

ВІДГУК

офіційного опонента Роп'яка Любомира Ярославовича
на дисертаційну роботу Костик Катерини Олександрівни
«Наукові основи технологій поверхневого зміцнення деталей машин
порошковими сумішами керованого складу»,
подану до захисту в спеціалізовану вчену раду Д 64.050.12
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
Міністерства освіти і науки України
на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування

1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1. Актуальність.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми в області технології машинобудування – розробці інноваційних та короткотривалих технологій поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу для забезпечення експлуатаційних властивостей виробів на високому рівні при значному зниженні затрат на їх виготовлення. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити підвищення надійності машин за рахунок збільшення терміну служби їх деталей та інструменту, при зниженні енерговитрат, що дуже важливо для сучасної промисловості України.

Проблема підвищення надійності машин набуває все більшого значення у зв'язку з ускладненням режимів експлуатації виробів, що працюють в умовах тертя, великих теплових та механічних навантажень, а також в агресивних середовищах. Для підвищення надійності та довговічності штампового та різального інструменту, збільшення границі витривалості виробів з легованих конструкційних сталей, підвищення зносостійкості, забезпечення високої твердості та корозійної стійкості поверхневих шарів деталей машин у машинобудуванні широко використовують методи поверхневого зміцнення.

Необхідність у поверхневому зміцненні мають такі деталі: втулки, труби, шайби, гвинти, прокладки, осі, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, колінчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, шнеки, оправки, рейки, зубчасті вінці, півосі, зубчасті колеса, гідроциліндри, деталі верстатів та

турбін, а також інструменти (свердла, мітчики, накатники, фрези, протяжки), штамповий інструмент, пуансони, прес-форми для лиття під тиском тощо.

На теперішній час існує велика кількість методів поверхневого зміцнення, заснованих на нанесенні покриттів або зміні стану поверхні. Серед них широке використання знаходить хіміко-термічна обробка (ХТО), яка застосовується для сплавів як чорних, так і кольорових металів. Поверхневі дифузійні шари, отримані внаслідок такої обробки, мають низку переваг перед покриттями, нанесеними різними методами (наприклад, наплавленням, газотермічним напиленням тощо). Міцність їх зчеплення з основним металом значно більша, ніж у покриттів, а поступова зміна хімічного складу за глибиною дифузійного шару забезпечує створення плавної зміни властивостей від поверхні до серцевини деталі. Технології поверхневого зміцнення деталей машин, які базуються на застосуванні процесів дифузійного насичення інтенсивно розвиваються, оскільки такі методи впливу на поверхню деталей дозволяють отримувати унікальні фізико-механічні властивості поверхневого шару.

Традиційні способи поверхневого зміцнення деталей машин методами ХТО, як правило, забезпечують роботоздатність деталей машин в умовах тертя і зношування, але вони є досить тривалими та потребують спеціального складного та дорогого обладнання. Тому актуальним є вдосконалення технологічних процесів виготовлення деталей машин за рахунок розробки нових прогресивних методів поверхневого зміцнення, які значно підвищують довговічність робочого шару деталей при значному скороченні тривалості операцій та спрощенні технологій поверхневого зміцнення.

1.2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків, рекомендацій та їхня достовірність.

Дисертаційну роботу виконано на кафедрі ливарного виробництва згідно з пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки України «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості і сільському господарстві», за тематичними напрямками НТУ «ХПІ» згідно з постановою Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942: «Цільові дослідження щодо отримання нових матеріалів, їх з'єднання і оброблення», «Створення та застосування технологій отримання, зварювання, з'єднання та оброблення конструкційних, функціональних і композиційних матеріалів» та «Створення та застосування нанотехнологій і технологій наноматеріалів» відповідно до тематики кафедри. Дослідження

виконувалися відповідно до завдань держбюджетних НДР МОН України: «Розробка інноваційних технологій функціональних наноматеріалів для підвищення ресурсу, корозійного і механічного опору та відновлення металевих виробів» (ДР № 0115U000532), в якій здобувач була виконавцем окремих етапів, та «Розробка наукових та технологічних засад щодо створення литих конструкцій з залізобуглецевих і кольорових сплавів, оптимальних процесів їх одержання і автоматизованих методів проектування» (ДР № 0115U000693), в якій здобувач була співвиконавцем. Госпдоговірних робіт: № 19480 з ТОВ «Вентиляторний завод Укрвентсистеми» (м. Харків) – «Розробка методології та прикладного математичного апарату для обробки експериментальних даних по визначенню вихідних характеристик при випробуванні систем вентиляції для промислових об'єктів з метою оптимізації конструктивно-технологічних рішень при їх проектуванні»; № 19522 з ВАТ «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе» (м. Харків) – «Інженерне моделювання литих корпусних деталей безступінчастої гідрооб'ємно-механічної коробки передач трактора в діапазоні потужності двигуна 240-300 к.с.»; № 19606 – «Підвищення якості складних корпусних виливків в умовах НВЦ «Європейські технології машинобудування»» (м. Харків), в яких здобувач була виконавцем окремих розділів.

Метою дисертаційної роботи є розроблення наукових основ інноваційних та короткотривалих технологій поверхневого зміцнення деталей порошковими сумішами керованого складу за рахунок інтенсифікації процесів насичення поверхневих шарів сплавів азотом, вуглецем та бором задля підвищення терміну служби деталей машин та інструменту.

Сформульовані в дисертаційній роботі висновки, наукові положення та рекомендації **обґрунтовані**. Вони базуються на відомих фундаментальних наукових положеннях теорії технології машинобудування, моделювання, ймовірності та математичної статистики. Математична обробка результатів досліджень виконувалася з використанням розробленого сучасного програмного забезпечення. Достовірність результатів, отриманих в роботі, підтверджено великою кількістю експериментальних досліджень. Результати роботи в повній мірі викладено в опублікованих автором працях.

Достовірність теоретичних положень роботи підтверджується результатами експериментальних досліджень та промисловим впровадженням результатів досліджень.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розробці наукових основ інноваційних та короткотривалих технологій поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу, що

дозволило вирішити актуальну науково-практичну проблему підвищення терміну служби машинобудівних виробів:

- вперше розраховано локальні максимуми поверхневої твердості та глибини дифузійних шарів сплавів і встановлено теоретичні оптимальні умови процесів дифузійного зміцнення, що дозволяє вибирати раціональні технологічні параметри проведення ХТО та забезпечити оптимальні властивості дифузійних шарів поверхні виробів машинобудування;

- вперше створено математичні моделі та номограми існуючих технологій поверхневого зміцнення сталей, що дозволило визначити раціональні режими проведення ХТО (температуру і тривалість), виходячи із заданої глибини дифузійного шару або поверхневої твердості сталей, що суттєво впливає на ефективність реалізації процесів зміцнення поверхні виробів машинобудування;

- вперше на основі використання інноваційних технологій і системного аналізу при мінімальних затратах, розроблено загальний методологічний підхід керування технологічними параметрами процесів поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу при насиченні поверхневих шарів азотом, вуглецем і бором, що дозволило підвищити експлуатаційні властивості виробів машинобудування при значному скороченні тривалості процесу ХТО;

- набули подальшого розвитку розроблені комплексні методи ХТО, які значно знижують крихкість борованих шарів за рахунок більш плавного зниження твердості від поверхні до серцевини деталей зі сталей, що дозволило підвищити експлуатаційні властивості та термін служби виробів та інструменту порівняно із відомими методами ХТО, які підвищують лише поверхневу твердість;

- вперше розроблено математичну модель розподілу температури за глибиною дифузійного шару, що дозволило визначити характер залежностей та отримати дані про розподіл температури у деталі при різних технологічних режимах ХТО;

- удосконалено технологію борування деталей з паст титанових сплавів за рахунок використання нанодисперсного насичуючого середовища, що дозволило скоротити процес борування у 2-3 рази та скоротити тривалість технологічного процесу виготовлення деталей за рахунок поєднання двох операцій: борування і гартування титанового сплаву;

- запропоновано розв'язання крайових задач дифузії методом граничних елементів, що дозволило вперше створити математичну модель розподілу концентрації бору за товщиною зміцненого шару титанового сплаву;

– удосконалено технологію інтенсифікації процесів ХТО методами нагрівання струмами високої частоти та за рахунок попередньої лазерної обробки деталей, що дозволило отримати високі експлуатаційні властивості поверхневих шарів виробів машинобудування при значному скороченні тривалості операції зміцнення.

Цінність результатів дисертації для науки і практичного використання полягає в розробці наукових основ інноваційних та короткотривалих технологій поверхневого зміцнення деталей порошковими сумішами керованого складу за рахунок інтенсифікації процесів насичення поверхневих шарів сплавів азотом, вуглецем та бором задля підвищення терміну служби деталей машин та інструменту. Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці технологій комбінованого зміцнення поверхневих шарів деталей: спосіб комбінованої обробки сталевих виробів (патент України № 111066); спосіб дифузійного борування сталевих виробів (патент України № 116177); спосіб поверхневого зміцнення сталевих виробів (патент України № 116178); спосіб отримання твердого покриття на поверхні сталевих виробів (патент України № 116116); сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми (патент України № 116117); склад для борування сталевих виробів (патент України № 117775); спосіб поверхневого зміцнення титанових сплавів (патент України № 117770); дисперсійно-твердіючий сплав на основі заліза з ефектом пам'яті форми (патент України № 117757).

Результати роботи впроваджено у виробництво в ТзОВ «АСТИЛ М» (м. Харків), ПАТ «Харківський машинобудівний завод «Світло шахтаря» (м. Харків), ТзОВ «НВЦ ЄТМ» (м. Харків), АТ «Харківський тракторний завод» (м. Харків), у навчальний процес Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків).

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковано у 50 наукових роботах, зокрема 25 статей у наукових фахових виданнях України (з яких 19 статей у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних, 5 з яких SCOPUS); одна – у закордонному виданні; отримано 8 патентів України на корисну модель; 16 тез у збірниках доповідей на наукових конференціях.

Основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи оприлюднено та позитивно оцінено на Міжнародних науково-технічних конференціях: «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, 2010–2017); «Перспективные технологии, материалы и оборудование в литейном производстве»

(Краматорськ, 2011); «Неметалеві вкраплення і гази у ливарних сплавах» (Запоріжжя, 2015); «Литво» (Запоріжжя, 2015–2017); «Нові матеріали і технології в машинобудуванні» (Київ, 2016, 2017); «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці» (Харків, 2017).

2. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Костик Катерини Олександрівни складається зі шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Наведено обґрунтування вибору теми дослідження, сформульовано мету, завдання і методи дослідження. Описано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено дані про апробацію матеріалів дисертації, публікації, що відображають її зміст, виділено особистий внесок здобувача.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано головну мету та завдання роботи, представлено наукову новизну та практичну цінність одержаних результатів.

У *першому розділі* «Методи підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин завдяки фізико-технічній обробці» проведено аналіз літературних джерел, розглянуто існуючі методи підвищення експлуатаційних властивостей сплавів фізико-технічною обробкою.

У *другому розділі* «Математичне моделювання технологічних процесів хіміко-термічної обробки сталевих деталей» наведено математичні моделі, які дозволяють визначити раціональні режими ХТО деталей машинобудування, виходячи із заданої глибини дифузійного шару або потрібної поверхневої твердості сталей, що має велике практичне значення.

У *третьому розділі* «Технологічні процеси насичення сталі атомарним бором, вуглецем та азотом» сформульовано теоретичні основи технологічних процесів насичення деталей машинобудування зі сталі 38Х2МЮА атомарним бором, вуглецем та азотом.

У *четвертому розділі* «Технологічні процеси комплексного насичення сталі атомарними елементами для створення композиційної структури дифузійного шару» розроблено наукові основи комплексної технології ХТО, які дозволяють сформувати боридний шар з перехідною зоною, що підвищує експлуатаційні властивості виробів за рахунок зменшення мікрокрихкості дифузійних шарів.

У п'ятому розділі «Дослідження технологічного процесу борування титанових сплавів» розроблено наукові основи технології борування з паст титанового сплаву, що забезпечує отримання високої твердості на поверхні зі зниженням її до перехідної зони (з загальною товщиною до 110 мкм).

У шостому розділі «Створення технологій на основі проведених досліджень процесів зміцнення» розроблено способи інтенсифікації процесів хіміко-термічної обробки методами нагрівання струмами високої частоти для отримання високих експлуатаційних властивостей поверхневих шарів деталей при значному скороченні тривалості обробки. Зроблено порівняльний аналіз впливу відомих та розроблених зміцнювальних обробок на зміну глибини шару, поверхневої твердості та зносостійкості поверхневого шару деталей зі сталі 38Х2МЮА.

У висновках представлено основні результати досліджень.

У додатках наведено акти впровадження результатів досліджень у виробництво та навчальний процес, а також список публікацій.

Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Зміст автореферату відображає основний зміст дисертації та достатньо повно розкриває внесок здобувача у наукові результати та практичну цінність роботи.

В представленій докторській дисертації Костик К.О. не використано результатів її кандидатської дисертації

3. ЗАУВАЖЕННЯ ПО ЗМІСТУ І ОФОРМЛЕННЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. У дисертації на стор. 146-151 проаналізовано вплив хрому на товщину дифузійних шарів та зміну коефіцієнтів дифузії вуглецю тільки для сталей 20 та 20Х, показано вплив хрому до 1 % і нічого не говориться про зміну цих параметрів при підвищенні кількості легувального елемента (якщо буде більше 1 % хрому) в інших легованих сталях. Не показано, чи можна цю математичну модель застосовувати для інших легованих сталей.

2. У дисертації на стор. 151 «При насиченні азотом та вуглецем на поверхні легової сталі утворювався дифузійний шар, отриманий...» – здобувачка не вказала на якій саме сталі проводився аналіз механізму формування дифузійного шару під час нітроцементатії.

3. У дисертації на стор. 154-157 рис. 3.31-3.34, 3.38 – погана різкість фотографій мікроструктур сталі 40X після низькотемпературної нітроцементації.

4. У дисертації на стор. 173-175 на рис 3.49-3.51 не чітко видно, яка числове значення ступеня коефіцієнту дифузії азоту.

5. У дисертації на стор. 177-178 на рис. 3.52, 3.53 «Дифракційна картина...» – не вказані осі координат, а саме інтенсивність та кути 2θ .

6. У дисертації на стор. 179-184 на рис. 3.55–3.61 на фотографіях мікроструктур не показані отримані чотири зони дифузійного шару.

7. З дисертаційної роботи не зрозуміло чи відбувається зміна розмірів деталей після ХТО під час використання запропонованих методів поверхневого зміцнення та яким чином визначають припуски на механічну обробку.

8. У дисертації є деякі орфографічні та стилістичні помилки. Наприклад, на стор 72: «Таким чином, відомі сплави на основі заліза з дисперсним твердінням мають ряд невирішених питань».

Зауваження до автореферату: На стор. 14, рис. 5 Лінії рівня названо «Номограма глибини дифузійного шару...».

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи.

4. ВИСНОВОК ПРО ВІДПОВІДНІСТЬ ВСТАНОВЛЕНИМ ВИМОГАМ

Дисертаційна робота Костик Катерини Олександрівни на тему «Наукові основи технологій поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу» є завершеною науковою працею, в якій отримані нові наукові та практичні результати, що в сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему в області технології машинобудування. Дисертаційна робота повністю відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування, написана державною мовою та оформлена згідно з вимогами, які пред'являються до докторських дисертаційних робіт. Автореферат у повній мірі відображає зміст дисертації.

5. ОЦІНКА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЇ І ЇЇ ЗАВЕРШЕНОСТІ

Дисертаційна робота Костик Катерини Олександрівни на тему «Наукові основи технологій поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу» за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.02.08 – технологія машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка розв'язує важливу науково-технічну проблему, суть якої полягає в розробці інноваційних та короткотривалих технологій поверхневого зміцнення деталей машин порошковими сумішами керованого складу для забезпечення експлуатаційних властивостей виробів на високому рівні при значному зниженні затрат на їх виготовлення. Дисертаційна робота відповідає вимогам п.п. 9, 10, 12, 13 та 14 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою КМУ № 567 від 24 липня 2013 р., щодо докторських дисертацій, а здобувач Костик Катерина Олександрівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування.

Офіційний опонент,
професор кафедри комп'ютеризованого машинобудування
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу
доктор технічних наук, с.н.с., доцент

Л. Я. Роп'як

Підпис(и)	<i>Л. Я. Роп'як</i>
посвідчую	<i>В. Трапач</i>
Учений секретар ІФНТУНГ	<i>03</i>
« 17 »	2020 р.