

## **ВИГОТОВЛЕННЯ ЗНОСОСТІЙКИХ ДЕТАЛЕЙ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ, КОРМОЗБИРАЛЬНИХ ТА ПОСІВНИХ МАШИН**

**М. Денисенко**, канд. техн. наук, **А. Опальчук**, д-р техн. наук, проф.  
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*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.*

**Ключові слова:** *леміш плуга, лапа культиватора, абразивне зношування, композиційні порошкові матеріали, шарова структура, змінна деталь.*

**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 під час їх експлуатації. Техніко-економічні показники багатьох сільськогосподарських машин все ще залишаються дуже низькими через короткі терміни служби їх робочих органів та вимушені простої під час періодичних замін останніх, що вимагає значних витрат коштів на запасні частини.

У 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 лемешів і лап культиваторів призводить до зниження продуктивності агрегатів та якості виконуваних робіт і, зрештою, до підвищення собівартості сільськогосподарської продукції. У посушливих південних районах України лемеші плугів і лапи культиваторів доводиться ремонтувати або замінювати щозміни [1]. Треба також відмітити, що різання ґрунту є найбільш розповсюдженою операцією у сільськогосподарському виробництві: оранка, культивування, боронування, збирання зернових і технічних культур, що складає не менше як 70% всього об'єму механізованих робіт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** 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 у ґрунт різноманітних добрив та наявності в ньому 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 різальних пар стригальних машинок нерідко відбувається через 1,5-2 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 нижчий від закордонних аналогів у 1,5-2 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: під час пружного контакту, пластичного відтиснення та мікрорізання [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 краях 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 провідним процесом є пластична деформація. У нормальних умовах експлуатації зношування різальних 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 під час їх виготовлення можна розділити на такі основні групи: зміна хімічного стану і властивостей матеріалу; термічна обробка, поверхневе хіміко-термічне зміцнення; наплавлення твердими сплавами. Створено спеціалізовані підприємства, багато фірм, котрі займаються випуском тільки робочих органів. Як приклади наведемо фірми La Pina,

Bellota (Іспанія), Fordes de Niawx (Франція), Land (США). Машинобудівні заводи Німеччини виготовляють близько 30 типів лемешів для задоволення фермерів, які експлуатують плуги в різних кліматичних зонах. На лемеші оборотних плугів Rabe, Німеччина наноситься твєрдосплавне покриття (Plasmabid), що суттєво збільшує терміни їх експлуатації.

Компанія Bellota (Іспанія) є не тільки 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 (лемеші, лапи, диски) з твердістю поверхні до 50 одиниць дозволяють 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 як конструкційний матеріал спрацьованих деталей вузлів тертя і різального інструмента. Вони складаються з карбідів і зв'язувальної фази та виготовляються методами порошкової металургії. Наявність у наплавленому шарі карбідів тугоплавких металів (TiC, NbC, VC, WC, MoC) підвищує твердість і зносостійкість металу, що у свою чергу збільшує термін служби робочих органів сільгосптехніки. Наприклад, карбід титану має найвищу температуру плавлення, а також твердість зі всіх широко застосовуваних для легованих карбідів тугоплавких металів. Крім того, структура наплавленого металу при комплексному способі легування готовим з'єднанням карбїду титану, забезпечує високу зносостійкість і твердість сплаву, що дає можливість багатократного збільшення терміну служби виробів.

У зв'язку з цим, одним з головних завдань для створення нових зварювальних матеріалів для дугового наплавлення, який 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.

У процесі відновлення зношених деталей число виробничих операцій скорочується в 5-8 разів у порівнянні 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 різальних елементів робочих органів сільськогосподарських машин, матеріали і технології їх зміцнення та виготовлення зносостійких деталей робочих органів ґрунтообробних, кормозбиральних і садильних машин.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** 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 під час роботи пар тертя такі умови, за яких утворюється явище структурного пристосування матеріалів, що обумовлює динамічну рівновагу і саморегулювання процесів активації і пасивації поверхневих шарів [10].

Оптимізація цих процесів у 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 викликають гальмування цих процесів [11]. Дослідження мікроструктури поверхневих шарів вторинних структур, які утворюються в процесі тертя конструкційних матеріалів показало, що для кожного виду зміцнення характерний розвиток процесів тертя, що суттєво відрізняються один від одного. Підвищення зносостійкості в результаті використання методів зміцнення досягається в результаті збільшення твердості та зниження пластичності поверхневого 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 та трудові ресурси. Упровадженню у виробництво технологічних методів, що забезпечують одержання зносостійких структур, передує моделювання роботи вузлів тертя, установлення впливу зовнішніх чинників на їх працездатність, вивчення процесів, які розвиваються на поверхнях тертя, зміцнених досліджуваними покриттями.

Нанесення покриттів забезпечує міцність різального краю леза робочого органу, ефективне виведення тепла із зони різання, демпфірування та зменшення вібраційних явищ, причому карбідні покриття мають більшу ефективність, ніж нітриди. Одним із ефективних методів досягнення високої зносостійкості є використання твердих сплавів, наприклад карбідів тугоплавких металів. Крім того, зносостійкість наплавних матеріалів суттєво залежить від типу і кількості карбідної фази у сплавах. Частіше всього зміцнювальна фаза повинна мати такі карбіди:  $Fe_3C$ ;  $Mn_3C$ ;  $Cr_7C$ ;  $W_2C$ ;  $WC$ ;  $VC$ ;  $TiC$ ;  $V_4C$ ;  $Mo_2C$ , та інші, а також карборіди, нітриди заліза і легувальні елементи. У теперішній час у вузлах тертя машин використовують металеві, неметалеві і композиційні матеріали, монолітні і поруваті, що мають як гомогенну, так і гетерогенну структуру. Ці матеріали отримують методами литва, порошкової металургії, наплавлення, напилювання. У матеріалах, отриманих методами порошкової металургії, міцність досягається

як за рахунок гетерогенності структури, так і шляхом отримання оптимальної поруватості.

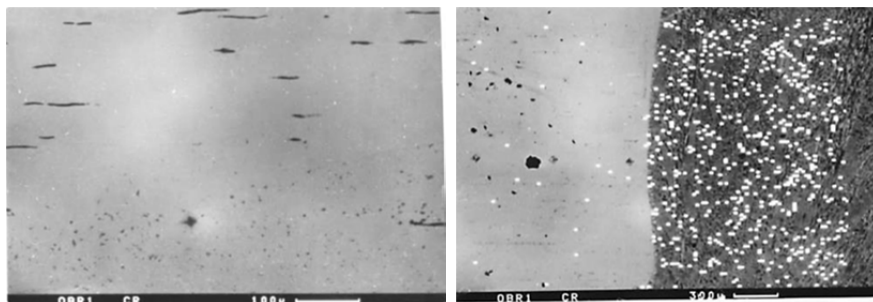
Методи порошкової металургії дозволяють синтезувати матеріли, різними за складом, структурою, функціональними властивостями і економічністю, що відкриває широкі можливості для їх використання у вузлах тертя машин. У цілому, конструкційна міцність матеріалів досягається при оптимальному поєднанні об'ємних 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 використовуваних як цементувальні зв'язки для отримання твердих сплавів, найбільш дешевим і недефіцитним є залізо. Характеристики міцності порошкових композиційних матеріалів підвищуються при легуванні залізної основи сплаву. Однією з найпоширеніших легувальних добавок є хром. Вироби з карбідо-хромових сплавів одержують із суміші порошоків карбіду хрому  $Cr_3C_2$  і нікелю пресуванням і спіканням у захисному середовищі при температурі вище  $1200^\circ C$ . Вміст нікелю може становити 5-40%. Для деталей, що працюють в умовах абразивного зношування, вибираємо вироби з малим вмістом нікелю, які забезпечують високу твердість і стійкість проти спрацювання.

Таким чином, для покриттів, призначених для нанесення на поверхні тертя робочих органів, важливо не тільки склад, структура, фізико-механічні властивості, але і тривалість роботи покриттів на контактних ділянках до моменту їх руйнування (довговічність у процесі виробничої експлуатації). Інтенсивність зношування і макроруйнування залежить від твердості покриття відповідного співвідношення між в'язкістю і твердістю, міцності адгезії між шарами. Треба відмітити, що для композиційних нанопокриттів міжфазові і міжзернові границі 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 багат шаровою конструкцією мають суттєво більш довготривалий термін роботи до руйнування. Більш перспективними є шарові композиційні матеріали, що виготовляються методами порошкової металургії. У цьому випадку не має чіткої межі розділу між робочим шаром і основою (рис.1). У нашій роботі розроблено композиційні порошкові матеріали з порошкових сумішей КХЖ50 і КХЖ85 і ножі подрібнювального барабана кормозбирального комбайна КПП-2,4. Виробничі випробування показали, що виготовлення робочих органів кормозбиральних машин (рис.2.) з шаровою робочою частиною КХНФ15 забезпечує ефект самозагострювання

за рахунок регулювальної різниці та зносостійкості робочих граней і серцевини (табл.1).

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



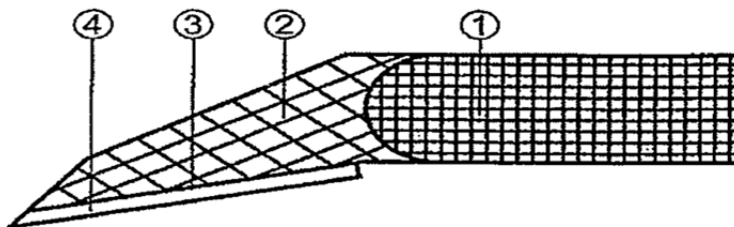
*a*

*б*

*a* – сталь 65 Г після СВЧ; *б* – композиційний матеріал КХЖ-50,  $\times 1000$


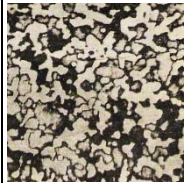
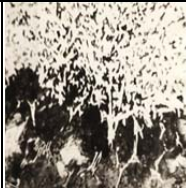
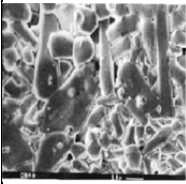
**Рисунок 1 – Глибина проникнення хрому на межі розділу (покриття-основа)**

Співставлення властивостей сплавів карбід хрому-залізо і карбід хрому-нікель показує, що для досягнення однакових значень твердості, міцності на згин та ударної в'язкості, масова частка карбиду хрому у сплавах з залізною зв'язкою повинна бути у 1,5-2 рази нижчою, 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-ТіС. Розчинення карбиду хрому відбувається в інтервалі температур від 950 до 1250° С.



**Рисунок 2 – Оригінальний ніж подрібнювача кормозбирального комбайну**

Таблиця 1 – Схема виготовлення ножа подрібнювального барабану

№	Найменування	Особливі властивості	Користь для споживача	Знімок під мікроскопом
1.	Основа ножа	на ньому розташована різальна зона; має максимальну в'язкість, оскільки складається з високоміцної покращеної ножової сталі, яка пройшла багатократну термічну обробку	вищий ресурс, менший ризик поломки	
2.	<i>Різальна зона</i>	утворює різальну крайку ножа і несе на собі твердосплавне покриття; піддана гарту струмами високої частоти з метою досягнення оптимальної твердості леза зі збереженням його максимально можливої в'язкості	зниження витрат на загострювання	
3.	<b>Зона зв'язку покриття з основою</b>	вільний від пор і дуже тонкий зв'язувальний шар (матриця) сполучає твердосплавне карбідне покриття із загартованими матеріалами основи	перешкоджає відшаруванню окремих фрагментів покриття	
4.	<b>Карбідне покриття з втіленим в нього твердо-сплавним матеріалом</b>	захищає різальний край від зносу і утворює нарощену зону ножового леза; забезпечує «ефект самозагострювання»	скорочення витрат часу на заточку при зберіганні точного відрізання	

У разі використання 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'язкова.

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 багатошарових покриттів, що складаються з фаз і компонентів, побудова фазових діаграм дозволяє встановити скільки фаз і які конкретно фази утворюють систему за даних значень 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.

Іншим важливим моментом у дослідженні покриттів, є моделювання контактних процесів на границі підкладка-покриття. Для створення захисних покриттів триботехнічного 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.

## **Література**

1. Канівець І.Д. Підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин / Канівець І.Д.-Дніпропетровськ.: Промінь, 1968.-62 с.

2. Ткачев В.Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин / Ткачев В.Н.-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. Бабачев.-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.

6. Крагельский И.В. Трение и износ / Крагельский И.В.-М.: Машгиз, 1962.

7. Львов П.Н. Износостойкость деталей строительных и дорожных машин / Львов П.Н.-М.: Машгиз, 1962.

8. Костецкий Б.И. Нормальное трение и явления повреждаемости в машинах./ Б. Костецкий, Л. Бершадский.-Машиностроение., 1970. №1.

9. Костецкий Б.И. Экспериментальное исследование физической модели нормального изнашивания металлов./ Б. Костецкий, Л. Бершадский.-К.: Техніка., 1972.-Проблемы трения и изнашивания. Вып.2.

10. Костецкий Б.И. Сопротивление изнашиванию деталей машин /Костецкий Б.И.-Москва-Киев: Машгиз, 1959.-476 с.

11. Надежность и долговечность машин / [Костецкий Б.И., Носовский, И.Г. Бершадский Л.И., Караулов А.К.] –К.: Техника. 1975.-408 с.

12. Клименко В.Н. Спекание, структурообразование и свойства порошковых материалов системы карбид хрома-железо / Клименко В.Н.. Маслюк В.А., Самброс Ю.В.;- Киев: Порошковая металлургия, 1986.-№8, 39-44 с.

13. Власюк Р.З. О структурообразовании при спекании композиции Ti-карбид хрома / Р. Власюк, И. Радомысельский.-К.: Порошковая металлургия, 1977.-№11, 22-25 с.

### ***Аннотация***

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

### ***Summary***

*The article deals with advanced structural materials and technologies to strengthen the working elements of agricultural machines. A new method of strengthening the working bodies, providing a considerable increase of their durability is offered.*