

Голові спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.06
у Національному університеті
«Львівська політехніка»
д.т.н., проф. Кузю І.В.

ВІДГУК

офіційного опонента 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)

1. Актуальність теми дисертації.

Вітчизняне машинобудування, незважаючи на об'єктивні та суб'єктивні причини (значне скорочення виробництва з огляду на втрату ринків збуту, нижчу конкурентоспроможність української продукції тощо), залишається пріоритетною галуззю промисловості та визначає загальний стан економіки України.

Ефективність технологічного забезпечення параметрів якості та експлуатаційних характеристик машинобудівних виробів безпосередньо пов'язано із стратегією їхнього проектування, виготовлення та подальшої експлуатації відповідно до їхніх життєвих циклів.

Переважаючими процесами пошкоджень, що призводять до відмов і руйнувань виробів та вимагають підвищених вимог до їхньої експлуатації, є невідомні деградовні процеси, які поєднують зношування, втому, корозію, старіння тощо. Процеси деградації матеріалу виробів характеризуються регламентованими показниками надійності, які, як і пов'язані з ними експлуатаційні характеристики, забезпечуються при виготовленні деталей машин реалізацією технологічних маршрутів оброблення їхніх поверхонь згідно двох основних принципів проектування: об'єктно- та функціонально-орієнтованим.

Згідно принципу об'єктно-орієнтованого проектування технологічних процесів розроблення технологічних маршрутів оброблення поверхонь виробів під час їх виготовлення реалізується за критеріями забезпечення точності оброблення, параметрів якості поверхневого шару та відхилення форми й взаємного розташування поверхонь при мінімальній технологічній собівартості.

Характерною особливістю принципу функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів є технологічне забезпечення найефективніших експлуатаційних характеристик виробів та їхніх показників надійності із дотриманням призначених конструктором параметрів точності та якості поверхонь.

Для принципу функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів умови експлуатації мають пріоритетний вплив на формування технологічних маршрутів оброблення поверхонь виробів і забезпечення параметрів їхньої якості згідно з технічними вимогами. Під час експлуатації вироби піддаються комплексному впливу зовнішніх чинників, серед яких знос є домінуючим видом пошкодження більшості машин, їхніх механізмів і деталей. За таких умов експлуатації необхідною умовою працездатності виробу є технологічне забезпечення структурної однорідності поверхневого шару функціональних поверхонь.

Розроблення методологічного підходу до визначення параметрів якості виконавчих (функціональних) поверхонь під час виготовлення деталей і аналізу процесу технологічного успадковування для забезпечення експлуатаційних характеристик відповідно до призначення та регламентованих показників надійності є актуальною науково-прикладною проблемою в технології машинобудування.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Робота над дисертацією проводилася на кафедрі робототехніки та автоматизованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка» відповідно до тематичного плану науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України і 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), «Деяких питань визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності загальнодержавного рівня на 2017–2021 роки» (затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 28 груд. 2016 р. № 1056). Отримані результати використано в спільному українсько-словацькому гранту «Розроблення методів вібраційного поверхневого оброблення виробів та керування віброактивністю технологічних машин» (2006–2007 рр., договір № М/178-2006 р.) і науково-дослідних роботах: «Дослідження динамічних процесів вібраційних технологічних систем» (2017–2021 рр., № держреєстрації 0117U004472) і «Дослідження впливу вібраційно-відцентрового зміцнення на параметри якості та показники надійності виробів» (2019–2021 рр., № держреєстрації 0118U007055).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих в дисертації, їх достовірність.

Теоретичні дослідження ґрунтуються на фундаментальних наукових положеннях статистичних теорій міцності, методології функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів, теорії технічних систем, теорії надійності, теорії ймовірності, математичній статистиці та методах планування експерименту.

Метод LM-твердості використано для розроблення раціональної структури технологічних маршрутів оброблення поверхонь виробів, аналізу технологічного успадковування матеріалу.

При математичному моделюванні впливу елементів технологічного середовища «верстат – пристрій – інструмент» на забезпечення регламентованих параметрів якості заготовки деталі використано математичний апарат опису марковських процесів зі складанням і розв'язком систем диференціальних рівнянь Колмогорова–Чепмена. Розв'язки рівнянь і автоматизацію інженерних розрахунків здійснено у середовищі Mathcad.

Експериментальні дослідження однорідності матеріалу досліджуваних виробів проведено на стаціонарному приладі TP-5006 методом Роквелла і на переносному твердомірі ТД-42 фірми «Ультракон» методом Брінеля за стандартними методиками. 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 розробленого вимірної комплексу. Оброблення експериментальних зразків проведено як на універсальному обладнанні з використанням універсальних металорізальних інструментів, так і на сучасному вертикально-фрезерному центрі з ЧПК HAAS MINIMILL із застосуванням кінцевих фрез фірми «Sandvik».

Кожний розділ дисертаційної роботи закінчується висновками. У кінці дисертації здобувач сформулював загальні висновки, у яких обґрунтував найвагоміші наукові положення та результати.

Таким чином, сформульовані в дисертаційній роботі положення, висновки та рекомендації є науково обґрунтованими та достовірними.

4. Новизна досліджень і отриманих результатів.

Основні наукові результати роботи полягають:

– у подальшому розвитку методології функціонально-орієнтованого проектування під час виготовлення машинобудівних виробів на основі аналізу процесів технологічного успадкування властивостей матеріалу оброблюваних деталей та реалізації комбінованих методів технологічних процесів обробок, у т.ч. із використанням вібрацій та модифікування поверхневого шару твердим сплавом;

– у розробленні критерію однорідності оброблюваного матеріалу, що комплексно враховує зміни властивостей поверхневого шару та параметрів якості поверхонь;

– науковому обґрунтуванні показників, які корелюють зі структурним станом оброблюваного матеріалу машинобудівного виробу та визначають параметр однорідності його структури за ступенем розсіювання характеристик твердості після механічного оброблення;

– розробленні структури та методичного забезпечення системи аналізу формоутворення виробу із врахуванням технологічного успадкування його параметрів якості, що є складовою автоматизованої системи аналізу формоутворення виробу (CAF-системи) або використовується незалежно від неї в процесі виготовлення деталей машин;

– науковому обґрунтуванні гіпотези про те, що впорядкованість структури заготовок із алюмінієвих сплавів відповідає стану структурно-

однорідного матеріалу, а сталевих заготовок – структурно-неоднорідного стану за ступенем розсіювання характеристик твердості, який визначається коефіцієнтами гомогенності Вейбулла;

– розробленні теоретико-експериментального підходу 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.

5. Значення для науки та практики висновків і рекомендацій.

З огляду на новизну отриманих у дисертації результатів досліджень, вони мають теоретичну та практичну цінність.

Запропонована автором методика визначення параметрів заготовки після етапу заготівельного виробництва застосовується для контролю ступеня деградації матеріалу заготовки виробу, результати якого слугують для раціонального вибору величини припуску при детальному розробленні технологічних процесів виготовлення деталей машин.

Розроблена методика проектування структури технологічних маршрутів механічного оброблення поверхонь деталей машин в рамках узагальненого методологічного підходу використовується для оптимізації вибору методів і послідовності технологічних оброблень за критерієм гомогенності матеріалу, що враховує технологічне успадковування параметрів виробів, підвищує їхні експлуатаційні характеристики та забезпечує регламентовані показники надійності.

Розроблений метод розрахунку показників надійності заготовок виробів і елементів технологічного середовища «верстат – пристрій – інструмент» на технологічних переходах і технологічних операціях, що дозволяє визначати ймовірності забезпечення параметрів деталей машин під час технологічного успадковування з урахуванням принципів об'єктно- та функціонально-орієнтованого проектування технологічних процесів.

В рамках подальшого розвитку функціонально-орієнтованих технологій удосконалено технологічний процес виготовлення втулок циліндрових бурових pomp НБ-32 та розроблено метод вібраційно-відцентрового оброблення під технологічне обладнання об'ємної вібраційної обробки, що забезпечує підвищення ресурсу машинобудівних виробів.

Результати роботи впроваджено у машинобудівне виробництво та навчання студентів за спеціалізацією 131.3 «Технології машинобудування» спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія».

6. Аналіз змісту роботи.

Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, додатків, списку використаних джерел із 320 найменувань на 32 сторінках. Основний зміст дисертації викладено на 340 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 432 сторінки; з них 72 рисунки та 36 таблиць по тексту, а також додатки на 92 сторінках.

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

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано науково-технічну проблему та запропоновано її нове вирішення. У зв'язку з цим сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну й практичну цінність отриманих результатів. Представлено особистий внесок автора у розв'язання проблеми. Наведено відомості про апробацію роботи та публікації основних результатів.

У *першому розділі* представлений аналіз літературних джерел в окресленому напрямку досліджень. Встановлено, що малодослідженими серед основних видів відмов об'єктів машинобудівного виробництва є відмови, які пов'язані із еволюцією технологічних дефектів і технологічним успадкуванням.

Проаналізовано сучасний стан проблеми технологічного успадкування, що слугує узагальненим показником для визначення технологічного успадкування (процесу) та технологічної спадковості (характеристики) машинобудівного виробу. Встановлено, що на сучасному етапі розвитку технології машинобудування більшість досліджень стосується технологічного успадкування в процесі механічного оброблення та складання виробів.

Відзначено перспективність використання методу LM-твердості, розробленого під керівництвом академіка А. О. Лебедева, для оцінки ступеня однорідності структури матеріалу виробів на різних стадіях їхніх життєвих циклів за розсіюванням результатів вимірювань його макротвердості (твердості).

Встановлено, що структура автоматизованої системи аналізу формоутворення (CAF-системи), яка є важливим елементом інтегрованої системи конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, потребує вдосконалення.

Сформульовано основні задачі, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

У *другому розділі* науково обґрунтовано показники, які покладені в основу узагальненого методологічного підходу аналізу процесів технологічного успадкування параметрів якості деталей машин для забезпечення їхніх експлуатаційних характеристик за критерієм однорідності (гомогенності) матеріалу.

Обґрунтовано в якості параметра для аналізу технологічного успадкування показників поверхонь оброблюваних виробів гомогенність матеріалу та визначено показники, які її визначають за розсіюванням характеристик твердості для контролю вхідної заготовки та проектування оптимальних технологічних процесів.

Розроблено структуру та методичного забезпечення системи аналізу формоутворення виробу (PSPAS-системи – Product Shaping/Processing Analysis System) в умовах самоорганізації технологічних систем, яка відповідно до типу та форми організації виробництва PSPAS-система є складовою автоматизованої системи аналізу формоутворення виробу (CAF-системи) або використовується незалежно від неї в процесі виготовлення машинобудівних виробів

Розроблено критерій однорідності матеріалу (КОМ) для аналізу технологічного успадковування параметрів якості деталей під час їхнього виготовлення методами різання, пластичного деформування та контролю властивостей поверхневого шару методом LM-твердості.

Розроблено та проаналізовано принципову схему дослідження впливу елементів технологічної системи ВПД(З) на формування регламентованих параметрів якості заготовки виробу на стадії його розроблення у життєвому циклі.

У третьому розділі розроблено взаємозв'язки та встановлено закономірності у різновидах підсистем аналізу технологічного успадковування за характеристиками матеріалу виробу під час проектування технологічних маршрутів та обробленні поверхонь сталевих та алюмінієвих заготовок деталей машин.

За розробленою у розділі 2 методикою реалізовано контроль параметрів сталевих і алюмінієвих заготовок деталей машин за критерієм гомогенності їхніх матеріалів.

Встановлено, що заготовки сталевих валів 6E4-2717.00.00.01 із сортового прокату і сталевих виливків кронштейна підтримки штанги СП1-2110830 тролейбуса відзначаються низькою впорядкованістю структури поверхневого шару та високою її схильністю до технологічної пошкоджуваності за малими розрахованими значеннями коефіцієнтів гомогенності Вейбулла $m=4,337-11,457 \rightarrow 0$ і значеннями констант матеріалу $A_m=0,756-0,812 < 0,9$.

Аналогічні результати підтверджуються і для призматичних виливків із алюмінієвих сплавів у кокіль та піщано-глинисті форми.

Досліджено структуру та інтенсивність формування технологічних дефектів у поверхневому шарі алюмінієвих виливків у піщано-глинисті форми на електронному мікроскопі ZEISS EVO 40XVP.

Представлено алгоритм раціонального вибору заготовки виробу на підставі критерію гомогенності її матеріалу.

На підставі запропонованого алгоритму розроблено раціональні структури маршрутів оброблення виконавчих і спряжених поверхонь заготовок вала 6E4-2717.00.00.01, кронштейна підтримки штанги СП1-2110830 тролейбуса, призматичних виливків 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 .

Встановлено, що технологічне успадковування властивостей матеріалу під час механічного оброблення сталевих виробів забезпечує перетворення структурно-неоднорідного матеріалу заготовок у структурно-однорідний матеріал деталей, що підтверджується збільшенням значень коефіцієнтів гомогенності Вейбулла (m) і констант матеріалу A_m . Водночас, технологічні обробки для алюмінієвих заготовок не змінюють початкового структурно-однорідного стану матеріалу при забезпеченні збільшення значень коефіцієнтів гомогенності Вейбулла (m) і зменшення значень технологічної пошкоджуваності D .

У четвертому розділі розроблено взаємозв'язки та встановлено закономірності у підсистемі модифікування поверхні під час поверхневого пластичного деформування (ППД), що функціонує в результаті взаємозв'язків із підсистемою ППД як складовим елементом підсистем аналізу формоутворення виробу методом пластичного деформування, модифікування поверхневого шару виробу і технологічного успадковування під час формоутворення виробу.

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.

Практику застосування принципу функціонально-орієнтованого проектування під час виготовлення втулок циліндрових pomp НБ-32 апробовано на етапі натурних випробувань, в результаті чого середнє напрацювання до відмови віброзміцнених втулок підвищилося у середньому на 65 %.

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.

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.

На підставі розробленої методики розраховано граничне значення ймовірності незабезпечення регламентованих параметрів якості деталей машин при їхньому механічному обробленні за умови досягнення граничного стану верстатом, пристроєм на верстаті та металорізальним інструментом становить 23,5 % або 0,235, що забезпечує коефіцієнт запасу точності 1,235.

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

7. До дисертаційної роботи та автореферату є такі зауваження:

1. Формулюючи мету роботи автор робить акцент на «забезпеченні експлуатаційних властивостей ...», що не завжди є пріоритетним для всіх виробів машинобудування, а, як правило, тільки для важконавантажуваних виробів із точними функціональними поверхнями. Тому в контексті суті даної роботи доцільно було б розглядати ще на етапі конструкторсько-технологічної підготовки виробництва процесу прогнозування експлуатаційних властивостей машинобудівних виробів відповідно до встановлених параметрів безвідмовності та довговічності.

2. В роботі недостатньо уваги приділено роз'ясненню суті та функцій підсистем, що є складовими запропонованої структури інтегрованої модернізованої «системи аналізу формоутворення виробу (PSPAS-системи)»

конструкторсько-технологічного підготовки виробництва (рис. 2.7, в авторефераті – рис. 2) та не приведено алгоритму їхнього функціонування під час виготовлення машинобудівних виробів..

3. Для характеристики гомогенності матеріалу, як параметра для аналізу технологічного успадковування характеристик поверхонь виробів, запропоновано коефіцієнт варіації матеріалу v (у дисертаційній роботі формули (1.32), (2.32), (2.34) та авторефераті - (15), (18), (23)). Доцільно було б динаміку зміни цього коефіцієнта для різних умов розглянути не тільки у додатку Д, а і в основному тексті роботи.

4. У дисертаційній роботі автор аналізує стадію розроблення виробу у його життєвому циклі. На етапах конструкторсько-технологічної підготовки виробництва і виготовлення машинобудівного виробу на враховується технологічне успадковування в процесі виготовлення його вхідної заготовки. Разом з тим, врахування спадковості на етапі заготівельного виробництва є важливим, оскільки тільки 25 % властивостей вихідної шихти передається заготовці, а близько 75 % формується під час заливки та кристалізації при охолодженні.

5. На мій погляд недостатньо обґрунтовано використання математичного апарату ланцюгів Маркова та системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена для забезпечення регламентованих показників надійності деталей машин за дотримання параметрів якості заготовки деталі з урахуванням впливу елементів технологічної системи «верстат – пристрій – інструмент – деталь (заготовка)» на визначеній технологічній операції виготовлення виробу.

6. У дисертаційній роботі доцільно було б розробити алгоритм (блок-схему алгоритму) проектування функціонально-орієнтованого технологічного процесу для реалізації запропонованого автором критерію однорідності матеріалу та показників, що характеризують його гомогенність.

7. При розв'язанні оптимізаційної задачі синтезу режимів оброблення для проектування технологічного процесу виготовлення виробів потрібно було б встановити граничні значення стійкості металорізального інструменту, як одного з найважливіших елементів технологічного середовища «пристрій – інструмент – верстат», а не обмежуватися тільки величинами її значень, визначених при розрахунках елементів режимів різання.

8. Загалом по тексту зустрічаються термінологічні синоніми, котрі в офіційній українській технічній термінології не використовуються, наприклад, пошкоджуваність, технологічне успадковування тощо.

8. Повнота викладення основних результатів дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 53 публікації, з яких: 3 – у наукових періодичних виданнях інших держав; 5 статей – у наукових періодичних виданнях інших держав та виданнях України, які включені до БД SCOPUS; 5 – у міжнародних і вітчизняних виданнях, внесених до інших міжнародних наукометричних баз; 11 публікацій у наукових фахових виданнях України (з них 2 одноосібні); 29 публікацій тез конференцій та симпозіумів.

Дисертаційна робота є підсумком досить тривалого авторського дослідження. Усі положення, які виносяться на захист, отримано автором особисто. Із наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які розроблені автором.

Автореферат повністю відображає зміст дисертації.

9. Заключна оцінка дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота «Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів» є закінченою науково-дослідною роботою, містить нові наукові положення та практичні результати та вирішує вагому науково-технічну проблему. Незважаючи на наведені вище зауваження, дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні. Основні теоретичні положення, експериментальні результати, які отримано при виконанні дисертації, а також сформульовані в ній практичні рекомендації достовірні та узгоджуються між собою.

Загалом, за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю та висвітленням основних наукових положень у професійних виданнях дисертаційна робота Кусого Ярослава Маркіяновича «Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів», представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування (галузь знань 13 – механічна інженерія 131 – Прикладна механіка), повністю відповідає вимогам пп. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567. Вважаю, що автор дисертації Кусий Ярослав Маркіянович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук зі спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів Сумського державного
університету



В.О.Залога

