

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



**Марков Олександр Вікторович**

УДК 621.793

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ  
МОДИФІКУВАННЯМ НАНО- ТА ДИСПЕРСНИМИ  
ДОМІШКАМИ

Спеціальність 05.02.01 – матеріалознавство

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертація є рукопис.

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

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, професор  
**Нанка Олександр Володимирович,**  
ректор Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Тимофєєва Лариса Андріївна,**  
завідувач кафедру якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту;

кандидат технічних наук, доцент  
**Субботіна Валерія Валеріївна,**  
доцент кафедри матеріалознавства навчально-наукового інституту механічної інженерії та транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Захист дисертації відбудеться «31» жовтня 2018 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.832.04 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка за адресою: 61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Калінін Є.І.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** В останні роки при відновленні зношених деталей використовують різні методи нанесення покриттів та їх модифікування домішками, які підвищують фізико-механічні властивості. Такі модифікуючі домішки використовують і для підвищення зносостійкості деталей у спраженнях, додаванням їх до мастил різних типів. Найбільш ефективними для використання модифікаторів у цих напрямках є нанодомішки алмазів, але вони висококоштовні та потребують розробки методів їх введення для рівномірного розподілу в рідкому металу. При застосуванні цих підходів важливим є вибір типу домішки, розробка технологічних параметрів їх введення з мінімальними витратами для забезпечення необхідних властивостей. У зв'язку з цим, розробка економічних методів, які спрямовані на застосування в якості модифікуючої суміші вторинної сировини, одержаної від утилізації боєприпасів, може бути віднесена до важливих та актуальних напрямів досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до держбюджетної тематики ХНТУСГ ім. Петра Василенка та згідно діючих програм:

- «Дослідження, наукове обґрунтування та впровадження конкурентоспроможних ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, нових матеріалів і технологічних засобів для інноваційного розвитку агропромислового комплексу» (ДР0109U000362) у період 2009-2013 рр.;

- «Отримання і застосування детонаційної шихти для підвищення експлуатаційної стійкості деталей» (ДР0117U004157) у період 2014-2017 рр.

**Мета дослідження:** Підвищення експлуатаційної стійкості деталей при їх відновленні та експлуатації з використанням модифікуючих домішок, в тому числі і з вторинної сировини, отриманої від утилізації боєприпасів.

### **Завдання дослідження:**

- провести аналіз номенклатури боєприпасів, які будуть ефективними для використання в якості модифікуючої домішки вторинної сировини для відновлення деталей наплавленням та у експлуатації додаванням їх у мастила;

- розробити методи розділення детонаційної шихти для її цілеспрямованого використання (за складом та фракціями);

- вивчити вплив модифікуючих домішок детонаційної шихти на структуру та властивості робочих шарів деталей при їх відновленні та експлуатації;

- виконати порівняльні експериментальні та теоретичні дослідження, модифікуванням традиційно виробляємих і природніх вуглецевовмісних модифікуючих домішок та детонаційної вторинної сировини на структуру, фазовий склад та властивості відновлених шарів;

- на основі досліджень структури, фазового складу розробити технологічні параметри введення модифікуючої домішки вторинної сировини, яка забезпечить рівномірний розподіл компонентів у відновленому шарі та формування захисних шарів при її додавання до мастил;

- оцінити ефективність розробок та провести їх промислові випробування.

**Об'єкт дослідження:** процес внесення модифікуючих домішок для підвищення довговічності деталей при відновленні та експлуатації.

**Предмет дослідження:** підвищення зносостійкості деталей модифікуванням вторинною сировиною, одержаною від утилізації боєприпасів.

**Методи досліджень.** При проведенні досліджень широко використовували сучасні методи аналізу структури, механічних та експлуатаційних властивостей покриттів. Для цього застосовували металографічний, мікрорентгеноспектральний аналізи, оцінку твердості, мікротвердості, оцінювали зносостійкість. На основі удосконаленої оптико-математичної оцінки зміни фазового складу виявляли ступінь неоднорідності впливу модифікуючих домішок на рівень якості відновленого шару. Ефективне використання детонаційної шихти одержаної від утилізації боєприпасів досягали на основі її аналізу за хімічним складом, фракцією та способів підготовки до використання (розподіл на магнітну та не магнітну фракції) і введення у рідкий розчин.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

*Вперше:*

- виконані порівняльні дослідження процесу модифікування, що стосуються відновлюючих покриттів наплавленням з введенням вуглецевовмісних домішок (нано- та дисперсних алмазів, шунгіту), які дозволили підвищити якість відновлення та перейти до використання відповідних фракцій не магнітної частки детонаційної шихти з компонентами 3,37-3,43% С (нано- та дисперсні алмази), 3,4% кисневих включень Сu та решта Fe;

- встановлено дослідженнями ступінь ефективності використання для модифікування покриттів зі сталей наплавленням з не магнітною фракцією вторинної шихти при її дозованому введенні на рівні 5-7% до долі електроду в рідку ванну, що забезпечило рівномірний розподіл включень у зміцненому шарі;

- оцінено ступінь неоднорідності впливу модифікуючих домішок за фракціями, які впливають на рівень якості відновленого шару на основі удосконаленої математичної оцінки змін фазового складу та його розподілу в залежності від способу модифікування покриттів.

*Отримало подальший розвиток:*

- на основі комплексних досліджень впливу не магнітної фракції детонаційної шихти на формування кисневих захисних плівок при експлуатації спряжень отримало подальший розвиток введення різних її фракцій в мастило та пластичну суміш для стабілізування роботи різьбових спряжень та суттєвого зменшення періоду приробітку та зношування.

*Удосконалено:*

- на основі детального аналізу детонаційної шихти, одержаної від утилізації боєприпасів, встановлено її склад, та фракції, які доцільно використовувати у різних технологічних процесах: ливарному, при відновленні деталей наплавленням, залікуванні дефектів, додаванні до мастил при експлуатації, що дозволило розробити підходи поділення її компонентів з визначенням ефективності використання для різних напрямів до 15-56%.

Новизна розробок захищена 5 патентами України та рішенням про одержання додаткової розробки.

**Практичне значення отриманих результатів.** На підставі експериментальних та теоретичних досліджень надані рекомендації по підборі боєприпасів для утилізації та можливості їх використання як вторинної сировини для модифікування

покриттів і мастила для спряжень, а також метод їх розподілу за фракціями та складом.

Розроблені та пройшли випробування нові технологічні процеси в умовах промислового виробництва, порівняльних стендових іспитів нові процеси відновлення деталей з використанням різних вуглецевмісних модифікуючих домішок при їх дозованому введенні в покриття. Для їх використання надані рекомендації по параметрах технологічного процесу.

Для підвищення зносостійкості спряжень, які працюють в умовах змащення, рекомендовано використовувати детонаційну шихту різних фракцій в залежності від призначення та умов експлуатації.

З використанням теоретичного підходу до оцінки фазового складу встановлено, що в шунгіті є слюда, яка ефективна для стабілізації роботи різьбових спряжень при введенні в пластичне мастило.

Результати досліджень та випробувань пройшли апробацію на ДП «Завод імені В.О. Малишева», де підтверджена їх ефективність. Економічний ефект від розробок при об'ємі попереднього впровадження лише 10 кг деталей складає 366,21 грн.

Розробки, які виконані в дисертаційній роботі, використовуються і в учбовому процесі: лекційні курси для магістрів по напрямку «Механічна інженерія» («Ремонт машин», «Нанотехнології при ремонті машин та методологія наукових досліджень»).

**Особистий внесок здобувача.** Теоретичні та експериментальні результати досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно та викладені у роботах [1 – 20]. У наукових роботах, що опубліковані у співавторстві, здобувачу належать: математичне моделювання структуроутворення яке оцінює зміни при модифікуванні різними домішками [5]; обґрунтовано найбільш ефективно введення модифікуючих домішок [1, 9, 10]; встановлений вплив різних фракцій нано та дисперсних алмазів, шунгіту на формування фазового складу наплавленого шару [2, 11, 15-17]; оцінено можливість переходу до використання вторинної сировини, яка забезпечує технологічний процес внесення такої домішки, виконані дослідження по впливу детонаційної шихти на властивості покриттів та спряжень на зносостійкість [3, 6-8, 13, 18]; проведені промислові випробування використаної детонаційної шихти різного складу – не магнітної фракції та – магнітної [4, 12, 19]; на основі виконаних досліджень проведена оцінка ефективності використання домішки, вартість якої суттєво менша ніж алмази детонаційного виробництва [20].

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

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 20 наукових працях, у тому числі: 6 статей у спеціалізованих наукових виданнях України; 2 публікації у закордонних виданнях; 2 тези у збірниках доповідей наукових конференцій, отримано 5 патентів.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 163 сторінки, у тому числі 3 додатка на 9 сторінках. Обсяг основного тексту дисертації становить 139 сторінок, 51 рисунок, 15 таблиць. Список використаних джерел нараховує 118 найменувань на 12 сторінках.

### **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтована актуальність проблеми, сформульована мета і завдання досліджень, наведені основні отримані автором наукові результати, визначена їх практична значність і новизна.

**У першому розділі** «Загальна характеристика вторинної сировини різних виробництв» виконано аналіз використання вторинної сировини, отриманої в різних галузях народного господарства. Це дозволило встановити, що найбільш широке застосування в даний час мають шлаки і золи, які є відходами металургійних виробництв і від спалювання вугілля на ТЕЦ. Ці матеріали складаються у відвали.

Найчастіше шлаки (доменні, чорних і кольорових металів, феросплавного виробництва) і зольні відходи, в залежності від умов їх отримання, використовуються в різних виробничих процесах: для легування і модифікування сталей і сплавів (в тому числі кольорових); виробництві цементу; будівельних матеріалів; при переробці для отримання напівфабрикату алюмінію і содопродуктів, а також виробів автоклавного твердіння, керамічної і силікатної цегли.

Оскільки вторинна сировина містить такі компоненти як V, Ti, Mg, Al, Si, Ca, K, то при використанні її для обробки рідких розчинів сталей і сплавів з'являється можливість не тільки підвищити фізико-механічні властивості виробів, але і трохи знизити витрати на додаткове їх легування та модифікування.

Для того щоб визначити можливість вторинного використання продуктів утилізації боєприпасів виконано аналіз перспектив і проблем здійснення цього процесу, видів пороху, складу різних типів ВР. З зіставлення вибухів різної природи показано, що найбільш ефективними є детонаційні процеси утилізації. Вони є керованими, можуть коригуватися як за параметрами, так і за вмістом компонентів одержуваної вторинної сировини. Розглянуто обладнання та підходи до безпечного процесу утилізації.

При утилізації боєприпасів детонаційними методом можливе отримання дисперсних зерен оксидів заліза, наноалмазів, а також аморфного графіту. Для цього при утилізації потрібна наявність достатньої кількості графіту і каталізаторів. Отримання такої шихти дає можливість підвищити експлуатаційну стійкість виробів при їх відновленні нарощуванням зношеного шару.

Підвищення якості та експлуатаційних властивостей виробів може бути забезпечено використанням вторинної сировини, одержаної при утилізації боєприпасів детонаційними методом для різних технологічних процесів (відновлення наплавленням, хромуюванням, введенням стабілізуючої домішки в осередок тертя та інш.).

В результаті виконаного аналізу публікацій сформульована мета роботи, яка передбачає пошук шляхів підвищення експлуатаційної стійкості виробів при їх відновленні з використанням вторинної сировини, отриманої при утилізації боєприпасів. Для реалізації мети роботи планується визначити номенклатуру боєприпасів, яка забезпечить ефективність такого матеріалу для підвищення споживчих властивостей виробів, необхідність розподілу компонентів шихти, оцінити

вплив такого модифікування і розробити технологічний процес, а також запропонувати спосіб введення модифікатора.

У другому розділі «Матеріал, методологія та методика досліджень» запропоновано методику досліджень по використанню детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, яка базувалася на попередньому вивченні впливу її основних вуглецевмісних компонентів нано- і ультрадисперсних алмазів, графіту для визначення вмісту компонентів модифікуючої домішки, а також найбільш ефективної домішки за розміром її фракції.

Такі порівняльні дослідження проведені на основі оцінки впливу різних фракцій алмазів, отриманих детонаційним методом і природнього вуглецевмісного матеріалу - шунгіту.

Для встановлення характеру і властивостей, одержуваних при модифікуванні відновлюючих покриттів наплавленням, аналізували вплив різних фракцій шихти алмазів (нано та мікро), спосіб їх введення і вплив на структуру, в тому числі, і перехідного шару.

Особливу увагу приділяли формуванню дрібного зерна, неоднорідності розподілу включень зміцнюючої фази з оцінкою зміни мікротвердості.

При відновлюванні деталей наплавленням вивчали зміни структури при модифікуванні різними домішками та методами: нанесенням шлікерного покриття і дозовано спільно з дротами Св-08Г2С і ER-321 на вуглецеві і низьколеговані сталі, що дозволило зробити висновки щодо використання найбільш ефективного процесу.

Використання детонаційної шихти від утилізації боєприпасів проведено на основі розподілу її на складові: дрібну магнітну та не магнітну, велику за розмірами фракції (табл. 1). Її вводили в рідку ванну після спеціальної підготовки.

Таблиця 1 - Хімічний склад утилізованої та розподіленої за фракціями сировини

Тип фракції	Хімічний склад фракцій, %		
	C	Fe	Cu
Дрібна магнітна	2,87-4,5	31,15	6,10
Дрібна не магнітна	3,37-3,43	2,9	3,14
Найбільша за розміром (змішана)	4,65-8,1	3,15	3,69

Запропоновано методику оцінки структуроутворення в модифікованих покриттях. Оптико-математичний метод оцінки фазового складу по мікрофотографіях дозволяє виявити неоднорідність фази одного типу, формування - нових, а також – наявність таких, що не розчинюються.

При аналізі фотографій різних при наплавленні зон всі пікселі (точки) послідовно переглядали на моніторі комп'ютера. Кожен піксель має числову характеристику від 0 до 255; 0- найтемніша точка, 255 - найяскравіша. Навколо кожного пікселя (або точки) є безліч оточуючих її точок. В роботі розглядалося 24 точки навколо середньої. Це необхідно для того, щоб можливо було обчислювати звичайно різниці похідні до 4-го порядку включно. Схема розташування точок навколо середньої з номером рядка  $i$  і номером стовпця  $j$  показана на рис. 1.

Для побудови гістограм, перетворених за цією залежністю зображень, визначали нормативні показники при порівнянні їх з еталонами:

$$r_1 = \frac{|c_2 + c_4 + c_6 + c_8 - 4c_1|}{|c_2 - c_1| + |c_4 - c_1| + |c_6 - c_1| + |c_8 - c_1|}, \quad (1)$$

де  $r_1$  це показник нейтральності. Такий показник завжди  $\leq 1$ .

$$\begin{aligned} & c_{i-2j-2} \cdot c_{i-2j-1} \cdot c_{i-2j} \cdot c_{i-2j+1} \cdot c_{i-2j+2} \cdot \\ & c_{i-1j-2} \cdot c_{i-1j-1} \cdot c_{i-1j} \cdot c_{i-1j+1} \cdot c_{i-1j+2} \cdot \\ & c_{ij-2} \cdot c_{ij-1} \cdot c_{ij} \cdot c_{ij+1} \cdot c_{ij+2} \cdot \\ & c_{i+1j-2} \cdot c_{i+1j-1} \cdot c_{i+1j} \cdot c_{i+1j+1} \cdot c_{i+1j+2} \cdot \\ & c_{i+2j-2} \cdot c_{i+2j-1} \cdot c_{i+2j} \cdot c_{i+2j+1} \cdot c_{i+2j+2} \cdot \end{aligned}$$

Рисунок 1 - Схема розташування точок навколо середньої з номером рядка  $i$  і номером стовпця  $j$

$$r_2 = c_1 - \text{колір середньої точки} \quad (2)$$

$$r_3 = \frac{|c_3 + c_5 + c_7 + c_9 - 4c_1|}{|c_3 - c_1| + |c_5 - c_1| + |c_7 - c_1| + |c_9 - c_1|} \quad (3)$$

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_4 + c_6 + c_8}{5}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(c_1 - \bar{c})^2 + (c_2 - \bar{c})^2 + (c_4 - \bar{c})^2 + (c_6 - \bar{c})^2 + (c_8 - \bar{c})^2}{4}} \quad (4)$$

$r_4 = \sigma$  - середньоквадратичне відхилення

$$r_5 = \frac{(c_3c_4 + c_2c_1 + c_9c_8 + c_4c_5 + c_1c_6 + c_8c_7)^2}{(c_3^2 + c_2^2 + c_9^2 + c_4^2 + c_1^2 + c_8^2)(c_4^2 + c_1^2 + c_8^2 + c_5^2 + c_6^2 + c_7^2)} \quad (5)$$

$$r_6 = \frac{(c_3c_2 + c_4c_1 + c_5c_6 + c_2c_9 + c_1c_8 + c_6c_7)^2}{(c_3^2 + c_4^2 + c_5^2 + c_2^2 + c_1^2 + c_6^2)(c_2^2 + c_1^2 + c_6^2 + c_9^2 + c_8^2 + c_7^2)} \quad (6)$$

$r_5$  (5) і  $r_6$  (6) це показники однорідності, тому, що при однакових значеннях кольорів, які входять в формули точок, вони відповідають 1.

Середньоквадратичне відхилення оцінювали як аналог функції (4):

$$\bar{c} = \frac{c_1 + c_2 + c_4}{3} \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(c_1 - \bar{c})^2 + (c_2 - \bar{c})^2 + (c_4 - \bar{c})^2}{2}} \quad (8).$$

Аналог функції однорідності для цих трьох точок буде виглядати так:

$$r_5 = \frac{(c_2c_1 + c_4c_1)^2}{(c_2^2 + c_1^2)(c_4^2 + c_1^2)} \quad (9).$$

В результаті досліджень запропонована методика оцінки аналітичного зв'язку між лапласіанами, дивергенцією, а також іншими показниками - однорідністю і кольором пікселів.

Введено поняття локальної неоднорідності, яке дає можливість з найбільшою вірогідністю оцінити коефіцієнт множинної кореляції між сформованими фазами. Метод більш ефективний, ніж мікрорентгеноспектральний аналіз, оскільки його можливості не обмежені локальністю визначення фаз. Крім того, пляма променю мікроаналізатора захоплює не тільки локальну зону, а й - навколо неї, а також значну його глибину.

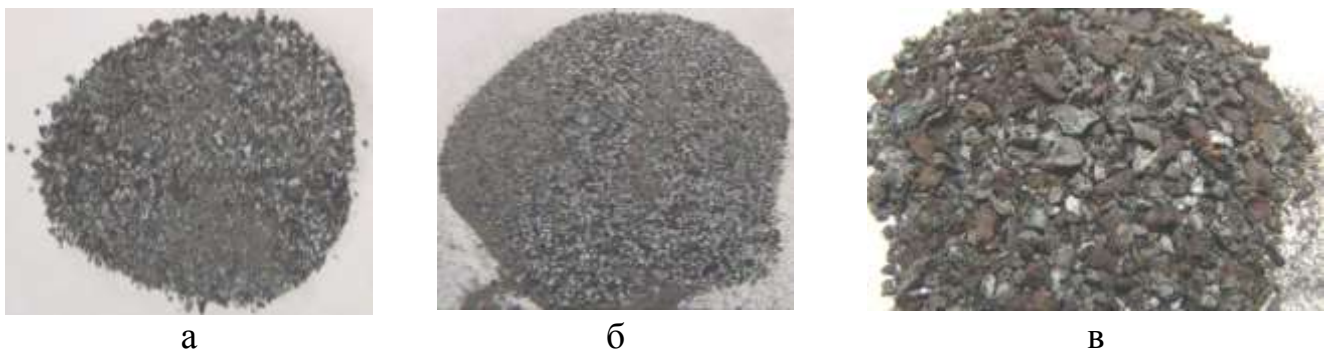


У третьому розділі «Отримання, розділення на складові та підготовка детонаційної шихти до використання» виконаний аналіз вихідних матеріалів, які одержували при детонації боєприпасів з додаванням їх до основи низьковуглецевих сталей буде ефективним для використання в якості вторинної сировини при легуванні і модифікуванні різних сплавів. Це дозволить суттєво скоротити витрати на виробництво виробів і підвищити їх експлуатаційну стійкість за рахунок додаткового модифікування.

З наведеного аналізу випливає, що при такому великому наборі матеріалів, які використовуються для куль різного призначення можливо отримувати шихту, що відрізняється по складу при утилізації (рис. 2). Тому для використання потрібне обов'язкове визначення її хімічного складу і тільки після цього можливо прийняти рішення про ефективність і розробити методи її розподілу за фракціями, які доцільно буде використовувати для конкретного призначення (рис. 3).



Рисунок 2 - Хімічний склад компонентів кульних оболонок, %



а - магнітна фракція; б - не магнітна фракція (дисперсна); в - суміш різних фракцій (великі зерна)

Рисунок 3 - Детонаційна шихта від утилізації 12,7 мм патронів зі звичайною кулею

Для відновлення виробів у машинобудуванні слід визнати можливим використання не магнітної складової шихти, в якій вуглець знаходиться у вигляді алмазних включень та має незначну долю графіту. Такий склад одержаної шихти може бути ефективним і для введення її в мастило при роботі спряжень.

Запропоновано способи підготовки детонаційної шихти до використання при модифікуванні: для зміцнення при відновлювальному наплавленні; введення в мастило для підвищення зносостійкості спряжень, а також, як домішку в пластичне

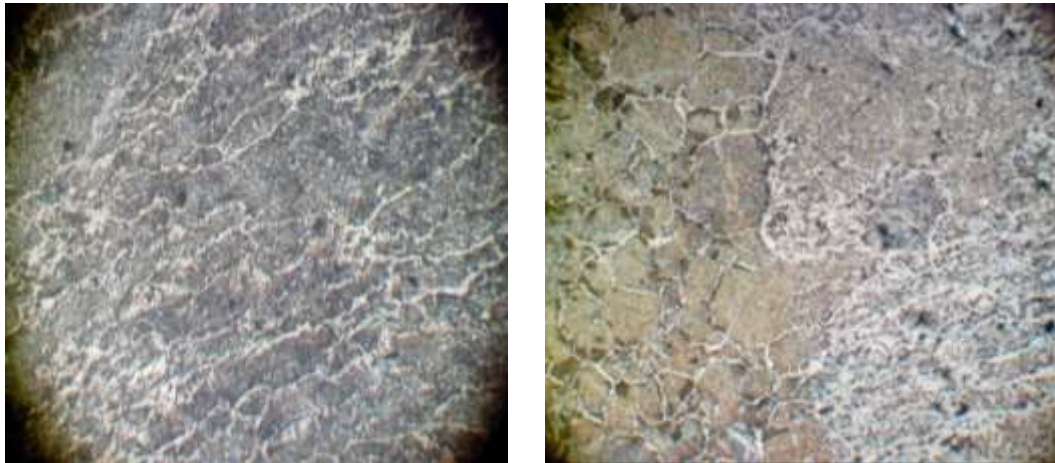
мастило, введенням в різьбове з'єднання, що буде стабілізувати його роботу в процесі експлуатації, наприклад, колон насосно-компресорних і обсадних труб.

Кожен із розроблених способів підготовки такої шихти визначається поставленими завданнями.

Методи відрізняються новизною введення шихти, способами її підготовки до використання і параметрами, які забезпечать потреби різноманітних умов в експлуатації (подрібнення зерна, підвищення зносостійкості та економії енергоресурсів).

**У четвертому розділі** «Дослідження технологічних процесів для оцінювання ефективності застосування вуглецьвмісних модифікаторів» при виконанні розробок ефективної, менш витратної технології використання вторинної сировини - детонаційної шихти від утилізації боєприпасів для модифікування покриттів наплавленням, що відновлюються, на першому етапі досліджень аналізували вплив вуглецьвмісних домішок різного походження – природнього шунгіту і детонаційного – нано- та дисперсних алмазів. Це дозволило виявити не тільки вплив їх на структуру металу, а й визначити оптимальні параметри технологічного процесу, здійснювати його коригування. Такий підхід особливо важливий, оскільки при утилізації боєприпасів отримують шихту, що містить різні фракції алмазів (нано та дисперсні).

Дослідження показали, що найбільший внесок в подрібнення структури, яка формується при кристалізуванні, забезпечують введенням наноалмазів (рис. 4). Вони, модифікуючи метал покриттів, подрібнюють зерно до 3-5 мкм, запобігають кристалізуванню грубої дендридної структури в покритті, забезпечують формування хвилястої перехідної зони, яка дорівнює 15-20 мкм, що підвищує міцність зчеплення.



а

б

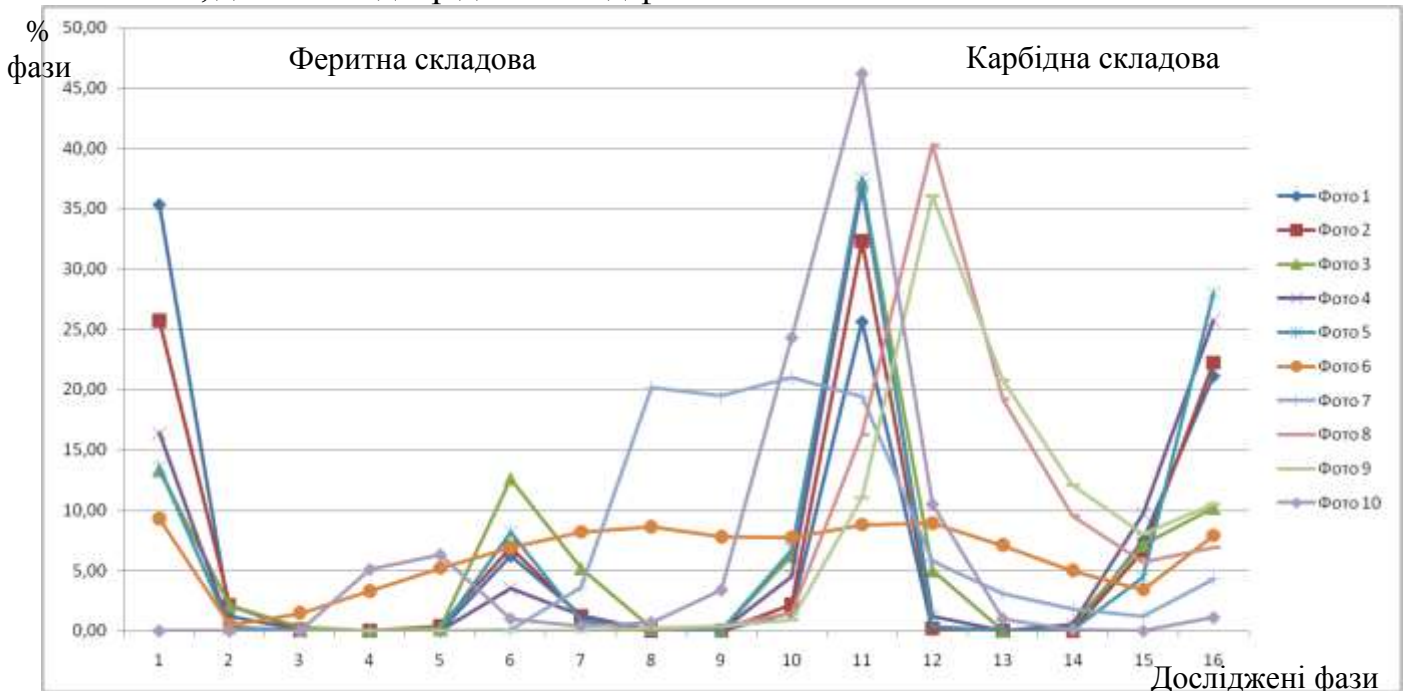
а - шунгіту x100; б - наноалмазів x1000

Рисунок 4 - Границя розподілу при наплавленні з домішками

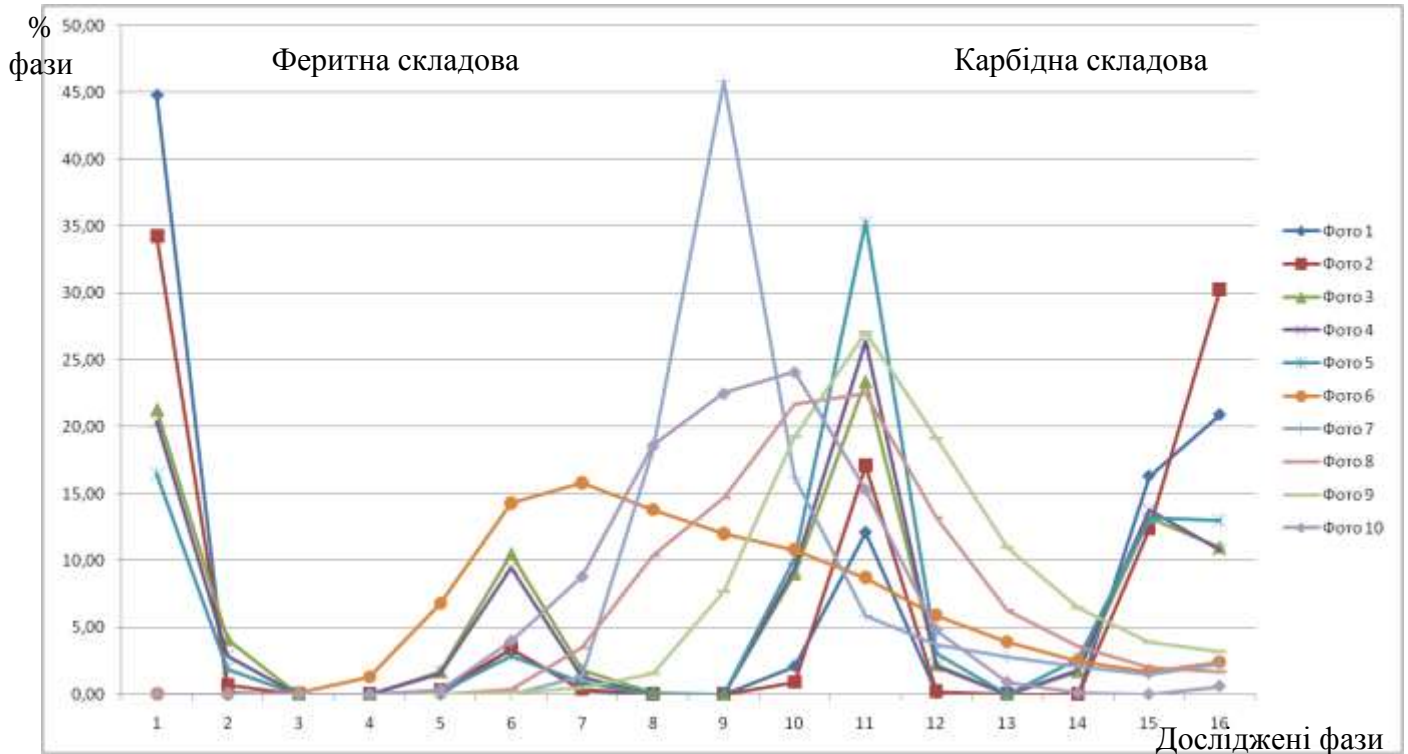
Встановлено, що вплив модифікуючих домішок шунгіту і дисперсних алмазів проявляється дещо в меншій мірі, ніж наноалмазів. У цьому випадку рівень мікротвердості підвищується в покритті на 11%, а при введенні нанопорошків в 1,54 рази. Це визначається тим, що більша за розміром фракція алмазів і шунгіту розподіляються по границях зерен, а наноалмази додатково і по тілу зерна.

Теоретична оцінка фазового складу оптико-математичним методом фотографій мікроструктур з різними рівнями збільшення виявила, що при порівнянні оптичних

зображень з електронними існують певні залежності формування фаз при кристалізуванні покриттів з різним способом їх введення і типом відповідних використовуваних вуглецевмісних домішок. Опис структури електронмікроскопічних зображень виявило локальний, досить неоднорідний склад фаз.



а

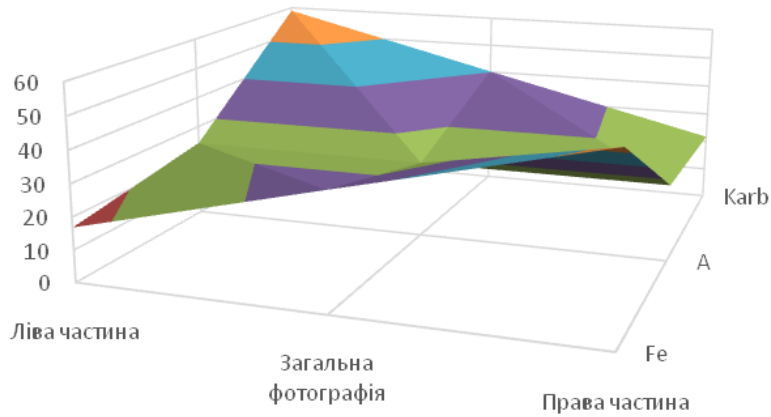


б

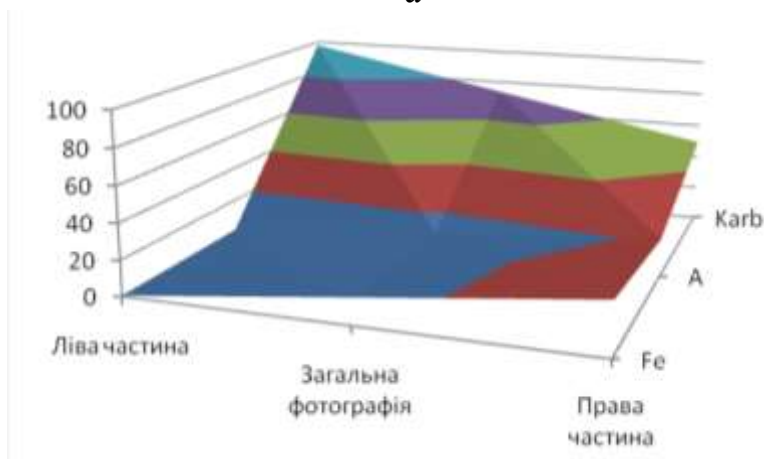
а - ліва частина фотографії - зона наплавлення; б - права частина - основний метал  
Рисунок 5 - Вміст фаз різних кольорів (відтінків),%

Для детального опису фазового складу модифікуючих домішок використовували метод побудови гістограм, що описує порівняльно різні зони: основи - вихідний метал, покриття і перехідного (рис. 5). Аналізом оптичних зображень встановлено, що без домішок та тих, що модифікують, частка феритної

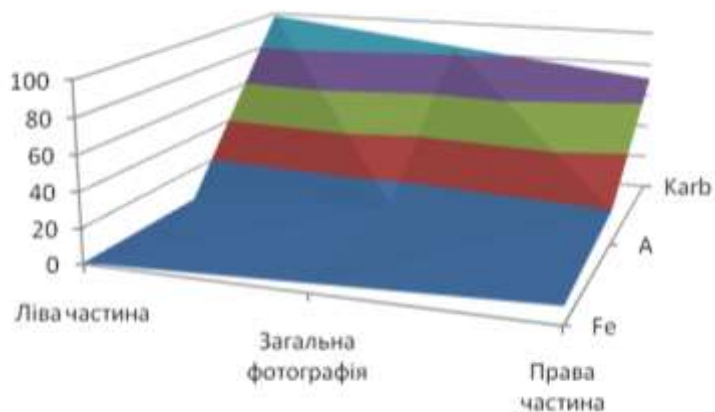
складової змінюється від 22,7-28,3% до 36,7-46,4% незалежно від різних типів і фракцій. Частка залишкового аустеніту для всіх досліджених варіантів практично не відрізняється від початкового (рис. 6). При цьому, має місце зниження карбідної фази. Однак, наявність твердих вуглецьовмісних включень, які не розчинюються в рідкому розчині, не сприяють зниженню мікротвердості, а навпаки, підвищують її. При модифікуванні найбільшу частку карбідної фази складають  $FeC$ ;  $Fe_xC_y$  і  $Fe_3C$ , що відповідає 30,2%, 10,1% і 10,63%.



а



б



в

а- шунгітом; б – дисперсними алмазами; в – наноалмазами

Рисунок 6 - Сумарний склад кольорів по фазам при модифікуванні, %

Показано, що кількість парних зв'язків типів фаз, що кристалізуються з коефіцієнтом кореляції 0,6 відповідають модифікуванню алмазами різних фракцій із деякою перевагою нано-. При використанні шунгіту виявлено найменша доля парних зв'язків у фериті (від 3 до 6) і, в основному металі (коефіцієнт кореляції не перевищує 0,4).

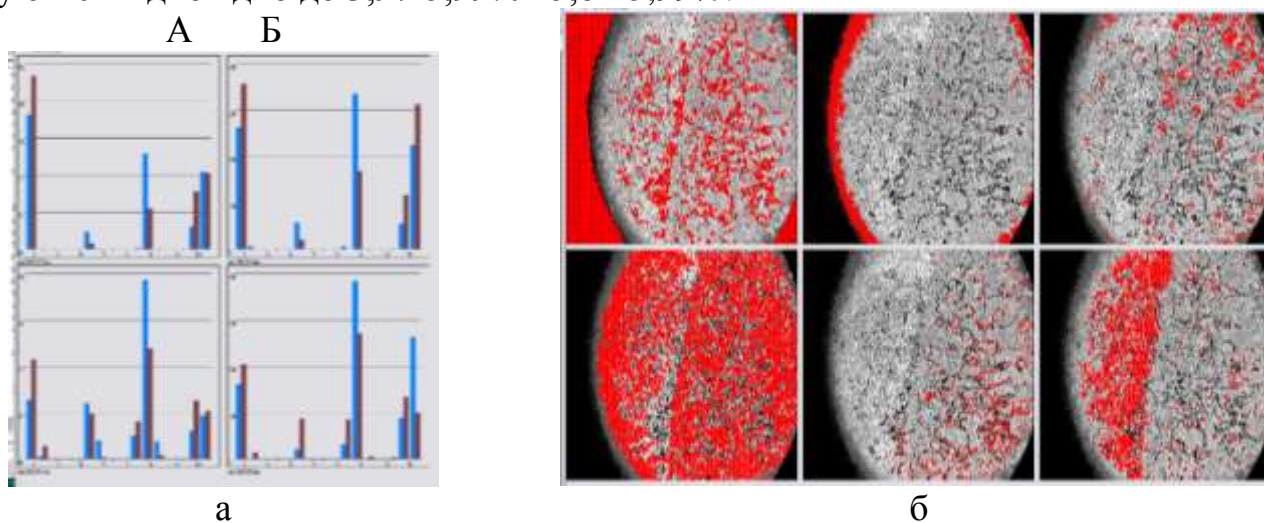
При модифікуванні дисперсними алмазами число парних зв'язків зростає в 1,5-3 рази (до 8-11) і коефіцієнт їх кореляції досягає 0,6.

Модифікування наноалмазами в різних зонах покриття суттєво змінює і число зв'язків фаз від 11-18 до 23, причому, в більшій мірі з коефіцієнтом кореляції 0,6.

Отримана така інформація може бути ефективною для коригування технологічних параметрів при використанні модифікаторів, що містять вуглецеві домішки рис. 7.

Виконано дослідження по модифікуванню відновленого шару введенням детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, що містять алмази різних фракцій. Дослідження проведені при відновленні деталей з наплавкою дротом марки ER-321 (легований 16,0-19% Cr, 5-9% Ni та 0,5-0,7% Ti).

Локальним мікрорентгеноспектральним аналізом та термоелектронною емісією розподілу компонентів показано, що модифікуючі домішки не впливають на ліквідацію компонентів в покритті при використанні різних за складом дротів (з модифікуючою домішкою та без неї) рис. 8. В покритті відновленого шару доля компонентів складає 16,33-16,92%Cr і 3,97-5,99% Ni, а у перехідній зоні вони знижуються відповідно до 3,97-5,99% і 5,82-5,99%.



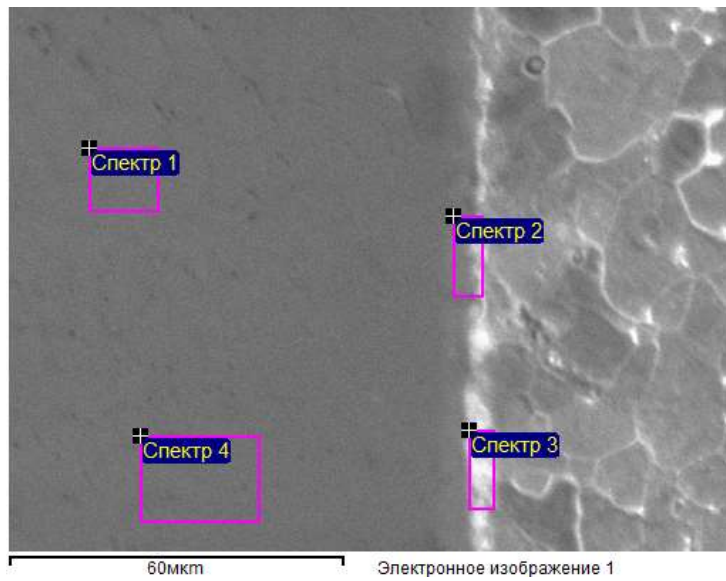
А- ліва частина; Б- права частина

Рисунок 7 - Гістограма розподілу (а) та оцінка кольорів при наплавленні з введенням дисперсних алмазів (б), x100

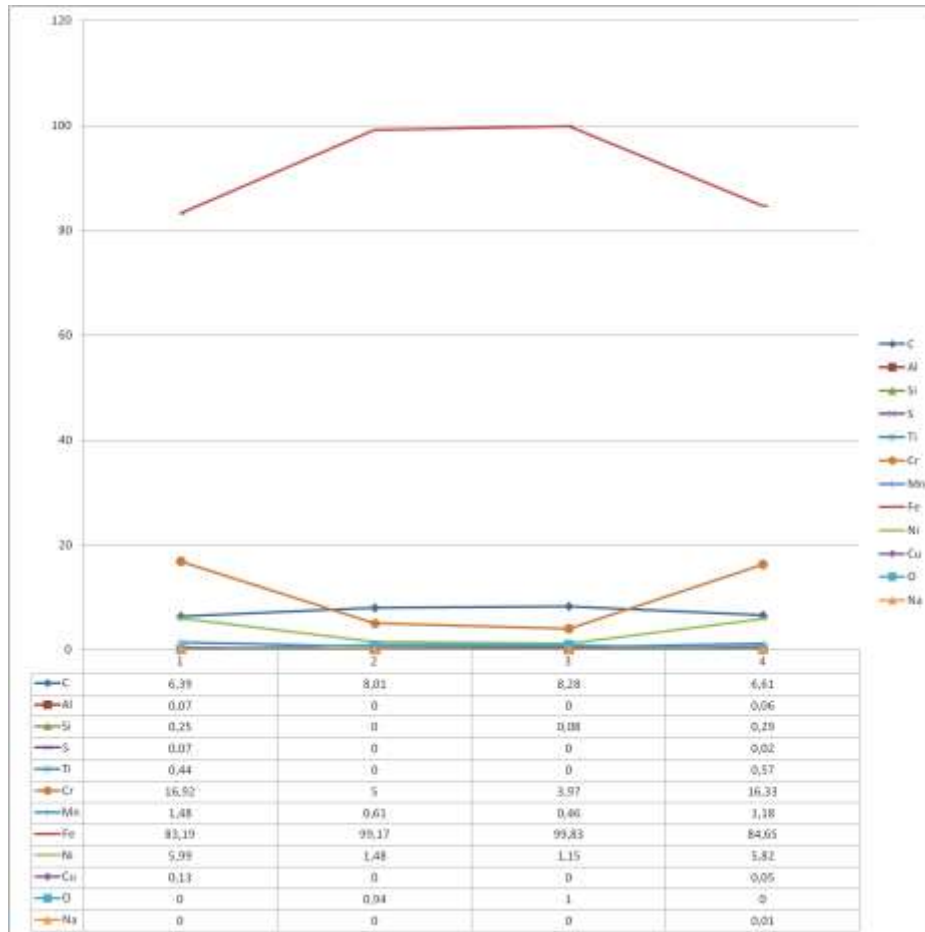
Найбільший вплив введення домішок має на перехідну зону покриття - основний метал, а також залежить від способу її внесення. Показана необхідність коригування частки домішки. Оптимальною є домішка в кількості 5-7% від частки дроту (рис. 9).

Порівняльні дослідження способів модифікування нанесенням шлікерного покриття і дозованим введенням порошку спільно з дротом показали ефективність останнього. Такий підхід забезпечив незначне осідання алмазних включень з формуванням хвилястою структури перехідного шару розміром 15-20 мкм. Це

підтверджено мікрорентгеноспектральним аналізом. Виявлено деяке підвищення вуглецю і кисню на такій межі.



а



б

а – мікроструктура; б – розподіл хімічних елементів

Рисунок 8 - Мікрорентгеноспектральний аналіз відновленого шару і перехідної зони при введенні домішки 1,0-1,2% щодо частки дроту

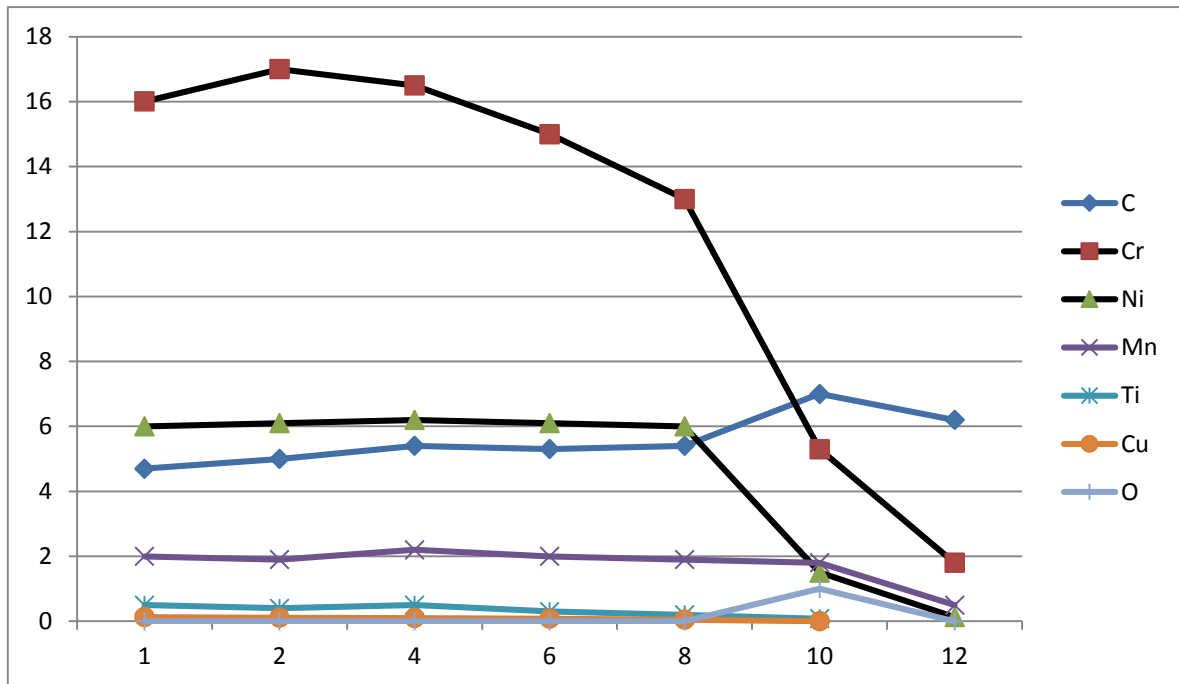
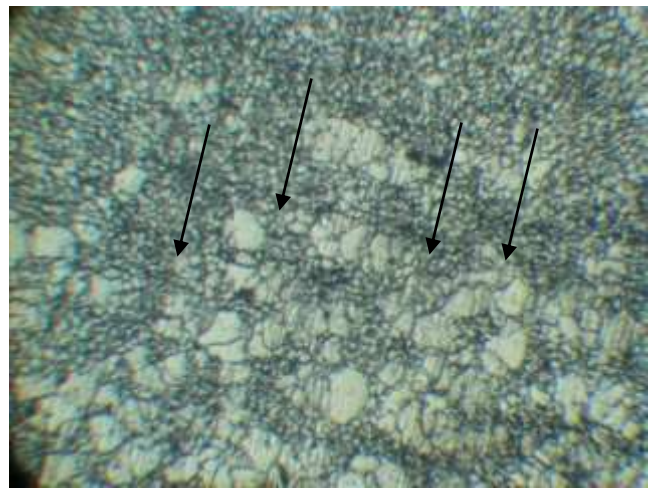


Рисунок 9 - Розподіл компонентів по перетину відновленого шару, перехідної зони і основного металу при оптимальних модифікуючих домішках



а



б

а – дефектна зона (осідання веденої домішки;  
б – оптимальна доля модифікуючої домішки

Рисунок 10 - Мікроструктура наплавленого шару з використанням не магнітної фракції дрібної детонаційної шихти, x1000

Аналіз дефектних зон на границі покриття-основа показав, що їх формування є характерним для покриттів без домішок та зі збільшеною її часткою. У першому випадку формується рівна поверхня зчеплення з тріщинами, а в другому - скупчення включень, які вводяться з шихтою. В цьому випадку має місце не якісне зварювання шарів, рис.10,а. Оптимальна домішка сприяє створенню бейнітної структури (див. рис.10,б).

**П'ятий розділ** «Вплив модифікуючої домішки детонаційної шихти на експлуатаційну стійкість деталей при їх відновленні і експлуатації».

При модифікуванні рідкої ванни домішками, що не розчинюються та містять нано- і дисперсні алмази різних фракцій використано метод дозованого їх введення з

нанесенням на зварювальний дріт спеціальних чарунок, які заповнюються порошковою композицією. Для реалізації такого технологічного процесу використовували спеціально виготовлену наплавлювальну головку.

Такий спосіб відновлення призначався для валів зчеплення тракторів, компресорів двигунів, а також деталей спеціального призначення, виготовлених з вуглецевих і низьколегованих марок сталей, що працюють в умовах зношування.

Визначено оптимальні параметри запропонованого технологічного процесу: сила струму 160А; напруга 20В; зміщення дроту з zenіту - 2 мм; швидкість подачі дроту - 0,04 м/с; частота обертання деталі діаметром 35мм - 2об/хв.

Формування чарунок на наплавлювальному дроті здійснювали тиском роликів 0,30-0,60кН; глибина чарунок становила - 0,13-0,19мм, а діаметр - 0,35-0,52мм (рис. 11). Відстань між чарунками визначали часткою введення модифікатора. Для відновлення використовували дроти - Св-08Г2С та ER-321.

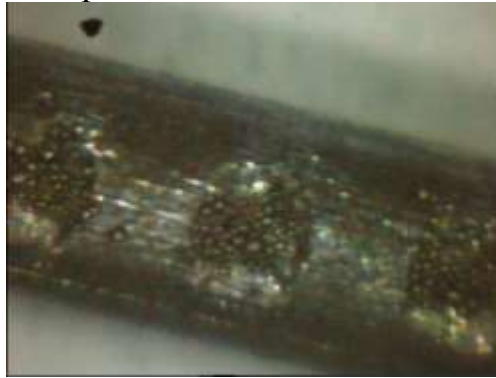
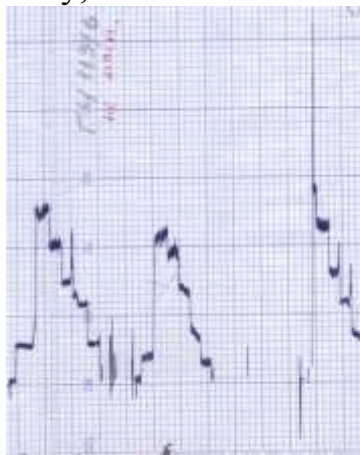


Рисунок 11 - Зовнішній вигляд лунок з модифікуючою домішкою, що формуються на наплавлювальному дроті після обтиску роликами, X800

Стендові випробування покриттів в умовах ДП «Завод імені В.А. Малишева» проводили згідно шести варіантів з введенням нано- та дисперсних алмазів, шунгіту і не магнітної частки детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, які порівнювали з вихідним станом. При цьому використовували різні середовища випробування: моторне мастило марки М14В2 з домішкою 3% кварцового пилу (фракцією 0,25-0,40мм) як абразиву, а також - без змащення (рис. 12, 13).

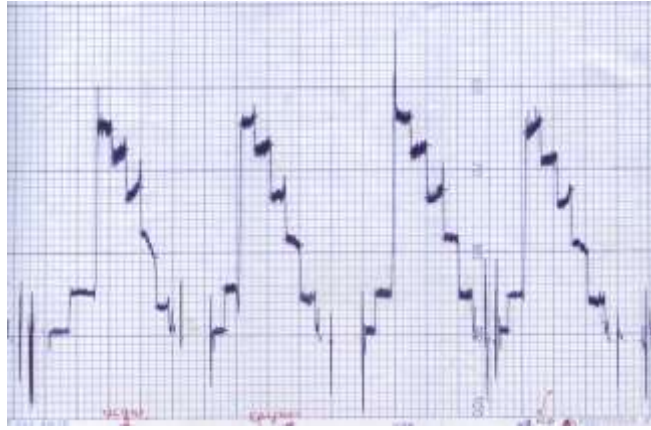


а б в

а - без домішок; б - перший етап випробувань з немагнітної шихтою, в - послідуєчі етапи випробувань з домішкою не магнітної шихти

Рисунок 12 - Діаграми зношування, відновлених дротом ER-321





а б в г

а - без домішок модифікатора, б - з домішкою дисперсних алмазів,  
в - шунгіту, г – наноалмазів

Рисунок 13 - Діаграми зношування зразків після п'ятого періоду іспитів, відновлених дротом Св-08Г2С

При експлуатаційних випробуваннях фіксували момент тертя і температуру що досягається в процесі іспитів.

Аналізом встановлено, що при відновленні наплавленням дротом Св-08Г2С, середнє значення коефіцієнта тертя у всіх випадках при модифікуванні і випробуваннях в середовищі моторного мастила знижується на 5-10% (табл. 2). В абразивному середовищі зниження коефіцієнта тертя не змінюється та відбувається на 5% тільки для варіанту модифікування наноалмазами. Це пов'язано з викришуванням великих включень модифікуючої домішки для інших варіантів.

Таблиця 2 - Коефіцієнт тертя досліджуваних варіантів відновлення і зміцнення модифікуванням

Спосіб обробки	Навантаження, Н						Середнє значення коеф. тертя
	200	400	600	800	1000	200	
Наплавлення з наноалмазами дротом Св-08Г2С	0,070	0,100	0,107	0,104	0,099	0,080	0,093
Наплавлення без введення домішки дротом Св-08Г2С	0,080	0,110	0,110	0,110	0,104	0,090	0,101
Наплавлення з дисперсними домішками алмазів дротом Св-08Г2С	0,080	0,108	0,107	0,111	0,101	0,100	0,101
Наплавлення з шунгітом дротом Св-08Г2С	0,060	0,105	0,112	0,108	0,099	0,090	0,095
Наплавлення без модифікування дротом ER321	0,130	0,110	0,103	0,111	задир		0,113
Наплавлення з модифікуванням не магнітною детонаційною шихтою дротом ER321	0,110	0,105	0,097	0,100	0,099	0,100	0,103

Інакше поводитьься модифікатор детонаційної шихти оскільки він містить

графіт, мідь і алмази різних фракцій і коефіцієнт тертя знижується на 10% в порівнянні з вихідним наплавленням (без введення домішок) при використанні наплавлювального дроту ER-321, та знос знижується на 39-56%.

При введенні дисперсних алмазів і шунгіту знос знижується на 6-39%.

Ступінь зміцнення поверхні після випробувань на знос зростає при модифікуванні наноалмазами на 27%, а детонаційною шихтою на 50% вже після першого циклу випробувань. Це пов'язано з тим, що модифікування детонаційною шихтою має інший склад, як по компонентам, так і розміру домішок.

При введенні детонаційної шихти в мастило оцінено її вплив на формування вторинних захисних структур, що містять кисень і велику кількість мікродомішок, які відповідають вмісту як модифікатора, так і мастилу.

Виконано розрахунок товщини захисних плівок при введенні такого модифікатора в мастило. Для цього використовували статистичний аналіз, виконаний на основі досліджень методом мікрорентгеноспектрального аналізу з урахуванням заданого діаметра зонду, рівного 3 мм. Розрахунками встановлено, що в різних зонах тертя вторинні захисні структури мають товщину від 0,32 до 1,34 мкм (табл. 3). Як показали виробничі випробування на ДП «Завод імені В.А. Малишева» сполучення «гвинт-гайка» при введенні в мастило детонаційної шихти підвищує їх антифрикційні властивості на 10-15%, а також забезпечує зменшення періоду приробки, що дозволило зменшити енерговитрати та вартість спряжень за рахунок заміни бронзи БрА9Ж4 на легований чавун. Така технологія модифікування захищена патентами України №107500, №108224 та №114590.

Таблиця 3 - Характеристика товщини плівки (вторинної захисної структури) і зміна частки заліза

Товщина захисної плівки, мкм		Середня доля заліза в плямі з оксидною плівкою, згідно локального аналізу, %	Середня частка заліза в плямі основного металу, згідно спектрального аналізу, %
Мінімальна	0,32	72,15	74,93
Максимальна	1,34	58,55	
Середня	1,217	65,7	

Економічний ефект від впровадження розробок в обсязі лише 10 кг деталей становить 366,21 грн.

## ВИСНОВКИ

1. Виконано порівняльний аналіз використання різних вуглецевмісних домішок для модифікування металу при виготовленні або відновленні виробів наплавленням.

Показано, що вторинна сировина (шлаки, золи, детонаційна шихта від утилізації боєприпасів) містять компоненти, які забезпечують мікролегування та модифікування металу, змінюють швидкість кристалізування, формують дисперсну структуру, змінюють співвідношення фаз. Це дозволяє регулювати необхідний комплекс споживчих і експлуатаційних властивостей, заощаджувати витрати на виробництво та енергоресурси.

2. Дослідженнями показані оптимальні параметри введення вторинної сировини - детонаційної не магнітної шихти одержаної від утилізації боєприпасів, що складається з нано- та дисперсних алмазів, заліза і міді при різних методах

відновлення наплавленням. Особливу увагу приділено способу дозованого введення вторинної сировини при відновлюванні наплавленням виробів для забезпечення рівномірного розподілу компонентів. Показано, що це може бути досягнуто одночасно дозованим введенням домішок при формуванні покриття і коригуванням температурних параметрів процесу.

3. Для забезпечення якісної технології наплавлення вторинну сировину вносили спільно з дротом Св-08Г2С з нанесенням на нього чарунок з двох сторін, які потім заповнювали модифікуючою домішкою, що забезпечило рівномірне його засвоєння по перетину відновленого шару з формуванням хвилястою структури сплавлення покриття з основною. В цьому випадку забезпечується перехідна зона, яка складає 15-20мкм та вона сприяє підвищенню міцності зчеплення покриття. Оптимальна домішка становить 5-7% від маси дроту.

Розроблена технологія модифікування з використанням детонаційної шихти захищена патентами України №92472 та №98213.

4. З огляду на той факт, що одним з модифікуючих компонентів використовуваної детонаційної шихти є алмазна складова, проведено порівняльні дослідження по встановленню впливу вуглецевмісних домішок різного походження: наноалмазів (спеціального детонаційного виробництва фірми «Сінта») і природнього - шунгіту.

Показано, що з введенням дисперсної фракції алмазів розмір зерен істотно зменшується до 3-5 мкм, ферритна складова розташовується по межах зерен. Основна структура - голчастий бейніт. Мікротвердість при модифікуванні зростає на 20%. Включення наноалмазів розподіляються як по тілу, так і по границях зерен. Введення наноалмазів підвищує мікротвердість відновленого шару в 1,54 раз.

5. При модифікуванні шунгітом відзначається помітна неоднорідність розмірів зерен, що пов'язано з його більшим розміром фракції, що вводиться (дуже важко піддається подрібненню). Це характерно і для введення алмазів, що перевищують розмір нано. При кристалізуванні відзначаються його більші за розміром включення які також розташовуються по границях зерен. Мікротвердість при модифікуванні зростає на 11%. Без введення домішок структура наплавленого шару характеризується підвищеною часткою ферриту, який розташовується по межах зерен, а також в їх середині.

6. Методом мікрорентгеноспектрального аналізу відновленого шару дротом ER-321 (легований Cr і Ni) показано, що ці компоненти при наплавленні розподіляються досить рівномірно (16,33-16,92% Cr і 3,97-5,99% Ni), а в перехідному шарі їх концентрація істотно знижується до 3,97-5,0% Cr і 5,82-5,99% Ni.

Частка вуглецю в перехідному шарі однорідна, однак, трохи вища, ніж в зоні наплавлення (на ~15%). Це можливо пояснити деяким осадженням наноалмазів на дно рідкої ванни, які і сприяють формуванню хвилястої зони сплавлення.

Аналізуючи дифузію компонентів, встановили, що на глибині 70 мкм від зони сплавлення концентрація хрому вже не перевищує 0,21%, а нікель - відсутній. В основному металі частка заліза складає 99,17-99,83% і 0,09% Si; 0,53% Mn.

Методом термоелектронної емісії підтверджена досить висока однорідність розподілу C, Cr і Ni в наплавленому шарі легованим дротом.

7. Дослідженнями оптико-математичним методом структуроутворення при

введенні модифікуючих домішок і без них виконано оцінку фазового складу покриттів. Показано, що модифікуючі домішки наноалмазів і шунгіту змінюють долю і кількість фаз, які формуються при кристалізуванні. Це пов'язано з тим, що введення додаткових центрів кристалізування у вигляді порошків вуглецевмістких фаз зменшується частка аустенітної складової, відбувається формування фериту з більш високою концентрацією вуглецю (за рахунок його пошкодження), з'являється новий тип карбідів  $Fe_xC_y$ , крім того, модифікування сприяє перерозподілу фаз з різним вмістом вуглецю.

Порівняльні дослідження фазового складу різних зон, запропонованим методом, дозволили чітко встановити відсотковий вміст фаз, який відрізняється складом, при введенні модифікуючих домішок. Це підтверджується гістограмами кольорів, отриманих при оцінках структури оптико-математичним методом.

8. Розроблено обладнання, технологія і параметри зміцнення відновного шару наплавленням з використанням детонаційної шихти від утилізації боєприпасів, яка містить вуглецевмістні домішки (мікро- і наноалмази, графіт), а також мідь і залізо.

Оптимальні параметри наплавлення: сила струму 160 А; напруга 20 В; зміщення дроту з zenіту - 2 мм; швидкість подачі дроту - 0,04 м/с; частота обертання деталі  $\varnothing 35$ мм - 2 об/хв.

Модифікуючу домішку додавали дозовано, введенням разом з дротом, яка розміщувалася в спеціальних нанесених чарунках. Для відновлення використовували вуглецеві і леговані дроти.

9. Виконані стендові випробування на зношування модифікованих покриттів детонаційною шихтою від утилізації боєприпасів, а також деталей в сполученні в умовах ДП «Завод імені В.О. Малишева» з домішкою її і в мастильні матеріали. Показано підвищення стійкості в 1,54 рази і на 15% відповідно. Економічний ефект тільки від використання 10 кг деталей складає 366,21 грн.

## **ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Марков А.В. Анализ методов легирования и модифицирования сплавов / А.В. Марков // Приднепровский научный вестник. – Днепропетровск, 2013. – Вып. №11. - С. 61-65.

2. Влияние модифицирования углерод- и медьсодержащими добавками вторичного сырья при восстановлении деталей электродуговой наплавкой/ Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, В.М. Власовец, А.А. Гончаренко, А.В. Марков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – Харьков, 2014. - Вип. 146. – С. 227-231.

3. Марков А.В. Применение вторичного сырья и модифицирующих присадок для повышения эксплуатационных свойств изделий / А.В. Марков // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – Харьков, 2015. - Вип. 158. – С. 162-176.

4. Новая технология модифицирования при восстановлении изделия / Т.С.

Скобло, А.И. Сидашенко, А.А. Гончаренко, А.В. Марков, А.С. Михайличенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві». – Харьков, 2015. - Вип. 158. – С. 3-8.

5. Методика исследования структурообразования при восстановлении деталей с использованием модификаторов / Т.С. Скобло, А.А. Гончаренко, А.В. Марков, Л.В. Омельченко, В.В. Телятников, С.В. Тупиченко // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового і транспортного комплексів». – Харків: ХНТУСГ, 2016. - №6. – С. 57-62.

6. Применение модифицирующих присадок для восстановления деталей машин / Т.С. Скобло, А.И. Сидашенко, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.– Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – Вип. 47, Ч.І. – с. 229-240.

7. Марков А.В. Повышение эксплуатационной стойкости деталей сельскохозяйственного машиностроения с применением вторичного сырья / А.В. Марков // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение» - Орел, 2015. – № 5 (9). - С. 12-25.

8. Марков А.В. Повышение стойкости деталей при восстановлении наплавкой и модифицированием / А.В. Нанка, Л.В. Омельченко, А.В. Марков // Научно-практический журнал «Агротехника и энергообеспечение» - Орел, 2018. – № 1 (18). - С. 85-93.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Применение наноалмазов для повышения качества восстанавливаемого слоя наплавкой / Т.С. Скобло, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков и др. // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: материалы Международной научно-практической конференции. - Минск, 2014. - Ч. 1 - С .258-261.

10. Марков А.В. Использование вторичного сырья для модифицирования при восстановлении деталей наплавкой / А.В. Марков, Т.В. Мальцев // Матеріали VIII Міжнародної конференції молодих вчених та спеціалістів «Зварювання та споріднені технології» 20-22 травня. – Київ, 2015. - С. 112.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Патент №92472 Україна, МПК (2014.01) В23К 26/00. Спосіб відновлення та підвищення властивостей робочого шару деталей. / Т. С. Скобло, І. М. Рибалко, А.В. Марков, та інш.; заявник та патентоутримувач Т. С. Скобло. №а2014 03324. заявл. 01.04.14.; опубл. 26.08.14., Бюл. № 16.

12. Патент №98213 Україна, МПК (2006.01) В32В 5/14. Спосіб використання детонаційної шихти для зміцнення відновлювального шару деталей. / Т. С. Скобло, І.О. Сідашенко, А.В. Марков, та інш.; заявник та патентоутримувач О.В. Марков. №а2014 10552. заявл. 26.09.14.; опубл. 27.04.15., Бюл. № 8.

13. Патент №107500 Україна, МПК G01В 21/8 (2006.01) Спосіб визначення товщини захисних оксидних плівок, що формуються при терті / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В.

Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - и 2015 12140. заявл. 07.12.15.; опубл. 10.06.16., Бюл. № 11.

14. Патент №108224 Україна, МПК (2016.01) C10M 101/00 Енергозберігаючий спосіб підвищення зносостійкості виробів модифікуванням мастила вторинною сировиною / Т.С. Скобло, О.Ю. Марченко, О.І. Сідашенко, І.М. Рибалко, О.О. Гончаренко, Є.А. Сатановський, О.К. Олейник, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - и 2015 12910. заявл. 28.12.15.; опубл. 11.07.16., Бюл. № 13.

15. Патент №114590 Україна, МПК B23K 9/04 (2006.01), B23K 35/22 (2006.01) Спосіб підвищення якості відновлення тонкостінних виробів з сірого чавуну / Т.С. Скобло, О.І. Сідашенко, О.В. Сайчук, І.М. Рибалко, О.О. Радченко, В.Л. Маніло, В.А. Бантковський, О.В. Марков; заявник та патентоутримувач Т.С. Скобло. - и 2016 10481. заявл. 17.10.16.; опубл. 27.03.17., Бюл. № 6.

16. Марков А.В. Утилизация боеприпасов для вторичного использования при производстве и восстановлении деталей / А.В. Марков // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». - Харьков, 2013. - №8. - С. 52-55.

17. Применение порошков наноалмазов и шунгита для упрочнения изделий при упрочнении наплавкой / А.А. Гончаренко, В.В. Телятников, В.М. Власовец, А.В. Марков, Т.В. Мальцев // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2013. - № 11. - С. 52-54.

18. Способ восстановления и повышения свойств рабочей поверхности деталей / В.В. Телятников, А.В. Марков, А.В. Сайчук, И.Н. Рыбалко и др. // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2014. - №10|22|. – С. 56-57.

19. Влияние модифицирования углеродсодержащими порошковыми присадками на износостойкость при нанесении покрытий / Т.С. Скобло, А.И. Сідашенко, А.В. Сайчук, И.Н. Рыбалко, А.В. Марков, А.К. Олейник // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2016. - №10|47|. – С. 54-58.

20. Марков О.В. Модифікування відновлюваних шарів вуглецьвмісними домішками / О.В. Нанка, І.М. Рибалко, О.В. Марков // Информационно-аналитический международный технический журнал «Промышленность в фокусе». – Харьков, 2018. - № 1 (62). – С. 53-58.

## АНОТАЦІЯ

**Марков О.В.** Підвищення зносостійкості деталей нано- та дисперсним модифікуванням. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.01 – матеріалознавство. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2018.

Дисертація присвячена підвищенню експлуатаційної стійкості деталей при їх відновленні та експлуатації з використанням модифікуючих домішок, в тому числі і з вторинної сировини, отриманої від утилізації спеціального складу боеприпасів.

Відомо, що графіт та наноалмази використовують в якості домішки до

підвищення експлуатаційної стійкості спряжень, працюючих в умовах тертя та зношування, тому може бути ефективним і нанесення покриття з таким модифікуванням при відновленні та зміцненні робочих поверхонь.

Важливим було встановити вплив не тільки нанодомішок, а і мікрочастинок, природних вуглецевмісних складових, наприклад, таких як шунгіт.

Дисертант є фахівцем з утилізації боеприпасів, то ж одним з основних напрямів роботи є: проведення аналізу номенклатури боеприпасів для визначення можливості використання детонаційної шихти, яка включає нано- та мікрочастинок вуглецевмісні домішки з розробкою методу і розділення для подальшого використання при модифікуванні. Тому важливим було провести аналіз впливу природних та традиційних вуглецевмісних компонентів в порівнянні з введенням домішки детонаційної шихти на якість та властивості відновленого шару деталей з розробкою способу використання при введенні її у рідкий розчин або мастило з випробуванням у експлуатації.

Метою дослідження є підвищення експлуатаційної стійкості деталей при їх відновленні та експлуатації з використанням модифікуючих домішок, в тому числі і з вторинної сировини, отриманої від утилізації боеприпасів.

Виконано порівняльний аналіз використання різних вуглецевмісних домішок для модифікування металу при відновленні виробів наплавленням та введенням у спряження.

З огляду на той факт, що одним з модифікуючих компонентів використовуваної детонаційної шихти є наноалмазна складова, на першому етапі провели порівняльні дослідження по встановленню впливу вуглецевмісних домішок різного розміру та походження: наноалмазів (спеціального детонаційного виробництва фірми «Сінта») і природнього - шунгіту.

Модифікування дисперсними алмазами також впливає на зменшення розміру зерен, твердість, як і наноалмази, але їх вплив незначно зменшується.

Дослідженнями показані оптимальні параметри введення такої вторинної сировини. Особливу увагу приділяли способу дозованого введення модифікуючих домішок при відновлюванні наплавленням виробів для забезпечення рівномірного її розподілу та компонентів. Показано, що це може бути досягнуто одночасно дозованим введенням домішок при формуванні покриття і коригуванням температурних параметрів процесу.

Досліджували вплив такого модифікування з використанням і легованого дроту. Методом мікрорентгеноспектрального аналізу відновленого шару дротом ER-321 (легований Cr і Ni) показано, що ці компоненти розподіляються досить рівномірно (16,33-16,92% Cr і 3,97-5,99% Ni), а в перехідному шарі їх концентрація істотно знижується до 3,97-5,0% Cr і 5,82-5,99% Ni відповідно.

Розроблено обладнання, технологія і параметри зміцнення відновного шару наплавленням з використанням детонаційної шихти, яка складається з вуглецевмісних домішок.

Оптимальними параметрами наплавлення є: сила струму 160 А; напруга 20 В; зміщення дроту з zenіту - 2 мм; швидкість подачі дроту - 0,04 м/с; частота обертання деталі Ø35мм - 2 об/хв.

Використання такої технології при виконанні стендових випробувань на зношування модифікованих покриттів детонаційною шихтою, а також деталей в

сполученні в умовах ДП «Завод імені В.О. Малишева» також з її домішкою у мастильні матеріали спряжень показали підвищення стійкості в 1,54 рази і на 15% відповідно. Економічний ефект тільки від використання 10 кг деталей склав 366,21 грн.

**Ключові слова:** вторинна сировина, детонаційна шихта, наноалмази, модифікування, дисперсні домішки, наплавлення, відновлення, зносостійкість.

### АННОТАЦІЯ

**Марков А.В.** Повышение износостойкости деталей нано- и дисперсным модифицированием. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.01 - материаловедение. - Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2018.

Диссертация посвящена повышению эксплуатационной стойкости деталей при их восстановлении и эксплуатации с использованием модифицирующих добавок, в том числе и из вторичного сырья, полученного от утилизации специального состава боеприпасов.

Известно, что графит и наноалмазы используют в качестве добавки для повышения эксплуатационной стойкости сопряжений, работающих в условиях трения и изнашивания, поэтому может быть эффективным и нанесения покрытия с таким модифицированием при восстановлении и упрочнении рабочих поверхностей.

Важным было установить влияние не только нанодобавок, а и микровключений, природных углеродсодержащих составляющих, например, таких как шунгит.

Диссертант является специалистом по утилизации боеприпасов, поэтому одним из основных направлений работы являются: проведение анализа номенклатуры боеприпасов для определения возможности использования детонационной шихты, которая включает нано- и микро- углеродсодержащие добавки с разработкой метода их разделения для дальнейшего использования при модифицировании. Поэтому важным было провести анализ влияния природных и традиционных углеродсодержащих компонентов по сравнению с введением добавки детонационной шихты на качество и свойства восстановленного слоя деталей с разработкой способа использования при введении ее в жидкий раствор или масло с испытанием в эксплуатации.

Целью исследования является повышение эксплуатационной стойкости деталей при их восстановлении и эксплуатации с использованием модифицирующих добавок, в том числе и из вторичного сырья, полученного от утилизации боеприпасов.

Выполнен сравнительный анализ использования различных углеродсодержащих добавок для модификация металла при восстановлении изделий наплавкой и введением в сопряжения.

Учитывая тот факт, что одним из модифицирующих компонентов используемой детонационной шихты является наноалмазная составляющая, на первом этапе провели сравнительные исследования по установлению влияния углеродсодержащих примесей разного размера и происхождения: наноалмазов



(специального детонационного производства фирмы «Синта») и природного - шунгита.

Модифицирование дисперсными алмазами также влияет на уменьшение размера зерен, твердость, как и наноалмазы, но их влияние незначительно уменьшается.

Исследованиями показаны оптимальные параметры введения такого вторичного сырья. Особое внимание уделяли способу дозированного введения модифицирующих добавок при восстановительной наплавке изделий для обеспечения равномерного их распределения компонентов. Показано, что это может быть достигнуто одновременно дозированным введением добавок при формировании покрытия и корректировкой температурных параметров процесса.

Исследовали влияние такого модифицирования с использованием и легированной проволоки. Методом микрорентгеноспектрального анализа восстановленного слоя проволокой ER-321 (легированную Cr и Ni) показано, что эти компоненты распределяются достаточно равномерно (16,33-16,92% Cr и 3,97-5,99% Ni), а в переходном слое их концентрация существенно снижается до 3,97-5,0% Cr и 5,82-5,99% Ni соответственно.

Разработано оборудования, технология и параметры упрочнения восстановленного слоя наплавкой с использованием детонационной шихты, состоящей из углеродсодержащих примесей.

Оптимальными параметрами наплавки являются: сила тока 160 А; напряжение 20 В; смещение проволоки с зенита - 2 мм; скорость подачи проволоки - 0,04 м/с; частота вращения детали  $\varnothing 35$  мм - 2 об/мин.

Использование такой технологии при проведении стендовых испытаний на износ модифицированных покрытий детонационной шихтой, а также деталей в сопряжении в условиях ГП «Завод имени В.А. Малышева» также с её добавкой в смазочные материалы сопряжений показали повышение стойкости в 1,54 раза и на 15% соответственно. Экономический эффект только от использования 10 кг деталей составил 366,21 грн.

**Ключевые слова:** вторичное сырье, детонационная шихта, наноалмазы, модифицирование, дисперсные добавки, наплавка, восстановление, износостойкость.

## ANNOTATION

Markov A.V. Increase of wear resistance of parts by nano- and dispersive modification. As a manuscript.

The dissertation is for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.02.01 - Materials Science. - Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2018.

The dissertation is devoted to improving the operational durability of parts during their restoration and operation with the use of modifying additives, including from secondary raw materials obtained from the disposal of ammunition.

It is known that graphite and nanodiamonds are used as an additive to improve the operational resistance of couplings operating under conditions of friction and wear, so it can be effective to apply a coating with such a modification when restoring and hardening the working surfaces.

It was important to establish the influence not only of nanoadditives, but also microinclusions, of natural carbon-containing constituents, for example, such as schungite.

The dissertant is an expert in the disposal of ammunition, therefore one of the main areas of work are: analysis of the nomenclature of ammunition to determine the possibility of using a detonation charge, which includes nano- and microcarbon-containing additives, with the development of a method for their separation for further use in the modification. Therefore, it was important to analyze the influence of natural and traditional carbon-containing components in comparison with the introduction of a detonation charge additive on the quality and properties of the reduced layer of parts, with the development of a method of use when introducing it into a liquid solution or an oil with a test in operation. The aim of the study is to increase the operational durability of parts during their restoration and operation with the use of modifying additives, including from secondary raw materials obtained from the disposal of munitions.

A comparative analysis of the use of various carbon-containing additives for the modification of metal during the restoration of articles by surfacing and introduction into matings is performed.

Taking into account the fact that the nanodiamond component is one of the modifying components of the detonation charge used, at the first stage, comparative studies were carried out to determine the effect of carbon-containing impurities of different sizes and origin: nanodiamonds (special detonation production of the company "Sinta") and natural shungite.

Modification with dispersed diamonds also affects the reduction in grain size, hardness, like nanodiamonds, but their effect is slightly reduced.

Studies show the optimal parameters for the introduction of such secondary raw materials. Particular attention was paid to the method of dosing the modifying additives in the re-surfacing of products to ensure their uniform distribution of components. It is shown that this can be achieved simultaneously by dosed introduction of additives during coating formation and by adjusting the temperature parameters of the process.

The effect of such a modification on the use of alloyed wire was also investigated. Using a micro-X-ray spectral analysis of the reduced layer by wire ER-321 (doped with Cr and Ni), it was shown that these components are distributed rather evenly (16.33-16.92% Cr and 3.97-5.99% Ni), and in the transition layer the concentration is significantly reduced to 3.97-5.0% Cr and 5.82-5.99% Ni, respectively.

The equipment, technology and parameters of hardening of the recovered layer by surfacing with the use of detonation charge consisting of carbon-containing impurities are developed.

Optimum parameters of surfacing are: current strength 160 A; voltage of 20 V; displacement of wire from the zenith - 2 mm; Wire feed speed - 0,04 m / s; rotation speed of the part  $\varnothing 35\text{mm}$  - 2 rpm.

The use of such technology in conducting bench tests for the wear of modified coatings with detonation charge, as well as parts in mating in the conditions of Malyshev Plant also with its additive in the lubricants of conjugations showed an increase in resistance by 1.54 times and by 15%, respectively. The economic effect only from the use of 10 kg of parts amounted to 366.21 UAH.

**Key words:** secondary raw materials, detonation charge, nanodiamonds, modification, dispersed additives, surfactant, restoration, wear resistance.

Підписано до друку: 24.09.2018 р.  
Формат 60x84 1/16. Гарнітура Times New Roman.  
Папір офсетний. Цифровий друк.  
Обсяг 0,9 авт. арк. Зам. №                      Тираж 120 прим.

---

Видавництво ТОВ «ТИПОГРАФИЯ МАДРИД»  
61024, м. Харків, вул. Ольминського, 11  
Тел.: (057) 756-53-25  
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності:  
Серія ДК, № 4399 от 27.08.12 г.  
www.madrid.in.ua    e-mail: [info@madrid.in.ua](mailto:info@madrid.in.ua)

