

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра Машинобудування, транспорту і зварювання

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему

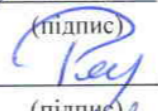
Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та
підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів
(тема кваліфікаційної роботи)

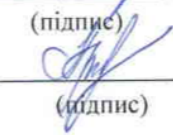
Виконав: студент 5 курсу, групи ДІТ-
ПОМ23мг

спеціальності: 015.34 «Професійна освіта
(Машинобудування)»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

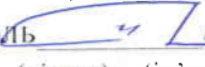
 /Вадим БЕЗПАЛЬКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник  /Сергій РОМАНОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент  /Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль  /Олег ПОДОЛЯК
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК  /Валентина СКОРКІНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2024 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені В.Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра машинобудування, транспорту і зварювання
Спеціальність 015.34 Професійна освіта (Машинобудування)
Освітньо-професійна програма Професійна освіта (Машинобудування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МТіЗ

О.Л. Подоляк

“12” 10 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти
студенту (ці) Вадиму БЕЗПАЛЬКО
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів

затверджена наказом 4801-5/3345 від 12.10. 2024 р.

2. Термін здачі магістрантом закінченої роботи 5 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи: Зразки зубчастих коліс з евольвентною, нормативні документи, паспортні дані обладнання, каталоги, стандарти на засоби технічного оснащення..

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити): Вступ. Стан питання, мета, завдання дослідження. теоретичне обґрунтування та розробка сумещеної обробки шліфувально-полірувальними черв'ячними кругами. Розробка методики проведення експериментальних досліджень для визначення раціонального режиму сумещеної обробки шліфувально-полірувальним кругом і його впливати його впливання та його впливати його влівно і продуктивність. Методичний розділ. Висновки. Список джерел інформації. Додатки.

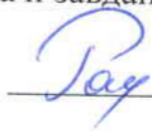
5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів: У вигляді презентації PowerPoint.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	
педагогічний	Олександр РАДКЕВИЧ			

7. Дата видачі завдання « 12 » 10 2024 р.

Керівник



Сергій РОМАНОВ

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання



Вадим БЕЗПАЛЬКО

(підпис)

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК
виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1.	Вибір теми й обґрунтування проблеми дослідження. Визначення об'єкта, предмета, мети й завдань.		
2.	Складання плану роботи. Підбор літератури й інших джерел		
3.	Оформлення завдання проектування для затвердження теми кваліфікаційної роботи		
4.	Підготовка аналітичної частини		
5.	Підготовка теоретичної частини		
6.	Розробка дослідницької частини		
7.	Розробка методичного розділу		
8.	Підготовка графічного матеріалу		
9.	Доробка проекту по зауваженнях наукового керівника		
10.	Доробка проекту по зауваженнях консультантів		
11.	Оформлення кваліфікаційної роботи. Підготовка до захисту.		
12.	Захист кваліфікаційної роботи		

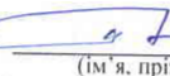
Здобувач вищої освіти



Вадим БЕЗПАЛЬКО

(ім'я, прізвище)

Нормоконтроль



Олег ПОДОЛЯК

(підпис)

(ім'я, прізвище)

Додаток 2 до Порядку проведення перевірки наукових праць, навчально-методичних видань та дипломних робіт (проектів) працівників та здобувачів вищої освіти на наявність запозичень з інших документів (нова редакція)

Введено в дію:

наказ ректора № 0204 -1/088 від 27.02.2020 р.

Протокол контролю оригінальності дипломної роботи (проекту)

Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів

(назва роботи)

студента

БЕЗПАЛЬКО Вадим Михайлович

(прізвище, ім'я та по батькові)

науковий керівник

Романов Сергій Валерійович

(прізвище, ім'я та по батькові)

В результаті перевірки роботи в антиплагіатній інтернет-системі Strikeplagiarism.com встановлено наступні значення Коефіцієнтів Подібності

Коефіцієнт Подібності 1: 0,97,

Коефіцієнт Подібності 2: 0,00 ,

Сигнал „Тривога!": ☐ – немає; ☐ – є, кількість разів у тексті ____.

Вченою радою факультету (навчально-наукового інституту) затверджено наступні показники оригінальності (за значенням коефіцієнту K1):

не більше 20% – оригінальна робота,

від ____% до ____% – задовільно оригінальна робота,

від ____% до ____% – умовно оригінальна робота,

більше ____% – неоригінальна робота.

Відповідно до цього, робота може бути класифікована як:

☒ оригінальна,

☐ задовільно оригінальна,

☐ умовно оригінальна,

☐ неоригінальна.

Висновок:

☐ робота може бути допущена до захисту,

☐ необхідно провести розгляд Повного Звіту Подібності із залученням фахівців із тематики дипломної роботи (проекту).

Примітки Системного Оператора про виявлені запозичення:

Системний Оператор

А
(підпис)

Скоркін А.О.

(прізвище та ініціали)

27.11.24

(дата)

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ	8
2. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА, ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	15
3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СУМЕЩЕНОЇ ОБРОБКИ ШЛІФУВАЛЬНО-ПОЛІРУВАЛЬНИМИ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ КРУГАМИ	26
4 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ СУМЕЩЕНОЇ ОБРОБКИ ШЛІФУВАЛЬНО-ПОЛІРУВАЛЬНИМ КРУГОМ І ЙОГО ВЛИВУВАТИ ЙОГО ВЛИВУВАННЯ ТА ЙОГО ВЛИВУВАТИ ЙОГО ВЛІВНО І ПРОДУКТИВНІСТЬ	38
5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	47
РОЗДІЛ 6	56
РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБІВ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ ВІСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	70

Реферат магістерської кваліфікаційної роботи з теми “Підготовка фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів”

РЕФЕРАТ

Робота містить 71с., 35 рис., 21 табл., 24 джерел.

Кваліфікаційна робота (дипломний проєкт) присвячений науковому обґрунтуванню та вдосконаленню системи підготовки фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів.

У першому розділі розглянуто актуальність професійної підготовки фахівців машинобудівної галузі з технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів.

У другому розділі виконано огляд досліджень та публікацій з проблеми технологічного забезпечення та підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів. Розглянуто безпосередньо методи виготовлення евольвентних зубів.

У третьому розділі виконано теоретичне обґрунтування та розробка сумещеної обробки шліфувально-полірувальними черв'ячними кругами.

У четвертого розділі виконано розробку методики проведення експериментальних досліджень для визначення раціонального режиму сумещеної обробки шліфувально-полірувальним кругом і його впливати його впливання та його впливати його впливно і продуктивність.

У п'ятому розділі виконано експериментальні дослідження.

Запропонована методика може бути покладена в основу інноваційних технологій під час навчання для отримання кваліфікованих фахівців машинобудівної галузі.

Ключові слова: професійна підготовка, машинобудівна галузь, фахівець, шліфування, евольвента, методика практичного заняття.

Abstract of the master's qualification work on the topic "Training of specialists in the mechanical engineering industry in technological support and improving the quality of the surface layer of involute tooth surfaces"

ABSTRACT

The work contains 71 pages, 35 figures, 21 tables, 24 sources.

The qualification work (diploma project) is devoted to the scientific substantiation and improvement of the system of training specialists in the mechanical engineering industry in technological support and improving the quality of the surface layer of involute tooth surfaces.

The first section considers the relevance of professional training of specialists in the mechanical engineering industry in technological support and improving the quality of the surface layer of involute tooth surfaces.

The second section reviews research and publications on the problem of technological support and improving the quality of the surface layer of involute tooth surfaces. The methods of manufacturing involute teeth are considered directly.

In the third section, a theoretical justification and development of combined processing with grinding and polishing worm wheels are performed.

In the fourth section, a methodology for conducting experimental research is developed to determine the rational mode of combined processing with a grinding and polishing wheel and its inflow and productivity.

In the fifth section, experimental research is performed.

The proposed methodology can be used as the basis for innovative technologies during training to obtain qualified specialists in the mechanical engineering industry.

Keywords: professional training, mechanical engineering industry, specialist, grinding, involute, practical training methodology.

ВСТУП

Зубчасті колеса є поширеними наукомісткими деталями, що застосовуються практично у всіх галузях машинобудування. Темпи випуску зубчастих коліс значно збільшуються, попит на світовому ринку зубчастих коліс постійно зростає з одночасним зростанням конкуренції та вимог щодо якості та надійності. Нині у світі випускається кілька мільйонів різних зубчастих коліс [15]. Особливо високі вимоги пред'являються до авіаційних зубчастих коліс, що застосовуються у сучасних редукторах гелікоптерів.

Найбільш численними та відповідальними є циліндричні зубчасті колеса редукторів, які використовують для передачі значної потужності за умов обмеження за габаритами та масою виробу. При виготовленні циліндричних зубчастих коліс потрібно забезпечити: високий ступінь точності зубчастого вінця 5 – 4 – 4 згідно з ГОСТ 1643-81, мінімальну шорсткість евольвентних поверхонь зубів $Ra \leq 0,16$ мкм, відсутність термічних припалів та тріщин, а також сприятливі параметри якості поверхневого шару: сприятливу макро- та мікроструктуру, мікротвердість, що стискають залишкові напружки. Наведені вимоги сформовані для забезпечення контактної витривалості зубів, надійності та довговічності зубчастих коліс. В умовах експлуатації ці вимоги особливо важливі для безпеки польотів, надійної роботи редуктора, що передає крутний момент на гвинт вертольота.

Точність зубчастого вінця, шорсткість евольвентних поверхонь зубів та інші параметри якості поверхневого шару циліндричних зубчастих коліс формуються на чистових операціях. В даний час застосування операцій зубошліфування та подальшого зубохонінгування, крім значної трудомісткості, не забезпечує стабільно необхідні параметри точності, шорсткості та якості поверхневого шару. Тому для вирішення проблеми запропоновано технологічно забезпечити необхідні параметри точності та якості поверхневого шару на основі поєднаної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом при

підвищенні продуктивності. Внаслідок аналізу науково-технічної літератури досліджень процесів шліфування, представлених у роботах В.Ф. Безмовного, Д.І. Волкова, А.С. Калашнікова, Є.П. Калініна, Є.С. Кисельова, В.Ф. Макарова, В.А. Носенко, В.А. Полетаєва, В.І. Свірщева, В.К. Старкова, W. Graf, HJ Stadtfeld, A.Türich, і навіть виробничого досвіду підприємств, встановлено, що у галузі поєднаної обробки практично відсутні проведені наукові дослідження та рекомендації. У зв'язку з цим тема представленої є дуже актуальною.

РОЗДІЛ 1

АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

Для порівняння, пропоную так само розглянути досвід контролю якості освіти інших країн.

Орієнтиром для побудови національної системи оцінки якості освіти в нашій країні має стати зарубіжний досвід, який дає змогу виявити тенденції, розробити інструментарій та вирішити питання організаційного, науково-методичного, технологічного характеру та ін. Система освіти в Україні завжди була суворо централізованою, а система державного контролю освітніх процесів будувалася на оцінці «рівня навченості» учнів за п'ятибальною шкалою, що не дозволяло отримати повну інформацію про якість освітніх процесів та якість освіти в цілому.

Сучасний період характеризується активним впровадженням тестових технологій, що прийшли в українське освітнє середовище з великим запізненням з країн Америки та Європи, при цьому створення тестів, проведення процедур, аналіз та практична інтерпретація проводяться у зв'язку з наявним досвідом; що неспроможні сприяти розвитку систем освіти та об'єктивності оціночних процедур.

Наприклад, у США перехід з одного ступеня навчання на інший здійснюється без іспитів або інших форм обов'язкової оцінки рівня навчальних досягнень, хоча за час навчання в школі учні виконують безліч стандартизованих тестів, що проводяться різними організаціями. Як відомо, у США немає єдиних національних іспитів, як немає єдиних програм навчання. Єдиним вимірником змісту освіти, який здобувають випускники старшої середньої школи, є одиниця Карнегі - 1 кредит. Для вступу до вищих навчальних закладів випускник середньої школи має набрати щонайменше 14-16 кредитів. Абсолютно ясно, що

ця характеристика не відображає рівня підготовки випускників. Тому з певним ступенем точності можна говорити про те, що централізована система оцінки якості освіти на рівні шкільної освіти у США відсутня. Водночас у США існує найрозгалуженіша система відбору випускників школи в коледжі та університети через систему тестування, яке проводять незалежні організації; при цьому основною метою організації централізованих іспитів та тестування різного роду є добір учнів для продовження навчання, вибору професії, але з організації контролю навчання на шкільному рівні.

Система освіти Великобританії передбачає обов'язкову освіту юнаків та дівчат, яка завершується до 16 років. На відміну від США, контроль якості засвоєння шкільних програм здійснюється через систему випускних іспитів з 8 предметів, які також проводяться в тестовій формі. Після цього молоді люди отримують документ про завершення середньої освіти – GCSE (General Certificate of Secondary Education)

У Франції для забезпечення єдиних і рівних умов проведення іспитів по країні вимоги щодо їх проведення та змісту затверджуються Радою з програм та оцінки навчальних досягнень SCAA (SCHOOL Curriculum and Assessment Authority), створеною при Міністерстві освіти. Під час проведення підсумкових іспитів після закінчення коледжу Міністерство освіти визначає теми, за якими оцінюється підготовка учнів, а також розклад та процедури проведення. Обов'язкова десятирічна освіта для французьких учнів закінчується отриманням диплома коледжу (brevet de college) у 16 років, який видається на основі результатів тестування з трьох предметів (французька мова, математика, історія чи географія); у дипломі також враховуються результати навчання з усіх інших предметів.

У Німеччині на національному рівні оцінювання результатів навчання взагалі не проводиться. Відповідальність за навчальні досягнення учнів покладено на освітні заклади. Освітні установи самі організують контроль у

суворій відповідності до рекомендацій Міністерств утворень окремих земель, проводять регіональні іспити та здійснюють моніторинг освітніх досягнень учнів.

Дещо інша система оцінки якості індивідуальних досягнень та відбору до професійних освітніх закладів у Японії. Для того, щоб вступити до університету, випускник середньої школи має пройти два тури іспитів. Перший тур іспитів (University Entrance Center Examination /UECE/), однакових для всієї країни, учні останнього року навчання складають, навчаючись у школі, майже за півроку до вступу до вузу. Складання цих іспитів у формі тестування є обов'язковим для всіх державних та деяких приватних університетів. При Міністерстві освіти, науки та культури Японії існує Національний Центр з вступних іспитів до університетів (National Center for University

Entrance Examinations), який відповідає за все, що пов'язано з проведенням першого туру іспитів, обов'язкових для всіх абітурієнтів (від реєстрації бажаючих скласти іспити до перевірки робіт та оформлення документа про складання іспиту).

Особливостями європейських іспитів є орієнтація перевірки не так на відтворення знань учнями, але в їх застосування у новій ситуації; поєднання теоретичного та практичного матеріалу в тесті, а також планування та проведення лабораторних робіт чи експерименту у форматі атестаційних процедур. Останнє для української системи освіти є принципово відмінним.

Практика показує, що майже у всіх країнах світу оцінка навчальних досягнень учнів проводиться тестовими методами, визначення навчального рейтингу та конкурсний відбір проводяться у кілька етапів.

У Казахстані 2004 р. створено систему зовнішньої оцінки якості знань учнів. Проводиться єдине національне тестування як форма проміжного державного контролю за допомогою комплексного тестування абітурієнтів. До тестування студентів, під час проведення державної атестації середніх та вищих

навчальних закладів, включено чотири навчальні предмети.

В Азербайджані проводиться віртуальний іспит. Загальне для більшості систем оцінки якості навчання в країнах СНД – це: забезпечення наступності між середньою загальною та вищою професійною освітою при створення системи атестації; створення такої системи іспитів, яка одночасно задовольняла б як школу, так і виш.

Спеціальність «Технологія машинобудування» дає можливість отримати кваліфікацію інженера, яка дозволяє працювати в багатьох напрямках. Наприклад, технік-технолог машинобудування здійснює контроль якості продукції, що випускається, і виконує необхідні розрахунки. Верстатник виточує деталі на спеціальних верстатних комплексах вручну. Оператор працює на верстатах з ЧПУ, вводить програму, що управляє, і задає режим її роботи. Інженер з налагодження та випробувань відповідає за справність обладнання, веде календарний графік проведення технічних оглядів та ремонтів, допомагає станочникам налаштовувати стани та розраховує рекомендовані налаштування для роботи на них. Він також відповідає за технічну документацію щодо обладнання на його ділянці. Ще один досить цікавий напрямок, який вивчає спеціальність «Технологія машинобудування» – це розробка нових деталей та обладнання. Як правило, цим займається інженер-конструктор.

На багатьох виробництвах масового типу існують конструкторські бюро, які займаються розробкою нових деталей та режимів різання.

Випускники кафедри після завершення навчання за освітньою програмою цього профілю можуть: здійснювати свою професійну діяльність у відділах головних спеціалістів машинобудівних підприємств, що займаються питаннями конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, з використанням передових засобів автоматизації, у галузі проектування та виробництва виробів; Виконувати професійні функції в підрозділах, що займаються проектуванням сучасного машинобудівного виробництва та впроваджують високоефективне

автоматизоване обладнання; керувати трудовими колективами на виробничих ділянках механозбірного виробництва; займатися просуванням сучасного обладнання та інструменту на українському ринку у відділах збуту машинобудівних підприємств.

На жаль, на практиці, тільки набуття досвіду дає можливість випускникам спеціалістам виконувати вищезазначені функції. Тобто для отримання цих навичок необхідна практика, а на виході з університету випускники не готові здійснювати ці функції повною мірою.

У таблиці 1.1 представлена характеристика профілю «Технологія машинобудування».

Таблиця 1.1

Характеристика профілю «Технологія машинобудування»

Критерії	Опис
Опис	Розробка технологічних процесів виготовлення виробів машинобудування, контроль та управління технологічними процесами. Комп'ютерне проектування типових, групових та одиничних технологічних процесів. Розробка технологій та програм виготовлення деталей на обладнанні з ЧПУ. Проектування технологічного оснащення. Забезпечення якості у механозбірному виробництві. Розробка та проектування технологічних комплексів механозбірних виробництв
Ключові дисципліни	Тривимірне моделювання технологічних об'єктів. Технології заготівельного виробництва. Автоматизація технологічної підготовки виробництва. Автоматизація проектування верстатних пристроїв. Програмування верстатів з ЧПУ та автоматизація технологічних процесів. Проектування машинобудівного виробництва.
Посади	Інженер з технологічної підготовки механозбірного виробництва. Інженер-технолог. Майстер (дільниці, цехи).

	Інженер-механік. Інженер з налагодження та випробувань. Інженер з якості. Контрольний майстер (дільниці, цехи).
--	--

Профіль «Технологія машинобудування» охоплює широкий спектр знань і навичок, необхідних для проектування, виготовлення та обслуговування машин і механізмів. Основні аспекти цього профілю включають:

Проектування: Вивчення методів і технологій проектування машин, використання CAD-систем для створення технічної документації.

Матеріалознавство: Знання про різні матеріали, їх властивості та застосування в машинобудуванні.

Технологічні процеси: Ознайомлення з різними технологіями обробки, зварювання, складання та контролю якості продукції.

Автоматизація: Вивчення систем автоматизації та управління, що використовуються в сучасних виробництвах.

Екологічні аспекти: Розуміння впливу машинобудування на навколишнє середовище та впровадження екологічно чистих технологій.

Цей профіль готує фахівців, здатних вирішувати складні інженерні задачі, впроваджувати інновації та забезпечувати ефективність виробничих процесів.

Висновки до розділу 1

Актуальність професійної підготовки фахівців з машинобудування зростає в умовах швидкого розвитку технологій та інновацій. Сучасне машинобудування вимагає від спеціалістів не лише глибоких знань у галузі механіки, матеріалознавства та автоматизації, але й уміння працювати з новітніми технологіями, такими як 3D-друк, робототехніка та штучний інтелект.

Професійна підготовка фахівців забезпечує:

1. Конкурентоспроможність на ринку праці: Висококваліфіковані спеціалісти здатні адаптуватися до змін у технологіях та вимогах ринку.

2. Інноваційний розвиток: Підготовка фахівців, які можуть впроваджувати нові технології, сприяє розвитку промисловості та економіки в цілому.

3. Ефективність виробництва: Кваліфіковані кадри здатні оптимізувати виробничі процеси, знижувати витрати та підвищувати якість продукції.

Отже, професійна підготовка фахівців з машинобудування є ключовим фактором для забезпечення сталого розвитку галузі та економіки в цілому.

2. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА, ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Аналіз експлуатаційних, конструкторських та технологічних вимог, що пред'являються до авіаційних циліндричних зубчастих колес

Циліндричні зубчасті колеса є поширеними деталями, що застосовуються у всіх галузях машинобудування, при виробництві яких використовуються найсучасніші наукомісткі технології. Найбільш відповідальними циліндровими зубчастими колесами є сателіти головного редуктора вертольота. Високі вимоги до забезпечення якості виготовлення авіаційних циліндричних зубчастих коліс обумовлені необхідністю рівномірного розподілу навантаження [16] при передачі високих моментів, що крутять, при середніх і низьких частотах обертання. Порівняно з наземними установками, що передають рівну потужність, авіаційні передачі мають менші розміри та масу. На рисунку 2.1 зображено тривимірну модель головного редуктора ВР-14, що передає (від кожного двигуна 2100 к.с.) потужність (2х1700 к.с. на номінальному режимі, 2х1900 к.с. на злітному режимі) на гвинт вертольота Мі-8/ 17.

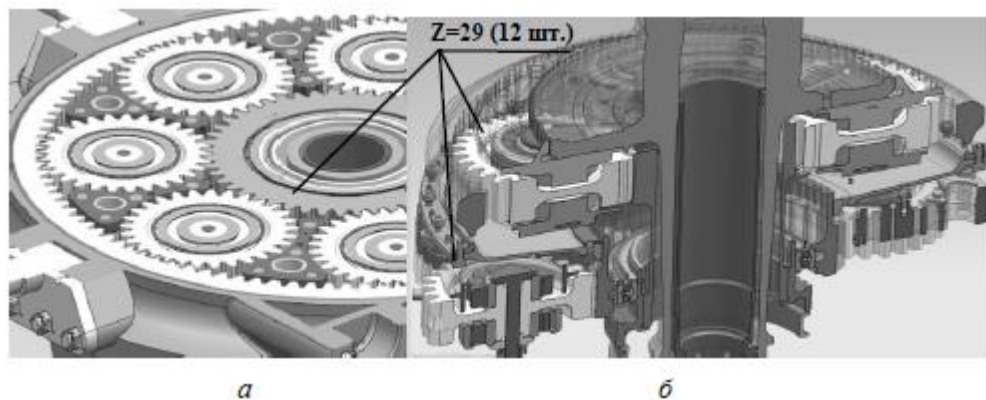


Рисунок 2.1 – Модель редуктора: а – поздовжній розріз, б – осьовий розріз

Гелікоптери сімейства Мі-8/17 (рисунок 2.2) налічують близько сотні модифікацій, користуються заслуженою популярністю в багатьох країнах і мають різні почесні звання, завдяки своїй надійності. Зокрема, «Наймасовіший дводвигуновий вертоліт у світі». Тому від якості виготовлення кожної деталі

залежить працездатність, надійність та віброактивність редукторів та загалом безпека польотів.



Рисунок 2.2 – Гелікоптери Мі-8/17 різних модифікацій та призначень:

а – рятувальний; б – військовий; в – сільськогосподарський; г – транспортний

Так, циліндричні зубчасті колеса з числом зубів $z=29$, модулем $m=6$, кутом профілю зубців $\alpha=28^\circ$, шириною зубчастого вінця $b=48$ мм, діаметром ділового кола $d=181,1$ мм [11] (рисунок 2.3) головного редуктора ВР-14, що передає крутний момент на гвинт вертольота Мі-8/17, виготовляють згідно з ГОСТ 1643-81 зі ступенем точності 5 – 4 – 4: $F_p=25$ мкм і $F_r=25$ мкм визначають 5-й ступінь норм кінематичної точності. Похибка профілю $F_\alpha=6$ мкм визначає 4 ступінь за нормами плавності роботи. Похибка напрямку $F_b = 8$ мкм визначає 4 ступінь точності за нормами контакту [17]. При цьому для заданої точності на цементованих зубцях до твердості $HRC \geq 61$ необхідно забезпечити шорсткість евольвентних поверхонь $Ra \leq 0,16$ мкм та відсутність шліфувальних тріщин та припалів. Виконання заданих вимог забезпечує плавність роботи, контактну витривалість зубів та, як наслідок, безпеку польотів вертольота.

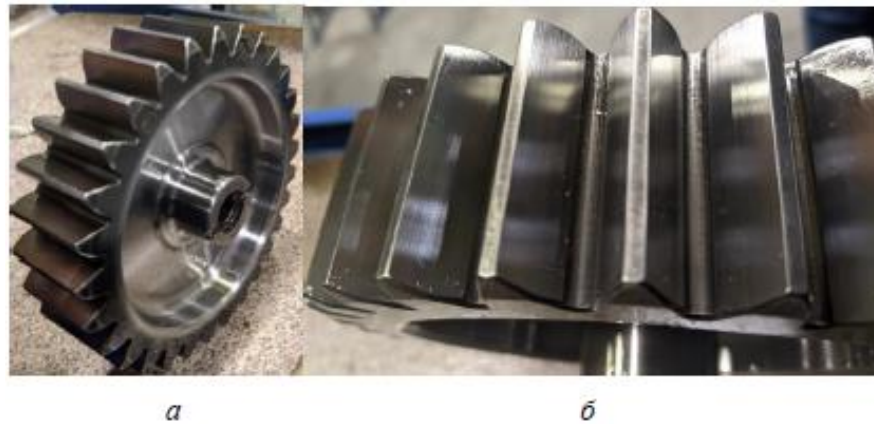


Рисунок 2.3 – Циліндричне зубчасте колесо: а – загальний вигляд; б – вид зверху

У циліндричного зубчастого колеса, що розглядається, для обліку характеру експлуатаційних деформацій виконують модифікацію головки зуба, яка визначається глибиною фланка f_{Ko} 36...26 мкм (рисунок 2.4), при довжині розгорнутості фланка зуба 3,3...4,0 мм.

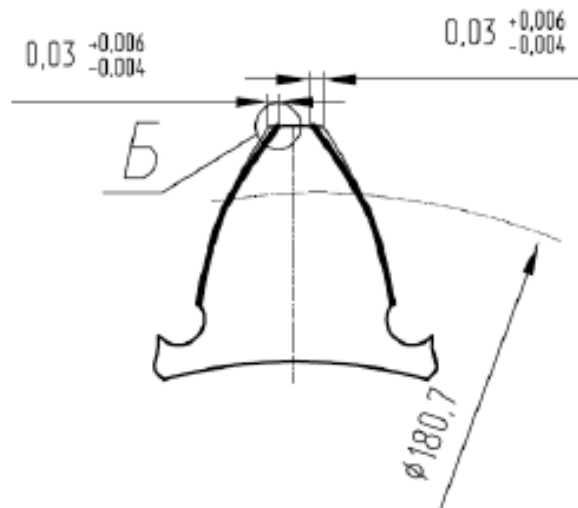


Рисунок 2.4 – Модифікації профілю зуба циліндричного зубчастого колеса

Також необхідно витримувати допуск 30 мкм для довжини загальної нормалі (81,36-0,03 мм) при виготовленні. При складанні головного редуктора допускається комплектувати циліндричні зубчасті колеса з різницею допуску довжини загальної нормалі в комплекті трохи більше 18 мкм. Для забезпечення

всіх вимог геометричної точності потрібна прецизійність та надійна відтворюваність результатів у мікронному діапазоні, тому висувають дуже високі вимоги до технології.

Крім вимог геометричної точності зубчастого вінця необхідно забезпечити показники якості поверхневого шару профілю зубів – шорсткість, залишкові напруження, мікротвердість, мікро- та макроструктуру, хімічний склад, глибину цементації [13]. Так, шорсткість зубів повинна становити не більше $Ra \leq 0,16$ мкм. Поверхня зубчастого вінця, що виготовляється з хромонікелевольфрамової сталі 18X2H4BA-III (таблиця 2.1), піддається складній хіміко-термічній обробці на глибину 1,5 - 1,8 мм (цементация, загартування, обробка холодом), в результаті якої холод ≥ 61 при твердості серцевини $HRC \geq 31 \dots 41$.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 18X2H4BA-III

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0,14...0,20	0,17...0,37	0,25...0,55	$\leq 0,025$	$\leq 0,015$	1,35...1,65	$\leq 0,15$
Ni	V	Ti	Cu	N	W	Fe
4,0...4,4	$\leq 0,05$	$\leq 0,06$	$\leq 0,25$	$\leq 0,008$	0,8...1,2	Основа

При цьому суворо регламентується відсотковий вміст вуглецю в поверхневому шарі, однорідність, дрібнозернистість структури, глибина хіміко-термічного шару, механічні властивості та їх ізотропність. Після проведення чистових операцій, на яких досягаються необхідні параметри геометричної точності, необхідно проводити стовідсотковий контроль травлення на шліфувальні припали. У процесі зубошліфування під дією високих температур відбуваються вторинні структурні зміни в матеріалі, що впливають на виникнення несприятливих розтягуючих залишкових напруг. При підвищених режимах шліфування та несприятливому відводі тепла СОРС величина цих напруг за абсолютним значенням може досягати значень залишкових напруг після термообробки зубчастих коліс. Мікроструктурні зміни, що відбуваються, призводять до припаків [17]. Ці вимоги обумовлені умовами для забезпечення

контактної витривалості.

Контактна витривалість – це здатність протистояти фарбуванню поверхні під змінними контактними навантаженнями. Визначається конструктивними та технологічними даними. Технологічне забезпечення контактної витривалості пов'язане з формуванням поверхневого шару (5 – 15 мкм) необхідної структури та мікрогеометрії. Значимість стану поверхневого шару обумовлена тим, що він відчуває максимальну контактну напругу, при цьому може бути ослаблений наявністю структурних і технологічних дефектів, і може бути місцем для розвитку процесу контактної втоми.

Проблеми контактної втоми стають дедалі помітнішими у сучасних конструкціях зубчастих передач, зокрема зубчастої пари вітряної турбіни. Зношування поверхні може призвести до таких видів контактного втомного руйнування, як мікропіттинг і піттинг. У роботі [19] запропонована модель, що включає характеристики поверхневого шару, механічні властивості та залишкові напруги для вивчення механізму контактного втомного руйнування під час процесу зносу зубчастої пари вітряної турбіни. Результати показують, що критична позиція ушкодження переміщується глибше від приповерхневої зони до підповерхневої під час процесу зносу, вказуючи на те, що найбільш ймовірний режим відмови поступово змінюється від поверхневого руйнування до контактного підповерхневого руйнування.

На стан поверхневого шару зубів більший вплив мають хіміко-термічна обробка та чистові операції механічної обробки, в ході яких відбувається поопераційна зміна характеристик якості поверхневого шару та їх передача від операції до операції. Тому важливо кожної з цих операцій забезпечити отримання оптимальних властивостей контактної поверхні. У цьому вдосконалення технологічних процесів здійснювати як з підвищення якості, а й продуктивності.

2.2. Аналіз проблем забезпечення шорсткості, точності та збільшення продуктивності обробки циліндричних зубчастих коліс

Підприємства, що виготовляють авіаційні зубчасті колеса, здійснює обробку з технологічного процесу, що включає такі основні операції, як зубофрезерування, цементация, зубошліфування, травлення на шліфувальні припали, полірування кромки, зубохонінгування. 81 та Шорсткості евольвентних поверхонь зубів $Ra \leq 0,16$ мкм за серійною технологією послідовно виконуються дві чистові операції. $Ra = 2,8$ мкм (рисунок 2.5), шорсткість зубів $Ra \leq 0,16$ мкм не забезпечується [21].

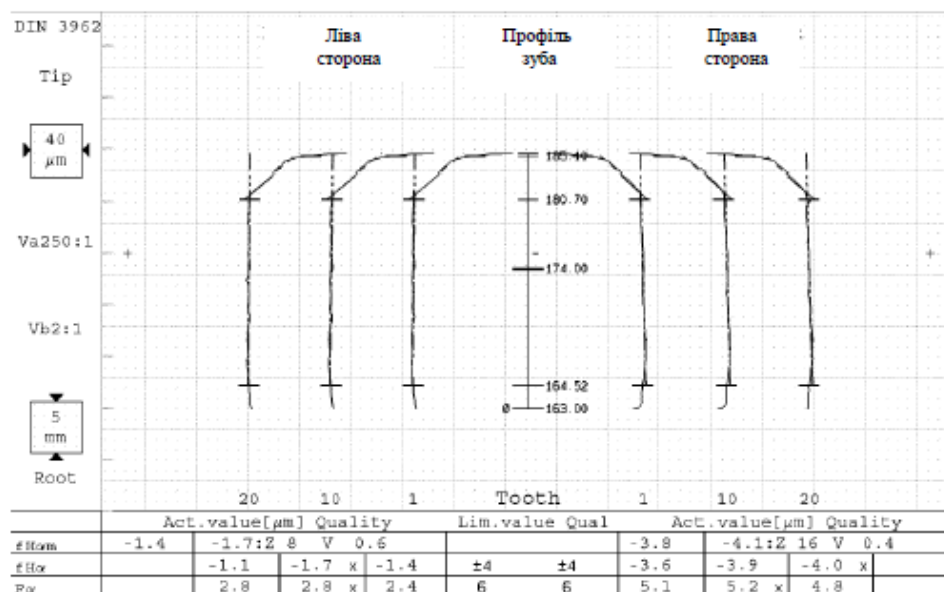


Рисунок 2.5 – Протокол вимірювання похибки профілю після зубошліфування

Щоб забезпечити вимогу шорсткості $Ra \leq 0,16$ мкм, виконують операцію зубохонінгування алмазним хоном, яка погіршує точність – похибка профілю зуба може досягати $F = 10,7$ мкм (рисунок 2.6).

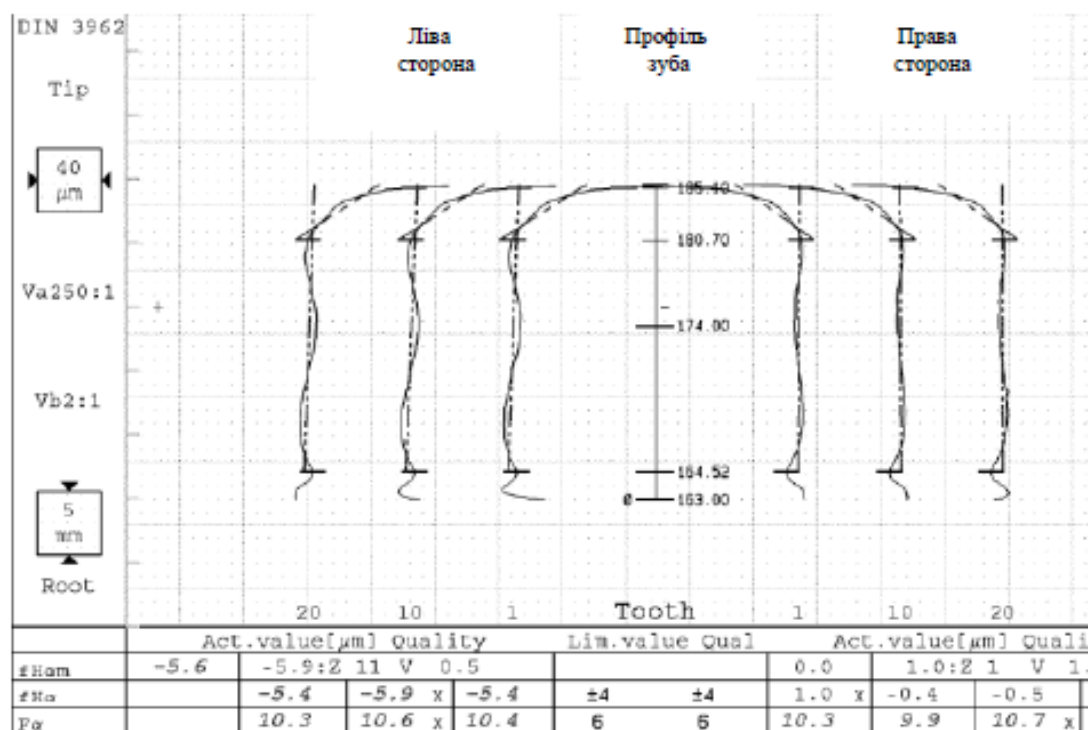


Рисунок 2.6 – Протокол вимірювання похибки профілю після зубохонінгування

Тому основними проблемами серійного виготовлення циліндричного зубчастого колеса є: низька стабільність отримання геометричної точності зубчастого вінця після операції зубохонінгування (рисунок 2.7) та висока трудомісткість виправлення алмазного зубчастого хона для забезпечення заданої геометричної точності. Загальна трудомісткість чистових операцій технологічного процесу становить 136,8 хвилини, з яких зубошліфування – 19,4 хвилини, операції правки алмазного зубчастого хона – 72,4 хвилини, зубохонінгування – 30 хвилин, слюсарна операція полірування поздовжніх радіусів – 15 хвилин.

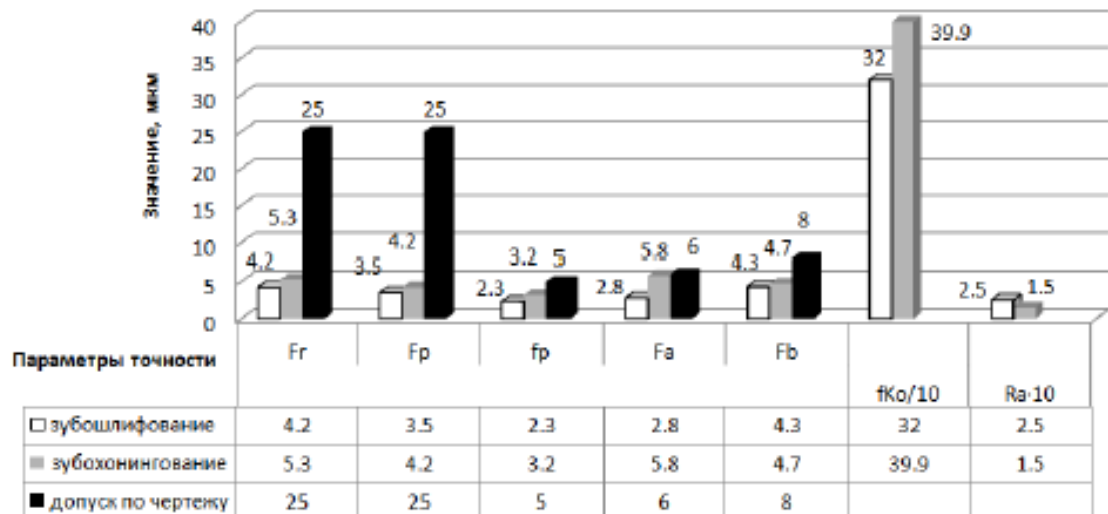


Рисунок 2.7 – Відхилення від допуску параметрів точності зубчастого вінця та шорсткості евольвентних поверхонь зубів на фінішних операціях

Зубошліфування зубчастих коліс проводиться на верстаті Reishauer RZ basic [12] (рисунок 2.8), як технологічний охолодний засіб використовується мінеральна олія Dascolene 598 DB-R виробника STUART GmbH.



Рисунок 2.8 – верстат Reishauer RZ basic: а – загальний вигляд; б – робоча зона

Для кріплення циліндричного зубчастого колеса застосовується гідравлічний пристрій, наведений на рисунку 2.9. Пристрій складається з: 421471.00 – пристрої затиску, 210507.13 – центру, що обертається, 339780.15 –

ковпака центру. Робочий тиск олії при затиску заготовки деталі становить 12 бар. Зусилля підтискання верхнім центром 350 Н. Пристосування встановлюється на шпиндель верстата через перехідний фланець, закріплення заготовок деталей відбувається на початку обробки автоматично за програмою. Гідравлічний пристрій забезпечує високу жорсткість і повторюваність точності установки деталей, мінімальних значень радіальних биття.

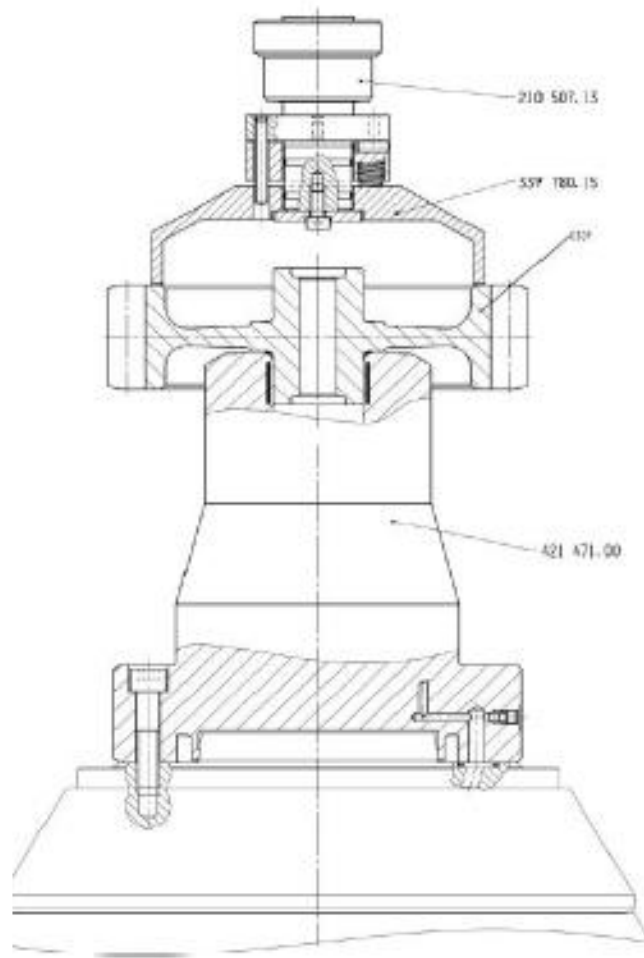


Рисунок 2.9 – Гідравлічний пристрій для затискання зубчастого колеса
Обробка проводиться черв'ячним колом Winterthur 1_300x125x160, $m=6$, $\alpha=28^\circ$, 3GG 3NQW80J8VS3 63 m/s (рисунок 2.10).

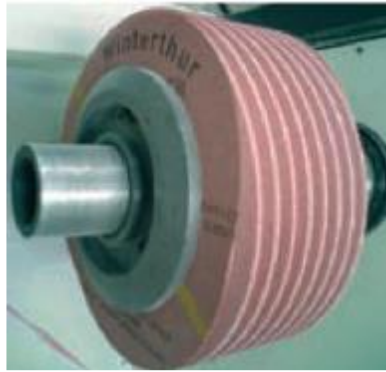


Рисунок 2.10 – Циліндричний черв'ячний круг виробника Winterthur

Черв'ячне коло перед встановленням на шпиндель верстата Reishauer RZ basic проходить попереднє динамічне балансування на спеціальному стенді (рисунок 2.11). Коло встановлюють на планшайбу і балансують у двох площинах за допомогою трьох вантажів на планшайбі з допустимою неврівноваженістю маси 20...40 г (1 – 2-й класи за ГОСТ 3060). Потрібно відзначити, що таке динамічне балансування на стенді є попереднім, оскільки шпиндель інструменту верстата Reishauer RZ basic має вбудований балансувальний пристрій і автоматично підтримує високу точність балансування посередині кола протягом усього часу обробки.



Рисунок 2.11 – Спеціальний балансувальний верстат фірми СЕМВ для попереднього балансування черв'ячних кіл разом із планшайбою

Перед початком зубошліфування черв'ячне коло піддається виправленню алмазним роликом за схемою (рисунок 2.12). Алмазний профільний ролик, що використовується, не формує на черв'ячному колі радіус ніжки, тому поздовжні радіуса зубів обробляються додатково на операції полірування. Таким чином, трудомісткість фінішних операцій збільшується на 19 хвилин для операції полірування поздовжніх радіусів зубів.

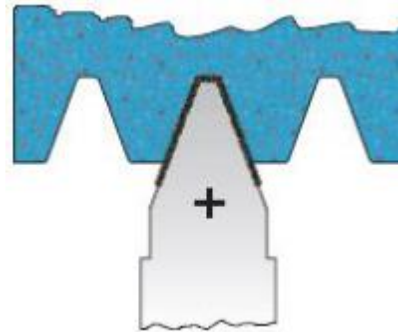


Рисунок 2.12 – Схема редагування алмазним роликом

Операцію зубохонінгування виконують на верстаті ВСБ-138016 (рисунок 2.13 а) зубчастим алмазним хонем (Рисунок 2.13 б). На верстаті в якості мастильно-охолоджувальної рідини використовується суміш гасу (70%) та індустріальної олії (30%). Алмазний еластичний зубчастий хон з модулем $m=6$, числом зубів $z=37$, кутом профілю зубів $\alpha=28^\circ$, кутом нахилу лінії зуба $\beta=15$ (напрямок лінії зуба – праве), зерно АСМ 28/20 з 100% концентрацією. Товщина еластичного шару із алмазним абразивом становить 2,5 мм. Перед зубохонінгуванням циліндричного зубчастого колеса виконують редагування алмазного хона за чотири операції, загальний час редагування становить 52,4 хвилини. Виправлення зубчастого вінця алмазного еластичного хона - досить трудомісткий процес шліфування профілю, який виконують на профільному зубошліфувальному верстаті Gleason P600/800G за три операції і правкою хона по зовнішньому діаметру на круглошліфувальному верстаті 3У142МВ, це дозволяє у верстаті 3У142МВ.



Рисунок 2.13 – Загальний вигляд: а – верстата ВСБ-138016; б – зубчастого хона

Однак з кожною подальшою заготівлею алмазний зубчастий хон зношується нерівномірно по профілю зубів, а похибка його профілю зростає, що сприяє погіршенню похибки профілю на оброблюваному зубчастому колесі. У міру збільшення похибки евольвентного профілю зуба знову виникає необхідність шліфування зубів алмазного хону на наступний ремонтний розмір. Кількість таких правок зубчастого алмазного хона обмежується 26 ремонтними розмірами, тобто. кожна правка - це наступний ремонтний розмір, після чого хон замінюють новим.

3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СУМЕЩЕНОЇ ОБРОБКИ ШЛІФУВАЛЬНО-ПОЛІРУВАЛЬНИМИ ЧЕРВ'ЯЧНИМИ КРУГАМИ

3.1. Обґрунтування можливості отримання необхідних параметрів точності та шорсткості при поєднаній обробці шліфувально-полірувальним черв'ячним колом

Висунуто гіпотезу, що зазначені вимоги можна досягти за допомогою операції суміщеної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом за рахунок спеціальної стратегії шліфування з розбиттям циклу обробки на кілька ступенів для призначення оптимальних режимів різання на кожному ступені. Умовно схема процесу поєднаної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом представлена на рисунку 3.1. Черв'ячне коло є збірним і виготовлене з двох частин – шліфувальної та полірувальної [19-20].

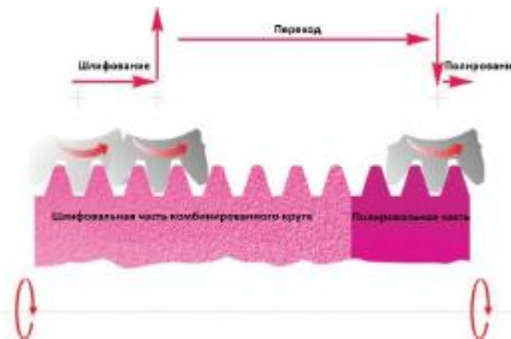


Рисунок 3.1 – Схема поєднаної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом

На рисунку 3.2 представлено порівняння абразивних зерен, які застосовуються для шліфування, наприклад, з розмірністю 185 мкм та полірування 6,5 мкм. Для полірувальної частини комбінованого кола використовують еластичну полівінілформалеву зв'язку, для шліфування жорстку керамічну зв'язку, що забезпечує точність обробки.



Рисунок 3.2 – Порівняння розмірів зерен шліфувальної та полірувальної частин абразивного кола

Метою шліфування є отримання ідеальної геометрії, гарної якості поверхні (відсутність припиків) та високої продуктивності. Цикл полірування другою частиною комбінованого кола видаляє вершини (1 мкм) мікронерівностей, залишені після першої частини комбінованого кола ($Ra \geq 0,25$ мкм), зменшуючи шорсткість поверхні до $Ra \leq 0,16$ мкм (рисунок 3.3). Полірування, виконане без переустановки та переривання процесу, забезпечує продуктивність, точність зубчастого вінця та шорсткість евольвентних поверхонь зубів.

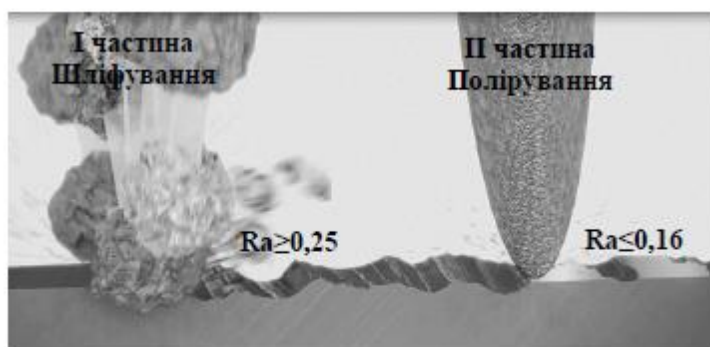


Рисунок 3.3 – Утворення шорсткості після шліфування та полірування

Профілограма утворення шорсткості евольвентних поверхонь зубів після поєднаної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом умовно зображено на рисунку 3.4. Метою циклу полірування є зменшення шорсткості поверхні без зміни макроегеометрії, топографії евольвентних поверхонь зубів та структури поверхні матеріалу. Процес полірування другою частиною черв'ячного кола за рахунок дрібної зернистості та м'якої зв'язки знімає приблизно 1 мкм, видаляючи вершини шорсткості поверхні, при цьому залишаючи недоторканими

деякі западини. Відповідно до досліджень [22], доведено, що шорсткість, утворена з наявністю западин і відсутністю вершин, має збільшену площу контакту для утримання та розподілу плівки трансмісійної олії на шорсткості зубів, що збільшує довговічність зубчастих коліс.



Рисунок 3.4 – Профілограма утворення шорсткості зубів

3.2. Моделювання та розрахунок площі плями контакту при безперервному обкатному зубошліфуванні циліндричним черв'ячним колом

При гвинтовому обкатному зубошліфуванні циліндричним черв'ячним колом профіль зубів формується завдяки додаванню ряду рухів, що повідомляються верстатом зубчастому колесу та абразивному черв'ячному колу. На рисунку 3.5 представлена схема безперервного обкатного зубошліфування циліндричним черв'ячним колом. Евольвентний профіль утворюється рухом обкату інструменту (кількість обертів шліфувального кола – $n_{кр}$) та деталі (кількість обертів зубчастого пдет = $n_{кр}/z$). Одночасний контакт кількох зубів з витками черв'ячного кола забезпечує безперервне знімання припуску. Спр осі Z відповідає за шліфування по довжині зуба. Срад по осі X - за обробку зубів по висоті. Sm - тангенціальний рух подачі по осі Y- забезпечує використання всієї корисної висоти кола, вводячи в роботу незношені ділянки.

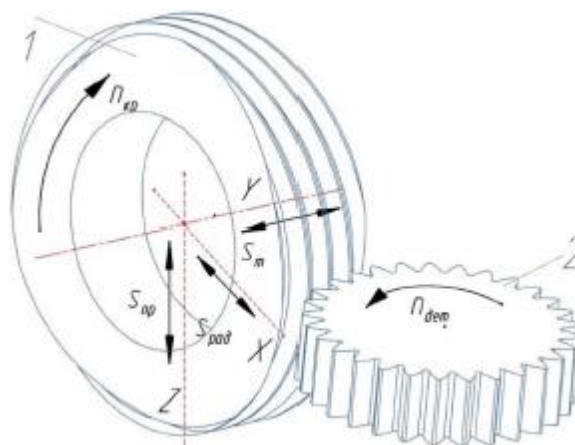


Рисунок 3.5 – Схема обкатного безперервного зубошліфування: 1 – черв'ячне коло; 2 – зубчасте колесо

У процесі обкату виток черв'ячного кола займає низку послідовних положень щодо зуба циліндричного колеса. При цьому за кожен прохід знімається шар матеріалу, зображений рисунку 3.6 штриховою лінією. Зі схеми формування профілю зубів видно, що виток черв'ячного кола починає врзатися в профіль зуба в положенні 4. У положенні 5 виток ріже лівою бічною стороною і зовнішнім правим кутом. У положенні 6, 7, 8, 11, 12, 13, 14 виток ріже обома бічними сторонами. Таким чином, з рисунку 3.6 видно, що припуск знімає бічна поверхня черв'ячного кола. Зовнішній діаметр черв'ячного кола не бере участь у процесі різання. Впадина зуба не обробляється на операції зубошліфування.

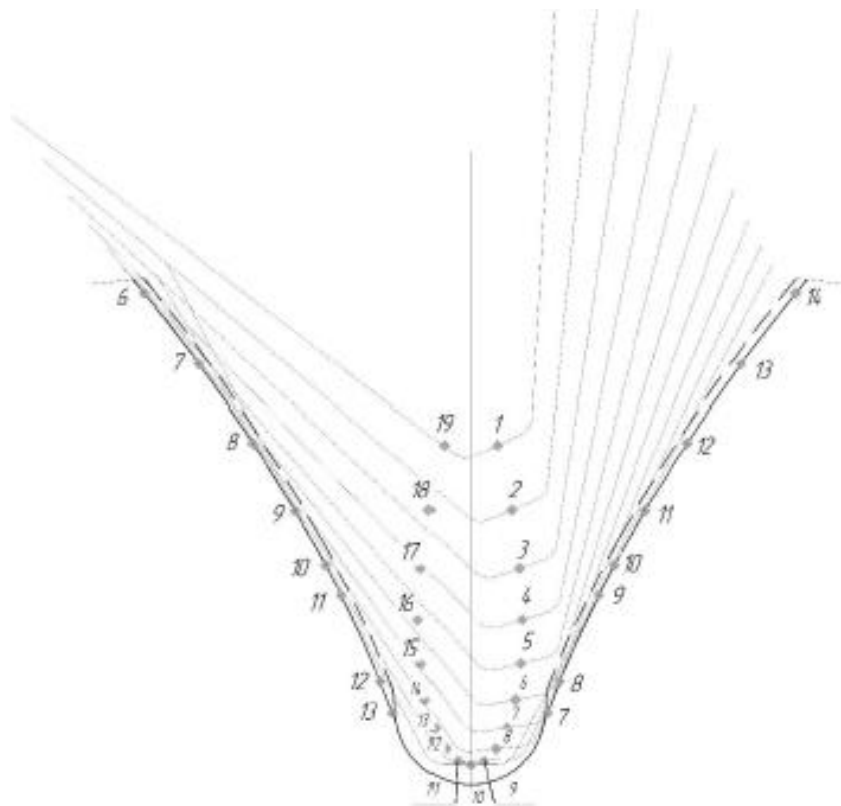


Рисунок 3.6 – Схема процесу формування профілю зуба при
зубошліфуванні черв'ячним колом

При шліфуванні зубів циліндричного зубчастого колеса, що має складний евольвентний профіль, черв'ячним колом відбувається формування окремих ділянок поверхні, що постійно змінюють один одного. Обробка кожної з цих ділянок – плям контактів – відбувається за різних сил різання та температурах, що призводить до зміни показників якості на кожній ділянці обробленого профілю [23].

При врізанні витка черв'ячного кола евольвентний профіль зуба площею контакту буде частина поверхні, обмежена деяким контуром. Побудова цього контуру схематично представлено рисунку 3.7. Поверхня бокової сторони витка черв'яка з вершиною в точці Врізається в евольвентний профіль зуба колеса, обмежений точками 1, 6, 9.

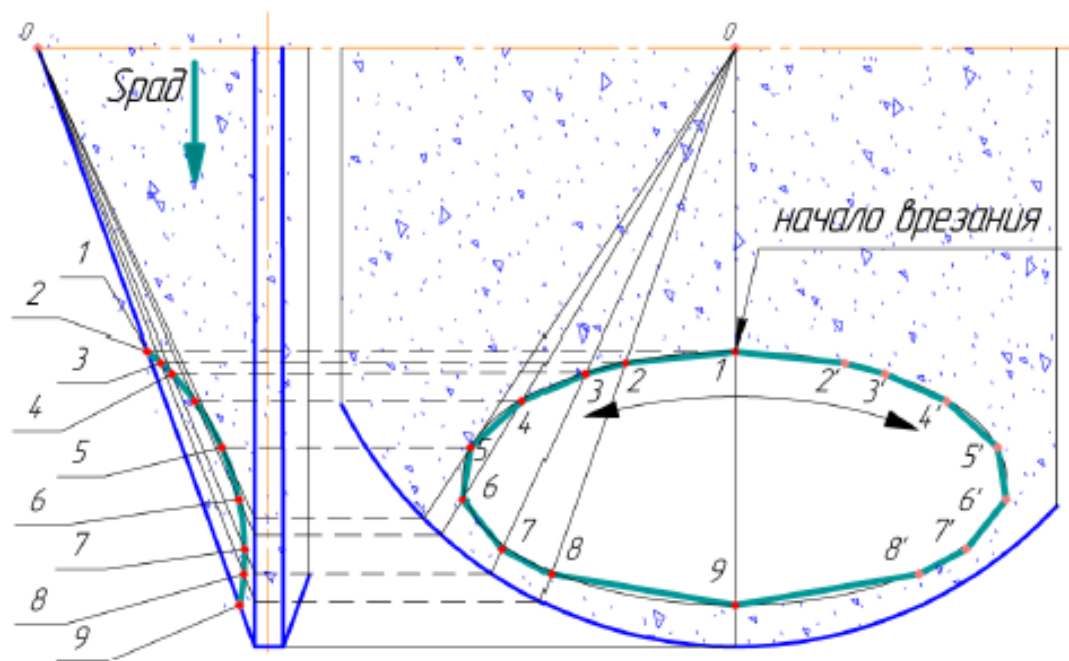


Рисунок 3.7 – Умовна схема визначення площі плями контакту між черв'ячним кругом і циліндричним зубчастим колесом

На рисунку 3.7 жирною лінією зображено фактичний контур площі плями контакту в проекції на площину перпендикулярної осі витка черв'ячного кола. Якщо побудувати на осях 1 - 9 і 6 - 6', геометрично точний еліпс (штрихова лінія), то фактична пляма контакту майже точно збігатиметься з цим еліпсом. При цьому необхідно помітити, що чим ближче до зовнішнього діаметра черв'ячного кола розташовуватиметься пляма контакту, тим більше контур буде наближатися до еліпса. Оскільки фактична пляма контакту дуже мала і розташовується у безпосередній близькості до зовнішнього діаметра витка черв'ячного кола, то з достатньою точністю вважатимуться, що фактичний контур є геометрично правильний еліпс.

Для розрахунку площі плями контакту зубчастого колеса ($z=29$, $m=6$, $\alpha=28^\circ$, $b=48$ мм, $d=181,1$ мм) і черв'ячного кола з параметрами: зовнішній діаметр $D_a=275$ мм, кількість заходів витків $n=3$, крок витків (різьблення) $p=18,8495$ мм, середній діаметр різьблення $D_f=261$ мм, кут підйому витків $\psi=3,95^\circ$ ($\text{tg } \psi=0,0689$), проведено побудови евольвентного зачеплення у програмі KISS soft ,

моделювання контакту циліндричного зубчастого колеса з розрахованою геометрично точною евольвентою та черв'ячним колом у програмі Siemens NX, геометричні побудови розгортки плями контакту при знятті припуску в програмі «КОМПАС».

Розрахунок евольвентного зачеплення у програмі KISS soft у модулі «виготовлення». На рисунку 3.8 представлена схема зачеплення циліндричного колеса, що розглядається, з тризахідним черв'ячним колом, з якої видно, що при обробці тризахідним черв'ячним колом збільшується продуктивність, так як обробляються три западини одночасно в залежності від положення в різний момент часу.

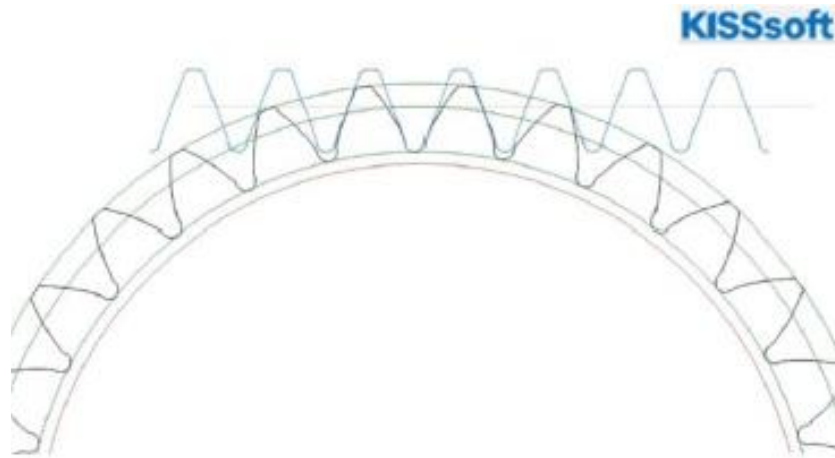


Рисунок 3.8 – Схема зачеплення циліндричного колеса із тризахідним черв'ячним колом

При збільшенні схеми зачеплення циліндричного колеса з черв'ячним колом можна розглянути профіль зуба після операції зубошліфування (рисунок 3.9), вихідний контур зубчастого колеса і припуск, що знімається. Рисунок 3.9 також дає наочне зображення того, що западини зубів не шліфується, черв'ячне коло працює тільки бічними сторонами витків черв'ячного кола, зовнішній діаметр черв'ячного кола не бере участь у процесі зубошліфування.

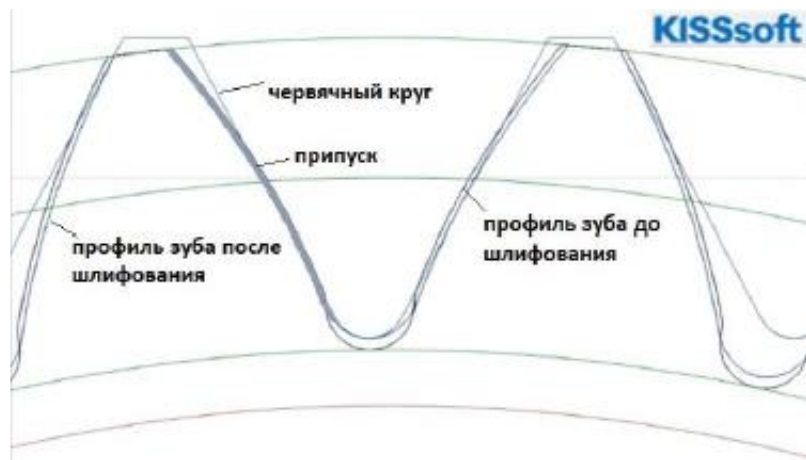


Рисунок 3.9 – Збільшення схеми зачеплення циліндричного колеса із тризахідним черв'ячним колом

Після розрахунку в KISS soft геометрії евольвенти зубчастого колеса на операції зубошліфування з урахуванням припуску, що знімається, проведено моделювання контакту циліндричного зубчастого колеса (рисунок 3.10) з розрахованою геометрично точною евольвентою і черв'ячного кола в програмі Siemens NX.

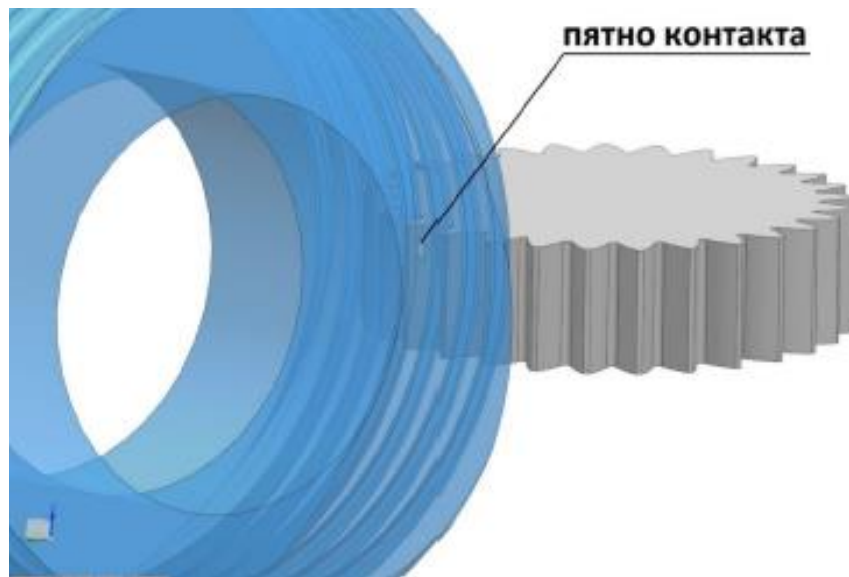


Рисунок 3.10 – Модель плями контакту зубчастого колеса із черв'ячним колом

При накладенні обмеження видимості на черв'ячне коло на зубчастому колесі можна спостерігати пляму контакту (рисунок 3.11). Дана форма плями

контакту змодельована без урахування зняття припуску, руху обкату та поздовжньої подачі. Форма плями контакту при поєднанні циліндричного зубчастого колеса і черв'ячного колеса є еліпс.

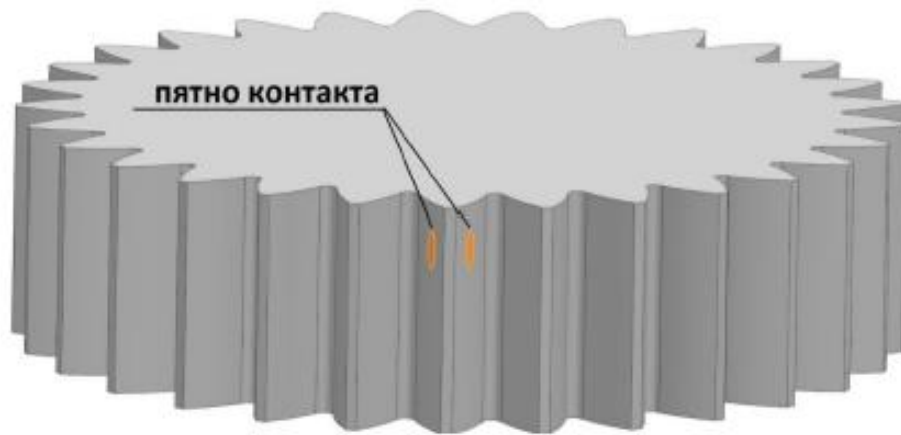


Рисунок 3.11 – Форма плями контакту зубчастого колеса із черв'ячним
колом

Для знаходження форми плями контакту з програми KISS soft вивантажено модель з геометрично точною евольвентою в програму «КОМПАС» та зроблено додаткові побудови – побудовано виток черв'ячного колеса при знятті припуску 0,11 мм. Припуск 0,11 мм вибраний для наочності побудови і є максимальним. Доданий радіус черв'ячного колеса. Далі у перетині профілю зуба та витка черв'яка побудовані крапки та перенесені на проекцію черв'ячного колеса. Після чого збудовано ще кілька променів на профілі від евольвенти зуба до місця перетину з витком профілю черв'ячного колеса. Слід зазначити, що більше променів побудовано, тим точніше форма плями контакту. Після достатньої побудови променів визначення форми друга половина побудована дзеркально. На рисунку 3.12 наведено зображення побудови плям контакту.

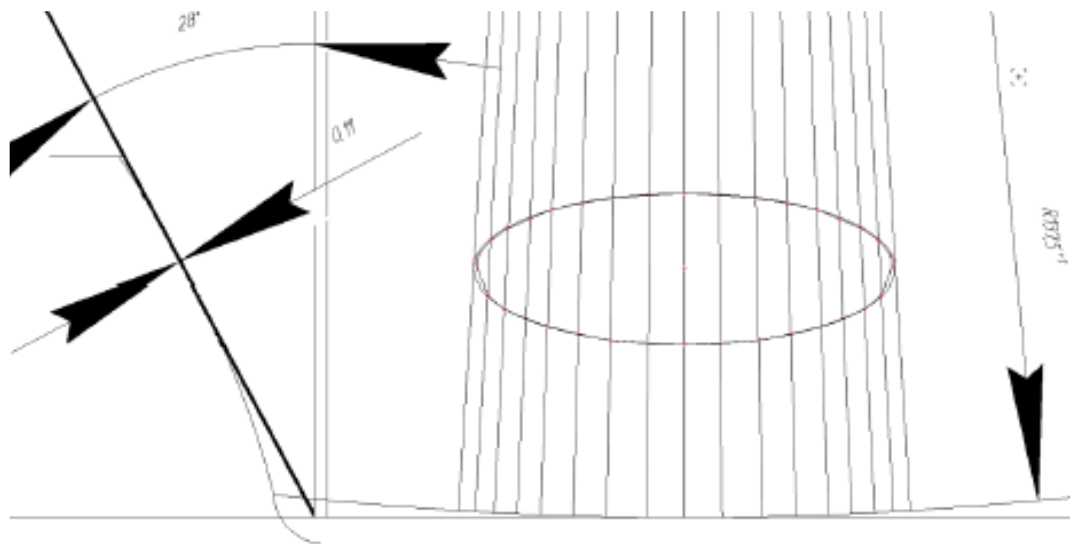


Рисунок 3.12 – Побудова плям контакту

Фактична площа плями контакту при зрізанні припуску, що дорівнює 0,11 мм, становить $S_{kf}=65,89$ мм. Ця площа розрахована із з'єднання точок утворених при побудові променів перерізу (рисунок 2.13).

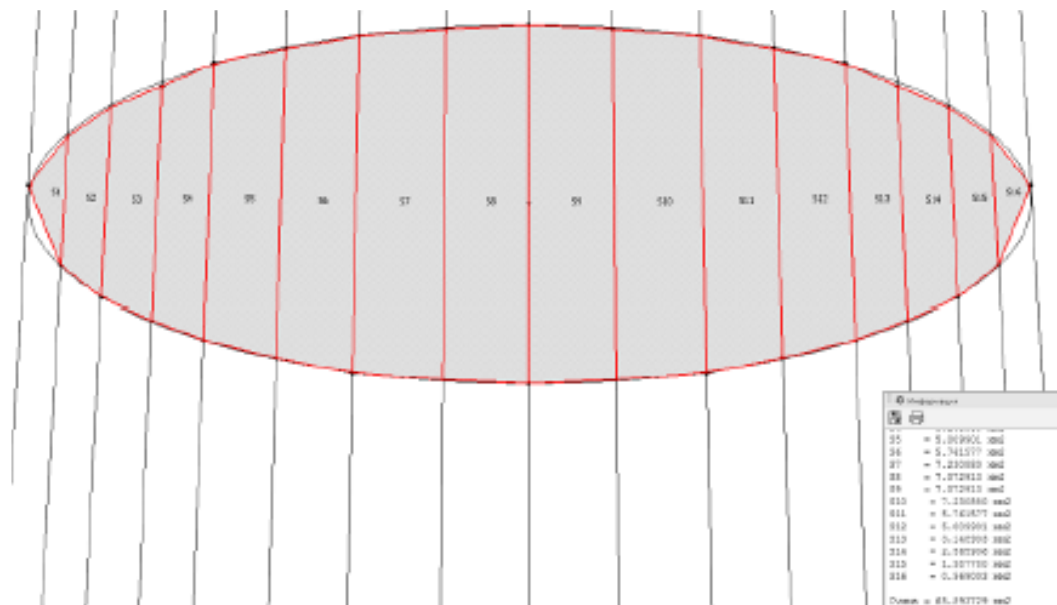


Рисунок 3.13 – Фактична площа зони контакту

Площа геометрично правильного еліпса, отриманого після з'єднання за побудованими точками (рисунок 3.14) становить $S_e=66,9$ мм.

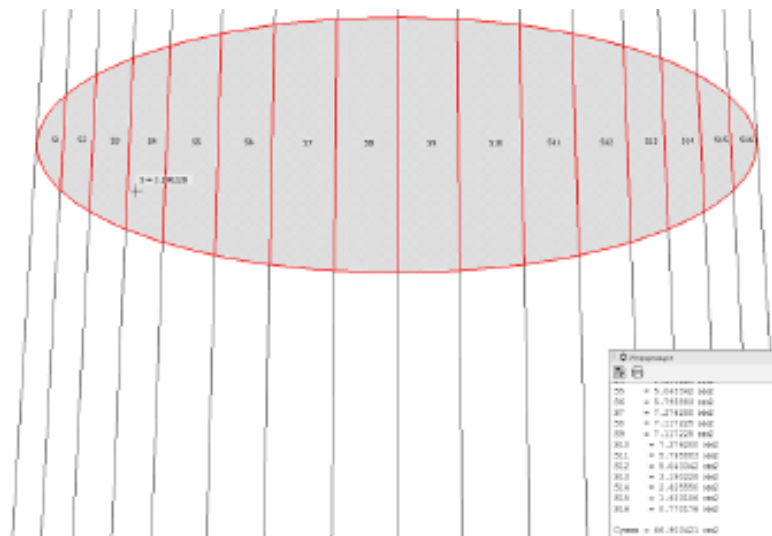


Рисунок 3.14 – Площа плями контакту геометрично правильного еліпса

Слід зазначити, що дані побудови визначають площу плями контакту з урахуванням припущення, що знімається, але без урахування руху обкату і радіальної подачі. З цієї причини необхідно зробити додаткові побудови і провести аналітичний розрахунок фактичної площі плями контакту, що враховує не тільки припущення, що знімається, але і руху обкату і поздовжню подачу.

На рисунку 3.15 побудовано форму реальної плями контакту, що виникає при зубошліфуванні абразивним черв'яком. Якби черв'ячне коло тільки б врізалось у профіль зуба, то пляма контакту була б обмежена еліпсом (точки 2, 7, 8, 9). Проте за наявності руху обкату виток черв'ячного кола переміщується щодо зуба у бік стрілки зі швидкістю. При цьому кожен момент часу площа плями контакту буде обмежена тільки половиною еліпса (точки 2, 7, 8, 1).

Наявність поздовжньої подачі S_{pr} (вісь Z), що дозволяє обробляти зуби по всій довжині, ще більше змінює площу контакту. По-перше, від еліпса залишається лише $\frac{1}{4}$ частина (точки 2, 7, 1). По-друге, до цієї площі додається ділянка (краски 1, 5, 6, 7). Тут відстань між точками 1 і 5 дорівнює $S_{pr}/2$. По-третє, загальна площа, обмежена точками 2, 5, 6, 7, зменшується на величину ділянки, обмеженої точками 3, 4, 5, 6, 7. Дана ділянка не враховується, тому що в цьому місці матеріал уже був видалений при попередньому обертанні колеса.

Отже, у процесі обробки фактична пляма контакту між витком шліфувального кола та евольвентною поверхнею зуба колеса буде обмежена контуром 2, 3, 4, 5, 1.

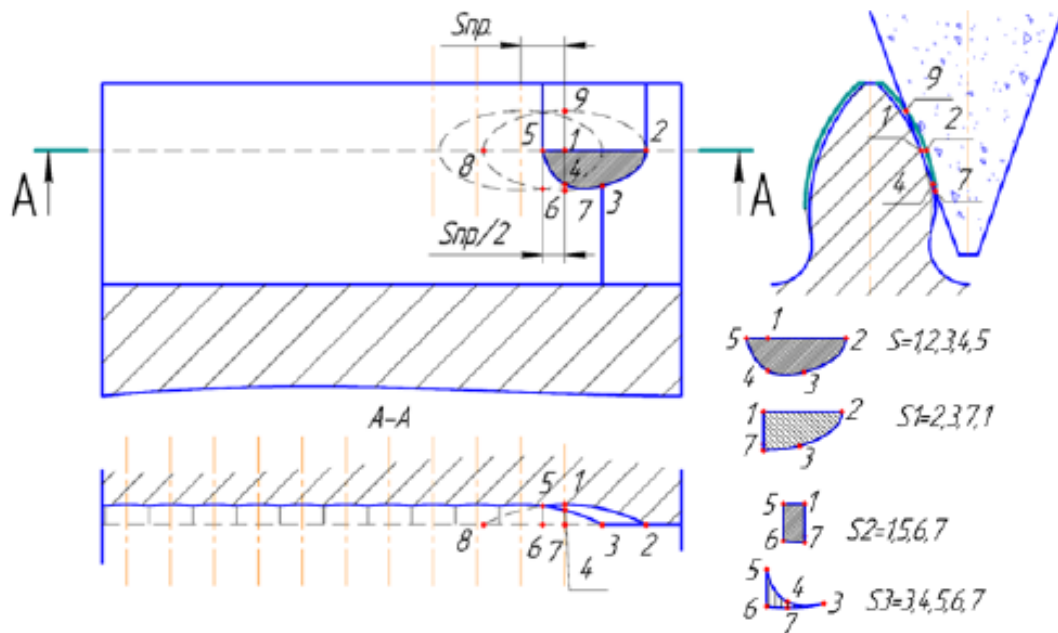


Рисунок 3.15 – Площа плями контакту при зубошліфуванні методом обкату абразивним черв'яком

У процесі обробки гвинтового обкатного шліфування зубів можливе примусове наведення нерегулярного профілю мікронерівностей за рахунок математичного апарату верстата. Компанія Reishauer означає можливість створення переривчастої шорсткості технологією LNS – Low Noise Shifting. Систематична мікронерівність (шліфувальні різи) перериваються при діагональному русі подачі черв'ячного кола. Довжина різів скорочується (рисунок 3.16 б), висота мікронерівностей зменшується. Така структура поверхні підвищує плавність зачеплення. Створення нерегулярної шорсткості відбувається без втрати продуктивності.

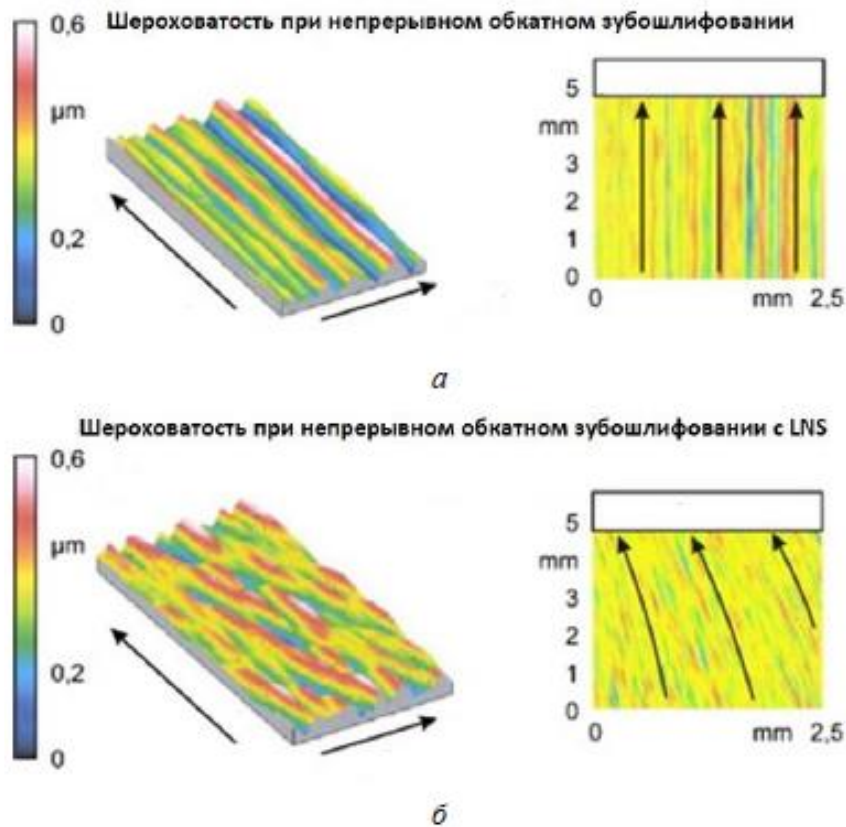


Рисунок 3.16 – Шорсткість евольветних поверхонь зубів: а – систематична; б – стохастична (LNS)

Функція верстата LNS2 використовується для прямокутних зубчастих коліс, функція LNS1 – для малого модуля та косозубих зубчастих коліс. Функція LNS – функція розрахунку руху шифтингу, що виключає появу регулярної шорсткості. Регулярна шорсткість на поверхні утворюється як відношення обертання алмазного ролика та шліфувального кола. Наприклад, якщо в процесі редагування алмазний ролик обертається з $n=1000$ об/хв, а черв'ячний шліфувальний круг $n=10$ об/хв, тоді утворюється 100 ділянок регулярної шорсткості. LNS як додатковий механічний рух у кінематиці безперервного шліфування створює нерегулярні поверхневі структури, які запобігають генерації тональних збуджень. Як наслідок, шестерні LNS не створюють небажаного шуму передачі. LNS непомітно працює у фоновому режимі процесу шліфування.

Проведені дослідження [26] впливу методу фінішної обробки зубчастих коліс на рівень вібрацій при зачепленні виявили, що найменшими шумовими

характеристиками мають зачеплення із зубчастими колесами, обробленими циліндричним черв'ячним колом зі створенням нерегулярної шорсткості. На другому місці з найменшими шумовими характеристиками – безперервне профільне зубошліфування та зубохонінгування на одному верстаті; на третьому місці – зубохонінгування хоном із внутрішнім зачепленням; на четвертому місці безперервне обкатне зубошліфування навколо CBN; і найвищі шумові показники – у зубошевінгування та наступної обкатки зі зняттям вибоїн. При цьому в роботі не наведено значення шорсткості, отримані кожним методом.

4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО РЕЖИМУ СУМЕЩЕНОЇ ОБРОБКИ ШЛІФУВАЛЬНО-ПОЛІРУВАЛЬНИМ КРУГОМ І ЙОГО ВЛИВУВАТИ ЙОГО ВЛИВУВАННЯ ТА ЙОГО ВЛИВУВАТИ ЙОГО ВЛІВНО І ПРОДУКТИВНІСТЬ

4.1. Вибір технологічного обладнання

Експериментальні дослідження для визначення раціонального режиму суміщеного зубошліфування шліфувально-полірувальним колом проводилися на устаткуванні, яке застосовується на операції зубошліфування за серійною технологією, а саме RZ basic компанії Reishauer. Верстат RZ basic Reishauer призначений для обробки зовнішніх циліндричних зубчастих зачеплень методом безперервного обкатного зубошліфування з використанням циліндричних черв'ячних кіл. Загальний вигляд верстата та робоча зона верстата зображені на рисунку 4.1. Для закріплення заготовки деталі використовується те ж затискне оснащення, що і за серійною технологією, за якою проводиться зубошліфування. Пристрій для закріплення складається з затискного пристосування, верхнього центру, що обертається, ковпака для центру, що обертається. Робочий тиск масла для даного пристрою при затиску становить 12 бар. Зусилля підтискання верхнім центром становить 350 Н. Верстат оснащений автоматичним пристроєм центрування для оптимального позиціонування зубів заготовлі по відношенню до черв'ячного шліфувального круга. Автоматичне центрування ґрунтується на вимірі товщини зубів або ширини западини зубів на вершині зубів заготовок. Ці виміри дозволяють проводити центрування шліфувального кола з використанням відносних вимірів відшліфованого зачеплення.



а

б

Рисунок 4.1 – Верстат Reishauer RZ basic: а – загальний вигляд; б – робоча зона

В результаті проведеного аналізу в розділі 1.1 встановлено, що зубошліфувальне обладнання фірми Reishauer моделі RZ basic в сукупності з оснасткою дозволяє надійно досягати необхідних параметрів точності зубчастого вінця аналізованого зубчастого колеса зі значними запасами за використаними допусками за параметрами більше 54%. Висока точність зубчастого колеса, що обробляється, обумовлена численними параметрами: точністю позиціонування осей, наявністю вбудованого пристрою для автоматизованої підтримки балансу черв'ячного кола під час всього циклу обробки.

4.2. Вибір правлячого та ріжучого інструменту

Процес редагування має завдання спрофілювати контур заданого профілю шліфувального кола. Повнопрофільний алмазний ролик повинен сформувати такий профіль черв'ячного абразивного кола, щоб на зубчастому колесі забезпечити геометричні параметри деталі, та додатково формувати радіус поздовжньої кромки $R_{0,4\pm 0,2}$ мм на вершині зуба (рисунок 4.2) з метою виключення слюсарної операції полірування поздовжніх кромки.

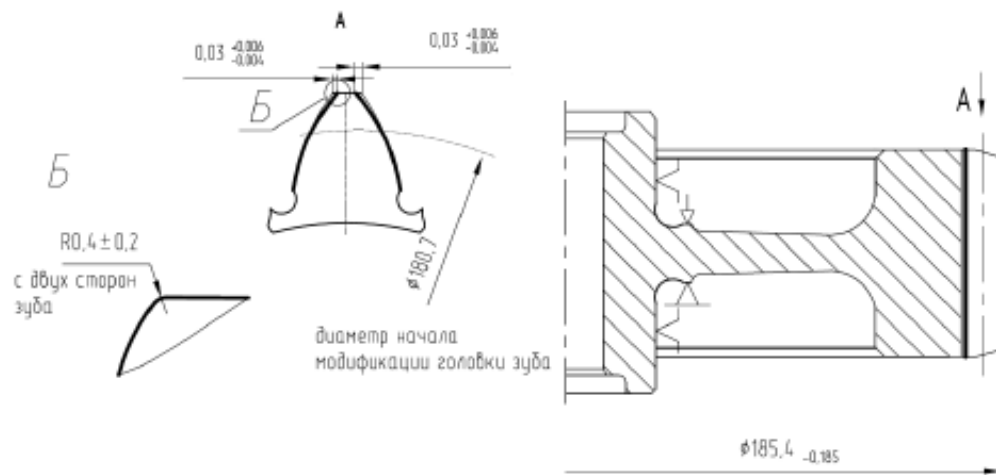


Рисунок 4.2 – Необхідні геометричні параметри зубчастого вінця

Як інструмент для профільної правки розроблено конструкцію повнопрофільного алмазного правлячого ролика для шліфувально-полірувального кола, конструкцію якого наведено в Додатку Г, загальний вигляд зображено на рисунку 4.3.



Рисунок 4.3 – Загальний вигляд алмазного правлячого ролика

Проектування та розрахунок необхідних геометричних параметрів ролика проводився виходячи з того, який профіль витка черв'ячного кола необхідно сформувати, щоб у процесі безперервно обкатного шліфування заготовки деталі забезпечити необхідні параметри зуба (модифікацію фланка та радіус поздовжніх кромek). На рисунку 4.4. представлено побудову схеми обкату витком черв'ячного кола з урахуванням забезпечення радіусу поздовжніх кромek деталі.

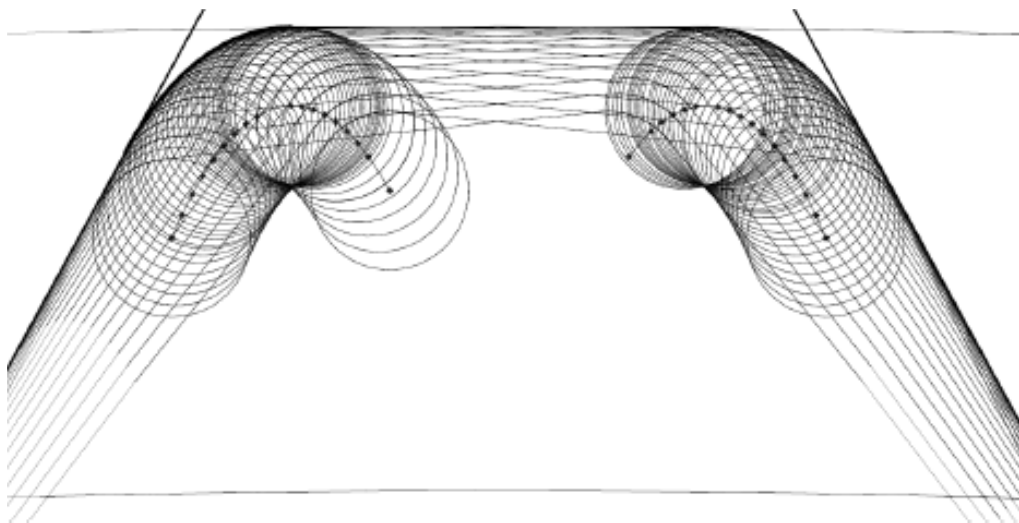


Рисунок 4.4 – Схема обкату витком черв'ячного кола поздовжніх радіусів вершини зуба

Процес редагування має завдання спрофілювати контур заданого профілю шліфувального кола, загострити зношені абразивні зерна та вибором відповідних параметрів оптимально узгодити структуру поверхні шліфувального кола із завданням обробки. Дані процесу редагування узагальнюють всі технологічні параметри, що управляють процесом редагування шліфувального кола. Весь процес редагування можна поділити на кілька ступенів, щоб варіюванням параметрами досягти оптимальних результатів редагування. Параметри – число правлячих ходів, число оборотів шліфувального кола, число оборотів інструменту для редагування, радіальна подача на один керуючий хід, а також управління рухом розподілу у багатозахідних шліфувальних верстатів – підбираються індивідуально для різних кроків редагування.

Вибір різального інструменту – черв'ячного кола першого типу (прямого профілю) за ГОСТ Р 52781-2007 виконують розмірами, узгодженими з оснащенням верстата на керамічному зв'язуванні, зернистість і твердість вибирають залежно від модуля та матеріалу зубчастого колеса. Для високопродуктивної обробки вибирають багатозахідні кола. Так, однозахідний круг за один оберт обробляє одну западину зубів, а тризахідний - три западини.

Шліфувальна частина: електрокорунд білий 25А, зернистістю 0,15-0,21

мм, м'якого ступеня твердості G, відкритої структури 8, на керамічній зв'язці. Полірувальна частина: електрокорунд білий 25А, дрібної зернистості 0,06-0,1 мм, м'якого ступеня твердості, відкритої структури 14, зв'язка - спінений полівінілформаль [49].

Зернистість шліфувальної частини відповідає вимогам від 0,15 до 0,21 мм (рисунок 4.5).

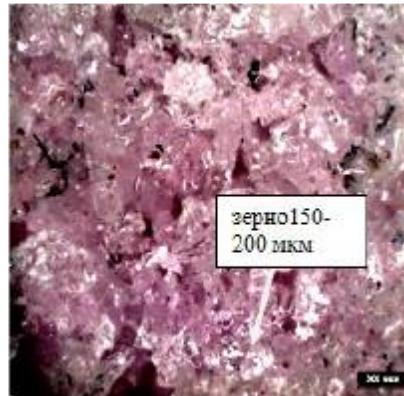


Рисунок 4.5 – Мікроструктура шліфувальної частини на керамічному зв'язуванні

Для контролю зернистості від 0,06 до 0,1 мм полірувальної частини проведено дослідження, на рисунку 3.6 представлений загальний вигляд дослідженого зразка.

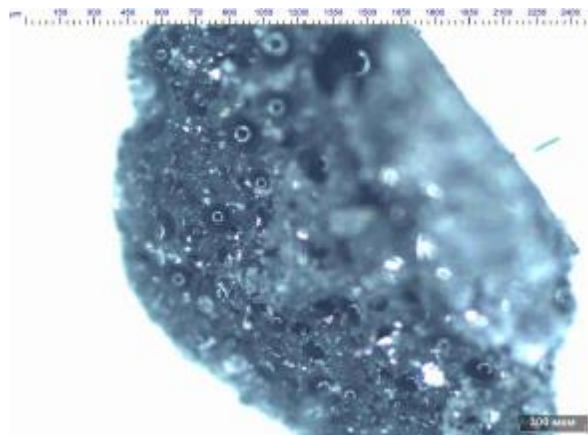


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд зразка полірувальної частини

На рисунку 4.7 представлені фотографії, отримані за допомогою електронного мікроскопа сканування MIRA3 TESCAN.

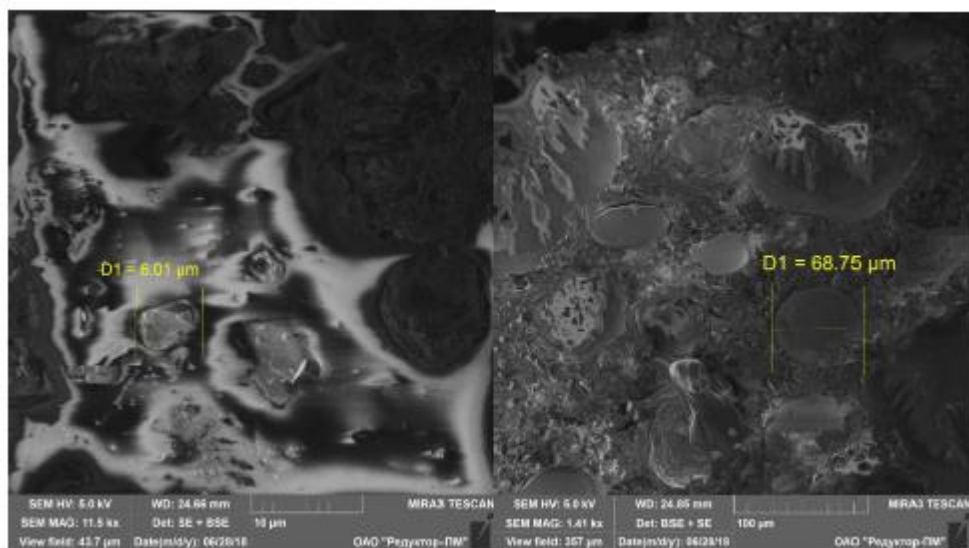


Рисунок 4.7 – Мікроструктура полірувальної частини

5. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Результати дослідження впливу радіальної та поздовжньої подач при поєднаній обробці на циклі полірування на шорсткість

На основі апріорних даних формулу шорсткості Ra представимо в наступному вигляді:

$$Ra = b_0 \cdot S_{\text{рад}}^{k1} + S_{\text{пр}}^{k2},$$

де $S_{\text{рад}}$ - радіальна подача, $S_{\text{пр}}$ - поздовжня подача, $k1, k2$ - показники ступеня, b_0 - коефіцієнт пропорційності, що залежить від багатьох неврахованих факторів.

На основі планування зроблено чотири досвіди визначення впливу радіальної та поздовжньої подач на величину шорсткості при поєднаній обробці шліфувально-полірувальним черв'ячним колом. З метою зменшення впливу випадкових факторів на експеримент проведено три паралельні досліді. Середнє арифметичне значення функції відгуку визначається формулою [74]:

$$\overline{y_j} = \frac{1}{n_j} \cdot \sum_{u=1}^{n_j} y_{ju},$$

де j – номер досвіду, u – номер паралельного досвіду, n_j – кількість паралельних дослідів у j -му рядку матриці, y_{ju} – значення функції відгуку в u -му паралельному досліді.

Дисперсія кожного середнього арифметичного значення обчислювалася за формулою:

$$S_j^2 = \frac{1}{n_j - 1} \cdot \sum_{u=1}^{n_j} (y_{ju} - \overline{y_j})^2,$$

Експериментальні значення величини шорсткості поверхонь зубів наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Експериментальні значення шорсткості

№ дослідження	y_1	y_2	y_3
1	0,089	0,09	0,092
2	0,158	0,159	0,161
3	0,12	0,11	0,105
4	0,17	0,18	0,19

У таблиці 5.2 наведено експериментальні значення шорстко

Таблиця 5.2 - Результати шорсткості та розрахункові дані

№ дослід	y_1	y_2	y_3	$\bar{y}_j$	S_j^2	T	$(T - \bar{y}_j)^2$
	$\ln y_1$	$\ln y_2$	$\ln y_3$				
1	0,089	0,09	0,092	0,09033	0,0002845	-2,381942	0,0005018
	-2,41912	-2,40794	-2,38597	-2,40434			
2	0,158	0,159	0,161	0,15933	$9,1642 \cdot 10^{-5}$	-1,859189	0,0005018
	-1,84516	-1,83885	-1,82635	-1,83678			
3	0,12	0,11	0,105	0,11166	0,0045943	-2,216179	0,0005018
	-2,12026	-2,20727	-2,25379	-2,19377			
4	0,17	0,18	0,19	0,18	0,0030936	-1,693427	0,0005018
	-1,77195	-1,71479	-1,66073	-1,71582			
–	$\Sigma 0,537$	$\Sigma 0,539$	$\Sigma 0,548$	–	Σ 0,008064008	–	0,002007
–	–	–	–	–	$S^2_{\max=}$ 0,004594	–	–

Оцінка коефіцієнтів регресії проводилася за критерієм Кохрена

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2},$$

Граничне значення критерію Кохрена визначається за таблицями [74] при рівні значущості $\alpha=0,05$ для кількості вибірок 3 та ступеня свободи 4. Експериментальне значення не перевищує табличного, гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

$$G = \frac{0,004594287}{0,008064008} = 0,56972752 < G_{\text{кр}} = 0,7679$$

Коефіцієнти регресії, що характеризують лінійні ефекти [74]:

$$b_j = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot \bar{y}_j}{n},$$

Коефіцієнти регресії, що характеризують ефекти взаємодії [74]

$$b_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot x_{ij} \cdot \bar{y}_j}{n},$$

Середня арифметична дисперсія всіх дослідів [74]:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^n S_j^2}{n}$$

У таблиці 5.3 наведено розрахункові коефіцієнти та визначено їх значущість на вплив факторів на функцію відгуку. Перевірка гіпотези за критерієм Стюдента, розрахункові значення наведено у таблиці 5.3.

$$t_i = \frac{|b_i|}{\sqrt{S^2\{b_i\}}}$$

Критичне значення $t_{кр}$ визначалося за таблицями [74] при $n \cdot (r-1) = 4 \cdot (3-1) = 8$ степенях свободи та рівні значимості $\alpha = 0,05$ критичне значення $t_{кр} = 2,3$. Якщо $t_i > t_{кр}$, гіпотеза відкидається і коефіцієнт b_i визнається значним.

Таблиця 5.3 - Розраховані коефіцієнти регресії

Коефіцієнт	Значення	Дисперсія	Критерій Стюдента
b_0	-2,037684443	-2,03768444	157,210687
b_1	0,261376324	0,261376324	20,1656109
b_2	0,082881133	0,082881133	6,394415
b_{12}	-0,02240184	0	1,72833861

Коефіцієнти регресій розраховані за методом найменших квадратів та отримано рівняння регресії

$$Y = -2,038 + 0,261 \cdot x_1 + 0,829 \cdot x_2 - 0,022 \cdot x_{12}$$

Де b_{12} не є значним коефіцієнтом тоді рівняння набуде вигляду:

$$Y = -2,038 + 0,261 \cdot x_1 + 0,829 \cdot x_2$$

Складемо емпіричну математичну модель шорсткості зубчастих коліс та перевіримо на адекватність через відхилення Y від результатів експерименту

$$S_{ад}^2 = \frac{n_l}{n-(k+1)} \cdot \sum_{i=1}^n (Y - \bar{y}_i)^2$$

Перевіримо гіпотезу про адекватність за критерієм Фішера [74]:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}} \leq F_{кр},$$

Табличне критичне значення Фішера для 5%-ного рівня значущості та числа ступенів свободи $f_b=1$ і $f_m=8$ $F_{кр}=5,3$. Обчислимо відношення:

$$F = \frac{0,00602}{0,002016} = 2,98715 \leq 5,3$$

Проведемо зворотну заміну $X_2=S_{пр}$ – поздовжня подача, $X_1=S_{рад}$ радіальна подача:

$$x_1 = \frac{(\ln x_1 - \ln x_{1 \max})}{\ln x_{1 \max} - \ln x_{1 \min}} + 1 = \frac{2 \cdot (\ln S_{рад} - \ln 0,015)}{\ln 0,015 - \ln 0,05} + 1$$

$$x_2 = \frac{(\ln x_2 - \ln x_{2 \max})}{\ln x_{2 \max} - \ln x_{2 \min}} + 1 = \frac{2 \cdot (\ln S_{пр} - \ln 0,36)}{\ln 0,36 - \ln 0,12} + 1$$

Після знаходимо залежність шорсткості поверхонь зубів від радіальної та поздовжньої подачі на циклі зубополірування при комбінованій обробці шліфувально-полірувальним колом:

$$Ra = 1,577 \cdot S_{рад}^{0,4752} \cdot S_{пр}^{0,1512}.$$

Відповідно до цієї формули побудовані графіки, представлені рисунку 5.1, можна дійти невтішного висновку, що у величину шорсткості найбільше впливає радіальна подача $S_{рад}$, поздовжня подача $S_{пр}$ впливає меншою мірою. вплив має радіальна подача, поздовжнє має незначний вплив.

Мінімальна шорсткість Ra евольвентних поверхонь зубів при суміщеній

обробці шліфувально-полірувальним колом на циклі зубополірування отримана при радіальній подачі $S_{\text{рад}}=0,05$ мм і поздовжньої подачі $S_{\text{пр}}=0,12$ мм/об.

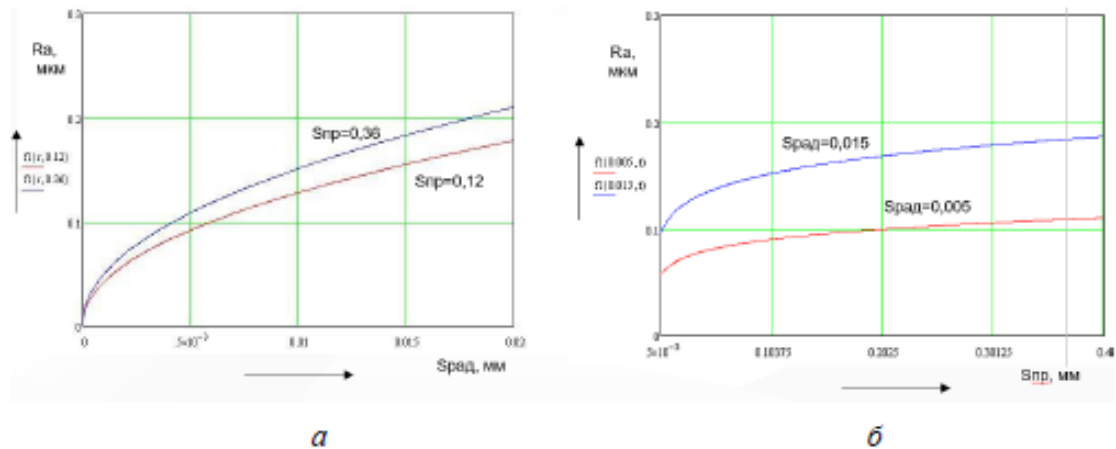


Рисунок 5.1 – Графіки залежностей від змінних, що шукаються:

а – шорсткості від радіальної подачі; б - шорсткості від поздовжньої подачі

5.2. Результати дослідження точності для зубчастого колеса, обробленого на раціональних режимах поєднаної обробки з отриманням мінімальної шорсткості евольвентних поверхонь зубів

Порівняльні дослідження параметрів точності зубчастого вінця проводилися для зубчастих коліс, виготовлених за серійним технологічним процесом та після суміщеної обробки на раціональних режимах, з отриманням мінімальної шорсткості. На рисунку 5.2 представлена профілограма з мінімальною шорсткістю евольвентної поверхні зуба. Шорсткість бічної поверхні зуба становить $R_a=0,089$ мкм.



Рисунок 5.2 – Профілограма з мінімальною шорсткістю евольвентної поверхні зуба $R_a=0,089$ мкм

На рисунку 5.3 представлений протокол результатів вимірювання з КІМ Р-40 Klingelnberg. Середня похибка профілю становить $F = 1,6$ мкм.

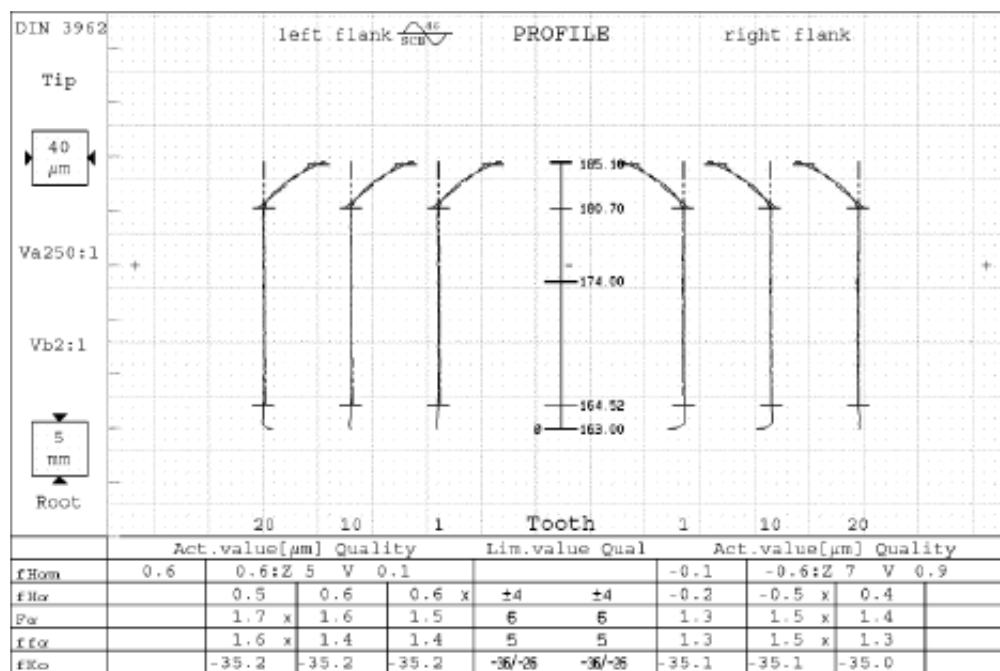


Рисунок 5.3 – Протокол вимірювання параметрів похибки профілів зубів після поєднаної обробки шліфувально-полірувальним колом

Результати точності профілю зубів (рисунок 5.4) показали, що поєднана обробка шліфувально-полірувальним черв'ячним колом після циклу зубополірування забезпечує точність та шорсткість. Похибка профілю становить $F = 1,6$ мкм; $F_b = 3,2$ мкм – похибка спрямування зуба, $F_r = 3,8$ мкм – радіальне биття; відхилення окружного кроку $f_p = 1,7$ мкм; накопичена похибка - $F_p = 4,2$ мкм.

Загальний час суміщеної обробки шліфувально-полірувальним колом становить 24 хвилини. Час виконання операцій зубошліфування і зубохонінгування серійного технологічного процесу становить 64,4 хвилини. 4 хвилини.

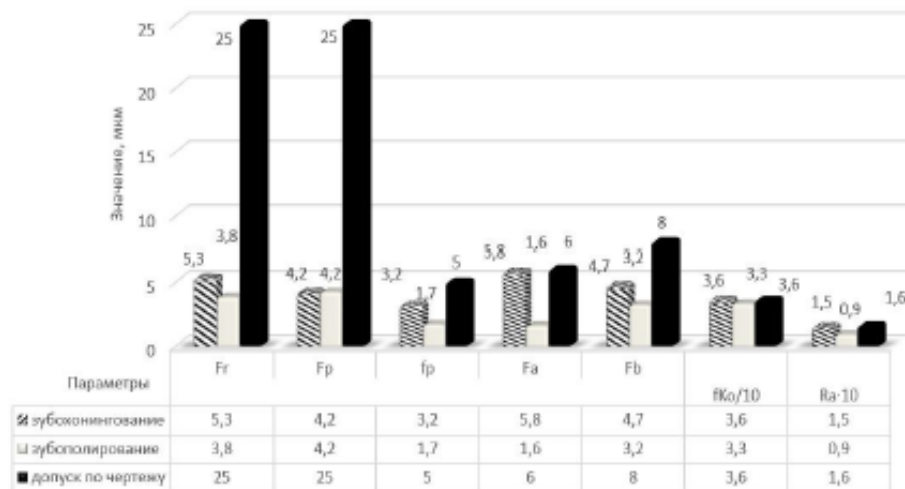


Рисунок 5.4 – Параметри точності зубчастого вінця33

5.3. Результати експериментальних досліджень мікроструктури поверхневого шару зубів

Операція контролю шліфувальних припалів травленням на шліфованих поверхнях зубів виконувалася згідно з діючою інструкцією І066-027–2003. Припалів на поверхні зубів зубчастого колеса, обробленого методом поєданої обробки шліфувально-полірувальним колом, не виявлено.

Згідно з інструкцією І066-027-2003 заготівлі деталей після остаточної механічної обробки проходять послідовно наступні операції: знежирення, промивання у воді, травлення в кислотному розчині, промивання в холодній воді, розпушення шламу, промивання в холодній воді, обробка в нейтралізуючому розчині воді, сушіння стиснутим повітрям, відпустку, контроль за припалами. Допускається контроль на припали проводити до відпустки. Поверхні деталей під час контролю не повинні мати ризики, подряпини та сліди травлення. Шорсткість допускається $Ra \leq 0,16$ мкм. Контроль припалів здійснюють візуально або із застосуванням лупи 4-кратного збільшення. Припали виявляються як темних і світлих ділянок, смуг, штрихів на матовій травленої поверхні. Допускається повторне переполірування в межах допуску та травлення у сумнівних випадках.

Загальний вигляд зразка зуба, отриманий за допомогою стереомікроскопа Stemi 2000-Z Zeiss, наведено на рисунку 4.5, а. Дослідження мікроструктури

проведено на оптичному мікроскопі Axio Vert 40 MAT Zeiss, зображення, отримані за допомогою оптичного мікроскопа, наведено на рисунку 5.5, б, в, м В результаті аналізу встановлено, що мікроструктура шару, що цементується, на зразках після серійного технологічного процесу і суміщеної обробки збігається, є задовільною і складається з дрібноігольчастого і високовуглецевого мартенситу. Серцевина – дрібноігольчастий низьковуглецевий мартенсит.

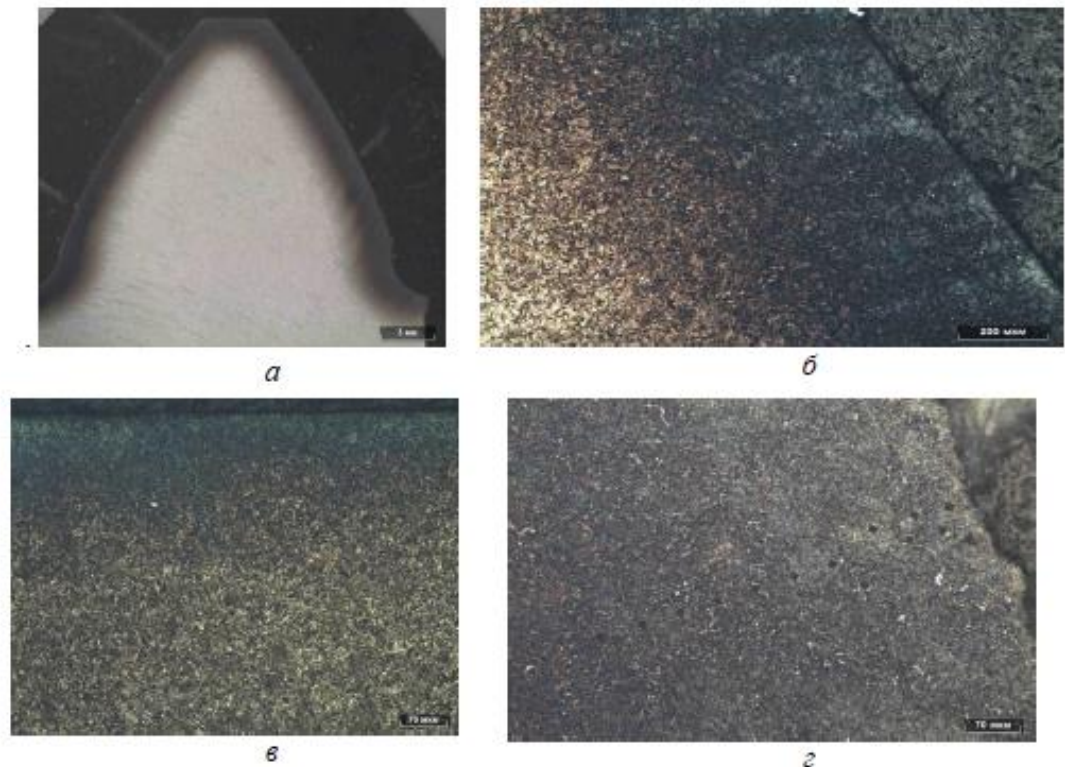


Рисунок 5.5 – Зразки дослідження мікроструктури:

а – загальний вигляд; б – перехідна поверхня; в – мікроструктура цементного шару; г – мікроструктура серцевини

5.4. Результати експериментальних досліджень мікротвердості

При дослідженні мікротвердості поверхонь зубів необхідно враховувати стан поверхні після хіміко-термічної обробки: матеріал 18X2H4BA-Ш, цементация та висока відпустка: на глибину 1,5... 1,8 мм до твердості $HRC \geq 43,5$. Загартування до твердості $HRC \geq 61$ цементованих поверхонь, нецементованих поверхонь $HRC \geq 45$, після обробки холодом. На рисунку 5.6 подано результати дослідження мікротвердості поверхні.

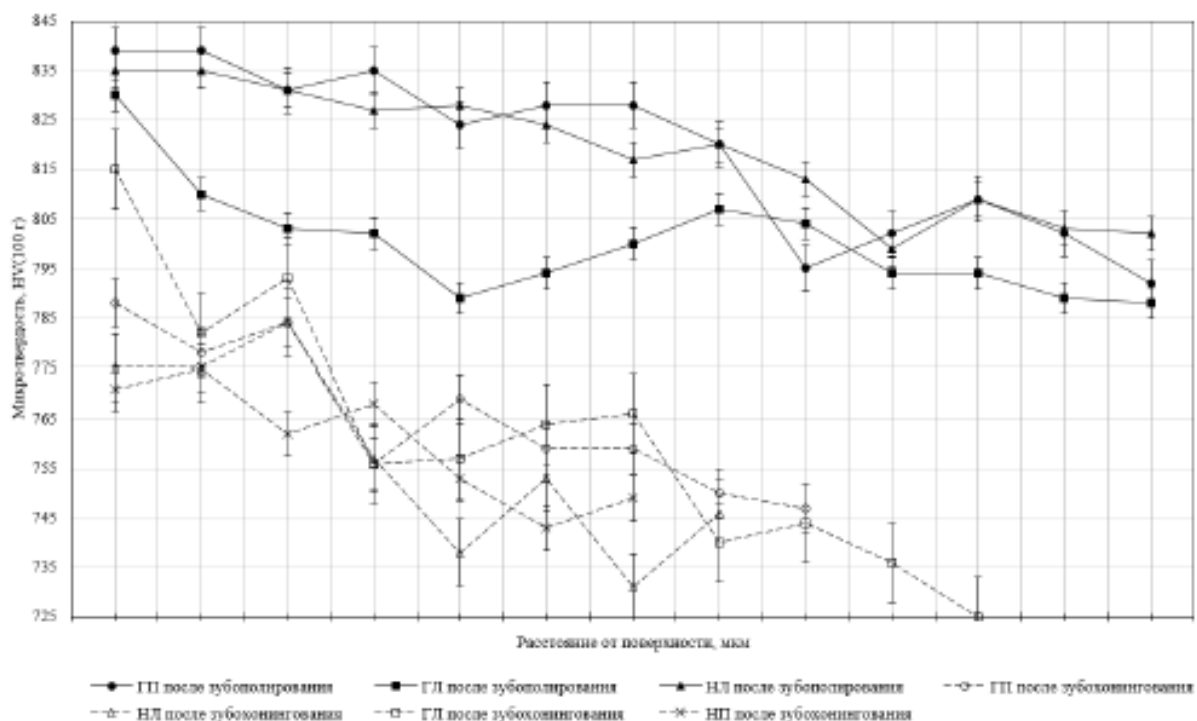


Рисунок 5.6 – Результати розподілу мікротвердості

Мікротвердість поверхневого шару зубців шестерень визначається твердістю цементованого шару, глибина якого (0,9...1,2 мм) набагато перевищує товщину поверхневого шару, який утворюється при послідовній механічній обробці зубців шестерень (0,2...0,25 мм). >715. Мінімальні значення у ніжки лівої після зубохонінгування та ніжки правої після зубохонінгування. Максимальне значення мікротвердості визначено у голівки зуба після полірування.

Встановлено, що, незалежно від методу остаточної обробки зубів зубохонінгуванням або зубополіруванням, максимальне значення мікротвердості на поверхні зубів практично не змінюється і становить від 820 до 770 кг/мм².

РОЗДІЛ 6

РОЗРОБКА ДИДАКТИЧНОГО ПРОЄКТУ ФАКУЛЬТАТИВНОГО ЗАНЯТТЯ НА ТЕМУ «ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ЕВОЛЬВЕНТНИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБІВ» ДЛЯ ФАХІВЦІВ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ

6.1. Постановка цілей факультативного заняття (оперативних цілей)

В таблиці 6.1 наведено оперативні цілі з теми.

Таблиця 6.1

Постановка цілей факультативного заняття

Цілі факультативного заняття	Цілі формування різних рівнів засвоєння навчального матеріалу	Умови досягнення	Результат у вигляді дій здобувачів освіти
1	2	3	4
Сформувати у здобувачів освіти здатності щодо складу поверхневого шару деталі, геометричні параметри мікронерівностей, параметри шорсткості, видів мікропрофілю поверхні, поперечна та поздовжня шорсткість, характеристики фізичного стану	I-IV рівень	Базові знання з дисципліни «Технічна механіка»	Сформовані вміння у здобувачів освіти щодо складу поверхневого шару деталі, геометричні параметри мікронерівностей, параметри шорсткості, видів мікропрофілю поверхні, поперечна та поздовжня шорсткість, характеристики фізичного стану поверхневого шару, впливу якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей

поверхневого шару,			машин
--------------------	--	--	-------

Продовження табл. 6.1

1	2	3	4
впливу якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин			

6.2. Перелік літературних джерел з теми

1. Баланюк Г. В. Підвищення точності та якості багаторізевого розточування ступінчастих отворів на основі дослідження динаміки технологічної системи : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Баланюк Ганна Василівна ; МОН України, Одеський нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2018. – 23 с. 713825 К 621.9

2. Барандич К. С. Технологічне забезпечення циклічної довговічності деталей при їх токарному обробленні : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук / Барандич Катерина Сергіївна ; МОН України, Нац. техн. ун-т України "КПІ імені І. Сікорського". – Київ, 2018. – 22 с. К 128902 621.7

3. Батигін Ю. В. Устаткування для практичної реалізації індукційного нагрівання в сучасних технологіях машинобудування / Ю. В. Батигін, О. С. Сабокар, В. А. Стрельнікова // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2017. – № 4. – С. 70-74. – Бібліогр.: с. 73 (5 назв). Р/О126.

6.3. Конструювання дидактичних матеріалів: аналіз структури навчального матеріалу факультативного заняття

План викладення теми: «Підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів».

1. Характеристики якості поверхневого шару деталей машин.
2. Вплив якості поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин.

6.4. Аналіз базових умов навчання

В таблиці 6.2 приведено вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань.

Таблиця 6.2

Вибір базових понять, визначення способів перевірки та формування базових знань

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуютьс я базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
Зубчасті передачі. Загальні відомості. Циліндричні прямозубі, косозубі та шевронні зубчасті передачі.	Дисципліна «Технічна механіка»	Метод – усне опитування Форма – фронтальна Засіб – контрольні питання. Приклад питань: – Які основні переваги та недоліки зубчастих передач у порівнянні з іншими передачами? – За якими ознаками класифікують зубчасті передачі? - Чим відрізняється закрыта передача від відкритої? - Перерахуйте переваги зубчастої передачі порівняно з фрикційною передачею. - Чому в зубчастих передачах зберігається постійне передатне відношення?	Нагадування основних моментів

Рис. 6.1 Зміст викладення теми: «Розробка інтерактивного освітнього контенту»

Перелік базових понять, законів, способів дії	Назва дисциплін і тем, в яких формуються базові знання і дії	Способи (методи, форми, засоби) перевірки рівня сформованості базових знань і способів дій	Способи актуалізації або поповнення базових знань і способів дій
1	2	3	4
		- Що таке евольвента кола і які властивості, корисні для зубчастих зачеплень, вона має? - Які кола називають початковими, які ділильними? - Що називається кроком, модулем та кутом зачеплення? – Що таке вихідний профіль рейки евольвентного зачеплення?	

Продовження табл. 6.2

1	2	3	4
		– У чому сутність основної теореми зачеплення? - Що таке евольвента кола і які властивості вона має? – Чому евольвентне зачеплення має переважне застосування? - Що називають полюсом зачеплення, лінією зачеплення та кутом зачеплення? - Як визначити на лінії зачеплення точки, що відповідають початку та кінцю зачеплення однієї пари зубів? - Яким є стандартний вихідний контур інструментальної рейки евольвентного зачеплення? - У чому сутність нарізування зубів методом копіювання та методом обкатки? Їхня порівняльна характеристика? - Які кола зубчастих передач називають початковими і які кола зубчастих коліс називають ділильними? У яких зубчастих передач вони збігаються? – Що розуміють під коефіцієнтом торцевого перекриття? Як впливає його величина працювати зубчастої передачі? - Який вплив числа зубів на їх форму та міцність?	

6.5. Проектування мотиваційних технологій навчання

На рис. 6.2 представимо характеристику мотиваційних технологій навчання, а в таблиці 6.3 – текст мотивації до нашого заняття

Таблиця 6.3

Визначення способів реалізації мотивації

Способи реалізації мотивації	Внутрішня мотивація
1	2
Вступна мотивація Прийом: віднесення	Якість продукції машинобудування – поняття багатопланове. Воно включає якість виконання робіт на кожному етапі виготовлення машини: якість конструкторських рішень на етапі проектування, організацію виробничого процесу виготовлення машини, виготовлення деталей необхідної точності та якості, якість збирання вузлів та агрегатів, а також контроль якості продукції. Якість машини залежить від якості деталей, з яких вона складається, а саме від точності їх розмірів та стану поверхневого шару. Домогтися необхідних показників точності та необхідної якості поверхневого шару можна методами механічної обробки (точіння, фрезерування, свердління та ін.), термічної обробки (загартування, відпустка, відпал, нормалізація), хіміко-термічної обробки (цементация, нітроцементация, азотування, ціанування) та способами поверхневопластичного деформування – ППД (накочування та розкочування, дробоструминна та ударно-акустична обробка). Як відомо, у понад 80% випадків причиною виходу з ладу машин є знос їх робочих поверхонь. Тому, вирішуючи проблему технологічного забезпечення якості машин, необхідно розробляти такі технологічні процеси, які забезпечують підвищення зносостійкості деталей пар тертя, а також задану точність обробки. На даному занятті ми приділимо велику увагу а саме технологічним методам підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей машин, застосуванню раціональних режимів різних методів обробки, при яких підвищуються антифрикційні властивості поверхневого шару. Викладемо також основні показники якості машин та розглянемо питання оптимальної якості, описано залежність якості машини від технології її виготовлення.

6.6. Проектування технології формування орієнтовної основи діяльності на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування ООД наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4

Способи формування ООД на факультативному занятті

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I	Фронтальна	Лекція з елементами бесіди, ілюстрація, демонстрація.	Презентаційні слайди з теми плакати, відеоматеріали з теми.
II	Фронтальна	Лекція-пояснення, демонстрація.	
III	Фронтальна	Лекція з помилками є одним із видів інтерактивних освітніх технологій. Має на увазі аналітичну діяльність учнів під час лекції, спрямовану на виявлення запланованих викладачем помилок у її змісті. Знаходження помилок у лекції, їх подальший розбір та виправлення сприяє закріпленню знань учнів, глибшому освоєнню ними навчального матеріалу, найважливіших його аспектів.	
IV	Фронтальна	Комп'ютерні симуляції є одним із видів інтерактивних освітніх технологій. Є робота учнів з віртуальною моделлю об'єкта, що вивчається, явища за допомогою комп'ютера. Застосування технології комп'ютерних симуляцій дозволяє студентам навчитися працювати з	

		необхідними у професійній діяльності програмними	
--	--	--	--

Продовження табл. 6.4

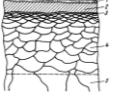
1	2	3	4
		пакетами, самостійно освоювати теоретичні знання, практичні (професійні) вміння в умовах недоступності реальних об'єктів, явищ з різних причин (економічних, тимчасових, міркувань безпеки тощо).	

6.7 Проектування технології формування виконавчих дій на факультативному занятті

Вибір методів, форм та засобів формування виконавчих дій наведено в таблиці 6.5.

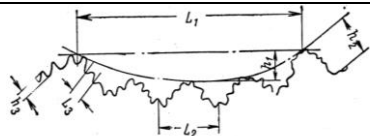
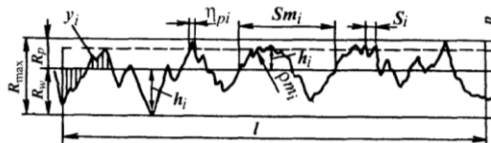
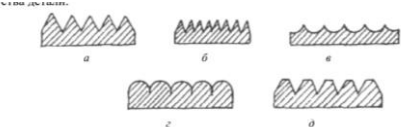
Таблиця 6.5

Способи формування виконавчих дій з теми

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
I, II, III, IV	Фронтальна	Рішення задач	Завдання 1: Опишіть схему поверхневого шару деталі відповідно до зон.  Завдання 2: Опишіть, відповідно до схеми, макро-

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
			та мікрогеометричні відхилення.

Продовження табл. 6.5

1	2	3	4
			 Рис. 1.5. Макро- та мікрогеометричні відхилення Завдання 3: Опишіть профілограму шорсткості поверхні  Завдання 4: Опишіть мікропрофіль поверхні: а б - середньожорсткий; в — маложорсткий; г, д — жорсткий 

6.8 Проектування контрольних дій з теми

Вибір методів, форм та засобів формування контрольних дій наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6

Засоби контролю з теми факультативного заняття

Рівні засвоєння навчального матеріалу теми заняття	Форми	Методи	Засоби
1	2	3	4
IV рівень	Фронтальна форма	Закріплююча бесіда	Питання: 1. З яких шарів складається поверхневий шар деталі? 2. Назвіть геометричні параметри мікронерівності.

Продовження табл. 6.6

1	2	3	4
			3. Які параметри шорсткості ви знаєте? 4. Назвіть типи мікропрофілю поверхні. Що таке поперечна і поздовжня шорсткість? 5. Чим характеризується фізичний стан поверхневого шару? 6. Як впливає якість поверхні на експлуатаційні властивості деталей машин?

6.9 Розробка сценарію факультативного заняття

Сценарій заняття, його структура й зміст структурних елементів представлені у вигляді табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Сценарій заняття з теми заняття «Підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів»

№ з/п	Структурні елементи заняття	Зміст структурних елементів
1	2	3
1	Організаційний момент	Вітання, фіксація відсутніх, перевірка зовнішньої обстановки в аудиторії. Вітання викладача. Студенти підтверджують присутності у момент переклички, налагоджуються на здійснення навчальної діяльності.
2	Повідомлення теми і мети заняття	Повідомлення теми заняття: «Підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів». Мета: сформулювати вміння у здобувачів освіти щодо підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів.
3	Мотивація мети	Повідомлення важливості вивчення даної теми: «Підвищення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів». Текст для

Продовження табл. 6.7

1	2	3
		формування внутрішньої мотивації представлений в табл. 4.3.
4	Актуалізація базових знань	Проведення фронтального опитування. Метод – письмове опитування. Форма – фронтальна. Засіб – тестові завдання. Перелік тестових питань представлений в таблиці 4.2.
5	Формування ООД	Викладач викладає новий навчальний використовуючи методи традиційні – пояснення, бесіда, демонстрація та інноваційні – лекція-дискусія з елементами мозкового штурму відповідно за плану заняття, який представлений у п. 4.3.
6	Формування ВД	Викладач проводить закріплення навчального матеріалу за допомогою методу – рішення задач, видаючи кожному студенту картки-завдання з вправами. Приклад задач представлений в табл. 4.5.
7	Формування КД	Викладач задає студентам контрольні питання, які представлені в таблиці 4.6.

8	Підбиття підсумків, видача домашнього завдання	Узагальнення засвоєного шляхом нагадування в узагальненому вигляді основних питань, розглянутих на занятті Відновлення в пам'яті основних моментів матеріалу заняття. Видає домашнє завдання: Написати реферат по темі.
---	--	--

Висновки до розділу 6

У цьому розділі була проведена розробка факультативного заняття на тему «Покращення якості поверхневого шару евольвентних поверхонь зубів» для спеціалістів у сфері машинобудування. Зокрема, були визначені дидактичні цілі факультативного заняття, проведено аналіз основних умов навчання, обрано тип мотивації та сформульовано відповідний текст. Також були створені системи задач і завдань для виконання під час факультативного заняття, розроблені методи формування орієнтовної основи діяльності та виконавчих дій, організовано виконання завдань і розв'язання задач, а також здійснено контроль сформованих навичок і підготовлено сценарій факультативного заняття.

ВИСНОВКИ

У роботі розроблено технологічний процес суміщеної обробки циліндричних зубчастих коліс шліфувально-полірувальним черв'ячним колом при підвищенні якості евольвентних поверхонь зубців коліс і суттєвому підвищенні продуктивності остаточної чистової обробки. Отримано науково-практичні результати:

З аналізу науково-технічної літератури та передового виробничого досвіду підприємств як раціональний метод обробки евольвентних поверхонь зубців циліндричних зубчастих коліс обрано метод безперервного обкатного зубошліфування. Даний метод забезпечує необхідні параметри точності зубів 4 – 4 – 5 за ГОСТ 1643–81, а за допомогою спеціального шліфувально-полірувального черв'ячного кола, розробки технологічного процесу та керуючої програми дозволяє отримати необхідну шорсткість $Ra < 0,16$ мкм евольвентних поверхонь зубів при підвищенні обробки.

Проведено теоретичне обґрунтування та можливість застосування технології високоефективного безперервного обкатного зубошліфування шляхом поєднаної обробки зубів шліфувально-полірувальним черв'ячним колом.

Виконано комплекс експериментальних досліджень щодо встановлення раціональних режимів поєднаної обробки на циклі зубополірування, встановлено емпіричні математичні залежності режимів обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом, що впливають на шорсткість евольвентних поверхонь зубів, точність зубчастого вінця та продуктивність. Визначено раціональні режими поєднаної обробки на циклі зубополірування (радіальна подача $S_{рад} = 0,005$ мм та поздовжня подача $S_{пр} = 0,12$ мм/об) для отримання параметрів шорсткості поверхонь зубів $Ra = 0,09$ мкм та точності зубчастого вінця 1 – 1 – 1 за ГОСТ 1643–81 (стало $F\alpha = 1,6$ мкм, було $F\alpha = 5,8$ мкм, стало $f_r = 1,7$ мкм, було $f_r = 3,2$ мкм, стало $F_r = 3,8$ мкм, $F_r = 5,3$ мкм, стало $F_b = 3,2$ мкм, було $F_b = 4,7$ мкм), зі збільшенням продуктивності більш ніж 2,5 разу. Виконано порівняльні дослідження якості

поверхневого шару зубів циліндричних зубчастих коліс, оброблених на раціональних режимах суміщеної обробки шліфувально-полірувальним черв'ячним колом і при серійному технологічному процесі з операціями зубошліфування і зубохонінгування: розподіл і величину залишкових напруг, мікротвердість і мікроструктур.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Головенкін В. П. Інженерна педагогіка [Електронний ресурс] : підруч. / В. П. Головенкін. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. Режим доступу: http://psy.kpi.ua/wp-content/uploads/2017/02/Injenerna_pedagogika.pdf
2. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: дидактичне проектування: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. – 204 с.
3. Коваленко О. Е., Брюханова Н. О., Корольова Н.В. Методика професійного навчання: основні технології навчання: Підручник для студентів інженерно-педагогічних спеціальностей. – Харків: УІПА, 2019. – 174 с.
4. Лебедик Л.В., Стрельніков В.Ю., Стрельніков М.В. Сучасні технології навчання і методики викладання дисциплін: Навчально-методичний посібник для слухачів курсів підвищення кваліфікації педагогічних працівників закладів середньої, професійної (професійно-технічної), фахової передвищої та вищої освіти / Л. В. Лебедик, В. Ю. Стрельніков, М. В. Стрельніков. – Полтава : АСМІ, 2020. – 303 с.
5. Методика професійної освіти : навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 015 «Професійна освіта» галузі знань 01 «Освіта / Педагогіка» / Д. О. Чернишев, К. І. Почка, Г. Л. Корчова, Ю. С. Красильник, М. В. Руденко. – Київ : Компринт, 2024. – 224 с.
6. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи для здобувачів освіти другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання за спеціальністю 015 Професійна освіта (за спеціалізацією) / Укр. інж.-пед. акад.; упоряд.: О. Е. Коваленко, Н. О. Брюханова, Н.В. Божко, Н.В. Корольова – Харків: УІПА, 2024. – 82 с.

7. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» першого (бакалаврського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

8. Освітньо-професійна програма «Професійна освіта (Машинобудування)» другого (магістерського) рівня. Затверджена вченою радою Української інженерно-педагогічної академії від 28.06.2024 року №13.

9. Семенова А.В. Професійна педагогіка: Підручник. / Авт. : О.В. Грабовський, Л.В. Коломієць, О.С. Савельєва, А.В. Семенова, В.Ф. Яні; за заг. ред. А.В. Семенової. – Одеса: Бондаренко М.О., 2020. – 575 с.

10. Сайт дистанційної освіти Університету – Режим доступу: <https://moodle.karazin.ua>

11. EdEra – студія онлайн-освіти [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ed-era.com/>

12. Український освітній онлайн-портал для вчителів «На Урок» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://naurok.com.ua/>

13. «Освіторія Медіа» – онлайн медія про освіта та виховання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://osvitoria.media/>

14. Освіта.UA [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://osvita.ua>
Всеосвіта – освітня платформа для професійного зростання педагогічних працівників та підвищення їх педагогічної майстерності [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vseosvita.ua/>

15. Topographical analysis of machined surfaces after grinding with different cooling-lubrication techniques - Текст : електронный / R. de Souza, R. Leonardo, R. Ribeiro, [et al]. // Tribology International. – Vol.141. – 2020. – January. –105962. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301679X19304815>.

16. Walter, G. Polish grinding of gears for higher transmission efficiency / G. Walter. - Текст : электронный // Gear solutions : электронный журнал. - 2016. URL:

<http://gearsolutions.com/features/polish-grinding-of-gears-for-higher-transmission-efficiency>

17. Roughness measuring systems from Jena optik. Surface texture parameters in practice. Jenaoptik publication. – 2013. – № 06. – Nr. 10037109.
18. Stadtfeld, H.J. The science of gear engineering and modern manufacturing methods for angular transmissions /H. J. Stadtfeld. – New York, 2014. P.491.
19. Machining parameter optimization in shear thickening polishing of gear sur-faces / D.N. Nguyen, T.P. Dao, C. Prakash [et al]. – Текст : электронный // Jmr&T. Elsevier: электронный журнал. – 2020
20. Influence of gear hobbing feed marks on the resulting gear quality after discontinuous profile grinding. / N. Gubaab, T. Husemannab, B. Kapuschewskiab. – Текст: электронный // CIRP Journal of manufacturing Science and Technology. – 2020
21. Analysis of chip shape distribution using image processing technology to estimate wearing condition of gear grinding wheel /H. Karasawaa, T. Yoshidaa, R. Fukuia, T. Kizakia [et al] – Procedia CIRP. – 2019. – Vol. 81. – P. 381-386.
22. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Изд-во стандартов, 1973. – С. 7.
23. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчёт на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 123 с.
24. ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. Допуски. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – С. 45.