

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора Добротворського Сергія Семеновича
на дисертаційну роботу Шипуль Ольги Володимирівни
«Наукові основи прецизійного термоімпульсного оброблення
детонувальними газовими сумішами»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки

1. Актуальність теми дисертації

Розвиток прецизійного фінішного оброблення, зумовлений зростанням вимог до точності оброблення, мініатюризацією оброблюваних деталей, переходом до технологій адитивного виробництва, потребує від сучасних виробничих підприємств широкого застосування автоматизованих систем при проєктуванні технологій та обладнання, впровадження автоматизованих виробничих комплексів тощо. Фінішне зачищення крайок і очищення поверхонь є обов'язковими і ключовими елементами технологічних систем прецизійного виробництва, за рахунок яких забезпечуються такі найважливіші експлуатаційні характеристики як ресурс і безвідмовність, тому й технології для вирішення цих завдань повинні відповідати тенденціям розвитку прецизійного виробництва. У той же час існуючі підходи до призначення режимів фінішного оброблення, найчастіше базуються на методах верхньої оцінки, емпіричних знаннях, часто потребують експериментального тестування, й не задовольняють вимогам ані до прецизійності оброблення ані до сучасних виробничих комплексів. Тому є актуальною науково-технічна проблема комплексної автоматизації проєктування технології й обладнання для прецизійного фінішного оброблення, на вирішення якої сфокусована дисертаційна робота.

Серед інших методів прецизійного фінішного оброблення обґрунтовано перспективним с точки зору можливості комплексної автоматизації є термоімпульсний метод оброблення детонувальними газовими сумішами. Так, об'єктом дисертаційного дослідження авторкою обрано системи автоматизованого проєктування технологічних процесів та обладнання термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами, для яких, відповідно до сформульованої мети, створюються науково обґрунтовані методи, моделі, методики і нові технічні рішення, спрямовані на комплексну автоматизацію прецизійного термоімпульсного оброблення. Розроблювальні методи, моделі, методики мають точно враховувати закономірності стану складного об'єкта (або групи об'єктів) оброблення під дією ланцюга пов'язаних й взаємовпливових швидкоплинних процесів газодинамічної течії хімічно-реагуювальних газових сумішей, а визначення таких закономірностей, своєю чергою, є актуальною проблемою фізико-технічного оброблення.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 417 сторінок, у тому числі 279 сторінок основного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, мету й основні завдання дослідження, наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, зв'язок роботи з науковими програмами, планами й темами, відзначено особистий внесок здобувачки в опублікованих роботах, наведено інформацію про апробацію й публікації результатів дисертації, структури і обсягу роботи.

У першому розділі на підставі системного аналізу проблеми прецизійного фінішного оброблення визначена мета дисертаційного дослідження й чітко сформульовані завдання щодо її досягнення.

Другий розділ дисертації присвячено розробці, дослідженню й верифікації комплексу математичних моделей, що описують робочі процеси систем термоімпульсного обладнання з урахуванням вимог до прецизійності їхньої роботи, зокрема процесів генерації паливної суміші, ініціації згоряння, горіння за різними режимами й керованого випускання продуктів згоряння.

Третій розділ присвячено розробці методу визначення розташування деталей під час термоімпульсного оброблення, який забезпечує умови для стабільної якості оброблення за рахунок найбільш рівномірного розподілу оброблювального середовища.

У четвертому розділі розроблено метод призначення режимів термоімпульсного зачищення крайок прецизійних деталей за кваліметричними показниками, ураховуючи міцнісні обмеження.

У п'ятому розділі дослідження зосереджені навколо формування принципових технічних рішень для забезпечення науково обґрунтованих характеристик основних систем автоматизованого обладнання для прецизійної термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами й розробці технічного й програмного забезпечення побудови цифрових близнюків для керування та моніторингу роботи автоматизованого обладнання термоімпульсного оброблення газовими сумішами.

Дисертаційна робота є завершеною кваліфікаційною науковою працею, у якій в наслідок проведених комплексних теоретичних і експериментальних досліджень розроблені наукові основи прецизійного термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами, які полягають у створенні нового інструментарію вирішення науково-технічної проблеми комплексної автоматизації проектування технології й обладнання фінішного прецизійного оброблення продуктами згоряння газових сумішей на основі математичного моделювання процесів фізико-технічного оброблення матеріалів і науково обґрунтованих технічних рішень виконавчих систем обладнання. Наукові основи містять науково обґрунтовані методи, моделі, методики й нові технічні рішення, спрямовані на автоматизацію призначення режимів і обладнання для прецизійного термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Шипуль Ольги Володимирівни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

3. Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наведені в дисертаційній роботі наукові положення та практичні рекомендації, отримані теоретичні й експериментальні результати, а також висновки, подані після кожного розділу є переконливими й мають достатній ступінь обґрунтованості, що підтверджується застосуванням класичних методів механіки деформованого твердого тіла й механіки руйнування, обчислювальної газодинаміки, включно з методами дослідження багатокомпонентних і багатофазних течій, у тому числі з рухомими границями; моделюванням турбулентних течій реагуювальних речовин з урахуванням стискуваності, теплообміну, фазових переходів, емпіричних методів дослідження газодинамічних процесів із плануванням факторного експерименту, методів аналітичної й обчислювальної геометрії та методу *phi*-функцій, а також проведенням експериментальних досліджень газодинамічних процесів та процесів генерації самостабілізованої високовольтної імпульсної дуги та системи ініціювання детонації з плануванням факторного експерименту на спеціально розробленому і виготовленому обладнанні, що пройшло апробацію.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному.

1. Уперше розроблено комплекс математичних моделей, що описують робочі процеси систем термоімпульсного обладнання, зважаючи на вимоги до прецизійності їхньої роботи, а саме генерації паливної суміші, ініціації горіння, згоряння паливної суміші, беручи до уваги теплообмін і випускання продуктів згоряння, який урахує особливості, притаманні робочим процесам систем термоімпульсного обладнання й охоплює комплекс цільових функцій, спрямованих на забезпечення прецизійності їхньої роботи.

2. Для розв'язання задачі просторового розташування деталей під час термоімпульсного оброблення вперше сформульовано задачу найбільш розрідженої балансної компоновки й розроблено метод її розв'язання, використовуючи апарат *phi*-функцій. Показано, що в разі оброблення одиначної деталі така задача може бути розв'язана суміщенням центрів ваги й головних центральних осей інерції тонких оболонок, які збігаються із зовнішньою поверхнею деталі та внутрішньою поверхнею робочої камери.

3. Отримав подальший розвиток метод еквівалентної камери щодо задач термоімпульсного оброблення деталей складної форми. На відміну від раніше відомих підходів показано, що для застосування методу необхідно забезпечити суміщення центрів ваги й головних центральних осей інерції тонких оболонок, що збігаються з поверхнями оригінальної й еквівалентної деталей, а розміри еквівалентної деталі визначати з умови зменшення головних центральних моментів інерції вказаних оболонок відносно головних центральних моментів інерції оригінальної деталі зі зворотним пропорційним відношенням їхніх площ.

4. Уперше розроблено метод призначення режимів термоімпульсного оброблення крайок на підставі сумісного розв'язання задач про визначення енергетичних характеристик устаткування й стану крайки під впливом питомого теплового потоку з відомою інтенсивністю, який дозволяє призначати технологічні параметри оброблення крайок за значеннями кваліметричного показника, ураховуючи граничні величини питомого теплового потоку.

5. Уперше на основі числового моделювання встановлено міцнісні обмеження під час термоімпульсного оброблення деталей з литва й деталей після хіміко-термічного оброблення, що дозволило встановити обмеження з часу їхнього оброблення, виходячи з величини осередненого питомого теплового потоку.

Практична значимість отриманих результатів полягає у наступному.

1. Для забезпечення науково обґрунтованих вимог щодо точності дозування компонент паливної суміші на рівні 0,1% під час прецизійного термоімпульсного оброблення запропоновано використовувати спосіб генерації, за якого здійснюють одночасне подання компонентів через отвори із критичним перерізом. При цьому компоненти суміші подають із попередньо наповнених проміжних посудин регульованого об'єму із забезпеченням рівної температури газів у проміжних посудинах протягом витікання. Розроблено й виготовлено генератор паливної суміші, який реалізує запропонований спосіб.

2. Спроектовано й виготовлено систему ініціації керованого згоряння, яка містить блок високоенергетичного іскрового запалювання з регульованою енергією іскрового розряду й спеціальні свічки запалювання, завдяки яким ефективно реалізуються режими прямої ініціації детонації паливної суміші.

3. Удосконалено конструкцію клапана керованого випускання продуктів згоряння з робочої камери термоімпульсної установки. На відміну від раніше використовуваної конструкції, запропоновано здійснювати попереднє подання тиску на відкриття клапана з його утриманням електромагнітом. Це дозволяє досягти необхідних показників як за швидкістю спрацьовування (на рівні 0,01 с), так і за його стабільністю. Окрім цього, на вимогу забезпечити потрібний час оброблення деталі, для узгодження роботи систем ініціації згоряння й керованого випускання клапан обладнано засобами контролю положення (енкодерами).

4. Уперше для калібрування числових моделей розроблено й виготовлено модульний автономний автоматичний реєстратор експериментальних даних, який не потребує з'єднання із зовнішньою вимірювальною апаратурою. Пристрій розміщується безпосередньо в камері термоімпульсного обладнання, має на собі необхідну кількість датчиків, а також енергонезалежну систему зчитування, перетворення та зберігання інформації. Апаратне й програмне забезпечення реєстратора в поєднанні з розробленими числовими моделями робочих процесів термоімпульсного оброблення є базою для повної автоматизації проектування процесів фінішного оброблення детонувальними газовими сумішами з гарантованим рівнем якості деталей.

5. Уперше щодо автоматизації технології термоімпульсного оброблення, зокрема для визначення відповідних налаштувань обладнання й прогнозування параметрів якості оброблення, розроблено методику побудови цифрових близнюків на основі комбінації моделей зниженого порядку (ROM) робочих процесів оброблення й одновимірних моделей для стандартних елементів газового тракту, яка дозволяє із забезпеченням високої точності отримуваних результатів суттєво скоротити час їхнього визначення за рахунок використання моделей процесів зниженого порядку й використання стандартних елементів бібліотек Twin Builder та Modelica, які імітують роботу елементів керування (клапанів) й моніторингу (сенсорів). Розроблені моделі, алгоритми й технічні

рішення для систем термоімпульсного обладнання й системи ЧПК дозволяють забезпечити встановлені вимоги щодо точності генерації суміші, часу оброблення й стабільності цих параметрів за циклічної роботи.

4. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації опубліковано в 21 статті, у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України, 1 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, 9 статтях у наукових періодичних закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних *Web of Science Core Collection* та/або *Scopus*, із них 4 статті Q1/Q2, 4 статті Q3, 1 стаття Q4; 6 монографіях (розділах монографій), із них 2 проіндексовано в базі даних *Scopus*; отримано 2 патенти України на винахід і 4 патенти на корисну модель, а також подано в 17 матеріалах конференцій, із них 10 матеріалів проіндексовано в базі даних *Scopus*.

Всі основні результати дисертаційного дослідження, які винесено до захисту, отримано автором самостійно. Аналіз внеску автора в публікації з питань, висвітлених у дисертації, показав, що внесок Шипуль Ольги Володимирівни є вирішальним.

5. Дискусійні положення та зауваження до дисертації

Вважаю за необхідне у якості дискусійних питань та зауважень висловити наступне.

1. У першому розділі дисертаційної роботи авторка під час обґрунтування актуальності теми дослідження вказує на необхідність фінішного прецизійного оброблення деталей, отриманих у тому числі новітніми адитивними технологіями, й припускає можливість застосування для цього термоімпульсного методу. У той же час в роботі відсутні дослідження щодо обробки 3D друкованих деталей, й можливість трансляції на них розроблених методик призначення режимів термоімпульсного оброблення має бути перевірена.

2. У третьому розділі дисертації розв'язана задача просторового розташування деталей під час термоімпульсного оброблення зі забезпеченням умов стабільної якості оброблення за рахунок найбільш рівномірного розподілу оброблювального середовища, й показано, що у випадку оброблення одиначної деталі така задача може бути розв'язана суміщенням центрів ваги та головних центральних осей інерції тонких оболонок, які збігаються із зовнішньою поверхнею деталі та внутрішньою поверхнею робочої камери. Але при цьому виникає питання: як впливатиме на рівномірність розподілу оброблювального середовища наявність у камері згорання технологічного пристосування?

3. Розроблений у дисертації метод призначення режимів термоімпульсного оброблення крайок, який ґрунтується на сумісному розв'язанні задач про визначення енергетичних характеристик устаткування й стану крайки під впливом питомого теплового потоку з відомою інтенсивністю, дозволяє призначати технологічні параметри оброблення за значеннями кваліметричного показника (a). У той же час, наведені авторкою в дисертації сучасні міжнародні стандарти якості крайок визначають декілька

кваліметричних показників. Тож чи підлягає кореляції запропонований метод для урахування інших кваліметричних показників крайки?

Слід підкреслити, що наведені зауваження не впливають на загальну високу позитивну оцінку отриманих у дисертаційній роботі науково-практичних результатів.

6. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота Шипуль Ольги Володимирівни є завершеною науково-технічною працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувачки науковий напрям галузі знань 13 Механічна інженерія, якій відповідає спеціальність 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки.

Дисертація «Наукові основи прецизійного термоімпульсного оброблення детонувальними газовими сумішами» за метою, характером вирішених завдань, а також за спрямованістю основних результатів, повною мірою відповідає паспорту спеціальності 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки, зокрема таким його напрямкам:

- математичне моделювання процесів фізико-технічної обробки матеріалів;
- теорія та системи автоматизованого проектування технологічних процесів фізико-технічної обробки та обладнання.

За актуальністю, ступенем новизни, науковою й практичною цінністю, достовірністю та апробацією отриманих результатів дисертаційна робота Шипуль Ольги Володимирівни відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені Порядком присудження наукових ступенів, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 до докторських дисертацій, а здобувачка Шипуль Ольга Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.03.07 – процеси фізико-технічної обробки.

Офіційний опонент:

Професор кафедри технології
машинобудування та металорізальних верстатів
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»,
д-р техн. наук, професор

Сергій ДОБРОТВОРСЬКИЙ

