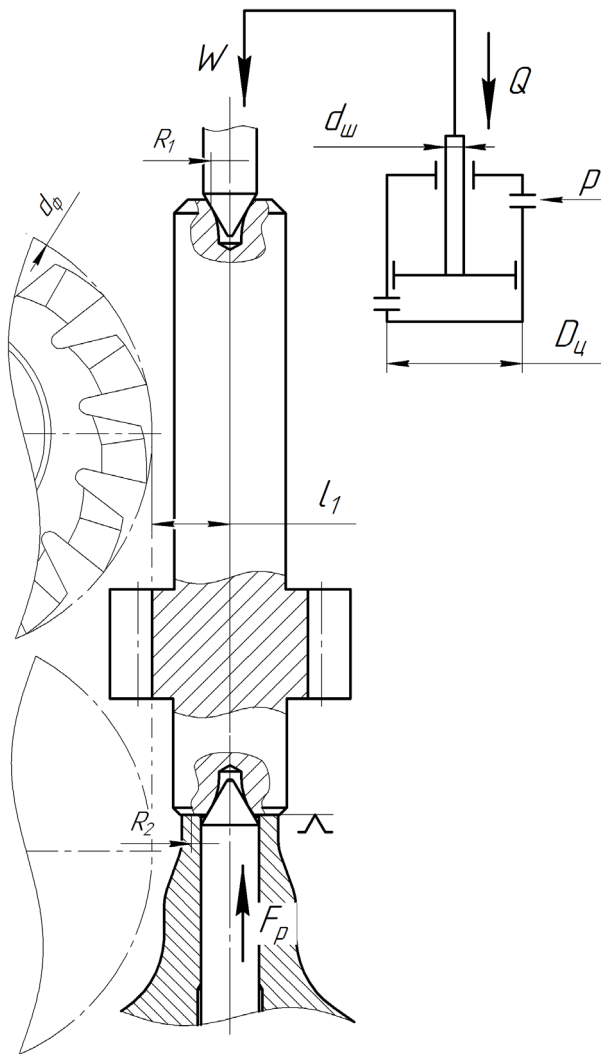


Рис. 4.2 Структурна схема
затискного пристрою.

W – сила затиску деталі; Q – зусилля на штоці гідроциліндру; F_p – зусилля підпружиненої опори; $d_{ш}$ – діаметр штоку; $D_{ц}$ – діаметр циліндру; p – тиск гідросистеми; l_1 – відстань від вісі деталі до діаметра кола впадин зубчатого колеса; R_1 – середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із затискними елементами; R_2 – середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із установчими елементами.

- максимальне зусилля затиску по паспорту верстата $W_{max} = 14000$ Н;
- відстань від вісі деталі до діаметра кола впадин $l_1 = 17,5$ мм;
- зовнішній діаметр зубчастого вінця $d_a = 54,9$ мм;

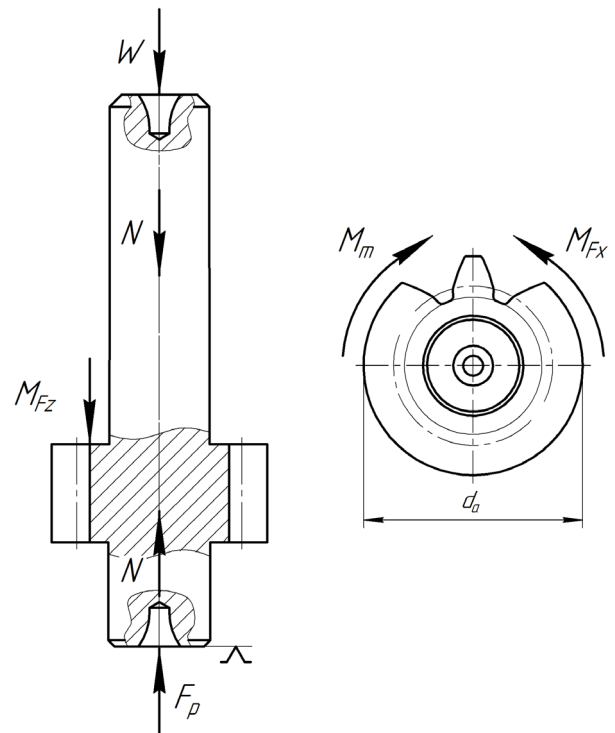


Рис. 4.3 Схема дії сил та моментів
різання і затиску.

W – сила затиску деталі;
 M_{Fz} – момент сили різання Fz ;
 N – сила тертя;
 F_p – зусилля підпружиненої опори;
 M_{Fx} – момент сили різання Fx ;
 M_r – момент тертя від опор,
 d_a – зовнішній діаметр зубчастого вінця.

- середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із затискними елементами, $R_1 = 4,5$ мм;
- середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із установчими елементами, $R_2 = 8,65$ мм.

Сила різання F_z для черв'ячного зубофрезерування визначається по формулі, Н:

$$F_z = \frac{N \cdot 1020 \cdot 60}{V},$$

де N – потужність різання, кВт;

V – швидкість різання.

Потужність різання визначається за формулою, кВт:

$$N = C_N \cdot m^{1,7} \cdot S_o^{0,9} \cdot \frac{V}{d_\phi},$$

де C_N – коефіцієнт, який залежить від оброблюваного матеріалу, $C_N=0,12$ для сталі;

Отже:

$$N = 0,12 \cdot 4^{1,7} \cdot 2^{0,9} \cdot \frac{78,5}{100} = 1,856 \text{ кВт.}$$

Підставляємо значення N у формулу визначення F_z , Н:

$$F_z = \frac{1,856 \cdot 1020 \cdot 60}{V} = 1447.$$

Подальший розрахунок сил затиску та розмірів робочих елементів гідроциліндру проводимо враховуючи рівновагу деталі, на яку впливають моменти сил різання та сил затиску (тертя) з врахуванням коефіцієнту запасу K :

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5,$$

де: K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 1,5$;

K_1 - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки. $K_1 = 1,0$;

K_2 - коефіцієнт, який враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту, $K_2 = 1,4$;

K_3 - коефіцієнт, який враховує збільшення сили різання при непостійному різанні, $K_3 = 1,2$;

K_4 - коефіцієнт, який враховує постійність сили затиску, яка утворюється силовими приводами пристрою, $K_4 = 1,0$;

K_5 - коефіцієнт, який враховує наявність крутного моменту, $K_5 = 1,0$.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,4 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,52.$$

Основне розрахункове рівняння для визначення сили затиску W , Н:

$$W \geq \frac{K \cdot M_{Fx} + f_1 \cdot R_1 \cdot M_{Fz} \cdot \frac{j_1}{j_1 + j_2} - f_2 \cdot R_2 \cdot M_{Fz} \cdot \frac{j_2}{j_1 + j_2}}{f_1 \cdot R_1 + f_2 \cdot R_2} + F_p,$$

де M_{Fx} – момент, що виникає від складової сили різання F_x , Н;

M_{Fz} – момент, що виникає від складової сили різання F_z , Н;

f_1 – коефіцієнт тертя поверхні деталі із установчими елементами, визначаємо $f_1 = 0,15$;

f_2 – коефіцієнт тертя поверхні деталі із затискним елементом, $f_2 = 0,7$;

R_1 – середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із затискними елементами, $R_1 = 4,5 \cdot 10^{-3}$ м;

R_2 – середній радіус розташування площадки контакту поверхні деталі із установчими елементами, $R_2 = 8,65 \cdot 10^{-3}$ м;

j_1 – жорсткість стику затискного елемента і деталі; $\frac{j_1}{j_1 + j_2} = 0,3$ наближене значення, за довідником;

j_2 – жорсткість стику установчого елемента і деталі; $\frac{j_2}{j_1 + j_2} = 0,6$ наближене значення, за довідником.

Значення крутного моменту M_{Fx} визначаємо з виразу:

$$M_{Fx} = F_x \cdot \frac{d_a}{2}.$$

Маючи значення F_z та беручи до уваги відоме співвідношення значень складових сил різання для фрезерування $F_x = 0,4 \cdot F_z$, а також значення $d_a = 54,9 \cdot 10^{-3}$ м, підставляємо у формулу, Н·м:

$$M_{Fx} = 0,4 \cdot F_z \cdot \frac{d_a}{2} = 0,4 \cdot 1447 \cdot \frac{54,9 \cdot 10^{-3}}{2} = 15,888.$$

Значення крутного моменту M_{Fz} визначаємо з виразу, Н·м:

$$M_{Fz} = F_z \cdot l_1 = 1447 \cdot 17,5 \cdot 10^{-3} = 25,323.$$

Отже, визначаємо силу затиску W :

$$W \geq \frac{2,53 \cdot 15,888 + 0,15 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 25,323 \cdot 0,3 - 0,7 \cdot 8,65 \cdot 10^{-3} \cdot 25,323 \cdot 0,6}{0,15 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} + 0,7 \cdot 8,65 \cdot 10^{-3}} + 190 = 6150 \text{ Н.}$$

Як видно зі структурної схеми рис. 4.2, зусилля на штоці передається безпосередньо на затискний центр, тобто $W = Q$. Зусилля Q визначається по формулі:

$$Q = \frac{\pi \cdot (D_{\text{ц}}^2 - d_{\text{ш}}^2)}{4} \cdot \rho \cdot \eta.$$

Визначаємо діаметр гідроциліндру $D_{\text{ц}}$ за формулою, м:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta} + d_{\text{ш}}^2},$$

де η - коефіцієнт корисної дії, $\eta = 0,85$;

$d_{\text{ш}}$ - діаметр штоку гідроциліндру, приймаємо $d_{\text{ш}} = 0,04$ м;

ρ - тиск в гідросистемі, $\rho = 5 \cdot 10^6$ Па;

Підставивши значення, отримаємо, м:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6150}{3,14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,04^2} = 0,059.$$

Приймаємо діаметр гідроциліндру $D_{\text{ц}} = 60$ мм.

Тобто, згідно розрахунків, при заданих параметрах необхідний і достатній діаметр гідроциліндру для створення зусилля затиску - $D_{\text{ц}} = 60$ мм. По паспортним даним, верстат може створювати зусилля затиску $W_{\text{max}} = 14000$ Н, а тому діаметр циліндру має бути, м:

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 14000}{3,14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,85} + 0,04^2} = 0,076.$$

Приймаємо діаметр гідроциліндру $D_{\text{ц}} = 80$ мм.

Складальне креслення пристосування представлено в додатках до роботи.

4.2 Розрахунок та розробка контрольного пристрою

4.2.1 Опис контрольного пристрою

Контрольне пристосування 8532-4054 призначене для контролю похибки направлення зубців шестерні ведучої НШ20М-4-00-01-08. Коротка технічна характеристика пристосування представлена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1.

№ п/п	Найменування параметру	Од. виміру	Значення параметру
1.	Межі вимірювання	мм	0...1
2.	Похибка на всьому проміжку вимірювання	мм	0,0054
3.	Варіація в мм	мм	0,0005
4.	Вимірювальне зусилля	кг	2
5.	Габаритні розміри	мм	532x380x323

Контрольне пристосування складається із:

- контрольно-вимірювального пристосування в зборі;
- індикатору 1МИГ ГОСТ 9696–75 (1 шт.).
- контрольного зразку для налагодження індикатора на нуль; допускається використання еталонної деталі, обміряної на мікроскопі.

4.2.2 Будова та принцип роботи

Контрольне пристосування (рис. 4.4) складається з литої станини поз. 1, на якій встановлені дві бабки поз. 6 і поз. 17 і плита поз. 2. На плиті поз. 2 кріпиться стійка еталона поз. 3 з копіром поз. 5. На каретці поз. 13, яка переміщується на кулькових напрямних поз. 16, закріплена стійка поз. 15, у центрах якої коливається важіль поз. 14. На важелі встановлена стойка поз. 12 з індикатором поз. 10 і вимірювальним наконечником поз. 7, який переміщується по копіру поз. 5. Паралельність копіру до вісі центрів, в яких встановлена контрольована деталь поз. 8, регулюється гвинтом поз. 4. Принцип заміру заснований на одночасному переміщенні вимірювальних наконечників по бічній поверхні зубця контрольованої шестерні поз. 9 та по копіру поз. 5.

Перед початком роботи із пристосуванням, необхідно ретельно протерти робочі поверхні пристосування, оглянути пристосування і перевірити його працездатність.

Індикатор поз. 10 повинен бути щільно закріплений в державці поз. 11 гвинтом. Перед початком роботи необхідно налаштувати індикатор поз. 10 на нуль, тобто виставити робочу поверхню копіра поз. 5 паралельно вісі центрів за допомогою гвинта поз. 4.

Для виконання процесу контролю, очищена від стружки і масла деталь поз. 9 встановлюється в центрах поз. 8. Потім важіль поз. 14 переміщують вздовж вісі центрів. При цьому один наконечник рухається по бічній поверхні зубця, а другий – по копіру. Індикатор показує відхилення від паралельності. Деталь вважається годною при показниках індикатора $\pm 0,01$ мм.

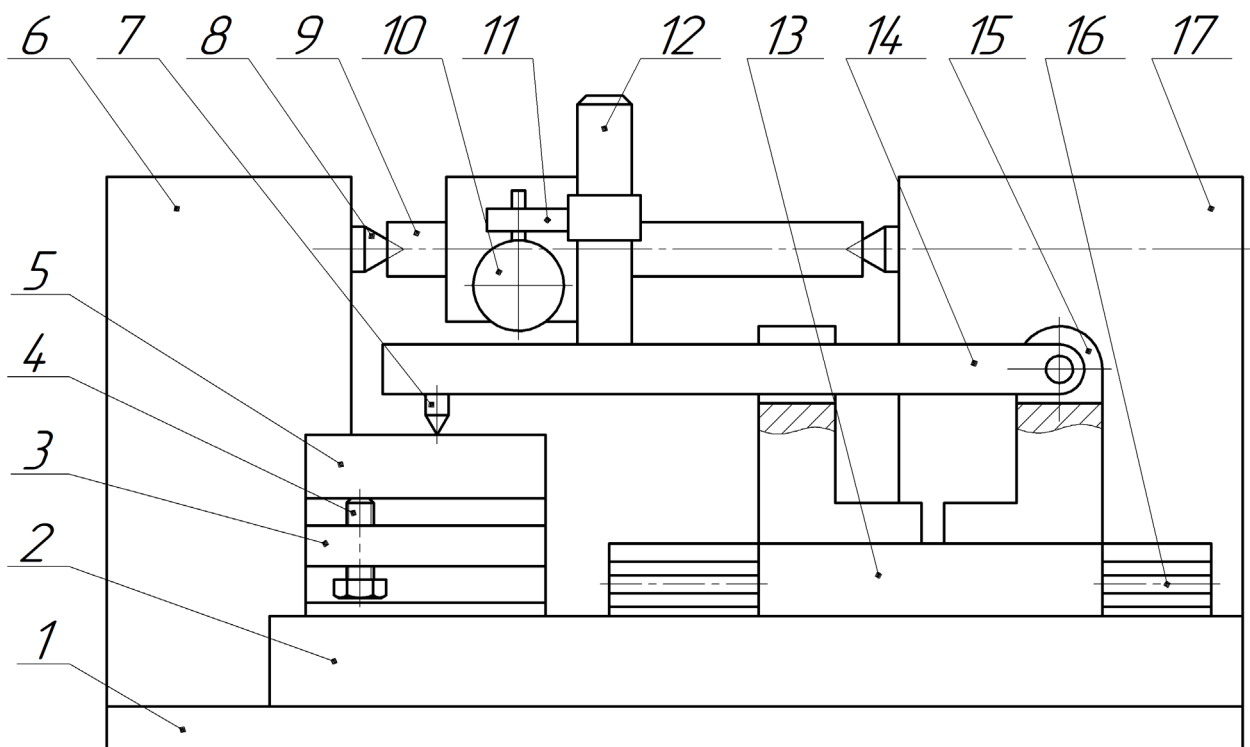


Рис. 4.4 Схематичне зображення контрольного пристосування.

1 – станина; 2 – плита; 3 – стійка еталона; 4 – гвинт; 5 – копір; 6 – передня бабка;
7 – вимірювальний наконечник; 8 – центр; 9 – контрольована деталь; 10 – індикатор;
11 – державка індикатора; 12 – стойка індикатора; 13 – каретка; 14 – важіль; 15 – стійка;
16 – кулькові напрямні; 17 – задня бабка.

4.2.3 Визначення похибок вимірювання контрольного пристрою

Виконаємо перевірку контрольного пристрою по працездатності [9, 12]:

$$[\Delta_{\text{вим}}] \geq \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_{\text{вд}}^2 + \Delta_{\text{пп}}^2 + \Delta_{\text{вз}}^2 + \Delta_{\text{взв}}^2 + \Delta_{\text{від}}^2},$$

де: Δ_6 – похибка базування деталі, $\Delta_6 = 0$;

$\Delta_{\text{вд}}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\text{вд}} = 0,0015$ мм;

$\Delta_{\text{пп}}$ – похибка передавального пристрою, $\Delta_{\text{пп}} = 0$ мм;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\text{вз}} = 0,0025$ мм;

$\Delta_{\text{взв}}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\text{взв}} = 0,0022$ мм;

$\Delta_{\text{від}}$ – похибка відліку, $\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, тобто маємо:

$$\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot 0,001 = 0,0002 \text{ мм},$$

$[\Delta_{\text{вим}}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,02$ мм.

Тоді:

$$\sqrt{0,0015^2 + 0,0025^2 + 0,0022^2 + 0,0002^2} = 0,0036 \text{ мм}.$$

Допустима похибка вимірювання складає 0,02 мм, а розрахункова – 0,0036 мм. Тобто умова виконується.

Складальне креслення вимірювального пристосування представлено в додатках до роботи.

4.3 Розробка конструкції та розрахунок різального інструменту

Фреза черв'ячна шліцева використовується для фрезерування шліців на операції 215 шліцефрезерна на шліцефрезерному напівавтоматі 5350А.

Вихідні дані:

1. Матеріал деталі: сталь 18ХГТ ДСТУ 7806:2015;
2. Розмір оброблюваної поверхні: D-6x21x25e9x5;
3. Шорсткість: Ra = 3,2 мкм;
4. Верстат – шліцефрезерний напівавтомат 5350А;
5. Матеріал інструменту: швидкорізальна сталь Р6М5 ГОСТ 19263-73.

4.3.1 Опис конструкції черв'ячної шліцевої фрези

Фреза (рис. 4.5) призначена для обробки шліцевої поверхні, яка має

прямолінійний профіль зубців. В основі конструкції фрези лежить традиційна черв'ячна фреза, яка здійснює формоутворення по методу обкату. Черв'ячна фреза і оброблювана деталь знаходяться в зачепленні. Профіль черв'ячної фрези являє собою профіль твірної рейки, а профіль оброблюваної деталі – профіль зубчатого колеса, що знаходиться в зачепленні з рейкою. При відносному русі деталі відбувається обкат без ковзання початкового кола деталі по початковій прямій рейки. Різання здійснюється за рахунок обертання фрези, яка має у своєму повздовжньому перерізі стружкові канавки. Геометрія різальної частини та матеріал інструменту спеціально обираються для вибраних режимів обробки.

Шліцева фреза забезпечує прямолінійний профіль сторони виступу шліца, але не по всій глибині виступу. Біля основи шліца є перехідна ділянка, обмежена деякою кривою. Наявність цієї перехідної криволінійної ділянки є недоліком обробки такою фрезою.

Фреза кріпиться на оправку за допомогою центрального отвору під оправку, крутний момент передається на фрезу через оправку за допомогою шпонки і шпоночного пазу. Фреза кріпиться в вертикальному положенні.

Фреза суцільна виготовлена із сталі Р6М5 ГОСТ 19263-73. Профіль зубців – затілований. Основні параметри фрези зведено до табл. 4.2.

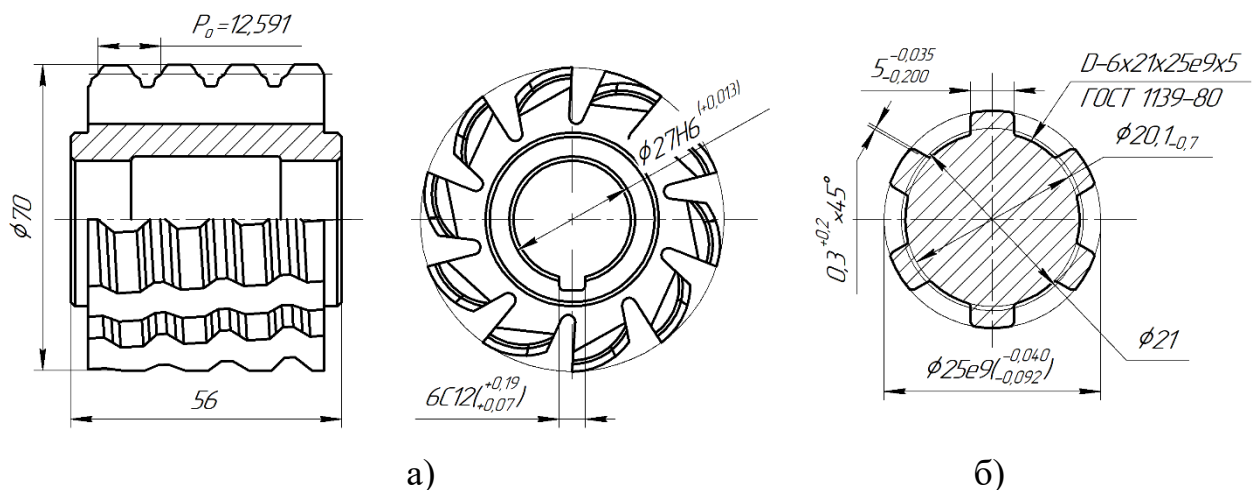


Рис. 4.5 Конструкція шліцевої фрези.

а) основні розміри інструменту; б) ескіз оброблюваного профілю.

P_o - крок фрези у вісєвому перерізі.

Таблиця 4.2.

№ п/п	Найменування параметру	Одиниця виміру	Значення
1.	Зовнішній діаметр	мм	Ø70
2.	Довжина	мм	56
3.	Діаметр під оправку	мм	Ø27H6 ^(+0,013)
4.	Ширина шпоночного пазу	мм	6C12 ^(+0,19) _(±0,07)
5.	Число зубців	шт.	10
6.	Число заходів гвинтової лінії	-	1
7.	Напрямок витків зубців	-	правий
8.	Напрямок стружкових канавок	-	лівий
9.	Крок стружкових канавок	мм	3368
10.	Кут підйому витків	град.	3°36'
11.	Кут підйому стружкових канавок	град.	3°36'
12.	Крок фрези у вісьовому перерізі	мм	12,591
13.	Крок фрези у нормальному перерізі	мм	12,566
14.	Допуск відхилення вісьового кроку між двома зубцями	мм	±0,016
15.	Допуск відхилення вісьового кроку зубців	мм	±0,010
16.	Різниця сусідніх окружних кроків	мм	0,040
17.	Накопичена похибка кроку окружних канавок	мм	0,063
18.	Допуск відхилення напрямку стружкових канавок	мм	±0,010
19.	Твердість різальної частини, HRC	од.	63...66

4.3.2 Розрахунок черв'ячної шліцевої фрези

Розрахунок фрези проводимо у наступній послідовності [7].

1) Радіус кола початку фаски на шліцевому профілі, мм:

$$R_{\phi} = R_e - C,$$

де R_e – радіус зовнішньої циліндричної поверхні деталі, мм;

C – величина фаски, мм.

$$R_{\phi} = 12,48 - 0,3 = 12,18.$$

2) Радіус початкового кола, мм:

$$R = \sqrt{R_{\phi} - 0,75 \frac{b^2}{4}},$$

де b – ширина шліців, мм.

$$R = \sqrt{12,18^2 - 0,75 \frac{4,8825^2}{4}} = 12.$$

3) Висота профілю черв'ячної шліцевої фрези, мм:

$$h = R - r_i,$$

де r_i – радіус внутрішньої окружності, мм.

$$h = 12 - 9,7 = 2,3.$$

4) Кут профілю:

$$\sin \gamma = \frac{b}{2 \cdot R} = \frac{4,8825}{2 \cdot 12} = 0,2034,$$

$$\gamma = 11^\circ 44'.$$

5) Ординати точок профілю фрези:

$$y_1 = (0,4 \dots 0,5)h = 0,4 \cdot 2,3 = 0,92,$$

$$y_2 = 0,9 \cdot h = 0,9 \cdot 2,3 = 2,07.$$

6) Кути обкату для заданих точок профілю фрези:

$$\sin \alpha_1 = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{y_1}{R}} = \frac{0,2034}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,2034}{2}\right)^2 + \frac{0,92}{12}} = 0,397,$$

$$\alpha_1 = 23^\circ 23',$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{y_2}{R}} = \frac{0,2034}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,2034}{2}\right)^2 + \frac{2,07}{12}} = 0,529,$$

$$\alpha_2 = 31^\circ 56'.$$

7) Абсциси точок профілю фрези:

$$x_1 = R[(\alpha_1^\circ - \gamma^\circ) \cdot 0,01745 - (\sin \alpha_1 - \sin \gamma) \cdot \cos \alpha_1],$$

$$x_1 = 12[(23^\circ 23' - 11^\circ 44') \cdot 0,01745 - (0,397 - 0,2034) \cdot 0,9178] = 0,3083,$$

$$x_2 = R[(\alpha_2^\circ - \gamma^\circ) \cdot 0,01745 - (\sin \alpha_2 - \sin \gamma) \cdot \cos \alpha_2],$$

$$x_2 = 12[(31^\circ 56' - 11^\circ 44') \cdot 0,01745 - (0,529 - 0,2034) \cdot 0,8486] = 0,9147.$$

8) Координати дуги, яка замінює профіль фрези:

$$y_0 = \frac{x_1(x_2^2 + y_2^2) - x_2(x_1^2 + y_1^2)}{2(x_1y_2 - x_2y_1)},$$

$$y_0 = \frac{0,3083(0,9147^2 + 2,07^2) - 0,9147(0,3083^2 + 0,92^2)}{2(0,3083 \cdot 2,07 - 0,9147 \cdot 0,92)} = -1,7651,$$

$$x_0 = \frac{x_1^2 - 2y_0y_1 + y_1^2}{2x_1},$$

$$x_0 = \frac{0,3083^2 - 2 \cdot (-1,7651) \cdot 0,92 + 0,92^2}{2 \cdot 0,3083} = 6,7941.$$

9) Радіус дуги, яка заміняє профіль фрези, мм:

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} = \sqrt{6,7941^2 + (-1,7651)^2} = 7,0196.$$

10) Крок профілю по нормалі, мм:

$$t = \frac{2\pi R}{z},$$

де z – число шліців, шт.

$$t = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 12}{6} = 12,566 \text{ мм.}$$

11) Товщина профілю фрези по початковій прямій, мм:

$$S_{\pi} = 2R \left(\frac{\pi}{z} - \gamma^{\circ} \cdot 0,01745 \right) = 2 \cdot 12 \left(\frac{3,14}{6} - 11^{\circ}44' \cdot 0,01745 \right) = 7,6514.$$

12) Падіння затилку, мм:

$$K = \frac{\pi \cdot D_{ei}}{z_i} \cdot \tan \delta,$$

де D_{ei} – табличне значення зовнішнього діаметру фрези, $D_{ei} = 70$ мм;

z_i – табличне значення кількості зубців фрези, $z_i = 10$ шт.;

δ – кут падіння затилку, $\delta = 9^{\circ} \dots 10^{\circ}$.

$$K = \frac{3,14 \cdot 70}{10} \cdot 0,1584 = 3,48 \text{ мм.}$$

13) Падіння затилку додаткового затилювання, мм:

$$K_1 = (1,2 \dots 1,5)K = 5.$$

14) Глибина стружкової канавки, мм:

$$H = h + \frac{K + K_1}{2} + (1 \dots 2) = 2,3 + \frac{3,48 + 5}{2} + (1 \dots 2) = 8,5.$$

15) Середній розрахунковий діаметр фрези, мм:

$$d_{di} = D_{ei} - 2h - 0,5K = 70 - 2 \cdot 2,3 - 0,5 \cdot 3,48 = 63,66.$$

16) Кут підйому витка фрези (кут нахилу стружкових канавок):

$$\sin \omega = \frac{t}{\pi \cdot d_{di}} = \frac{12,566}{3,14 \cdot 63,66} = 0,06283,$$

$$\omega = 3^{\circ}36'.$$

17) Крок по вісі фрези, мм:

$$t_b = \frac{t}{\cos \omega} = \frac{12,566}{0,998} = 12,591.$$

18) Крок гвинтової канавки фрези, мм:

$$T = t_b \cot^2 \omega = 12,591 \cdot 15,884^2 = 3176.$$

19) Перевірка правильності нарізання шліців, по висоті розташування перехідної кривої. Кут обкату для вершинної точки профілю фрези:

$$\sin \alpha_r = \frac{\sin \gamma}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sin \gamma}{2}\right)^2 + \frac{h}{R}} = \frac{0,2034}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,2034}{2}\right)^2 + \frac{2,3}{12}} = 0,5511.$$

$$\alpha_r = 33^\circ 27'.$$

Радіус кола початку перехідної кривої:

$$R_B = \sqrt{r_i^2 + h^2 \cot^2 \alpha_r} = \sqrt{9,7^2 + 2,3^2 \cdot 1,5139^2} = 10,306$$

Перевірка пройдена.

Робоче креслення фрези представлено в додатках до роботи.

4.4 Висновки

Розроблена конструкція затискного пристрою відповідає вимогам швидкого, надійного та безпечного закріплення деталі шестерня ведуча під час її обробки на верстаті Liebherr LC180a, що безперечно має вплив на точність та якість виготовлення деталі.

Розроблена конструкція контрольного пристрою дає можливість контролю похибки направлення зубців шестерні ведучої. Параметр точності по направленню зубців шестерні має значний вплив на ККД насоса та шумові характеристики.

Розроблена конструкція черв'ячної шліцевої фрези дає можливість виготовлення шліцевої поверхні на довгій цапфі ведучої шестерні із необхідною точністю та якістю.

РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Потребу в обладнанні на операціях технологічного процесу механічної обробки деталі «шестерня НШ20М-4-00-01-08» визначимо згідно [3, 6] за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{\partial pm} \cdot 60 \cdot k_{\epsilon}}, \quad (5.1)$$

де N_z – річна програма запуску деталі (за попередніми розрахунками $N_z=35000$ шт.);

$t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{\partial pm}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання (за попередніми розрахунками $F_{\partial pm} = 3758$ год.):

k_{ϵ} - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно з [3, 6]).

На операції 200 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{35000 \cdot 1,4}{3758 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,22$$

Розрахунки виконані аналогічно за іншими операціями технологічного процесу зведено до табл. 5.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (5.2)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць.

На операції 200 техпроцесу:

$$\eta_{z(1)} = \frac{0,22}{1} = 0,22 .$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведено до табл. 5.1.

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{1,842}{12} = 0,15 \quad (5.3)$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 5.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
200	Токарна з ЧПК	1,400	0,215	1	0,215	0,15
205	Токарна з ЧПК	1,382	0,212	1	0,212	
210	Зубофрезерна з ЧПК	2,085	0,320	1	0,320	
215	Шліцефрезерна	1,328	0,204	1	0,204	
300	Круглошліфувальна	0,40	0,061	1	0,061	
305	Круглошліфувальна	0,565	0,087	1	0,087	
310	Круглошліфувальна	0,803	0,123	1	0,123	
315	Круглошліфувальна	0,887	0,136	1	0,136	
320	Торцекруглошліфувальна	0,740	0,114	1	0,114	
330	Торцекруглошліфувальна	0,887	0,136	1	0,136	
335	Суперфінішна	0,921	0,142	1	0,142	
340	Доводочна	0,588	0,090	1	0,090	
	Всього	11,986	1,842	12	1,842	

5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать: розмір партії деталей; кількість запусків партії деталей; періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей; тривалість операційних та технологічного циклів обробки деталі; розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням виробничих умов.

Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося другим методом [3, 6], який застосовується у тому разі, коли в технологічному

процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заклучний час не перевищує 30 хв.). Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5F_{зм.д}}{t_{ум}^{min}}, \quad (5.4)$$

де $F_{зм.д}$ - дійсний фонд часу зміни (440 хв.);

$t_{ум}^{min}$ - штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,40} = 550 \text{ шт.}$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової *кількості партій* протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{35000}{550} = 64, \quad (5.5)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_ϕ) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду:

$$1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250,$$

після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_ϕ , розмір партії деталей:

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_\phi} = \frac{36000}{52} = 692 \text{ шт.} \quad (5.6)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_\phi} = \frac{250}{52} = 4,8 \text{ роб. днів}, \quad (5.7)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межоопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (5.8)$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ – калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{ум(i)}}{k_{\kappa} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-з(i)}}{n_{np}}, \quad (5.9)$$

де k_{κ} - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{m(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для операції 200:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{1,4}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{16}{692} = 1,409 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{692 \cdot 1,409}{2 \cdot 440} = 1,11 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Розрахунок тривалості циклу

№ опер	Найменування операції	$t_{ум}$, хв.	$t_{n-з}$, хв.	$t_{\kappa-\partial}$, хв.	T_o , днів	$t_{мо}$, днів
200	Токарна з ЧПК	1,400	16	1,409	1,11	0,2
205	Токарна з ЧПК	1,382	16	1,391	1,09	0,2
210	Зубофрезерна з ЧПК	2,085	23	2,098	1,65	0,2
215	Шліцефрезерна	1,328	19	1,342	1,06	0,2
300	Круглошліфувальна	0,40	17	0,421	0,33	0,2
305	Круглошліфувальна	0,565	15	0,581	0,46	0,2
310	Круглошліфувальна	0,803	15	0,817	0,64	0,2
315	Круглошліфувальна	0,887	17	0,903	0,71	0,2
320	Торцекруглошліфувальна	0,740	17	0,757	0,60	0,2
330	Торцекруглошліфувальна	0,887	17	0,903	0,71	0,2
335	Суперфінішна	0,921	10	0,926	0,73	0,2
340	Доводочна	0,588	15	0,604	0,47	0,2
	Всього	11,986	-	12,152	9,56	2,4

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій

масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні.

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{oi} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 9,56 + 2,4 = 12,0 \text{ днів}, \quad (5.10)$$

де t_{mo} - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{oi}}{m} = \frac{0,25 \cdot 9,56}{12} = 0,2 \text{ дні}, \quad (5.11)$$

Графік послідовного руху партії деталей представлено на рис. 5.1.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{n_{np} \cdot T_n}{R_s} = \frac{692 \cdot 12}{4,8} = 1730 \text{ шт.}, \quad (5.12)$$

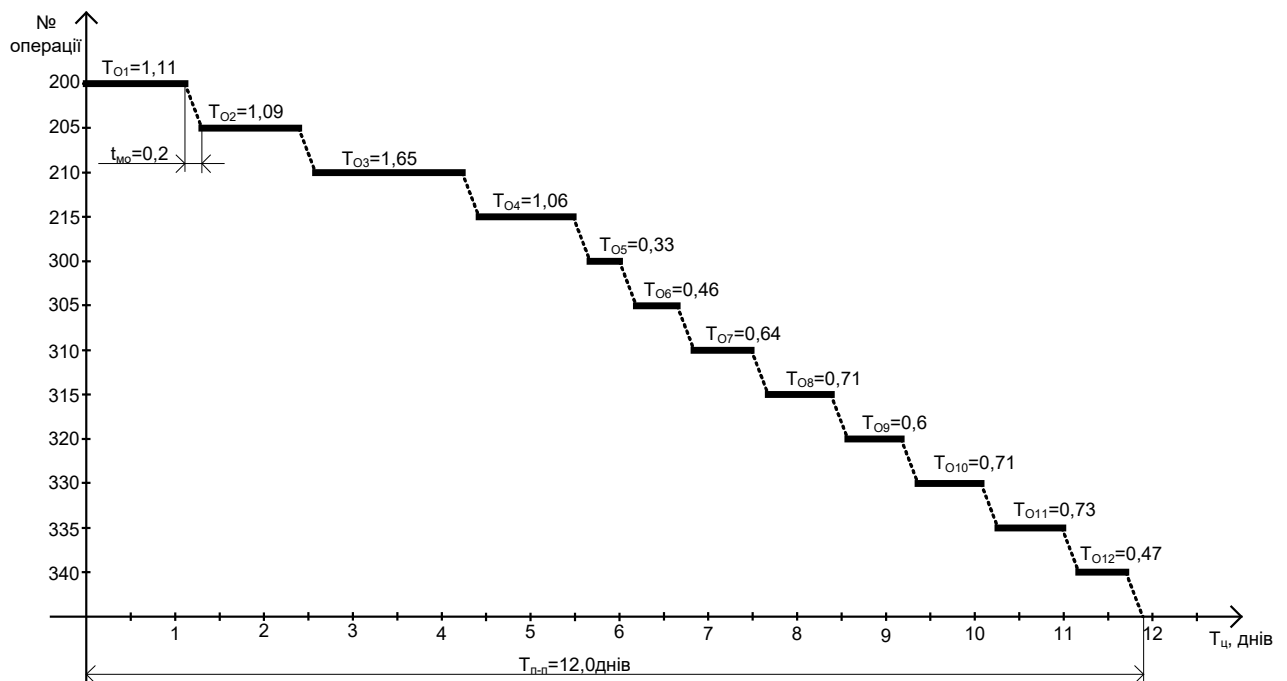


Рис. 5.1 Графік послідовного руху партії деталей «шестерня» $n_{np}=692$ шт.

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у серійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{\partial p}}, \quad (5.13)$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{\partial ov} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.14)$$

де $K_{\partial ov}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного (η_{zn}) для даного типу виробництва [3, 6]:

$$K_{\partial ov} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,8}{0,15} = 5,33 \quad (5.15)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15...20\%$;

$F_{\partial p}$ - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{\partial p} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (5.16)$$

$$T_p = 35000 \cdot \frac{11,986}{60} \cdot 5,33 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 44748 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{44748}{1840} = 25 \text{ осіб.}$$

5.4 Висновки

У розділі виконано розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження, календарно-планових нормативів, визначено чисельність основних робітників цеху по виробництву деталі шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08.

РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для того, щоб довести доцільність впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу, необхідно зробити його економічний аналіз. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (6.1)$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

Порівнюючи варіанти технологічного процесу, проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого. Так само, порівнювати доцільно лише операції, які відрізняються (табл. 6.1, 6.2).

Таблиця 6.1

Характеристика змін при обробці деталі «шестерня»

№ оп.	Базовий варіант		Розряд	№ оп.	Проектний варіант		Розряд
	Найменування операції	t_{um} , хв.			Найменування операції	t_{um} , хв.	
240	Зубофрезерна	2,86	4	210	Зубофрезерна	2,085	4
245	Зубодовбальна	3,505	4				4
250	Зубошевінгувальна	3,205	4				4
351-1	Доводочна	0,662	3	340	Доводочна	0,588	3
351-2	Доводочна	0,662	3				3
	Всього				Всього		

6.1.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен}, \quad (6.2)$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не змінюються у порівнюваних варіантах), грн.;

$Z_{одв}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн. (однакові у порівнюваних варіантах);

$B_{ам.у}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_o) \cdot (1 + K_c), \quad (6.3)$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{ум(i)}$ – штучний час i -тої операції, хв.;

K_o, K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot 9,57 + 70,18 \cdot 1,324}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 18,7698 \text{ грн.};$$

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot 2,085 + 70,18 \cdot 0,588}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 4,5595 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [3, 6] складемо таблицю щодо характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного технологічних процесів (табл. 6.2).

Таблиця 6.2

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електродвигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Оптова ціна, тис. грн.
Базовий варіант					
Зубофрезерний ВС-12-720	2,00×1,45	12,55	40/25	3,20	2169,72
Зубодовбальний 5122КН24	2,00×1,45	3,2	9/4	2,90	109,54
Зубошівінгувальний 5702В	2,10×1,51	3,0	10/13	3,17	106,00
Круглошліфувальний 3Б12	2,60×1,76	6,5	9,5/23	4,58	165,00
Проектний варіант					
Зубофрезерний з ЧПК LIEBHERR LC180a	3,40×2,60	28	35/22	8,84	4509,0
Верстат для алмазної доводки 020-145	2,30×1,70	4,6	9/18	3,91	122,00

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\varepsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\partial}}{\eta_{\varepsilon} \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot C_{ел}, \quad (6.4)$$

де N_{ε} – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o=0,65\dots0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,6...0,7 – для зубообробних, 0,4...0,5 – для шліфувальних верстатів);

K_{∂} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_{\partial}=0,3\dots0,5$;

η_{ε} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\varepsilon}=0,92\dots0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86\dots0,9$;

$C_{ел}$ – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

Наприклад, для операцій 240 базового техпроцесу:

$$E_{с.баз(240)} = \frac{12,55 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{2,86}{60} \cdot 7,5 = 1,2880 \text{ грн.}$$

Аналогічно, розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Розрахунок витрат на електроенергію

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$N_{\text{в}}$, кВт	K_N	$t_{\text{ум}}$, хв.	$E_{\text{с.баз}}$, грн.	№ опер.	$N_{\text{в}}$, кВт	K_N	$t_{\text{ум}}$, хв.	$E_{\text{с.пр}}$, грн.
240	12,55	0,6	2,86	1,2880	210	28	0,6	2,085	2,0732
245	3,2	0,6	3,505	0,3983					
250	3,0	0,6	3,205	0,3414					
351-1,2	6,5	0,5	1,324	0,2547	340	4,6	0,4	0,588	0,0640
Всього	-	-	10,894	2,2824	Всього	-	-	2,673	2,0732

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{\text{дрм}}} \cdot \frac{t_{\text{ум}}}{60}, \quad (6.5)$$

де W_m , W_e – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності, відповідно механічної та електричної частини обладнання, грн.;

R_m , R_e – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО.

$$B_{\text{р.баз}(240)} = \frac{880 \cdot 40 + 720 \cdot 25}{3758} \cdot \frac{2,86}{60} = 0,3039 \text{ грн.}$$

Аналогічно, розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Розрахунок витрат на ремонт

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	R_m , УРО	R_e , УРО	$t_{\text{ум}}$, хв.	B_p , грн.	№ опер.	R_m , УРО	R_e , УРО	$t_{\text{ум}}$, хв.	B_p , грн.
240	40	25	2,86	0,3039	210	35	22	2,085	0,4288
245	9	4	3,505	0,0191					
250	10	13	3,205	0,0275					
351-1,2	9,5	23	1,324	0,0281	340	9	18	0,588	0,0059
Всього	-	-	10,894	0,3786	Всього	-	-	2,673	0,4288

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мд}} = \frac{M_{\text{зв}} \cdot R_m \cdot t_{\text{ум}}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\text{в}}, \quad (6.6)$$

де $M_{\text{зв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз(240)} = \frac{79,5 \cdot 40 \cdot 2,86}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 1,6674 \text{ грн.}$$

Аналогічно, розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.5.

Таблиця 6.5

Розрахунок витрат на допоміжні матеріали

Базовий варіант				Проектний варіант			
№ опер.	R_m , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{мд.баз}$, грн.	№ опер.	R_m , УРО	$t_{ум}$, хв.	$B_{мд.пр}$, грн.
240	40	2,86	1,6674	210	35	2,085	1,0636
245	9	3,505	0,4598				
250	10	3,205	0,4671				
351-1,2	9,5	1,324	0,1833	340	9	0,588	0,0771
Всього	-	10,894	2,7776	Всього	-	2,673	1,1407

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (6.7)$$

де $\Phi_{бал}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{бал} = C_{опт} \cdot (1 + K_{тр} + K_m + K_{\phi}), \quad (6.8)$$

де $C_{опт}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{тр}$, K_m , K_{ϕ} – коефіцієнти, які враховують відповідно витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{ам.баз(005-010)} = \frac{2169720 \cdot 1,16 \cdot 15 \cdot 2,86}{3758 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 5,9858 \text{ грн.}$$

Аналогічно, розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.6.

Таблиця 6.6

Розрахунок витрат на амортизацію обладнання

Базовий варіант					Проектний варіант				
№ опер.	$C_{опт}$, грн.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$B_{ам.баз}$, грн.	№ опер.	$C_{опт}$, грн.	$\Phi_{бал}$, грн.	$t_{ум}$, хв.	$B_{ам.пр}$, грн.
240	2169720	2516875	2,86	5,9858	210	4509000	5230440	2,085	9,0685
245	109540	127066	3,505	0,3703					
250	106000	122960	3,205	0,3277					
351-1,2	165000	191400	1,324	0,2107	340	122000	141520	0,588	0,0692
Всього		2958302	10,894	6,8946	Всього		5371960	2,673	9,1377

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{en} = \frac{S_{od} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.9)$$

де S_{od} – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, m^2 ;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [3, 6].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією $1m^2$ виробничого приміщення, грн.

$$B_{en.баз(240)} = \frac{3,2 \cdot 3,5 \cdot 780}{3758 \cdot 0,8} \cdot \frac{2,86}{60} = 0,1911 \text{ грн.}$$

Аналогічно, розрахунки за іншими операціями зведемо до табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Розрахунок витрат на утримання приміщення

Базовий варіант						Проектний варіант					
№ опер.	S_{od}, m^2	k_f	$S_{od} \times k_f, m^2$	$t_{ум}, хв.$	$B_{en.баз}, грн.$	№ опер.	S_{od}, m^2	k_f	$S_{od} \times k_f, m^2$	$t_{ум}, хв.$	$B_{en.пр}, грн.$
240	3,20	3,5	11,20	2,86	0,1385	210	8,84	2,5	22,10	2,085	0,1992
245	2,90	3,5	10,15	3,505	0,1538						
250	3,17	3,5	11,10	3,205	0,1538						
351-1,2	4,58	2,5	11,45	1,324	0,0656	340	3,91	3,5	13,69	0,588	0,0348
Всього	-	-	43,90	10,894	0,5117	Всього	-	-	35,79	2,673	0,2340

6.1.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (6.10)$$

де $B_{нал}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у базовому варіанті відсутні);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у базовому варіанті відсутні), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ (у базовому та проектному варіантах ці витрати близькі за величиною, тому ними можна знехтувати), грн.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{\text{нал}} = C_{\text{зн}} \cdot \frac{t_{\text{н-з}}}{60} \cdot (1 + K_{\text{д}}) \cdot (1 + K_{\text{с}}) \cdot A, \quad (6.11)$$

де $C_{\text{зн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

$t_{\text{н-з}}$ – підготовчо-заклучний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{\text{нал.баз}} = 103,972 \cdot \frac{18 + 40 + 22 + 18}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 11850,78 \text{ грн.};$$

$$B_{\text{нал.пр}} = 103,972 \cdot \frac{23 + 15}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 52 = 4595,20 \text{ грн.}$$

6.1.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 6.8.

Таблиця 6.8

Розрахунок технологічної собівартості

№з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		базовий варіант	проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	18,7698	4,5595
1.2	Електроенергія силова	2,2824	2,0732
1.3	Ремонт обладнання	0,3786	0,4288
1.4	Матеріали допоміжні	2,7776	1,1407
1.5	Амортизація універсального обладнання	6,8946	9,1377
1.6	Експлуатація приміщень	0,5117	0,2340
	Всього змінних витрат	31,6147	17,5739
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	11850,78	4595,20
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{\text{тех}}$	1118365	619682

Технологічна собівартість:

$$C_{\text{тех.баз}} = 31,615 \cdot 35000 + 11850,78 = 1118365 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{тех.пр}} = 17,574 \cdot 35000 + 4595,20 = 619682 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня НШ20М-4-00-01-08» $N_3=35000$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання порівнюваних варіантів технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{тех.баз}=C_{тех.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{4595,20 - 11850,78}{31,615 - 17,574} = -3751 \text{ шт.}, \quad (6.12)$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «шестерня НШ20М-4-00-01-08» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

6.1.4 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (6.13)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}, K_{пр}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{бал}$ (табл. 6.6), оснащення $B_{осн}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{буд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих деталей-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{з_i}, \quad (6.14)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (6.15)$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$\Pi_{\text{буд}}$ – ціна 1 м^2 виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{\text{буд.баз}} = 43,90 \cdot 8 \cdot 6200 = 2177440 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = 35,79 \cdot 8 \cdot 6200 = 1775184 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2958302 + 2177440) \cdot 0,33 = 1694795 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (5371960 + 1775184) \cdot 0,205 = 1465165 \text{ грн.}$$

$$E_p = (1118365 + 0,16 \cdot 1694795) - (619682 + 0,16 \cdot 1465165) = 535500 \text{ грн.}$$

6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{od} + B_c + B_{in} + B_o + B_{\text{ц}}, \quad (6.16)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

Z_{od} - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

B_{in} - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{\text{ц}}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot \Pi_m \cdot K_{\text{тр}} - a_{\text{с}} \cdot \Pi_{\text{с}}, \quad (6.17)$$

де a_p - норма витрат матеріалу (сталь 18ХГТ), кг;

Π_m - ціна матеріалу, грн./кг;

$K_{\text{тр}}$ - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати при зберіганні матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

$a_{\text{с}}$ - маса відходів, кг;

$\Pi_{\text{с}}$ - ціна відходів, грн./кг;

$$M_o^{\text{ш}} = 1,24 \cdot 39,2 \cdot 1,05 - (1,24 - 0,67) \cdot 5,9 = 47,675 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_{\epsilon} (1 + K_{\epsilon}), \quad (6.18)$$

де P_{ϵ} - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{zod_i}^{\epsilon} \cdot t_{um-\kappa_i}}{60}, \quad (6.19)$$

де $e_{zod_i}^{\epsilon}$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{um-\kappa_i}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу, хв.:

На першій операції техпроцесу:

$$P_{on_1} = 77,80 \cdot \frac{1,423}{60} = 1,8496 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 6.9.

Таблиця 6.9

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$, хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
200	Токарна з ЧПК	1,423	4	77,980	1,8496
205	Токарна з ЧПК	1,391	4	77,980	1,8084
210	Зубофрезерна з ЧПК	2,098	4	77,980	2,7262
215	Шліцефрезерна	1,342	3	70,180	1,5701
300	Круглошліфувальна	0,421	3	70,180	0,4920
305	Круглошліфувальна	0,581	3	70,180	0,6797
310	Круглошліфувальна	0,817	3	70,180	0,9553
315	Круглошліфувальна	0,903	3	70,180	1,0560
320	Торцекруглошліфувальна	0,757	3	70,180	0,8857
330	Торцекруглошліфувальна	0,903	3	70,180	1,0560
335	Суперфінішна	0,926	3	70,180	1,0835
340	Доводочна	0,604	3	70,180	0,7063
	Всього	12,166	-	-	14,8686

$$Z_{od} = 14,869 \cdot (1 + 0,1) = 16,356 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 16,356 \cdot \frac{22}{100} = 3,598 \text{ грн.}, \quad (6.20)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 25 \cdot \frac{11,986}{60} = 4,994 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = 14,869 \cdot \frac{320}{100} = 47,581 \text{ грн.}, \quad (6.21)$$

де $\Pi_{во}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = 14,869 \cdot \frac{280}{100} = 41,633 \text{ грн.}, \quad (6.22)$$

де $\Pi_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 6.10.

Таблиця 6.10

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	47,675
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	14,869
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	1,487
4.	Відрахування у соціальні фонди	3,598
5.	Експлуатація спеціального оснащення	4,994
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	47,581
7.	Цехові витрати	41,633
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	161,837

6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах дипломної роботи, слід додатково визначити такі:

- *зниження трудомісткості* виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках):

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{10,894}{2,673} \cdot 100 - 100 = 307,6\%, \quad (6.23)$$

- *виріток продукції на одного робітника*:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{44748}{25} = 1789,9 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (6.24)$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми дільниці, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- *зарплатомісткість продукції*:

$$З_{zn} = \frac{З_{од}}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{16,356}{161,837} \cdot 100 = 10,1\%, \quad (6.28)$$

де $З_{од}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{ц}$ - цехова собівартість деталі, грн.

- *матеріаломісткість продукції*:

$$З_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{47,675}{161,837} \cdot 100 = 29,5\%, \quad (6.29)$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

- *собівартість товарної продукції цеху*:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} = 161,837 \cdot 35000 \cdot 5,33 = 30190692 \text{ грн.} \quad (6.30)$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 6.11.

Таблиця 6.11

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z)	шт./рік	35000
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	44748
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	161,837
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	грн./рік	30190692
5.	Чисельність основних робітників	осіб	25
6.	Виробіток продукції на одного робітника	нормо-год./ос.	1790
7.	Матеріаломісткість продукції	%	29,5
8.	Зарплатомісткість продукції	%	10,1
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	307,6

6.4 Висновки

У розділі зроблено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу. Цей аналіз виконано шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по базовому і проектному варіантах технологічних процесів.

Розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу буде становити 535500 грн., також слід очікувати зниження трудомісткості виготовлення деталі на 307,6%. Визначено, що за будь-якої програми запуску деталі «шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08» ефективнішим з економічної точки зору буде проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Підвищення ефективності процесу механічної обробки шестерень гідравлічних машин роторного типу» виконано дослідження методів механічної обробки евольвентних поверхонь зубчастих коліс та розроблено рекомендації по скороченню маршруту обробки деталі шестерня ведуча НШ20М-4-00-01-08 яка входить у склад шестеренного насосу.

Проведено аналіз технологічного процесу, який діє на базовому підприємстві, та запропоновано рішення по підвищенню ефективності механічної обробки, скороченню маршруту обробки, а отже й собівартості виготовлення деталі. Здійснено обґрунтований підбір заготовки, верстатів, верстатних пристосувань, різальних інструментів та контрольних-вимірювальних пристроїв. Здійснено розрахунки припусків та міжопераційних розмірів, режимів різання та виконано нормування операцій.

Виконано розробку конструкції та необхідні розрахунки затискного верстатного пристрою, контрольного пристосування та різального інструменту – черв'ячної фрези для обробки шліцевої поверхні деталі.

Розроблений технологічний процес ефективніший за базовий. Зниження трудомісткості та собівартості виготовлення деталі досягнуто за рахунок скорочення маршруту обробки зубчастого вінця з трьох операцій до однієї. Використання зубофрезерного верстату з ЧПУ та сучасного різального інструменту дозволяє виготовляти шестерню аналогічної якості, у порівнянні з базовим маршрутом, але значно швидше, із меншою кількістю задіяного обладнання та персоналу та відкриває шлях до автоматизації процесу.

Всі технічні рішення, які прийняті у роботі, супроводжуються необхідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гідравлічна машина [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Гідравлічна_машина.
2. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник / В. О. Федорець, М. Н. Педченко, В. Б. Струтинський та ін. ; За ред. В. О. Федорця. – Київ: Вища школа, 1995. – 463 с.
3. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». / Укл. І.В. Журило, Л.М. Романюк – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
4. Заховайко О. П. Теорія механізмів і машин. Курс лекцій для студентів спеціальності „Динаміка і міцність машин” / О. П. Заховайко. – Київ: НТУУ "КПІ", 2010. – 243 с.
5. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід / В. Р. Кулінченко. – Київ: ІНК ОС: Центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202. Організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. / Укл.: Л.В. Лебедева. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 44 с.
7. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
8. Методичні рекомендації до виконання самостійних робіт з дисципліни: «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Для здобувачів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / Укл.: О.І. Скібінський, В.М. Селєхова. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 93 с.
9. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. – Кроп-цький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
10. Нарізання зубчастих коліс [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Нарізання_зубчастих_коліс.
11. Роторні гідромашини [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Роторні_гідромашини.

12. Технологія машинобудування. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / Укл.: І.І. Павленко, А.М. Артюхов, М.М. Підгасцький, В.А. Мажара, М.О. Сторожук. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 68 с.
13. Шестеренна гідромашина [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Шестеренна_гідромашина.
14. A Critical Review of Measures for an Effective Application of Nano-Structured Coatings in Milling / G. Skordaris, K.-D. Bouzakis, T. Kotsanis, P. Charalampous. // Tribology in Industry. – 2017. – Vol. 39, No. 2. –P. 211-218.
15. Advanced Methods for Improving the Cutting Performance of Coated Tools Supported by Innovative Film Characterization Procedures / K.-D. Bouzakis, G. Skordaris, E. Bouzakis, G. Maliaris. // ICMC 2nd eniPROD-Colloquium. – 2012. – P. 375–392.
16. An innovative way of designing gear hobbing processes / F.Klocke, C. Gorgels, R. Schalaster, A. Stuckenberg. // Gear Technology. – 2012. – May. – P. 48–53.
17. Analysis of tool wear in face hobbing plunging manufacturing processes / Charalampos Alexopoulos, Jens Brimmers, Thomas Bergs. // 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems. – 2022. – №107. – P. 1174–1179.
18. Analysis on the measurement results of the precision grades and their influence on the performance of the hydraulic pumps with spur gears / I. G. Ghionea, A. L. Ghionea, S. Ćuković, M. I. Pleșa. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 682. – P. 10.
19. Cutting performance increasing in gear hobbing by means of HSS hobs, coated with effective PVD films [Електронний ресурс] / K. D. Bouzakis, S. Kombogiannis, O. Friderikos, J. Anastopoulos. – 2003. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/237672470_Cutting_performance_increasing_in_gear_hobbing_by_means_of_HSS_hobs_coated_with_effective_PVD_films.
20. DKSH - Liebherr - Gear Hobbing - LC Series [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dksh.com/global-en/products/mac/liebherr-gear-hobbing-lc-series>.

21. Gear hobbing cutting process simulation and tool wear prediction models / K. D. Bouzakis, S. Kombogiannis, A. Antoniadis, N. Vidakis. // Journal of manufacturing science and engineering. – 2002. – Vol. 124. – P. 42–51.
22. Gleason - Hobbing Machines [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.gleason.com/en/products/machines/cylindrical/hobbing-up-to-800-mm/genesis-400hcd-the-productivity-master-with-optional-flexible-chamfering>.
23. GMN - Tool spindles for automatic tool change [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.gmn.de/wp-content/uploads/2505_1219_e1.pdf.
24. Klingelnberg-Hofler - Cylindrical Gear Cutting Machines [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.klingelnberg.com/en/business-divisions/hoefer/cylindrical-gear-cutting-machines>.
25. LMT Fette Gear Cutting - Tools and Knowledge [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.lmt-tools.com/fileadmin/user_upload/content_lmt-tools/content/segmente/verzahnen/downloads/LMT-Tools-Katalog-Verzahnen-s.pdf.
26. New Developments in Gear Hobbing / Dr. Oliver Winkel // Gear Technology. – 2010. – March/April. – P. 45–52.
27. Oerlikon - Oerlikon Balzers Coating Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.oerlikon.com/balzers/at/en/coating-guide/?selector%5Bnode%5D=8>.
28. Schaeffler Industrial Drives - direct-drive rotary tables [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.schaeffler-industrial-drives.com/content.sid/en/news_media/media_library/index.jsp?tab=mediathek-pub&uid=79505411&subfilter=app:dc;language-vid:167;language-pub:167;mediatyp-pub:all;referencetyp-pub:0.
29. Schmidhammer A. Die Verschleißerscheinungen an Wälzfräsern und ihre Ursachen / Schmidhammer. // Technische Nachrichten Fette. – 1980. – №270. – S. 211.
30. Star SU - Gear Cutting Tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.star-su.com/wp-content/uploads/hobs_milling_cutters_ed0.pdf.
31. Tiangong - Powder metallurgy [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.tiangonginternational.com/shop/powder-metallurgy-1>.

ДОДАТОК А
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

КОМПЛЕКТ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Виконав здобувач вищої освіти
гр. ПМ-22М-2

Валентина ШЕВЧЕНКО

Керівник роботи

Антон АПАРАКІН

Завідувач кафедрою

Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький - 2024

										ГОСТ 3.1404-86 форма 3																	
Дубл.																											
Взам.																											
Подл.																											
																				3							
												НШ20М-4-00-01-08								200							
Р												ПИ		D или B		L		t		i		S		n		V	
T01		ПР. ER 32SPR7-8 Цанга;																									
T02		РИ. PUNTE CL920мм 3,15QU ГОСТ 14952-72 Свердло центровочне;																									
T03		СИ. 8514-4032 Пристосування для контролю розміру 7 (перех. 8)																									
T04		СИ. 8514-4032-04-01 Контрольний зразок для пристосування 8514-4032 (перех. 8)																									
T05		СИ. ИЧ10 кл.1 ДСТУ ГОСТ 577:2009 Індикатор (перех. 8)																									
P06		11,2 1 1 0,08 1200																									
07																											
O08		7. Відкрити захисне загородження, відкріпити і зняти деталь.																									
09																											
O10		8. Перевірити лінійні розміри та діаметральні розміри - 10% від партії, допуски відхилень від форми - 2% від партії.																									
11																											
O12		9. Покласти деталь в тару.																									
13																											
14		Примітки: 1. Розміри 7, 16, 18, 19 забезпечуються технологічно.																									
15		2. Поворот пластини WNMG 432 ML-ТТ 8125 виконувати через 100-120 деталей, кількість різальних кромок - 6.																									
16		3. Поворот пластини WNMG 432 ML-ТТ 8115 виконувати через 300 деталей, кількість різальних кромок - 6.																									
17		4. Поворот пластини VNMG 16040 4MT-ТТ 8125 виконувати через 500 деталей, кількість різальних кромок - 4.																									
OK		Операционная карта																									

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

НШ20М-4-00-00

1

1

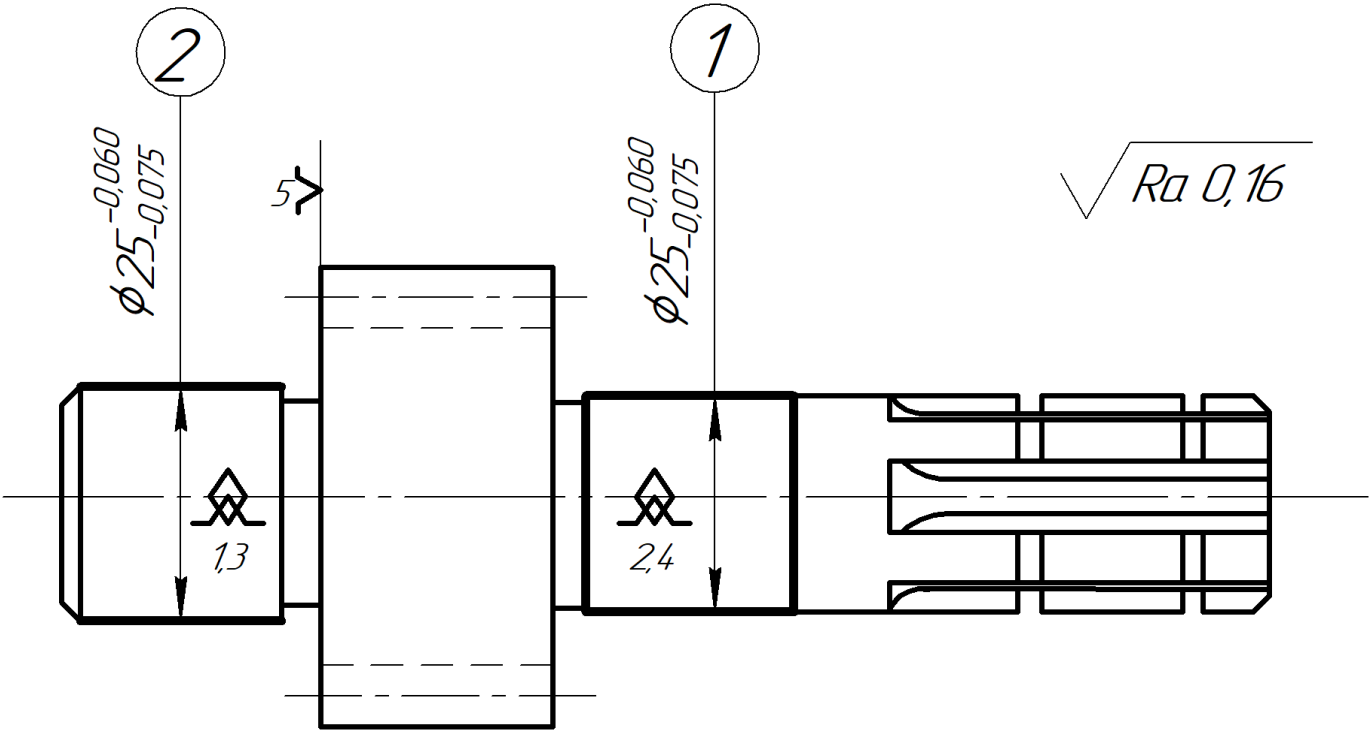
Розроб.	Шевченко В.М.		
Перев.	Апаракін А.Р.		
Н.контр.			

ЦНТУ

НШ20М-4-00-01-08

ШЕСТЕРНЯ ВЕДУЧА

335



										ГОСТ 3.1502-85 форма 2											
Дубл.																					
Взам.																					
Подл.																					
										1 1											
Розроб.	Шевченко В.М.			ЦНТУ		НШ20М-4-00-01-08															
Перев.	Апаракін А.Р.																				
Н.контр.				ШЕСТЕРНЯ ВЕДУЧА														200			
Наименование операции										Наименование, марка материала										МД	
4117 Токарна з ЧПУ										СЧ20 ГОСТ 1412-85										0,67	
Наименование оборудования					То		Тв		Обозначение ИОТ												
GA 2000/300 Токарний з ЧПУ					0,805				104, 205												
Р	Контролируемые параметры			Код средств ТО			Наименование средств ТО							Объём и ПК		То/Тв					
P01	Розміри: 11, 13, 14			ШЦ-II-125-0,1			Штангенциркуль ГОСТ 166-89							10							
P02	Розмір: 10			8113-0102			Скоба Ø25,6(-0,062) СТП 23.113.01.078-78							10							
P03	Розмір: 9			8371-4001			Калібр для контролю фаски 1,6x45°							10							
P04	Розмір: 12			0113-0104			Скоба Ø54,9(-0,4) СТП 23.113.01.078-78							10							
P05	Розмір: 21			8114-1001			Скоба Ø24,85 (-0,52) СТП 23.113.01.078-78							10							
P06	Розмір: 20			8124-4019-02			Кольцо Ø28тах							10							
P07	Розмір: 19			8151-4175			Калібр 0,6-0,05							10							
P08	Розмір: 7			8133-4139			Пристосування для контролю розміру 7 8514-4032							10							
P09				8514-4032-04-01			Контрольний зразок для пристосування 8514-4032							10							
P10				ИЧ10 кл.1			Индикатор ИЧ10 кл.1 ДСТУ ГОСТ 577:2009							10							
P11																					
P12																					
OK		Операционная карта контроля																			