

УДК 621.891

## ФІЗИЧНІ, ХІМІЧНІ ТА МЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ В ТРИБОСИСТЕМІ «РОБОЧИЙ ОРГАН-ГРУНТ»

**Борак К.В., к.т.н., Руденко В.Г., Кравчук А.В., Добранський С.С.**  
(Житомирський агротехнічний коледж)

*В статті розглянуті фізичні, хімічні та механічні процеси, які виникають в процесі функціонування трибосистеми «робочий орган-грунт». Констатовано, що більшість процесів які протікають в трибосистемі не враховані при моделюванні процесу зношування робочих органів.*

**Постановка проблеми.** Втрати розвинених країн від абразивного зношування становлять 1...4%. Серед деталей сільськогосподарської техніки найбільш піддаються абразивному зносу робочі органи посівних і ґрунтообробних машин. Відповідно, забезпечення надійності зазначеної техніки одна з основних проблем сільськогосподарського машинобудування, а це можливо тільки при врахування процесів, що відбуваються на поверхні елементів трибосистеми та механізму зношування на етапі конструювання робочих органів посівних і ґрунтообробних машин. Однією з основних проблем при конструюванні робочих органів є відсутність математичних моделей, які враховують всі фактори і процеси, що впливають на процес зношування робочих органів.

**Мета** статті є обґрунтування доцільності врахування механічних та фізико-хімічних процесів на поверхні тертя для визначення закономірностей абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних та посівних машин

**Результати аналізу літературних джерел та досліджень.** При математичному моделювання абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних та посівних машин слід враховувати фізичні, хімічні та механічні процеси, що протікають в зоні контакту між робочим органом та ґрунтом. Дані процеси залежать від фізичної та хімічної природи поверхонь, що знаходяться в зоні контакту.

Так як матеріали з яких складаються елементи трибосистеми «робочий орган – ґрунт» суттєво відрізняються за фізичними, хімічними та механічними властивостями, то і процеси, що протікають на поверхнях цих елементів доволі різноманітні. Саме тому необхідно окремо розглядати процеси, що відбуваються на поверхнях цих тіл, в зоні контакту, в поверхневому шарі та в проміжному шарі між основним матеріалом та поверхневим шаром.

Так робочий орган складається зі сталі і має кристалічну будову. На поверхні кристалічного тіла завжди наявні дефекти, які призводять до зміни фізичних та механічних властивостей. Дана поверхня має і відмінний від

основного матеріалу хімічний склад в зв'язку з адсорбцією, дифузією хемосорбцією, окисненням та утворенням поверхневих плівок [1].

Під час процесу тертя, в результаті зовнішніх дій на поверхні металу виникають певні зміни в кристалічній решітці, що в кінцевому рахунку призводить до зміни властивостей поверхневого шару. В результаті таких змін виникають всім відомі дефекти кристалічної решітки (точкові, лінійні, групи лінійних дефектів, їх кластери), що призводить до прискорення процесів дифузії.

Першим хто математично описав процес дифузії був відомий німецький вчений А. Фік [2] виходячи з гіпотези, що в ізотропному середовищі кількість дифузійної речовини  $Q$ , що переходить за одиницю часу через одиницю площі поперечного перерізу, пропорційно градієнту концентрації, що вимірюється по нормалі до цього перерізу (перший закон Фіка):

$$Q = -D \partial c / \partial x, \quad (1)$$

де  $D$  – коефіцієнт дифузії;

$c$  – концентрація дифузійної речовини;

$x$  – координата,

При описанні дифузії в багатокомпонентних металевих системах доцільно використовувати узагальнений закон Фіка: дифузійний потік кожного компонента є лінійною функцією всіх концентрованих градієнтів, тобто [2]:

$$I_i = - \sum_k D_{ik} \partial c_k / \partial x \quad (i=1, 2, \dots), \quad (2)$$

де  $D_{ik}$  – коефіцієнт дифузії є функцією  $c_k$ .

Дифузійні процеси в стаціонарних системах добре вивчені, що не можна сказати про дифузійні процеси в динамічних системах тертя, вивчення яких пов'язані зі значними експериментальними і теоретичними складнощами. Данні складності обумовлені тим, що структура металевих систем формується в результаті складної сукупності процесів, які відбуваються при терті і викликані високим рівнем напружень, впливу оточуючого середовища, значними об'ємними і поверхневими температурами і температурними градієнтами.

Експериментальні дослідження Б.І. Костецького [4] показали, що в зоні тертя металевих сплавів утворюються структури відмінні від структури основного елемента трибосистеми, як за фізико-механічними властивостями так і за хімічним складом. Данні поверхневі шари, зі зміненою структурою елементів трибосистеми, прийнято називати вторинними структурами (дисипативними структурами, які формуються при терті). Поверхневий шар який приймає участь в терті на думку авторів роботи [3] – це новий стан речовини подалі від рівноваги і нестійкості, що породжено потоком вільної енергії і призводить до нових типів організації матерії за точкою нестійкості; він виникає в результаті обміну енергією і речовиною з оточуючим середовищем.

В більшості випадків процеси поверхневої дифузії в металевих сплавах експериментально досліджені при терті двох металевих сплавів з мастильним матеріалом та без нього (особливу увагу дослідники приділяли дифузії в мідних сплавах та в сплавах Fe-Fe<sub>3</sub>C). Процес дифузії в металевих сплавах, які працюють в абразивній масі (один з елементів трибосистеми абразивна маса) взагалі залишаються не вивченими. Встановлення закономірностей даного процесу ускладнюється гетерогенною структурою ґрунту, відмінним хімічним складом різних типів ґрунтів та динамічністю процесу дифузії на поверхні металевого сплаву. Дифузійні шари металевих сплавів речовин з ґрунту в процесі тертя досить складно дослідити, оскільки після утворення локальний дифузійний шар швидко видаляється з поверхні тертя в результаті механічної складової процесу абразивного зношування. Видалення шару, що утворився в процесі дифузії пов'язано зі зменшенням зносостійкості утворених вторинних структур в порівнянні зі зносостійкістю основного металевого сплаву.

Ґрунт, другий елемент трибосистеми, з точки зору трибології складається з абразивних частинок (кварц, слюда), з'єднувальної маси (фізичної глини), органічних решток, мінеральних добрив, рідини (в більшості випадків води або розчинів на її основі), живих мікроорганізмів, та газів. В залежності від відсоткового вмісту даних складових, буде залежити інтенсивність фізико-хімічних процесів на поверхні тертя.

Так зі збільшенням вмісту в ґрунті мікроорганізмів, мінеральних добрив та органічних решток фізико-хімічні та механічні процеси на поверхні робочого органу можуть, як пришвидшуватись, так і уповільнюватись. Зі збільшенням вмісту фізичної глини покращується адгезійний зв'язок між елементами трибосистеми, а при збільшенні вмісту абразивних частинок (при умові певного тиску і коефіцієнта форми абразивних частинок) фізико-хімічні процеси взагалі можуть не відбуватися в зоні контакту елементів трибосистеми, оскільки механічна складова процесу тертя може досягати 100%.

Один з основних факторів, що суттєво впливає на процеси, які протікають на поверхні тертя і механізм зношування робочих органів посівних і ґрунтообробних машин, який не враховується в математичних моделях, що описують знос це ступінь закріплення абразивних частинок.

Як відомо тертя це процес взаємодії тіл при відносному русі або при русі тіла в газоподібному або рідкому середовищі. Судячи з цього визначення тертя поверхні робочих органів ґрунтообробних знарядь носить особливий характер, оскільки за визначенням М.М. Хрущова тертя відбувається в результаті взаємодії з твердими частинками зчепленими в неміцну масу [5]. У роботах сучасників ґрунт розглядається як «напівзакріплена абразивна маса», зі своїми особливими властивостями [6].

У роботах більшості вчених, які займалися дослідження зношуванню деталей машин які працюють в ґрунті, ґрунт розглядалася як ідеальний набір абразивних частинок, які знаходяться в різному зв'язаному стані. Показник,

який характеризує зв'язаний стан, вперше застосував Тененбаум М.М. [7] і визначив його як ступінь закріпленості абразиву. До цих пір відсутня шкала по якій можна визначити цей показник і відповідно неможливо ввести цей показник в математичні моделі, які описують процес зношування деталей машин в ґрунті. Розробка шкали для визначення ступеня закріпленості абразиву є одним з основних завдань для можливості математичного моделювання абразивного зносу робочих органів ґрунтообробних та посівних машин. Так, наприклад в важких дискових боронах перший ряд зношується приблизно в 1,5...2 рази швидше ніж задній ряд, що безпосередньо пов'язано зі зменшенням ступеня закріпленості абразивних частинок, оскільки всі інші фактори, які впливають на знос ідентичні як для першого так і для другого ряду дисків.

М.М. Тененбаум [7] для характеристики ступеня закріпленості абразивних частинок використовував силу  $F_i$  (дотична сила яку здатна витримувати абразивне зерно до зміни свого положення по відношенню до поверхні деталі). Значення сили  $F_i$  представляє кількісну міру закріпленості абразивних частинок, яка залежить від їх міцності, розміру, агрегатного стану і деяких експлуатаційних факторів.

Присутність в ґрунті біосередовища і протікання хімічних процесів, які вони прискорюють або уповільнюють, взагалі не розглядалося при моделюванні процесу зношування, але воно відіграє важливу роль в процесі тертя і це необхідно враховувати при моделюванні процесу зношування. Оскільки від присутності цього середовища залежить також і ступінь закріпленості абразивних частинок (рис. 1).



а)

б)

Рисунок 1 – Коренева система: а) кукурудзи; б) свербиги східної.

Як видно з рис. 1 коренева система різних сільськогосподарських культур має різну товщину і глибину проникнення в ґрунт та по різному зв'язує абразивні частинки. Крім цього рослини при їх пошкодженні виділяють соки (патоку) які мають в своєму складі амінокислоти і аміді. Так наприклад патока кукурудзи містить гліцин, цистин, аспарагін, лізин та інші амінокислоти [8]. В роботі [9] встановлено що гліцин і аспарин сприяють окислювальному розчиненню сталі, що в свою чергу призведе до прискорення абразивного зношування. У ґрунті при обробці може знаходитися велика кількість

органічних і мінеральних добрив, які також роблять ґрунтову масу більш агресивною. Також руйнування чорних металів в ґрунті прискорюють мікроорганізми. Особливо активно цьому процесу сприяють сульфовідновлювальні бактерії і сіркобактерії.

Особливістю зношування робочих органів посівних і ґрунтообробних машин є також і те що вони різними поверхнями взаємодіють з абразивною масою абразивні частинки яких знаходяться в різних ступенях взаємозв'язку (ступінь закріпленості абразиву), а відповідно співвідношення механізмів процесу абразивного зношування буде також істотно відрізнятися, що призведе до локальних процесів зношування.

Різні механізми зношування в робочих органах посівної техніки можна спостерігати на прикладі робочих органів посівного комплексу VADERSTAD Rapid A 800 C (рис. 2).



Рисунок 2 – Характерний вид поверхні тертя робочого органу посівного комплексу VADERSTAD Rapid A 800 C: а) зовнішня сторона робочого органу; б) внутрішня сторона робочого органу

Як видно з рис. 2 внутрішня сторона покрита дрібними подряпинами, що свідчить про переважання в процесі абразивного зношування механізму мікрорізання поверхні, а полірована зовнішня сторона свідчить про переважання механізму пластичної деформації. Різниця обумовлена лише ступенем закріпленості абразивних частинок, оскільки мікрорізання внутрішньої сторони відбувається в результаті закріплення абразивних частинок між робочим органом і чистиком, що ще раз підтверджує необхідність введення в математичні моделі абразивного зношування робочих органів показника, який враховував би ступінь закріпленості абразивних частинок.

Абразивні частинки в ґрунті мають такий взаємозв'язок, який можна розглядати як адгезійний, когезійний і просте механічне зчеплення. Взаємозв'язок абразивних частинок в ґрунті носить досить складний характер і

не може бути пояснений фізичним або хімічним зв'язком тому необхідно розробити відповідну шкалу яка дозволить враховувати даний показник в математичних моделях які об'єктивно описують процес зношування.

**Висновки.** Встановлення математичних закономірностей протікання фізико-хімічних та механічних процесів на поверхні тертя є безумовно актуальною задачею, оскільки дозволить розробити рекомендації для підвищення зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин.

## Список літератури

1. [Чихос Х.](#) Системный анализ в трибонике. A Systems Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear: монографія / Х. Чихос; пер. С.А. Харламов; ст. науч. ред. О.Н. Вишнякова; мл. науч. ред. Е.П. Орлова. - Москва: Мир, 1982. – 351 с.
2. [Ландау Л.Д.](#) Статистическая физика. Часть 1. – Издание 5-е. / Л.Д. Ландау, Е.М. [Лифшиц](#) // М.: [Физматлит](#), 2005. – 616 с.
3. Рыбакова Л.М. Структура и износостойкость металла. – М.: Машиностроение, 1982. – 212 с.
4. Костецкий Б.И. Сопrotивление изнашиванию деталей машин. – М.-К.: МАШГИЗ, 1959. – 478 с.
5. Трение, износ и микротвердость материалов: Избранные работы (к 120 летию со дня рождения) / Отв. ред. И.Г. Горячева; Предисл. И.Г. Горячевой; Вступ. ст. И.А. Буяновского, М.М. Хрущова (мл.). – М.: КРАСАНД, 2012. – 512 с.
6. Аулін В.В. Напружено-деформований стан ґрунту при його взаємодії з різальними елементами робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Науковий вісник Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.–Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2010. – №3 – С. 6-17
7. Тененбаум М.М. Сопrotивление абразивному изнашиванию / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
8. Огородникова Н.П. Химическое взаимодействие металлов – меди, железа и марганца с  $\alpha$ - и  $\beta$ -аминокислотами в водных и органических средах Автореферат / 02.00.04 – физическая химия к.х.н., Ростов-на-Дону, 2010 – 24с.
9. Огородникова Н.П. Поведение стали в кислых средах, содержащих аминокислоты, как модель возможного окислительного растворения железа / Н.П. Огородник, Н.Н. Старкова, Ю.И. Рябухин // Вестник Астраханского государственного технического университета / Астрахань: АГТУ. 2006 – № 6 – С. 51-55

**Аннотация****Физические, химические и механические процессы в трибосистеме  
«рабочий орган-почва»**

Борак К.В., к.т.н., Руденко В.Г., Кравчук А.В., Добранський С.С.

*В статье рассмотрены физические, химические и механические процессы, возникающие в процессе функционирования трибосистемы «рабочий орган-почва». Констатируется, что большинство процессов протекающих в трибосистеме не учтенные при моделировании процесса изнашивания рабочих органов.*

**Physical, chemical and mechanical processes trybosystem in «working tool – soil»**

Borak K. Ph.D., Rudenko V., Kravchuk A., Dobransky S.

*The article deals with the physical, chemical and mechanical processes that occur in the operation trybosystem "working tool – soil". Stated that most of the processes occurring in trybosystem not taken into account when modeling the process of working wear.*