

## ВІДГУК

офіційного опонента

Роп'яка Любомира Ярославовича

на дисертаційну роботу Федоренка Віталія Сергійовича

«Підвищення ефективності процесів швидкісного зубофрезерування на основі

трибологічних і дисипативних енергетичних моделей»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

### **Актуальність теми**

Зростання ефективності промислового виробництва значною мірою визначається впровадженням та удосконаленням гірничовидобувного, переробного обладнання, а також потужних енергетичних і транспортних систем, у склад яких входять великогабаритні машини з приводами, що містять зубчасті передачі з великим модулем ( $m = 12 \dots 65$  мм) зубчастих коліс.

Підвищення контактної міцності таких передач безпосередньо залежить від рівня твердості поверхні зубів: її збільшення від HRC 32 до HRC 60 дозволяє зменшити розміри редуктора вдвічі, а його масу – утричі.

Разом із тим, виготовлення загартованих великомодульних зубчастих коліс (ЗКЗК) пов'язане з високою трудомісткістю. Це зумовлено необхідністю знімання значних припусків у процесі зубошліфування з метою усунення поверхневих дефектів, що виникають після термічної обробки, а також ризиком появи припалів і мікротріщин. До того ж, зубошліфувальні верстати мають обмежені розміри робочого простору, що стримує обробку великогабаритних деталей, що стримує широке застосування ЗКЗК на практиці.

З іншого боку, використання великомодульних зубчастих коліс без термічної обробки, коли технологічно неможливо виконати зубошліфування, часто призводить до їх швидкого виходу з ладу. Зважаючи на великі розміри і масу таких зубчастих коліс, будь-які позапланові ремонти супроводжуються суттєвими фінансовими витратами.

Виготовлення високоточних ЗКЗК зі ступенем точності 6В–8В за ГОСТ 1643-81, що здатні працювати у широкому діапазоні швидкостей (0,5–30 м/с), потужностей (50–500 000 кВт), з діаметрами до 12 000 мм, шириною вінця до

1200 мм і модулем до 65 мм, часто ускладнюється через нестачу відповідного виробничого обладнання, обмежену номенклатуру інструменту для чистової обробки та відсутність глибоких досліджень щодо формування якісного поверхневого шару під час завершального зубофрезерування.

У зв'язку з цим доцільним є пошук та наукове обґрунтування технологічних шляхів підвищення зносостійкості та міцності зубців шляхом ефективної фінішної обробки ЗКЗК, яка забезпечить оптимальні параметри шорсткості та високу якість обробленої поверхні при одночасному зростанні продуктивності.

Таким чином, формування технологічних засад, що забезпечують високу точність, якість і продуктивність зубофрезерування ЗКЗК, є актуальним завданням важкого машинобудування і визначає головний вектор даного дисертаційного дослідження.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі**

Положення та висновки, наведені в дисертаційній роботі Федоренка В.С., в достатній мірі обґрунтовані як з наукового, так і з технічного поглядів. Обґрунтованість отриманих у роботі наукових положень, висновків і рекомендацій базується на використанні трибологічного та дисипативного моделювання, що виконана на базі кафедри «Інтегровані технології машинобудування ім. М. Ф. Семка» з використанням відповідного програмного та технічного забезпечення.

Результати перевірені шляхом проведення практичних експериментів, що підтверджує обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

### **Достовірність результатів досліджень**

Достовірність результатів теоретичних досліджень підтверджується результатами відповідних експериментальних досліджень на кафедрі «Інтегровані технології машинобудування ім. М. Ф. Семка» в кооперації з ТВО «КМЗО».

Наукові результати застосовані під час промислового впровадження для виробництва крупномодульних зубчастих коліс на ТВО «КМЗО».

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- Розвинуто підхід до вибору способів обробки зубчастих коліс на основі апарату відповідностей, що ґрунтується на графовому аналізі впливу параметрів хвилястості та умов обробки на фізико-механічні властивості поверхневого шару зубців, а також на оцінці їхньої відповідності до заданих технічних вимог;

- Сформовано механізм технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик поверхонь зубів ЗКЗК на основі структурно-параметричного математичного моделювання, що орієнтований на відповідність **ВИМОГАМ** конструктора;

- Розроблено моделі, які ґрунтуються на зв'язку експлуатаційних властивостей із показниками якості, які базуються на теорії графів. Запропоновано комплекс методів – від підбору технологічного забезпечення до критеріального оцінювання впливу теплового балансу і вібрацій на процес формування поверхневого шару – що дозволяє сформувати єдину цілісну технологічну концепцію обробки ЗКЗК;

- Створено технологічну систему, що забезпечує чистове зубофрезерування ЗКЗК замість зубошліфування, при збереженні 6–8 ступеня точності (відповідно до ГОСТ 1643-81). Система охоплює широкий діапазон: швидкості – від 0,5 до 30 м/с; потужності – від 50 кВт до 500 000 кВт; діаметр оброблюваних коліс – від 500 мм до 12 000 мм; висота вінця – до 1200 мм; модулі – від  $m = 12$  до  $m = 65$  мм.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання**

Практична цінність полягає у використанні результатів досліджень:

1) на ТВО «Костянтинівських завод механічного обладнання» (м. Костянтинівка) – профільній організації, що займається виготовленням та обслуговуванням машин, які в своїй конструкції мають загартовані крупномодульні зубчасті колеса.

2) в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків) у навчальному процесі кафедри «Інтегровані технології машинобудування ім. М. Ф. Семка».

### **Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях**

Результати досліджень опубліковані 5-ти наукових працях, з них – 4-ри у фахових наукових виданнях України, 1-на у виданні, що індексується в наукометричній базі Scopus. Крім цього, ще 5-ть наукових праць засвідчують апробацію матеріалів дисертації.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві висвітлена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44.

### **Оцінка змісту дисертаційної роботи**

Дисертаційна робота Федоренка В. С. складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і 2-х додатків.

У вступі показана актуальність та важливість теми дослідження, визначена мета, предмет і основні завдання дисертаційної роботи. Висвітлена наукова новизна і практична значимість одержаних результатів.

У першому розділі здійснено огляд сучасних технологій обробки поверхневого шару зубців загартованих крупномодульних зубчастих коліс, зосереджено увагу на формуванні евольвентної поверхні для забезпечення надійності передач у важкому машинобудуванні. Розглянуто технічні рішення для обробки великогабаритних коліс і визначено, що розвиток точних методів фінішної обробки після загартування є ключовим чинником підвищення їх міцності.

У другому розділі дисертації представлено підхід до підвищення ефективності управління якістю та продуктивністю обробки загартованих зубчастих коліс великого модуля.

У третьому розділі обґрунтовано підходи до прогнозування структури та параметрів технологічних систем зубообробки важконавантажених загартованих зубчастих коліс на основі трибологічних і дисипативних енергетичних моделей.

Виконано дисипативне та інформаційне моделювання процесів різання, що дало змогу встановити зв'язки між технологічними параметрами та станом оброблюваної поверхні. Запропоновано системну модель технологічного забезпечення експлуатаційної надійності зубчастих передач.

У четвертому розділі подано моделювання взаємозв'язків між технологічними параметрами обробки та якістю зачеплення крупномодульних загартованих зубчастих коліс. Обґрунтовано вибір технологічного й метрологічного забезпечення, сформульовано комплексні показники стану поверхні та довговічності, а також досліджено вплив режимів чистової обробки на якість поверхневого шару зубців.

У п'ятому розділі розглянуто інструментальне забезпечення високопродуктивної обробки загартованих крупномодульних зубчастих коліс. Проведено оптимізацію геометрії ріжучого інструменту, досліджено точність механічної обробки з урахуванням профілювання твердосплавних фрез, а також обґрунтовано ефективність технології швидкісного зубофрезерування з подальшим її впровадженням у виробництво.

Висновки до розділів і висновки за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Список використаних джерел із 86 найменувань є повним і включає в себе публікації як українських, так й іноземних авторів.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває наукові результати та практичну цінність роботи.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Академічна доброчесність**

Усі результати, представлені автором до захисту, отримані самостійно та відображені в опублікованих наукових працях. У публікаціях, виконаних у співавторстві, використано виключно ті положення, ідеї та обґрунтування, що є результатом особистих досліджень здобувача. Порушень принципів академічної доброчесності не зафіксовано, що підтверджується результатами перевірки дисертації на наявність текстових запозичень. За даними протоколу перевірки на платформі StrikePlagiarism, коефіцієнт подібності тексту становить 6,79 %.

**По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:**

1. У тексті спостерігається часте повторення певних термінів і фраз, таких як «загартовані крупномодульні зубчасті колеса», «поверхневий шар», «фінішна обробка». Зменшення їх дублювання шляхом використання умовних скорочень допомогло б зробити виклад більш стислим і покращити сприйняття матеріалу.

2. Доцільно уточнити формат посилань на джерела у вступі та в розділі аналізу літератури, оскільки в окремих випадках вони подані без достатньої чіткості або не мають прямої відповідності до нумерації у списку літератури. Уніфікація оформлення сприяла б кращій зрозумілості та коректності наукового викладу.

3. На сторінці 38 у тексті посилаються на Таблицю 1.2, де повинні бути наведені експериментальні дані, але відповідної таблиці нема, а замість неї наведена Таблиця 1.3, де показані розрахункові дані. Не зрозуміло, які саме табличні дані використовувалися в дисертації?

4. В пункті 2.2 «Аналітичне визначення параметрів поверхневого шару загартованих зубчастих коліс великого модуля з урахуванням умов механічної обробки» було проведено моделювання для зубчастого колеса з модулем  $m=20$  і кількістю зубців  $z=23$ , але при цьому не було вказано, яку твердість мала заготовка та в якій системі проводилося моделювання?

5. Варто було б більш детально розглянути аспекти практичного впровадження запропонованої технології у виробництво, зокрема можливі технічні та економічні виклики, які можуть виникнути під час інтеграції в наявні виробничі процеси. Додаткові дослідження, спрямовані на оцінку вартості та ефективності впровадження в реальних умовах, надали б розробці більш прикладного значення.

6. Виявлено незначні наявні орфографічні помилки та недоречності у використанні розділових знаків у тексті.

Вказані недоліки не є суттєвими та не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

