

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Калафатової Людмили Павлівни
на дисертаційну роботу Анциферової Олесі Олександрівни
«Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь зубчастих коліс
при удосконаленні методу зубошліфування»,
подану до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 64.050.12 у Національному
технічному університеті «Харківський політехнічний інститут»
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування»

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Зубчасті колеса є основними елементами багатьох приводних механізмів, в яких потрібно здійснити передачу руху при певних швидкісних і силових умовах. Якість і точність зубчастих передач мають істотне значення для правильного функціонування багатьох пристроїв, до складу яких вони входять, а технологія їх виготовлення в значній мірі визначає стабільність і надійність роботи вузлів і механізмів у різних умовах експлуатації.

Кількість виготовлених у світі зубчастих коліс безперервно зростає разом з розвитком основних галузей промисловості, наперед за все, машинобудівної. Виготовлення зубчастих коліс вимагає комплексного підходу до їх проектування і безпосередньо технології виробництва, де значне місце займають операції фінішного оброблення зубів, які суттєво впливають на надійність праці передач. Розробляються нові методи обробки зубчастих вінців, удосконалюються вже існуючі методи, а також впроваджуються у виробництво нові обладнання і матеріали з тим, щоб у результаті обробки отримати відповідний стан сформованого поверхневого шару зубчастих коліс у залежності від їх експлуатаційних навантажень. Тому значно підвищується інтерес до остаточної обробки зубчастих коліс, у тому числі, особливо до шліфування зубів.

Шліфування дозволяє досягати задану конструктором точність зубів зубчастого колеса, гарантуючи одночасно високу якість зубчастого вінця. Проти це не завжди забезпечує досягнення необхідного стану поверхневого шару зубів, що пов'язано з наявністю під час реалізації процесу шліфування численних факторів, які неоднозначно впливають на формування властивостей і характеристик поверхневого шару. Слід зазначити, що мова йде, перш за все, про такі зубчасті колеса, які попередньо піддавалися термічній або термохімічній обробці та мали твердість понад 30 HRC. Тому процес шліфування повинен здійснюватися таким чином, щоб були відсутні прижоги матеріалу зубів, зберігалася висока мікротвердість їх поверхневого шару.

Виходячи з цього, дана робота присвячена вирішенню комплексного науково-технічного завдання підвищення ефективності процесу зубошліфування на основі досягнення високих необхідних точності і якості поверхневого шару зубів за рахунок оцінки і врахування комплексного впливу конструктивно-технологічних факторів на процес формування поверхневого шару з метою підвищення зносостійкості виробів.

Дисертаційна робота виконувалася на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» відповідно до плану держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України «Розробка математичних моделей і методів рішення нелінійних задач динаміки та міцності елементів конструкцій при дії квазістатичних, динамічних та ударних навантажень» (ДР № 0115U000509), де здобувач була відповідальним виконавцем.

1.2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їхня достовірність.

Наукова новизна отриманих у роботі результатів полягає в тому, що автором розроблені підходи до технологічного удосконалення методів переривчастого зубошліфування, які дозволяють підвищити якість і точність обробки зубчастих коліс за рахунок позитивного впливу на стан поверхневого шару зубів, що, в свою чергу, дозволить забезпечити їх надійну експлуатацію.

При цьому автором у науковому плані зроблено наступне:

- отримала подальший розвиток теоретико-експериментальна залежність формування параметрів якості поверхневого шару при реалізації способу переривчастого зубошліфування, яка відрізняється від відомих врахуванням геометричних параметрів переривчастого кола, що дозволило прогнозувати експлуатаційні властивості зубчастих коліс;

- на базі розробленої фізико-математичної моделі процесу зубошліфування абразивними колами, яка доводить необхідність врахування при визначенні похибки профілю зуба колеса точності виконавчих органів верстата, їх жорсткості, а також профілю абразивних коліс, удосконалені технологічні засоби стабілізації раціональних режимів переривчастого зубошліфування, що дозволяють підвищити якість обробки зубчастих коліс;

- на основі дослідження результатів аналізу створених теплофізичних математичних моделей переривчастого зубошліфування отримана картина зміни контактних температур і розповсюдження теплоти по поверхні і об'єму зубів при використанні коліс різних конструкцій і геометрії, яка дозволила обґрунтувати пріоритетність конструкцій коліс з канавками різного профілю;

- теоретично доведена і експериментально підтверджена залежність експлуатаційних властивостей поверхонь зубів від геометричних параметрів

переривчастого кола, які дозволяють зменшити засалювання зубошліфувальних коліс, температуру у зоні контактування, що позитивно відбивається на структурі поверхневого шару зубів і забезпечує потрібні експлуатаційні властивості зубчастих коліс.

Сформульовані в дисертаційній роботі висновки, наукові положення та рекомендації обґрунтовані. Вони базуються на відомих фундаментальних наукових положеннях теорій технології машинобудування, різання металів, моделювання, ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням розробленого сучасного програмного забезпечення у пакеті моделювання «VisSim», теорії зубчастих зачеплень. Достовірність результатів, отриманих в роботі, підтверджується експериментальними дослідженнями та їх практичним використанням у промислових умовах.

Результати роботи в повній мірі викладено в опублікованих автором працях.

У сукупності це дає можливість вважати отримані в роботі основні наукові положення, висновки і рекомендації достовірними.

1.3. Практичне значення результатів роботи.

Практична цінність дисертаційних досліджень полягає в наступному:

- розроблені технологічні засоби виконання спеціальних канавок зубошліфувальних коліс, які дозволяють забезпечити постійний контакт шліфувального кола з оброблюваним зубчастим колесом;

- запропонована схема переривчастого шліфування, реалізація якої дозволяє забезпечити позитивний температурний режим у зоні контакту шліфувального кола з оброблюваним зубчастим колесом, що, як наслідок, буде супроводжуватися зниженням температури у зоні обробки та зменшенням «прижогів»;

- розроблені алгоритми та програмне забезпечення для математичного моделювання і обробки результатів експериментальних досліджень методами багатовимірного статистичного аналізу, що дозволяє підвищити точність та швидкість обчислень при проведенні аналізу процесів переривчастого зубошліфування зубчастих коліс.

Результати дисертаційної роботи випробувано і впроваджено у виробництво на ООО «КЗМО» (м. Костянтинівка) у технологічному процесі виготовлення циліндричних зубчастих коліс, а також у навчальному процесі НТУ «ХП».

2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота складається із Вступу, 5 основних розділів, загальних висновків, бібліографічного списку з 152 найменувань.

У вступі автор обґрунтовано доводить актуальність теми дисертаційної роботи, визначає мету та завдання досліджень, теоретичну та практичну

цінність одержаних результатів досліджень, рівень їх реалізації та впровадження наукових розробок.

У першому розділі розглянуто сучасний стан питання щодо підвищення ефективності процесів зубошліфування, насамперед, необхідності підвищення якості і розмірної точності обробки зубів коліс, особливо для варіантів з наявністю попередньої термічної або термохімічної обробки і твердості зубів понад 30 HRC.

Проведено аналіз особливостей технологічних процесів зубошліфування коліс із точки зору їх впливу на стан поверхневого шару зубів. Був встановлений комплекс проблем: технологічних, конструкторських і експлуатаційних, вирішення яких пов'язано з забезпеченням конкретних вимог щодо властивостей і характеристик поверхневого шару зубів, який виникає після операції зубошліфування. Поперед за все це стосується поверхневої твердості, структури і залишкових напружень в обробленому матеріалі, рівень яких відбувається на міцності виробу. Це вказує на необхідність проведення додаткових наукових досліджень у вказаному напрямку.

Проаналізовані існуючі уявлення про поверхневий шар, який виникає після механічної обробки виробів у різних умовах, і його структуру. Встановлено, що існує проблема, яка пов'язана також з точним визначенням глибини, структури і характеристик поверхневого шару на різних рівнях від обробленої поверхні. Занадто далекою ще є перспектива комплексних досліджень поверхневого шару чітко обмеженої глибини, на якій можна точно зафіксувати зміни властивостей і характеристик матеріалу. Головна причина цього - обмежені можливості дослідницької апаратури, яку, незважаючи на значний технічний прогрес, не вдається достатньо вдосконалити, щоб виявити вплив різних умов протікання технологічного процесу обробки на характеристики поверхневого шару, від яких суттєво залежать якість, точність обробки, її собівартість, а також надійність експлуатації конкретних виробів.

Не зважаючи на це, встановлено, що формування поверхневого шару і зміни його характеристик відбуваються на кожному з етапів створення виробу – від заготівельних до фінішних операцій обробки. При проектуванні відповідальних деталей машин необхідно визначати вимоги щодо фізико-хімічних і механічних властивостей і характеристик поверхневого шару, які повинні бути забезпечені після виконання останньої операції технологічного процесу обробки виробу. Для забезпечення цих вимог потрібно мати уявлення про комплексний вплив технологічної системи ВПД на стан поверхневого шару. Отримання достовірної інформації про ці явища особливо важливе на операціях абразивної обробки – остаточних операціях технологічного процесу, які відзначаються інтенсивними тепловими і динамічними явищами в зоні обробки, що суттєво впливають на зміну структури поверхневого шару.

Також автором проаналізовано сучасний стан теорій формоутворення зубчастих коліс з урахуванням впливу технології обробки зубів на

характеристики поверхневого шару і показані можливі шляхи по їх удосконаленню. Це дозволило зробити висновок, що застосовані технологічні процеси повинні забезпечувати: формування виробу - зубчастих коліс із заданою геометричною точністю; формування поверхневого шару зубів з необхідними властивостями і характеристиками.

За результатами проведеного аналізу сформульовані мета і завдання досліджень.

У другому розділі розроблено фізико-математичну модель процесу переривчастого зубошліфування двостороннім конусним абразивним кругом з урахуванням кінематики процесу і можливістю оцінки точності профілювання зубів.

Для оцінки ефективності процесу переривчастого шліфування евольвентного профілю зуба (продуктивність, рівень забезпечення якості сформованої поверхні, витрати інструменту в залежності від обраних на вимогу технолога режимів різання з урахуванням властивостей оброблюваного та ріжучого матеріалів, динамічної стійкості, статичної жорсткості і точності виконавчих робочих органів верстата) проаналізована кінематика процесу формоутворення на підставі кінематичних, технологічних і динамічних залежностей.

Встановлено, що існуючі математичні залежності по визначенню кінематичної похибки профілю зуба не враховують впливу всього комплексу параметрів процесу шліфування (кінематичних похибок верстата, динаміки процесу шліфування, пружно-пластичної деформації поверхневого оброблюваного шару деталі, силових і теплових характеристик процесу контактної взаємодії одиничного абразивного зерна з поверхнею) і ступінь їх спільного впливу на зазначену похибку. З метою врахування всіх зазначених параметрів для оцінки (розрахунку) кінематичної похибки евольвентного профілю зуба запропоновано скористатися співвідношеннями, отриманими за аналогією з оцінкою точності такого профілю в процесі зубофрезерування та безпосередньо зв'язаними конструкторсько-технологічними параметрами процесу формоутворення, з урахуванням динамічних та точнісних складових.

Встановлена необхідність ввести до розгляду такі важливі показники ефективності даного процесу шліфування зубчастих коліс як його продуктивність, зносостійкість інструменту, якість поверхневого шару оброблених зубів коліс після шліфування.

У третьому розділі дисертації автор досліджує математичну модель теплонапруженості процесу переривчастого зубошліфування для зменшення нагрівання поверхні, що шліфується, за рахунок періодичного переривання її контакту з кругом, коли різання на заключній стадії обробки здійснюється від шліфування до різання за рахунок наявності різальних крайок круга, якими відбувається формоутворення.

В дисертаційній роботі запропоновано переривчасте зубошліфування, при якому забезпечується постійний контакт шліфувального круга з оброблюваним зубчастим колесом, але імпульсивний з'їм металу

відбувається за рахунок наявності пазів, виконаних на периферії кругів під певним кутом.

Запропоновані різні форми пазів зубошліфувальних кругів, які забезпечують змішаний процес різання: швидкісного фрезерування за рахунок наявності різальних крайок і безпосередньо абразивного шліфування. Таким чином, зменшується нагрівання поверхні зубчастого колеса за рахунок періодичної зміни процесу з'єму метала, а саме, переходу шліфування в різання, що забезпечує значне зменшення засолювання шліфувального круга.

Переривання процесу різання знижує температуру в зоні різання і збуджує високочастотні коливання в пружній технологічній системі, зменшуючи тим самим енергоємність процесу. При переривчастому шліфуванні зменшення температури відбувається по двох каналах: за рахунок переривання процесу різання до того моменту, поки температура не досягла квазістаціонарного стану, і за рахунок особливостей геометричної форми робочої поверхні круга. Поєднання дії цих двох ефектів створює нове рішення проблеми зниження теплонапруженості шліфування. Жоден з відомих процесів шліфування по технологічним можливостям не може наблизитися до цього виду зубообробки.

Автором розроблена функціональна схема процесу переривчастого шліфування в замкнутій технологічній системі з використанням дискретної моделі верстата і узагальненими координатами руху, за якими описується поведінка системи в динаміці.

У четвертому розділі автор досліджує вплив коливань, що виникають у процесі шліфування, на залишкові напруження в поверхневому шарі зубів колеса. Автором встановлені особливості формування поверхневого шару в процесі переривчастого зубошліфування. Процес шліфування зубів зубчастих коліс відрізняється від процесу шліфування плоских або циліндричних поверхонь непостійністю параметрів режиму різання.

В роботі проводилися дослідження по комплексній оцінці стану поверхневого шару і геометричних характеристик точності, що змінюються в результаті процесу шліфування зі змінними параметрами режиму різання. Експериментальним дослідженням процесу переривчастого зубошліфування зубчастих коліс встановлений вплив конструктивних особливостей зубчастих коліс і характеристик абразивного інструменту на формування поверхневого шару зубів. В результаті експериментальних досліджень більш досконало вивчено створювання двовісного напруженого стану в поверхневому шарі виробу.

Розроблено методику по визначенню особливостей формоутворення поверхні зубчастого колеса в процесі зубошліфування, коли контакт здійснюється від шліфування до фрезерування за рахунок наявності різальних крайок формоутворення на робочій поверхні круга. Досліджено форму і значення нерівностей поверхні такого зубчастого колеса в залежності від залишкових напружень, їх розвиток і характер розповсюдження, які залежать також від розподілу температурного поля в

зернах шліфувального круга. Під час шліфування зерна циклічно нагріваються і охолоджуються зі значними розподілами температури за часом. Це зменшує міцність зчеплення зерна зі зв'язкою шліфувального круга і веде до виникнення залишкових напружень, як в оброблюваному матеріалі, так і в шліфувальному крузі.

Встановлені на підставі проведених численних експериментальних досліджень взаємозв'язки і отримані залежності, а також аналіз конструктивних особливостей зубчастих коліс дозволяють управляти станом поверхневого шару зубчастих коліс при обробці згідно з умовами їх експлуатації і виникаючих при цьому експлуатаційних навантажень.

У п'ятому розділі розроблені моделі управління якістю і собівартістю переривчастого зубошліфування при обробці загартованих зубчастих коліс.

Узагальнено результати досліджень технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей загартованих зубчастих коліс, які визначаються рішенням двох завдань: по-перше, вибором матеріалів, твердості робочих поверхонь зубів і призначенням точності розмірів і системи параметрів стану поверхневого шару, які повинні забезпечити необхідні експлуатаційні властивості; по-друге, вибором методу і призначенням режимів обробки, що забезпечують найбільш економічне і надійне досягнення заданої точності розмірів і системи параметрів стану поверхневого шару оброблюваних загартованих зубчастих коліс.

Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні передумови механічних методів обробки в технологічному забезпеченні системи параметрів поверхневого шару деталей зубчастих коліс. Розроблено алгоритм моделювання технологічних процесів управління параметрами точності, якості і економічності переривчастого зубошліфування загартованих зубчастих коліс.

Промислові випробування результатів досліджень на ООО «Костянтинівський завод механічного обладнання» (м. Костянтинівка) підтвердили правильність отриманих основних теоретичних результатів роботи.

3. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Основні результати дисертації опубліковано у 19 наукових працях, з яких 8 статей у наукових фахових виданнях України (1 – у виданні, що включено до наукометричної бази Scopus), 11 – у матеріалах конференцій.

Теоретичні положення і практичні результати нові і взаємопов'язані та отримані на основі результатів аналізу процесів обробки зубчастих коліс; описані в роботі проблеми та завдання вирішені автором. Результати роботи свідчать про суттєвий вклад здобувача в науку. В роботі досягнуто поставлену мету досліджень. Розроблено нові підходи та положення переривчастого зубошліфування, які за рахунок створення сприятливих умов обробки, зокрема температурного режиму у зоні шліфування, поліпшують геометричну точність і якість зубчастих коліс, створюють раціональну

структуру поверхневого шару зубів і, як наслідок, підвищують їх експлуатаційну надійність.

3. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ

1. У вступі до дисертації при розкритті актуальності теми бажано було би зробити більший акцент на важливості вирішення основного завдання - підвищення ефективності зубошліфування, а саме точності і якості поверхневого шару зубів зубчастих коліс. Високий рівень продуктивності обробки (стор. 7) в даному випадку є бажаним, але не першочерговим фактором.

2. Положення наукової новизни одержаних результатів у тому вигляді, як вони сформульовані в дисертації (Вступ, стор. 9), направлені на вирішення практичних завдань (друге положення) технологічними засобами і не зроблено достатнього акценту на теоретичних дослідженнях автора, хоча в роботі присутні цікаві теоретичні підходи. Наприклад, до них можна віднести фізико-математичну модель процесу переривчастого зубошліфування двостороннім конусним абразивним кругом з урахуванням кінематики процесу і можливістю оцінки точності профілювання зубів; створення теплофізичних математичних моделей переривчастого зубошліфування, завдяки яким отримана картина зміни контактних температур і розповсюдження теплоти по поверхні і об'єму зубів при використанні кругів різних конструкцій і геометрії, що дозволило обґрунтувати пріоритетність конструкцій кругів з канавками різного профілю, тощо. Завдяки цьому у сукупності автором теоретично доведена і експериментально підтверджена залежність експлуатаційних властивостей поверхонь зубів від геометричних параметрів переривчастого круга, які дозволяють зменшити засалювання зубошліфувальних кругів, температуру в зоні контактування, що позитивно відбивається на структурі поверхневого шару зубів і забезпечує потрібні експлуатаційні властивості зубчастих коліс.

У загальних висновках також акцент зроблено здебільше на результатах експериментів і практичній значущості роботи.

3. Автор не завжди обґрунтовано використовує термін «оптимальний» при оцінці тих чи інших рішень. Наприклад, «...оптимізація параметрів процесу шліфування з огляду стану поверхневого шару зубів» (стор. 34); «для забезпечення оптимальної довговічності і надійності роботи зубчастих передач...» (див. стор. 141); «...моделювання технологічних процесів оптимального управління параметрами точності» (стор. 144), тощо хоча питання і задачі оптимізації в дисертації не вирішувалися. Більш коректним було би оцінити прийняті умови і рішення як раціональні.

4. Результати роботи, які отримані експериментально, були би більш переконливими, якщо в тексті більш розлого були би наведені методики експериментальних досліджень – натурних і комп'ютерних. Це стосується, наприклад, експериментів по визначенню: температур при суцільному і

переривчастому шліфуванні (стор. 79, 80); рівня вібрацій і деформацій при різних видах коливань, що збуджуються під час зубообробки (стор. 3.5 – 3.8); розподілу мікротвердості в поверхневому шарі зубів зубчастих коліс після зубошліфування (стор. 130); залишкових напружень в поверхневому шарі при різних умовах шліфування (стор. 132, 139, 140), тощо.

5. В розділі 5, п. 5.1 розглядається питання рівноважного стану поверхонь тертя зубчастих коліс. Але не вказано, яким чином тоді забезпечується рівноважний стан аналогічних поверхонь при формоутворенні зубів шліфувальними кругами з кишнями.

6. У дисертаційній роботі і авторефераті є неточності редакційного характеру та деякі орфографічні та стилістичні помилки. Наприклад, у змісті роботи відсутня нумерація сторінок; рис. 5.6 і рис. 5.7 (стор. 148 і 149) ідентичні, хоча по тексту ними ілюструються різні характеристики процесу зубошліфування; на тих же сторінках наведені різні розмірності одних і тих же величин, наприклад, подачі S_0 , м/об, потім S_0 , мм; швидкість різання v , м/хв замість v , м/с; в тексті на стор. 81 мова йде про процес зустрічного зубофрезерування, а підпис під рисунками, які ілюструють цей текст (рис. 3.7 і рис. 3.8), стосуються процесу зубошліфування, та інше.

У тексті автореферату і дисертації присутні формулювання, які в деяких випадках змінюють значення об'єкту або параметру, про які йде мова. Наприклад, «абразивні кола» замість «абразивні круги»; «робітничий рух різання» (стор. 44) замість «робочий рух..», тощо.

Вказані вище недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

5. ВИСНОВОК ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертація відповідає спеціальності 05.02.08 – «Технологія машинобудування», написана і оформлена згідно з вимогами, які пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

6. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ І ЇЇ ЗАВЕРШЕНСТІ

Дисертаційна робота Анциферової О.О. «Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубошліфування», є завершеною науковою працею і містить нові науково обґрунтовані теоретичні результати, які мають велике практичне значення для вирішення завдання підвищення ефективності процесів зубошліфування зубчастих коліс.

1. Наукові положення, отримані в роботі, достовірні і достатні для обґрунтування зроблених висновків. Незважаючи на наведені вище недоліки, дисертація у цілому виконана на достатньо високому науковому рівні, її нові теоретичні і практичні розробки актуальні, цікаві та достовірні. Оформлення,

стиль і мова викладення роботи, хоча і мають певні недоліки, але в цілому достатні і відповідають вимогам.

2. Основний зміст роботи достатньо повно викладений у 19 наукових публікаціях, що відповідає Постанові Президії МОН України «Про мінімальну кількість та обсяг публікацій основного змісту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора і кандидата наук».

3. Зміст автореферату відображає основні положення роботи.

4. На підставі вище викладеного вважаю, що представлена дисертаційна робота «Технологічне забезпечення точності та якості поверхонь зубчастих коліс при удосконаленні методу зубошліфування» відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування та вимогам п.п. 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567, а її автор - Анциферова Олеся Олександрівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор кафедри прикладної механіки
Донецького національного
технічного університету, м. Покровськ



Л.П. Калафатова

Підпис Л.П. Калафатової
засвідчую
Вчений секретар ДонНТУ
« 24 » 10 2018 р.



Н.С. Костюкова