

МІНІСТЕРСТВО ОСВИТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

**Омельченко Леонід Віталійович**

УДК 621.793

ПІДВИЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ  
ПОКРИТТІВ ПРИ ЇХ МОДИФІКОВАННІ ВТОРИННОЮ СИРОВИНОЮ

Спеціальність 05.02.01 – матеріалознавство

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник**

**Скобло Тамара Семенівна**,  
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Лауреат Державної премії України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологічних ремонтного виробництва

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Дмитрик Віталій Володимирович**  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»  
Лауреат Державної премії України,  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри зварювання;  
доктор технічних наук, професор

**Узлов Олег Володимирович**

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри матеріалознавства та обробки матеріалів

Захист відбудеться «12» травня 2021 року о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.04 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м.Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «12» квітня 2021 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Є.І. Калінін

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Для підвищення якості металу виробів використовують крім легуючих домішок і модифікуючі суміші, які складаються із різних компонентів, що створюють змінні фазові складових та сприяють новим умовам кристалізації. Такий підхід забезпечує корегування структурним станом металу і отриманню при подальших технологічних обробках необхідні споживчі властивості виробів.

Вміст компонентів домішок для модифікування підбирають в залежності від необхідності забезпечення конкретних властивостей при одержанні виробів різними методами.

В останні роки особлива увага приділяється використанню маловитратних технологій при їх одержанні. До них відносяться різні шлаки доменного виробництва, золи від спалювання вугілля ТЕЦ, в склад яких входять мікролегуючі та модифікуючі компоненти.

Новим напрямком модифікування є дослідження (відновлюючих покриттів) спрямованих на використання домішки нано- та дисперсних алмазів, які отримують різними методами – статистичним навантаженням, динамічним та детонаційним. Основним недоліком таких алмазів з шихти є їх схильність до розпаду з формуванням графіту при навіть невеликому періоду зберігання. Одержання більш стабільних алмазних фракцій досягається багаторазовою детонацією і це є дуже коштовним матеріалом.

ХНТУСГ на протязі останніх років разом зі іншими спеціалістами відповідного профілю проводять дослідження по одержанню шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боеприпасів. Така шихта містить нано- та дисперсні алмази, які показали свою стабільність при зберіганні. Виходячи зі складу формуючих фаз у такій шихті, на першому етапі використовували лише немагнітну її фракцію. В цих дослідженнях вперше проводили пошук нових методів і напрямів використання магнітної частки такої шихти, яка може дозволить забезпечити нові підходи до ефективного модифікування покриттів з різних матеріалів і умов експлуатації і тому такі розробки відносяться до важливих та актуальних.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до держбюджетної тематики ХНТУСГ та згідно діючих програм:

- «Дослідження, наукове обґрунтування та впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, нових матеріалів і технологічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу» (DP 0109U000362) у період 2009-2014рр.;

- «Утримання і застосування детонаційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей» (DP 0117U004157) у період 2014-2017рр.

- «Нові технологічні процеси відновлення деталей наплавленням з використанням модифікування вторинною сировиною» (DP 0120U002209) у період 2020-2024р.р.

- «Технологічне та експериментальне обґрунтування нових технологій виробництва та відновлення деталей з використанням зміцнення модифікуванням» (DP 0116U005808) у період 2015-2017р.р.

- «Отримання і застосування детонаційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей» (DP 0117U004157) у період 2014-2017

**Мета досліджень:**підвищення експлуатаційних властивостей деталей відновленням їх зношеного шару модифікуванням магнітною складовою шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів.

**Завдання досліджень:**

- виконати аналіз відомих літературних джерел, що стосуються модифікування рідких розчинів та оцінили їх вплив на досягнення різних властивостей;

- оцінити можливість використання різних типів домішок з вторинної сировини для модифікування відновлюючих шарів деталей;

- розробити методологічний підхід та провести експериментальні дослідження для досягнення поставленої мети при нанесенні покриттів для різних матеріалів і умов забезпечення властивостей;

- статистично виконати аналіз складу зерен конгломерату шихти для попереднього прогнозування ефективного її використання;

- теоретично оцінити якісний та кількісний вміст компонентів та фаз при структуроутворенні зерен конгломерату та встановити зв'язок між фазами, що формуються;

- обґрунтувати основні параметри розробки новітніх технологій відновлення деталей для конкретних умов використання;

- дослідити вплив алмазної фракції та зерен магнітної шихти на технологічні процеси виробництва і експлуатацію;

- виконати випробування розробок та оцінити їх економічну ефективність.

**Об'єкт дослідження.** Процеси нанесення модифікуючих покриттів при відновленні та зміцненні їх робочої поверхні у експлуатації.

**Предмет дослідження.** Підвищення експлуатаційної стійкості покриттів при їх модифікуванні вторинною сировиною.

**Методи досліджень.** В дослідженнях використовували сучасні експериментальні та теоретичні методи. Оцінювали зміну структуроутворення при модифікуванні вторинною сировиною від утилізації певного набору боєприпасів, у яких закінчився термін зберігання. Для прогнозування можливості та ефективності її використання при відновленні деталей вивчали якісний та кількісний склад одержаних зерен конгломерату.Оцінку структуроутворення проводили металографічною оптичною мікроскопією, електронною та теоретичним описом оптико-

математичним методом. Теоретичні дослідження базувалися на виявленні фаз різними кольорами та додатково вони дозволили оцінити і їх взаємодію. Властивості покриттів оцінювали згідно вимірів мікротвердості і коерцитивної сили, а також іспитами на знос в умовах стендових випробувань.

### **Наукова новизна**

*Вперше:*

- для модифікування одержали та використали магнітну частку детонаційної шихти з алмазною фракцією від утилізації певного набору боєприпасів;
- показана ефективність використання магнітної частки шихти для створення вторинних структур на поверхні тертя при експлуатації відновлюваного покриття; гальмування включень при наплавленні; подрібнення структури та підвищення властивостей; створення хвилястої перехідної зони зчеплення покриття з основою і зниження напружень у перехідній зоні;
- розроблені нові підходи для оцінювання змін у структуроутворенні при модифікуванні магнітною складовою детонаційної шихти, які дозволили виявити фазовий склад покриття та взаємодію складових, які базуються на теоретичному опису оптико-математичного метода.

*Отримало подальший розвиток:*

- на основі комплексних досліджень складу магнітної частки і експериментальних досліджень встановлено, що вона крім алмазної фракції включає і мікролегуєчі, модифікуючі компоненти, які будуть ефективною домішкою для використання при зміцненні з наплавленням і навіть тонкостінних виробів

*Удосконалено:*

- при розробках нових підходів до використання магнітної частки детонаційної шихти в залежності від призначення її додатково піддають подрібненню зерен конгломерата, а про необхідності виконання цієї операції вирішували, згідно детальних досліджень структуро утворення оптико-математичним описом та

локальним спектральним аналізом.

Новизна розробок технології відновлення деталей захищена патентами України.

**Практичне значення отриманих результатів.** На підставі теоретичних, та експериментальних дослідженнях надані рекомендації по використанню магнітної складової детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, яка відрізняється тим, що вона містить більше тонких кисневих включень заліза ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), які покривають дисперсну алмазну фракцію. Одночасно у конгломератах зерен такої шихти є і наноалмази з пластичними покриттями та вони подрібнюються в процесі багаторазової детонації. Враховуючи цю різницю, знайдені додаткові напрями використання магнітної частки шихти при модифікуванні відновлюючих покриттів.

Показано, що використання такої модифікуючої домішки при оптимальній технології її використання забезпечує гальмування дисперсно

зміцнених домішок з основного металу та дозволяє прогнозувати властивості покриття.

Шихта, яка містить дисперсну алмазну фракцію при її внесенні в рідку ванну ефективна для використання у спряженнях. Це досягається тим, що така фракція при терті у експлуатації за рахунок деформації подрібнюється, та її частки довше зберігаються у порожнинах, а потім поступово заміщують зношені формуючи вторинні захисні кисневі плівки.

Розроблено новий комбінований метод модифікування. Обґрунтована можливість використання комбінованого метода модифікування рідкого розчину одноразово для відновлення покриттів та заварювання дефектів. Метод полягає у тому, що дефекти, які були створені при експлуатації, можливо ліквідувати заваркою при нанесенні шлікерного покриття (локального) на місце їх розташування. В залежності розміру дефектної зони слід використовувати частку домішки від 5,0 до 12%. Після відновлення дефектів ефективно наносити покриття з обмазкою електроду. Частка домішки оптимальна 5-7% та коригується коефіцієнтом анізотропії.

Виконані дослідження згідно використання детонаційної шихти (магнітної та не магнітної фракції), від утилізації певного набору боєприпасів, пройшли стендові випробування на ДП «Завод імені В.О. Малишева» та підтверджена їх ефективність

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Технологічні системи ремонтного виробництва», «Нанотехнології в машинобудуванні та методологія наукових досліджень» а також «Матеріалознавство».

**Особистий внесок здобувача.** Експериментальні та теоретичні дослідження, що виносяться до захисту, отримані автором самостійно та викладенні у роботах [1-16]. В дослідженнях опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: виконання експериментів [1, 2]; теоретичний опис конгломератів фаз у шихті від утилізації боєприпасів [4, 5, 10]; обґрунтовані нові технології одержання покриттів та підвищення експлуатаційної стійкості деталей з вуглецевих, низьковуглецевих та дисперснозміцнених сталей [14, 15, 16]; встановлений вплив способу та параметрів модифікування на досягнення різних властивостей [3, 6, 8, 9, 11, 12, 13,]; розроблено новий підхід до виявлення вмісту у конгломератах шихти взаємодії фаз при детонації і підходи до виявлення алмазних фракцій та їх покриттів.

**Апробація результатів досліджень.** Основні результати досліджень роботи розглядалися та обговорювалися на Міжнародних наукових конференціях: «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК» (Мінськ, 4-6 червня 2014р.); «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві» (м. Харків, ХНТУСГ, 20-21 березня 2014р., 19-20 березня 2015р., 24-25 березня 2016 р.); VIII Міжнародна конференція молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» (Київ, 20-22 травня 2015р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 6 наукових працях спеціалізованих наукових видань України; 1 у виданні, що включено до міжнародної науковомеричної бази ресурсу Scopus; 2 публікації у закордонних виданнях; 3 тези у збірнику доповідей наукової конференції, отримано 4 патенти.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 120 сторінки, в тому числі додатки на 4 торінках. Обсяг основного тексту становить 129 сторінок, 18 рисунків, 21 таблиць. Список використаних джерел нараховує 165 найменувань на 12 сторінках

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність проблеми, сформульовані мета та завдання досліджень, наведені основні отримані автором результати, визначені практична їх значимість і новизна. Показано зв'язок роботи з науковими темами і особистий внесок здобувача. Наведені дані про публікації та апробацію результатів роботи.

У **першому розділі** «Аналіз напрямків підвищення якості та властивостей металу при модифікуванні» розглянуті літературні джерела виявили велику кількість публікацій, що передбачають підвищення експлуатаційних властивостей виробів, виготовлених із сталі і сплавів з використанням мікролегуння та модифікування виробів. Такий метод позапічної обробки металу дозволяє регулювати отримання виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Виконаний аналіз використання різних типів модифікаторів стандартного складу, а також оцінений вплив малих домішок мікроелементів, що забезпечують зміну зерна в сплавах.

Найбільше подрібнення зерен досягається при введенні мікродомішок Ti, B і V (до 0,1%).

Визначено суттєвий вплив на формування структури спадкових властивостей, які були сформовані при попередніх технологіях виробництва.

Виявлені публікації дають рекомендації і способів введення домішок. Їх слід вводити тільки в метал, що заздалегідь розкислюється, щоб виключити взаємодію з різними компонентами та запобігти нівеляції їх впливу на властивості.

Узагальнена інформація про використання відновлювальних покриттів, які виконані на основі формування зварювальної рідкої ванни. Такий метод відновлення деталей дозволяє коригувати умови кристалізації відновлювального шару, подрібнювати зерно, забезпечувати достатню міцність покриття і перехідної зони, знижувати схильність до дефектоутворення, а також витрати легуючих домішок.

Модифікуючі домішки, що використовуються при відновленні деталей наплавленням є досить витратним тому у ряді випадків використовують вторинну сировину, яка є відходами різних виробничих процесів. Це шлаки металургійного виробництва, зола від спалювання вугілля на ТЕС, детонаційна шихта від утилізації боеприпасів. У роботах виконаних на кафедрі "Технологічні системи ремонтного виробництва" ХНТУСХ ім. Петра Василенка використовується немагнітна складова детонаційної шихти від утилізації боеприпасів, термін зберігання яких закінчився. Вона була використана для відновлення різних деталей з різних матеріалів (сталей, чавунів), яка показала високу ефективність завдяки можливості коригувати умови кристалізації, подрібнювати зерно, підвищувати споживчі властивості (міцність зчеплення з основою, знижувати температуру плавлення, відновлювати дефектні зони зварюванням). В той же час, виділена магнітна складова такої шихти поки ще не знайшла практичного застосування.

Для оцінки можливості використання модифікуючої домішки – магнітної складової детонаційної шихти необхідно виконати комплекс досліджень та виявити ефективні напрями її використання

У **другому розділі** «Методологія матеріали та методи досліджень». Методологічно виконання роботи побудовано на основі діаграми Ісакави і відображає послідовність, напрями та зміст досліджень (рис 1).

При виконанні розробок нових технологічних процесів вперше виконували оцінку змін структуроутворення у вуглецевих, низьколегованих, дисперснозміцнених сталях при модифікуванні домішкою покриттів з дисперсною алмазною фракцією магнітної складової детонаційної шихти, одержаної від утилізації певного набору боеприпасів.

Експериментальні дослідження базувалися на методах: металографічної та електронної мікроскопії, локальному спектральному та хімічному аналізі. Конгломерати зерен оцінювали теж статично спектральним та хімічним аналізами. Така шихта після розподілу її з виділенням магнітної складової включає крім основних компонентів С, Fe, Cu, Al ще і малу концентрацію модифікуючих та летких складових.

Зміни структурного стану описували теоретично оптико-математичним аналізом, який дозволив виявити якісний та кількісний склад фаз, їх зміну при модифікуванні, а також взаємодію між окремими складовими.

Властивості покриттів оцінювали методами мікротвердості та показниками коерцитивної сили (неруйнівним методом контролю), зміни яких відображають деградацію структурного стану при експлуатації та рівень виникаючих напружень.



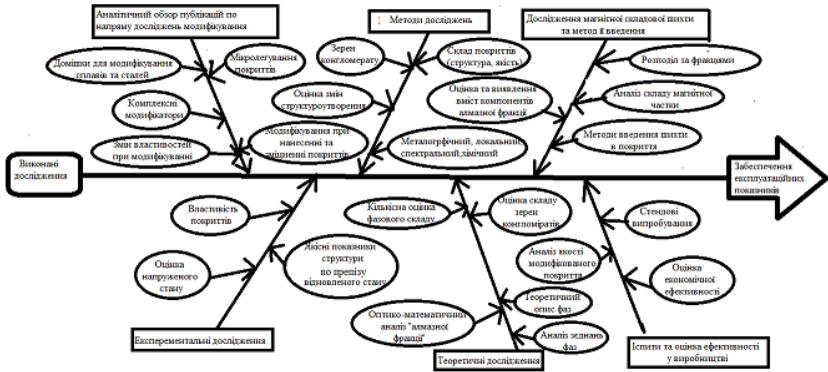


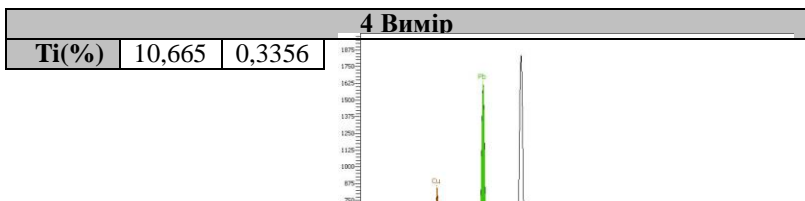
Рисунок 1 – Діаграма Ісікави яка відображає напрям та послідовність виконаних досліджень

У **третьому розділі** «Вторинна сировина з алмазною фракцією для модифікування» – розглянуто склад детонаційної шихти від утилізації певного набору боєприпасів, які перевищили термін зберігання та використання. Оцінено її хімічний склад та можливість розподілу за властивостями та фракціями. Раніше виконаними дослідженнями було оцінено ступінь впливу на структуроутворення використання такої вторинної сировини, яка складалася з не магнітної фракції, але вона є лише частиною утилізованої шихти, яка включає нано- та незначну частку дисперсної алмазної фракції.

Розглянуто склад і можливість використання магнітної частини такої шихти, а також способи її одержання.

Встановлено, що магнітна складова вторинної сировини від утилізації боєприпасів відрізняється тим, що в її складі є підвищена кількість кисневих включень  $\text{FeO}$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ; які створюють покриття на алмазній фракції та не подрібнюють її при багаточасовій детонації. Наявність значної долі кисню в цих з'єднаннях, а також покриття цими компонентами алмазної фракції може підвищувати їх експлуатаційну стійкість на протязі всього періоду використання зміцнюючих модифікуванням покриттів при наплавленні.

Оптимальна частка такої модифікуючої домішки, яка виносить в рідку ванну залежить від напрямку її використання. Таке модифікування при внесенні домішки 6% супроводжується додатковим внесенням з шихтою у рідку ванну слідувачих компонентів %: 0,7Al; 2,56  $\text{O}_2$ ; 0,46 C; 0,26 Cu; 0,45 Cl; 0,36 Ba; та 0,21 Mg. Загальний склад такої шихти наведено на рис.2.



<b>Cr(%)</b>	0,5293	0,0488
<b>Mn(%)</b>	0,3587	0,0321
<b>Fe(%)</b>	8,3091	0,1127
<b>Co(%)</b>	0,7409	0,0324
<b>Ni(%)</b>	0,1280	0,0119
<b>Cu(%)</b>	17,226	0,1321
<b>Zn(%)</b>	5,9031	0,0603
<b>Y(%)</b>	1,2441	0,0209
<b>Mo(%)</b>	0,0683	0,0047
<b>Ag(%)</b>	0,4094	0,0130
<b>Cd(%)</b>	0,9016	0,0205
<b>Sn(%)</b>	1,7472	0,0399
<b>Sb(%)</b>	0,7709	0,0178
<b>Au(%)</b>	0,8723	0,0318
<b>Pb(%)</b>	50,125	0,2571

Рисунок 2 – Розподіл компонентів у зернах магнітної шихти

Введення такої шихти з алмазною фракцією, а також додатковими компонентами, сприяє модифікуванню рідкої ванни, що зменшує розмір зерен, підвищує мікротвердість. Так, при нанесенні відновлюючого покриття електродом ER321 на деталь з вуглецевої сталі максимальна мікротвердість без модифікуючої домішки дорівнює Н-50-338, а при її введенні підвищується до Н-50-362 та стає більш однорідною.

Виходячи з цієї інформації, модифікування вторинною магнітною часткою шихти може бути використане для забезпечення інших умов експлуатації ніж немагнітна складова.

Теоретично оптико-математичним методом встановлено, що при детонації з формуванням конгломератів кристалізуються різні фази та сполуки, які оцінювали згідно зміни кольорів. Встановлено, що в шихті частка одного кольору складає лише 11,26%; з'єднання двох - 80,9%; трьох – 6,19% , чотирьох не перевищує 1,65% , а більше – відповідає 0,81; 0,52; 0,23%.

Теоретичну оцінку структуроутворення проводили з використанням операторів Лапласа по розробленим підходам, заснованими на гідродинамічних аналогах з використанням рівнянь Нов'є-Стока, яка враховувала дисипацію енергії та дифузійні процеси. Це дало можливість виявити ступінь локальної неоднорідності структури покриттів на металографічних зображеннях.

На рис.3 показані нановключення алмазів у конгломераті зерен шихти

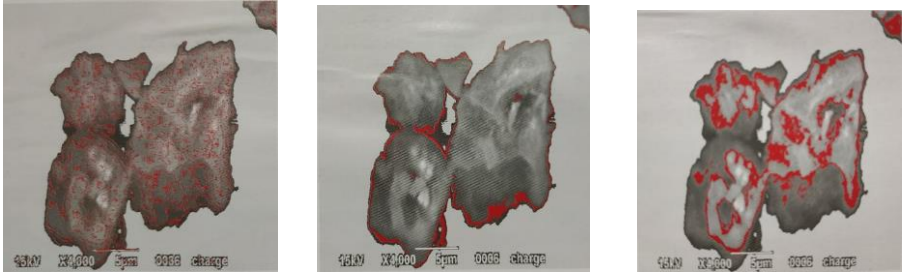


Рисунок 3 – Розподілення подвійних груп фаз по кольору на алмазних зернах

Дифузію оцінювали згідно лапласіанів, які для кожної точки (пікселя) фрагмента мають вигляд:

$$\alpha_{(x,j)} = \frac{\Delta^2 C}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 C}{\Delta j^2} = \alpha_{(x,j)} = C_{i,j-1} + C_{i-1,j} + C_{i,j+1} + C_{i+1,j} - 4C_{i,j} \quad (1)$$

Дивергенцією описували неоднорідність фаз через дисипацію енергії і змінах щільності та розрядження де  $V(x,y)$  характеризує інтенсивність структурних напружень I і II роду внаслідок дифузії

$$D_{(x,j)} = \text{div} C_{x,j} = \frac{dC_{(x,j)}}{dx} + \frac{dC_{(x,j)}}{dx} \approx D_{ij} = C_{i,j-1} + C_{i-1,j} - 2C_{x,j} \quad (2)$$

Оцінити конкретно частину кожного із цих з'єднань не є можливим у зв'язку з тим, що аналізували інтервали з'єднань зі змінним вмістом компонентів, тому на основі базових досліджень можливо припустити лише окремі. Одного кольору можуть бути: алмазна фаза,  $\gamma$ -залізо, кристали цинку. Подвійні з'єднання це кисневі включення, що формуються при багаторазовому методі детонації, а також такі, що утворюють солі. Інші з'єднання з трьома та більшим числом компонентів оцінити практично не можливо та їх частка не значна. В табл.1 наведені можливі з'єднання компонентів, які досліджені мікрорентгеноспектральним аналізом та відповідно до літературних джерел наведені групи фаз, що покривають алмазну фракцію,  $\times 10000$ .

Таблиця 1 – Фази, які можуть формуватися в зернах конгломерату детонаційної шихти

Компоненти шихти	Можливі фази або з'єднання
Fe	FeO, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> , FeC, Fe <sub>2</sub> C, Fe <sub>3</sub> C, FeP, Fe <sub>3</sub> P, FeS, Fe
Cu	CuCl, CuO, Cu
Al	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , AlCl
Mg	MgO, MgCl <sub>2</sub>
Zn	ZnO, ZnH <sub>2</sub> (кристали)

Ba	BaCl, BaH <sub>2</sub> (солі); BaSO <sub>4</sub> та BaNO <sub>3</sub> , BaC <sub>2</sub> , BaPb, Ba <sub>2</sub> Pb (кристали)
Pb	PbO <sub>2</sub> , Pb <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , PbO <sub>3</sub> , PbO <sub>4</sub> , PbCl <sub>4</sub>
C	Кисень, що покриває алмази
Cl	Всі можливі з'єднання приведені вище

В табл.2 наведені можливі з'єднання компонентів, які дослідженні мікрорентгеноспіктральним аналізом та відповідно до літературних джерел. На рис.2 наведені групи фаз, що покривають алмазну фракцію,  $\times 1000$ . Оптико-математичний аналіз виконували на основі 255 кольорів з розподіленням їх на 16 інтервалів. Розрахунки виявили, що оцінювання подвійних з'єднань тільки по одному інтервалу виконати не можливе тому, що вони чітко не поділяються по одній фазі. Це пов'язано з тим, що вони дуже дисперсні, тому вони повторюються в - іншому. У зв'язку з цим розрахунки проводили одноразово по двом, близько розташованим інтервалам.

Показано, що максимальна частка подвійних з'єднань це інтервали 10-14 і вони, виходячи з аналізу типу таких з'єднань належать – кисневим.

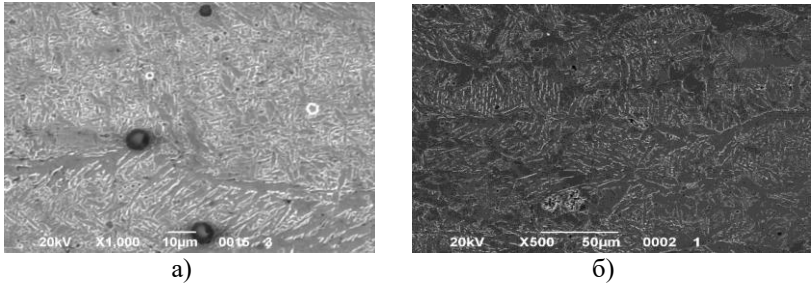
Особливістю магнітної складової шихти є наявність значної доли та розміру включень дисперсної алмазної фракції, насиченої на поверхні киснем (покриттями твердих кисневих сполук).

У **четвертому розділі** «Експериментальні дослідження та розробка новітніх технологічних процесів відновлення деталей» на основі комплексних експериментальних досліджень з використанням оптичної, електронної мікроскопії, мікрорентгеноспіктрального аналізу, а також оцінки властивостей, згідно мікротвердості та коерцитивної сили, які виконані порівняльним аналізом без – та з модифікуванням виявлені зміни в покриттях, для встановлення ефективності використання магнітної складової детонаційної шихти у різних напрямках підвищення їх експлуатаційної стійкості.

В роботі детально розглянуто лише три напрями ефективного використання магнітної частки детонаційної шихти при розробках новітніх технологій, спрямованих на підвищення якості та експлуатаційних властивостей покриттів. Встановлено, що при відновленні наплавленням деталей з дисперснозміцнених або засмічених неметалевими включеннями по традиційній технології наплавленням з основного металу спливають в покриття, частково розчиняються. Це створює локальні неоднорідні зони збагачення компонентами, які до них входять, а ті, у яких температура плавлення більше 1600<sup>0</sup>С спливають та виявляються по всьому поперечному перерізу. Це створює до формування неоднорідної структури, створенню локальних напружень та зниженню експлуатаційної стійкості.

Згідно першого напрямку запропоновано новий метод та технологічний процес нанесення покриттів для відновлювання на деталі з дисперснозміцнених або засмічених неметалевими включеннями сталей шляхом використання

додаткового модифікування рідкої ванни вторинною детонаційною домішкою магнітної складової шихти, отриманої від утилізації певного набору боєприпасів з включеннями алмазної дисперсної фракції.



а – алмазні включення у покритті до відпалу  
 б – зона термічного впливу і перехідна після відпалу  
 Рисунок 3 – Структура перехідної зони

Оптимальна частка модифікуючої домішки складає 5-10% на рис.3 наведено сформовану структуру у перехідній зоні та локальний спектральний аналіз компонентів, що складають дисперсні фази вихідного матеріалу (табл.2).

Як показали комплексні дослідження то модифікування такою шихтою з її спеціальною підготовкою і шлікерним нанесенням на деталь та послідовним наплавленням повністю блокує спливання включень, а також їх розчинення і забезпечує подрібнення зерна, одночасно знижуючи розкид показників в 3,4 рази анізотропії структури за рахунок її подрібнення (з 0,8 до 0,95). Рівень напруг знижується на 25%, а зносостійкість спряженої деталі підвищується на 37%. Зміни, що спостерігаються при використанні додаткового модифікування визначаються зниженням температури рідкої ванни за рахунок введення модифікуючої домішки, наявністю незначної частки кисню – формує вторинні захисні структури при терті, а також мікролегуючими компонентами і локальними мікрохолодильниками – алмазною фракцією.

Таблиця 2 – Локальний розподіл компонентів в зоні сплавлення покриття з основним металом вала при модифікуванні магнітною часткою шихти

Елемент	Умови концентр.	Інтенсивніс. поправки	Ваговий%	Ваговий% Сігма	Атомний%
Si	0,02	0,62	0,18	0,06	0,36
S	0,04	0,8489	0,29	0,09	0,50
Cr	0,24	1,2613	1,20	0,16	1,28
Mn	0,21	0,9769	1,39	0,24	1,41
Fe	15,16	0,9968	96,94	0,31	96,45
Ітого			100,00		

Згідно другого напрямку встановлено, що домішка для модифікування магнітної складової шихти дозволяє підвищити експлуатаційні показники деталей у спраженнях, які недоступні до введення мастил з вуглецевих та низьколегованих сталей за рахунок подрібнення дисперсних алмазів з кисневими з'єднаннями ( $\text{CuO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Дисперсні включення алмазної фракції в процесі експлуатації подрібнюються та поступово входить в осередок тертя, а ті що залишилися знаходяться у порожнинах. Це формує вторинні захисні оксидні плівки, які суттєво зменшують знос. Така технологія забезпечується введенням домішки з обмазкою електрода в кількості 5-10%.

Нова технологія нанесення відновлюючих покриттів забезпечує долю кисню в плівках до 0,32% та більше за все розчинюється з'єднання  $\text{CuO}$ .

Таке модифікування покриття шихтою підвищує мікротвердість на 13,6% (більш ніж в 2 рази), зменшує розмір зерен з 50 до 15-20 мкм, що впливає на підвищення зносостійкості.

Згідно третього напрямку – рекомендована технологія модифікування, яка забезпечує найбільш більш однорідну твердість як на границі зчеплення покриття – основа, так і по його перерізу. Дослідженнями показана можливість одноразового використання підготовки дефективної поверхні до відновлення з використанням її обробки для залікування з нанесенням шлікерного покриттям, а потім відновлення і використанням електрода з обмазкою магнітною складовою шихти. Сумарна частка модифікуючої домішки не повинна перевищувати 12-18%. Частка домішки залежить від долі та типу дефектів, що утворилися на поверхні тертя.

При оптимальному співвідношенню технологічних параметрів нанесення покриттів досягається достатньо однорідна структура з коефіцієнтом анізотропії  $K=0,93-1,05$ , середнє відхилення його не перевищує 5-7%. Такий метод відновлення формує хвилясту структуру зони сплавлення, суттєво зменшується зона термічного впливу з 1000 до 185 мкм.

Такий підхід до відновлення сприяє розчиненню  $\text{CuO}$  та доля кисню, як встановлено методом локального рентгеноструктурного аналізу на поверхні тертя, змінюється, від 0% до 0,32%, що теж підвищує експлуатаційні властивості відновлених деталей.

Розглянуті конкретні технологічні процеси відновлення деталей для вирішення конкретних завдань по підвищенню якості деталей. Вони спрямовані на формування покриттів з більш однорідною структурою металу при відновленні деталей модифікуванням, зменшення напружень у перехідній зоні, підвищення мікротвердості та якості.

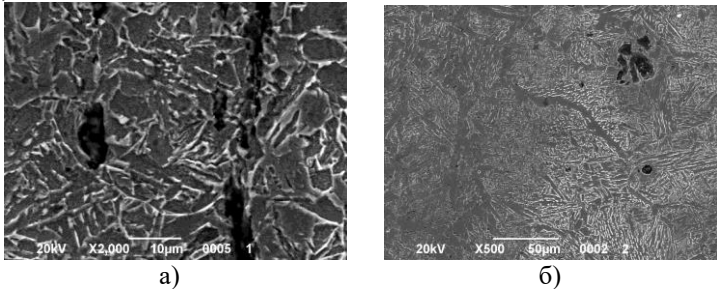
**У п'ятому розділі «Дослідження в умовах виробництва. Ефективність нової технології модифікування покриттів».** Зіставно досліджені різні способи відновлення деталей наплавленням та оцінена можливість використання магнітної складової детонаційної шихти від утилізації боєприпасів в якості порошкової модифікуючої композиції при нанесенні покриттів для забезпечення

відновлення та зміцнення робочої поверхні виробів, виготовлених із низьколегованих та вуглецевих дисперснозміцнених марок сталей.

Проведені дослідження виявили вплив модифікування на твердість, зносостійкість та структуру відновленого шару. Аналізуючи отримані результати, можливо зазначити, що спосіб наплавлення з додаванням магнітної складової детонаційної частки шихти у рідку ванну дозволяє корегувати необхідні споживчі властивості відновлених поверхонь виробів та підвищувати їх зносостійкість до 25% за рахунок зменшення розміру зерен в 3 рази, зниження напружень в 1,2-1,4 рази і підвищення твердості на 15%. Це дозволяє подовжити термін експлуатації та запобігати передчасному руйнуванню деталей.

Дослідженнями виявлена кінетика зміни дисперсних алмазних включень при терті, яка характерна для магнітної складової шихти. Вона полягає в послідовному подрібненню дисперсних включень та поступовому їх надходженню разом з кисневою складовою в зоні тертя (рис.4).

В результаті, завдяки більшій загальній тривалості доступу кисню в зону тертя спряжень, формуються вторинні захисні структури, які підвищують експлуатаційні властивості не тільки відновленої деталі, але і спряженої. Частка кисню при більш тривалих дослідженнях зберігається на поверхні тертя за рахунок покритого плівками з киснем та сполук  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  алмазної фракції, до 0,9%.



а – початок експлуатації; б – в процесі роботи спряження  
Рисунок 4 – Зміна дисперсної алмазної фракції при терті

В раніше використаних роботах для модифікування, зміцнюючих та відновлюючих покриттів, використовували лише частку такої шихти, яка у своєму складі мала значно меншу частку кисневих включень заліза, температура плавлення яких досягає  $1500-1550^{\circ}\text{C}$ , а температура наплавлення не перевищує  $1600^{\circ}\text{C}$ . Крім того, введення такої домішки у невелику рідку ванну при наплавленні з неї алмазна фракція, що не розчиняється, суттєво знижує її температуру. Це може впливати на ступінь розчинення оксидів заліза, та вони будуть призводити до засміченості покриття неметалевими включеннями. Однак, детально проведеними дослідженнями було показано, що магнітна складова відрізняється лише двома факторами. Її формують включення оксидів заліза, які

виділяються у вигляді дисперсних зерен, або покривають у вигляді плівки дисперсні конгломерати різних сполук та алмазну фракцію.

Таблиця 3 – Трибологічні властивості різних технологій зміцнення відновлюючи покриттів

№	Технологія відновлення	Коефіцієнт зношення покриття	Коефіцієнт зношення деталі у спряженні
1.	Покриття без модифікування	1,0	1,0
2.	Покриття дисперснозміцнених сталей	0,75	0,63
3.	Покриття з модифікуванням (обмазка електрода)		
4.	Покриття зі лікерним нанесенням домішки	1,1	0,96
5.	Комбінований метод нанесення покриття (шлікерне + обмазка електрода)	0,7	0,67

Сполуки на алмазній фракції – кисневі плівки зберігають такі включення від руйнування при циклічній детонаційній деформації та в кінцевому процесі отримання шихти. Виявлені особливості магнітної фракції детонаційної шихти і розглянуті при розробках нових технологічних процесів та були спрямовані на підвищення різних властивостей покриттів.

Різні напрями нових технологічних процесів були детально розглянуті з використанням експериментальних досліджень, а потім, згідно рекомендацій, пройшли апробацію на підприємстві ДП «Завод ім. Малишева» (табл.3 )

Одержані показники у випробуваннях виявили можливість та ефективність їх використання при відновленні та зміцненні деталей.

Оцінка економічної ефективності виконали для шліцевих валів кардану. При виготовленні тільки таких деталей 100шт/рік зменшаться витрати у експлуатації до 185,7 тис.грн.

## ВИСНОВКИ

Для підвищення якості та експлуатаційної стійкості виробів в роботі розглядаються методи та технологічні процеси модифікування рідкої ванни, які використовуються для різних напрямів підвищення властивостей при їх відновленні.

1. Виявлено, що в залежності від типу матеріалів відновлюючих деталей, а також умов експлуатації для досягнення необхідних властивостей використовують різні модифікуючі та мікролегуєчі домішки (Si, Mg, Ca, Al, Ti, V та інш.), або їх сполуки.

В залежності від ваги рідкої ванни використовують РЗМ та сучасні сполуки – шихту з вторинної сировини, що включає алмазну та дисперсну



фракцію. Таку шихту одержують різними методами. Додаткове модифікування та мікролегування сприяє підвищенню фізико-механічних властивостей покриттів та забезпечує значну стабільність у експлуатації, подрібнює зерно, формує більш однорідну структуру, що сприяє підвищенню життєвого циклу деталей. В дослідженнях розглядається і використання алмазної фракції. Показано, що найбільш стабільні алмазні фракції формуються при їх одержанні детонацією. Для модифікування використовують вторинну сировину, яка складається з не магнітної частки шихти одержаної від утилізації боеприпасів, у яких закінчився термін зберігання. Дослідження цієї роботи присвячені пошуку можливості використання магнітної складової шихти та методів її використання для рішення конкретних завдань.

2. Ефективність використання магнітної частки детонаційної шихти з дисперсною алмазною фракцією вивчали з використанням комплексного підходу, при якому використовували хімічний, спектральний, локальний аналізи, металографічні дослідження, (оптичні та електронні), оцінювання властивостей згідно мікротвердості покриття та його напруженого стану. Для детального опису формуємих фаз та їх взаємозв'язку використовували теоретичні дослідження оптико-математичним методом опису фазових змін. Дослідження цим методом проводили при скануванні фотографій мікроструктури коміркою  $3 \times 3$  пікселів а всі фази відображали відповідно 15 інтервалам, з яких 0-9 відповідали феритним фазам з різним насиченням вуглецем; 10 – бейніту; 11-15 – карбідним. При модифікуванні порівнювали зміни структуроутворення при нанесенні покриттів застосуванням модифікуючих домішок.

3. Розглянуто технологію одержання детонаційної шихти та її склад для модифікування рідкої ванни при наплавленні відновлюючих покриттів зношених поверхонь деталей. В раніше виконаних роботах основна увага приділялася дослідженням використання немагнітної частки шихти, одержаної від утилізації певної номенклатури боеприпасів. Дослідження даної роботи розглядають різницю та можливість використання магнітної частки шихти при багат шаровій детонації для підвищення якості та експлуатаційних показників деталей. Такі технології використання почали з вивчення складу одержаної шихти після магнітної обробки дрібної фракції зерен конгломератів. Комплексними дослідженнями зерен конгломератів шихти встановлено, що магнітна складова відрізняється більшою часткою дисперсних алмазів, які покриті кисневими, не деформуємими включеннями  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , та  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , що захищають тверду фракцію від руйнування при багат шаровій детонації та сприяють додатковій їх щільності. Такі включення мають скруглену форму та гострі кути відсутні. В конгломератах шихти одноразово присутня і не магнітна складова. Виявлена різниця в складі магнітної шихти дозволяє її використовувати і для рішення інших завдань ніж при вирішенні з модифікуванням немагнітної частки. Додатково така шихта включає компоненти:  $\text{O}_2$ ; C; Cu; Fe; Cl; Ba; Mg; Al.

5. Виконана теоретична оцінка оптико-математичним методом зерен конгломерату шихти та показано, що всі алмазні включення покриті кисневими плівками різного складу та з'єднаннями.

Встановлено, що частка однієї фази (або компонента), оціненої згідно кольору та його зміни, складає 11,26%; з'єднань двох – 80,9%; трьох – 6,19%; чотирьох не перевищує 1,65%, а більше – відповідає: 0,81; 0,52; 0,23%. Максимальна частка належить плівкам з'єднань компонентів з киснем та відповідає лише 5 інтервалам зміни складу 15 розглянутих варіантів. Частка алмазної фракції в зернах конгломерату локально змінюється від 7,04 до 24,27%.

6. Розроблено нові технологічні процеси нанесення покриттів, які виконували в залежності від умов експлуатації деталей та завдання підвищення їх якості. До них відносять такі процеси:

- нанесення покриттів на деталі з дисперснозміцнених або засмічених матеріалів неметалевими включеннями, які при наплавленні потрапляють у покриття, або розчинюються в локальній зоні, що призводить до формування неоднорідності зон та зменшенню її життєвого циклу при експлуатації. Для вирішення цієї проблеми розробили параметри технологічного процесу, спосіб введення модифікуючої домішки, її частки. Використовували шлікерне покриття, яке перед наплавленням наносили на відновлюючу поверхню з часткою 5-10% від долі металу електроду, що за рахунок алмазної фракції гальмувало появу включень в рідкій ванні. Суттєво зменшувалися перехідна зона та напруження, які оцінювали згідно параметра коерцитивної сили.

- підвищення ефективного модифікування відновлюючих покриттів деталей, що працюють у спряженнях та значних навантаженнях, рекомендовано використовувати магнітну частку шихти після її спеціальної підготовки та наносити на електрод. В процесі експлуатації дисперсні алмази магнітної шихти подрібнюються та частково залишаються у порожнинах їх первинного розташування та на протязі значного часу частково надходять до зони тертя. Це суттєво забезпечує підвищення експлуатаційних властивостей за рахунок постійного відновлення вторинних захисних структур, товщина яких не перевищує 50нм. При цьому доля кисню у плівках змінюється від 0% до 0,32% а міді з 0% до 0,82%. Крім цього у покритті зменшується розмір зерен структури металу з 40-60 до 15-20 мкм. Це забезпечується при модифікуванні часткою шихти 8-10% від маси електроду –використання комбінованого методу нанесення покриття передбачає одноразове залікування дефектів на поверхні тертя відновлення зношеної поверхні, яке полягає у використанні різних способів внесення домішки модифікуючої шихти. В цьому випадку таку шихту наносили як шлікерний шар на поверхню деталей з вуглецевої сталі для залікування дефекту що відновлювали. Потім шар, компенсуючий знос формували покриттям з модифікуванням обмаскою електродом. Сумарна частка модифікуючої домішки складала 15-18% від долі електроду. Така комплексна технологія відновлення забезпечувала найбільш

однорідний розподіл алмазної фракції, а також модифікуючих домішок. При цьому частка шихти в шлікурному покритті не повинна перевищувати 5-12%. Така технологія, відновлення забезпечує формування міцної хвилястої зони сплавлення з основним металом, зменшується розмір зони сплавлення з основним металом, подрібнюється дендритна структура у покритті, зменшується розмір зони термічного впливу в 5,4 разів (не перевищує 185 мкм).

7. Промисловими випробуваннями при проведенні іспитів на знос розглянутих варіантів відновлення виробів різного призначення показано, що їх якість після відновлення та зміцнення магнітною часткою шихти покриттями, які компенсують зношення, підвищуються на 20-37%. Показано, що при роботі у спряженні лише однієї деталі зі зміцнюючим покриттям підвищує свій життєвий цикл і інша за рахунок створення вторинних захисних кисневих плівок в експлуатації. Результати досліджень підтверджують промислові випробування.

Розрахунком економічного ефекту лише від однієї розробки нової технології показано, що підвищення експлуатаційної стійкості карданних валів досягає 187,5 тис грн/рік при об'ємі виробництва 100шт.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список публікацій, в яких опубліковано основні наукові результати:

1. Скобло Т.С., Гончаренко О.О., Марков А.В., Омельченко Л.В., Телятніков В.В., Тупиченко С.В. Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. №6. 2016. С. 57-62.

2. Скобло Т.С., Омельченко Л.В., Романюк С.П. Исследование влияния способа наплавки на свойства металла восстанавливаемой детали. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Вип. №183. 2017. С.145-149.

3. Гончаренко А.А., Романюк С.П., Полянский А.С., Омельченко Л.В., Коломиец В.В. Особенности структурообразования при модифицировании восстановленного слоя наплавкой. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. №10, 2017. С. 20-28.

4. Скобло Т.С., Романюк С.П., Сидашенко А.И., Омельченко Л.В., Олейник А.К. Повышение износостойкости упрочнённых и восстановленных деталей покрытием с применением модифицирования вторичным сырьём. *Проблеми трибології*. №3. 2017. С.51- 55.

5. Нанка А.В., Омельченко Л.В., Марков А.В. Повышение стойкости деталей при восстановлении наплавкой и модифицированием. *Агротехника и энергообеспечение*. Т.18. №1. 2018. С.16-26.

6. Омельченко Л.В. Модифицирование и микролегирование восстановительных покрытий. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. №11. 2018. С. 301-310.

7. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Романюк С.П., Гончаренко А.А., Омельченко Л.В., Бантковский В.А. Особенности структурообразования при модифицировании покрытий для деталей из дисперсионно-упрочненных сталей. *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. Т. 55. № 6. 2019. С. 96-103.

10. Skoblo T.S., Sidashenko A.I., Romaniuk S.P., Goncharenko A.A., Omelchenko L.V., Bantkovskiy V.A. Specific Features of Structure Formation in the Course of Modification of the Coatings on Products Made of Dispersion-Hardened Steels. *Materials Science*. 2020.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Омельченко Л.В. Применение детонационной шихты для модифицирования при восстановительной наплавке. *Збірник тез доповідей X Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин і обладнання»*. Кіровоград: КНТУ, 2016. С. 121

2. Скобло Т.С., Сидашенко А.И., Гончаренко А.А., Омельченко Л.В. Применение вторичного сырья для модифицирования при восстановительной наплавке. *Промышленность в фокусе*. №5. 2016. С. 56-58.

3. Скобло Т.С., Романюк С.П., Сайчук О.В., Рибалко І.М., Захаров А.В., Омельченко Л.В. Склад детонаційної шихти з алмазною фракцією для модифікування покриттів. *Промисловість в фокусі*. № 11 (94). 2020. С. 54-56.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

1. Україна, МПК В22D 19/08 (2006.01) В22D 19/10 (2006.01). Спосіб підвищення властивостей покриттів модифікуванням при наплавленні / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, І. М. Рибалко, О. О. Гончаренко, В. М. Заєць; власник: Т. С. Скобло. - № u 2017 01633; Заявл. 20.02.2017; Опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

2. Україна, МПК В23К 26/342 (2014.01) С04В 41/87 (2006.01). Комбінований спосіб модифікування для підвищення якості відновлення виробів / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, О. І. Тришевський, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, В. М. Власовець, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № u 2017 02218; Заявл. 09.03.2017; Опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

3. Україна, МПК В29С 41/16 (2006.01), С23С 8/00, В23Р 6/04 (2006.01), В22D 19/10 (2006.01). Спосіб відновлення деталей дисперснозміцнених або із значним скупченням неметалевих включень сталей / Т. С. Скобло, О. В. Нанка,

О. І. Сідашенко, Л. В. Омельченко, С. П. Романюк, О. О. Гончаренко, Є. А. Сатановський, О.К. Олійник, О. В. Марков ; власник. Т. С. Скобло. - № u 201805772; Заявл. 23.05.2018; Опубл. 10.10.2018, Бюл. № 19.

4. Україна, МПК (2006) В23Р 6/04 (2006.01) В23К 9/00 В23К 35/22 (2006.01) С23С 8/00. Спосіб підвищення експлуатаційної стійкості спряжень при відновленні деталей / Т. С. Скобло, О. І. Сідашенко, С. П. Романюк, Л. В. Омельченко, О. О. Гончаренко, О. Д. Мартиненко; власник Т. С. Скобло. - № a 201812861; Заявл. 26.12.2018; Опубл. 11.11.2019, Бюл. № 21.

## АНОТАЦІЯ

**Омельченко Л.В.** Підвищення експлуатаційної стійкості властивостей деталей модифікуванням покриттів вторинною сировиною. – Рукопис.

Дисертація наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

В роботі аналізуються три нових методи одержання покриттів на деталі з різних матеріалів: низьковуглецевих, низьколегованих та дисперснозміцнених, в яких досягались необхідні властивості якості та ефективності у використанні.

До них відносяться: підвищення споживчих властивостей; гальмування зміцнюючих фаз з відновлюємої деталі до покриття та одноразове зміцнення і залікування дефектів.

Для цього використовували різні технологічні підходи введення модифікуючої домішки в рідку ванну при наплавленні з попереднім її відпалом для корегування частки кисню також одноразово корегували і частку модифікуючої домішки, яка змінювалась в межах від 5,0 до 15,0% ваги електрода.

Економічний ефект від впровадження технології відновлення 100 шт карданних валів, згідно розробленої технології та параметрів їх зміцнення досягає 187,5 тис.грн.

**Ключові слова:** модифікування при наплавленні; зміцнюючі покриття, структуроутворення, неоднорідність, взаємодія фаз, властивості, експлуатаційна стійкість, алмазна фракція,

## АННОТАЦИЯ

**Омельченко Л.В.** Повышение свойств и эксплуатационной стойкости покрытий при их модифицировании вторичным сырьем. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 – материаловедение – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко Міністерства образования і науки України, Харьков, 2021.

В работе получена научная новизна которая заключается в следующем: для модифицирования получили и использовали магнитную часть детонационной шихты с алмазною фракцией от утилизации определенного набора боеприпасов; показана эффективность использования магнитной частицы шихты для создания вторичных структур на поверхности трения при эксплуатации возобновляемого покрытия; торможения включений (из основного металла) при наплавке; измельчения структуры и повышения свойств; создание волнистой переходной зоны сцепления покрытия с основой и снижения напряжений в ней; разработаны новые подходы к оценке изменений в структурообразовании при модифицировании магнитной составляющей детонационной шихты, которые позволили выявить фазовый состав покрытия и взаимодействие составляющих базирующихся на теоретическом описании оптико-математическим методом.

На основе экспериментальных и теоретических исследований получены обоснованные для создания новых технологических процессов методы повышения потребительских свойств покрытий восстановлении деталей с различных материалов и назначения.

**Ключевые слова:** модифицирование при наплавке, упрочняющие покрытия, структурообразование, неоднородность, взаимодействие фаз, свойства, эксплуатационная стойкость, алмазная фракция.

## ABSTRACT

**L.V. Omelchenko** Improving the properties and service life of coatings when they are modified with secondary raw materials. - Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.02.01 - materials science - Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2021.

The purpose of the dissertation is increasing the operational properties, wear resistance of parts by restoring their worn out layer modifying the magnetic component of the charge with a diamond fraction from the disposal of a certain set of ammunition.

To achieve this goal, it was necessary to divide the charge obtained during disposal into fractions by size, and then by composition, using magnetic processing. Comprehensive studies have established that the magnetic fraction of the conglomerate grains including particles is not magnetic with nanodiamonds and film coatings of var-

ious compounds of the sets. Therefore, for the effective use of such a charge, it was necessary to determine in detail the content of secondary raw materials for the development of the latest coating technologies.

The scientific novelty obtained in the work, is the following: for modification we received and used the magnetic part of the detonation charge with a diamond fraction from the disposal of a certain set of ammunition; shows the efficiency of using a magnetic particle of the charge to create secondary structures on the friction surface during the operation of a renewable coating; inhibition of inclusions (from the base metal) during surfacing; refinement of the structure and enhancement of properties; creation of a wavy transition zone of coating adhesion to the base and stress reduction in it; new approaches to assessing changes in structure formation during modification of the magnetic component of the detonation charge have been developed, which made it possible to reveal the phase composition of the coating and the interaction of the components based on the theoretical description by the optical-mathematical method.

The practical significance of the work is as follows. On the basis of experimental and theoretical researches the bases for creation of new technological processes of increase of quality of consumer properties of coverings at restoration of details from various materials and appointment are received.

On the basis of experimental and theoretical studies, methods for increasing the consumer properties of coatings and restoring parts from various materials and purposes, justified for the creation of new technological processes, have been obtained.

**Keywords:** modification during surfacing, hardening coatings, structure formation, heterogeneity, phase interaction, properties, service life, diamond fraction.