

ВІДГУК

офіційного опонента Воронцова Бориса Сергійовича
на дисертаційну роботу Камчатної-Степанової Катерина Валеріївни
«Підвищення ефективності механічного оброблення загартованих
великомодульних шевронних коліс при швидкісному зубофрезеруванні»,
подану до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 12.105.02 у Донбаській
державній машинобудівній академії
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та
інструменти

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Підкреслювати значення таких вузлів машин та механізмів як зубчасті передачі немає потреби – відомо, що від характеристик даних деталей залежить строк служби автомобільної, гірничодобувної, підйомної техніки. Якість і точність зубчатих коліс є одним з визначальних факторів, що обумовлюють характеристики та економічність експлуатації більшості машин та механізмів.

У той же час процес виробництва зубчатих коліс включає в себе одну з найскладніших операцій механічної обробки різанням – зубофрезерування черв'ячними фрезами. Складність даної операції пов'язана як з кінематикою взаємного руху інструменту та деталі, під час якого формується евольвентна поверхня так і з нестационарними умовами різання, при якому інструмент заходиться під дією імпульсного навантаження нерівномірно розподіленого на окремих ділянках леза, що обумовлює неоднорідний характер зношування інструменту та нестабільність параметрів якості обробленої поверхні.

Підвищення ефективності та якості обробки різанням великомодульних коліс має надзвичайно важливе значення з точки зору зменшення собівартості цього процесу, адже нарізання одного такого колеса може тривати до 60 годин машинного часу і супроводжуватися зношуванням або виходом з ладу зуборізного інструменту внаслідок руйнування. Дослідження направлені на вирішення задачі підвищення продуктивності обробки, вимагають проведення комплексного дослідження багатьох аспектів даного процесу: формоутворення і конструювання інноваційних фрез, вивчення характеру стружкоутворення, параметрів навантаження, закономірностей кінематики та морфології зношування інструментів їх стійкості в залежності від умов обробки, динаміки процесу різання таким інструментом шорсткості оброблених поверхонь та точності коліс. Все це обумовлює актуальність проведеного дослідження та його значимість з точки зору проблематики удосконалення процесу обробки великогабаритних зубчатих коліс.

Дисертацію виконано відповідно до плану держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України: «Розробка та дослідження екологічних

безводних процесів алмазного шліфування важкооброблюваних матеріалів» (номер держреєстрації № 0121U109541) Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», де автор була безпосереднім виконавцем окремих розділів

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

Наукова новизна отриманих в роботі результатів полягає у тому, що автором уперше розроблено модель формоутворення евольвентної поверхні зубів загартованих великомодульних шевронних коліс при зустрічному зубофрезеруванні з роздільною схемою різання з розташуванням зрізувальних лез по лінії зачеплення, що дозволило підвищити подачі в 3-4 рази при зменшенні в 2-5 разів розрахункової висоти хвилястості поверхні зубів; уперше встановлено особливості формоутворення черв'ячною фрезою профілю зубів великомодульних шевронних коліс з урахуванням кута нахилу їх гвинтової лінії за рахунок визначення необхідної відстані розташування правого та лівого корпусів інструменту, що дозволило підвищити точність обробленого евольвентного профілю зубів в 2-3,5 рази з розширенням зони оброблення коліс за 8-м ступенем точності до модулю зубів 20 мм у діапазоні $z = 18 - 350$. Удосконалено спосіб чистового швидкісного зубофрезерування зубів загартованих великомодульних шевронних коліс за рахунок вибору оптимального значення радіусу округлення різального леза в залежності від величини подачі, що дозволило забезпечити мінімальне значення кутів ковзання леза фрези і, як наслідок, збільшити коефіцієнт ефективності формоутворення оброблюваного евольвентного профілю зубів.

Сформульовані в дисертаційній роботі висновки, наукові положення та рекомендації обґрунтовані. Вони базуються на відомих фундаментальних наукових положеннях теорії різання металів, моделювання, ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням розробленого сучасного програмного забезпечення у пакеті моделювання, теорії зубчастих зачеплень. Достовірність результатів, отриманих в роботі підтверджено експериментальними дослідженнями. Результати роботи в повній мірі викладено в опублікованих автором працях.

1.3. Практичне значення результатів роботи.

Практична цінність дисертаційних досліджень полягає: в розробці рекомендації щодо оптимізації траєкторії руху різальних кромки зубів фрези в залежності від товщини зрізуваних шарів із урахуванням радіусу заокруглення різальної кромки та впливу умов різання на хвилястість та і шорсткість обробленої поверхні зубів колеса;

– розробці алгоритму для обробки результатів експериментальних досліджень, що дозволяє підвищити точність та швидкість обчислень при проведенні аналізу процесів схем різання та загрузки зубів фрези в контактному полі різання; траєкторії руху зубів фрези та їх вплив на товщину зрізуваних шарів, знос інструмента та якість обробленої поверхні з

урахуванням радіусу заокруглення різальної кромки;

– практичному впровадженні чистового швидкісного лезового оброблення загартованих шевронних зубчастих коліс черв'ячною фрезою збірної конструкції.

Результати дисертаційної роботи випробувано і впроваджено у виробництво на ООО «КЗМО» (м. Костянтинівка), на АТ «Турбоатом» (м. Харків) у процесі виготовлення шевронних 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, додатків.

У вступі автор обґрунтовано доводить актуальність теми дисертаційної роботи, визначає мету та задачі дослідження, теоретичну та практичну цінність одержаних результатів досліджень, рівень їх реалізації та впровадження наукових розробок.

У першому розділі автор проводить аналіз конструкцій черв'ячних фрез та оцінює результати дослідження процесу зубофрезерування.

За наслідками критичного аналізу розглянуто стан виробництва великомодульних зубчастих передач на основі результатів досліджень, проведених в сфері зубооброблення та зроблені наступні висновки:

-проведено аналіз особливостей процесів зубофрезерування шевронних коліс, виявлено, що попередні дослідження хвилястості при зубофрезеруванні мають теоретичний характер і не враховують вплив технологічних факторів оброблення, які при нарізанні великомодульних і великогабаритних коліс мають значний вплив на її розмір;

-результати робіт з дослідження впливу технологічних факторів обробки на точність нарізання зубів є суперечливими, що свідчить про відсутність поглибленого вивчення зазначеного питання;

-в результаті аналізу ефективності інструментів встановлено, що черв'ячні фрези з роздільною схемою формоутворення вигідно відрізняються конструктивними параметрами від відомих фрез. Вони найбільш повно відповідають вимогам до великомодульного зуборізального інструменту і розширюють сферу застосування методу обкатування до модуля 75 мм. У вітчизняній практиці практично відсутні дослідження, які всебічно розкривають особливості процесу різання новим інструментом та його технологічні можливості.

Відповідно до цього було сформульовано мету роботи і визначені задачі дослідження.

У другому розділі виконані дослідження кінематики процесу різання черв'ячними фрезами з роздільною схемою формоутворення. За допомогою графо-аналітичного способу, досліджене завантаження зубів фрези з роздільною схемою формоутворення в контактному полі різання. Отримані залежності для визначення довжини та ширини різаних зубами шарів при різному характері розподілу припуску на чистову обробку.

Установлено, що більш рівномірне завантаження зубів фрези по довжині різаних шарів має місце при розподілі припуску еквідистантно евольвентної поверхні.

Надано аналіз форми проєкцій траєкторії на площину профілювання в залежності від положення оброблюваної ділянки на профілі зуба колеса, модуля і кількості зубів колеса. Показано, що кінематика врізання зубів інструменту, що оброблюють вершини колісних зубів, найбільш сприятлива в порівнянні з іншими, тому що це відбувається при мінімальному ковзанні.

У третьому розділі дисертації автор досліджує моделювання точності оброблення евольвентної поверхні шевронних зубів черв'ячними фрезами.

Досліджено вплив конструктивних параметрів та подачі інструменту на значення розрахункової хвилястості при обробленні зубчастих коліс стандартними двадцятиградусними фрезами та фрезами з роздільною схемою формоутворення зі зменшеним профільним кутом зубів.

Проведено розрахунки і надано узагальнений графік залежності систематичних похибок профілювання архімедових фрез із роздільною схемою формоутворення від модуля та кількості зубів оброблюваних коліс. Установлено, що вони можуть забезпечити точність оброблення профілю зубів є згідно з нормами плавностей 8-го ступеню.

Застосування розроблених схем попереднього лезового оброблення зубів загартованих коліс твердосплавними фрезами дозволяє зменшити трудомісткість малопродуктивних зубошліфувальних операцій, у залежності від модуля колеса, в 3 - 4 рази за рахунок зменшення припуску з 1,5 - 2,5 мм на бік зуба до 0,3 - 0,5 мм.

Аналіз результатів моделювання напружено-деформованого стану леза інструменту показав, що в умовах обробки коліс з загартованих сталей, коли товщина зрізу досягає максимального значення – 0,15 максимальні еквівалентні напруження мають місце зі сторони передньої поверхні інструменту та складають 725 МПа, що менше за критерій руйнування – межу міцності на розтяг $R_m = 1600$ МПа, що свідчить про можливість реалізації обробки загартованих сталей інструментом, оснащеним напаяними пластинами з твердого сплаву марки ВК8.

У четвертому розділі автор досліджує різальні властивості черв'ячних фрез із роздільною схемою формоутворення шевронних зубчастих коліс.

Автором розроблена методика процесу проведення експериментальних досліджень. При порівняльних дослідженнях обробки коліс черв'ячними фрезами $m = 20$ мм для стандартної фрези застосована схема чистового зубофрезерування, коли в роботі беруть участь бічні і вершинні кромки зубів.

На основі експериментальних і виробничих досліджень були отримані узагальнені математичні моделі, що характеризують вплив технологічних факторів на динаміку зубофрезерування фрезами з роздільною схемою формоутворення, що дозволяє обрати раціональні режими чистового оброблювання зубів.

Черв'ячні фрези з роздільною схемою формоутворення мають більш високу стійкість, порівняно з відомими конструкціями великомодульного

зуборізального інструменту. Цьому сприяє раціональна геометрія різальної частини, збільшена кількість зубів, більш сприятлива схема різання.

У п'ятому розділі викладено експериментальні дослідження точності і якості процесу зубофрезерування загартованих шевронних коліс черв'ячними фрезами.

Отримана залежність для визначення величини хвилі під час різних режимів різання. При продуктивності нарізання в 1,8 - 2 рази вищу точність оброблення евольвентної поверхні зубів фрезами з роздільною схемою формоутворення вище, ніж при застосуванні стандартних фрез.

На основі лабораторних і виробничих досліджень розроблені рекомендації щодо режимів різання фрезою з роздільною схемою формоутворення при обробці великомодульних коліс з урахуванням заокруглення різального леза.

Запропоновано та проаналізовано нові конструкції черв'ячної фрези з роздільною схемою формоутворення – двозахідна фреза та фреза з непереточуваними різальними елементами. Нові технічні рішення ляжуть у основу подальших пошуків у сфері вдосконалення виготовлення великомодульних зубчастих коліс.

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

Висновки до розділів сформульовані достатньо чітко і виразно та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації із 144 найменувань.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

3. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Дисертаційна робота має всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних та технічних рішень до конкретних рекомендацій, інженерних методик. Стиль викладання і мова дисертаційної роботи відповідають вимогам, що ставляться до кандидатських дисертацій.

4. ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 26 наукових працях, з яких 1 монографія, 7 статей у наукових фахових виданнях України, 4 – у зарубіжних виданнях, 14 – у матеріалах конференцій.

Теоретичні положення і практичні результати нові і взаємопов'язані та отримані на основі аналізу, описані в роботі проблеми та задачі вирішені автором. Результати роботи свідчать про суттєвий вклад здобувача в науку. В роботі досягнуто поставлену мету досліджень, для цього:

- досліджено схему різання і завантаження зубів фрези в контактному полі різання; траєкторії руху зубів фрези та їх вплив на товщину зрізаних шарів, знос інструменту і якість обробленої поверхні;

- розроблено метод профілювання та проектування теоретично точних черв'ячних фрез із роздільною схемою формоутворення;

- проведено порівняльні дослідження динаміки чистового зубофрезерування великомодульних шевронних коліс зі стандартними черв'ячними фрезами і фрезами з роздільною схемою формоутворення в широкому діапазоні змін режимів різання;

- проведено порівняльні дослідження зносу та стійкості стандартних фрез і фрез з роздільною схемою формоутворення при обробленні шевронних коліс;

- досліджено вплив конструктивних параметрів інструментів і технологічних факторів на хвилястість, шорсткість і точність обробленої поверхні зубів великомодульних коліс.

5. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ

1. В главі 2, стор. 35 дисертації - присвячено багато уваги факторам, що обумовлюють появу хвилястості у повздовжньому напрямку переміщення інструменту, разом з тим для зубофрезерування характерним є формування хвилястості на поверхні зубів колеса, що формується в осьовому напрямку фрези – так званої огранки. З тексту не зовсім зрозуміло, які рекомендації надає автор для зменшення висоти огранки.

2. В главі 3, стор. 64 дисертації - описана точність оброблення зубів коліс фрезами з роздільною схемою формоутворення, в порівнянні зі стандартними фрезами, вище. З тексту не в повній мірі зрозуміло з чим пов'язана підвищення точності при використанні розроблених фрез.

3. В главі 3, стор. 81 - при моделюванні методом скінчених елементів використано спрощений підхід, що передбачає застосування постійного коефіцієнту зовнішнього тертя на контактних поверхнях. Чим обґрунтовано такий підхід, приймаючи до уваги, що в реальних процесах має місце зона пластичного контакту, умови тертя в якій з більшою точністю описуються рівняннями пропонованими Чайлдсом або Шоу, що враховують внутрішнє тертя.

4. В главі 3, стор. 70 - враховуючи особливості процесу обробки загартованих колі черв'ячними фрезами, що характеризується значними силами різання, імпульсним характером силового та температурного навантаження на різальний клин доцільно було б провести експериментальне дослідження щодо вибору оптимальної марки тврдосплавних пласти для оснащення інструменту.

5. В главі 4, стор.100 - в рекомендаціях щодо геометричних параметрів черв'ячної фрези вказано, що оптимальний кут нахилу різальної кромки повинен становити величину 10° , але не пояснюється в чому полягає основний ефект від наявності кута лямбда в даному випадку.

6. У дисертації є деякі стилістичні та орфографічні помилки.

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

6. ВИСНОВОК ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертація відповідає спеціальності 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти, написана і оформлена згідно з вимогами, які пред'являються до дисертаційних робіт. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

7. ВІДПОВІДНІСТЬ ЗМІСТУ АВТОРЕФЕРАТУ ОСНОВНИМ ПОЛОЖЕННЯМ РОБОТИ

Автореферат має форму, яка встановлена вимогами МОН України, що розкриває сутність виконаної роботи, відображає загальний зміст та основні положення дисертації.

8. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ І ЇЇ ЗАВЕРШЕНСТІ

Дисертаційна робота Камчатної-Степанової Катерини Валеріївни є завершеною науковою працею, що характеризується актуальністю, науковою новизною, практичним значенням одержаних результатів, наукових і теоретичних положень та практичних результатів. Дисертація містить науково обґрунтовані положення, що підтверджені експериментально і забезпечують розв'язання значної наукової та прикладної проблеми машинобудування – підвищення ефективності механічного оброблення загартованих великомодульних шевронних коліс.

Дисертаційна робота «Підвищення ефективності механічного оброблення загартованих великомодульних шевронних коліс при швидкісному зубофрезеруванні» відповідає п. 9,11,12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор – Камчатна-Степанова Катерина Валеріївна заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
професор кафедри технології машинобудування
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

