

## **ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ, КОРМОЗБИРАЛЬНИХ І ПОСІВНИХ МАШИН**

***М.І. Денисенко, кандидат технічних наук  
А.С. Опальчук, доктор технічних наук***

*У статті розглянуто перспективні конструкційні матеріали та технології для зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин. Запропоновано новий метод зміцнення робочих органів, що забезпечує значне підвищення їх зносостійкості.*

***Леміш плугу, лапа культиватора, абразивне зношування, композиційні порошкові матеріали, шарова структура.***

**Постановка проблеми.** Якість сільськогосподарських машин і знарядь визначається їх експлуатаційною надійністю і довговічністю. Проблема довговічності і надійності сільськогосподарських машин та тракторів тепер є однією з першорядних проблем у боротьбі за підвищення продуктивності машин і зниження собівартості одержуваної продукції. Сезонність сільськогосподарських робіт ставить особливі вимоги до надійності машин при їх експлуатації. Техніко-економічні показники багатьох сільськогосподарських машин все ще залишаються дуже низькими із-за малих термінів служби їх робочих органів та вимушених простоїв при періодичних замінах останніх, що вимагає значних витрат коштів на і запасні частини.

В першу чергу це стосується ґрунтообробних машин і знарядь, робочі органи яких працюють у важких польових умовах, при значних навантаженнях, вібраціях, ударах, перекосах. Швидке спрацювання лез лемішів і лап культиваторів призводить до зниження продуктивності агрегатів та якості виконуваних робіт і, зрештою, до підвищення собівартості сільськогосподарської продукції. У посушливих південних районах України леміші плугів і лапи культиваторів доводиться ремонтувати або замінювати щозміни [1]. Треба також відмітити, що різання ґрунту є найбільш розповсюдженою операцією у сільськогосподарському виробництві: оранка, культивація, боронування, збирання зернових і технічних культур, що складає не менш, як 70% всього об'єму механізованих робіт.

**Аналіз останніх досліджень.** При взаємодії з ґрунтом робочі органи ґрунтообробних і садильних машин зазнають інтенсивного абразивного зношування. Від технічного стану леза робочого органу сільськогосподарської машини залежать такі показники роботи, як

ступінь підрізання бур'янів, стійкість ходу робочих органів за глибиною, середня глибина культивуації, опір руху.

Крім того, робочі органи сільськогосподарських машин експлуатуються в умовах хімічно абразивного середовища, що зв'язано з додаванням в ґрунт різноманітних добрив та наявності в нього вологи. У сукупності ці фактори чинять настільки сильний вплив на робочі органи сільськогосподарських машин, що робить їх непридатними до експлуатації, практично через декілька годин інтенсивної роботи. Так, наприклад, до впровадження нових методів зміцнення, граничне затуплення ріжучих пар стригальних машинок нерідко відбувається через 1,5–2,0 години безперервної роботи, сегментів косарок 4–6 годин, лап культиваторів через 6–8 годин, після чого в польових умовах необхідно було загострювати леза [2]. Отже, завдання полягає в тому, щоб значно підвищити довговічність робочих органів ґрунтообробних та інших сільськогосподарських машин. У зв'язку з цим, підвищення зносостійкості робочих органів вітчизняного виробництва є актуальною проблемою для виробників і споживачів, тому що ресурс роботи більшості елементів сільськогосподарської техніки нижче закордонних аналогів у 1,5–2,0 рази.

Процеси зношування металів при взаємодії з абразивними середовищами є предметом дослідження багатьох авторів і творчих колективів як у нашій країні, так і за кордоном. Ряд дослідників [3,4,5] вважають, що механізм абразивного зношування є простим, і полягає в нанесенні на поверхню тертя великої кількості мілких подряпин. І.В. Крагельський розрізняє три види зношування: при пружному контакті, пластичному відтисненні та мікрорізанні [6]. П.Н. Львов [7] вважає, що зношування абразивними частками відбувається за рахунок пластичних деформацій поверхневих шарів металу. При цьому відмічає, що поверхневий шар, видавлений у валики по краям подряпини, перетворюється у крихкий стан.

Б.І. Костецький стверджує, що за малої різниці твердості металу і абразиву, зношування поверхонь (тертя по ґрунту), можливе за рахунок утворення і руйнування оксидних плівок, але і в цьому випадку ведучим процесом є пластична деформація. В нормальних умовах експлуатації зношування ріжучих елементів ґрунтообробних машин відбувається шляхом пластичної деформації, активізації поверхневого шару металу і взаємодії його з активними компонентами середовища, утворення вторинних послаблених структур та їх руйнування [8, 9]. Методи підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин, що використовуються при їх виготовленні можливо розділити на наступні основні групи: зміна хімічного стану і властивостей матеріалу; термічна обробка, поверхнєве хіміко-термічне зміцнення; наплавлення твердими сплавами.

Створено спеціалізовані підприємства, багато фірм, котрі займаються випуском тільки робочих органів.

В якості прикладів наведемо фірми La Pina, Bellota (Іспанія), Fordes de Niawx (Франція), Land (США). Машинобудівні заводи Німеччини виготовляють близько 30 типів лемішів для задоволення фермерів, які експлуатують плуги в різних кліматичних зонах. На леміші оборотних плугів Rabe, Німеччина наноситься твердосплавне покриття (Plasmabid), що суттєво збільшує терміни їх експлуатації.

Компанія Bellota (Іспанія) не тільки являється основним виробником дисків борін з боромісткої сталі. Тут застосовуються найсуворіший контроль якості, котрий гарантує повну однорідність дисків, що забезпечує якісне виконання польових робіт. Твердість поверхонь тертя забезпечує пружність і міцність, необхідні для поглинання ударів без пошкодження диска, і стійкість перед найбільш абразивними ґрунтами. Підприємство «Велес-Агро-ЛТД» є одним з перших виготовлювачів на території країн СНД, котре освоїло виготовлення запасних частин з використанням легованої сталі. Виготовлені за даною технологією деталі ґрунтообробних машин (леміші, лапи, диски) з твердістю поверхні до 50 одиниць дозволяє збільшити ресурс роботи деталей втричі у порівнянні з деталями, що виготовляються зі сталі 65Г.

Так одним з способів досягнення високої зносостійкості є застосування твердих сплавів. Тверді сплави все частіше використовуються у якості конструкційного матеріалу спрацьованих деталей вузлів тертя і ріжучого інструмента. Вони складаються з карбідів і зв'язуючої фази та виготовляються методами порошкової металургії. Наявність в наплавленому шарі карбідів тугоплавких металів (TiC, NbC, VC, WC, MoC) підвищує твердість і зносостійкість метала, що у свою чергу збільшує термін служби роботи робочих органів сільгосптехніки. Наприклад, карбід титана володіє найбільш високою температурою плавлення, а також твердістю з всіх широко застосованих для легованих карбідів тугоплавких металів. Крім того, структура наплавленого метала при комплексному засобі легування готовим з'єднанням карбиду титана, забезпечує високу зносостійкість і твердість сплаву, що дає можливість багатократного збільшення терміну служби виробів.

У зв'язку з цим, одним з головних завдань по створенню нових зварювальних матеріалів для дугового наплавлення, яка володіє високими фізико-механічними і технологічними властивостями є розробка спеціальних порошкових матеріалів (у тому числі і порошкових електродів), а також економічних і екологічно чистих технологій їх отримання.

В процесі відновлення зношених деталей число виробничих операцій скорочується в 5–8 разів у зрівнянні з виготовленням нових деталей. При цьому довговічність виготовлених деталей може досягати рівня нових, а собівартість їх складає 40–70% від вартості нових деталей.

**Мета досліджень.** Розробка конструкцій ріжучих елементів робочих органів сільськогосподарських машин, матеріали і технології їх зміцнення та виготовлення зносостійких деталей робочих органів ґрунтообробних, кормозбиральних і садильних машин.

**Результати досліджень.** Технологічні методи зміцнення поверхневих шарів деталей машин, забезпечуючи зміну їх механічних і фізико-хімічних властивостей, відіграють важливу роль у підвищенні зносостійкості і довговічності деталей машин. Використання різних методів зміцнення у поєднанні з конструктивними засобами дозволяє створити при роботі пар тертя такі умови, за яких утворюється явище структурного пристосування матеріалів при терті, що обумовлює динамічну рівновагу і саморегулювання процесів активації і пасивації поверхневих шарів [10].

Оптимізація цих процесів, в результаті використання різних методів зміцнення, дозволяє досягти оптимального співвідношення між інтенсивністю утворення і руйнування вторинних структур (різного роду оксидних плівок), і в широкому діапазоні умов роботи пар тертя, усунути перешкоди, що визивають гальмування цих процесів [11]. Дослідження мікроструктури поверхневих шарів вторинних структур, які утворюються в процесі тертя конструкційних матеріалів показало, що для кожного виду зміцнення характерно розвиток процесів тертя, що суттєво відрізняються одне від одного. Підвищення зносостійкості в результаті використання методів зміцнення досягається в результаті збільшення твердості та зниження пластичності поверхнього шару, а в деяких випадках – за рахунок зміни фазового і хімічного складу цього шару.

Створення захисних структур на робочих поверхнях деталей машин і механізмів дає змогу підвищити їх надійність і довговічність, продуктивність праці, зменшити витрату чорних і кольорових металів, і як результат-заощадити величезні матеріальні, енергетичні й трудові ресурси. Упровадженню у виробництво технологічних методів, що забезпечують одержання зносостійких структур, передують моделювання роботи вузлів тертя, установлення впливу зовнішніх чинників на його працездатність, вивчення процесів, які розвиваються на поверхнях тертя, зміцнених досліджуваними покриттями.

Нанесення покриттів забезпечує міцність ріжучої кромки леза робочого органу, ефективно виведення тепла із зони різання, демпфірування та зменшення вібраційних явищ, причому карбідні покрит-

тя мають більшу ефективність, ніж нітриди. Одним із ефективних методів досягнення високої зносостійкості є використання твердих сплавів, наприклад карбідів тугоплавких металів. Крім того, зносостійкість наплавочних матеріалів суттєво залежить від типу і кількості карбідної фази у сплавах. Частіше всього зміцнюючі фаза повинна мати такі карбіди:  $\text{Fe}_3\text{C}$ ;  $\text{Mn}_3\text{C}$ ;  $\text{Cr}_7\text{C}$ ;  $\text{W}_2\text{C}$ ;  $\text{WC}$ ;  $\text{VC}$ ;  $\text{TiC}$ ;  $\text{B}_4\text{C}$ ;  $\text{Mo}_2\text{C}$ , та інші, а також карбоборіди, нітриди заліза і легуючі елементи. В теперішній час, у вузлах тертя машин використовують металеві, неметалеві і композиційні матеріали, монолітні і поруваті, що мають гомогенну, так і гетерогенну структуру. Ці матеріали отримують методами литва, порошкової металургії, наплавлення, напилювання. В матеріалах, отриманих методами порошкової металургії, міцність досягається як за рахунок гетерогенності структури, так і шляхом отримання оптимальної поруватості.

Методи порошкової металургії дозволяють синтезувати матеріали, різними за складом, структурою, функціональними властивостями і економічністю, що відкриває широкі можливості для їх використання у вузлах тертя машин. В цілому, конструкційна міцність матеріалів досягається при оптимальному поєднанні об'ємних характеристик твердості, ударної в'язкості, меж міцності, плинності і втоми. Сплави на основі карбіду хрому з нікелевою (КХН) і нікель фосфорною (КХНФ) зв'язками відрізняються комплексом функціональних властивостей, що дає можливість ефективно використовувати їх для виготовлення деталей, що працюють в умовах тертя, абразивного зношування, агресивного хімічного середовища і високих температур [12].

З матеріалів VIII групи періодичної системи елементів, широко використаних у якості цементуючих зв'язок при отриманні твердих сплавів, найбільш дешевим і недефіцитним є залізо. Характеристики міцності порошкових композиційних матеріалів підвищуються при легуванні залізної основи сплаву. Однією з найпоширеніших легуючих добавок є хром. Вироби з карбідо хромових сплавів одержують із суміші порошоків карбіду хрому  $\text{Cr}_3\text{C}_2$  і нікелю пресуванням і спіканням у захисному середовищі при температурі вище  $1200^\circ\text{C}$ . Вміст нікелю може становити 5–40%. Для деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, вибираємо з малим вмістом нікелю, які забезпечують високу твердість і стійкість проти спрацювання.

Таким чином, для покриттів, призначених для нанесення на верхні тертя робочих органів, важливо не тільки склад, структура, фізико-механічні властивості, але і тривалість роботи покриттів на контактних ділянках до моменту їх руйнування (довговічність в процесі виробничої експлуатації). Інтенсивність зношування і макро руйнування залежить від твердості покриття відповідного співвідношен-

ня між в'язкістю і твердістю, міцності адгезії між шарами. Треба відмітити, що для композиційних нанопокриттів між фазові і границі між зернами є ділянкою інтенсивної дисипації енергії та відхилення тріщин від напрямку руху, часткового або повного їх гальмування, що призводить до зміцнення поверхні. Тому покриття з нанорозмірною структурою і багатошаровою конструкцією мають суттєво більш довготривалий термін роботи до руйнування. Більш перспективними є шарові композиційні матеріали, що виготовляються методами порошкової металургії. В цьому випадку не має чіткої межі розділу між робочим шаром і основою (рис. 1). В нашій роботі розроблено композиційні порошкові матеріали з порошкових сумішей КХЖ50 і КХЖ85 і ножі подрібнювача барабану кормозбирального комбайну КПІ-2,4. Виробничі випробування показали, що виготовлення робочих органів кормозбиральних машин (рис. 2) з шаровою робочою частиною КХНФ15 забезпечує ефект самозагострювання за рахунок регулюючої різниці та зносостійкості робочих граней і серцевини (табл. 1).

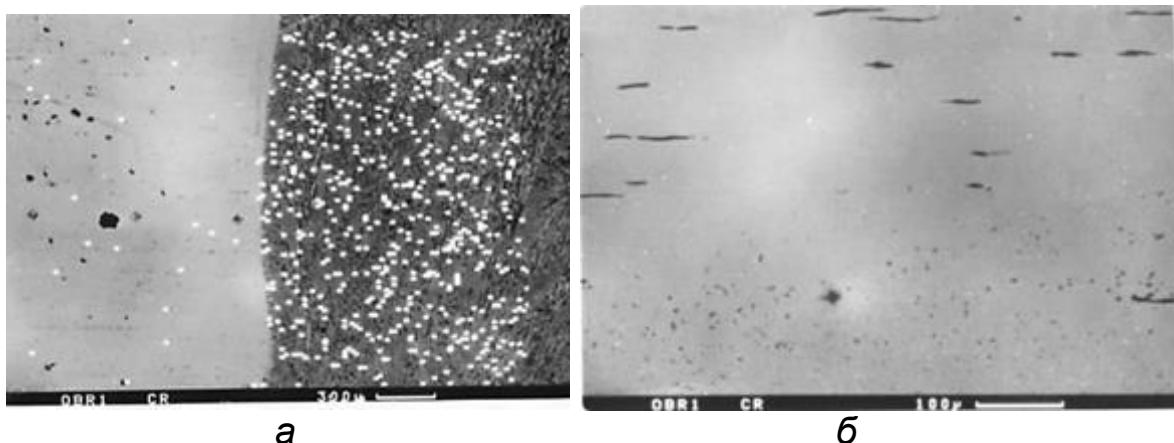


Рис. 1. Глибина проникнення хрому на межі розділу (покриття-основа): а – сталь 65Г після СВЧ; б – композиційний матеріал КХЖ-50, x1000.

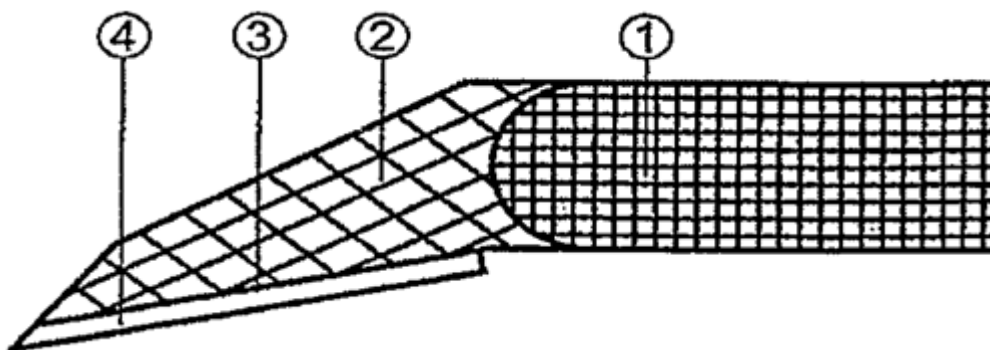

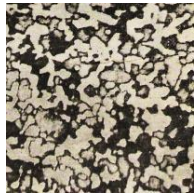

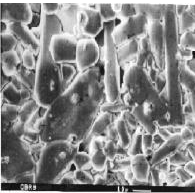


Рис. 2. Оригінальний ніж подрібнювача кормозбирального комбайну.

## 1. Схема виготовлення ножа подрібнюючого барабану

№	Найменування	Особливі властивості	Користь для споживача	Знімок під мікроскопом
1.	Основа ножа	на ньому розташована ріжуча зона; володіє максимальною в'язкістю, оскільки складається з високоміцної покращеної ножової сталі, яка пройшла багатократну термічну обробку	більш високий ресурс, менше ризик поламки	
2.	Ріжуча зона	утворює ріжучу кромку ножа і несе на собі твердосплавне покриття; піддана гарту струмами високої частоти з метою досягнення оптимальної твердості леза при збереженні його максимально можливої в'язкості	зниження витрат на загострювання	
3.	Зона зв'язку покриття з основою	вільний від пор і дуже тонкий зв'язуючий шар (матриця) сполучає твердосплавне карбідне покриття із загартованими матеріалами основи	перешкоджає відшаруванню окремих фрагментів покриття	
4.	Карбідне покриття з втіленим в нього твердосплавним матеріалом	захищає ріжучу кромку від зносу і утворює нарощену зону ножового леза; забезпечує «ефект самозагострювання»	скорочення витрат часу на заточку при зберіганні точного різь	

Співставлення властивостей сплавів карбід хрому-залізо і карбід хрому-нікель показує, що для досягнення однакових значень твердості, міцності при згині і ударної в'язкості, масова частка карбіду хрому у сплавах з залізною зв'язкою повинна бути у 1,5–2 рази нижче, ніж у сплавах з нікелевою.

Взаємодію титану з карбідом хрому при спіканні досліджували в роботі [13], автори якої встановили, що у спеченому матеріалі утворюється нова фаза-TiC. Розчинення карбіду хрому відбувається в інтервалі температур від 950 до 1250° С.

Для рішення даного питання була запропонована ідея використання в якості матриці матеріалу карбїду хрому з високими релаксаційними і демпфуючими властивостями, які проявляються в процесі навантаження деталі за рахунок структурно-фазових перетворень. Використання такого типу матричного матеріалу дозволяє використати в якості фази зміцнення карбїд титану, і відмовитися від використання дефіцитного карбїду вольфраму.

При використанні у суміші з титаном частинок карбїду хрому (частинки менше 20 мкм), в цьому ж інтервалі температур проходить дисоціація карбїду хрому і утворення карбїду титану в місцях концентрації вуглецю. Для утворення карбїду титану наявність пори не обов'язково.

Робочі органи сільськогосподарських машин крім інтенсивного абразивного зношування зазнають корозійних пошкоджень, що зв'язано з їх експлуатацією у ґрунті. Тому, одним з перспективних напрямків дослідження матеріалів є математичне моделювання наночастинок та їх взаємодій. Для багаточарових покриттів, що складаються з фаз і компонентів, побудова фазових діаграм дозволяє встановити скільки фаз, і які конкретно фази утворюють систему при даних значеннях параметрів стану. Аналіз відносного розташування об'ємних дільниць, поверхонь, ліній і точок, котрі утворюють діаграму стану, дозволяє однозначно визначити умови фазової рівноваги, появи в системі нових фаз і хімічних з'єднань, утворення і розпаду структур.

Другий важливий момент при дослідженні покриттів, є моделювання контактних процесів на границі підкладка-покриття. Для створення захисних покриттів трибо технічного призначення тепер застосовують різні хімічні, фізичні та фізико-хімічні методи, що дають змогу утворювати на робочих поверхнях деталей машин структури із задалегідь заданими властивостями.

Традиційні методи нанесення покриттів дедалі менше задовольняють підвищені вимоги до матеріалів для експлуатації в умовах динамічних навантажень, дії агресивних середовищ і абразивних потоків.

### **Висновки**

1. Одним із методів підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин є використання шарових композиційних матеріалів, отриманих методами порошкової металургії.
2. На формування структурно-фазового складу і властивостей шарового композиційного матеріалу чинять вплив вуглець і хром. Співвідношення концентрації хрому і вуглецю визначає тип карбїдної фази.



## Список літератури

1. *Канівець І.Д.* Підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / *І.Д. Канівець*. – Дніпропетровськ: Промінь, 1968. – 62 с.
2. *Ткачев В.Н.* Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / *В.Н. Ткачев*. – М.: Машиностроение, 1971. – 263 с.
3. *Хрущов М.М.* Абразивное изнашивание / *М.М. Хрущов, М.А. Бабичев*. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
4. *Хрущов М.М.* Исследование изнашивания металлов / *М.М. Хрущов, М.А. Бабичев*. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 264 с.
5. *Хрущов М.М.* Сопротивление абразивному изнашиванию структурно-неоднородных материалов / *М.М. Хрущов, М.А. Бабичев*. – М.: Изд. АН СССР, Трение и износ в машинах. – Вып. XII. – 1958. – С. 124–132.
6. *Крагельский И.В.* Трение и износ / *И.В. Крагельский*. – М.: Машгиз, 1962. – 240 с.
7. *Львов П.Н.* Износостойкость деталей строительных и дорожных машин / *П.Н. Львов*. – М.: Машгиз, 1962. – 280 с.
8. *Костецкий Б.* Нормальное трение и явления повреждаемости в машинах / *Б. Костецкий, Л. Бершадский*. – М.: Машиностроение, 1970. – 340 с.
9. *Костецкий Б.* Экспериментальное исследование физической модели нормального изнашивания металлов / *Б. Костецкий, Л. Бершадский* // Проблемы трения и изнашивания. – К.: Техніка, 1972. – Вып. 2. – С. 12–19.
10. *Костецкий Б.И.* Сопротивление изнашиванию деталей машин / *Б.И. Костецкий*. – М.-К.: Машгиз, 1959. – 476 с.
11. *Надежность и долговечность машин* / [*Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, Л.И. Бершадский, А.К. Караулов*]. – К.: Техника, 1975. – 408 с.
12. *Клименко В.Н.* Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / *В.Н. Клименко, В.А. Маслюк, Ю.В. Самброс* // Порошковая металлургия. – 1986. – №8. – С. 39–44.
13. *Власюк Р.* О структурообразовании при спекании композиции Ті-карбид хрома / *Р. Власюк, И. Радомысельский* // Порошковая металлургия. – 1977. – №11. – С. 22–25.

*В статье рассмотрены перспективные конструкционные материалы для упрочнения рабочих органов сельскохозяйственных машин. Предложен новый перспективный метод упрочнения рабочих органов, обеспечивающий значительное повышение их износостойкости.*

***Лемех плуга, лапа культиватора, абразивное изнашивание, композиционные порошковые материалы, сфероидальная структура.***

*In paper perspective composite materials, effective for hardening of working bodies of the cars working in the abrasive environment are considered. The new perspective method of hardening of working bodies, providing substantial increase of its wear resistance is offered.*

***Plow ploughshare, cultivator paw, abrasive wear, composite powder materials, spheroidal structure.***