

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента на дисертаційну роботу**

**Кустова Віктора Володимировича**

**“Підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покріттів комплексним методом”, що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю**

**05.02.08 – Технологія машинобудування**

**Актуальність теми дисертації.** Технічний прогрес в промисловості у значній мірі обумовлений вдосконаленням технології виробництва машин та механізмів. Можливості виготовлення машин, конкурентоспроможних на світовому ринку, забезпечується оснащенням машинобудівельних підприємств сучасним верстатним обладнанням, інструментальним забезпеченням, новими технологічними методами, та ефективною їх експлуатацією. Тому особливого значення набувають впровадження сучасних технологій виготовлення нових і відновлення зношених деталей машин формуванням композиційних покріттів комплексними методами, зниження їх собівартості, підвищення надійності технологічних систем, точності та якості продукції.

У вирішенні проблеми підвищення якості поверхонь деталей машин, що працюють у важких умовах експлуатації, одне з найважливіших місць займає створення газотермічних композиційних покріттів із високим рівнем експлуатаційних властивостей, що передбачає використання для їх формування тугоплавких сполук типу фаз впровадження карбідів вольфраму та титану, яким властиві високі значення мікротвердості, модуля пружності та корозійної стійкості, зумовлені характером хімічного зв'язку.

Використання високопродуктивних технологій для їх нанесення, зокрема електродугового напилення, відкриває нові можливості розроблення універсальних технологій для відновлення та зміцнення широкої номенклатури деталей бурового і нафтогазового обладнання.

Однак у процесі електродугового напилення із порошкових дротів проявляється і ряд небажаних чинників, серед яких одним із найбільш небезпечних є вигорання легуючих елементів, яке призводить до зміни хімічного та фазового складу покриття. Це суттєво ускладнює отримання поверхневих шарів із прогнозованим високим рівнем експлуатаційних властивостей.

Застосування електроіскрового легування у комбінації з електродуговим напиленням композиційних покріттів із матеріалу суцільних дротів з введенням порошків із живильника в метало-повітряний потік дає змогу регулювати фазовий склад та структуру поверхневого шару, підвищую міцність його зчеплення з основою та, відповідно, сприяє підвищенню якості робочих поверхонь деталей.

Розв'язання цієї задачі неможливе без розроблення науково-обґрунтованих технологічних методів формування композиційних покріттів з покращеними властивостями, на основі поєднання напилення та електроіскрового легування і способів їх механічної обробки, які суттєво впливають на техніко-економічні показники експлуатації бурового і нафтогазового обладнання.

Тому дисертаційна робота Кустова В. В. «Підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покріттів комплексним методом», яка направлена на вирішення важливої науково-технічної задачі підвищення надійності та довговічності деталей машин бурового і нафтогазового обладнання є безумовно актуальною та вчасною.

**Відповідність роботи планам наукових досліджень.** Робота виконувалась в рамках наукової тематики кафедри «Технологія нафтогазового машинобудування» Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу у відповідності до держбюджетних науково-дослідних робіт «Науково-прикладні основи розробки технологічного забезпечення виробництва та надійності нафтогазового і металорізального обладнання» і «Синтез комп’ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об’єктів нафтогазового комплексу» (ДР № 0111U005890).

**Оцінка наукової новизни, достовірності та обґрунтованості основних положень дисертації.** Аналіз технічних рішень та наукових розробок в області

підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покріттів дозволив автору сформулювати мету і задачі дослідження.

В першому розділі дисертаційної роботи автор виконав аналітичний огляд сучасного стану формуванням композиційних покріттів, на основі якого зроблено висновок про перспективність виконання досліджень із забезпечення якості поверхонь деталей шляхом використання електроіскрового легування у комбінації з електродуговим напиленням, сформульована мета і основні завдання дослідження.

Проаналізувавши результати виконаних раніше робіт, автор дисертації запропонував нову концепцію підвищення ефективності процесу формування композиційних покріттів деталей бурового і нафтогазового обладнання за рахунок забезпечення заміни порошкових дротів при електродуговій металізації суцільними та введенням із живильника частинок порошку у металоповітряний потік і додатковим застосуванням електроіскрового легування поверхні.

Відповідно до запропонованої гіпотези, розроблено методику досліджень процесу поверхневого зміцнення електродугим напиленням композиційних покріттів і віброелектроіскровим легуванням композиційних покріттів із заданими експлуатаційними властивостями.

Автором виконано ряд досліджень з метою отримання розрахунково-аналітичних залежностей визначення параметрів процесу електродугового напилення композиційних покріттів із матеріалу суцільних дротів та частинок порошку, що дало змогу забезпечити нагрівання та потрапляння (транспортування) армуючих частинок порошку у центр зони напилення композиційних покріттів.

Для підвищення ефективності процесу розроблено комбінований метод поверхневого зміцнення, згідно якого за допомогою запропонованого методу електродугового напилення композиційних покріттів і віброелектроіскрового легування формують композиційні покриття із заданими експлуатаційними властивостями. При цьому слід враховувати, що ці процеси є мало вивченими і приховують значні виробничі можливості їх використання.

Автором експериментально обґрунтовано вплив технологічних параметрів при формуванні композиційних покриттів на зміну геометричних розмірів і шорсткості поверхні деталей.

Як свідчить виробничий досвід, значний потенціал в рішенні завдання підвищення якості поверхонь деталей з покриттями є використання ефективних процесів механічної обробки.

Встановлено, що при точінні напилених покриттів із суцільних дротів за певної глибини зрізаного шару отримується оброблена поверхня з мінімальною шорсткістю, яка залежить від загальної товщини покриття.

Вказана особливість характерна і для двошарових покриттів, що складаються з робочого композиційного шару, напиленого із матеріалу дротів і порошків та верхнього технологічного шару – із матеріалу дротів, який піддається механічній обробці. Поверхня з мінімальною шорсткістю для цих покриттів розташована ближче до зовнішньої поверхні, ніж для одношарових;

Теоретичні положення автора є послідовними, логічними та обґрунтованими. Прийняті в роботі припущення при описі стану формування композиційного шару покриття та визначення технологічних параметрів для забезпечення нагрівання та транспортування армуючих частинок порошку у центр зони напилення композиційних покриттів, не впливають суттєво на остаточний результат.

У загальних висновках автор представив найбільш значимі результати роботи, вони є змістовними і досить повно характеризують наукову і практичну новизну дисертаційного дослідження.

В роботі використано методики аналізу статистичної інформації, сучасна діагностична техніка та математична обробка даних.

Достовірність отриманих результатів базується на значному об'ємі експериментальних досліджень, що виконані як в лабораторних умовах, так і в умовах виробництва.

Достовірність розроблених рекомендацій підтверджується результатами їх практичного використання.

Наведене дозволяє вважати основні положення дисертації обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

**Загальна характеристика роботи.** Дисертаційна робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу та складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Повний обсяг рецензованої роботи містить 167 сторінок машинописного тексту з 51 рисунком та 14 таблицями. Список використаних джерел складається із 147 найменувань. У додатках наведено акти впровадження розробки в умовах промислових підприємств та патенти, що отримані за результатами роботи.

У **вступі** викладено обґрунтування актуальності роботи з дослідження процесів ефективного формування композиційних покриттів, розширення їх функціональних можливостей, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів.

В **першому розділі** роботи виконано аналіз патентно-інформаційних джерел з питань підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покриттів комплексним методом, поставлено завдання дисертаційного дослідження.

В **другому розділі** теоретично обґрунтовано процес формування композиційних покриттів поєднанням електродугового напилення з використанням суцільних дротів і введенням частинок порошку із живильника в металоповітряний потік та віброелектроіскового легування.

Визначено вплив технологічних параметрів при електродуговій металізації при формуванні композиційних покриттів. Виконано дослідження ведення частинок порошку в конус металоповітряного струменя, що здійснюється у радіальному напрямку.

Визначено, що за таких умов рух частинки відбувається у площині, яка проходить через вісь сопла електродугового металізатора та дозуючої трубки порошкового живильника і характеризується двома координатами.

Встановлено, що частинки порошку рухаються під дією власної ваги  $G$  і сили аеродинамічного опору  $F_{\text{оп}}$ . Прийнято припущення, що всі інші сили, які можуть виникати у процесі руху частинки порошку, наприклад, за рахунок нерівномірного розподілу градієнтів тиску та швидкості струменя повітря, запізнення відклику середовища на зміну її швидкості, мають незначний вплив.

В результаті ймовірносно-математичного моделювання процесу віброелектроіскрового легування встановлено, що із збільшенням площини однічного іскрового розряду відбувається легування поверхні деталі при меншій кількості імпульсів розрядів.

В третьому розділі представлено методика проведення досліджень на модернізованій установці електродугового напилення, вибрано матеріали покриттів. Обґрунтовано методи досліджень та розроблено методики оцінки якості формування композиційних покриттів комплексним методом. Застосовано широкий спектр сучасних методів досліджень зокрема: дюрометричних, електрохімічних, триботехнічних, металографічних, а також електронномікроскопічного аналізу.

Окрім використання стандартних методик у роботі запропоновано оригінальні методики, розроблено конструкції установок віброелектроіскрового легування, а також технологічне оснащення.

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів процесу формування композиційних покриттів комплексним методом на показники їх якості.

Експериментально досліджено особливості формування композиційних покриттів комплексним методом, досліджено вплив технологічних режимів електродугового напилення ( $I$ ,  $U$ ,  $L$ ) – суцільні дроти та різна концентрація частинок порошку ( $Ti$ ,  $Mo$ ,  $TiC$ ,  $WC$ ), які вводили із живильника у металоповітряний потік на фізико-механічні властивості композиційних покриттів: міцність зчеплення з основою, рівень залишкових напружень.

Встановлено, що із збільшенням сили струму та напруги на дузі міцність зчеплення зменшується. Збільшення дистанції напилення призводить спочатку до

зростання міцності зчеплення з основою, досягаючи деякого максимального значення, після чого починає зменшуватися.

Встановлено глибину залягання обробленої поверхні з мінімальною шорсткістю для багатошарових покриттів, робочий композиційний шар, яких напилений із матеріалу дротів і порошків, а верхній технологічний шар – із матеріалу дротів, а також для одношарових покриттів, напилених тільки з матеріалу дротів та зміну цієї глибини залежно від загальної товщини покриттів.

Автором застосовано розрахунково-аналітичний метод аналізу точності механічної обробки напилених покриттів, що дозволило визначити налагоджувальний розмір обробки, зміну його в часі і встановити часовий період обробки деталей з покриттями у межах встановленого допуску

В **п'ятому розділі** представлено методики розрахунку припусків та визначення товщини технологічного шару для отримання мінімальної шорсткості обробленої поверхні при точенні деталей з напиленими покриттями залежно від загальної товщини покриття.

Приведено конструкцію установки для формування покриттів комплексним методом, та запропонований технологічний процес легування гранул твердих сплавів для зміцнення породоруйнівних елементів бурових доліт.

В роботі представлені рекомендації з підвищення зносостійкості деталей типу тіл обертання, а також описані конструкція дослідно-промислової установки та необхідне оснащення.

Приведені результати стендових та промислових випробувань підтвердили техніко-економічну доцільність застосування комплексного методу зміцнення деталей нафтогазово-промислового і бурового обладнання.

По кожному розділу роботи надано відповідні висновки.

По роботі представлено загальні висновки, що містять основні наукові і практичні результати, які отримані автором.

У додатках до роботи представлено документи про практичне використання отриманих результатів: документи про дослідно-промислову перевірку та впровадження результатів роботи в Товаристві з обмеженою відповідальністю

МНВЦ «Елісон ЛТД» (м.Івано-Франківськ), Товаристві з обмеженою відповіальністю «Нафтогазтехнологія» (м.Івано-Франківськ).

**Значення результатів роботи для науки і практики.** Цінність для науки і практики дисертаційного дослідження які виконані Кустовим В. В. полягає в тому, що на основі вивчення особливостей процесу підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покріттів комплексним методом, отримано можливість комбінованого поверхневого зміщення, згідно якого електродуговим напиленням і віброелектроіскровим легуванням формують композиційні покріття із заданими експлуатаційними властивостями.

Такий підхід дозволяє врахувати фактичний рівень зношування деталей, що працюють в важких умовах експлуатації, максимально ефективно використовувати ресурс деталей бурового і нафтогазового обладнання.

На основі вказаних особливостей процесу підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покріттів комплексним методом, в роботі закладено наукові основи управління зносостійкістю композиційних покріттів на робочих поверхнях деталей бурового і нафтогазового обладнання.

На рівні патентів України автором розроблено конструкції установок для напилення композиційних покріттів, мікроелектродів тощо, які дозволили підвищити формуванням композиційних покріттів комплексним методом якість поверхонь деталей бурового і нафтогазового обладнання

Ця ідея і методичний підхід можуть бути поширені не лише на процес формуванням композиційних покріттів комплексним методом але і на інші методи комбінованого поверхневого зміщення.

Результати дисертаційної роботи мають велику перспективу практичного використання на багатьох машинобудівних підприємствах при виготовленні та ремонті деталей сучасної техніки бурового і нафтогазового обладнання.

Використання результатів дисертаційного дослідження в учебному процесі дозволить формуванню у студентів – майбутніх інженерів і науковців глибокого розуміння основ процесів підвищення якості поверхонь деталей шляхом формування покріття та їх механічної обробки.

**Повнота опублікування результатів дисертації.** Результати досліджень, виконаних при підготовці дисертації, досить повно опубліковані в наукових працях Кустова В. В.

Основний зміст дисертаційного дослідження відображену у 28 публікаціях, в тому числі 9 роботах в спеціалізованих фахових виданнях і в шести авторських свідоцтвах, патентах на винахід та патентах України на корисну модель, а також авторське право на комп'ютерну програму.

Найголовніші положення дисертації були представлені автором в доповідях на 12 Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних конференціях і семінарах.

В публікаціях Кустова В. В. представлені методичні розробки, результати теоретичних та експериментальних досліджень, а також матеріали, що стосуються практичного використання роботи. Таким чином, наведені публікації в належній мірі відображають основні положення та результати дисертаційної роботи.

### ***Зauważення по дисертації та автореферату***

1. В роботі відсутнє чітке обґрунтування наведеної математичної моделі процесу електродугового напилення у вигляді системи диференціальних рівнянь (формули 2.1, 2.2, стр. 41), а також не дано обґрунтування початкових умов розв'язання цих рівнянь та їх практичне застосування.

2. Наведена в розділі 2 ймовірнісна математична модель дослідження процесу електродугового легування має чисто теоретичне представлення і при її дослідженні не вказані конкретні значення ймовірнісних показників.

3. У другому розділі відсутнє обґрунтування величини шорсткості для армованих покріттів та оптимальні співвідношення між розмірами робочого армованого та неармованого технологічних шарів, що забезпечують оптимальні експлуатаційні властивості деталей з покріттями.

3. В роботі наведені оптимальні параметри процесу напилення покріттів (стр. 51), а також оптимальні значення припуску шорсткості поверхні покриття (рис. 4.24, стр. 127), в той же час відсутні посилання на критерії оптимізації, цільову функцію та використовуваний метод оптимізації.

4. В розділі 3 представлено загальний вигляд (рис. 3.13, стр 84), а при цьому не наведено обґрунтування та детальний опис запропонованого групового комбінованого технологічного процесу формування покриттів комплексним методом.

5. В роботі отримані залежності міцності зчеплення композиційного покриття з основою (рис. 4.4 – 4.6, стр. 93 – 96), але недостатньо приділено уваги дослідженням адгезійної взаємодії між матеріалом покриття і основою, а також залишковим напруженням, які виникають в процесі формування покриття і тісно пов'язані з енергетичними характеристиками процесу.

5. Оскільки на зносостійкість покриття впливають конструктивні, технологічні та експлуатаційні фактори, які визначають вид та ступінь зношування, то результати триботехнічних досліджень слід було б доповнити залежностями коефіцієнту тертя від тиску для різних варіантів покриття.

6. В наведених рівняннях регресії для визначення величини припуску (формули 5.3, 5.4 стр. 132) не вказано використовувані значення факторів і не представлена розмірність використовуваних змінних. Крім того, при визначені значимості коефіцієнтів рівняння регресії не наведено значення  $t$ - критерію Ст'юдента, а також значення  $F$ - критерію Фішера, які вказують на адекватність отриманих моделей.

7. У розділ 5 вказано підвищення зносостійкості досліджуваних деталей з композиційними покриттями в 1,4 – 1,5 рази в порівнянні зі стандартними деталями, але при цьому не наведено конкретні значення періодів їх стійкості.

8. В роботі та автoreфераті є деякі похибки в представленні результатів . В деяких наведених рисунках автор не приводить значення початкових умов при яких вони отримані. На рис. 2. (розділ 2) представлена «Залежність...», а не «Траекторія руху...», як трактується автором. Крім того, в роботі присутні лексичні та граматичні помилки, а також неточності у вживанні технічних термінів, наприклад, «ефективний груповий процес...» (стр. 7), «первісних похибок» замість «первинних...» (стр. 119 розділ 4.3), «вага, ваги» замість «маса» (стр. 10, 11 автoreферату) не відповідають загально прийнятим нормам.

Зазначені недоліки не знижують загальної цінності представленої роботи

Автореферат в повній мірі відбиває зміст та основні положення дисертації.

**Завершальна оцінка дисертаційної роботи.** Дисертаційна робота «Підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покриттів комплексним методом» є закінченою науково-дослідною роботою, в якій науково обґрунтована перспективність формування композиційних покриттів комплексним методом, що забезпечило вирішення актуальної науково-технічної задачі підвищення ефективності процесу зміщення та створення поверхневих шарів деталей з підвищеними фізико-механічними та експлуатаційними властивостями

Робота повністю відповідає вимогам щодо кандидатських дисертацій і, насамперед, вимогам п.п. 9, 11 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567.

Вважаю, що дисертаційна робота «Підвищення якості поверхонь деталей формуванням композиційних покриттів комплексним методом» заслуговує на позитивну оцінку, а її автор Кустов Віктор Володимирович – присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – «Технологія машинобудування».

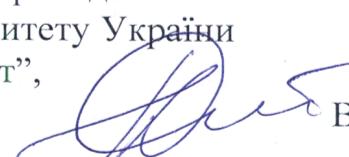
Офіційний опонент,

професор кафедри "Виробництва приладів"

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут",

доктор технічних наук, професор



В. С. Антонюк

Підпис д.т.н., професора В. С. Антонюка

засвідчує:

Вчений секретар НТУУ "КПІ"  Мельниченко А.А.