

К.В. Борак, П.О. Рябчук, О.П. Рябчук
Житомирський агротехнічний фаховий коледж

ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Абразивне зношування є одним з найпоширеніших видів спрацювання деталей сільськогосподарських машин, особливо робочих органів ґрунтообробних знарядь. Під час обробітку ґрунту тверді частинки ґрунту (пісок, пил та глинисті включення, каміння) діють як абразив, що призводить до інтенсивного стирання поверхонь робочих органів. За оцінками, до 75–80% випадків простоїв сільськогосподарської техніки зумовлено саме абразивним зношуванням деталей. Внаслідок цього погіршується продуктивність і зростають витрати – зношування робочих органів збільшує опір та енергоспоживання агрегату. Зокрема, тертя ґрунту об робочі поверхні може складати 20–30% опору ґрунтообробних машин, а зі зростанням спрацювання інструментів опір руху ще більше підвищується. Зношені плуги і культиватори гірше ріжуть ґрунт, потребують більшого тягового зусилля, що веде до перевитрати палива та зниження якості обробітку. Через інтенсивний знос ресурс деталей є обмеженим: наприклад, роторні ножі фрези часто потребують заміни вже через ~80 годин роботи. Таким чином, підвищення зносостійкості ґрунтообробних органів є критично важливим для сільського господарства з точки зору економії та надійності техніки. Це зумовлює значну увагу науковців до вивчення механізмів абразивного зношування і пошуку шляхів їхнього уповільнення.

З погляду фізико-механічних процесів, абразивне зношування виникає при контакті твердих частинок з поверхнею матеріалу за наявності відносного руху і навантаження. Розрізняють двотільне (two-body abrasive wear) та трьохтільне (three-body abrasive wear) абразивне зношування. У випадку двотільного зношування абразив є частиною однієї з контактуючих поверхонь (наприклад, виступи шорсткості твердої поверхні дряпають м'якший метал). Трьохтільне зношування характерне для ґрунтообробних робочих органів – тверді частинки ґрунту виступають як третє тіло між робочим органом і масивом ґрунту, вільно перекочуються або проковзують,

діючи як абразивний порошок. Саме трьохтільний абразивний знос переважає при роботі плугів, культиваторів та інших ґрунтообробних знарядь.

На мікрорівні абразивне зношування реалізується через кілька основних механізмів. Перший – мікрорізання (різальний знос), коли тверда частинка ковзає по більш м'якій поверхні подібно до різця, зрізуючи дрібні частки матеріалу у вигляді стружки. При мікрорізанні на поверхні залишаються подовжені подряпини (скребки), а знятий матеріал утворює дрібні уламки – продукти зношування. Другий механізм – мікрооранка (абразивне борозноутворення): частинка не зрізає матеріал повністю, а втискається і пластично переміщує його убік, утворюючи борозну з підняттям гребнів з країв. Частина матеріалу при цьому залишається привареною до країв борозни у вигляді валиків. Поступово ці гребні можуть наклепуватися (ущільнюватися) і частково відламуватися – наприклад, внаслідок виникнення втомних тріщин при багаторазовому навантаженні. Третій можливий механізм – крихке викришування (мікротріщини і відколювання), яке проявляється у відносно крихких матеріалах або при високих локальних напруженнях. У цьому випадку тверда зернина спричиняє зародження тріщин у приповерхневому шарі металу і шматочки матеріалу можуть вириватися цілими пластинками або лусочками. На поверхні після такого механізму помітні вибоїни (ями) різних розмірів. Насправді всі ці механізми часто діють одночасно, хоча залежно від умов якийсь один домінує. Наприклад, для в'язких сталей переважають пластичні механізми (різання і пластичне борознення), тоді як для дуже твердих або крихких матеріалів більшу роль відіграє утворення тріщин і уламкове зношування.

Фактором, що визначає режим зношування, є співвідношення твердості абразиву і матеріалу деталі. Чим більша твердість частинок порівняно з металом, тим більше схильний метал до різального зносу з утворенням стружки. За класичною теорією, якщо твердість інструмента H_s менш ніж в $\sim 1,3$ рази перевищує твердість абразиву H_a , то має місце інтенсивний знос за типом мікрорізання (так званий «severe abrasion»), тоді як при значно твердішому матеріалі інструмента зношування уповільнюється і частіше відбувається мікрооранка без відриву великих часток (режим «mild abrasion»). Наприклад, у наведеному вище досліді з ковким чавуном було показано, що підвищення твердості матриці від бейніту до мартенситу підвищило її зносостійкість майже лінійно.

Тверді карбідні включення в сплаві додатково захищають від зношування, хоча можуть і самі вириватися, якщо слабо зв'язані з основою. Іншим підтвердженням ролі міцності є порівняння сталей різної мікроструктури: мартенситна сталь з твердістю ~ 45 HRC зносилася значно повільніше, ніж перлітна сталь ~ 25 HRC в однакових умовах, а шорсткість її поверхні після тесту була в $1,3$ – $1,9$ рази нижчою. Отже, твердість і мікроструктура матеріалу визначають переважний механізм його спрацювання – через пластичну деформацію чи через крихке руйнування.

Схема механізму абразивного зношування (утворення борозни при «мікрооранці» та формування частинок зносу внаслідок відламу гребня і розвитку тріщин). Частинки абразиву, рухаючись по поверхні (стрілка – напрямок ковзання), утворюють борозну із підняттям гребнів матеріалу. В наступних циклах гребнів сплющується і частково ламається, утворюючи дрібні пластинчасті частки зносу.

За типових умов роботи ґрунтообробних органів має місце багаточисельне повторне дряпання поверхні потоком абразивних зерен. Це призводить до поступового наклепу (зміцнення) поверхневого шару у разі пластичного деформування або до накопичення мікротріщин у разі крихкого режиму. На сталі після певного періоду експлуатації часто формується тонкий зміцнений шар із втисненими залишками абразиву чи оксиду – так званий трибошар, який частково захищає основу. Таким чином, механізм абразивного зношування є багатостадійним: початкова притирка, стабілізований знос і за високих навантажень, перехід до прискореного руйнування.

При деталізованому розгляді процесу зносу безпосередньо на робочій поверхні знаряддя можна виділити кілька стадій і характерних ознак. Робоча поверхня нового інструменту спочатку має певну мікрогеометрію (шорсткість від обробки). На перших годинах роботи відбувається притирання – нерівності згладжуються абразивом, на поверхні з’являються хаотичні подряпини. Після цього встановлюється більш стабільний режим зношування, коли рельєф поверхні пристосовується до дії потоку частинок. Основний механізм, як згадувалося, – це утворення численних дрібних подряпин і борозен вздовж напрямку відносного руху ґрунту. Дослідження шорсткості реально напрацьованих плугів показало, що на їх робочій поверхні переважають поздовжні риски, причому середня глибина подряпин (R_v) приблизно в 2,7 рази перевищує висоту гребнів (R_p). Це означає, що матеріал здебільшого видаляється у вигляді стружки, а не нагромаджується на поверхні. Під мікроскопом (SEM) зношена поверхня ґрунтообробного знаряддя виглядає як “пейзаж” з паралельних канавок різної ширини і глибини, з окремими залисинами і вибоїнами. Наприклад, на рисках леміша, що працював у піщаному ґрунті, були помітні як вузькі глибокі подряпини, так і ширші борозни з підняттям губок металу по краях. На краях деяких борозен спостерігалися дрібні тріщини, а місцями – відламані шматочки гребнів, утворюючи дрібні ямки. В цих ямках нерідко залишаються зерна ґрунту – абразив, що застряг у матеріалі після удару. Також були зафіксовані поодинокі округлі заглибини – пінхоли, які виникли від ударів більших камінчиків під крутим кутом. Навколо таких вибоїв видно не деформований пластичний край, що свідчить про крихке руйнування (відколювання) матеріалу в цих точках. У більш дрібнозернистому ґрунті картина дещо інша: подряпини дрібніші і менш глибокі, зате їх більше; широких борозен майже немає. Натомість число дрібних вибоїв-пінхолів більше і багато з них теж заповнені часточками абразиву. Це вказує, що при переважанні дрібного

абразиву матеріал зношується радше шляхом мікрорізання (стирання порошком), а великі зерна, якщо трапляються, влучають рідко, але все ж створюють локальні глибші пошкодження. Цікаво, що для обох типів ґрунту не було виявлено принципової різниці в механізмах зносу різних частин плуга (леміш і полиця зношувалися подібно) – визначальним фактором є саме склад ґрунту, а не геометрія цієї площини.