

ВІДГУК

офіційного опонента, д.т.н., професора Марчука Віктора Івановича на дисертацію та автореферат дисертації Кусого Ярослава Маркіяновича «Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування (галузь знань 13 – механічна інженерія 131 – Прикладна механіка)

На рецензію представлені дисертаційна робота, автореферат і публікації за темою дисертації.

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність даної роботи визначена потребою розробки ефективних інженерних методів прогнозування показників надійності та пов'язаних із ними експлуатаційних характеристик машинобудівних виробів, що враховують технологічне успадкування під час проектування структури функціонально-орієнтованих технологічних процесів.

Розвиток сучасного машинобудування характеризується підвищенням швидкодійності, продуктивності, потужності точності машин і їхніх деталей. У зв'язку з цим підвищення експлуатаційних характеристик деталей і забезпечення їхніх показників надійності має пріоритетне значення.

Враховання залежності вихідних параметрів виробів від структури технологічних процесів загалом і технологічних операцій зокрема із врахуванням впливу технологічного середовища «пристрій – інструмент – верстат» сприяло створенню наукового напрямку у технології машинобудування – керування експлуатаційними характеристиками і показниками надійності виробів за допомогою методів технологічних обробок. На даному етапі розвитку машинобудівної галузі цей напрямок забезпечується подальшим розробленням функціонально-орієнтованих технологій із врахуванням технологічного успадкування під час проектування оптимальної структури технологічних процесів виготовлення деталей машин.

Відсутність методологічного підходу у розробленні принципів технологічного успадкування параметрів якості під час проектування структури технологічного процесу виготовлення машинобудівних виробів для забезпечення їхніх показників надійності та пов'язаних із ними експлуатаційних характеристик є актуальною науково-прикладною проблемою в технології машинобудування. Запропонована здобувачем ідея вирішення

даної проблеми за рахунок розробленого критерію однорідності матеріалу для аналізу технологічного успадковування параметрів якості деталей під час їхнього виготовлення методами різання, пластичного деформування та контролі властивостей поверхневого шару методом LM-твердості відзначається новизною та практичною доцільністю.

Таким чином, вважаю, що при подальшому розвитку методології функціонально-орієнтованого проектування представлені та реалізовані у дисертаційній роботі Кусого Я.М. принципи розроблення структури технологічних процесів із врахуванням спадкових властивостей матеріалу і параметрів поверхні деталей спрямовані на вирішення актуальної науково-практичної проблеми забезпечення їхніх експлуатаційних характеристик та регламентованих показників надійності.

2. Наукова новизна отриманих результатів

Найвагомішим науковим результатом дисертації є вперше запропонований новий підхід у проектуванні структури функціонально-орієнтованих технологічних процесів оброблення виконавчих поверхонь під час виготовлення деталей машин із застосуванням критерію однорідності матеріалу для аналізу технологічного успадковування параметрів їхньої якості. Для цього науково обґрунтовано показники, що корелюють зі структурним станом оброблюваного матеріалу машинобудівного виробу та визначають параметр однорідності його структури за ступенем розсіювання характеристик твердості після механічного оброблення.

Автором вперше: розроблено структуру та методичне забезпечення системи аналізу формоутворення виробу із врахуванням технологічного успадковування його параметрів якості; запропоновано теоретико-експериментальний підхід для системного забезпечення регламентованих параметрів надійності виробів, що враховує вплив елементів технологічної системи під час успадковування параметрів якості після механічного оброблення на всіх етапах технологічного процесу.

Окрім того отримала подальший розвиток методологія функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів виготовлення виробів під час реалізації комбінованих методів їхнього оброблення із використанням вібрацій та модифікування поверхневого шару твердим сплавом.

Наведені наукові результати є новими та до даного часу не були відомими.

3. Практична цінність отриманих результатів

Метою роботи є розроблення науково-прикладних основ аналізу процесів технологічного успадковування параметрів виробів за однорідністю їхнього матеріалу під час проектування оптимальної структури технологічних процесів виготовлення деталей машин для підвищення експлуатаційних характеристик і показників надійності. Мета роботи в цілому досягнута.

Найважливішими науковими результатами з точки зору практичної цінності є розроблена методика проектування структури технологічних маршрутів механічного оброблення поверхонь деталей машин, яка ґрунтується на узагальненому методологічному підході щодо оптимізації вибору методів і послідовності технологічних обробок за критерієм однорідності матеріалу для оцінки технологічного успадковування параметрів виробів. Поряд з тим запропонована методика визначення параметрів заготовки після етапу заготівельного виробництва за характеристиками гомогенності матеріалу, що використовується для контролю ступеня неупорядкованості його структури та подальшого проектування технологічного маршруту оброблення поверхонь деталей машин для принципів об'єктно- та функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів.

Розроблені автором методики дозволяють прогнозувати регламентовані показники надійності та пов'язані з ними експлуатаційні характеристики об'єктів машинобудівного виробництва та використовуються для деталей машин, які працюють в умовах силового навантаження та інтенсивного зношування.

Удосконалено технологічний процес виготовлення втулок циліндрових бурових pomp НБ-32, адаптовано технологічне обладнання об'ємного вібраційного оброблення для реалізації методу вібраційно-відцентрового оброблення деталей форми тіл обертання та розроблено експериментальний зразок технологічного оснащення, що забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик і ресурсу машинобудівних виробів.

Практичні результати досліджень впроваджені у виробництво на ПП «Техноресурс» (м. Калуш Івано-Франківської обл.), ТзОВ «Транссистем» (м. Львів); ТзОВ «ІнтерПЕТ» (м. Львів), що підтверджено актами впровадження.

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі Інституту механічної інженерії та транспорту Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

4. Апробація роботи та її відповідність планам наукових досліджень

Дисертаційна робота відповідає тематичному плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України та є частиною досліджень в рамках «Концепції Загальнодержавної цільової економічної програми розвитку промисловості на період до 2020 року» (розпорядження КМУ від 17.07.2013 р. № 603-р), «Деяким питанням визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності загальнодержавного рівня на 2017–2021 роки» (затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 28 груд. 2016 р. № 1056) і виконана у рамках держбюджетної тематики кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка»: «Розроблення методів вібраційного поверхневого оброблення виробів та керування віброактивністю технологічних машин» (2006–2007 рр., договір № М/178-2006 р.); «Дослідження динамічних процесів вібраційних технологічних систем» (2017–2021 рр., № держреєстрації 0117U004472).

Основні питання дисертаційної роботи були представлені, обговорені та одержали схвалення і підтримку на державних і міжнародних наукових і науково-технічних конференціях та симпозіумах.

5. Оцінка достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації

Теоретичні дослідження виконані на основі фундаментальних положень технології машинобудування, основних положеннях статистичних теорій міцності, методології функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів, теорії технічних систем, теорії надійності, теорії ймовірності та математичній статистиці.

Експериментальні дослідження проведені з використанням положень технології машинобудування, з використанням методу LM-твердості. Мікроструктурні дослідження інтенсивності (густини) технологічних дефектів у поверхневому шарі зразків здійснено на електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP. Вимірювання параметрів шорсткості втулок циліндрових бурових pomp НБ-32 проведено за допомогою вимірної комплексу.

В роботі використані сучасні ефективні інформаційні підходи до наукового пошуку. Дослідження проведено в лабораторних і виробничих умовах, а також із застосуванням математичного моделювання технологічних процесів. Обробка результатів досліджень проводилася із застосуванням сучасних методів.

Достовірність отриманих результатів підтверджена обґрунтуванням припущень і відповідності результатів розрахунку даних випробувань, відсутності логічних протиріч і відповідності фізичному змісту вирішуваних задач.

Обґрунтованість наукових результатів забезпечується коректністю поставлених мети та завдань досліджень і підтвердженою адекватністю запропонованих залежностей і розроблених моделей.

Висновки і рекомендації, які наведені в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими, їхня достовірність підтверджена експериментально. Автореферат за своїм змістом відповідає основним положенням, висновкам, які наведені в дисертаційній роботі, відображає її структуру. Автореферат за змістом, основними положеннями та висновками ідентичний з дисертацією.

6. Відповідність змісту автореферату та дисертаційної роботи і висвітлення результатів роботи в наукових виданнях

Автореферат у повній мірі відображає структуру дисертаційної роботи та за своїм змістом відповідає основним її положенням і висновкам. Оформлення автореферату виконано згідно існуючих вимог. Висновки, зазначені у дисертаційній роботі та в авторефераті, є ідентичними.

За результатами досліджень опубліковано 53 публікації, зокрема 3 статті – у наукових періодичних виданнях інших держав; 5 статей – у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до БД SCOPUS; 5 статей – у міжнародних і вітчизняних виданнях, внесених до інших міжнародних наукометричних баз; 11 публікацій у наукових фахових виданнях України (з них 2 одноосібні). 29 публікацій – це праці, матеріали та тези доповідей на міжнародних і всеукраїнських конференціях.

Обсяг публікацій у повній мірі відповідає вимогам до докторських дисертацій відповідно до пп. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів».

7. Структура, зміст та оформлення дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел із 320 найменувань на 32 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 432 сторінки, основний зміст роботи викладено на 340 сторінках.

Оформлення, зміст та структура дисертаційної роботи повністю відповідають вимогам до оформлення кваліфікаційних робіт.

У вступі подано актуальність теми, її зв'язок з науковими програмами, мету та завдання дослідження, наукову новизну та практичне значення, апробацію та особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено внесок вчених у розвиток науки та практики технологічного успадкування параметрів якості машинобудівних виробів під час проектування технологічних процесів їхнього виготовлення.

Проаналізовано технологічне забезпечення службового призначення машинобудівних виробів. Наведено класифікацію їхніх з'єднань і поверхонь.

Здійснено аналіз технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності машинобудівних виробів. Проведено оцінку традиційних підходів до технологічного забезпечення експлуатаційних характеристик деталей машин під час обробки різанням та оброблення тиском, що для сучасного машинобудування є недосконалими та потребують ґрунтовних досліджень.

Проаналізовано умови формування пошкоджуваності/пошкоженості виробів від тривалості процесів, які супроводжують стадії розроблення та експлуатації виробів, розглянуто сучасні методи аналізу пошкоджуваності матеріалу виробів.

Описано метод LM-твердості, розроблений під керівництвом академіка А. О. Лебедева у Інституті проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України, який використовують для визначення залишкового ресурсу деталей машин в процесі їхньої експлуатації без врахування технологічного успадкування при їхньому виготовленні.

Висунуто *гіпотезу* про існування критерію гомогенності (однорідності) матеріалу за розсіюванням твердості поверхневого шару деталей машин для аналізу технологічного успадкування під час виготовлення виробів для розроблення технологічних маршрутів оброблення їх поверхонь зокрема і технологічних процесів виготовлення об'єктів машинобудівного виробництва загалом при реалізації принципу функціонально-орієнтованого проектування.

У другому розділі визначено набір показників, які покладені в основу узагальненого методологічного підходу аналізу процесів технологічного успадкування параметрів якості виробів для забезпечення регламентованих показників надійності і пов'язаних з ними експлуатаційних характеристик за критерієм однорідності матеріалу.

Автором вперше розроблено структуру та методичне забезпечення системи аналізу формоутворення виробу (PSPAS-системи) під час проектування функціонально-орієнтованих технологій, яка відповідно до

виробничих умов використовується як складник автоматизованої системи аналізу формоутворення виробу (CAF-системи) або незалежно від неї.

Вперше розроблено критерій однорідності матеріалу (КОМ) для аналізу процесу технологічного успадковування під час формоутворення деталей машин обробкою різання, пластичним деформуванням та контролю властивостей поверхні за допомогою методу LM-твердості.

В процесі роботи розроблено та проаналізовано принципову схему дослідження впливу елементів технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь (заготовка)» на формування визначених технічними умовами параметрів якості заготовки деталі під час її виготовлення.

У **третьому розділі** реалізовано методики визначення параметрів заготовки після етапу заготівельного виробництва та проектування структури технологічних маршрутів механічного оброблення виконавчих поверхонь деталей машин, яка ґрунтується на узагальненому методологічному підході щодо оптимізації вибору методів і послідовності технологічних оброблень за критерієм однорідності матеріалу для оцінки технологічного успадковування параметрів виробів. Застосування цієї методики підвищує необхідні експлуатаційні характеристики, забезпечує регламентовані показники надійності об'єктів машинобудівного виробництва та використовується для деталей машин, які працюють в умовах силового навантаження та інтенсивного зношування

Досліджено структуру та інтенсивність формування технологічних дефектів у поверхневому шарі заготовок виробів на сучасному вимірному обладнанні – електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP.

Розроблено алгоритм раціонального вибору заготовки виробу на підставі критерію гомогенності матеріалу.

На підставі запропонованого алгоритму спроектовано оптимальні структури маршрутів оброблення виконавчих і спряжених поверхонь заготовок вала 6E4-2717.00.00.01, кронштейна підтримки штанги СП1-2110830 тролейбуса, призматичних виливок із алюмінієвого сплаву за показниками однорідності їхнього матеріалу: коефіцієнтами гомогенності Вейбулла (m), константами матеріалу A_m , технологічною пошкоджуваністю D і інтенсивністю зростання технологічної пошкоджуваності j_D .

У **четвертому розділі** реалізовано комбінований метод оброблення із використанням вібрацій та модифікування поверхневого шару твердим сплавом в рамках подальшого розвитку методології функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів виготовлення деталей машин.

Отримано математичні залежності для апроксимації ділянок кривої Аббота під час фрезерування кінцевими фрезами фірми «Sandvik» \varnothing 6–12 мм для напівчистового і чорнового фрезерування на вертикально-фрезерному центрі з ЧПК HAAS MINIMILL.

За принципом функціонально-орієнтованого проектування удосконалено технологічний процес виготовлення втулок циліндрових бурових pomp НБ-32 за рахунок адаптування обладнання об'ємної віброобробки для реалізації методу вібраційно-відцентрового зміцнення втулок циліндрових бурових pomp.

П'ятий розділ присвячено експериментальній апробації з технологічного забезпечення параметрів якості виробів як результату технологічного успадковування у технологічній системі «верстат – пристрій – інструмент – деталь (заготовка)» під час механічного оброблення.

Експерименти реалізовано з використанням математичного апарату ланцюгів Маркова та системи диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена. Розраховано інтенсивності відмов для елементів технологічного середовища «пристрій – інструмент – верстат» для кожної технологічної операції. В результаті розв'язку системи диференціальних рівнянь розраховано ймовірності забезпечення регламентованих параметрів заготовки виробу на кожній технологічній операції за умови недосягнення граничних станів металорізальним верстатом, пристроєм на металорізальному верстаті і металорізальним інструментом загалом та їх елементами зокрема. Крім того для кожної технологічної операції розраховано ймовірності незабезпечення регламентованих параметрів заготовки виробу на кожній технологічній операції за умови досягнення граничного стану елементами технологічного середовища.

Автором розв'язано оптимізаційну задачу синтезу режимів оброблення для проектування технологічного процесу виготовлення виробів. За результатами розв'язання оптимізаційної задачі у середовищі Mathcad встановлено граничні значення основного часу та визначено оптимальні режими оброблення для механічного оброблення корпусу редуктора К 02.106.

У висновках до роботи автором викладено найважливіші отримані наукові та практичні результати.

У додатках наведено підтвердження практичного значення отриманих результатів дисертаційної роботи та допоміжні матеріали дослідження.

8. Оцінка змісту дисертації

В цілому дисертаційна робота містить всі необхідні розділи, які достатньо повно розкривають проведені автором дослідження – від ґрунтового аналізу існуючих теоретичних підходів і технічних рішень до конкретних рекомендацій.

9. Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату

1. Занадто громіздкий перелік умовних позначень і термінів.

2. У першому розділі автором недостатньо висвітлено проблеми, які необхідно розв'язати при подальшому розвитку методології функціонально-орієнтованого проектування із врахуванням процесів технологічного успадкування властивостей матеріалу і параметрів поверхневого шару деталей машин.

3. У розділі 2 дисертації доцільно було б об'єднати рис. 2.8 і 2.9 і привести рекомендації стосовно оптимальної кількості використовуваних у виразах (2.78)–(2.81) дисертації і (22)–(25) автореферата показників для оцінки однорідності матеріалу деталей у технологічному ланцюжку «вхідна заготовка – кінцева деталь».

4. Експериментальні дослідження не містять повної інформації про метрологічні характеристики вимірювальних приладів. Окрім того незрозуміло, чому експериментальні дослідження розсіювання твердості матеріалу зразків на стаціонарному приладі ТР-5006 проведено методом Роквелла, а на переносному твердомірі ТД-42 фірми «Ультракон» – методом Брінеля.

5. Автором недостатньо аргументовано доцільність застосування ланцюгів Маркова для прогнозування ймовірності забезпечення регламентованих параметрів якості заготовки деталі із врахуванням впливу елементів технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь (заготовка)».

6. Назви розділів дисертаційної роботи є занадто громіздкими та передбачають розгляд широкого кола питань. Доцільно було б матеріал з основної частини дисертаційної роботи систематизувати для представлення у додатках.

7. У результатах дисертаційної роботи не приведено детальної економічної оцінки ефективності та доцільності впровадження розроблених методик, зокрема для проектування оптимальної структури функціонально-орієнтованих технологічних процесів.

8. Висновки до розділів громіздкі, містять недостатньо рекомендацій стосовно використання результатів дослідження на практиці.

9. Додатки занадто громіздкі, тому що містять типові розрахунки, які повторюються для різних режимів оброблення і різних способів отримання заготовок, дещо суперечлива нумерація додатків.

10. У тексті дисертації зустрічаються некоректності, неточності, стилістичні помилки.

Проте зазначені зауваження не знижують цінності дисертаційної роботи.

10. Загальний висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам

1. Дисертаційна робота Кусого Ярослава Маркіяновича «Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів» вирішує важливу наукову проблему розроблення узагальненого методологічного підходу для керування технологічним успадкуванням параметрів якості при проектуванні функціонально-орієнтованих технологічних процесів. Результати мають високу наукову та практичну цінність, можуть бути використані при проектуванні прогресивних технологічних процесів у різних галузях промисловості.

2. У 53 наукових працях повністю та змістовно представлено основні результати дисертаційної роботи.

3. Дисертаційна робота є завершеною, змістовною, виконаною відповідно до вимог ДАК і пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», за суттю відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування, а її автор заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора технічних наук.

Офіційний опонент:
професор кафедри
прикладної механіки та мехатроніки
Луцького національного
технічного університету,
заслужений діяч науки і техніки України,
доктор технічних наук, професор



В.І. Марчук



підпис засвідчую:
учений секретар
ЛУЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
доц. А.Земко