

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Третяк Тетяни Євгенівни

«Проектування інструменту для обробки неевольвентних зубчастих передач із заданими коефіцієнтами контактного тиску і перекриття»,
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти

1 Актуальність теми дисертації

Зубчасті передачі є найбільш поширеними елементами трансмісії сучасних машин, як загального так і спеціального призначення. Звичайно силові зубчасті передачі навантажені значними обертовими моментами, працюють в умовах інтенсивного абразивного зносу, підвищеної температури та інших несприятливих факторів. Крім того, до зубчастих передач пред'являються вимоги щодо плавності і безшумності роботи, кінематичної точності тощо.

Понад 80% всіх зубчастих передач, що застосовуються у світі, є евольвентними. Таке широке застосування пояснюється високими експлуатаційними якостями евольвентних передач, а саме: висока кінематична точність; сталість передаточного числа як середнього, так і за один оберт; високий ККД; можливість взаємозамінності зубчастих коліс з однаковим модулем; достатньо висока технологічність виготовлення, можливість практично повної автоматизації виробничого процесу. При цьому евольвентні зубчасті передачі мають ряд значних недоліків: висока навантаженість зубів; невелика пляма контакту, що приводить до значного контактного тиску і швидкого руйнування зубів; малий коефіцієнт перекриття у прямозубих передачах або наявність значних бокових зусиль у косозубих передачах, що приводить до ускладнення опор валів; обмежену мінімальну кількість зубців або необхідність висотної корекції зубців, що знижує технологічність виготовлення передач.

Незважаючи на сказане, все ж значна кількість (біля 20%) світового об'єму зубчастих передач машин мають неевольвентний профіль бокових поверхонь зубів. Такі передачі за окремими характеристиками в ряді областей експлуатації мають ряд суттєвих переваг, таких як підвищення у 1,5-1,7 рази навантажувальна здатність по контактним напруженням і напруженням згину (передача М. Новикова), зниження металоємності, підвищення терміну служби передачі, технологічність виготовлення. Недоліком таких передач є потреба в спеціальних ріжучих інструментах для виготовлення неевольвентних зубчастих коліс, а також технологічні складності при відновленні його ріжучих властивостей.

Актуальність дисертації Третяк Т.Є., яка спрямована на розробку інструментів, що забезпечують незмінність профіля оброблюваних

невольвентних зубчастих коліс при переточуваннях, а також наперед задані значення важливих експлуатаційних параметрів передач – коефіцієнтів контактного тиску і коефіцієнтів перекриття, не визиває сумніву.

Дисертаційна робота є своєчасною і важливою для народного господарства України.

2 Зв'язок роботи з науковими програмами, темами

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» і відповідає програмам і держбюджетним темам «Створення теорії і методики моделювання процесів різання в тривимірному (3D) просторі на основі багатопараметричних афінних відображень» (ДР №0102U000976); «Узагальнення 3D-моделювання інструментів і вдосконалених зубчатих зачеплень з використанням інтегрованої технології RPTM (ДР №0105U000575); «Створення теорії уніфікованої багатопараметричної інформаційної бази для CAD/CAM систем зубчатих зачеплень, інструментів і процесів зубообробки» (ДР №0108U001445). У всіх перелічених проектах здобувач був виконавцем окремих розділів.

3 Наукова новизна досліджень та отриманих результатів

Найбільш вагомими результатами досліджень, що відображають наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у вдосконаленні і розвитку науково-прикладних основ проектування різальних інструментів для обробки невольвентних зубчастих передач.

У роботі вперше розроблені математичні моделі розрахунку та геометричного моделювання кінематичних кривих для використання в якості бокових профілів зуборізних інструментів для обробки коліс зубчастих передач з невольвентним профілем та з наперед заданими значеннями коефіцієнтів контактного тиску та перекриття.

Здобувачем вперше запропоновано математична модель визначення множини профілів огинаючих поверхонь зубів інструментів як профілів зубчастих коліс, що обробляються методом обкатки. На цій основі обґрунтовано вибір раціональних форми бокової поверхні зуба за визначеними критеріями найкращих експлуатаційних властивостей зубчастих передач.

У роботі вперше запропоновано математична модель визначення коефіцієнтів контактного тиску та коефіцієнтів перекриття у зубчастому зачепленні, що забезпечує можливість формування профілів коліс з раціональними значеннями цих параметрів.

Приведені в дисертаційній роботі пункти наукової новизни відповідають поставленій меті роботи: профілювання зуборізних інструментів та визначення кінематики їх руху, які забезпечують задані

значення коефіцієнтів тиску і коефіцієнтів перекриття у неевольвентній зубчастій передачі.

4 Практична цінність отриманих результатів

З точки зору практичної цінності найбільш значимими результатами дисертаційної роботи є розроблені здобувачем:

- методика геометричного аналізу формоутворення поверхонь обкатними зуборізними інструментами, яка базується на математичній моделі визначення профілів огинаючих поверхонь зубів коліс, нарізаних методом обкатки, і дозволяє визначати наявність інтерференції профілів інструмента і деталі та кінцеву множину зубчастих коліс, які можуть бути отримані при використанні певного обкатного інструменту;

- методика отримання профілів сполучених зубів неевольвентних зубчастих коліс як огинаючих поверхонь формоутворюючих елементів інструмента, що базується на математичній моделі визначення профілів огинаючих поверхонь зубів коліс, нарізаних методом обкатки, і дозволяє визначити можливі поєднання зубчастих коліс у передачі, забезпечуючи взаємозамінність зубчастих коліс одного модуля, та визначає послідовність їх формоутворення;

- методика профілювання ріжучої частини обкатних зуборізних інструментів для нарізання неевольвентних зубчастих коліс, а саме: монолітного фасонного долбяка для нарізання зубчастих коліс 7...9 степенів точності; збірних долбяків, робочими елементами яких є призматичні та круглі фасонні різці для використання при підвищених вимогах до точності профіля та міжосьової відстані передачі; фасонної фрези для нарізання зубчастих коліс 7...9 степенів точності, що дозволяє визначити геометричні параметри інструмента за заданими геометричними параметрами колеса, що нарізується.

Вагомість практичних результатів дисертаційної роботи з удосконалення процесу проектування ріжучих інструментів для нарізання неевольвентних зубчастих коліс підтверджуються актами впровадження результатів наукових розробок в Інституті машин систем Мінпромполітики та НАН України (м. Харків), на науково-дослідному колективному підприємстві «Механіка» (м. Харків), на державному підприємстві Харківський машинобудівний завод «ФЕД» із загальним річним економічним ефектом 527 тис. грн.

5 Оцінка достовірності та обґрунтованості положень дисертації, ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації

За результатами досліджень опубліковано 40 наукових праць, у тому числі: 6 статей у закордонних наукових виданнях, 13 статей у вітчизняних

фахових виданнях, що індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 18 – у матеріалах конференцій різного рівню.

Наукові положення, висновки та пропозиції у достатній мірі обґрунтовані теоретичним аналізом, розрахунковими експериментами, тому їх слід вважати цілком достовірними.

Теоретичні дослідження виконані на основі фундаментальних положень теорії зубчастих зачеплень, теорії різання матеріалів, теорії проектування зуборізних інструментів, теорії формоутворення різанням, теорії відображень афінного простору.

Чисельно-аналітичні дослідження, метою яких була перевірка достовірності даних, отриманих при побудові математичних моделей та теоретичних розрахунках на їх основі, виконані з використанням програмних засобів, розроблених здобувачем особисто, та математичного пакету MATLAB.

Достовірність математичних моделей, висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їх достовірність підтверджена результатами чисельно-аналітичних досліджень і практикою промислового впровадження.

Автореферат за своїм змістом відповідає основним положенням, висновкам, що наведені в дисертаційній роботі, відображає її структуру:

6 Структура і характеристика роботи

Дисертація складається зі вступу, шести розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 209 сторінок, з них 161 сторінка основного тексту, що містить 17 рисунків по тексту, 29 на окремих сторінках, 1 таблицю, список використаних джерел з 220 найменувань і 2 додатки. Таким чином, об'єм і структура дисертаційної роботи відповідають вимогам, що визначені п.11 «Порядку присудження наукових ступенів»:

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

У першому розділі проаналізовано існуючі типи зубчастих передач, їх переваги і недоліки, показане місце неевольвентних зубчастих зачеплень у загальному виробництві зубчастих передач, вивчені методи і схеми їх формоутворення та інструменти для зубонарізання.

Встановлено, що для виготовлення неевольвентних зубчастих коліс використовується поширене в промисловості зубооброблювальне обладнання, що працює як методом копіювання, так і методом обкатки. Певні труднощі виникають по причині малої універсальності інструментів для зубонарізання неевольвентних зубчастих коліс, оскільки для нарізання однієї пари коліс потрібно застосувати два інструменти з різним профілем.

Крім того, існує проблема зниження точності обробки після відновлення ріжучих властивостей інструмента.

Проведений аналіз показує, що розробка математичних моделей і методів проектування ріжучих інструментів для нарізання неевольвентних зубчастих коліс дозволить значно підвищити ефективність проектування та поширити використання неевольвентних зубчастих передач у машинобудуванні.

Другий розділ роботи присвячено розробці геометричної моделі узагальненої кінематичної кривої як прообразу бічної поверхні зуба зуборізного інструменту на основі використання єдиної теоретичної бази досліджень – теорії багатопараметричних відображень. При цьому крива розглядалася як траєкторія складного руху деякої точки – прообразу.

Отримано матричні залежності та розроблено алгоритм геометричного моделювання кривої, визначення і аналізу її геометричних характеристик. Достовірність моделей і алгоритму підтверджено чисельними експериментами, в результаті яких отримана множина кривих із заданими властивостями.

Третій розділ присвячений розробці математичної моделі профіля зуба зуборізного інструменту для нарізання неевольвентних зубчастих коліс, причому в якості профілю бічної поверхні інструмента розглядається одна з множини модельованих раніше кінематичних кривих. На цій основі отримано аналітичні залежності для визначення координат точок профіля та розроблено математичну модель огинаючої поверхні зуба зубчатого колеса, нарізаного методом обкатки.

Розглянуто плоску задачу торкання формоутворюючої та формоутворюваної поверхонь, причому для математичного опису регламентуючих умов їхнього контакту запропонована структурна матрична залежність. Достовірність отриманої моделі контакту підтверджена шляхом геометричних побудов за допомогою комп'ютерної графіки.

У четвертому розділі розроблено методику визначення профілів двох сполучених поверхонь зубів неевольвентних зубчастих коліс як огинаючих заданих поверхонь зубів інструменту в його послідовних переміщеннях відносно заготовки колеса. В цьому випадку розглядається плоска задача торкання поверхонь інструментальної рейки та формоутворюваного зубчастого колеса. Розглядаються три послідовних положення сполучених профілів в яких визначаються радіуси кривизни сполучених профілів з метою визначення коефіцієнту контактного тиску і коефіцієнту перекриття у передачі.

Виконана об'ємна серія чисельних експериментів для розрахунку значень коефіцієнтів контактного тиску та коефіцієнтів перекриття – важливих експлуатаційних характеристик зубчастих зачеплень. Для наочності аналізу результати цих експериментів візуалізовано за допомогою комп'ютерної графіки.

П'ятий розділ дисертації присвячено розробці методики профілювання обкатних зуборізних інструментів для обробки неевольвентних зубчастих коліс. В якості таких інструментів розглядалися монолітний фасонний долбяк, фасонна черв'ячна фреза, а також збірні зуборізні долбяки з призматичними та круглими фасонними різцями, які забезпечують велику кількість переточувань зі збереженням незмінного формоутворюючого профілю. Детально опрацьовані перший і другий етапи профілювання долбяків з ріжучим елементами у вигляді фасонних різців, причому умови формоутворення представлені у структурному вигляді. Незмінність форми ріжучих кромek забезпечується за рахунок їх переточування по передній поверхні, а підвищений термін служби забезпечується великою кількістю можливих переточувань різців.

У шостому розділі приводиться опис практичного використання результатів досліджень у наукових розробках по програми держбюджетної тематики кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семко, Інституті машин і систем Мінпромполітики та НАН України, Науково-прикладному підприємстві «Механіка», Харківському машинобудівному заводі «ФЕД» з загальним річним економічним ефектом 527 тис. гр.

У висновках до роботи викладено найбільш важливі отримані наукові і практичні результати.

7 Обґрунтування та достовірність основних висновків дисертації

Наведені в дисертаційній роботі висновки і рекомендації є достатніми й належним чином обґрунтовані. Для їх висвітлення автором проведені необхідні теоретичні та експериментальні дослідження, виконані публікації та розроблені відповідні методики.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. Застосовано термін «зубчасті колеса нормальної точності». Необхідно було конкретизувати термін, вказавши конкретний діапазон степенів точності, наприклад, 7-9 ступені точності.

2. Також не зовсім вдалий використаний здобувачем термін «математична модель розрахунку». Математична модель відноситься, як правило, до об'єкту або процесу, а розрахунок характеризується його послідовністю, або алгоритмом.

3. Дуже мало відомостей про оригінальні програмні засоби, що розроблені особисто здобувачем і використовувалися в процесі досліджень.

4. У тесті дисертації мають місце незначні похибки редакційного характеру та стилістичні неточності.

Зазначені вище зауваження не мають істотного значення та не знижують наукового рівня дисертаційної роботи.

Загальні висновки до дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Третяк Тетяни Євгенівни «Проектування інструментів для обробки неевольвентних зубчастих передач із заданими коефіцієнтами контактного тиску і перекриття» є завершеною науковою працею і має важливе значення в галузі машинобудування.

Вирішено актуальну науково-практичну задачу, яка полягає у розробці математичних моделей, методів та алгоритмів проектування інструментів, що забезпечують незмінність профіля оброблюваних неевольвентних зубчастих коліс при переточуваннях, а також наперед задані значення важливих експлуатаційних параметрів передач – коефіцієнтів контактної тиску і коефіцієнтів перекриття.

Одержані нові рішення науково-практичної задачі, актуальність, практичне значення, новизна та закінченість досліджень, обґрунтування висновків заслуговують позитивної оцінки.

Зміст дисертаційної роботи, отримані основні наукові положення та висновки відповідають паспорту спеціальності 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Автореферат відповідає змісту дисертації.

Вказані зауваження щодо представленого дослідження не знижують вагомості отриманих у роботі наукових та практичних результатів і не змінюють її позитивну оцінку.

Дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11 та 13 Постанови Кабінету міністрів України № 567 (зі змінами) від 24.07.2013 р. «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», що надаються до дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор, Третяк Тетяна Євгенівна, заслуговує на присвоєння їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент:

**Доцент кафедри інженерної механіки
Національної академії Національної
гвардії України канд. техн. наук,
доцент**

**Петро ЛІТОВЧЕНКО**

Підпис кандидата техн. наук доцента Літовченко П.І. засвідчую:

**Заступник начальника Національної академії
Національної гвардії України
полковник**

**Сергій МАРТИНЕНКО**

