

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора

Пермякова Олександра Анатолійовича

на дисертаційну роботу Ступницького Вадима Володимировича

«Науково-прикладні основи проектування функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування

1. Актуальність теми

Ідея інформаційної інтеграції всіх етапів життєвого циклу виробів машинобудування (PLM – *Product Life Management System*) від розроблення концептуальної ідеї конструкції і до утилізації виробів є базовою у всіх сучасних наукових дослідженнях. Ініціатором цього підходу стало міністерство оборони США у зв'язку з необхідністю підвищення ефективності управління і скорочення витрат на інформаційну взаємодію між державними установами та комерційними підприємствами при поставках озброєнь і військової техніки. В даний час ідея PLM сформувалася в цілий напрям в області ІТ і оформилася у вигляді міжнародних стандартів ISO, національних (державних) стандартів і нормативних документів найбільш розвинених країн: Великобританії, Німеччини, Франції, Швеції, Норвегії, Канади, Японії, Австралії та ін. Найбільш важливою особливістю використання цих систем є комплексна інтеграція всіх етапів виробництва та експлуатації виробів. Очевидно, що етап виготовлення продукції має, в даному випадку, домінуюче значення. Тобто, всі складові конструкторсько-технологічної підготовки виробництва повинні бути системно інтегровані і забезпечувати комплекс оптимальних експлуатаційних властивостей виробу.

Проте, аналіз сучасних автоматизованих CAD/CAE/CAPP/CAM систем дозволяє зробити висновок, що існуючі системи технологічної підготовки виробництва спрямовані виключно на забезпечення вимог геометричної

точності та якості окремих поверхонь, сформульованих на стадії конструювання виробів. Такі важливі параметри, як мікротопографія поверхонь та залишкові деформації, що виникають внаслідок механічного оброблення, не враховуються як чинник формування функціональних властивостей виробу. Це обумовлено тим, що ці параметри, як правило, є результатом експериментальних досліджень і складно підлягають аналітичному опису. Використання автоматизованої системи формоутворення поверхонь виробу (CAF – *Computer Aided Forming System*), що є основою побудови функціонально-орієнтованих технологій машинобудування, вирішує дану проблему і створює передумови підвищення ефективності конструкторсько-технологічного етапу забезпечення життєвого циклу продукції.

У зв'язку з цим, тематика наукових досліджень Ступницького Вадима Володимировича, представлена у дисертаційній роботі «Науково-прикладні основи проектування функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу» є актуальною і такою, що спрямована на вирішення важливої науково-прикладної проблеми вдосконалення систем підтримки життєвого циклу виробів машинобудування. Ця тематика відповідає п.10 паспорту спеціальності 05.02.08. «Технологія машинобудування», затвердженою постановою президії ВАК України від 14.06.2007 за № 47-08/6.

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

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів підтверджується використанням апробованих в технології машинобудування методів моделювання, проектування й оптимізації технологічних процесів. Дослідження напружено-деформованого стану поверхонь деталей в процесі їх формоутворення виконано на основі аналізу результатів реологічного імітаційного моделювання процесів різання, реалізованого із застосуванням теорії скінченних елементів. Для розробки і обґрунтування методів оптимізації

структури та параметрів функціонально-орієнтованих технологічних процесів використано методи багатокритеріального аналізу, варіаційного числення, обчислювальної математики та їхні узагальнення й модифікації, що забезпечують збіжність ітераційних процесів розв'язання рівнянь та їх систем, які виникають внаслідок формулювання відповідних варіаційних задач. Аналітико-числові та числові методи, які застосовуються для розв'язання поставлених оптимізаційних задач, є обґрунтованими, їх збіжність встановлена на основі існуючих методик та отриманих числових результатів. Достовірність отриманих результатів моделювання залишкових напружень та деформацій підтверджується узгодженням з показниками, що одержані при проведенні аналогічних досліджень і відомі з літературних джерел, та результатами експерименту на основі методу акустичної тензометрії, що базується на зміні швидкості поширення релеївських поверхневих ультразвукових хвиль.

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 Ступницького В.В. 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, серед яких, на мій погляд, найважливішими є такі:

1. Вперше сформульовані та практично реалізовані принципи побудови функціонально-орієнтованого технологічного процесу, що визначають пріоритетність формування його структури та параметрів для підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин при дотриманні заданих конструктором параметрів точності та якості поверхонь, ресурсу роботи, а також організаційних та техніко-економічних обмежень.

2. Вперше створені концептуальні засади та реалізоване алгоритмічне забезпечення автоматизованої технологічної системи формоутворення деталей, в основі якої лежить проблемно-орієнтований аналіз імітаційної реологічної моделі окремих технологічних операцій та переходів, а також комплекс аналітично-прикладних програм формування параметрів точності, деформаційних, термодинамічних, мікрогеометричних, структурно-фазових параметрів оброблюваних поверхонь. Застосування такої системи дозволило реалізувати формалізацію зв'язків між структурою технологічного процесу і його параметрами та домінуючими експлуатаційними властивостями деталей методами паралельного інжинірингу.

3. Вперше розроблені науково-методичні основи імітаційного моделювання мікрогеометричних та залишкових напружено-деформаційних параметрів поверхонь деталей в результаті їх механічного оброблення з наступним аналізом впливу результатів моделювання на функціональні властивості виробу в умовах його потенційної експлуатації.

4. Вперше запропоновано методологію розв'язання проблеми структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу на основі розрахунку інтегрального кваліметричного показника, який системно характеризує функціональні властивості навантажених поверхонь виробу і отримується як результат формування залишкових напружень та деформацій та мікротопографії поверхневого шару.

4. Значення одержаних результатів для науки і практики

Наукове значення результатів роботи полягає в наступному:

1. Розвинуті науково-прикладні основи проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення виробів машинобудування на основі впровадження методології функціонально-орієнтованого проектування технологій механічного оброблення деталей.
2. Засобами паралельного інжинірингу реалізовано рекурентний та ітераційний зв'язок між етапом технологічного проектування та етапами конструкторського та інженерного аналізу виробів машинобудування.
3. Розвинуто теорію імітаційного скінченно-елементного моделювання процесів формоутворення виробів, обґрунтувавши вибір найбільш ефективного критерію руйнування при різанні, методику формування градієнтної лагранжевої або ейлерової сітки для вирішення різнопланових технологічних задач, доцільність та ефективність використання різних вирішувачів матричних систем (метод розріджених матриць або систему Sparse)
4. Проведені ґрунтовні дослідження впливу параметрів технологічних операцій та переходів та геометрії інструменту на показники термодинамічного та напружено-деформованого стану оброблюваної заготовки з найбільш розповсюджених машинобудівних матеріалів.
5. Вдосконалена методика визначення складових мікронерівності профілю завдяки впровадженню результатів аналізу імітаційного моделювання геометрико-кінематичної, вібраційної та деформаційної складової шорсткості поверхні.
6. Розвинуто деякі положення інженерії поверхні щодо методики визначення залишкових напружень та деформацій поверхневого шару в результаті силового та температурного процесів, що супроводжують процес механічного оброблення деталей.

7. Набула подальшого розвитку методологія структурно-параметричної оптимізація технологічних процесів механічного оброблення виробу на основі впровадження комплексного кваліметричного критерію, що системно характеризує вплив технологічних чинників на домінуючі експлуатаційні властивості об'єкта виробництва та оригінальні евристичні правила розв'язання поставленої задачі.

Практичне значення одержаних результатів:

На основі отриманих теоретичних результатів та розроблених числових методів створено алгоритми та програмне забезпечення для розв'язання низки прикладних задач:

1. Методичне та алгоритмічне забезпечення автоматизованої системи формоутворення деталі (*CAF – Computer Aided Forming System*), в основу якої покладено аналіз імітаційної реологічної моделі окремих технологічних переходів і комплекс функціональних модулів та аналітично-прикладних програм формування точнісних, термічно-деформаційних, мікрогеометричних та структурно-фазових параметрів оброблюваних поверхонь.

2. Практичні рекомендації щодо побудови ефективної імітаційної моделі формоутворення виробів, реалізованої із застосуванням програмних продуктів, що використовують метод скінченних елементів (*DEFORM, Abaqus, AdvantEdge, LS-DYNA*)

3. Практичні рекомендації щодо проведення експериментальних досліджень залишкових напружень та деформацій методом акустичної тензометрії.

4. Алгоритм та програмний модуль для розв'язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі формування структури та параметрів функціонально-орієнтованого технологічного процесу.

5. Результати досліджень впроваджені на підприємствах «Закарпатське вертолітне виробниче об'єднання» Державного концерну «Укроборонпром» та на ТЗОВ «ІнтерПЕТ» (м.Львів) і ТДВ «Львівагропроект». Окремі розробки використовуються у навчальному процесі Національного університету

«Львівська політехніка» при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт за спеціальністю 8.050502.01.

5. Повнота викладення основних результатів роботи

Основні результати дисертаційної роботи в достатній мірі опубліковано в 59 наукових працях, із яких 27 статей у наукових фахових виданнях України; 6 статей у закордонних наукових журналах; 22 - матеріали міжнародних та вітчизняних науково-технічних конференцій та симпозіумів. 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 експлуатаційних властивостей деталей машин шляхом формування комплексу оптимальних параметрів якості поверхонь на засадах функціонально-орієнтованих технологій механічного оброблення виробів, проектування яких здійснюється засобами паралельного інжинірингу.

6. Оцінка змісту дисертації і її завершеність в цілому

Робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку літератури з 327 найменувань та додатків, в яких наведено результати моделювання та акти використання результатів роботи. Загальний обсяг роботи складає 535 сторінок, з них 312 сторінок основного тексту (без врахування рисунків та таблиць на окремих аркушах), 132 рисунків і 14 таблиць. 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** на основі використання аналізу існуючих публікацій проаналізовано стан розвитку технологічного забезпечення інтегрованих CAD/CAE/CAPP/CAM-систем та розробки методів прогнозуючого моделювання процесів механічного оброблення виробів.

Другий розділ присвячений методології проектування функціонально-орієнтованого технологічного процесу, що включає в себе вирішення ряду проблем, пов'язаних з адекватним імітаційним моделюванням напружено-деформованого стану деталей в процесі їх формоутворення: формалізацією процесів кінетики дислокацій методом скінчених елементів; використання різнорідних критеріїв руйнування та методів вирішення задач моделювання. результати аналізу напружено-деформованого стану поверхонь в процесі їх формоутворення є базою для моделювання мікротопології поверхонь, залишкових напружень та деформацій. Таким чином реалізується формалізація прогностичних зв'язків між структурою та параметрами технологічного процесу оброблення деталей та домінуючими експлуатаційними властивостями деталей (забезпечення зносостійкості, втомної міцності, корозійної стійкості, триботехнічної якості рухомих спряжень, мастилоутримуючої здатності поверхневого шару тощо).

У **третьому розділі** автор наводить результати дослідження імітаційних моделей впливу силових, температурних та деформаційних параметрів технологічних операцій та переходів та геометрії інструменту на показники термодинамічного та напружено-деформованого стану оброблюваної заготовки з найбільш розповсюджених машинобудівних матеріалів. Цей розділ має методологічне значення. Аналіз такого проблемно-орієнтованого імітаційного моделювання є основою для побудови прогнозуючих моделей впливу структури та параметрів технологічного процесу на формування комплексу експлуатаційних властивостей виробу.

У **четвертому розділі дисертації** наводяться моделі формування параметрів мікрогеометрії та якості поверхонь деталей машин деталей у автоматизованій технологічній системі формоутворення

П'ятий розділ дисертацій присвячений вирішенню проблеми структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу. Наведені результати математичного моделювання основних експлуатаційних властивостей (реакцій) функціональних поверхонь трибомеханічних систем з врахуванням технологічних чинників та узагальнений алгоритм структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу

У **шостому розділі** наведений узагальнюючий приклад ефективності застосування теоретичних положень вибору оптимального функціонально-орієнтованого технологічного процесу механічного оброблення виштовхувача прес-форми за інтегральним кваліметричним показником, що системно характеризує зносостійкість, втомну міцність, триботехнічну якість спряжень, корозійну стійкість та параметр забезпечення несучої здатності мастильного шару і отримується як результат формування в процесі формоутворення мікротопології поверхневого шару, залишкових напружень та деформацій.

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

Таким чином, дисертація Ступницького В.В. 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

1. У розділі 2.1. (стор.73) та в узагальненому алгоритмі функціонування САФ-системи у структурі інтегрованої системи технологічної підготовки

виробництва (CAD/CAPP/CAM) на рис.2.2. вказується, що моделі зношування різального леза та модель наростоутворення на інструменті, в сукупності з іншими моделями, формують вихідні дані для роботи автоматизованої системи формоутворення. Проте, в подальшому ці моделі не розглядаються в дисертаційній роботі, хоча є публікація автора в фаховому журналі, де ці дослідження наводяться [Ступницький В.В. Дослідження процесів наростоутворення та зношування різального інструмента за допомогою реологічного моделювання процесу різання / В.В. Ступницький, Я.В. Долиняк // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технології в машинобудуванні. – Х. : НТУ «ХП», 2015. – № 4 (1113). – С. 177-180]

2. Автор неодноразово стверджує, що імітаційне моделювання процесів формоутворення надає можливість оперативного розрахунку напружено-деформаційного та термодинамічного стану оброблюваних поверхонь (стор 38, 49, 57, 65). Проте, реологічне моделювання лише 1 сек процесу різання на сучасному комп'ютері високої продуктивності триває не менше 2-3 годин. Як, в такому випадку, можливо ефективно вбудувати САF-підсистему у інтегровану систему конструкторсько-технологічної підготовки виробництва?

3. У висновках до дисертаційної роботи, здобувач стверджує, що в роботі наведені рекомендації щодо вибору найбільш ефективного формату вирішувача МСЕ аналізу (в т.ч. для матриць нерегулярної структури) – Sparse або Skyline (Conjugate Gradient). Проте, такі висновки наводяться апіорно (стор.90). Не зрозуміло, чому автор стверджує, що для вирішувача Sparse максимальна межа складає 140 тис. елементів? Результати досліджень при використанні цих важливих інструментаріїв імітаційних моделей в дисертаційній роботі відсутні.

4. Описаний в розділі 2 вибір критерію руйнування та градієнтності лагранжевої сітки слід було формалізувати – наприклад, у вигляді алгоритму прийняття рішень. У випадку прийнятті рекомендацій, описаних у дисертації, ефективність побудови імітаційної моделі знову ж таки залежатиме від кваліфікації проектувальника.

5. В дисертаційній роботі використовується вираз «мікротопологія поверхні». Проте, більш прийнятним в технічній літературі є вираз «мікротопографія поверхні».

6. В процесі аналізу залишкових напружень та деформацій (розділ 4) автором не враховувалось, як на формування цих параметрів впливали напруження, отримані з попередніх переходів, або під час отримання заготовки. Крім того, не зрозуміло, як ці величини а також вплив зміни текстури поверхневого шару враховувались при виконанні експериментальних досліджень.

7. На рис.5.2 наведений фрагмент підпрограми лінійного нормування кваліметричних критеріїв та розрахунку функції мети структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу, а на рис.6.13 аналогічний фрагмент оптимізації технологічного процесу для прикладу фінішного оброблення виштовхувача прес-форми. Проте, у цих програмах є різні критерії оптимізації. Як це пояснити?

8. Важливим результатом дисертаційної роботи, на мою думку, є використання в оптимізаційній моделі відносних показників експлуатаційної якості деталей машин, що визначаються формуванням показників мікротопографії оброблюваних поверхонь, залишкових напружень та деформацій, залежних від структури та параметрів технологічного процесу. Проте, ці показники здобувач цілком нелогічно розкриває лише в 6 розділі – при розгляді узагальненого прикладу багатокритерійної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу. Слід було б описати ці важливі дослідження у 5 розділі, де наводиться узагальнений алгоритм оптимізації.

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 Ступницького Вадима Володимировича на тему “Науково-прикладні основи проектування функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу”, що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування, є завершеною науково-дослідною роботою і містить нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують актуальну наукову проблему розвитку науково-прикладних основ проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення виробів машинобудування, що має суттєве значення для машинобудування України. Робота відповідає формулі та напрямам досліджень паспорту наукової спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування (п.п. 2, 3, 6 та 10) 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 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент

професор, доктор технічних наук,

професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів

Національного технічного університету

«Харківський політехнічний інститут»

Пермяков О.А.

Підпис *проф. Пермякова О.А.*
 ЗАСВІДЧУЮ
 ВЧЕННИЙ СЕКРЕТАР *[підпис]*

ЗАЙЦЕВ Ю.І.

