

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Кальченко Володимира Віталійовича

на дисертаційну роботу Гасанова Магомедміна Ісамагомедовича

«Основи процесу відновлення точності та якості крупногабаритних зубчатих

передач із застосуванням методів імітаційного моделювання»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та

інструменти

1. Актуальність теми

Необхідність рішення даної науково-технічної проблеми продиктована необхідністю підвищення ефективності ремонту крупногабаритних зубчатих передач діаметром до 8,5 метрів і модулем до 65 мм. Велика частина важконавантажених машин: гірські, транспортні, металургійні, шахтні працюють при високих навантаженнях і в умовах значного запилення навколишнього середовища і, в тому числі, з використанням відкритих крупномодульних зубчатих передач. Важкі умови роботи, динамічний, вібраційний характер навантаження цих машин знижують міцність і час експлуатації зубчастих передач і їх приводів. Відновлення експлуатаційних властивостей крупногабаритних зубчастих передач на етапі ремонту і модернізації є актуальними завданнями важкого машинобудування. Сучасний процес ремонту крупногабаритних зубчастих коліс вимагає розробки нових підходів до стратегії відновлення функціональних параметрів, методів формоутворення, забезпечення надійності процесів механічної обробки, верстатів та інструментів.

Забезпечення якості відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс може бути успішно реалізовано тільки при правильному виборі стратегії ремонту, заснованому на метрологічній системі контролю параметрів стану поверхневого шару зубчастих коліс, що характеризують їх експлуатаційні

властивості. З цієї точки зору, вивчення закономірностей процесів відновлення функціональних параметрів крупномодульних зубчастих коліс як основи комплексного варіаційного вибору стратегії ремонту є актуальною науково–технічною проблемою.

У дисертаційній роботі автором було поставлено мету – підвищення ефективності ремонту крупногабаритних зубчастих передач шляхом вибору раціональної стратегії відновлення їх функціональних параметрів на основі системного аналізу дефектів і методів їх усунення імітаційним моделюванням взаємозв'язків геометричних, кінематичних і динамічних параметрів зачеплення зубів важконавантажених зубчастих коліс.

У зв'язку з цим, тематика наукових досліджень Гасанова Магомедміна Ісамагомедовіча, що представлена у дисертаційній роботі «Основи процесу відновлення точності та якості крупногабаритних зубчастих передач із застосуванням методів імітаційного моделювання» є актуальною і такою, що відповідає формулі спеціальності та напрямам досліджень п.2,3,4 паспорту спеціальності 05.03.01 - «Процеси механічної обробки, верстати та інструменти», затвердженим постановою президії ВАК України від 14 жовтня 1998 р. N 17-08/7.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій і їхня достовірність

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів підтверджується використанням апробованих в машинобудуванні методів моделювання, створення та впровадження в виробництво процесів механічної обробки.

В основу роботи покладено єдиний підхід щодо проведення теоретичних і експериментальних досліджень, що базується на фундаментальних положеннях теорій процесів машинобудування, триботехніки, теорії різання матеріалів, теорії ймовірності та математичної статистики. Експериментальні дослідження проводилися в виробничих і лабораторних умовах на реальному технологічному обладнанні. Математична обробка результатів досліджень

виконувалася з використанням прикладного програмного забезпечення (пакет MathCAD). Достовірність теоретичних положень роботи підтверджується результатами експериментальних досліджень і промисловим впровадженням результатів досліджень процесів формоутворення при обробці зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс.

Достовірність досліджень, що проведені у розділах 2-6, не викликає сумнівів, тому що вони базуються на викликах виробництва, підтверджуються конкретністю постановки завдань, системному підході, мають велике практичне значення. Наукові положення і висновки, сформульовані в дисертації, обґрунтовані з наукової і технічної точки зору і підтверджуються їх практичною реалізацією.

Аналіз висновків та отриманих в роботі результатів показує, що дисертація Гасанова М.І. має внутрішню єдність, містить обґрунтовані і достовірні положення. Висновки по розділах відображають отримані результати та логіку досліджень. Рекомендації, розроблені в дисертації, мають практичну спрямованість.

3. Наукова новизна

В процесі розв'язання науково-технічних задач, які були поставлені в роботі, виходячи з її мети, автором було отримано низку нових науково-технічних результатів.

На основі системного аналізу вимог до важконавантажених і відповідальних зубчастих передач, закономірностей методів оновлення та механічної обробки коліс обґрунтований перспективний підхід до визначення стратегії ремонту та відновлення функціональних властивостей крупногабаритних зубчастих коліс з використанням методів імітаційного моделювання. Даний підхід базується на:

Вперше встановлених і науково обґрунтованих комплексних параметрах оцінки стану поверхонь, довговічності, мінімально можливих пластичних деформацій зубів зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс

після лезової обробки, що дозволило забезпечити їх якісне відновлення та експлуатаційні властивості.

Вперше визначеному та математично описаному взаємозв'язку експлуатаційних властивостей поверхонь зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс на основі оцінки показників якості поверхонь, що дозволило вирішити основну проблему зубообробки – забезпечення продуктивності, точності та якості відновлення крупногабаритних зубчастих коліс.

Подальшому розвитку структурно-параметричної моделі процесу обробки крупногабаритних зубчастих коліс, яка забезпечує задані експлуатаційні властивості поверхонь відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс, що враховує дійсну форму профілю зуба після зносу.

Подальшому розвитку імітаційної моделі управління процесом фінішної лезової обробки зубів відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс, що дозволило забезпечити експлуатаційні властивості в умовах обмежень по якості і точності формованих поверхонь зубів.

Вперше визначеному сумарному зносі поверхні в контактній зоні зуба в залежності від умов тертя, фази зачеплення і часу контакту, що дозволило збільшити стійкість високопродуктивного швидкісного інструменту.

4. Значення одержаних результатів для науки і практики

Найбільш вагомим новим науковим результатом дисертації вважаю те, що в результаті теоретичних та експериментальних досліджень і моделювання процесу відновлення функціональних параметрів крупногабаритних зубчастих передач на основі системного аналізу дефектів і методів їх усунення імітаційним моделюванням взаємозв'язків геометричних, кінематичних і динамічних параметрів зачеплення розроблені практичні рекомендації щодо підвищення ефективності процесів механічної обробки зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс.

Розроблено методики: моделювання взаємозв'язку експлуатаційних властивостей поверхонь зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс з їх показниками якості; вибір і призначення забезпечення системи параметрів поверхневого шару зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс. Розроблено спеціальне оснащення і ріжучий інструмент для високошвидкісної зубообробки крупногабаритних зубчастих коліс з модулем зачеплення 12–65 мм.

Авторство наукових та практичних розробок здобувача підтверджується трьома патентами України на винахід та одним на корисну модель.

Переконуючим прикладом практичного використання розробленого підходу к забезпеченню ефективної стратегії ремонту та відновлення функціональних властивостей крупногабаритних зубчастих коліс є розроблені і впроваджені у виробництво практичні рекомендації на ДП «Завод ім.Малишева» (м. Харків), ДП «Харківське конструкторське бюро з машинобудування ім.О.О. Морозова», ТОВ «Костянтинівський завод механічної обробки» (м. Костянтинівка), ТОВ «Слобожанська промислова компанія» (м. Харків).

5. Повнота викладення основних результатів роботи

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано у 51 науковій публікації, з них: 23 статті у наукових фахових виданнях України (19 – у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), 2 статті у закордонних періодичних фахових виданнях, включених до міжнародної наукометричної бази Scopus, 4 патентів України (3 – на винахід, 1– на корисну модель); 21 – у матеріалах конференцій.

Основні наукові положення і висновки, які представлені в дисертації та авторефераті, ідентичні між собою. Автореферат відображає актуальність роботи, зміст і суть одержаних наукових результатів, їх практичне значення, детально виокремлює особистий внесок здобувача та демонструє широку апробацію результатів досліджень.

Теоретичні положення і практичні результати оригінальні, взаємопов'язані та отримані на основі системного аналізу. Результати роботи свідчать про особливий вклад здобувача в науку. Висунуті в роботі задачі послідовно вирішені автором. Таким чином, досягнуто поставлену мету дослідження: підвищення ефективності ремонту крупногабаритних зубчастих передач шляхом вибору раціональної стратегії відновлення їх функціональних параметрів на основі системного аналізу дефектів і методів їх усунення імітаційним моделюванням взаємозв'язків геометричних, кінематичних і динамічних параметрів зачеплення зубів важконавантажених зубчастих коліс.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому

Робота складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 284 найменувань та 3 додатків, в яких наведено результати моделювання та акти використання результатів роботи. Загальний обсяг роботи складає 475 сторінок, з них 298 сторінок основного тексту (з врахування рисунків та таблиць на окремих аркушах), 106 рисунків і 34 таблиці. Обсяг дисертаційної роботи не перевищує встановлені норми.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету і завдання дослідження, висвітлено наукову новизну та практичну значимість одержаних результатів. Наведено відомості про апробацію роботи та публікації.

У **першому розділі** «Аналіз процесу експлуатації крупногабаритних зубчастих передач і пов'язаних з ним проблем відновлення функціональних властивостей» виконан аналіз експлуатації крупногабаритних зубчастих передач і проблеми відновлення функціональних властивостей крупномодульних зубчастих передач.

До важко навантажених зубчастих передач відносяться приводи машин, при проектуванні яких висувуються жорсткі вимоги до мінімізації їх габаритів, маси і вартості. Сюди, в першу чергу, відносяться транспортні машини і гірські машини, що працюють в обмеженому просторі. Оцінка довговічності крупногабаритних зубчастих передач по початковим параметрам евольвентних

профілів зубів без урахування забезпечення параметрів стану поверхневого шару зубчастих коліс і відновлених крупногабаритних зубчастих вінців є вельми наближеною, не відображає того факту, що через знос зубів форма профілю стає відмінною від початкової евольвентної поверхні. В результаті чого змінюються навантажено–кінематичні параметри контакту, які, в свою чергу, інтенсивно змінюють процес зношування і форму профілів зубів по лінії контакту і в поперечному перерізі.

Розглянуті критерії формування структур і параметрів систем обробки, що забезпечують задані експлуатаційні властивості зубчастих коліс, які зношуються і відновлюватимуться.

У другому розділі «Формалізація опису процесу відновлення функціональних властивостей крупномодульних зубчастих передач» розроблен аналіз методів відновлення функціональних характеристик крупномодульних зубчастих передач та особливості відновлення крупномодульних коліс різними методами зубообробки з забезпеченням мінімальних пластичних деформацій зубів відновлених крупномодульних зубчастих коліс.

Удосканелені схеми різання і обладнання для відновлення коліс з урахуванням жорсткості динамічної верстатної системи і параметрів шорсткості поверхневого шару. Розроблено оснащення для інтенсивної і високоякісної зубообробки з урахуванням впливу параметрів хвилястості на експлуатаційні властивості відновлених крупногабаритних зубчастих коліс та комплексні параметри оцінки довговічності відновлених крупномодульних зубчастих коліс з критеріями формування якісних характеристик поверхневого шару зубів при чистовий зубообробці відновлених крупномодульних коліс.

Науково–обґрунтований підхід, результати теоретичних досліджень формоутворення параметрів стану поверхневого шару циліндричних зношених і відновлених крупногабаритних зубчастих коліс при зубофрезеруванні, швидкісному зубофрезеруванні, ППД обробкою накатними конічними роликками, математичний їх опис, експериментальна перевірка дають можливість управляти параметрами стану поверхневого шару в залежності від виду обробки.

У третьому розділі «Математична модель процесу відновлення функціональних властивостей крупномодульних зубчастих передач» розроблено основи прогнозування структури і параметрів систем зубообробки крупномодульних зубчастих коліс після відновлення та моделювання параметрів поверхневого шару з метою зниження утомного викришування і запобігання поломки зубів відновлених крупногабаритних зубчастих коліс.

Задачі моделювання процесів оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності зубообробки крупногабаритних зубчастих коліс пропонується вирішувати методами впливу з урахуванням специфічних умов формоутворення зубчастих коліс.

Аналіз причин виходу з ладу зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс показав, що в 90 % руйнування крупногабаритних зубчастих коліс починається з поверхневого шару через появу мікротріщин, абразивного зносу, викришування активних поверхонь зубів, відшаровування поверхневого шару зубів, прогресуючого заїдання, пластичних деформацій зубів.

Розроблені загальні вимоги до вибору і призначенню системи параметрів поверхневого шару відновлених крупногабаритних зубчастих коліс та інформаційне моделювання процесів зубообробки. Утворено моделювання забезпечення експлуатаційних властивостей поверхонь відновлених крупногабаритних зубчастих коліс за допомогою системної оптимізації на основі імітаційного моделювання з урахуванням прогресуючих видів зносу.

У четвертому розділі «Методологія процесу відновлення заданих властивостей крупномодульних зубчастих передач» удосконалена конструкторська і організаційна оптимізація систем відновлення крупномодульних зубчастих передач зовнішнього зачеплення з моделюванням внутрішніх взаємозв'язків процесу зубообробки крупномодульних передач при їх відновленні.

Задачі моделювання процесів оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності зубообробки зношених і відновлюваних

крупногабаритних зубчастих коліс пропонується вирішувати методами впливу з урахуванням специфічних умов формоутворення зубчастих коліс.

При зубофрезеруванні евольвентної поверхні зубчастого колеса переміщення ріжучого леза інструмента з початкового положення в кінцеве положення під дією керуючих впливів може бути здійснено за різними траєкторіями в рамках техніко–економічних обмежень. Кожній траєкторії відповідає певне значення критерію оптимальності. Геометрія проектованої передачі визначається параметрами початкового контуру інструмента і його зміщеннями при нарізанні коліс передачі. Тому при проектуванні насамперед слід задати початковий контур інструменту, що виробляється і вибрати розрахункові зміщення. Якщо циліндричне зубчасте колесо нарізається рейковим інструментом, то верстатне зачеплення розглядають в торцевій площині, перпендикулярній вісі зубчастого колеса.

Розроблені схеми багатокритеріальної оптимізації процесу відновлення крупномодульних зубчастих коліс та оцінка характеру зміни якісних характеристик зубчастої передачі. Розроблена методика вибору і призначення параметрів процесу відновлення геометрії і фізикомеханічних властивостей відкритих циліндричних крупномодульних зубчастих передач.

У п'ятому розділі «Експериментальні дослідження точності і якості процесу зубофрезерування при відновленні зношених крупногабаритних зубчастих коліс» виконано моделювання процесів формоутворення поверхневого шару зубчастих коліс з урахуванням внутрішніх зв'язків, прогнозування показників якості у взаємозв'язку з комплексним параметром стану поверхневого шару загартованих крупномодульних зубчастих коліс розроблен критеріальний метод оцінки впливу теплового балансу на продуктивність, точність і якість формування поверхневого шару загартованих крупномодульних зубчастих коліс. Удосконалена методика оцінки впливу вібрацій на процес формоутворення поверхневого шару при зубонарізуванні зношених і відновлюваних крупногабаритних зубчастих коліс.

У шостому розділі «Інструментальне оснащення при інтенсивній і

високоякісній зубообробці відновлених загартованих крупномодульних зубчастих коліс» розроблен процес оптимізації відновлення крупногабаритних зубчастих вінців підвищеної точності та ремонт і відновлення крупномодульних загартованих зубчастих коліс методом високошвидкісної лезової обробки. Для поліпшення характеристик поверхневого шару зубів відновлених і зношених крупногабаритних зубчастих коліс удосконален методо відновлення накатними роликками. Для підвищення якості відновлення крупномодульних зубчастих коліс впроваджен спосіб спреєрного загартування. Виконані загальні принципи моделювання оптимального управління параметрами точності, якості і продуктивності зубообробки відновлених і зношених крупногабаритних зубчастих коліс.

У **висновках** сформульовано основні наукові результати дисертаційної роботи.

Таким чином, дисертація Гасанова М.І. за змістом представляє собою завершену наукову роботу, яка має внутрішню єдність, сукупність наукових теоретичних положень і практичних результатів, що свідчить про індивідуальний внесок здобувача в науку і практику. Дисертація написана і оформлена згідно з вимогами. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

7. Зауваження по змісту і оформленню дисертації та автореферату

- В тексті дисертації посилання на використану літературу зустрічаються не тільки у першому розділі, хоча за логікою викладу матеріалу і є доречними.
- В дисертаційних роботах інженерно-технологічного спрямування пояснення, міркування та висновки зручно давати на основі наведених розрахункових схем, ескізів установок або оснащення, тощо. Нажаль в першому розділі при глибокому всебічному аналізі літературних джерел автор обмежився текстовим описом робіт із посиланням на них. В розділі наведено замало рисунків, що значно знижує сприйняття викладеного матеріалу.

- В розділі 2 в таблиці 2.4 наведений приклад нарізання зубів на вал-шестерні з модулем 28 мм на токарному обробному центрі «Waldrich Siegen DHL» 1500x8000 методом копіювання та названий як «інноваційна технологія» без пояснень переваг такої обробки крупномодульних зубчатих коліс.
- В розділі 3 наведені дві найважливіші на наш погляд таблиці: 3.1, яка ілюструє взаємозв'язок експлуатаційних властивостей відновлених крупногабаритних зубчастих коліс з параметрами стану їх поверхневого шару, та 3.2, яка містить оптимальні значення параметрів шорсткості поверхонь відновлених крупногабаритних зубчастих коліс для трьох ступенів точності циліндричних зубчастих коліс в залежності від послідовності чистової остаточної обробки відновлених крупногабаритних зубчастих коліс після наплавлення та попередньої обробки. Доводиться шкодувати, що ні в тексті розділу ні в висновках немає практичних рекомендацій їх використання в якості інформаційної основи вибору раціональної або оптимальної послідовності механічної обробки коліс, що підлягають ремонту.
- В розділі 4 рисунок 4.8, що ілюструє область оптимального управління параметрами зубофрезерування для забезпечення заданої точності при максимально досяжної продуктивності та є також важливим, погано читається.
- На жаль, автор повторює редакційну помилку більшості здобувачів наукового ступеню, формулюючи висновки по розділах та деякі загальні висновки по роботі у вигляді простої констатації зробленого. Також, чомусь у останньому висновку про промислову апробацію результатів наукового дослідження не наведено, що використання та впровадження рекомендацій дозволили у діючому виробництві суттєво зменшити витрати на обробку, про що йдеться у наведених у додатках актах впровадження.

Проте, вважаю, що вищенаведені зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного на високому науковому рівні дисертаційного дослідження, не зменшують її наукову новизну та практичну значимість і не знижують загального позитивного сприйняття проведеного обсягу досліджень.

8. Висновок про відповідність встановленим вимогам

Розглядаючи дисертаційну роботу в цілому, треба оцінити її позитивно.

Дисертація Гасанова Магомедміна Ісагомедовіча на тему «Основи процесу відновлення точності та якості крупногабаритних зубчатих передач із застосуванням методів імітаційного моделювання», що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти, є завершеною науково-дослідною роботою і містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову проблему підвищення ефективності ремонту крупногабаритних зубчастих передач діаметром до 8,5 метрів і модулем до 65 мм шляхом вибору раціональної стратегії відновлення їх функціональних параметрів, що має суттєве значення для машинобудування України. Робота відповідає формулі та напрямам досліджень паспорту наукової спеціальності 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти (п.п. 2, 3, 4) та повністю відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів...» від 24 липня 2013 р. №567 щодо докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти.

Офіційний опонент

проректор з науково-педагогічної роботи

Чернігівського національного

технологічного університету,

доктор технічних наук, професор

Кальченко В.В.

Підпис Кальченка В.В. засвідчує

секретар вченої ради



Олійченко І.М.