

До Спеціалізованої Вченої ради
Д 64.832.04 у Харківському національному
технічному університеті сільського господарства
імені Петра Василенка

В І Д Г У К

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора кафедри
технологічних систем ремонтного виробництва

ім. О. І. Сідашенка Харківського національного технічного університету
сільського господарства імені Петра Василенка Скобло Тамари Семенівни,
на дисертаційну роботу **Гапонової Оксани Петрівни** «Керування
властивостями поверхонь сталевих деталей електроіскровим легуванням у
спеціальних технологічних середовищах», представленої на здобуття наукового
ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство

На відгук представлені дисертація, автореферат, копії опублікованих робіт

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Розвиток сучасної техніки потребує підвищених вимог до матеріалів деталей машин та інструментів, що працюють при все більш зростаючих навантаженнях, тисках, температурах, в умовах агресивних зовнішніх середовищах. Велика кількість відповідальних деталей вузлів тертя компресорів, турбодетандерів, вентиляторів, насосів, холодильних машин та машинних приводів, а також машин спеціалізованого застосування: дробарок, млинів, сепараторів, центрифуг та іншого динамічного обладнання (ДО), працює в умовах високих швидкостей, тисків, температур, а також абразивного середовища, корозійного та інших видів впливу. Забезпечення стабільних експлуатаційних характеристик виробів може бути досягнуто як шляхом

створення нових конструкційних матеріалів, так і шляхом нанесення на деталі машин і інструмент захисних покриттів. У даний час для нанесення захисних покриттів перспективні методи обробки матеріалів, засновані на використанні концентрованих потоків енергії (електронні та лазерні промені, низькотемпературна плазма, імпульсні розряди і т.п.). До таких методів відноситься і електроіскрове легування (ЕІЛ) металевих поверхонь. Основними перевагами ЕІЛ порівняно з іншими методами є висока адгезія покриття з основою, можливість локального оброблення поверхні, екологічна безпека, відсутність деформацій, низькоенергоємне устаткування, що на порядок менше, ніж під час хіміко-термічного оброблення (ХТО), відсутність необхідності попередньої підготовки поверхні та ін. Значно розширити галузь застосування методу ЕІЛ для ширшого кола відповідальних деталей ДО можна за рахунок уведення між анодом (електродом-інструментом) і катодом (деталлю) спеціального технологічного середовища (СТС) у вигляді пасти, до складу якого входять необхідні легуючі елементи, необов'язково струмопровідні. Хоча для ЕІЛ притаманна підвищена шорсткість поверхні та деякі інші недоліки, їх можна знизити або повністю усунути за рахунок поєднання з іншими зміцнювальними технологіями (лазерне оброблення, поверхневе пластичне деформування (алмазне вигладжування, обкатування кулькою) або безабразивним ультразвуковим фінішним обробленням (БУФО).

Дисертант зосередила увагу на створенні енергоефективних та екологічно безпечних технологій отримання функціональних покриттів, що базуються на методі ЕІЛ з використанням спеціального технологічного середовища, підходу до оцінювання і прогнозування структурного стану після їх оброблення для підвищення можливості керування поверхневими властивостями деталей у експлуатації. Саме тому дисертаційне дослідження Гапонової О.П., яке спрямоване на вирішення зазначеної проблеми є актуальним.

2. Оцінка змісту дисертації

Дисертація має обсяг основної частини 431 сторінки та складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Основний зміст роботи достатньо відображає автореферат. Дисертація структурована за змістом, логічно побудована і являє собою комплексне дослідження, яке містить аналіз структурно-фазового стану та властивостей однокомпонентних (алітування, цементация, сульфідкування, азотування) та багатокомпонентних (сульфоцементация, сульфоалітування, покриття систем Al-C-S та Al-C-B, сульфомолібденування) покриттів. На підставі експериментальних досліджень запропоновані математичні моделі, що дають можливість прогнозувати основні показники якості сформованого шару. Для опису самоорганізації процесу ЕІЛ на основі вивчення фазових переходів динамічних складових цього процесу використовували метод фазової площини і дослідження згідно описами рівняннями Ланжевена. Результати дослідження захищені патентами і впроваджені у виробництво.

У *першому розділі* дисертації виконано аналіз науково-технічної інформації щодо причин втрати працездатності різних типів деталей машин динамічного обладнання (ДО). Незважаючи на те, що до них застосовується значна кількість відповідних методів захисту, наразі складно віддати перевагу будь-якому способу захисту або їх комбінації без додаткових досліджень. Крім того, при виборі методу або комбінації з декількох різних підходів необхідно віддавати перевагу таким, що є економічними й екологічно безпечними. В розділі проведено аналіз основних методів управління властивостями поверхневого шару деталей, що застосовуються для ДО. Це поверхневе пластичне деформування (обробка дробом, обкатка кулькою, обкатка роликком, алмазне вигладжування та ін.), хіміко-термічне оброблення (цементация, азотування, нітроцементация і ін.), поверхневе термічне оброблення (гартування СВЧ, контактне, газополум'яне, в електроліті й ін.), наплавка, напилення (PVD,

CVD, магнетронне розпилення та ін.), оброблення концентрованими потоками енергії (лазерна, електронним і іонним пучками, електроіскрове легування та ін.). Більш детально дисертант зупиняється на аналізі особливостей формування поверхневого шару при ЕІЛ. ЕІЛ широко застосовується для здійснення процесу цементації, металізації, нанесення твердих сплавів на поверхню. У значно меншій мірі досліджені процеси отримання методом ЕІЛ різних функціональних покриттів: м'яких припрацювальних (сульфідування, сульфоцементация, комплексні покриття), захисних (алітування, сульфоалітування, комплексні покриття), зносостійких (борування, бороалітування, бороцементация) та ін. Але недослідженими є процеси структуро- і фазоутворення, відсутні експериментальні та розрахункові дані, щодо впливу параметрів ЕІЛ на якість електроіскрових покриттів. Особливий інтерес мають методи насичення поверхні одним або одночасно кількома елементами з застосуванням нової технології – ЕІЛ з використанням спеціального технологічного середовища. Цей метод розглянутий з позиції створення покриттів зі струмонепровідних матеріалів.

Виконаний аналіз підходів, що застосовуються для моделювання процесу формування покриття методом ЕІЛ. В літературі відсутні залежності, що дозволяють оптимізувати і прогнозувати якість і властивості покриттів. Актуальним є застосування синергетичних законів до такого фізичного прикладу самоорганізації, як ЕІЛ, на основі вивчення фазових переходів динамічних складових цього процесу за допомогою методу фазової площини та дослідження розв'язань рівняння Ланжевена.

Аналіз результатів сучасних наукових та прикладних досліджень щодо підвищення якості поверхневих шарів деталей машин динамічного обладнання дозволив виявити основні досягнення, а також протиріччя та проблеми, на основі яких були сформульовані завдання та мета роботи.

У другому розділі обґрунтовується методологія досліджень для вирішення

поставлених завдань та досягнення основної мети. Запропонований підхід до розробки методології створення і зміцнення робочих поверхонь деталей машин ДО методом ЕІЛ. Показана важлива роль вихідних матеріалів, СТС, матеріалу анода у взаємозв'язку з катодом в процесі створення методології функціональних покриттів.

Обране основне устаткування для проведення ЕІЛ, наведено відомості про матеріали, що були використані в роботі, обґрунтований їх вибір. Запропонований склад вихідних матеріалів (СТС та електродних). Технологія розроблена для однокомпонентних (алітування, цементация, сульфідкування, азотування) та багатокомпонентних (нітроцементация, сульфоцементация, сульфоалітування, $Al+C+S$, $Al+C+B$, $Mo+S$ і комбінованих $C-Al-Ti5K6$ покриттів). Для вирішення поставлених завдань запропоновані сучасні методи випробувань і досліджень: оптична та електронна мікроскопія, рентгеноструктурний і мікрорентгеноспектральний аналізи. Випробування виконували з визначенням комплексу властивостей: мікротвердості, показників міцності та пластичності, а також зносостійкості й жаростійкості отриманих покриттів, які проведені за стандартними методиками.

Позитивною рисою дисертаційного дослідження є те, що автор обрала комплекс методів експериментального дослідження, які добре узгоджуються з матеріалами досліджень та умовами експлуатації деталей, та вони підтвержені посиланнями на патенти, автором яких є здобувач.

Третій розділ роботи присвячений розробкам термодинамічної моделі формування поверхневого шару при електроіскровому легуванні. Дослідженні особливості проходження дифузійних процесів при електроіскровому легуванні. При ЕІЛ металевих поверхонь, залежно від способу обробки анода може формувати два типи структур – тільки дифузійні шари без масоперенесення і з масоперенесенням. Автором досліджень запропонована математична модель прогнозування якісних параметрів поверхневого шару, які дозволяють згідно

енергетичних параметрів процесу ЕІЛ, прогнозувати одержання якісних покриттів, що формуються за рахунок дифузійних процесів і масопереносу під час обробки. Запропонована математично обґрунтована фізична модель процесу втрати маси оброблюваних поверхонь при випробуваннях на жаростійкість, що дозволяє за кількістю теплоти, що витрачається на нагрівання і витримку при температурі випробування. Запропоноване застосування синергетичних законів опису самоорганізації процесу ЕІЛ, на основі вивчення фазових переходів динамічних складових цього процесу за допомогою методу фазової площини. Дослідження базувалися на розв'язанні рівнянь Ланжевена.

Четвертий розділ роботи присвячено експериментальному дослідженню структурно-фазового стану однокомпонентних шарів, отриманих методами ЕІЛ із застосуванням СТС – алітуванням, цементацією, сульфідкуванням, азотуванням. Показано, що за рахунок використання СТС можна збільшити глибину дифузійного шару, забезпечити зниження мікротвердості поверхні (сульфідкування), зміцнити поверхневий шар (цементация, азотування, алітування), забезпечити підвищення жаростійкості (алітування). Показано, що енергетичні параметри процесу ЕІЛ впливають на якісні параметри отриманих покриттів – змінюються шорсткість, мікротвердість, товщина та суцільність покриття.

Особливістю результатів цього розділу є теж те, що запропоновані способи сталльної поверхні захищений патентом.

П'ятий розділ присвячено експериментальному дослідженню структурно-фазового стану багатокомпонентних покриттів, отриманих методами ЕІЛ з використанням СТС: сульфоцементация, сульфоалітуванням, покриттям систем Al-C-S та Al-C-B, сульфомолібденових і квазібагатошарових зміцнених покриттів. Проведений аналіз властивостей параметрів сульфоцементованих покриттів. Досліджена топографія поверхневого шару після оброблення, шорсткість поверхні та суцільність покриття. Металографічний і

дюрOMETричний аналіз після сульфoцементації методом ЕІЛ показали, що оброблена поверхня складається із шарів: «м'якого», зміцненого й основного металу. Результати мікрорентгеноспектрального аналізу зразків зі сталі 40 свідчать про те, що при сульфoцементації методом ЕІЛ поверхневі шари на глибині 10-40 мкм, залежно від енергетичних параметрів процесу, насичені сіркою. Ця зона так само, як і на сталі 20, характеризується зниженою мікротвердістю. Під цим шаром формується зміцнений шар, він характеризується підвищеним вмістом вуглецю і високою мікротвердістю. Товщина зміцненого шару становить 15-40 мкм. Локальний мікрорентгеноспектральний аналіз покриттів показав, що найбільша кількість сірки знаходиться у поверхневому шарі, який характеризується зниженою мікротвердістю і розподіляється по глибині до 10 мкм. Найбільший вміст алюмінію характерний для ділянок покриття, що знаходяться на відстані 7-15 мкм від поверхні, але такі результати потребують додаткових досліджень. Приповерхневий «м'який» шар збагачений сіркою, зміцнений – алюмінієм. За результатами рентгенографічних досліджень, фазовий склад сульфoалітованих покриттів залежить від енергетичних параметрів ЕІЛ. Проведено аналіз властивостей Al-C-V покриттів, отриманих із застосуванням СТС при ЕІЛ. ДюрOMETричні дослідження показали, що з посиленням енергетичного впливу при ЕІЛ збільшується мікротвердість як верхнього зміцненого шару, так і дифузійної зони: при $W_p = 0,13$ Дж Нм = 648,7 МПа, а при $W_p = 4,9$ Дж - 12350 МПа. Результати рентгеноструктурного аналізу Al-C-V покриттів свідчать про те, що при енергіях розряду 0,13 і 0,55 Дж фазовий склад покриттів формується різними розчинами. Покриття, отримані при $W_p = 4,9$ Дж, характеризуються наявністю, крім твердих розчинів ОЦК і ГЦК зі зміненими параметрами кристалічної ґратки, інтерметалідів Fe_4Al_{13} і легованого цементиту Fe_3VC . Утворення цих фаз сприяє значному зміцненню і збільшенню мікротвердості поверхневого шару. Досліджено процес сульфoмолібденування металевих

поверхонь із застосуванням СТС при ЕІЛ. Металографічні та дюрOMETричні дослідження показали, що сульфомолібденові покриття складаються з 4-х зон: верхній пухкий шар з мікротвердістю $H_{\mu} = 111,2-204,0$ МПа, «білий» зміцнений шар з $H_{\mu} = 514,7-547,4$ МПа для $W_p = 0,13$ Дж і $H_{\mu} = 1059,6-1073,1$ МПа для $W_p = 3,4$ Дж, дифузійна зона і основний метал. При заміні підкладки зі сталі 20 на 40 відбувається підвищення мікротвердості, товщини зміцненого шару, а також суцільності. Енергодисперсійний аналіз показав, що сірка та молібден концентруються на глибині до 4 і 19 мкм, відповідно, при $W_p = 0,13$ Дж, до 5 і 25 мкм при $W_p = 0,55$ Дж, до 15 і 70 мкм при $W_p = 3,4$ Дж, відповідно. Локальний рентгеноструктурний аналіз отриманих покриттів показав, що дисульфід молібдену утворюється вже при енергії розряду $W_p = 0,55$ Дж (3,77%), а при $W_p = 3,4$ Дж його виявляється близько 8% на поверхні і близько 5% на глибині до 15 мкм. В роботі розглядаються зміцнюючі обробки і для високолегованих сталей. Виконано дослідження і представлено аналіз закономірностей формування багат шарових покриттів при електроіскровому легуванні в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення шару на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т. Розглянуті схеми: цементація електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж; ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж; ЦЕІЛ при $W_p = 3,4$ Дж + алітування алюмінієвим електродом марки СвА99 при $W_p = 3,4$ Дж + ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при $W_p = 3,4$ Дж. Покриття, сформовані в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ АІ → ЕІЛ Т15К6 мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). За рахунок утворення, 62% (мас.) ТіС та інтерметалідів забезпечується отримання максимальної мікротвердості поверхневого шару (більше 11500 МПа). ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузійну зону вуглецю й алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару.

Автором досліджено та апробовано велику кількість нових екологічно безпечних методів керування структурою та властивостями поверхонь зі сталей, заснованих на ЕІЛ із використанням СТС. Розробки захищені патентами та впроваджені у виробництво.

Шостий розділ роботи присвячено промислового впровадженню розроблених технологій для підвищення властивостей деталей динамічного обладнання методами, що базуються на ЕІЛ з використанням СТС. Показано, що застосування розглянутої комплексної технології зміцнення деталей підвищує їх характеристики міцності для сталі 20 на 10–15 %, 40 і 38Х2МЮА – на 12–18 %, сталей 12Х18Н10Т та 30Х13 – на 7 і 10 % відповідно.

Проведені порівняльні триботехнічні випробування покриттів, отриманих методом ЕІЛ показали, що високу зносостійкість мають покриття систем Al + C + B (лінійне зношування $\Delta l = 1,1$ мкм на сталі 40), N + C ($\Delta l = 1,2$ мкм на сталі 20), Mo + S ($\Delta l = 1,3$ мкм на сталі 40). Згідно з результатами триботехнічних випробувань покриттів сірка забезпечує підвищення зносостійкості. Зокрема, на сталі 40 лінійне зношування зразків з алітованим покриттям становить $\Delta l = 2,5$ мкм, а із сульфоалітованим – $\Delta l = 1,8$ мкм.

Виявлені залежності характеристик якості поверхневих шарів, отриманих методом ЕІЛ, із застосуванням СТС при синтезі однокомпонентних і багатокомпонентних покриттів від технологічних параметрів процесу, що дозволяють використовувати загальні підходи при виборі технології керування якістю цих покриттів з формуванням необхідної структури для подальшого технологічного впливу. На підставі експериментальних досліджень запропоновані математичні моделі (розглядаються рівняння впливу товщини, мікротвердості, шорсткості і суцільності поверхневого шару), що дозволяє за енергетичними параметрами визначати основні показники якості сформованого шару: підвищення мікротвердості, шорсткості і суцільності та прогнозувати

структуру для підвищення необхідних властивостей для подальшої зміни технологічного впливу.

Досліджено процес формування електроіскрових покриттів за різного часу релаксаційної концентрації речовини, внутрішнього напруження та температури. Проведений аналіз описує експериментальні дані, згідно з результатами яких з підвищенням потужності розряду збільшуються товщина й мікротвердість зон покриття.

Розроблені нові технологічні процеси зміцнення й відновлення деталей динамічного обладнання: валу насоса HDO-11st. Flowserve зі сталі 14462 ASTM A276, який полягає у цементації методом ЕІЛ з використанням СТС; шийок колінчастого валу зі сталі 40Х компресора під кулькові підшипники, що полягає у формуванні на робочій поверхні комбінованого електроіскрового покриття, поверхневої пластичної деформації (ППД) отриманого покриття і нанесення на нього металополімерного матеріалу (МППМ); статорних втулок насоса 301-Д, виготовлених зі сталі 08Х17Н13М2Т, який полягає у створення на робочих поверхнях Al+C+V покриттів методом ЕІЛ з використанням СТС, з наступним БУФО; масляних ущільнень відцентрового компресору зі сталі 12Х18Н10Т з наступним карбонітруванням методом ЕІЛ із використанням СТС, з наступним БУФО; робочих коліс відцентрового компресора, який полягає у формуванні на робочих поверхнях комбінованих С-Al-T15K6 покриттів, отриманих методом ЕІЛ; «вал-шестірні», що виготовлена зі сталі 36Х2Н2МФА, шляхом формування на робочих поверхнях покриттів: ЦЕІЛ та КЕІП Al-C-S із застосуванням СТС; «пуансону» прес-форми, що призначена для отримання заготовки типу втулки з полімерного композитного матеріалу з матрицею фторопласт-4 і різних наповнювачів (вуглеволокно, кокс, графіт і т.д.) компресійним пресуванням, шляхом формування на робочих поверхнях покриттів Mo-S із застосуванням СТС з наступним БУФО.

Розробки впроваджені у виробництво»: ТОВ «ТРІЗ, АТ «Сумський завод

насосного та енергетичного машинобудування «НАСОСЕНЕРГОМАШ», АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання – ІНЖИНІРИНГ», ПАТ «СУМИХІМПРОМ», КП «Міськводоканал», ТОВ НВП «СУМИПЛАСТПОЛІМЕР».

3. Наукова новизна результатів.

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень, і, безумовно, мають наукову новизну, слід зазначити наступне:

- Одержано залежності особливостей формування фазового складу та структури обробленої поверхні вуглецевих сталей після формування однокомпонентних покриттів методом ЕІЛ з використанням СТС (алітування, цементация) та показано, що після оброблення досягається підвищення товщини та мікротвердості робочого шару.

- Встановлена можливість одержання сульфідованих шарів під час оброблення сталей поверхонь ЕІЛ з використанням СТС, що містять сірку, компактним графітовим електродом та електродом-інструментом із металевого дроту, що забезпечує поряд зі зміцненням меншу схильність поверхонь від схоплення деталей у спряженнях під час тертя.

- Отримані азотовані та нітроцементовані поверхні сталей новим екологічно безпечним і менш енергозатратним методом ЕІЛ з використанням СТС. Встановлено взаємозв'язок між структурою та параметрами ЕІЛ.

- Проведено одночасне насичення сталі вуглецем, сіркою і бором методом ЕІЛ із застосуванням СТС. Відмічається, що фазовий склад покриттів на сталях 20 і 40 представлений твердими розчинами та інтерметалідом Fe_xAl_y і легованим бороцементитом $(Fe_3V)C$. Утворення цих фаз сприяє зміцненню мікротвердості поверхневого шару до 12 35,0 МПа.

- Запропоновані рівняння для прогнозування показників структури

(товщини, суцільності), механічних властивостей (мікротвердості) та геометричних параметрів (шорсткості) однокомпонентних і багатокомпонентних покриттів, отриманих методом ЕІЛ із застосуванням СТС, від параметрів процесу ЕІЛ, що дозволяє цілеспрямовано встановлювати алгоритм подальшого впливу для забезпечення потрібних властивостей поверхонь деталей.

- Набуло подальшого розвитку математичне моделювання формування покриття, що ґрунтується на методі фазової площини і статистичного аналізу. Розроблена модель описує особливості утворення покриттів під час ЕІЛ із застосуванням СТС.

Новизна результатів досліджень та нових технологічних рішень захищена патентами України.

4. Практична цінність результатів дисертації.

Розробки захищені 34 патентами, зокрема 13 з них були виконані разом зі спеціалістами на підприємствах ТОВ «ТРІЗ», м. Суми (2019–2020 р.), АТ «Сумське машинобудівне науково-виробниче об'єднання» (2020 р.), ПАТ «Суміхімпром» (2020 р.), КП «Міськводоканал» (2019 р.), АТ «Сумський завод насосного та енергетичного машинобудування «НАСОСЕНЕРГОМАШ» (2020 р.), ТОВ «Науково-впровадницьке підприємство СУМИПЛАСТПОЛІМЕР» (2020 р.) де проведені промислові випробування та їх використання. Очікуваний економічний ефект від впровадження нових технологій, захищених патентами, згідно даних виробників, становить 1 млн 171 тис. грн.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі СНАУ і СумДУ.

5. Достовірність і обґрунтованість результатів

Використання комплексу сучасних та взаємодоповнюючих методів дослідження структури та властивостей покриттів, забезпечують достатню достовірність отриманих результатів.

Наукові положення, висновки та рекомендації, подані у дисертації, також достатньо обґрунтовані, базуються на теоретичних та експериментальних дослідженнях, проведені на сучасному рівні експериментальних методик.

Висновки, що сформовані у роботі, дають уявлення щодо формування структури та властивостей покриттів, отриманих методом ЕІЛ.

6. Зауваження до дисертації

Визначаючи необхідний рівень виконаних розробок, а також наукове та практичне значення результатів, доцільно зробити деякі зауваження:

1. Представлена до захисту дослідна робота включає аналіз впливу на деталі з різних матеріалів зміцнюючих параметрів ЕІЛ. При цьому аналізуються однакові параметри змін, що утворюються – це твердість, щільність, суцільність. Було б доцільно показати, які параметри є найбільш важливими для конкретного використання зміцнених деталей та як вони впливають на їх життєвий цикл використання.

2. З представлених в роботі технологій та параметрів нанесення покриттів не завжди відомо в яких випадках проведена попередня активація поверхні перед ЕІЛ. Доцільно це було б показати у другому розділі. Крім того, при впровадженні результатів досліджень не відомо використання цієї операції.

3. Визиває сумнів ствердження, що має місце дифузія сірки в сталях 20 та 40, бо цей компонент може з'явитися при розчині вже при $t=1500^{\circ}\text{C}$ з включень FeS, MnS. Не зовсім обґрунтовано поява і інтерметалідних фаз в легованих сталях при обробках ЕІЛ. Зв'язок фаз при створенні подвійних та навіть

потрійних їх взаємодій можливим є вже у перехідному періоді розчинення – стабільних включень.

4. В роботі розглядається проблема самоорганізації процесу упорядкування структури, однак не ясно як це відбувається на протязі часу випробувань та які параметри цьому сприяють, що дозволяють процес контролювати.

5. Останній розділ роботи надає інформацію про промислову апробацію та впровадження результатів на різних промислових підприємствах і включає тільки перелік використаних технологій, які не були розглянуті в основному тексті одержаних результатів, тому вони не ґрунтуються на дослідженнях дисертанта та не можуть характеризувати його здобуток (це металополімерний матеріал, полімерні композити).

6. До роботи надається більш ніж 100 публікацій автора, але, на жаль, не всі з них знайшли відображення в роботі, тому можливо було б їх не враховувати. До них відносяться патенти, публікації, доповіді на конференціях. Це чавуни, електроерозійна обробка, корозійні властивості, гідроабразивне зношування, багатошарові покриття, боридні покриття, леговані міддю, дослідження сплаву $AlCrFeCoNiCu$, боромідні та борохромові покриття інструментальних сталей. Перераховані розробки навіть в роботі не висвітлені. Тому вони є зайвими у переліку, що додається і це потребує пояснення.

7. Виходячи з об'єму і суті виконаної роботи доцільно висвітлити в її назві не «Керування властивостями ...», а замість цього внести – «Керування структуроутворенням ...».

Зазначені зауваження не стосуються основних положень, висновків і рекомендацій дисертації, не знижують наукової та практичної значності виконаної роботи.

7. Повнота викладу результатів у публікаціях

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 111 наукових працях, зокрема: 3 монографіях у співавторстві, 33 статтях в спеціалізованих наукових виданнях України і 6 статтях у закордонних виданнях; 25 статей входять до міжнародних наукометричних баз даних SCOPUS та/або Web of Science . Отримано 34 патенти (з яких 13 на винахід), опубліковано 35 матеріалів і тез у збірниках доповідей наукових конференцій.

На підставі аналізу опублікованих автором робіт, а також виступів на міжнародних наукових і науково-практичних конференціях можна з зробити висновок, що матеріали дисертації достатньо повно висвітлені у статтях та доповідях, пройшли широку апробацію.

8. Загальний висновок

Проведений аналіз змісту основних положень дисертації Гапонової О.П. показує, що робота є завершеним дослідженням, зміст дисертації відповідає меті та задачам дослідження. В роботі отримані нові та обґрунтовані результати, які ефективно вирішують наукові і прикладні завдання підвищення довговічності деталей різного призначення шляхом керування структурою та властивостями сталених поверхонь за рахунок комплексного впливу електроіскрового легування із застосуванням спеціального технологічного середовища. Результати дослідження вказують на можливі шляхи підвищення експлуатаційної стійкості деталей динамічного обладнання з досліджуваних матеріалів, тому необхідне їх подальше використання і розвиток у рамках державних і галузевих наукових і прикладних програм.

Враховуючи викладене, вважаю, що представлена до захисту дисертація є завершеною науковою працею та за обсягом і кількістю публікацій, науковою та практичною значимістю відповідає вимогам МОН України, зокрема пп. 9, 10,

12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р. зі змінами, внесеними згідно Постанови КМ № 656 від 19.08.2015 р., а її авторка, Гапонова Оксана Петрівна, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство.

Офіційний опонент,
професор кафедри технологічних
систем ремонтного виробництва
ім. О. І. Сідашенка Харківського
національного технічного університету
сільського господарства імені
Петра Василенка, лауреат Державної
премії України, доктор технічних наук,
професор

Т. С. Скобло

