

ВІДГУК
офіційного опонента, доктора технічних наук, професора
Луціва Ігоря Володимировича
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 дисертації

Актуальність дисертаційної роботи визначена потребою розробки надійних інженерних методів прогнозування експлуатаційних властивостей виробів машинобудування, що враховують вплив модифікованого поверхневого шару деталі після технологічного оброблення.

У елементах конструкцій високонавантажених деталей машин та механізмів втрата працездатності визначається зношуванням, а також втомним або корозійним руйнуванням функціонально важливих поверхонь. При цьому інтенсивність цих процесів залежить не тільки від умов роботи, але й від сформованого на стадії виготовлення поверхневого шару цих поверхонь. Ефективним напрямом вдосконалення подібної технології є створення методів проектування технологічних процесів виготовлення виробів, що мають забезпечити їх заданий ресурс функціонування в складі машини чи механізму. Це зумовлює необхідність знаходження зв'язку між ресурсом, довговічністю і технологічними чинниками, які їх забезпечують: методами оброблення, режимами оброблення, технологічними маршрутами. Існує проблема розрахункової оцінки технологічного впливу на характеристики експлуатаційної якості (зносостійкості, втомної міцності, корозійної стійкості, мастилоутримуючої здатності функціональних поверхонь тощо). Ці характеристики необхідно визначати на будь-якому етапі технологічного процесу, при будь-якому режимі оброблення для їх порівняння і визначення оптимального варіанту, що забезпечує інтегральний комплекс кваліметричних показників виробу. Експериментальним шляхом отримання такого різноманіття даних є неможливим або дуже дорогим, тому потрібна розробка надійних розрахункових методів.

Для визначення впливу структури та параметрів технологічного процесу на показники якості поверхонь в існуючих джерелах наводяться різноманітні розрахункові залежності, проте визначення параметрів якості в них виконується за допомогою або узагальнених поправочних коефіцієнтів, або регресійних рівнянь, визначених для окремих випадків на основі опрацювання результатів експериментальних досліджень. Це свідчить про те, що теоретичні та практичні рекомендації забезпечення експлуатаційних властивостей на основі проектування ефективних технологій формоутворення поверхонь потребують вдосконалення та систематизації. Перспективним для вирішення даної проблеми є використання методів скінченних елементів для визначення напружено-деформованого стану оброблюваних поверхонь з подальшим використанням результатів такого моделювання для прогнозування основних функціональних властивостей виробу при можливих умовах його експлуатації. Реалізацію технологій за такою методологією автор дисертації визначає як функціонально-орієнтовану. Складність такого підходу зумовлюється відсутністю формалізованого ітераційного взаємозв'язку між етапами інженерного аналізу та технологічного

проектування. Запропонована здобувачем ідея вирішення даної проблеми засобами паралельного інжинірингу відзначається новизною та практичною доцільністю.

Таким чином, вважаю, що представлена та реалізована в дисертаційній роботі Ступницького В.В. концепція проектування функціонально-орієнтованих технологічних процесів засобами паралельного інжинірингу спрямована на вирішення актуальної науково-практичної проблеми забезпечення високих експлуатаційних показників виробів машинобудування.

2. Наукова новизна отриманих результатів

Автором дисертаційної роботи вперше:

- запропоновано та практично-реалізовано єдиний цілісний підхід до проектування технологічних процесів механічного оброблення виробу, що спрямований не лише на забезпечення заданих конструктором параметрів точності та якості поверхонь, але, перш за все, на формування комплексу домінуючих експлуатаційних властивостей виробу (зносостійкості, втомної міцності, мастилоутримуючих і антикорозійних властивостей функціональних поверхонь);
- розвинуто ідею паралельного інжинірингу для реалізації рекурентного та ітераційного взаємозв'язку крос-функціональних етапів конструкторсько-технологічної підготовки виробництва: геометричного моделювання виробів (*CAD*-система), імітації та інженерного аналізу умов їх майбутньої експлуатації (*CAE*-система), проектування структури та параметрів технології їх виготовлення (*CAPP*-система) та програмування механічного оброблення на верстатах з ЧПК (*CAM*-система);
- для вирішення задач, пов'язаних з формуванням мікрогеометрії поверхонь та залишкового напружено-деформованого стану оброблених виробів використано аналіз результатів імітаційного реологічного моделювання процесів формоутворення і проведений проблемно-орієнтований аналіз використання різнопланових критеріїв руйнування поверхонь, методів формування градієнтної сітки та способів вирішення математичних імітаційних моделей, побудованих на основі методу скінчених елементів;
- на основі врахування результатів імітаційних моделей різання побудована та досліджена нелінійна динамічна модель автоколивань технологічної системи, що враховує розбалансування внутрішньосистемних чинників процесу формоутворення (силових та температурних) та регенеративний механізм збудження коливань при русі інструменту по поверхні заготовки, утвореної на попередньому переході;
- реалізована методика імітаційного моделювання алотропних перетворень в процесі формоутворення для визначення залишкових напружень II роду, що є еквівалентними середньостатистичній густині різних структурних фаз у відповідності до їх відсоткового вмісту у складі матеріалу обробленої поверхні з поліфазною структурою;
- запропонований метод формалізованого аналізу опосередкованого впливу структури та параметрів технологічних процесів на узагальнений кваліметричний показник функціональної якості виробів машинобудування;
- розроблений комплекс технологічної складової локальних критеріїв - інтенсивності зношування функціональних поверхонь, коефіцієнту запасу за показником втомної міцності, показника динамічної якості трибоспрямижень, коефіцієнту запасу рідинного трибоконтакту функціональних поверхонь деталі та параметру корозійної стійкості (фретінг-корозії) в умовах потенційного функціонування виробу в залежності від варіативної структури та параметрів функціонально-орієнтованого технологічного процесу.

3. Значущість отриманих результатів для науки і практичного використання

Значущість отриманих результатів для науки та практики полягає у розвитку теоретичних положень технології машинобудування та математичного моделювання процесів формоутворення поверхонь виробів для підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин шляхом формування комплексу оптимальних параметрів якості поверхонь на засадах функціонально-орієнтованих технологій їх механічного оброблення.

Практичне значення роботи полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних результатів та розроблених методів досліджень для розв'язання низки прикладних задач:

1. Розроблено методичне та алгоритмічне забезпечення автоматизованої технологічної системи формоутворення деталей (CAF – Computer Aided Forming System), в основі якої лежить проблемно-орієнтований аналіз імітаційної реологічної моделі окремих технологічних переходів та комплекс аналітично-прикладних програм формування параметрів точності, деформаційних, термодинамічних, мікрогеометричних, структурно-фазових параметрів оброблюваних поверхонь.

2. Розроблені та обґрунтовані для практичного використання математичні імітаційні моделі формування напружено-деформованого та термодинамічного стану заготовки в процесі її механічного оброблення.

3. Із використанням розроблених алгоритмів та програм проведено дослідження оброблюваності основних репрезентативних матеріалів деталей у випадку застосування різноманітних геометричних параметрів різальних інструментів.

4. Запропонована методика експериментального аналізу впливу структури та параметрів технологічного процесу на формування залишкових напружень та деформацій на основі використання явища зміни швидкості проходження ультразвукових хвиль по дослідних взірцях, що підлягали обробленню.

5. Розроблені алгоритми структурної та параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу на основі розрахунку відносних показників експлуатаційної якості деталей машин, що визначаються формуванням показників мікротопології оброблюваних поверхонь, залишкових напружень та деформацій, залежних від структури та параметрів технологічного процесу

6. Подані в дисертації методики дозволили провести системний аналіз впливу структури та параметрів технологічного процесу на формування залишкових напружень та деформацій поверхонь після механічного оброблення деталей авіаційної техніки та параболічних антен з титано-нікелевих та алюмінієвих сплавів для ДП «Закарпатське вертолітне виробниче об'єднання» Державного концерну «Укроборонпром». Результати досліджень також впроваджені на ТЗОВ «ІнтерПЕТ» для підвищення якості та продуктивності оброблення деталей пресформ та штампів та на ТДВ «Львівагропроект» для підвищення ефективності технологічних процесів механічного оброблення деталей машин та механізмів сільськогосподарського призначення. Матеріали дисертаційної роботи використовуються у лекційних курсах кафедри технології машинобудування Національного університету «Львівська політехніка» та при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт за спеціальністю 8.050502.01.

4. Апробація роботи та її відповідність планам наукових досліджень

Важливість та перспективність отриманих результатів підтверджується також тим, що робота виконувалася в рамках держбюджетної роботи МОН України: «Проектування

функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу» (№ держреєстрації 0113U006297), де автор був керівником проекту; та робіт за міжнародною НДКР «Вимірювання та моделювання залишкових напружень у зразках сплавів» (договір № NA/16/2015/0500) за замовленням Жешувської політехніки (Республіка Польща), де автор був відповідальним виконавцем. Автор дисертації також був відповідальним виконавцем низки науково-дослідних тем, результати яких знайшли впровадження на виробництві в Україні та науково-дослідних установах за кордоном, що підтверджено актами про впровадження.

Основні питання дисертаційної роботи були представлені, обговорені та одержали схвалення на 22-х міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях та симпозіумах. У повному обсязі дисертаційна робота доповідалась на розширеному науковому семінарі кафедри технології машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій та достовірність результатів досліджень

Основні наукові результати дисертації в цілому обґрунтовані теоретично та підтверджені широким обсягом досліджень на основі імітаційного математичного моделювання та експериментальних досліджень, які реалізовані в процесі розробки конкретних функціонально-орієнтованих технологічних процесів різноманітної структури та режимів механічного оброблення деталей із різнорідних матеріалів та із застосуванням інструментів з різними геометричними параметрами.

Автором коректно застосовано для теоретичного обґрунтування наукових положень та висновків дисертаційної роботи: метод скінчених елементів - для побудови імітаційних реологічних моделей формоутворення виробів; метод планування модельних та натурних експериментів і опрацювання їх результатів на основі теорії багатофакторного аналізу - для аналізу параметрів деформаційних, термодинамічних, мікрогеометричних, структурних та фазових параметрів оброблюваних поверхонь; теоретичні основи багатокритеріальної оптимізації – для побудови моделей вибору найбільш ефективного структурно-параметричного варіанту функціонально-орієнтованого технологічного процесу; положення математичної логіки - для формулювання евристичних процедур при вирішенні задач оптимізації; методи акустичної тензометрії – для дослідження залишкових напружень та деформацій оброблених поверхонь виробів; чисельні методи розв’язування систем диференціальних рівнянь та чисельне інтегрування – для вирішення задач, пов’язаних з динамічним моделюванням процесу різання.

Обґрунтовані теоретичні результати співставлені з відомими в літературних джерелах, відповідними результатами комп’ютерного моделювання та результатами чисельних розрахунків, а також з експериментальними даними (щодо залишкових напружень та деформацій оброблених поверхонь виробів). Результати впровадження теоретичних положень та обчислювальних даних є достатніми для підтвердження наукових положень дисертаційної роботи.

Автором висунуто та доведено низку теоретичних положень стосовно розвитку науки про інженерію поверхні, що підкреслює теоретичну значущість роботи.

В цілому наукові положення і висновки, сформульовані в дисертаційній роботі, є обґрунтованими теоретично та підтверджені практичним впровадженням стосовно

розробки ефективних технологічних процесів виготовлення виробів військово-технічного призначення, інструментального виробництва та деталей сільськогосподарської техніки.

Достовірність основних наукових положень і одержаних результатів забезпечується використанням фізично обґрунтованих математичних моделей та результатами їх досліджень на адекватність. Аналітико-чисельні методи, які застосовуються для розв'язання поставлених оптимізаційних задач, є обґрунтованими, їх збіжність встановлена на основі доведених тверджень та отриманих числових результатів досліджень функціонально-орієнтованого технологічного процесу оброблення деталей прес-форм (розділ 6 дисертаційної роботи). Достовірність отриманих результатів підтверджується також співпаданням теоретичних висновків з результатами чисельних розрахунків. Частина результатів узгоджується з тими, що одержані при проведенні аналогічних досліджень і відомі з літературних джерел.

6. Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах

Основні наукові результати дисертації відображені в 59 публікаціях, з них 6 - у закордонних періодичних виданнях, 4 - у вітчизняних виданнях, внесених до міжнародних наукометричних баз, 27 публікацій - у наукових фахових виданнях України (з них 18 одноосібних), 22 публікації тез конференцій та симпозіумів. В опублікованих працях викладено в повному обсязі основні отримані результати. Особистий внесок здобувача в сумісних публікаціях є підтвердженим. Рівень та кількість публікацій, рівень апробацій відповідають вимогам, що ставляться до докторських дисертацій в Україні.

7. Структура та зміст дисертації та автореферату

Дисертацію викладено на 312 сторінках, що відповідає вимогам до оформленню докторських дисертацій з технічних наук. Робота складається зі вступу, основного змісту, що включає шість розділів, висновків, списку використаних джерел з 327 найменувань та додатків, де представлено результати досліджень і акти впровадження. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 535 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, висвітлено мету і задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, сформульовані наукова новизна та практична цінність роботи.

У першому розділі на основі використання аналізу існуючих публікацій проаналізовано стан розвитку інтегрованих систем конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівного виробництва. Досліджені сучасні тенденції розвитку технологічного забезпечення інтегрованих *CAD/CAE/CAPP/CAM*-систем та розробки методів прогнозуючого моделювання процесів механічного оброблення виробів. Визначено основний напрямок наукових досліджень дисертації та окреслено імітаційні та чисельні методи, які застосовані при розв'язанні задач структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу.

У другому розділі наведено засадничі положення, які використовуються при створенні комплексу математичних моделей *CAF*-системи (*Computer Aided Forming*), концепція якої вперше розроблена у дисертаційній роботі. В основу цієї системи 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. Базовими програмними продуктами *CAF*-системи є такі відомі

програмні комплекси як *DEFORM*, *Abaqus*, *AdvantEdge*, *LS-DYNA*. Математичні моделі ґрунтуються на використанні методу скінчених елементів. Проведено аналіз та вибір критерію локального руйнування при різанні

У третьому розділі розглянуто аналіз впливу силових та температурних чинників технологічних переходів механічного оброблення деталей на напружено-деформований стан заготовки в зоні формоутворення методом скінчених елементів. На основі аналізу результатів реологічних імітаційних моделей різання проведений аналіз впливу геометричних параметрів різального інструменту на формування технологічних параметрів різання.

Четвертий розділ присвячений розвитку технологічних основ формування параметрів мікрогеометрії та якості поверхонь деталей машин як результат роботи автоматизованої технологічної системи формоутворення. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано методику дослідження моделі утворення мікронерівності поверхні з урахуванням пластичної течії матеріалу при різанні та проведений аналіз впливу технологічних чинників на формування залишкових напружень I та II роду. Наведені результати експериментальних досліджень залишкових напружень та деформацій методом ультразвукової акустичної тензометрії.

П'ятий розділ присвячений використанню методології структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу на основі забезпечення засобами паралельного інжинірингу комплексу функціонально-експлуатаційних властивостей виробу при дотриманні заданих конструктором параметрів точності та якості поверхонь, ресурсу роботи, а також організаційних та техніко-економічних обмежень. Задача синтезу формулюється у варіаційній постановці. Розглядаються математичні моделі зносостійкості, втомної міцності, триботехнічної якості спряжень, корозійної стійкості та забезпечення мастилоутримуючих параметрів функціональних поверхонь виробу з врахуванням технологічних чинників. Розроблено методику структурно-параметричної оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу, яку реалізовано в алгоритмічному вигляді.

У шостому розділі сформульовано та розв'язано ряд оптимізаційних задач, які виникають при формуванні та структурно-параметричній оптимізації функціонально-орієнтованого технологічного процесу оброблення деталі на основі узагальненого прикладу механічного оброблення деталей прес-форм. Наведені порівняльні характеристики альтернативних варіантів фінішного оброблення виштовхувача прес-форми: токарного оброблення інструментом на основі CNB з керамічною зв'язкою та викінчувального шліфування алмазним кругом на металічній зв'язці та шліфування алмазним кругом АСВ 125/100 М5-2. В результаті проведених досліджень доведена адекватність результатів аналітичного та імітаційного моделювання реальним процесам. Доведено, що формування функціонально-орієнтованого технологічного процесу створює передумови забезпечення більш ефективної експлуатаційної якості виробів машинобудування.

Автореферат відображає суть основних наукових положень, практичну значущість та висновки.

Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами, що ставляться до докторських дисертацій в Україні, хоча по тексту зустрічаються стилістичні і термінологічні неточності.

8. Зауваження до роботи

1. При формуванні змісту 1 та 2 розділів дисертації більшу увагу слід було б приділити системному формулюванню науково-прикладної проблеми дисертаційного дослідження. Не виправдано звужено коло розглянутих методів оптимізації технологічних процесів.

2. Мета дисертаційної роботи декларує ефективність формування комплексу оптимальних параметрів якості поверхонь на засадах функціонально-орієнтованих технологій механічного оброблення виробів, проектування яких здійснюється засобами паралельного інжинірингу. Проте, посилення на методологію паралельного інжинірингу не є домінуючим у 3-6 розділах дисертації. Здобувачу слід було б більше акцентувати увагу на використанні цієї методології під час вирішення поставлених задач. У розділі 5, який, практично і реалізує ідею паралельного інжинірингу шляхом побудови рекурентних зв'язків етапів інженерного аналізу і технологічного проектування, автор дисертації на цю методологію не посилається.

3. До кінця незрозуміло, як результати досліджень розділу 3 впливають на формування структури та параметрів технологічного процесу. Доцільно було б приділити більше уваги питанням взаємозв'язку режимів оброблення і формування експлуатаційних властивостей об'єкту виробництва.

4. Матеріали експериментальних досліджень (підрозділ 4.4) слід було б виділити в окремий розділ, який можна було б додатково доповнити матеріалом, що поданий в додатку Д. Крім того, доцільно було б провести експериментальні дослідження мікротопології поверхні, сформованої внаслідок механічного оброблення на різних режимах різання, з різними параметрами різальної частини інструменту і для різних матеріалів виробів. На нашу думку, ці дослідження дозволили б довести адекватність моделей формування мікронерівностей поверхні з урахуванням пластичної течії матеріалу

5. У розділі 5 вказується, що для розрахунку площі фактичного контакту між спряженими поверхнями, найбільш ефективним є формування еквівалентної поверхні, що акумулює в собі шорсткість обох спряжених поверхонь і дозволяє обмежитись розглядом контакту такої поверхні та ідеально-гладкої (стор.275, 279-280). Проте при розгляді узагальнюючого прикладу, здобувач не використовує цю методику для формалізації мікротопологічних параметрів поверхні виштовхувача прес-форми (табл.6.1, стор.366-367).

6. В розділі 6 наведена лише структурна оптимізація функціонально-орієнтованого технологічного процесу. Поряд з цим не показано приклад оптимізації режимів різання фінішного токарного оброблення виштовхувача прес-форми (матеріал заготовки - сталь 3Х2В8Ф) інструментом з композитною пластинкою на основі CNB марки СВ7025, хоч алгоритм оптимізації ілюструється рисунком 5.4 (стор.328-329).

7. Додатки до дисертаційної роботи містять велику кількість матеріалу, який не завжди розкриває основну суть роботи, а лише констатує числові результати досліджень. Це ускладнює сприйняття і відокремлення насправді важливого матеріалу. Вважаю, що додатки А-Г недоцільно було подавати в дисертації, або навести хоча б узагальнений результат їх аналізу. Натомість додаток Д слід було б перенести до основного змісту роботи (див. зауваження 4).

Висловлені зауваження водночас не знижують оцінки якості досліджень, а відповідні рекомендації загалом не впливають на основні наукові та практичні результати роботи. В цілому дисертація справляє позитивне враження завдяки ґрунтовності теоретичних досліджень та достатньому обсягу практичного використання її результатів.

Загальні висновки.

Оцінюючи роботу в цілому, вважаю, що дисертаційна робота Ступницького Вадима Володимировича «Науково-прикладні основи проектування функціонально-орієнтованих технологій машинобудування засобами паралельного інжинірингу» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові, науково обґрунтовані та практично важливі результати, що у сукупності вирішують науково-технічну проблему розвитку технологічних основ формування точності й якості поверхонь деталей машин шляхом вдосконалення теорії проектування функціонально-орієнтованих технологічних процесів механічного оброблення виробів засобами паралельного інжинірингу.

Основні результати дисертації відповідають вимогам наукової спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування, зокрема п.2, 6 та 10 паспорту спеціальності.

Дисертаційна робота за своїм змістом відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника» щодо докторських дисертацій, а її автор - Ступницький Вадим Володимирович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 - технологія машинобудування.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ:

доктор технічних наук, професор,
заслужений працівник освіти України,
завідувач кафедри «Конструювання
верстатів, інструментів та машин»
Тернопільського національного
технічного університету імені І. Пулюя

Луців І.В.

Підпис професора, д.т.н.

Луціва І.В. засвідчую:

проректор з наукової роботи

Тернопільського національного
технічного університету імені І. Пулюя



Рогатинський Р.М.