

Відгук

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри комп'ютеризованого машинобудування Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Присяжнюка Павла Миколайовича

на дисертаційну роботу **Майфата Миколи Миколайовича**
«Технологічне забезпечення захисту деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, високоефективними взаємодоповнюючими комбінованими методами»,

подану на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 13

за спеціальністю 133

1. Актуальність теми дисертаційної роботи.

Забезпечення зносотривкості поверхонь сталевих та чавунних деталей, які експлуатуються за умов гідроабразивного зношування є важливою науково-практичною задачею для машинобудівної, нафтогазової, гірничої, переробної та ін. галузей. Комплексність даної проблеми зумовлена тим, що за газоабразивного зношування має місце накладання низки факторів, зокрема мікрорізання, мікротомного передеформування, корозії, ерозії, кавітації, впливу біологічно активного середовища і т.п. Очевидно, що за таких складних умов спрацювання поверхневий шар, у першу чергу, повинен характеризуватись поєднанням високої твердості та корозійної тривкості. Раціональним методом для досягнення цього, є методи інженерії поверхні спрямовані на формуванні у поверхневому шарі структур за участі тугоплавких сполук перехідних металів IV-VI групи періодичної системи елементів із підвищеною (понад 10 ГПа) мікротвердістю. До таких сполук, насамперед, відносяться карбіди, бориди та нітриди. Обраний у дисертаційній роботі метод (електроіскрового легування) та розроблена комплексна технологія його реалізації дозволяє забезпечити ефективне формування таких покриттів. Запропонована технологія характеризується гнучкістю та мобільністю, які роблять її високорентабельною для промислового застосування. Крім того, її застосування для протидії гідроабразивному зношуванню нівелює, чи не основний недолік електроіскрових покриттів, а саме високий рівень мікро- та макронерівностей, оскільки поверхневий шар контактує переважно із абразивовмісним середовищем.

З огляду на вище зазначене дисертаційна робота є, без сумніву, **актуальною.**

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами.

Дисертація виконана на кафедрі технічного сервісу та галузевого машинобудування Сумського національного аграрного університету (СНАУ) згідно з планом держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України «Дослідження ресурсозберігаючих технологій формування функціональних покриттів робочих поверхонь деталей машин» (НДР № 0118U100099) та «Наукова методика забезпечення збереження властивостей робочих поверхонь деталей енергоефективними екологічно чистими методами» (№ 0116U002756), а також госпдоговору № 2-5 з приватним підприємством «КАРЛА МАРКСА-2» на тему «Розробка технології зміцнення і відновлення металевих поверхонь деталей с.-г. обладнання методом електроіскрового легування», де здобувач був виконавцем.

3. Наукова новизна одержаних результатів.

Серед основних положень, що визначають наукову новизну представленої роботи можна виділити основні наступні

- Встановлено взаємозв'язок між характером гідроабразивного зношування електроіскрових покриттів та енергією руйнування поверхневого шару. На основі цього запропоновано модель зношування та алгоритм її реалізації з метою прогнозування зносу

- Розроблено модель спрямованого вибору параметрів для електроіскрового нанесення покриттів, яка базується на системному аналізі та взаємозв'язку низки ключових технологічних факторів.

- На основі експериментальних досліджень покриттів для зразків із різних матеріалів (сталі 45 та Р6М5 і чавун ВЧ50) встановлені константи, які є ключовими для визначення вагового та лінійного зносу, а тако енергію активації процесу зношування. Це дозволило здійснити обґрунтований вибір найбільш раціональної технології зміцнення деталей, що експлуатуються за умов домінуючого гідроабразивного зношування.

- Вперше запропоновано спеціальні технологічні насичуючі суміші системи легування Ni-Cr-B-Si, які у поєднанні із електродами на основі вольфрамових твердих сплавів забезпечують економічну, технологічну, експлуатаційну та економічну доцільність промислового застосування процесу електроіскрового легування.

- Вперше запропоновано комплексну технологію зміцнення, яка включає в себе електроіскрову цементацію та алітування, нанесення легованого сплаву ВК6 та нанесення металополімерного матеріалу із армівними фазами ZrN. Її реалізація дозволила суттєво (у ~1.5 рази) підвищити зносотривкість деталей, виготовлених із високоміцного чавуну.

4. Наукове та практичне значення.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у розробленні моделі зношування, яка включає в себе енергетичні параметри поверхневого шару та

дозволяє прогнозувати знос електроіскрових покриттів за умов гідроабразивного зношування, а також у розробленні нових електродних матеріалів та оптимізації технологічних параметрів їх використання. Практичне значення дисертації полягає у розробленні практичних технологічних рекомендацій для зміцнення низки деталей насосно-компресорного обладнання, виготовлених із середньовуглецевих та неіржавіючих сталей і високоміцного чавуну, а також інструменту, виготовленого із швидкорізальної сталі.

5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.

Результати дисертаційного дослідження достатньо повно опубліковано у науковій періодиці та апробовано на наукових конференціях, зокрема за темою роботи було опубліковано 15 наукових праць, із яких 4 статті у фахових виданнях України, 3 статті – у виданнях, що індексуються в науково-метричних базах Scopus та/або WoS, 3 патенти України на корисну модель та 5 праць за результатами участі у конференціях.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Наукові положення, технологічні рішення та висновки дисертації є достатньо обґрунтованими, оскільки вони базуються на значному обсязі експериментальних даних, що стосуються кінетики масопереносу під час електроіскрового легування, металографічних, електронномікроскопічних, мікродюриметричних, трибологічних та ін. досліджень. Отримані дані знаходяться у відповідності із даними інших авторів для схожих систем легування та не суперечать загальноновизнаним теоріям та концепціями для опису процесу формування покриттів у процесі електроіскрового легування. Обґрунтованість наукових положень також підтверджено публікаціями, зокрема у виданнях, що індексуються у наукометричних базах даних Scopus та Web of science, а також апробацією результатів дисертаційного дослідження на вітчизняних та міжнародних конференціях.

7. Структура та зміст дисертації, її завершеність та відповідність встановленим вимогам щодо оформлення.

Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та додатків.

У *першому* розділі проведено порівняльний аналіз конструктивних особливостей насосного та компресорного обладнання та виділено основні фактори, що визначають надійність та довговічність їх роботи. Показано, які саме види обладнання найбільш інтенсивно піддаються гідроабразивному та ерозійному видам зношування, а також проаналізовано конкретні механізми даних видів зношування, залежно від типу обладнання та умов його

експлуатації. Оцінено довговічність різних марок сталей за умов роботи у різних робочих середовищах та виокремлено основні недоліки існуючих покриттів на полімерній основі, зокрема низьку зносотривкість, складність нанесення та високу вартість. Проведено порівняння основних технологічних методів зміцнення, які можуть бути використані для підвищення зносотривкості робочих поверхонь насосного та компресорного обладнання та виділено основні переваги методу електроіскрового легування над іншими (напилення, наплавлення, хіміко-термічна обробка та ін.). Особливу увагу приділено використанню нових матеріалів, зокрема на основі вольфрамових сплавів, легованих Ni, Cr, В та Si, а також удосконаленню технології нанесення покриттів шляхом використання спеціальних насичуючих технологічних середовищ, комбінованого нанесення покриттів та застосуванню безабразивної фінішної обробки.

На основі проведеного критичного аналізу було сформульовано мету та завдання дослідження.

Розділ 2 присвячено методичним аспектам проведення експериментальних та теоретичних досліджень. Зокрема, тут застосовано системний підхід із використанням методу спрямованого вибору для забезпечення необхідного рівня якості поверхневих шарів. Даний підхід проілюстровано у вигляді схем та алгоритмів. При цьому, було використано конкретні деталі, зокрема для роторів гвинтового компресора, захисних втулок насосів, корпусних деталей компресорів та металорізального інструменту. Запропоновано аналітичні залежності та мережеві моделі для вирішення задачі із оптимізації, які базуються на характеристиках поверхневого шару та містять набір ключових властивостей для досягнення оптимальних значень цільової функції – якості поверхневого шару. Також, проведено порівняльний аналіз факторів, що спричиняють зношування деталей за умов гідроабразивного та ерозійного зношування на прикладі деталей компресорів, насосів та різального інструменту. Запропоновано математичну модель зношування, залежно від енергії, що витрачається на руйнування поверхневого шару.

Третій розділ стосується методик виготовлення зразків для визначення властивостей та приготування мікрошліфів для встановлення параметрів мікроструктури.

Для формування покриттів було застосовано висоенергетичну установку марки «Елітрон - 52 А», а як електродні матеріали вольфрамові сплави (на основі ВК6). Додатково було застосовано розроблені у роботі спеціальні насичуючі технологічні суміші (далі СНТС) на основі легованого нікелевого сплаву. Покриття наносили на середньовуглецеву та швидкорізальну сталі, а також на високоміцний чавун. Результати металографічного та мікродюрOMETричного аналізів показали, що покриття як на сталі 45 так і на сталі Р6М5 характеризуються суцільністю, відсутністю видимих дефектів на межі «покриття - основа» у вигляді пор відшарувань та тріщин та товщиною понад 50 мкм. Мікротвердість покриттів становить від 8 до 14 ГПа. Слід зазначити, що значною мірою дані

характеристики забезпечуються за рахунок СНТС, розроблених у дисертації, а також те, що криві, які ілюструють кінетику масопереносу знаходяться у відповідності із як із «класичними» даними так і даними, наведеними у науковій періодиці.

У **четвертому розділі** проведено визначення зносотривкості покриттів за умов гідроабразивного зношування. За їх результатами було встановлено, що найвищим рівнем зносотривкості для сталі 45 характеризуються покриття сформовані із твердого сплаву ВК6 та СНТС системи легування Ni-Cr-B-Si. Такі ж результати було одержано і для сталі Р6М5. При цьому важливо зазначити, що по мірі збільшення тривалості випробовувань різниця зносу еталонного (без покриття) та зміцнених зразків зростає у сторону підвищення її значень для останніх. Визначення механічних властивостей покриттів та параметрів мікрогеометрії показали, що ефективним методом підвищення даних характеристик є використання безабразивної фінішної обробки, яка дозволяє знизити шорсткість покриттів у 2-3 рази та забезпечити появу сприятливих напружень стискання. Комплексне поєднання технологій електроіскового легування графітом, алюмінієм, СНТС та нанесення металополімерного покриття армованого нітридо цирконію дозволило забезпечити підвищення зносотривкості нержавіючої сталі 12Х18Н9Т практично у 2 рази та чавуну ВЧ50 в 1.5 рази. Рентабельність застосування даної технології було підтверджено розрахунком економічного ефекту. Насамкінець, у даному розділі було надано практичні технологічні рекомендації для зміцнення низки деталей, зокрема роторів гвинтових і відцентрових компресорів, захисних втулок та робочих коліс насосів, шнеків, поршневих кілець і т. п., а також металорізального інструменту.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

1. Таблицю 1.1 більш коректно було б назвати : «Порівняльний аналіз відносної інтенсивності зношування», оскільки вона містить дані відносно певного еталону зі значенням рівним 1.0

2. На стор. 58–59 повторюється думка щодо використання сплаву ВК6 90% +10% 1М.

3. Деталізація термінів та понять пов'язаних із системним аналізом на стор. 66–67, на мій погляд, є надмірною.

4. При поясненні позначень, які містить формула (2.7) вказано, що потрібно враховувати щільність за висотою. Далі варто було б вказати як це було реалізовано практично.

5. Твердження (стор. 80), що найбільший знос покриття відповідає його найменшій твердості є дещо суперечливим, оскільки твердість виміряна ідентуванням не імітує повною мірою процесу гідроабразивного зношування, де основним механізмом є, все ж таки, мікрорізання.

6. На знімках, що ілюструють результати мікродюрOMETричного аналізу у розділі 3, для більшої інформативності, слід було б використати масштабні мітки, а не збільшення (у підписі до рисунку).

7. Знімок, де показано морфологію частинок абразиву (рис. 4.1, б) є малоінформативним. Такий аналіз варто було б проводити методом сканівної електронної мікроскопії. Теж саме стосується морфології зношених поверхонь (табл. 4.2 та 4.3).

8. Із тексту дисертації не зовсім зрозуміло, чому кут атаки абразивом при трибологічних випробуваннях було вибрано рівним 45° (стор. 126).

9. У таблиці 4.5 та на стор. 136 йдеться про показник суцільності покриттів, який визнається у відсотках, проте у методичній частині детально не пояснено, яким чином даний показник вимірювали.

10. Цитовану літературу наведено у різних стилях ДСТУ та АРА, тоді як краще було б дотримуватись одного стилю. Також не зрозумілим є критерій поділу літературних джерел на основні та додаткові, а під номером 59 наведено одразу два джерела.

11. У дисертаційній роботі зустрічаються граматичні помилки та термінологічні неточності.

9. Загальний висновок

Дисертаційна робота Майфата Миколи Миколайовича «Технологічне забезпечення захисту деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, високоефективними взаємодоповнюючими комбінованими методами», яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 за спеціальністю 133 за своїми актуальністю, науково-теоретичним рівнем, основними результатами обґрунтованості, основними положеннями і результатами опублікованими у фахових виданнях, новизна постановки та практичним значення відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12 січня 2017 року «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та Постанові Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022

Офіційний опонент:

кандидат технічних наук,

доцент, доцент кафедри

комп'ютеризованого

машинобудування

Івано-Франківського національного

технічного університету нафти і газу



Павло ПЕКОСЯЖНЮК

Підпис(и)

посвідчую

Учений секретар ІФНТУНГ

«19»

липень

2024р.