

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України «КПІ»

**ВОРОБЙОВ СЕРГІЙ ПЕТРОВИЧ**

**УДК 621. 753.5**

**Формоутворення зубчастих коліс торцевими фрезами**

Спеціальність 8.05050302 – інструментальне виробництво

**Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
магістр**

**Київ – 2013**

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Київ.

Науковий керівник доктор технічних наук, професор  
**Равська Наталія Сергіївна**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, професор кафедри інтегрованих технологій  
машинобудування імені П.Р. Родіна

Рецензент доктор технічних наук, професор  
**Мамлюк Олег Володимирович**  
Київський авіаційний технікум, м. Київ  
директор київського авіаційного технікума

доктор технічних наук, професор  
**Петраков Юрій Володимирович**  
Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, професор кафедри технології  
машинобудування

Консультант з  
економічних питань

Консультант з кандидат технічних наук, доцент  
охорони праці та **Фоменко Ігор Олександрович**  
техніки безпеки Національний технічний університет України «КПІ»,  
м. Київ, доцент кафедри охорони праці, промислової  
та цивільної безпеки

Захист відбудеться „18” червня 2013 року об 14 годині на засіданні ДЕК кафедри інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 615-22

З дисертацією можна ознайомитись на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування імені П.Р. Родіна НТУУ «КПІ» за адресою, 03056, м. Київ, вул. Борщагівська 115, к. 611

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність досліджень.** Зубчасті колеса - найбільш розповсюджені в машинобудуванні. Вони застосовуються для передачі обертання між паралельними, перехресними, та мимобіжними осями за допомогою циліндричних, конічних, черв'ячних та гвинтових зубчастих передач. В залежності від конструкції зубчастого колеса, форми його зуба, вимогами до точності та шорсткості поверхонь та обсягу виробництва застосовуються різні способи виготовлення та різні зуборізні інструменти.

Зуби циліндричних коліс можуть мати по своїй довжині різноманітну форму. Найбільше поширення в практиці отримали такі форми зубів як прямолінійна, шевронна, арочна. З цієї різновидності форм зубів особливий інтерес представляють арочні зуби, які дозволяють підвищити плавність роботи, зменшити шум передачі, підвищити навантажувальну здатність, в них відсутні осьові зусилля, можливість керування плямою контакту. Їх доцільно використовувати для важко навантажувальних передач, з середнім та крупним модулем, для крупно габаритних механізмів, які складаються з модулів, так як ці передачі менш чутливі до похибок збирання, перекосу валів осей.

Незважаючи на всі переваги цих передач, вони менш поширенні, адже відсутня єдина технологія їх виготовлення, не досліджена технологічність їх збирання, відсутні дослідження по керуванні плямою контакту та вплив цього на роботу передачі. Тому розробка методів обробки арочних зубчастих коліс, спрямованих на подальше їх впровадження в промисловість та підвищення технологічності їх виготовлення є актуальною задачею.

Одним з методів, що дає змогу забезпечувати регулювання плями контакту за рахунок розробки регульованого інструменту є торцеве фрезерування. Проте питання розробки даного інструменту не вирішені. Вирішення цього питання базується на дослідженні перш за все основних положень формоутворення арочних зубчастих коліс цим інструментом.

Вирішення питань формоутворення арочних зубчастих коліс торцевими фрезами є не тільки актуальною задачею, але й має і велику практичну цінність так як дозволяє проектувати інструменти зі значно розширеним діапазоном обробки ними арочних зубчастих коліс.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами** Магістерська дисертація виконана на кафедрі інтегрованих технологій машинобудування в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» у відповідності з тематичним планом науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і є частиною досліджень держбюджетної тем №2517-Ф «Інформаційне забезпечення проектування інструментів для виготовлення зубчастих коліс», реєстрація 0112U001799, код КВНТД 1.2 11.03.01, УДК 621.753.5, УДК 621.914.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка торцевих фрез для нарізання арочних зубчастих коліс з повздожньою модифікацією на основі дослідження їх формоутворення способом копіювання.

Для досягнення мети було поставлено **наступні задачі:**

1. аналіз способів обробки арочних зубчастих коліс торцевими фрезами;
2. дослідження формоутворення арочних зубчастих коліс торцевою фрезою методом копіювання;
3. дослідження геометричних параметрів зуба торцевої фрези при нарізанні арочних зубчастих коліс вздовж його різальної кромки
4. визначення аналітичних залежностей для визначення товщин зрізу
5. розробка макету торцевої різцевої головки;
6. експериментальне отримання зубчастих колеса з повздожньою модифікацією;
7. визначення меж та вплив локалізації плями контакту.

**Об'єкт дослідження** – процес нарізання арочних зубчастих коліс.

**Предмет дослідження** – торцеві фрези для нарізання арочних зубчастих коліс.

**Методи дослідження** – розробка основних положень формоутворення зубчастих коліс, що забезпечують створення інструментів з керованим діапазоном регулювання плями контакту.

**Наукова новизна одержаних результатів**

1. На основі дослідження процесу формоутворення арочних коліс методом копіювання запропонована концепція одержання цих коліс з регульованою повздожньою модифікацією одним і тим же інструментом.
2. Встановлено межі регулювання плями контакту.
3. Встановлені допустимі зазори, при яких відбувається контакт.

**Практичне значення одержаних результатів (2-3 пункти)**

1. Розроблена методика профілювання зубів торцевої фрези, яка включає визначення профілю інструменту для різних передніх кутів та визначення профілю інструменту для забезпечення затилування.
2. Спосіб та виготовлення макету однозубої торцевої фрези для нарізання арочних зубчастих коліс з повздожньою модифікацією.
3. Теоретичні дослідження з форми повздожньої модифікації.
4. Розроблені рекомендації щодо регулювання плями контакту.

**Публікації та доповіді на конференціях.** По темі магістерської дисертації опубліковано 3 друковані роботи, з них 1 стаття видана в спеціалізованому науковому виданні та 2 доповіді на конференціях.

**Структура дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, списку використаних джерел із 29 найменувань, 5 додатків. Основний текст дисертації викладено на 116 стор. Повний обсяг становить 143 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет дослідження і задачі, які автор розв'язує у роботі.

У **першому розділі** проведено огляд типів зубчастих коліс з круговим зубом. Встановлено, що зуб арочного колеса може мати бочкоподібну форму. Як відомо, бочкоподібна форма зуба дозволяє керувати повздовжньою локалізацією плями контакту для уникнення концентрації навантаження на торцях колеса та запобігти однієї з найчастіших поломок – викришування торців зубчастих коліс. Крім того, арочні зубчасті колеса мають ряд переваг над прямозубими, косозубими та шевронними. Це плавність роботи, зменшення шуму передачі, підвищення навантажувальної здатності, відсутність осьових зусиль, можливість керування плямою контакту.

Другою частиною першого розділу є аналіз відомих та нових методів виготовлення арочних зубчастих коліс. Вибір типу та особливості тієї чи іншої конструкції зуборізного інструменту безпосередньо залежить від прийнятої побудови операцій обробки зубчастого колеса. У свою чергу, побудова операцій і якість зубообробки тісно пов'язані з обсягами випуску оброблюваних коліс, їх точністю, формою і розмірами, а також вибором зуборізного обладнання та інструменту. Всі відомі способи нарізування циліндричних коліс з арочними зубами в залежності від застосовуваного методу обробки можна розділити на дві групи:

- способи, засновані на застосуванні методу копіювання;
- способи, засновані на застосуванні методу обкатки.

Кожен зі способів обробки при різних умовах, різній конструкції інструменту, різних схемах формоутворення дозволяє отримати різноманітні арочні колеса: з евольвентним профілем у середньому перерізі та у всіх поперечних перерізах, колеса з постійною товщиною зуба, з бочкоподібною формою, з постійним кутом профілю та зі змінним кутом вихідної інструментальної рейки. У методах виготовлення арочних зубчастих коліс можуть бути використані різні інструменти: фасонною ріжучою кромкою, прямолінійною ріжучою кромкою, нульові.

У **другому розділі** на основі обраної схеми формоутворення арочних зубчастих коліс торцевими фрезами методом копіювання визначено профіль різця для обробки западини зубчастого колеса. Для різних оброблюваних матеріалів виконано профілювання інструменту та затилувального різця. Для вибору геометрії різальної частини інструменту виведені аналітичні залежності для визначення інструментальних передніх та задніх кутів вздовж різальної кромки, інструментальних нормальних передніх та задніх кутів в будь-якій точці різальної кромки. Побудовані графіки залежностей кутів від початкових даних.

Для того, щоб спроектувати працездатний інструмент та оцінити його ріжучі властивості визначено величини геометричних параметрів на різальній кромці в статичній та кінематичній системі координат, тобто в процесі різання. Виведені аналітичні залежності для визначення статичних передніх та задніх кутів вздовж різальної кромки та статичних нормальних

передніх та задніх кутів в будь-якій точці різальної кромки. Побудовані графіки залежностей статичних кутів від початкових даних. На основі побудованих графіків проведено аналіз інструментальних та статичних кутів вздовж зовнішньої та внутрішньої різальних кромки. Також виведено залежності для розрахунку величини зрізаного шару для будь-якої точки різальної кромки.

Всі розрахунки та аналітичні залежності виконані у середовищі Mathcad, що дозволяє визначати необхідні кути та товщину зрізаного шару при різних початкових умовах.

**У третьому розділі** розроблено конструкцію торцевої різцевої головки для нарізання арочних зубчастих коліс з бочкоподібною формою зуба. Проведено експериментальне виготовлення торцевої різцевої головки (рис 1.) для нарізання арочних зубчастих коліс з різною повздовжньою модифікацією зуба

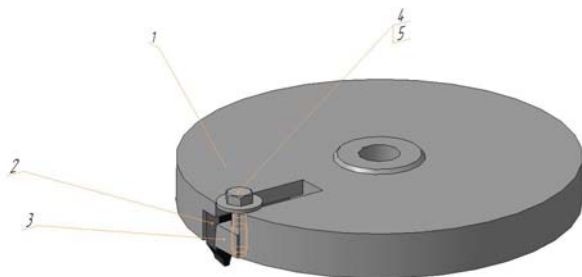


Рисунок 1 – Торцева різцева головка з регульованим розташуванням різця

За допомогою виготовленої торцевої різцевої головки на універсально-фрезерному верстаті нарізано арчне зубчасте колесо з повздовжньою модифікацією (рис. 2).



Рисунок 2 – Процес нарізання та виготовлене арчне зубчасте колесо

Проведено теоретичні дослідження з можливості керування прямою контакту за допомогою регулювання радіуса кривизни арки зуба при

нарізанні їх торцевою різцевою головкою. Визначено межі регулювання повздожньої модифікації зуба. Також отримано залежності профілю зубчастого колеса у довільному перерізі в залежності від початкових параметрів.

У четвертому розділі приведена методика аналізу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, при роботі з абразивним інструментом. Винесені вимоги для безпечної роботи з абразивним інструментом. Встановлені норми випробувань для шліфувальних кругів. Наведено вимоги до захисного обладнання, його конструкції, матеріалу, товщин стінок при роботі на заточних верстатах.

Розглянуті загальні вимоги щодо використання комп'ютерів в приміщеннях. Розроблені рекомендації для збереження здоров'я оператора ПК, наведені можливі фактори ураження та методи запобігання їм. Розроблені заходи щодо зниження можливої дії шкідливих і усуненню небезпечних чинників при роботі за ПК. Детально розглянуті норми щодо організації робочого місця, його освітлення, мікроклімату, тощо.

Для безпечної роботи в лабораторії наведені основні вимоги з електробезпеки та виконано принципову схему занулення. Відповідно до категорії приміщення лабораторії обрано тип та кількість вогнегасників.

Викладені вимоги до типу та норм загального та місцевого освітлення робочих місць в лабораторії.

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу способів формоутворення арочних зубчастих коліс вибрано спосіб формоутворення торцевою різцевою головкою методом копіювання, який дозволяє нарізати зубчасті колеса з повздожньою модифікацією.
2. На основі дослідження процесу формоутворення розроблена методика профілювання зубів торцевої фрези, яка включає визначення профілю інструменту для різних передніх кутів та визначення профілю інструменту для забезпечення затилування.
3. Досліджено геометричні параметри зуба торцевої фрези при нарізанні арочних коліс вздовж різальної кромки.
4. Отримано аналітичні залежності для визначення товщини зрізу.
5. Розроблено конструкцію та виготовлення макету однозубої торцевої фрези для нарізання арочних зубчастих коліс з повздожньою модифікацією.
6. Проведено теоретичні дослідження з форми повздожньої модифікації, межі її регулювання та розроблені рекомендації щодо регулювання плями контакту.

## СПИСОК ДРУКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ДОПОВІДІ НА КОНФЕРЕНЦІЯХ

1. Равська Н.С. Питання формоутворення торцевими фрезами зубчастих [Текст] / Н.С. Равська, С.П. Воробйов // Зб. наук. пр. «Процеси механічної обробки в машинобудуванні». – Житомир, 2011. – Вип. 11. – С.231-237.
2. Арочні зубчасті колеса: переваги та застосування [Текст] / Н.С. Равська, С.П. Воробйов // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена дню Науки. – К., 2013. – С.59-60.
3. Різцеві головки для нарізання зубчастих коліс [Текст] / Н.С. Равська, С.П. Воробйов // Загальноуніверситетська науково-технічна конференція молодих вчених та студентів, присвячена дню Науки. – К., 2013. – С.91-92.

### АНОТАЦІЯ

#### **Воробйов С.П. Формоутворення зубчастих коліс торцевими фрезами**

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. – Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут. – Київ, 2013

На основі дослідження існуючих методів формоутворення арочних зубчастих коліс запропоновано спосіб формоутворення коліс торцевою різцевою головкою методом копіювання.

Проведено аналіз схеми формоутворення арочних зубчастих коліс торцевою фрезою методом копіювання і розроблено методику визначення профілю зуба торцевої фрези, яка включає визначення профілю інструменту для різних передніх кутів і визначення профілю інструменту для забезпечення процесу затилування. Досліджено геометричні параметри зуба торцевої фрези при нарізуванні арочних коліс вздовж ріжучої кромки.

Для перевірки теорії отримання поздовжньої модифікації зуба було виготовлено макет торцевої різцевої головки з регульованим розташуванням різця. Виготовленою різцевою головкою було нарізано арочне зубчасте колесо з бочкоподібною формою зуба. Розроблено методику визначення локалізації плями контакту зубчастого арочного зачеплення, визначено межі регулювання поздовжньої модифікації.

**Ключові слова.** Арочні колеса, торцева фреза, бочкоподібний зуб, пляма контакту.



## АННОТАЦИЯ

### **Воробьёв С.П. Формообразование зубчатых колес торцевыми фрезами**

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 – инструментальное производство. – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт». – Киев, 2013

На основании исследования существующих методов формообразования арочных зубчатых колес предложен способ формообразования колес торцевой режущей головкой методом копирования. Этот метод позволяет получать арочные колеса с продольной модификацией, то есть с бочкообразной формой зуба. В свою очередь такая форма зуба позволяет локализовать пятно контакта.

Проведен анализ схемы формообразования арочных зубчатых колес торцевой фрезой методом копирования и разработана методика определения профиля зуба торцевой фрезы, которая включает определение профиля инструмента для разных передних углов и определение профиля инструмента для обеспечения процесса затылования. Исследованы геометрические параметры зуба торцевой фрезы при нарезании арочных колес вдоль режущей кромки. Получены аналитические зависимости для определения толщины среза.

Для проверки теории получения продольной модификации зуба было изготовлено макет торцевой резцовой головки с регулируемым расположением резца. Изготовленной резцовой головкой было нарезано арочное зубчатое колесо с бочкообразной формой зуба. Разработана методика определения локализации пятна контакта зубчатого арочного зацепления, путем регулирования радиуса нарезания арки зуба. Определены границы изменения продольной модификации. Даны рекомендации для регулирования пятна контакта.

**Ключевые слова.** Арочные колеса, торцевая фреза, бочкообразный зуб, пятно контакта.

## ABSTRACT

### **Vorobyov S. P. The shape of gears face cutters**

MSc thesis by specialty 8.05050302 – Tool Production. – National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. – Kyiv, 2013

Based on the study of existing methods of forming arched gears provided a method of forming wheels incisal socket head by copying.

The analysis of the scheme forming arched gears up face cutter method and the technique of determining the tooth profile of end mills, which includes profiling tools for different angles of the front and profiling tool for process relief cutting. Investigated the geometrical parameters of the tooth of end mills for cutting wheel arch along the cutting edge.

To test the theory of a longitudinal tooth modifications were made mock of end incisive heads with adjustable cutter location. Manufactured incisive head was sliced arched gear tooth form of the barrel. A method for determining the location of the contact arc gear meshing, the boundaries of regulation longitudinal modification.

**Keywords.** Arched wheels, end mill, barrel-shaped tooth contact pattern.