

25006, м. Кропивницький  
пр. Університетський, 8  
ЦНТУ  
Вченому секретарю  
Спеціалізованої вченої ради  
К 23.073.02  
Дідику О.К.

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу Апаракіна Антона Руслановича «Підвищення ефективності чистового черв'ячного зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс за рахунок зміни схеми різання», представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### ***Актуальність роботи***

За останні роки значно збільшились вимоги до точності та якості обробки зубчастих коліс, що, в свою чергу, висуває особливі вимоги до кінематичних схем та технології обробки, конструкції, технології виготовлення та експлуатації зубообробного інструменту та обладнання.

Аналіз вітчизняних та зарубіжних публікацій по темі дисертації дає уявлення про сучасний стан індустрії зубообробки. Провідні підприємства-виробники різального інструменту у співпраці з науковими установами проводять інтенсивні роботи по вдосконаленню зуборізного інструменту (зокрема, створення твердосплавних черв'ячних фрез збірних конструкцій та вдосконаленню схем різання), обладнання, методів обробки. Це спрямовано, перш за все, на підвищення ефективності зубообробки.

Загалом, підвищення ефективності зубообробки за рахунок схеми обробки та конструкції різального інструмента йде за наступними напрямками:

- збільшення швидкості різання і подач;
- вдосконалення геометрії різальної частини інструмента;
- розробка нових видів інструменту, зокрема для нових методів зубообробки;
- більш повне використання різальних властивостей інструменту.

Підвищення точності та якості обробки може бути досягнуто за рахунок підвищення точності виготовлення зубообробного інструменту або вдосконаленням технології виготовлення зубастих коліс з використанням інструменту нових конструкцій. Автором проведена робота саме за останнім напрямком.

Таким чином робота є актуальною і відповідає тенденціям вимог сучасного виробництва.

### ***Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій***

Викладені автором наукові положення та практичні результати, висновки і рекомендації мають належний ступінь обґрунтованості, що досягнуто завдяки тому, що дослідження ґрунтувались на положеннях теорії різання металів, теорії опору матеріалів, теорії проектування різального інструменту, верстатобудування, теорії автоматичного управління процесів, використовувалось сучасне програмне забезпечення, та проведено необхідну кількість експериментів. Припущення, прийняті при побудові фізичних моделей методів зубофрезерування відповідають меті і завданням дослідження.

В роботі чітко описано об'єкт та предмет дослідження, висновки дають вичерпні відповіді на поставлені завдання, та не підлягають сумніву.

Наукові положення у достатній мірі апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях, достовірність підтверджується співпадінням теоретичних положень з результатами експериментальних досліджень.

### ***Наукова новизна роботи***

1. Вперше синтезовано спосіб чистового черв'ячного зубофрезерування, що здійснюється в умовах розподілення поверхні різання та функціональної поверхні.

2. Вперше синтезовано концепцію черв'ячного зубофрезерування, яка базується на принципах рівності колових подач, ширини та товщини одиничних різів та подібності умов різання по опозитним профілям оброблюваного зубчастого вінця.

3. Вперше розроблено модель черв'ячного зубофрезерування, що дозволяє вирішити задачу по визначенню впливу характеру взаємодії різальної кромки черв'ячної фрези з поверхнями різання та оброблюваною поверхнею.

4. Ґрунтуючись на положеннях теорії автоматичного керування, вперше доведено можливість зменшення динаміки процесу різання при черв'ячному зубофрезеруванні за рахунок зміни схеми різання.

### ***Практичне значення отриманих результатів***

1. Розроблена збірна конструкція черв'ячної фрези, яка дозволить знизити собівартість інструменту та використання інструментального матеріалу.

2. Розроблено інженерну методику проектування та розрахунку параметрів операції попереднього прорізання міжзубових западин дисковими фрезами, які забезпечать раціональну схему припуску під наступну обробку способом черв'ячного зубофрезерування т.

3. Розроблено нову концепцію та оригінальну компоновку багатоопераційного зубообробного верстату.

4. Розроблено комп'ютерні моделі в умовах тривимірного моделювання, які дозволяють досліджувати розміри і форми зрізаємих шарів під час зубофрезерування.

На приведені у дисертації технічні рішення отримано патенти України, а запропоновану технологію апробовано та передано для впровадження у виробництво шестерень гідравлічних машин на АТ «Гідросила», м. Кропивницький.

### ***Повнота викладення основних результатів дисертації***

За результатами дисертації опубліковано 11 праць, з них: 2 статті у фахових наукових виданнях України, 1 стаття у науковому збірнику, включеному до наукометричних баз SciVerse Scopus, Index Copernicus, Ulrich's Web, який має категорію «А» у Переліку наукових фахових видань України та відноситься до квартилю Q2 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, а також матеріали 4-х доповідей на наукових конференціях та 4 патенти. У вступі до дисертації описано особистий внесок автора до усіх публікацій, представлених до захисту. В публікаціях достатньо повно викладено основні результати дисертації.

### **АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ОЦІНКА ЗМІСТУ РОБОТИ**

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 140 найменувань на 14 сторінках та 15 додатків на 60 сторінках. Основний текст дисертації викладений на 150 сторінках (не включаючи 25 сторінок таблиць та рисунків, які повністю займають площу сторінки), повний обсяг дисертації становить 262 сторінки, включаючи 99 рисунків та 38 таблиць.

У **вступі** сформульовано актуальність роботи, мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичну цінність результатів роботи.

У **першому** розділі проведено аналіз існуючих конструкцій черв'ячних фрез, описано процес їх зносу, види та причини похибок які виникають під час обробки. Також розглянуто та описано процес формоутворення, розміри одиничних різів в залежності від умов обробки, величини сил різання, які виникають під час обробки, та фактори що впливають на них. Окремо розглянуто останні тенденції серед виробників щодо конструювання верстатів та зроблено висновок про значний прогрес у цій галузі. На основі проведеного аналізу сучасного стану черв'ячного зубофрезерування сформовано мету та задачі дослідження.

У **другому** розділі наведено програму та методики теоретичних і експериментальних досліджень. До програми теоретичних досліджень входять дослідження процесів формоутворення та енергоємності процесів зубофрезерування, способів зменшення спотворень оброблюваної поверхні. Для теоретичних досліджень в умовах моделювання описано моделі та обґрунтовано їх адекватність реальним процесам.

Для експериментальних досліджень описано методику визначення впливу обраної схеми різання на якість та точність оброблюваної поверхні. Дослідження проводяться в умовах фізичного моделювання процесу зубофрезерування обробкою довбанням різцем, імітуючи при цьому схеми взаємодії різальної кромки інструменту з оброблюваною поверхнею. Вплив режимів різання на якість (шорсткість) обробленої поверхні досліджується в умовах багатофакторного експерименту, згідно приведеній матриці експерименту. Також наведена методика експериментального дослідження точності обробленого евольвентного профілю при черв'ячно-контурному зубофрезеруванні.

**Третій** розділ присвячений теоретичним дослідженням взаємодії різальної кромки та оброблюваної поверхні, та вплив варіанту взаємодії на

точність обробки (зокрема похибки інструменту, відхилення оброблюваного профілю від номінального та величини поверхневого наклепу), дію сил різання на оброблювану поверхню та вузли верстата. На початку розділу обумовлено два варіанти взаємодії різальної кромки та оброблюваної поверхні:

- з розташованою дотично до оброблюваної поверхні різальною кромкою (на кшталт зубофрезерування черв'ячною фрезею);
- з розташованою по нормалі до оброблюваної поверхні різальною кромкою (запропонована автором схема різання).

Дослідження проводяться в умовах моделювання, із застосуванням моделей, приведених та описаних у другому розділі. Визначення товщини та ширини одиничних різів виконується із застосуванням тривимірного твердотільного комп'ютерного моделювання.

У розділі також описано розроблений спосіб черв'ячно-контурного зубофрезерування, на який автором отримано патенти на корисну модель та винахід. Зубофрезерування цим способом відбувається в умовах розташування різальної кромки до оброблюваної поверхні по нормалі.

По отриманим результатам теоретичних досліджень зроблено висновки щодо можливості зменшення сил різання при чистовому зубофрезеруванні у 4...5 разів, значно кращу досягну якість поверхні та більш стабільний процес різання завдяки використанню схеми різання з розташованою по нормалі до оброблюваної поверхні різальною кромкою.

**Четвертий** розділ присвячений експериментальним дослідженням, що проводились згідно приведеним у другому розділі методикам. Загалом, отримані результати експериментальних досліджень підтверджують положення теоретичних досліджень. В умовах фізичного моделювання зразки, оброблені різальною кромкою, розташованою по нормалі до оброблюваної поверхні, демонструють кращу якість обробленої поверхні, проти зразків, оброблених дотичною різальною кромкою. А під час безпосереднього дослідження формоутворення розробленого способу

черв'ячно-контурного зубофрезерування доведено одну з переваг цього способу – здатність, завдяки однаковим умовам різання, давати стабільну якість оброблюваного евольвентного профілю як по правим профілям зубчастого колеса, так і по лівим.

У п'ятому розділі представлено концепцію технології обробки зубців шестерень для умов гнучкого виробництва, для якої розроблено компоновку зубообробного центру, збірну конструкцію черв'ячно-контурної фрези та обґрунтовано доцільність використання методу попереднього прорізання западин заготовки. Також заслуговує уваги обґрунтування необхідності демпфування фрезерного шпінделя зубофрезерного верстата введенням постійного моменту пригальмовування.

У **висновках** сформовано основні наукові результати по роботі.

У **додатках** наведено методики визначення налагоджуваних розмірів інструментальних блоків, опубліковані патенти по темі дисертації, чисельні значення одиничних різів (ширину, товщину різів, та площу перерізу) у вигляді таблиць та масштабних схем, а також список публікацій по темі дисертації.

## **ВІДПОВІДНІСТЬ ЗМІСТУ АВТОРЕФЕРАТУ ОСНОВНИМ ПОЛОЖЕННЯМ РОБОТИ**

В авторефераті чітко описано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, текст автореферату достатньо повно відображає зміст та положення дисертації.

## **ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЇ ТА АВТОРЕФЕРАТУ**

1. Частиною мети дисертаційної роботи є створення передумов для реалізації технології зубофрезерування в умовах гнучкого виробництва, але як відомо гнучке виробництво характеризується трьома властивостями:

- виробляти широку номенклатуру продукції;

- швидко й економічно переходити від випуску одних до випуску інших найменувань виробів у межах встановленої їх номенклатури;
- допускати зміни номенклатури виготовлених виробів без зміни технологічного оснащення виробництва.

Тому не зрозуміло які властивості гнучкої технології розвиває автор при створених передумовах перерахованих в п'ятому розділі роботи.

2. В роботі автор пропонує терміни «при дотичній ГРК різця до оброблюваної поверхні» та «при нормальній ГРК різця до оброблюваної поверхні», що позначають різні схеми обробки зубофрезеруванням. Проте згідно теорії різання є тільки 4 методи обробки металів - метод копіювання, метод сліду, метод дотику і метод обкату (огинання) і нова класифікація не потрібна.

3. Існують деякі редакційні помилки та неточності. Так на рис. 4.6. відсутні позначення по осям координат, в формулі 3.15 кут альфа автор називає кутом зачеплення, а це кут профілю вихідного контуру. В ідентичних таблицях 4.2. роботи і таблиці 1 автореферату значення шорсткості при  $S_k = 1$  град/об, і нормальній ГРК різця різні, а повинні бути однакові.

Вважаю, що зазначені вище недоліки суттєво не впливають на позитивну оцінку роботи.

### **ЗАКЛЮЧНА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Представлена дисертаційна робота під назвою «Підвищення ефективності чистового черв'ячного зубофрезерування циліндричних зубчастих коліс за рахунок зміни схеми різання» є закінченою науково-дослідною роботою, в якій вирішене важливе науково-технічне завдання, що полягає у підвищенні якості та точності механічної обробки циліндричних зубчастих коліс.

Виходячи з актуальності теми, наукової новизни та практичної цінності, достатньої апробації основних положень, повноти викладу в опублікованих працях, вважаю, що робота задовольняє вимогам до



дисертацій по п. 9, п. 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України від 24.07.2013 р. №567, а її автор Апаракін Антон Русланович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

**Офіційний опонент:**

старший науковий співробітник  
відділу формування прецизійних  
елементів складнопрофільних виробів  
Інституту надтвердих матеріалів  
ім. В. М. Бакуля, Національної  
академії наук України, к. т. н.

А. В. Кривошея

**Підпис Кривошеї А. В. засвідчую:**

Учений секретар Інституту надтвердих  
матеріалів ім. В. М. Бакуля Національної  
академії наук України, к.т.н.



В. В. Смоквина