

УДК 631.31:620.178.16

ОСОБЛИВОСТІ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Борак К.В.¹, д.т.н., професор, koss1983@meta.ua

Куликівський В.Л.², к.т.н., професор, **Кушим Р.В.²**, здобувач освіти

Бистрицький Б.П.², здобувач освіти

¹*Житомирський агротехнічний фаховий коледж*

²*Поліський національний університет, м. Житомир*

Робочі органи ґрунтообробних машин зазнають значного зношування під час руху в ґрунті. Найпоширенішим видом зношування у цій сфері є абразивне зношування – на його частку припадає близько 60 % усіх відмов деталей ґрунтообробної техніки. Воно зумовлене мікрорізанням поверхні металу твердими мінералами ґрунту (перш за все кварцовим піском), твердість яких перевищує твердість матеріалу знаряддя. Проблема абразивного зношування безперервно накопичує витрати: щороку втрачаються мільйони доларів лише на заміну зношених деталей і зниження ефективності обробітку полів. Тому вивчення механізмів цього процесу та пошук методів підвищення зносостійкості інструментів є надзвичайно актуальним завданням [1].

При роботі у гетерогенному ґрунтовому середовищі поверхня робочого органу постійно контактує з крижкими зернами мінералів. Основним механізмом руйнування металу є мікрорізання його гострими вершинами абразивних зерен. Утворюється безліч тонких подряпин та пластичні деформації на поверхні, а окремі часточки металу зрізаються і вилітають. Власне, базовим фізичним механізмом є мікрошліфування (або «мікрорізання») поверхні деталі зернами ґрунту. Інтенсивність цього процесу залежить від жорсткості зерен, їх форми і положення. Наприклад, із збільшенням ступеня закріплення абразивної частинки в ґрунті зростають площа та глибина локального пластичного деформування металу і частіше відбувається відокремлення мікрочастинок металу. Іншими словами, більше встромлене зерно «стриже» деталь сильніше. Надзвичайно важливий фактор – гострота граней частинок ґрунту: чим більше гострих кутів і граней має зерно, тим ефективніше воно ріже метал. Мікрорізання часто супроводжується також мікрооранкою і втомним вицвітанням металу від

ударів каміння. Так у реальних умовах ґрунту виникають поєднані явища: різання, подрібнення й ударне навантаження, проте саме абразивне мікрорізання переважає у загальному обсязі зносу [2].

Абразивне зношування інтенсивно залежить від виду ґрунту та його властивостей. Найбільший негативний вплив справляють піщані ґрунти: дослідження показали, що на піску інтенсивність абразивного зносу робочих органів вища на 40–100 % у порівнянні з глинистими ґрунтами. У пісках багато твердих зерен кварцу великого розміру, тому пошкодження металу відбувається швидше. Наявність грубих порід (каміння) у ґрунті також суттєво збільшує знос – кожне тверде каменеподібне включення завдає ударів і різальних подряпин по сталевій поверхні. Разом із тим змінюється роль вологи: у суглинкових та глинистих ґрунтах підвищення вологості зазвичай знижує абразивне зношування за рахунок зменшення сипучості ґрунту, а в піщаних ґрунтах навпаки – збільшує (вологочастицевий зв'язок посилює різання зернами). Також важливо ущільнення: ущільнений ґрунт (наприклад, у колії коліс) створює великий тиск на робочі органи і викликає підвищене зношування (відмічено у дослідженнях до 17–40 % збільшення зносу на перших і останніх плоскостях плуга). Загалом фактори ґрунту – розмір і склад зерен, ступінь ущільненості, вологість і вміст каміння – визначають кількість і характер абразивних контактів, що прямо відбивається на швидкості зношування [1, 2, 3].

Крім властивостей ґрунту, значний вплив на абразивний знос мають режим і глибина обробітку. Зі збільшенням робочої швидкості чи глибини заглиблення робочого органу в ґрунт зростає сила взаємодії з абразивними зернами, отже інтенсивність зносу зростає. Уважається, що підвищення швидкості обробки посилює імпульсні удари і зменшує час контакту окремих зерен (що знижує знос на одиницю пробігу), але надзвичайно велика швидкість або велика кількість пасів унеможлиблює відвалення зношених частинок і додає взаємодію із вищими шарами ґрунту, збагаченими піском. Також форма і ріжучий кут леза визначають спосіб вривання в ґрунт. Наприклад, зростання кута атаки може збільшити механічний вплив сипких зерен при обробітку легких ґрунтів. Сумарно робочі параметри (кількість пасів, швидкість ходу, глибина обробітку) мають бути оптимізовані, оскільки занадто агресивний режим тільки підвищує абразивне стирання і витрати на ремонт.

Матеріал та геометрія робочого органу визначають його зносостійкість. Зі збільшенням твердості сталі істотно зростає її стійкість до

абразивного зносу. Наприклад, експерименти показали, що при загартуванні стали збільшуючи твердість від $\sim 30\text{HRC}$ до $\sim 60\text{HRC}$, її зносостійкість зростає пропорційно. Тому оригінальні робочі органи плугів виготовляють з легованих хромо-борних сталей, що після гартування мають твердість $45\text{--}55\text{HRC}$. З міцніших сплавів можна додатково забезпечувати карбідні включення чи створювати зміцнену поверхню. Важливу роль відіграє профіль і гострота різальних кромки: гладке лезо з одним виступаючим гострим фронтом стирається повільніше, ніж багатогранні, зазубрені форми. Дослідження встановили, що чим більше у зерні ґрунту гострих граней, тим ефективніше вона ріже метал робочого органу. Таким чином, і конфігурація робочого органу (пружинної лапи, лезо плуга, диск борони тощо), і його ріжучі кути мають бути розраховані з урахуванням збереження максимальної кількості ріжучої кромки при експлуатації. Крім того, ухвалюють заходи щодо запобігання захопленню дрібного зерна чи пилу в задню порожнину різальних деталей, оскільки такі частинки діють як «примусове» абразивне середовище.

Задля подовження ресурсу робочих органів застосовують комплексне технологічне зміцнення матеріалів і поверхонь. По-перше, змінюють сам матеріал: крім традиційних легованих сталей, використовують спеціальні марочні композиції з підвищеним вмістом бору, кремнію або марганцю. Наприклад, стали типу 27MnB5 або сучасні конструкційні сталі Hardox з карбідними фазами демонструють кращий опір стиранню під впливом ґрунтових абразивів. По-друге, застосовують різноманітні методи термічної та хіміко-термічної обробки. Цементация, азотування, борування або електроіскрове насичення поверхні вуглецем/азотом дозволяють підвищити твердість зовнішнього шару металу без втрати в'язкості основи. Дослідження показують, що комбіноване закалювання та отпускання дозволяє домогтися «м'якого серця» деталі з твердою поверхнею, що значно підвищує зносостійкість робочого леза.

По-третє, широко використовується наплавлення і нанесення покриттів. В побутових і професійних умовах часто виконується дугове наплавлення зносостійкого матеріалу на виточину робочих деталей. Використовують зварювальні дроти або електроди з диспергованими карбідами (вольфрам, хром, молібден тощо) – при цьому гартовані карбідні зерна «закаляються» в матриці металу і підвищують його твердість до $60\text{--}68\text{HRC}$. Один із прогресивних методів – плазмове порошкове напилення (РТА): метал у вигляді порошку з вольфрамокарбідними або

хромокарбідними включеннями подають через пальник під плазменним дугою – це забезпечує рівномірне багатошарове покриття. Такі шаруваті твердосплавні покриття дозволяють істотно збільшити довговічність, причому на практиці термін служби наплавлених робочих елементів може бути в 8–10 разів більшим порівняно з ненакладеним «стандартним» шаром. Наприклад, наявні досвіди наплавлення малого зубчастого диска борони карбідами показали восьмиразове збільшення ресурсу знаряддя.

Крім сталевих наплавок, застосовують тонкі технологічні покриття методом PVD/CVD. На роторні ножі та лемеші наносять нитрид титану TiN, титаново-алюмінієві сполуки (TiAlN) та багатошарові композиції (наприклад, TiCrN–TiAlN–TiAlSiCN), що мають дуже високу твердість і низький коефіцієнт тертя. Такі покриття наносили на плуги і культиваторні лапи – результати показують зменшення втрат матеріалу і підвищення ресурсу інструмента. Інший напрям – нанесення самозмащувальних полімерних композитів (наприклад, Ni–P–PTFE) на диски фрез і обертальні граблі; експерименти свідчать про значне зниження коефіцієнта тертя і сповільнення стирання в ґрунті. Поряд із цим комбінують різні обробки: наприклад, попереднє насичення азотом або карбоном поверхні, а потім накладення твердого зварювального шару, ще більше зміцнює робочу зону інструмента. Сучасні дослідження спрямовані і на оптимізацію форми робочих органів – навіть елементи біонічного дизайну (натхненні формою риючих ніг жука чи каракатиці) можуть зменшувати зчеплення ґрунту і тим самим знижувати навантаження на лезо.

Абразивне зношування – провідний вид руйнування робочих органів ґрунтообробних машин, що пов'язано з інтенсивним механічним впливом твердих зерен ґрунту на сталь інструмента. Його інтенсивність визначають властивості ґрунту (текстура, вологість, кам'янистість), умови обробки (швидкість, глибина, ущільнення) та характеристики самого робочого органу (матеріал, твердість, форма леза). Заходи щодо підвищення зносостійкості включають використання спеціальних легованих та зміцнених матеріалів (зокрема легованих сталей з карбідами), комплексну термо- і хіміко-термічну обробку (закалювання, цементацію, азотування), а також поверхневі укріплення – наплавлення високотвердих композитів і сучасних покриттів (TiN, CrN, WC-Co тощо). Приклади з практики показують, що грамотне поєднання цих підходів може в рази продовжити ресурс робочих органів (зокрема, застосування наплавлення карбідами часто дає в 5–10 разів більшу довговічність). Таким чином, врахування

особливостей ґрунтових абразивних процесів разом із застосуванням інноваційних матеріалів і технологій обробки є ключовими для оптимізації довговічності ґрунтообробних машин.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д.т.н.: 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

2. Rogovskii, I.L., Borak, K. V., Maksimovich, E. Yu., Smelik, V. A., Voinash, S. A., Maksimovich, K. Yu., & Sokolova, V. A. (2020). Wear resistance of blade and disc working bodies of tillage tilling machines hardened by electrodes. T-series. Journal of Physics : Conference Series. 1679 (4), art. №. 042084.

3. Borak K. Ensuring the equestability of the tillage tools wearout , Works of VNTU, no. 1, Feb. 2023. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2022-1-19-29>.





ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ТА
АВТОМАТИКИ
АГРОПРОМИСЛОВОГО
ВИРОБНИЦТВА НААН
України



НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
України



ІНСТИТУТ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА
ПРИРОДНИЧИХ НАУК
НАЦІОНАЛЬНОГО
ДОСЛІДНИЦЬКОГО ІНСТИТУТУ
(Польща)

МАТЕРІАЛИ
XIV-ї Науково-технічної конференції
«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»

01-17 жовтня 2025 року

Глеваха - Київ
2025

УДК 631.171

Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: XIV Міжнародна науково-технічна конференція, смт Глеваха Київської області – м. Київ, Україна, 1-17 жовтня 2025 року: матеріали конференції. Глеваха-Київ. 2025. - 204 с.

В матеріалах конференції коротко викладені основні результати теоретичних та експериментальних досліджень з пріоритетних напрямків розвитку тваринництва та кормовиробництва. Наведені дані про ефективність результатів наукових досліджень та їх виробничої перевірки.

Матеріали розраховані на науковців та здобувачів наукового ступеня.

Організаційний комітет конференції: *Адамчук В.В.*, д.т.н., проф., академік НААН, директор Інституту механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН України (голова оргкомітету); *Братишко В.В.*, д.т.н., проф., декан механіко-технологічного факультету Національного університету біоресурсів і природокористування України (співголова оргкомітету); *Штробель В.Р.*, доктор наук, директор Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща, (співголова оргкомітету); *Собчук Генрик*, професор, голова вченої ради Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща, (співголова оргкомітету); *Viacheslav Adamchuk*, д.т.н., професор і завідувач кафедри інженерії біоресурсів в Університеті McGill, Канада, (співголова оргкомітету); *Simone Pascuzzi*, д.т.н., професор кафедри агроекологічних та територіальних наук Університету Варі, Італія, (співголова оргкомітету); *Hristo Beloev*, д.т.н., професор Русенського університету, Болгарія, (співголова оргкомітету); *Maroš Korenko*, д.т.н., професор Словацького університету сільського господарства в Нітрі, Словачія, (співголова оргкомітету); *Jüri Olt*, д.т.н., професор агротехніки Естонського університету наук про життя, Естонія, (співголова оргкомітету); *Робенко В.І.*, к.т.н., доц., доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України (секретар оргкомітету); *Кузьменко В.Ф.*, к.т.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу механіки та автоматики біотехнічних систем у тваринництві ІМА АПВ НААН; *Хмельовський В.С.*, д.т.н., проф., завідувач кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Ткач В.В.*, к.т.н., с.н.с. завідувач відділу механіки та автоматики біотехнічних систем у тваринництві ІМА АПВ НААН; *Фененко А.І.*, д.т.н., проф., головний науковий співробітник ІМААПВ; *Голуб Г.А.*, д.т.н., проф., професор кафедри тракторів, автомобілів та біоенергосистем НУБіП України; *Собчук Генрик*, професор, голова вченої ради Інституту технологічних та природничих наук Національного дослідницького інституту, Польща; *Ревенко І.І.*, д.т.н., проф., професор кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Роговський І.Л.*, д.т.н., проф., завідувач кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка; *Заболотько О.О.*, к.т.н., доц., доцент кафедри охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві НУБіП України; *Сівак І.М.*, к.т.н., доц., доцент кафедри сільськогосподарських машин і системотехніки ім. П.М. Василенка НУБіП України; *Тітова Л.Л.*, к.т.н., доц., доцент кафедри технічного сервісу та інженерного менеджменту ім. М.П. Момотенка НУБіП України.

Рекомендовано до видання:

вченою радою ІМААПВ НААН України (протокол № 5 від «21» листопада 2025 р.);
вченою радою механіко-технологічного факультету НУБіП України
(протокол № 4 від «20» листопада 2025 року)

Адреси для листування:

08631, Київська обл., Васильківський р-н, смт. Глеваха, вул. Вокзальна, 11
03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 12, к. 11

E-mail: ima.apv.naan@gmail.com, mtf11k@ukr.net, info@animal-conf.inf.ua

Сайт конференції: <http://animal-conf.inf.ua>

© ІМА АПВ НААН України, 2025

© НУБіП України, 2025