

С.О. ЛУЗАН, В.А. БАНТКОВСЬКИЙ, І.Ф. КЛИМЕНКО, Л.О. БІЛОУС

ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДЕТАЛЕЙ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ КОПОЗИЦІЙНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ПІД ЧАС ЇХ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОГО РЕМОНТУ

У даній роботі представлені результати досліджень по розробці модифікуючого композиційного матеріалу для керування властивостями відновлювальних покриттів на основі порошкового матеріалу ПГ-10Н-01, який серійно випускається. Показано, що розроблений композиційний матеріал, отриманий із застосуванням СВС-процесу з порошкової суміші компонентів Ti, C, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Al, ПТ-НА-01, забезпечує більш високу (в 1,5-1,6 рази) абразивну стійкість наплавленого покриття сплавом ПГ-10Н-01 при модифікуванні його композиційним матеріалом у кількості 10-20%.

Ключові слова: композиційний матеріал, борид, СВС-процес, наплавлення, трибологічні властивості, зносостійкість

S. LUZAN, V. BANTKOVSKIY, I. KLYMENKO, L. BILOUS

INCREASING THE RESOURCE OF VEHICLE PARTS BY COMPOSITE MATERIALS DURING THEIR RESTORATION REPAIR

To restore machine parts used quite a large range of materials in the form of wire, powders, flexible cords, etc. However, it is not always possible to provide the required resource for the restoration of parts working in abrasive and corrosive environments. One of the modern directions of increasing the wear resistance and other properties of reducing coatings is the use of composite materials. This paper presents the results of research on the development of a composite modifying material to control the properties of reducing coatings based on commercially available powder material PG-10N-01. It is shown that the developed composite material obtained using the SHS process from a powder mixture of Ti+C+SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃+Al+PT-NA-01 provides a higher (1.65 times) abrasive resistance of the deposited alloy coating PG-10N-01 when modifying its composite material in the amount of 20%.

Keywords: composite material, boride, SVS-process, overlaying welding, tribological properties, wear resistance

Вступ. Основними причинами відмов машин є знос (до 60 % відмов) і механічні пошкодження деталей (близько 20 %). Велика частина (до 70 %) зношених деталей – це деталі з перетином циліндричної форми (вали, осі). До 80 % зношених деталей вибраковується при зносі до 0,6 мм, причому більшість з них – при зносі до 0,3 мм.

Експлуатаційні властивості деталей – зносостійкість, корозійна стійкість, стійкість до втоми та ін. – залежать від якості поверхневого шару. Поверхневий шар характеризується макро- і мікрогеометричними параметрами і фізико-механічними властивостями. До геометричних параметрів відносять шорсткість, хвилястість, відхилення від заданої геометричної форми. Набір фізико-хімічних параметрів включає структуру, фазовий склад, хімічний склад, механічні властивості, деформацію (наклеп), залишкові напруження.

Найбільш поширеним способом відновлення зношених деталей машин є дугове наплавлення. Для відновлення деталей машин промисловістю випускається досить велика номенклатура матеріалів у вигляді дроту, порошоків, гнучких шнурів і т.д. Однак не завжди вдається забезпечити необхідний ресурс при відновленні деталей, що працюють в абразивному і корозійному середовищах. Тому залишається актуальним створення нових більш стійких матеріалів. Одним з напрямків є розробка модифікуючих композиційних матеріалів (МКМ) для керування властивостями відновлювальних покриттів на основі матеріалів, які випускаються серійно.

Аналіз останніх досягнень і публікацій.

В монографії [1] на основі аналізу впливу ряду факторів: навантаження, частоти обертання, ступеня забруднення мастильного середовища, конструктивних особливостей вузлів,

сполучень на інтенсивність зношування та динаміку накопичення втомних пошкоджень, а також з урахуванням накопиченого досвіду підвищення працездатності деталей та вузлів на Харківському тракторному заводі була визначена номенклатура деталей шасі колісних тракторів типу Т-150К які вимагають підвищення довговічності. Номенклатура містить 36 деталей. Переважаючі види пошкоджень: знос – 33 деталі, питтинг зубів – 2 деталі, спікання втулки з валом – 1 деталь. Якщо проаналізувати вибрані можливі шляхи підвищення довговічності, то на частку зміцнюючих технологій припадає 9 деталей (плазмове напилення – 3 дет., хіміко-термічне зміцнення – 3 дет., лазерне зміцнення – 3 дет.), що становить понад 27%, а серед них плазмове напилення і лазерне зміцнення займають обсяг 67%.

Ресурс більшості машин залежить від відносно невеликої кількості деталей. Це дозволяє планувати обсяги їх відновлення, розробляти, випускати і впроваджувати спеціальне обладнання, створювати і розвивати спеціалізовані виробництва, нарощувати обсяги і розширювати номенклатуру відновлення зношених деталей [2].

Агрегати і вузли автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин являють собою сукупність безлічі деталей типу вал, втулка, важіль, корпус, шестерня, що піддаються в процесі експлуатації дії різного роду навантажень і середовищ, що призводять до незворотних процесів, зносу їх робочих поверхонь.

При обробці статистичних даних по відмовам деталей автомобілів встановлено наступний їх розподіл: знос – 53,6%; руйнування (тріщини, поломка, обрив частини деталі) – 18,9%; деформація (розтягування, скручування, вигин) – 10,4%, інші види дефектів – 17,3%.

Необхідно відмітити, що абразивне зношування превалює над усіма іншими: близько 40% деталей мають чисто абразивне зношування і 53,6% – абразивне зношування в комбінації з іншими видами зношування й руйнувань поверхневого шару [3-5].

Мета та постановка задачі. Метою даної роботи є розробка пропозицій щодо підвищення ресурсу деталей машин під час їх відновлювального ремонту шляхом дугового наплавлення покриттів, модифікованих композиційним матеріалом.

Результати досліджень і їх обговорення. Порівняльну оцінку зносостійкості відновленої поверхні дуговим наплавленням проводили по середній швидкості зношування відновлювального покриття і сталі 45, термообробленої до твердості HRC 50.

Для визначення середньої швидкості зношування відновлювального покриття були виконані дослідницькі роботи з визначення величини зносу від напрацювання сполучення. Порівняльні випробування на зношування відновлювальних покриттів проводили на машині тертя типу МІ за схемою "диск-колодка" в середовищі індустріальної оливи марки І-20 при наступних режимах: середня окружна швидкість ковзання 0,42 м/с, питомий тиск на колодку при нормальному механохімічному процесі зношування становило 8,0 МПа, площа поверхні тертя 1,8 см². Диски і колодки виготовляли зі сталі 45, покриття наносили на диск, колодки піддавалися термообробці (гарт і відпуск) до твердості HRC 50. Величину лінійного зносу (L_3) оцінювали за формулою

$$L_3 = \frac{\Delta G}{\gamma \cdot F} \quad (1)$$

де ΔG – зміна маси зразка при випробуванні, кг; γ – щільність зношеного матеріалу, кг/м³; F – площа контакту зразків, м².

Для дослідження динаміки зношування відновлювальних покриттів обрано один із найбільш застосовуваних для відновлення деталей зносостійкий порошок марки ПГ-10Н-01 на основі нікелю ТУ У 322-19-004-96, що виготовляється ВАТ «Торезтвердосплав».

Як показали результати досліджень, експериментальні криві в початковий період випробувань мають нелінійний характер і при досягненні напрацювання $t \sim 2,5$ години наближаються до лінійної залежності. За цей час відбувається опрацювання зразків і забезпечується контакт по всій поверхні тертя, після чого настає процес нормального механохімічного зношування. Тривалість випробувань 10 годин обрана з урахуванням забезпечення отримання достовірних та відтворюваних результатів.

В результаті апроксимації експериментальних кривих встановлено залежності величини зносу (L_3) поверхні циліндричної деталі від тривалості напрацювання (t), (рис. 1):

$$L_{31} = 3,3 \cdot t + 8,77 \quad (2)$$

де L_{31} – величина зносу сталі 45 HRC 50, мкм; t – напрацювання, год

$$L_{32} = 1,18 \cdot t + 0,46 \quad (3)$$

де L_{32} – величина зносу покриття ПГ-10Н-01, мкм; t – напрацювання, год

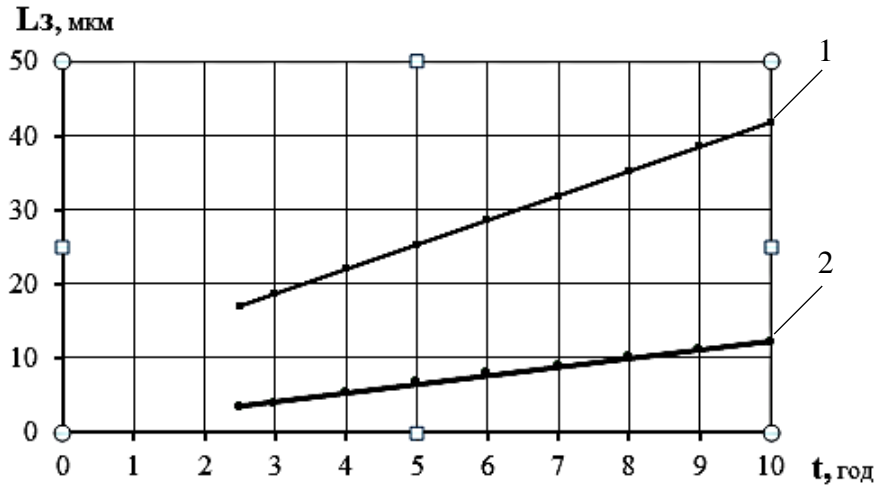


Рис. 1 – Залежність величини зносу від напрацювання:
1 – сталі 45 HRC 50; 2 – покриття ПГ-10Н-01

Збільшити ресурс при ремонті деталей можливо шляхом формування відновлювальних зносостійких шарів на робочих поверхнях деталей, у яких швидкість зношування не перевищує таку, при якій величина зносу досягає граничного стану при заданому напрацюванні [6].

Для визначення швидкостей зношування (V) необхідно продиференціювати рівняння (2) і (3) [7]. Таким чином, швидкість зношування відновлювальних покриттів в процесі нормального механохімічного зношування становить: ПГ-10Н-01 – 1,18 мкм/год, а сталі 45 HRC 50 – 3,3 мкм/год., іншими словами зносостійкість відновлювального покриття ПГ-10Н-01 в 2,8 разів вище, ніж сталі 45 HRC 50. Однак, використовуючи їх для деталей машин, що контактують з абразивним, навколишнім агресивним та технологічними середовищами і піддаються абразивному зношуванню, а також корозійному пошкодженню, не вдається забезпечити необхідне підвищення ресурсу при відновлювальному ремонті. [8]. Тому значний прогрес щодо підвищення зносостійкості покриттів пов'язаний з використанням при дуговому наплавленні композиційних матеріалів (КМ). Найбільш перспективними КМ є дисперсно-зміцнені. Структура їх являє собою матрицю з металу або сплаву, в обсязі якої рівномірно розподілена зміцнююча фаза. В якості цієї фази доцільно застосовувати термодинамічні стабільні сполуки – оксиди, карбіди, бориди та інтерметаліди.

Одним з ефективних шляхів створення таких МКМ є застосування технології саморозповсюдженого високотемпературного синтезу (СВС). Найбільш застосовуваними є склади МКМ на основі титану. Це пояснюється високим екзотермічним ефектом реакції синтезу карбіду титану з елементів, що забезпечує широкий вибір матеріалу зв'язки [9,10].

В якості вихідних матеріалів для отримання МКМ використовували порошки титану марки ВТ1-0, вуглецю марки ПМ-15 і оксиди алюмінію і кремнію. Необхідно відзначити, що в якості оксидів використовувалася глина мелена вогнетривка по ТУ У 08.1-35007607-005:2012, що містить 55% – SiO_2 , 31,5% – Al_2O_3 . Крім того, для збільшення теплового ефекту в процесі синтезу карбіду і дибориду титану в механічну суміш вводиться терморегулюючий порошок алюмініда нікелю ПТ-НА-01, алюмінієва пудра (порошок) ПАП-1 ГОСТ 5494-95 і оксид заліза Fe_2O_3 .

Обрані компоненти змішувалися, і отримана порошкова суміш піддавалася механічній активації. Вибір цього способу впливу на матеріали обумовлений необхідністю створення

композитів, в мікроб'ємах яких повинна відбуватися реакція СВС. Для отримання механоактивованих порошкових сумішей застосовувався метод механічної активації в кульових млинах протягом 15 хвилин. СВС-процес отримання МКМ здійснювали на циліндричних зразках в умовах фронтального підпалювання реагуючого складу, яке здійснювалося електричною дугою (рис. 2, а).

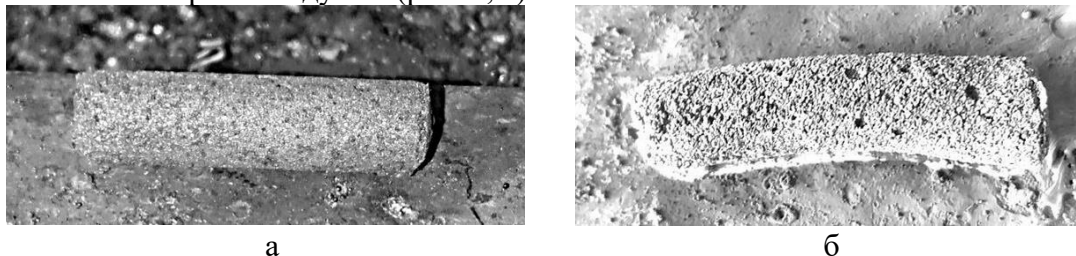


Рис. 2 – Модифікуючий композиційний матеріал з компонентів Ti, C, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Al, ПТ-НА-01: а – механоактивації; б – після СВС-процесу

Після отримання МКМ у вигляді спіка (рис. 2, б), морфологія якого свідчить про його складний склад, провели його дроблення, додали матричний матеріал ПГ-10Н-01 у кількості 80% і здійснили вібраційну обробку в циліндричному контейнері об'ємом – $0,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$, діаметр куль – 4,5 мм, амплітуда коливань – 2 мм, частота – 4000 хв^{-1} , час обробки – 2 хв.

Результати дослідження мікротвердості наплавлених покриттів з КМ складу (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01), показали, що в наплавленому шарі присутні тверді включення. Так мікротвердість покриття з КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01), отриманого дуговим наплавленням на сталеву основу (сталь 20), перевищує мікротвердість наплавленого покриття ПГ-10Н-01 рівну 520 HV і становить 860 HV, твердість по Роквеллу становить 34 і 47 HRC відповідно.

Дослідження мікроструктури наплавленого покриття порошком ПГ-10Н-01 показали, що зразки, напавлені без МКМ на відміну від зразків, напавлених з МКМ, характеризуються розвинутою дендритною структурою, що спричинено малими швидкостями охолодження (рис. 3, а).

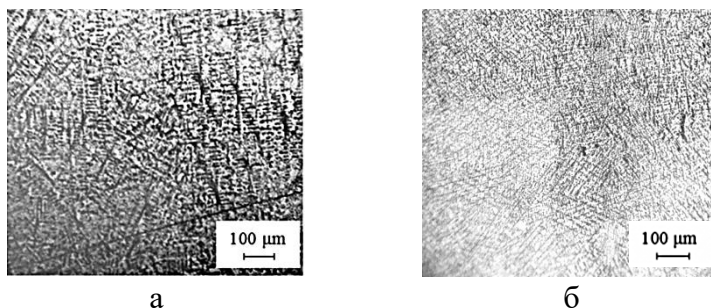


Рис. 3. – Мікроструктура наплавлених покриттів:
а – ПГ-10Н-01; б – 20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01

У наплавлених покриттів з КМ отримана дрібнозерниста мікроструктура, що пояснюється рівномірним розподілом зміцнюючих частинок у матричному матеріалі та свідчить про сприятливий термічний цикл при кристалізації наплавленого металу (рис. 3, б).

В результаті дослідження встановлено, що розподіл зміцнюючих частинок досить рівномірний, відсутні зони із суттєвою зміною концентрації зміцнюючих частинок. У зоні сплавлення досліджуваних зразків значних змін концентрації зміцнюючих частинок не спостерігається. Ці зони характеризуються рівномірно розподіленими зміцнюючими частинками (рис. 4, а, б).

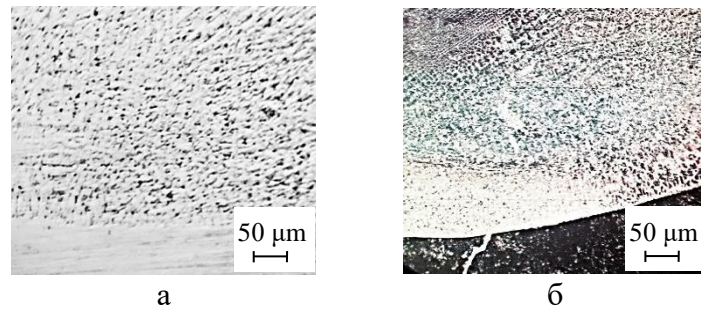
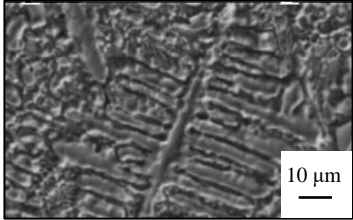
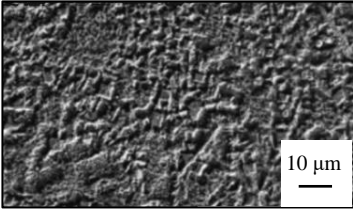
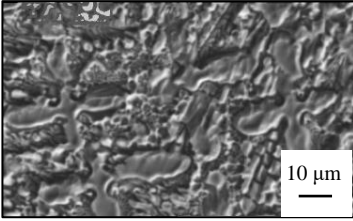


Рис. 4. – Мікроструктура наплавлених покриттів КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01): а – не травлений зразок; б – травлений зразок

Визначення фазового складу наплавлених шарів здійснювалося із застосуванням дифрактометра ДРОН-3, і перелік виявлених фаз наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фазовий склад та мікроструктура наплавлених покриттів

Наплавлене покриття	Фаза	Зображення мікроструктур зразків наплавлених покриттів
Сплав ПГ-10Н-01	Ni, Ni ₃ B, CrB	
КМ (10% МКМ + 90% ПГ-10Н-01)	Ni, Ni ₃ B, Ti ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	
КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01)	Ni, Ni ₃ B, TiB ₂ , Al ₂ O ₃ , SiO ₂	

Основною фазою для всіх видів наплавлених покриттів є фаза (Ni), яка є основою матеріалу ПГ-10Н-01. Другою фазою є карбідна фаза Ni₃B, яка також присутня як у наплавленому покритті сплавом ПГ-10Н-01, так і покриттях, наплавлених композиційними матеріалами (табл. 1). Третя фаза це борид хрому CrB у невеликій кількості у покритті сплавом ПГ-10Н-01, оксиди Ti₂O₃, Al₂O₃, SiO₂ та борид титану TiB₂.

Вплив МКМ на структурні зміни проявляється у наступному. По-перше, практично повністю зникла дендритна структура (рис. 3, б; табл. 1), що саме по собі є фактором, що позитивно впливає на показники зносостійкості наплавлених покриттів. По-друге, введення КМ, що містить оксиди алюмінію Al₂O₃ та кремнію SiO₂ призводить до помітного подрібнення структурних складових, що також є позитивним фактором, що впливає на показники зносостійкості.

На рис. 5 представлені результати зносних випробувань покриттів ПГ-10Н-01 і КМ на машині тертя типу МІ за схемою диск-колодка в середовищі індустриальної оливи з питомим навантаженням 8 МПа.

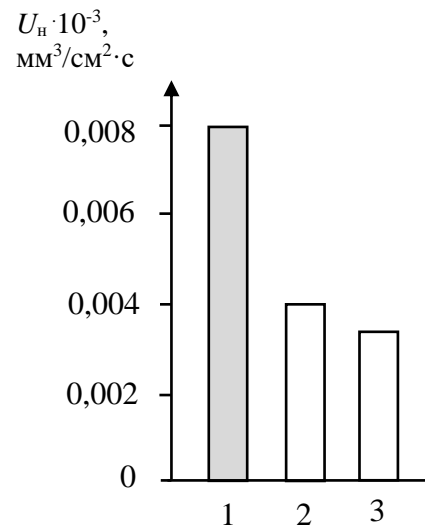


Рис. 5. – Зносостійкість наплавлених дуговим методом матеріалів в процесі нормального тертя: 1 – сплав ПГ-10Н-01; 2 – КМ (10% КМ + 90% ПГ-10Н-01); 3 – КМ (20% КМ + 80% ПГ-10Н-01)

Результати випробувань свідчать про більш високу зносостійкість пропонованого КМ, яка перевищує зносостійкість самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01 в 2 рази для КМ (10% МКМ + 90% ПГ-10Н-01) і в 2,2 рази для КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01).

Стійкість досліджуваних матеріалів оцінювалася також за результатами випробувань на тертя о закріплені частинки по ДСТУ 17367. Сплав ПГ-10Н-01 приймався в якості контрольного матеріалу, його зносостійкість була прийнята за одиницю. Отримані результати представлені на рис. 6.

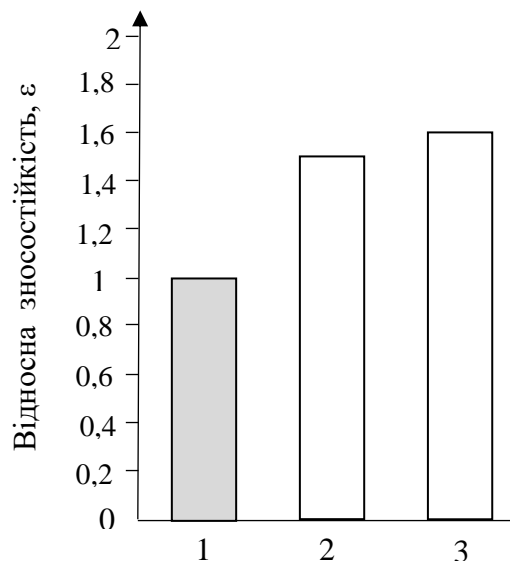


Рис. 6. – Відносна зносостійкість наплавлених дуговим методом матеріалів в умовах впливу закріплених частинок абразиву: 1 – сплав ПГ-10Н-01; 2 – КМ (10% МКМ + 90% ПГ-10Н-01); 3 – КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01)

Як свідчать результати досліджень (табл. 1) наявність в наплавленому покритті КМ дибориду титану (TiB_2), бориду нікелю (Ni_3B) і оксидів Ti_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 призводить до зниження інтенсивності зношування. Таким чином, абразивна зносостійкість КМ (10% МКМ + 90% ПГ-10Н-01) в 1,5 разів, КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01) в 1,6 разів перевищує показник для самофлюсуючого сплаву ПГ-10Н-01.

Морфологія поверхонь тертя також добре узгоджується з результатами випробувань на тертя о закріплені частинки абразиву наплавлених покриттів ПГ-10Н-01 і КМ (рис. 7).

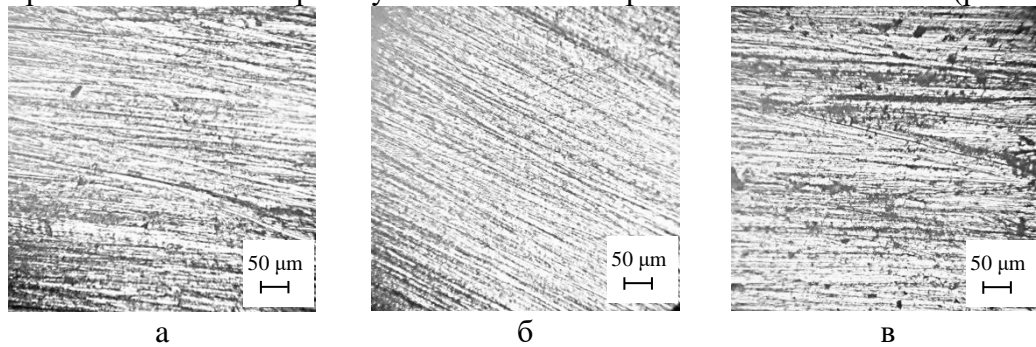


Рис. 7. – Морфологія поверхонь тертя при зношуванні о закріплені частинки абразиву наплавлених матеріалів: а – ПГ-10Н-01, б – КМ (10% МКМ + 90% ПГ-10Н-01), в – КМ (20% МКМ + 80% ПГ-10Н-01)

При зношуванні в умовах впливу закріплених частинок абразиву виявлені досить глибокі паралельні канавки на покритті зі сплаву ПГ-10Н-01 (рис. 7, а) Рельєф поверхні зношування має нерівномірний характер. На поверхні наплавлених покриттів з КМ спостерігаються неглибокі, дрібні і рівномірно розташовані подряпини від тертя (рис. 7 б, в), це пояснюється введенням МКМ, який сприяє утворенню нових центрів кристалізації при наплавленні і в результаті призводить до подрібнення структури.

Висновки.

1. Розроблено КМ, одержуваний із застосуванням СВС-процесу з порошкової суміші компонентів Ti, C, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, Al, ПТ-НА-01, який забезпечує більш високу (в 1,5-1,6 рази) абразивну стійкість наплавленого покриття сплавом ПГ-10Н-01 при модифікуванні його МКМ в кількості 10-20%.

2. Застосування розробленого МКМ для модифікування наплавленого покриття на основі сплаву ПГ-10Н-01 дуговим методом при відновлювальному ремонті забезпечить підвищення ресурсу деталей машин, що працюють в абразивному середовищі.

Список літератури:

1. Кухтов В. Г. Долговечность деталей шасси колёсных тракторов. Харьков: ХНАДУ. 2004. 292 с.
2. Лузан С.А. Критерии выбора способа восстановления деталей машин и определение рационального маршрута технологии. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків: 2017. Вип. 183. С. 45-56.
3. Лузан С.О. Комплексна оцінка номенклатури деталей, які визначають ресурс мобільної техніки та її безпеку. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків: 2014. Вип. 148. С. 478-485.
4. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення. *Монографія*. Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф.. 2016. 304с.
5. Аулін В.В., Гриньків А.В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів. *Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів"*. №5. Харків: ХНТУСГ. 2016. С. 109-116.
6. Лузан С.А. Повышение ресурса деталей шасси колесных тракторов во время их восстановительного ремонта. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: *Автомобіле- та тракторобудування*. Харків: НТУ «ХПІ». 2015. № 9(1118). С. 17-22.
7. Лузан С.О. Нормування швидкості зношування і методика визначення товщини відновлювального покриття деталей засобів транспорту. *Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. – Харків: ХНТУСГ, 2013. – Вип. 139. – С. 51-57.
8. Luzan, S.O., Luzan, A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited Materials of the Ni–Cr–B–Si System with Inclusions of Dispersed Phases (2020) *Materials Science*, 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x.

9. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. The wear resistance increasing of the deposited coatings of the Ni-Cr-B-Si system by modifying them with composite materials synthesized using the SHS process (Self-propagating high-temperature synthesis) (2019) *Welding International*, 33(7-9), pp.249-254. DOI: 10.1080/09507116.2020.1863063.
10. S. O. Luzan, V. A. Bantkovskiy, and A. S. Luzan, Tribological Properties of Composite Coating Ni-Cr-B-Si-Boron-Containing Dispersed Phases Obtained by Arc Surfacing, at Abrasive Action and Sliding Friction, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 44, No. 4: 531–547 (2022) (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.04.0531.

References (transliterated):

1. Kukhtov V. G. *Dolgovechnost' detaley shassi kolesnykh traktorov*. Khar'kov: KhNADU. 2004. 292 s.
2. Luzan S.A. Kriterii vybora sposoba vosstanovleniya detaley mashin i opredelenie ratsional'nogo marshruta tekhnologii. *Visnik KhNTUSG im. P. Vasilenka*. Kharkiv: 2017. Vip. 183. S. 45-56.
3. Luzan S.O. Kompleksna otsinka nomenklatury detaley, yaki viznachayut' resurs mobil'noï tekhniki ta ii bezpeku. *Visnik KhNTUSG im. P. Vasilenka*. Kharkiv: 2014. Vip. 148. S. 478-485.
4. Aulin V.V., Lisenko S.V., Kuzik O.V., Grin'kiv A.V., Golub D.V. Tribofizichni osnovi pidvishchennya nadiynosti mobil'noï sil'skogospodars'koï ta avtotransportnoï tekhniki tekhnologiyami tribotekhnichnogo vidnovlennya. *Monografiya. Kropivnits'kiy: vidavets' Lisenko V.F.*. 2016. 304s.
5. Aulin V.V., Grin'kiv A.V. Metodika viboru diagnostichnikh parametriv tekhnichnogo stanu transportnikh zasobiv na osnovi teorii sensitiviv. *Naukoviy zhurnal "Tekhnichnyi servis agropromislovogo, lisovogo ta transportnogo kompleksiv"*. №5. Kharkiv: KhNTUSG. 2016. S. 109-116.
6. Luzan S.A. Povyshenie resursa detaley shassi kolesnykh traktorov vo vremena ikh vosstanovitel'nogo remonta. *Visnik Natsional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI»*. Zbirnik naukovikh prats'. Tematichnyi vipusk: Avtomobile- ta traktorobuduvannya. Kharkiv: NTU «KhPI». 2015. № 9(1118). S. 17-22.
7. Luzan S.O. Normuvannya shvidkosti znoshuvannya i metodika viznachennya tovshchini vidnovlyval'nogo pokrittya detaley zasobiv transportu. Problemi nadiynosti mashin ta zasobiv mekhanizatsii sil'skogospodars'kogo virobnitstva: *Visnik Kharkiv's'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva im. Petra Vasilenka*. – Kharkiv: KhNTUSG, 2013. – Vip. 139. – S. 51-57.
8. Luzan, S.O., Luzan, A.S. Microstructure and Abrasive Wear Resistance of Deposited Materials of the Ni-Cr-B-Si System with Inclusions of Dispersed Phases (2020) *Materials Science*, 56 (3), pp. 381-388. DOI: 10.1007/s11003-020-00441-x.
9. Luzan, S.A., Sidashenko, A.I., Luzan, A.S. The wear resistance increasing of the deposited coatings of the Ni-Cr-B-Si system by modifying them with composite materials synthesized using the SHS process (Self-propagating high-temperature synthesis) (2019) *Welding International*, 33(7-9), pp.249-254. DOI: 10.1080/09507116.2020.1863063.
10. S. O. Luzan, V. A. Bantkovskiy, and A. S. Luzan, Tribological Properties of Composite Coating Ni-Cr-B-Si-Boron-Containing Dispersed Phases Obtained by Arc Surfacing, at Abrasive Action and Sliding Friction, *Metallofiz. Noveishie Tekhnol.*, 44, No. 4: 531–547 (2022) (in Ukrainian). DOI: 10.15407/mfint.44.04.0531.

Надійшла (received) 04.12.2022 р.

Відомості про авторів / About the Authors

Лужан Сергій Олександрович (Luzan Sergii) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри зварювання, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4808-0017>; e-mail: khadi.luzan@gmail.com

Бантківський Вячеслав Анатолійович (Bantkovskiy Vyacheslav) – доцент, Державний біотехнологічний університет, доцент кафедри «Технологічні системи ремонтного виробництва та технологія матеріалів», м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0275-4848>; e-mail: bantkovskiy@ukr.net

Кліменко Ілля Федорович (Klymenko Ilya) – магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра зварювання; e-mail: ilia.volkow@gmail.com.

Білоус Леонід Олександрович (Bilous Leonid) – магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кафедра технологія машинобудування та металорізальні верстати; e-mail: mooder.trool@gmail.com.