

Відгук

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри прикладного матеріалознавства і
технологій конструкційних матеріалів

Харченко Надії Анатоліївни

на дисертаційну роботу **Майфат 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 - Механічна інженерія
за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування

1. Актуальність теми та відповідність спеціальності 133 – галузеве машинобудування

Дисертаційна робота спрямована на підвищення зносостійкості поверхневих шарів деталей машин і їх елементів, які працюють в умовах інтенсивного гідроабразивного зношування. Для досягнення максимально позитивного результату необхідно підвищувати експлуатаційну довговічність та надійність матеріалів шляхом оптимізації складу, структури та використання зміцнювальних технологій. Одним із найбільш перспективних методів в цьому напрямку є модифікація структури шляхом фазово-структурних перетворень в твердому і рідкому станах, а також нанесення захисних покриттів й поверхневого легування із застосуванням висококонцентрованих джерел енергії. Поставлена в роботі мета досягається за рахунок нанесення на поверхню виробів композиційних зносостійких покриттів. Розроблена та запропонована автором роботи технологія є комбінованою і включає метод електроіскрового легування (ЕІЛ), з

наступною обробкою металополімерними матеріалами (МППМ), армованими порошками з карбїду вольфраму, нітриду цирконїю, або їх сумішшю.

З урахуванням вищезазначеного, дисертація має наукову й практичну цінність, а її результати є актуальними для підприємств різних галузей промисловості (сільськогосподарська, нафтогазова, гірничодобувна, хімічна, металургійна тощо), деталі й обладнання яких працюють в умовах інтенсивного зношування і потребують частотї заміни.

За своїм спрямуванням дисертація Майфат М. М. відповідає спеціальності 133 – галузеве машинобудування.

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».

3. Наукова новизна одержаних результаті.

1. Встановлено функціональний взаємозв'язок між закономірностями технологічного процесу формоутворення поверхні деталі з заданими експлуатаційними властивостями і інтегральними показниками економічної ефективності та екологічної безпеки, що дозволило кількісно оцінити вплив кожної складової технологічного процесу ремонту на екологічну безпеку виробництва в цілому.

2. Експериментальними дослідженнями встановлено кореляційний зв'язок між ваговим і лінійним зносом сталевих та чавунних зразків з електроіскровими покриттями та величиною енергії, витраченої на руйнування поверхневого шару. Отримано рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів сталевих та чавунних зразків і запропонований алгоритм для визначення максимального вагового зносу, максимального лінійного зносу і енергії активації процесу зносу.

3. Науково обґрунтовано та узгоджено параметри розробленої системи спрямованого вибору більш надійної і екологічно безпечної технології виготовлення і ремонту відповідальних деталей машин, які працюють у важких умовах гідроабразивного зносу.

4. На підставі встановлених кореляційних залежностей між енергією витраченою на руйнування поверхневого шару та ваговим та лінійним зносом композиційних електроіскрових покриттів (КЕП) зразків, фізично обґрунтовано функціональні зв'язки між основними параметрами процесу зносу (рівняння зносу), що дозволяє по енергії, затраченій на руйнування поверхневого шару, визначати лінійний та ваговий знос КЕП покриття, а також вирішувати зворотну задачу - знаходити величину енергії руйнування поверхневого шару, необхідної для здійснення зносу певної кількості речовини або отримання необхідного лінійного зносу.

5. Для різних матеріалів зразків (сталь 45, Р6М5 і чавун ВЧ50) обґрунтовано розроблену методику визначення констант рівняння зносу: найбільшого вагового та лінійного зносу, а також енергію активації процесу зношування, які можуть бути критеріями вибору найбільш раціональної та екологічно безпечної технології виготовлення і ремонту відповідальних деталей машин, які працюють у важких умовах гідроабразивного зносу.

6. Експериментальними дослідженнями доведена економічна, технологічна, експлуатаційна і екологічна доцільність нанесення на металеві поверхні композиційних ЕІП компактними електродами з використанням спеціальних технологічних насичуючих середовищ (СТНС) в порівнянні з

електродами інструментами (ЕІ), виготовленими шляхом спікання порошковою металургією (ПМ).

7. Експериментальними і порівняльними дослідженнями доведена перевага армування МПМ порошком нітриду цирконію при формуванні комбінованих зносостійких покриттів, нанесених в послідовності ЕІЛ Al → ЕІЛ (90%ВК6+ 10%1М) → МПМ (80% ZrN) на чавунні поверхні і з попередньою цементацією електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) на поверхні зі сталі для захисту від гідроабразивного зносу.

4. Наукове та практичне значення результатів роботи

Наукове значення результатів роботи:

1. Доведено, що альтернативою технології захисту сталевих і чавунних деталей машин від гідроабразивного і інших видів зношування, шляхом нанесення методом ЕІЛ захисних покриттів ЕІ складу 90%ВК6+10%1М, виготовленими методом порошкової металургії може бути більш технологічна, дешевша і ефективніша технологія, що полягає в використанні компактних ЕІ з застосуванням СТНС.

2. Розроблено систему спрямованого вибору екологічно безпечної технології виготовлення і ремонту відповідальних деталей машин, які працюють у важких умовах гідроабразивного зносу. При цьому розроблена формалізована методика визначення оптимального варіанта потрібної технології, а кожен її варіант реалізується можливими комбінаціями рішень мінімізованими з економічних і екологічних показників.

3. Запропонована нова технологія, яка забезпечує підвищення здатності деталей чинити опір зношуванню, гарантує надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, екологічну безпеку і скорочення витрат на їх виготовлення.

Практичне значення результатів роботи полягає в розробці ряду технологічних рекомендацій з нанесення захисних покриттів на деталі, які працюють в умовах гідроабразивного і ерозійного зносу, використання яких

допоможе підвищити їх зносостійкість і довговічність. Отримані в роботі технологічні рішення, захищені 2 патентами і впроваджені на ПАТ «НВАТ ВНДІКОМПРЕСОМАШ», АТ «СМНВО-ІНЖИНІРИНГ» та ТОВ «ТРІЗ ЛТД», м. Суми з загальним очікуваним економічним ефектом 405 000 (чотириста п'ять тисяч) гривен.

5. Повнота викладення матеріалу дисертації у наукових публікаціях.

За результатами досліджень опубліковано 15 наукових праць, з них: 4 статті у фахових виданнях України, 5 конференції, 3 патенти; 3 статті – в зарубіжних виданнях, що індексуються в науково-метричних базах Scopus або WOS.

Зазначені кількість та якість публікацій дають підставу вважати, що наукові положення, висновки та рекомендації, які отримані у дисертації, повністю висвітлені у відповідності до вимог МОНУ, що висуваються до робіт, поданих на здобуття ступеня доктора філософії.

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі, базуються на аналізі значної кількості сучасних літературних джерел з даною проблематики, чіткій постановці мети і задач дослідження, використанні сучасних загальноприйнятих методів досліджень, критичному аналізі отриманих результатів і незаперечному формулюванні отриманих висновків.

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

Дисертаційна робота має завершений вигляд, відповідає встановленим вимогам щодо оформлення і складається з анотації, вступу, чотирьох

розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків, викладена на 200 сторінках машинописного тексту. Основний зміст роботи викладено на 134 сторінках, включаючи 52 рисунки та 30 таблиць. Список використаних джерел складається з 151 найменувань на 18 сторінках.

У **вступі** обґрунтовується вибір теми дисертаційного дослідження та наукових завдань, сформульовано мету та завдання дослідження, визначається наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, а також наводиться інформація про апробацію, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** було проведено критичний аналіз номенклатури виробів, які підлягають газообразивному зносу (ГЗ). Проаналізовано існуючі методи захисту та відновлення робочих поверхонь цих виробів від зносу.

У **другому розділі** реалізовано удосконалення системного підходу до вибору технологій управління параметрами якості поверхонь деталей машин, що працюють в умовах ГЗ. Теоретично розроблена формалізована методика визначення оптимального варіанту технології виготовлення і ремонту деталей машин. Експериментально встановлена кореляція вагового і лінійного зносу покриттів досліджуваних деталей машин від величини енергії, витраченою на руйнування поверхневого шару. Отримані рівняння вагового та лінійного зносу захисних електроіскрових покриттів відповідальних деталей машин і запропонований алгоритм для визначення максимального вагового та лінійного зносу і енергії активації процесу зносу. Запропоновано методику, що дозволяє інженерно технічним працівникам ремонтних служб визначати час зносу зміцненого шару або нанесеного покриття на поверхні деталей машин і зупинки обладнання для проведення ремонтних робіт.

У **третьому розділі** реалізовано нанесення захисних покриттів методом електроіскрового легування. Катодом виступала сталь 45 (280 НВ), Р6М5 (64 HRC) і ВЧ50 (153...360 НВ). Анодом були компактні ЕІ складу: 90% ВК6 + 10% 1М і 1М - 70% Ni, 20% Cr, 5% Si, 5% В. Крім того, використовували ніхромовий дріт Х20Н80 і пластини ВК6. При ЕІЛ

електродами з X20H80 на зразки попередньо наносили СТНС двох складів: 1-й: 5% Si+ 5% В+90% вазелін; 2-й: 0,5% Si+0,5% В+59% ВК6+40% вазелін. При ЕІЛ ЕІ з твердого сплаву ВК6 на зразки наносили СТНС складу: 0,5% Si+0,5% В+2% Cr+7% Ni+90 % вазелін.

В роботі були проведені металографічний, дюрOMETричний, мікрорентгеноспектральний аналізи; визначення шорсткості покриттів. Досліджено вплив методу ЕІЛ на механічні властивості деталі. Встановлено, що поверхневі шари сталі 45, Р6М5 і ВЧ50 після нанесення зносостійких покриттів мають структуру, яка складається з трьох ділянок: зверху «білий» шар, нижче перехідна зона і основний метал. Проаналізований вплив технологічних параметрів ЕІЛ на структуру, мікротвердість, шорсткість і суцільність покриття. Проаналізована кінетика процесу масопереносу при ЕІЛ зразків ВЧ50. Проаналізований хімічний склад покриттів.

У **четвертому розділі** були проведені порівняльні випробування зразків сталі 45 і Р6М5, зміцнених компактними ЕІ (90% ВК6 + 10% 1М і 1М), а також компактними ЕІ з ВК6 і з X20H80, з використанням СТНС, проти гідроабразивного зносу. В результаті встановлено, що кращою стійкістю володіють зразки с покриттям нанесеним методом ЕІЛ ЕІ з твердого сплаву ВК6 з використанням СТНС складу 0,5%Si+0,5%В+2%Cr+7%Ni+90% вазелін, знос яких на 43 % менше ніж у зразків без покриття, відповідно для сталі 45 і Р6М5.

Проаналізовано вплив параметрів обробки методом ЕІЛ і БУФО на механічні властивості (межа міцності, межа плинності, відносне подовження, відносне звуження, шорсткість поверхневого шару, суцільність покриття).

До практичної реалізації пропонуються зносостійкі покриття, сформовані за новою технологією. В результаті проведених досліджень запропонована нова технологія, яка забезпечує підвищення здатності деталей чинити опір зношуванню, гарантує надійність і довговічність їх роботи в агресивних середовищах, екологічну безпеку і скорочення витрат на їх виготовлення.

8. Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

Поряд із загальною позитивною оцінкою дисертаційної роботи необхідно відзначити наявність у ній окремих дискусійних питань та зауважень, які потребують додаткової аргументації:

1. Не зрозуміло на чому базується вибір матеріалу катоду (сталь 45, Р6М5, ВЧ50). Чи достатньо інформативний буде аналіз при такому обмеженому виборі матеріалів основи?

2. В роботі зазначена твердість матеріалів–катодів сталь 45 (280 НВ), Р6М5 (64 HRC) і ВЧ50 (153...360 НВ). Тобто можна припустити, що автор враховує вплив твердості на результат обробки? Тоді не зрозуміло чому твердість ВЧ50 наведена в широкому діапазоні, а не зазначено конкретне значення?

3. Автор стверджує, що технологію нанесення зносостійких покриттів методом ЕІЛ, з використанням ЕІ складу 1М і 90% ВК6 + 10%1М, можна удосконалити за рахунок використання спеціальних технологічних насичуючих середовищ (СТНС), які попередньо наносяться на поверхню деталі що легується. Тобто один із основних акцентів роботи базується саме на СТНС. Але в свою чергу в роботі запропоновані два суттєво різні склади СТНС. Чим обумовлений запропонований якісний і кількісний склад цих складів?

4. Мікрорентгеноспектральним аналізом встановлена присутність заліза матеріалу основи в покритті. Це свідчить про взаємну, зустрічну дифузію хімічних елементів. З роботи не зрозуміло Чи проводився порівняльний аналіз впливу режимів ЕІЛ та/чи складу електродів на цей показник?

5. Чим можна пояснити результат, що кращою стійкістю проти гідроабразивного зносу володіють зразки сталі 45 і Р6М5 с покриттям нанесеним методом ЕІЛ ЕІ з твердого сплаву ВК6 з використанням СТНС складу 0,5%Si+0,5%B+2%Cr+7%Ni+90% вазелін?

6. Яке інформативне або практичне значення має візуальний аналіз зразків сталей після випробувань проти гідроабразивного зносу?
7. Повтор тексту сторінка 132 і 137
8. Не зрозуміло чому сталь 12Х18Н10Т не розглядається в розділі 3? Тобто металографічний, рентгеноспектральний дюрOMETричні аналізи даної сталі після обробки не були проведені?
9. Апробацію запропонованої технології формування комбінованих електроіскрових покриттів, виконували на зразках ВЧ60. Чим обумовлена заміна попередньо дослідженого чавуну ВЧ50?
10. Чим можна пояснити що для сталі 12Х18Н10Т найкращі результати з гідроабразивної зносостійкості показали зразки з покриттям, сформованим після ЦЕЛЛ?

9. Загальний висновок

Дисертаційна робота Майфат М. М. «Технологічне забезпечення захисту деталей машин, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, високоефективними взаємодоповнюючими комбінованими методами» є завершеною науковою роботою, яка розв'язує важливу науково-технічну проблему з розробки інноваційних, короткотривалих, енергоощадних та екологічно безпечних технологій поверхневого зміцнення та відновлення деталей машин, працюючих в умовах інтенсивного гідроабразивного зношування.

Дисертація Майфат М. М., яка подана до захисту у спеціалізовану вчену раду на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 - механічна інженерія за спеціальністю 133 – галузеве машинобудування, 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 прикладного матеріалознавства і
технологій конструкційних матеріалів
Сумського державного університету



Надія ХАРЧЕНКО

