

УДК 631.31

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

**Борак К.В. д.т.н.**

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж*

*В роботі наведено аналіз процесу зношування робочих органів ґрунтообробних машин та процесів, які протікають у зоні фрикційного контакту. Проаналізовано вплив різних факторів на інтенсивність процесу абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин.*

Підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин можливе тільки за умови всебічного розуміння процесу їхнього зношування. Під час експлуатації ґрунтообробних машин робочі органи піддаються інтенсивному зношуванню в агресивній абразивній масі (ґрунті), унаслідок чого в зоні контакту одночасно протікають механічні, фізичні та хімічні процеси. Співвідношення між інтенсивністю протікання цих процесів визначають механізм і характер абразивного зношування.

Зрозуміти механізми зношування будь-якого елемента трибосистеми неможливо без розуміння механізмів тертя. Перші спроби пояснення механізмів тертя зробив Леонардо да Вінчі у подальшому процесі, що відбуваються під час тертя, вивчали Г. Амонтон, Дж. Т. Дезагюльє, Б. Томсон, Дж. П. Джоуль, У. Хардлі, Я. І. Френкель, Л. Прандтль, Дж. Томлінсон, Б. В. Дерягін, Г. Тейлор, Ф. Боуден, Д. Тейбор, І. В. Крагельський, Б. І. Костецький, Дж. Персон та ін. На сьогодні домінують в усьому світі стала «адгезійно-деформаційна» або «молекулярно-механічна» теорія, базована на працях Ф. Боудена, Д. Тейбора, І. В. Крагельського та ін. На думку деяких авторів дана теорія розглядає тільки макроскопічні аспекти механізмів тертя і не спроможна відповісти на фундаментальні питання трибології. Основним її недоліком є неврахування атомних зв'язків як в елементі трибосистеми так і взаємодія атомів різних елементів трибосистеми. В умовах абразивного зношування переважною складовою механізмів тертя і зношування буде саме механічна та молекулярна складова, тому взаємодією між атомами можна знехтувати.

У сучасному розумінні абразивне зношування (abrasive wear) – це механічне зношування внаслідок різальної або дряпальної дії твердих тіл або частинок, які знаходяться в закріпленому або вільному стані. У сільськогосподарській техніці абразивному зношуванню найбільше піддаються робочі органи посівних і ґрунтообробних машин. Тому забезпечення зносостійкості зазначених деталей на стадії проектування – актуальне завдання сільськогосподарського машинобудування, вирішення якої можливе лише на основі адекватних уявлень про механізм абразивного зношування.

Стандартно абразивне зношування поділяють на зношування закріпленими частинками (two-body abrasive wear) та зношування незакріпленими частинками (three-body abrasive wear). Перший процес відбувається, коли абразив ковзає вздовж

поверхні (grooving abrasion), другий – коли тверда частинка вільно перекачується між двома поверхнями, що знаходяться у відносному русі (rolling abrasion). Це так зване закрите абразивне зношування (closed abrasion), на відміну від відкритого процесу (open abrasion), коли потік незакріплених абразивних частинок переміщується по твердій поверхні.

На мою думку та думку деяких таких поділ абразивного зношування можна вважати неповним. Зокрема у праці Добровольського А. Г. зазначено, що тертя робочих органів у ґрунті є результатом взаємодії поверхні робочих органів із твердими частинками «зчепленими в нежорстку масу». Тобто абразивні частинки можуть знаходитися в закріпленому та вільному стані, але в процесі тертя можуть змінювати свою зв'язаність, як у напрямку збільшення, так і зменшення. У дослідженнях В. М. Бобрицького та В. В. Ауліна такий стан абразивної маси названий «напівзакріплений абразив». У дослідженнях А. Г. Добровольський, посилаючись на ГОСТ 23.002-78 дав таке визначення абразивного зношування – це механічне зношування матеріалу внаслідок загальної різальної або дряпальної дії на нього твердих частинок, що знаходяться у вільному, напівзакріпленому або закріпленому стані. У ГОСТ 23.002-78 слово «напівзакріпленому» відсутнє, але в третьому розділі праці А. Г. Добровольський розглядається «Стійкість матеріалів у процесі зношування нежорстко закріпленими абразивними частинками». Піддаються такому виду абразивного зношування ґрунтообробний інструмент, інструмент дорожніх та будівельних машин, ковші екскаваторів і канавокопачів. Механізм зношування напівзакріпленим абразивом відбувається переважно завдяки пластичному відтискуванню і меншою мірою шляхом мікрорізання. Підтвердженням можливості одночасного протікання двох видів абразивного зношування є наявність на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин слідів мікрорізання та полірованої поверхні (рис. 1).

В праці К. Хокірігави та К Като зазначається, що існують три різні режими абразивного зношування (рис. 2).



Рис. 1 – Типова поверхня тертя робочих органів ґрунтообробних машин (робочі органи фірми «Веднар FMT», напрацювання агрегату 130 га, Попільнянський район Житомирська область)

Режими зношування, представлені на рис. 2, належать до зношування закріпленими абразивними частинками й не можуть повною мірою описати складні механізми абразивного зношування, що відбуваються під час зношування сталльної поверхні в ґрунті. Абразивна частинка в ґрунті, яка взаємодіє з поверхнею робочого органу, може бути закріплена з одного, двох або

трьох боків, тобто мати різні ступені свободи, що істотно впливає на механізми, які протікають на поверхні тертя.

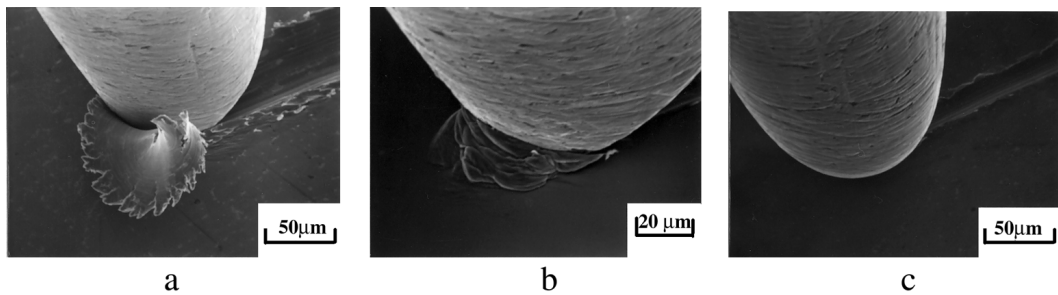
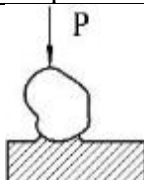
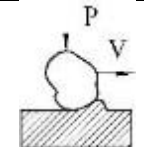
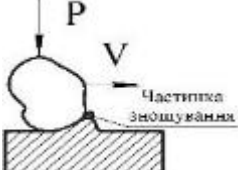


Рис. 2 – Три різні режими абразивного зносу, що спостерігаються за допомогою SEM: режим різання (а), сталевий штифт на латунній пластині; клиноутворювальний режим (б), сталевий штифт на пластині з нержавійної сталі; режим оранки (с), сталевий штифт на латунній пластині.

Характеристика зв'язаного стану частинок – це як відомо ступінь закріпленості абразиву, що в низці випадків є провідним фактором зношування. Наприклад, у важких дискових боронах передній ряд дисків зношується в 1,5...2 рази швидше, ніж задній, що, найімовірніше, пов'язане зі зменшенням ступеня закріпленості абразивних частинок у ґрунті, який обробляється заднім рядом дисків, оскільки інші фактори зношування для обох рядів дисків однакові. Для визначення ступеня закріпленості абразиву необхідна відповідна шкала, яка на сьогодні не розроблена.

Відповідно до «молекулярно-механічної» теорії механізм абразивного зношування складається з 3 етапів, представлених у табл. 1.

Таблиця 1 – Принципова схема руйнування матеріалів у процесі абразивного зношування

Етапи руйнування поверхні		Процеси
1. Проникнення абразивної частинки		1. Взаємодія абразивної частинки з поверхнею. 2. Локальне пружно-пластичне відтискування поверхневого шару металу з утворенням навалок.
2. Переміщення абразивної частинки		1. Зародження і збільшення мікротріщин. 2. Зародження і збільшення мікротріщин. 3. Відрив поверхневого шару від основної частини металу.
3. Відокремлення частинки зносу		1. Утворення валика з деформованого матеріалу. 2. Пластичне відтискування валика абразивною частинкою. 3. Зріз металу й утворення частинки зносу.

Викликає сумнів окреме протікання першого та другого етапів руйнування матеріалів у процесі абразивного зношування робочих органів у ґрунті. Більш імовірним під час зношування робочих органів, які працюють у ґрунті, є одночасне протікання першого та другого етапів, де процес проникнення і

переміщення відбувається одночасно, про що може свідчити зміна ширини й глибини одиничної канавки на поверхні робочих органів.

У процесі абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин перед виникненням першого етапу можливе протікання й інших етапів, які можуть як зміцнювати робочу поверхню (наклеп частинками, що не проникають у поверхню через різні фактори), так і знижувати абразивну зносостійкість (взаємодія з патокою коріння, яка містить гліцин та аспірин, які сприяють окислювальному розчиненню сталі). Тому цю схему руйнування матеріалів під час процесу абразивного зношування робочих органів у ґрунті (табл. 1) можна зарахувати тільки до одного окремого випадку.

Механізм зношування робочих органів ґрунтообробних машин прямо залежить від розміру абразивних частинок у ґрунті та ступеня їхнього закріплення, на що яскраво вказує зміна шорсткості поверхні лемеша плуга в процесі експлуатації на ґрунтах із різним середнім розміром абразивних частинок. Зокрема, під час експлуатації лемешів на ґрунтах які містять більше дрібних абразивних частинок, показники шорсткості становили  $R_a=0,8$  мкм,  $R_t=6,86$  мкм,  $R_v=4,78$  мкм,  $R_p=2,32$  мкм, а при збільшенні відсотка крупних фракцій абразивних частинок  $R_a=1,13$  мкм,  $R_t=10,50$  мкм,  $R_v=7,60$  мкм і  $R_p=2,74$  мкм.

Під час експлуатації робочих органів ґрунтообробних машин у ґрунті шорсткість металевої поверхні змінюється й прагне до певного стабільного значення. Інколи поверхня робочого органу буде вигладжуватися, а інколи вихідна гладка поверхня ставатиме шорсткою, що зі свого боку буде залежати від переважальних механізмів зношування (полідеформаційного руйнування чи зняття мікростружки). У процесі експлуатації робочих органів у ґрунті зношування їхньої поверхні відбувається за наявності двох механізмів зношування поверхні, наведених вище. Переважання одного з двох механізмів зношування залежить від характеристик абразивної маси (розмір абразивних частинок, коефіцієнт форми абразивних частинок, ступінь закріплення абразивних частинок, вологість тощо), з якою взаємодіє кристалічне тіло, від умов експлуатації (швидкість відносного переміщення та тиск на поверхні тертя) та фізико-механічних властивостей кристалічного тіла. Абразивна маса так само змінює геометричні параметри абразивних частинок, зокрема після циклічної взаємодії абразивних частинок із поверхнею кристалічного тіла частинки округлюються, що призводить до зменшення коефіцієнта форми абразивних частинок.

Кількість вакансій (точкових дефектів) під час тертя в тонкому приповерхневому шарі (кристалічного тіла) доходить до  $2,5 \times 10^{21}$  атомів/см<sup>3</sup>. У звичайних умовах не більше  $10^{18}$ - $10^{19}$  атомів/см<sup>3</sup>. Вплив наявності вакансій на процес зношування залишається не вивченим до цього часу, адже більшість дослідників приділяють увагу аналізу впливу лінійних та об'ємних дефектів на процеси тертя і зношування. Виникнення лінійних дефектів (дислокацій) суттєво впливає на механізм зношування. У процесі тертя в поверхневому шарі наявність дислокацій невелика, основне їх скупчення відбувається на певній глибині від поверхні. Велике їх скупчення призводить до утворення тріщин, які розміщені паралельно до поверхні зношування. Коли тріщини досягають критичного значення, відбувається відокремлення продуктів зношування.