

Вченому секретарю спеціалізованої вченої
ради Д 12.105.02 Донбаської державної
машинобудівної академії к. т. н., доц.,
Міранцову С. Л. 84313, м. Краматорськ,
Донецька обл., вул. Академічна, 72

ВІДГУК

офіційного опонента Кобельника Володимира Романовича
на дисертаційну роботу Камчатної-Степанової Катерини Валеріївни
«Підвищення ефективності механічного оброблення загартованих
великомодульних шевронних коліс при швидкісному зубофрезеруванні»,
що подана до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 12.105.02 в Донбаській
державній машинобудівній академії Міністерства освіти і науки України, на
здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати
та інструменти

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В дисертації розглянута проблематика підвищення ефективності механічної обробки різанням шевронних зубчастих великомодульних коліс, виготовлених в тому числі з таких важкооблюваних матеріалів, як загартовані сталі. Формування евольвенти зубчастих коліс відноситься до складних операції у зв'язку з необхідністю забезпечення підвищеної точності форм та розмірів виробу, і, як наслідок, обумовлює особливі вимоги до вибору режимів оброблення та інструменту – його конструкції та експлуатаційних характеристик таких як продуктивність, міцність, стійкість. Кінематика процесу різання при обробці коліс пов'язана з взаємним переміщенням черв'ячної фрези та заготовки та характеризується складною формою перерізу зрізуваного шару та значною неоднорідністю навантаження окремих ділянок різального інструменту, що впливає на такі важливі параметри контактної взаємодії, як напруження в зоні різання та інтенсивність зношування леза напайних твердосплавних пластин.

Зважаючи на високу вартість шевронних зубчастих коліс, пов'язану зі складністю процесу їх оброблення та значними затратами машинного часу, з метою вирішення проблеми підвищення ефективності обробки необхідно дослідити ряд задач, таких як вивчення схеми різання і навантаження зубів фрези в контактному полі різання; траєкторії руху зубів фрези та їх вплив на товщину зрізуваних шарів, знос інструменту і параметри якості обробленої поверхні; розробити метод профілювання та проектування теоретично точних черв'ячних фрез із роздільною схемою формоутворення; дослідити вплив

технологічних факторів обробки на крутний момент, колову силу та потужність різання, дослідити вплив конструктивних параметрів інструментів і технологічних факторів на хвилястість, шорсткість і точність обробленої поверхні зубів великомодульних коліс.

Відсутність ґрунтовних теоретичних положень та експериментальних даних щодо зазначених вище питань обумовлює актуальність даного дисертаційного дослідження, спрямованого на комплексне вивчення основних закономірностей процесу різання великомодульних зубчатих коліс методом швидкісного зубофрезерування.

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 був безпосереднім виконавцем окремих розділів.

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

Виконанні дослідження базуються на теорії формоутворення поверхонь, теорії проектування різальних інструментів і теорії різання, методах аналітичної геометрії, математичної статистики.

Наукова новизна отриманих в роботі результатів полягає у тому, що автором 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 висоти хвилястості поверхні зубів.

Вперше встановлено особливості формоутворення черв'ячною фрезою профілю зубів великомодульних шевронних коліс з урахуванням кута нахилу їх гвинтової лінії за рахунок визначення необхідної відстані розположення правого та лівого корпусів інструменту, що дозволило підвищити точність обробленого евольвентного профілю зубів в 2-3,5 рази

Також удосконалено спосіб чистового швидкісного зубофрезерування зубів загартованих великомодульних шевронних коліс за рахунок вибору оптимального значення радіусу округлення різального леза в залежності від величини подачі,

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

Практичне значення результатів роботи.

Практична цінність дисертаційних досліджень полягає в:

- розробці рекомендацій щодо оптимізації траєкторії руху різальних кромок 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 методами багатовимірного статистичного аналізу, що дало змогу підвищити точність та швидкість обчислень при проведенні аналізу процесів схем різання та завантаження зубів фрези в контактному полі різання; траєкторії руху зубів фрези та їх вплив на товщину зрізуваних шарів, зношування інструмента та якість обробленої поверхні з урахуванням радіусу заокруглення різальної кромки;
- практичному впровадженню чистового швидкісного лезового оброблення загартованих шевронних зубчастих коліс черв'ячною фрезою збірної конструкції.

Результати роботи впроваджені: на ТОВ «КЗМО» (м. Костянтинівка) у процесі виготовлення циліндричних зубчастих коліс, що забезпечило підвищення продуктивності із очікуваним економічним ефектом 145045 грн на рік; на АТ «Турбоатом» (м. Харків), де очікуваний ефект від впровадження результатів дисертаційної роботи забезпечується якісним виготовленням загартованих зубчастих передач зі збільшенням продуктивності обробки в 1,5 рази; у навчальному процесі НТУ «ХП» (м. Харків) на кафедрі технології машинобудування та металорізальних верстатів при викладанні дисциплін «Теоретичні основи технології виробництва деталей та технології ремонту» та «Обробка типових деталей» за спеціальністю 05.03.01- процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

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 здійснено аналіз схем різання та на їх основі аналіз завантаження окремих зубів черв'ячних фрез різних конструкцій. Найменш опрацьованими є питання кінематики чистового зубофрезерування, схем різання та конструкцій великомодульного інструменту, динаміки різання, а також пов'язаної з цим якості робочих поверхонь і точності нарізуваних зубів.

Основні напрямками в розробці конструкцій черв'ячних фрез і результати досліджень процесу зубофрезерування є наступними: дослідження різальних властивостей черв'ячних фрез із роздільною схемою формоутворення

загартованих шевронних зубчастих коліс; збільшення продуктивності зубофрезерування черв'ячними фрезами досягалося двома шляхами: збільшенням подачі інструменту та збільшенням швидкості різання.

На підставі зазначеного сформульована мета, основні завдання дисертаційного дослідження та напрямки їх вирішення

У другому розділі проведено аналіз геометричних параметрів зрізуваних шарів та надано оцінку даних параметрів для контактної зони різання фрези з роздільною схемою формоутворення. Для визначення ширини зрізуваного шару додатково використано геометричні побудови та встановлено, що ширина зрізуваного шару дорівнює сумі змінних по довжині робочих ділянок кромки та сталих по довжині робочих ділянок. Важливим є те, що наведено також аналітичні вирази для визначення ширини стружок, зрізуваних зубами у випадку використання як право та лівозахідних фрез. Показано форму недеформованих зрізуваних шарів, які зрізуються зубами обох корпусів фрези з роздільною схемою формоутворення. Також продемонстровано, що зуби корпусу фрези, внаслідок відносно невеликої довжини ділянок кромки і відсутності перекриття прорізів на виході з припуску, утворюють виступи. Встановлено, що більш рівномірне завантаження зубів фрези по довжині зрізуваних шарів має місце при розподілі припуску еквідистантно евольвентної поверхні. Різниця в довжині зрізуваних шарів або шляху різання між першим і останнім зубами фрези незначна. Знос зубів фрези в цьому випадку буде більш рівномірним.

У третьому розділі дисертації автором отримано математичну модель, яка дозволяє розрахувати параметри точності оброблення евольвентної поверхні шевронних зубів черв'ячними фрезами, а також залежності для розрахунку величину хвилястості в залежності від подачі фрези, жорсткості системи ВПД та вихідного стану заготовки. В цьому розділі наведені графіки, що демонструють залежність максимальної геометричної висоти хвилі від кількості зубів оброблюваного колеса. Також приведено результати аналізу систематичних помилок профілювання та точності оброблення шевронних зубів архімедовими черв'ячними фрезами, який виконано методом профілювання фрез на основі архімедова черв'яка.

Застосування розроблених схем попереднього лезового оброблення зубів загартованих коліс твердосплавними фрезами дозволяє зменшити трудомісткість малопродуктивних зубошліфувальних операцій, в 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.

У четвертому розділі розроблено методика процесу проведення експериментальних досліджень

Експериментально встановлено залежність середніх крутних моментів і середньої потужності, що споживається верстатом, від подачі при нарізанні зубів черв'ячною фрезою з роздільною схемою формоутворення і фрезою стандартної конструкції. В діапазоні подач 3 - 6 мм/об, при роботі фрезою з роздільною схемою формоутворення середня споживана верстатом потужність

у 1,8 - 2,4 рази менша, ніж при роботі стандартною фрезою.

При дослідженнях стійкості інструменту та особливостей зношування встановлено наявність застійної зони та її захисний ефект про що свідчить відсутність помітного зношування передньої поверхні зубів навіть при значному (35 - 50 годин) часі роботи фрези. Поблизу різальної кромки помітні частинки обробленого металу. Це, вочевидь, є наслідком адгезійного зчеплення оброблюваного матеріалу та матеріалу різальної частини інструменту.

У п'ятому розділі викладені викладено результати експериментальних досліджень точності і якості процесу зубофрезерування загартованих шевронних коліс черв'ячними фрезами. Показано, що глибина поширення наклепу для фрези з роздільною схемою формоутворення складає 0,1 - 0,12 мм, що менше ніж у стандартної фрези для якої цей показник дорівнює 0,15 - 0,13 мм. Шорсткість оброблення при різних задніх кутах зубів фрези з роздільною схемою формоутворення знаходиться в межах Rz 19-46 мкм.

3. 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 закордонних виданнях, 14 – у матеріалах конференцій.

Задачі, поставлені для виконання мети роботи, досягнуті в ході реалізації комплексного дослідження, що включало в себе як теоретичні положення так і експериментальні результати.

А саме, автором проведено дослідження схеми різання та завантаження зубів фрези в контактному полі різання; траєкторій руху зубів фрези та їх впливу на товщину зрізуваних шарів, зношування інструменту і якість обробленої поверхні. Розроблено метод профілювання та проектування теоретично точних черв'ячних фрез із роздільною схемою формоутворення та модель формоутворення евольвентної поверхні зубів загартованих великомодульних шевронних коліс при зустрічному зубофрезеруванні з роздільною схемою різання з розташуванням зрізувальних лез по лінії зачеплення.

За результатами порівняльних досліджень динаміки чистового зубофрезерування великомодульних коліс зі стандартними черв'ячними фрезами і фрезами з роздільною схемою формоутворення в широкому діапазоні змін режимів різання запропоновані: нова конструкція черв'ячної фрези з роздільною схемою формоутворення, яка виключає систематичні похибки профілювання; рівняння траєкторії руху зубів фрези та аналіз впливу траєкторій на різальні здібності інструменту та якість обробленої поверхні.

Здобувач здійснив наукове обґрунтування розробок у галузі машинобудування, що забезпечує вирішення важливої прикладної задачі – підвищення продуктивності обробки зубофрезеруванням.

4. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. В розділі 2, стор. 44 дисертації приведено таблицю товщин зрізуваного шару при зубонарізанні, але не вказано яким методом отримані дані значення, та не наведено залежностей для їх розрахунку.

2. В пункті 3.5 розділу 3 дисертації при моделюванні впливу умов контактування інструменту з обробленим матеріалом при його врізанні крім швидкості різання, радіусу округлення різальної кромки та коефіцієнту тертя доцільно було б врахувати такі фактори, як передній кут інструменту та максимальна товщина зрізу, що підвищило б практичну цінність оптимізації проведеної на основі результатів моделювання.

3. В розділі 4, стор. 102 дисертації стверджується, що більш плавна зміна M_k при вході зуба в метал заготовки і при виході з нього пояснюється наявністю кута нахилу головної різальної кромки 10° . З тексту не зрозуміло, чи є дане значення кута нахилу λ оптимальним та чи є можливість подальшого збільшення цього параметру.

4. В розділі 4, стор. 111 дисертації вказано, що адгезійне налипання оброблюваного матеріалу на контактні поверхні інструменту має велике значення з точки зору забезпечення максимального періоду стійкості фрези. Разом з тим відсутні дані щодо конкретизації умов появи даного ефекту в умовах зубофрезерування розробленим інструментом.

5. У дисертації є деякі стилістичні та орфографічні помилки.

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

5. 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.

6. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ І ЇЇ ЗАВЕРШЕНОСТІ

Дисертаційна робота Камчатної-Степанової К.В. є завершеною науковою роботою, 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 важливої наукової та прикладної проблеми машинобудування – підвищення ефективності механічного оброблення загартованих великомодульних шевронних коліс при швидкісному зубофрезеруванні з роздільною схемою формоутворення.

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 К.В. заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 - процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри конструювання
верстатів, інструментів та машин
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя,
кандидат технічних наук

Володимир КОБЕЛЬНИК

Підпис Володимира КОБЕЛЬНИКА засвідчую:

Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя,
доктор технічних наук, професор



Павло МАРУЦАК