

10. Партон В.З. Механика упругопластического разрушения / В.З. Партон, Е.М. Морозов. – М.: Наука, 1985. – 504 с.
11. Рябцев Г.А. К методике определения составляющих тягового сопротивления культиваторных лап / Г.А. Рябцев // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1967. – № 6. – С. 55–56.

В работе выяснен физический механизм возникновения резонансов в системе «вибрационная разрыхлительная лапа - почва» и проведен расчет рациональных параметров взаимодействия рабочих органов с почвой с учетом существенной нелинейности лапы и почвы как упруго-вязко-пластической среды.

Резонанс, рыхление, вибрация, лапа культиватора, почва.

The paper clarified the physical mechanism of resonances in system "oscillation tillage tool - soil" and conducted calculation of rational parameters of interaction of tillage tools with soil, taking into account material nonlinearity tools and soil as elastic-visco-plastic medium.

Resonance, loosening, vibration, cultivator share, soil.

УДК 631.794

ЗАКОНОМІРНОСТІ МЕХАНОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ АБРАЗИВНОМУ ЗНОШУВАННІ МАШИН

М.І. Денисенко, кандидат технічних наук

У статті описано комплексне дослідження абразивних процесів на деталях машин і робочих органах, оцінка механіки деформування і хімії взаємодії з середовищем.

Абразивне зношування, робочі органи, поверхня тертя, леміш плугу.

Постановка проблеми. Під терміном «абразивний знос» розуміємо руйнування поверхонь тертя під впливом твердих частинок, що є в зоні тертя. Таким чином, до цього виду відносимо знос, який визивається частками, що відокремлюються в процесі тертя. Абразивне зношування на протязі тривалого часу зв'язували виключно з ріжучим впливом абразивних частинок, що здавалося цілком очевидним, і на протязі багатьох десятиліть не зазнавало сумнівів. Дослідження показали, що абразивні частинки, контактуючи

© М.І. Денисенко, 2014

з поверхневим шаром, створюють в ньому широкий спектр контактних напружень, характер розподілу яких і верхня межа числових значень залежать від властивостей матеріалу, що зношується, а також від твердості, форми, розміру частинок і умов їх впливу на поверхню деталі.

Детальні дослідження М.М. Хрущова і М.І. Бабічева, узагальнені в роботі [1], присвячені в основному дослідженню абразивного зношування жорстко закріпленим абразивом (зношування здійснювалося по абразивній шкірці). Дійсно, в своїх дослідках, автори спостерігали утворення стружки. Але це явище не мало всебічного характеру.

За існуючими уявленнями, основою абразивної взаємодії при роботі деталей і робочих органів машин є механічні процеси пошкодження і руйнування основного матеріалу поверхонь тертя. Це привело до одностороннього підходу при вирішенні практичних завдань. Неминучі механохімічні процеси, що визначають процеси тертя при абразивному зношуванні більшості деталей і робочих органів машин, практично не вивчені.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження починали з всебічного вивчення стану поверхонь тертя і поверхневих шарів деталей машин та умов їх експлуатації, що дозволило виявити фактори, які обумовлюють протікання механохімічної форми абразивного зношування, та встановити причини розвитку якого-небудь іншого патологічного процесу руйнування поверхні, якщо такий має місце. [2,3]. Всі дослідження поверхневих шарів металів здійснювали за допомогою металознавчого аналізу і методів експериментальної фізики. Аналіз процесів зношування деталей машин здійснювали з точки зору структурно-енергетичної теорії. Розділення видів абразивного зношування дозволило створити випробувальну установку для відтворення не формальних зовнішніх умов роботи конкретних вузлів тертя, а процесів зношування і пошкодження, що спостерігаються при роботі реальних деталей машин. Випробування спочатку здійснювалися в лабораторних умовах на обладнанні ПАТ «НДІферммаш». В якості зношуваного середовища використовується повітряно-абразивний потік дробоструменевого поста власного виготовлення. Абразивним матеріалом є дріб чавуну, колотий за ГОСТ 11964-81 з розмірами частинок від 40 до 1500 мкм, різної форми. Твердість 58-64 HRC. Кут впливу потоку до поверхні зносу деталей 75° . Відстань від зрізу сопла до поверхні зносу 50-60 мм. Діаметр сопла 8 мм, пляма абразивного потоку на робочій відстані 20 мм. Тиск повітря в магістралі 50-60 МПа. Заміри величини зносу проводилися після витрат 100, 200, 300 грамів абразиву, випробування припинялися

після виробки до основи покриття або напаяних пластин. Зносостійкість матеріалу деталей машин, виготовлених зі сталі 65Г з загартуванням СВЧ, прийнята за 1,0. Найбільшу зносостійкість (в 150 разів в порівнянні зі сталлю 65Г) має твердий сплав ВК-6; потім НТН-30 (120 разів); ТК-2 (30 разів); сталь Р6М5 (6 разів); реліт (наплавлення) в 4,3 рази; сталь 65Г (лазерне гартування) 1,2 рази.

Зразки порошкових нанокompозитів досліджували методами: растрової (сканувальної) електронної мікроскопії РЕМ (СЕМ); електронної Оже спектроскопії, ЕОС-надвисоко вакуумний Оже-мікрозонд марки JEOL JAMP-10S. Концентрацію елементів оцінювали за інтенсивністю характерних Оже-ліній та відповідних коефіцієнтів відносної чутливості за відомою [4] формулою:

$$C_i = \frac{I_i/g_i}{\sum_{k=1}^n I_k/g_k}, \quad (1)$$

де C_i , I_i та g_i – концентрація (в ат. %), інтенсивність всієї Оже-лінії або її характерної частини та коефіцієнт відносної чутливості для i -го елемента відповідно; n – загальна кількість всіх елементів, концентрація яких розраховується.

Мета досліджень – вивчення механохімічної форми абразивного зношування та розробка обґрунтованих заходів по підвищенню зносостійкості деталей робочих органів сільськогосподарських машин, що експлуатуються в абразивному середовищі.

Результати досліджень. Різання ґрунту та рослин є розповсюдженою технологічною операцією в агропромисловому комплексі: оранка, культивація, боронування, косіння трав, подрібнення силосу, збирання зернових і технічних культур та інші операції складають не менш як 70% всього об'єму механізованих робіт. При взаємодії з ґрунтом робочі органи ґрунтообробних і посівних машин зазнають інтенсивного абразивного зношування. В той же час, від стану леза робочого органу сільськогосподарської машини залежать, в першу чергу, такі показники роботи, як ступінь підрізання бур'янів, середня глибина культивації, ступінь подрібнення, стійкість ходу лап (лемеша) за глибиною, опір руху агрегату. Підвищення зносостійкості робочих органів сільськогосподарських машин вітчизняного виробництва є актуальною проблемою для виробників і споживачів, тому що ресурс роботи багатьох елементів нижче закордонних аналогів в 2-3 рази.

Перші спроби моделювання були поєднані зі встановленням залежностей швидкості зношування від загальновідомих механічних характеристик: твердості, тимчасового опору розриву, межі втоми, модулю нормальної пружності. Найбільш вдало цей підхід використаний для моделювання абразивного зношування. В

створених моделях абразивного зношування розрізняють ковзання деталі по монолітному абразиву, вільному абразиву в насипному стані, удар з монолітним або вільним абразивом, гідро і газоподібне зношування та різна взаємодія контактуючих деталей з абразивними частками. Складність та не стаціонарність процесу, його випадковий характер не дозволили створити загальну теорію абразивного зношування. Вид зношування визначається характером взаємодії абразивних частинок з поверхневим шаром матеріалу. На деталях сільськогосподарських машин спостерігається абразивне зношування трьох видів, в кожному з яких є два підвиди (табл.). В таблиці деталі машин згруповані за ознакою спільності видів зношування, що дозволяє вивчати зносостійкість матеріалів незалежно від розмірів, форми та функціонального призначення деталей [5]. Дослідження форми абразивних частинок структури, геометрії та елементного складу різних груп деталей і робочих органів машин показало, що ведучим видом зношування є механохімічна форма абразивного зношування.

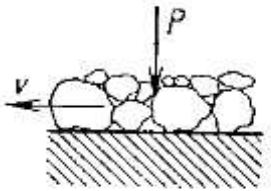
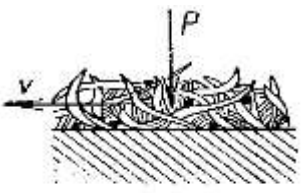
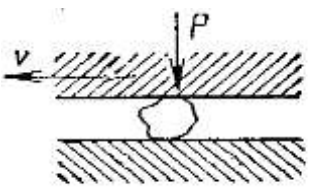
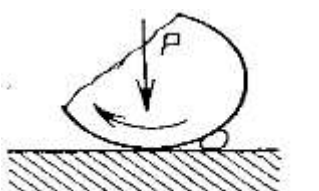
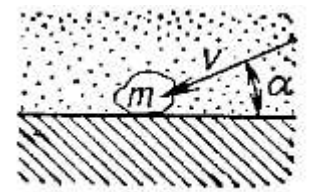
У всіх випадках відбувається активування поверхневих шарів деталей, миттєва взаємодія з активними елементами середовища, окислювання з утворенням нових фаз-вторинних структур та їх наступне руйнування.

Визначення елементного складу поверхневих об'ємів металу, головним чином по кисню, дозволило встановити, що в процесі технічної експлуатації на поверхнях тертя усіх досліджених деталей, що працюють в абразивному середовищі, утворюється новий трансформований шар-вторинна структура механохімічного походження. Проведені дослідження дозволяють запропонувати розподілення шляхів підвищення абразивної зносостійкості на управління параметрами механічних властивостей деталей машин і хімічною активністю робочих середовищ.

На основі результатів ОЖЕ-спектрального аналізу поверхонь тертя деталей машин встановлено, що максимум кисню знаходиться не на самій поверхні тертя, а на певній відстані від неї, як правило, на глибині близько 0,1 мкм і складає 15...28% [9].

При терті поверхонь виділяють дві ділянки з різним напружено-деформованим станом: ділянку пружно пластичної деформації і ділянку пружної деформації. За даними [6,7] глибина першої ділянки не перевищує сотень ангстрем, в той час, як ділянка пружної деформації може дорівнювати декілька сотень мікрометрів. Різне посилення фізико-хімічної активності поверхневого шару є наслідком виникнення в матеріалі високої не зрівноваженої концентрації недосконалостей: вакансій та дислокаційних атомів, щільність яких прагне до насичення [8].

Основні види абразивного зношування деталей сільськогосподарських машин [5].

Схема контакту абразивних часток з поверхнями деталей, що зношуються	Вид і умови зношування		Приклади деталей і робочих органів, що зношуються
 I	У масі абразивних часток	При переміщенні в ґрунтовій масі і мінеральних добривах	Плужні лемеші, культиваторні лапи, плужні полиці, польові дошки, шнеки завантажувачів добрив
 II		При переміщенні в рослинній масі, що містить абразивні частки	Ножі кормозбиральних комбайнів, сегменти жаток, шнеки збиральних машин, деталі силосопроводів
 III	Контактно-абразивне	Спряжених деталей при терті ковзання з абразивними частками в контакт	Відкриті шарнірні з'єднання, підшипники ковзання, зуб'я зірочок і ланки ланцюгів
 IV		Теж саме, при терті кочення	Шестерні відкритих передач, диски борін
 V	Гідро і газоабразивне	Твердими частками в потоці рідини	Сопла і дефлектори дощувальних машин, розпилюючі наконечники оприскувачів, колеса відцентрових насосів
 VI		Теж саме, в потоці повітря	Лопатки вентиляторів, деталі систем пневмотранспортування, молотки дробарок

Про формування вторинних структур кисневого походження на поверхнях тертя досліджуваних матеріалів, свідчать дані за наявності кисню в поверхневих шарах, отримані методами рентгено і спектрального аналізу. Вимірюємо інтенсивність характеристичних спектральних ліній для кожного елементу, і використовуючи коефіцієнти відносної чутливості елементів в Оже електронах, розраховуємо відносні атомарні концентрації. Типові концентраційні профілі елементів показано на рис. 1, рис. 2. Вони характеризують стан поверхневого шару з покриттям ПГ-С27 і композиційного матеріалу КХЖ-70.

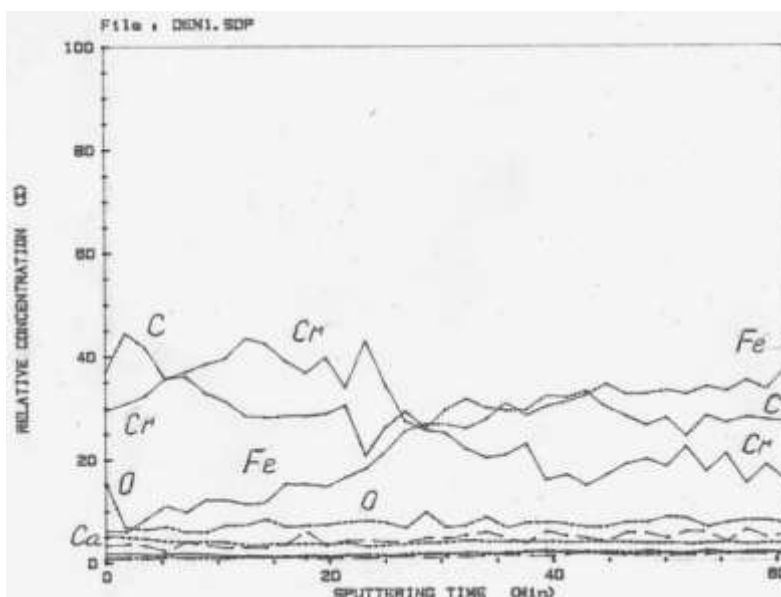


Рис. 1. Концентраційний профіль елементів у поверхневому шарі товщиною 300 нм=0,3 мкм композиційного матеріалу КХЖ-70.

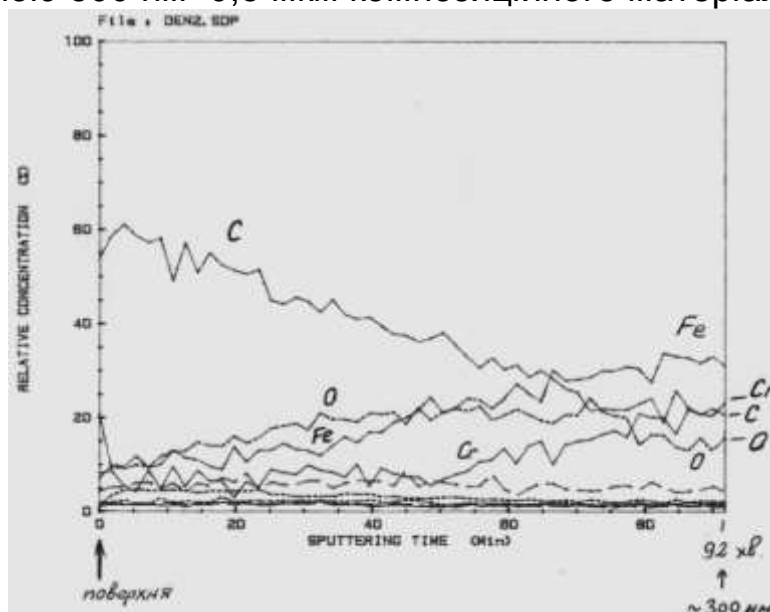


Рис. 2. Концентраційний профіль елементів у поверхневому шарі товщиною 200 нм=0,2 мкм покриття ПГ-С27.

Кількість кисню в поверхневих шарах і глибина шарів знаходяться в прямій залежності з механічними властивостями матеріалів, і одним з основних параметрів процесу тертя-тиском, що визначає інтенсивність пластичної деформації при абразивному зношуванні. На рис. 3, рис. 4 показано Оже спектри досліджуваних матеріалів.

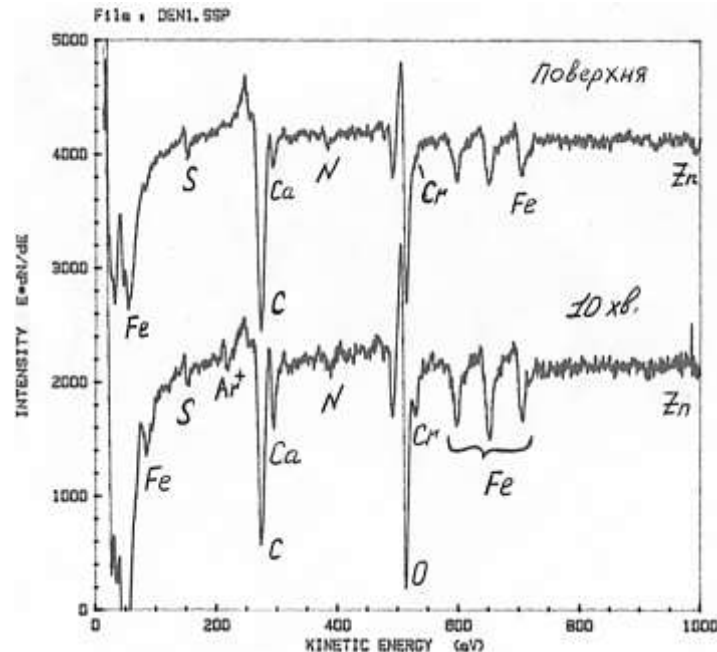


Рис. 3. Оже- спектри поверхні тертя з покриттям ПГ-C27 товщиною 200 нм=0,2 мкм покриття ПГ-C27.

На поверхні утворюється вуглецева плівка (рис.1.), під нею плівка оксидів заліза і хрому. Кисню не дуже багато і утворюються вторинні структури I типу зі значною кількістю вуглецю. На поверхні утворюється плівка карбіду хрому. Вуглець за відношенням до кисню є елементом відновлювачем, що відновлює металеві зв'язки, перешкоджає процесам окислення металу та процесам формування вторинних структур II типу.

У зв'язку з цим ці вторинні структури можна віднести до ВС I типу. Градієнт концентрацій за глибиною кисню і вуглецю спостерігаємо збагачений, в об'ємі сталі цього елементу немає, кисень накопичується з навколишнього середовища. Хімічний склад вторинних структур характеризується підвищеним вмісту кисню, кількість якого в поверхневих шарах деталей робочих органів складає 0,041...16,8%. Тонкі плівки абразивної зони тертя зазнають складного процесу руйнування-відновлення, що не узгоджуються з традиційними засадами термодинаміки рівноважних систем. Динамічна рівновага в утворенні і руйнуванні плівок вторинних структур визначає характеристики зношування спряжень і деталей робочих органів.

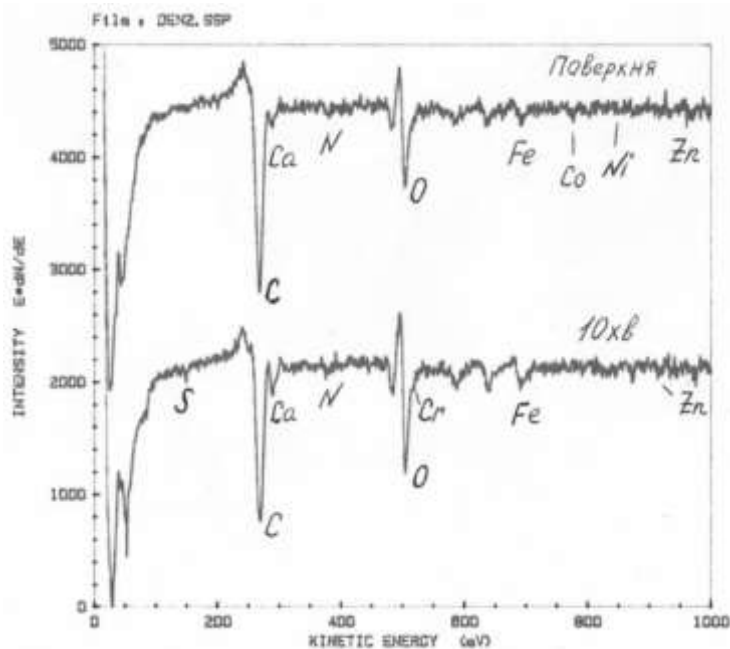


Рис. 4. Спектри поверхні тертя композиційного матеріалу КХЖ-70.

Плівки вторинних структур (ВС) екранують основний матеріал від безпосереднього контакту і руйнування; інтенсивність зношування при цьому мінімальна. [9]. При заданих умовах абразивного впливу конкретного матеріалу протікає певний процес зношування, але в різних матеріалах процеси зношування можуть бути різними. акад. П.А. Ребіндер розглядав абразивне зношування матеріалів, як поверхневе диспергування в результаті багатократної пластичної деформації, яка призводить до зміцнення і втомного руйнування мікрооб'ємів матеріалу [10]. І.В. Крагельський запропонував кількісну теорію зношування твердих тіл з врахуванням втомної природи поверхневого руйнування, яка за основними ідеями може бути використана і для абразивного зношування [11].

Висновки

Додатковим фактором, що суттєво впливає на процеси тертя і зношування, являється наявність абразиву, неминуче присутнього в місцях контактування спряжень і деталей робочих органів сільськогосподарських машин.

Механо-хімічна форма абразивного зношування і пошкодження найбільш розповсюджені види руйнування робочих поверхонь ґрунтообробних, посівних, саджальних і кормозбиральних машин.

Список літератури

1. Хрущов М.М. Абразивное изнашивание / М.М. Хрущов, М.А. Бабичев. – М.: Наука, 1970. – 232 с.

2. *Поверхностная прочность материалов при трении* / [Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. и др.] ; Под общ. ред. Костецкого Б.И. – К.: Техника, 1976. – 296 с.
3. *Костецкий Б.И.* Механо-химические процессы при граничном трении / *Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И.* – Наука, 1972. – 170 с.
4. *Анализ поверхности методами Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии* : Пер. с англ. / Под ред *Д. Бриггса, М.П. Сиха*. – М.: Мир, 1987. – 600 с.
5. *Тененбаум М.М.* Сопротивление абразивному изнашиванию / *М.М. Тененбаум*. – М.: Машиностроение, 1976. – 271 с.
6. *Надежность и долговечность машин* / [Костецкий Б.И., Бершадский Л.И., Караулов А.К.]. – К.: Техника, 1975. – 399 с.
7. *Костецкий Б.* Процесс схватывания металлов и критерии оценки его интенсивности / *Б. Костецкий, И. Носовский*. – К.: Техника, 1972. – Проблемы трения и изнашивания ; вып. 2. – С. 131.
8. *Костецкий Б.И.* Структурно-энергетические основы управления трением и износом в машинах / *Б.И. Костецкий*. – К.: Общество «Знание», 1990. – 31 с.
9. *Зазимко О.В.* Закономерности механохимических процессов при абразивном изнашивании сталей : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец.05.02.04 «Трение и износ в машинах» / *О.В. Зазимко*. – К.: 1988. – 19 с.
10. *Ребиндер П.А.* Влияние активных смазочных сред на деформирование сопряженных поверхностей трения / *П.А. Ребиндер*. – Минск: Наука и техника, 1971. – С. 27.
11. *Крагельский И.В.* Трение и износ в машинах / *И.В. Крагельский*. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

В статье описано комплексное исследование абразивных процессов на деталях машин и рабочих органах, оценка механики деформирования и химии взаимодействия с внешней средой.

Абразивное изнашивание, рабочие органы, поверхность трения, лемех плуга.

The paper describes complex approaches of friction processes of machine tooling and its elements. This problem can be achieved on way of devising dynamical models which well completely express friction and abrasive of wear processes models considered will allow to extend friction unit capacity and to improve their reliability.

Abrasive wear, working organs cultivation machine, blade share, surface hardening.