

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО ЯВИЩА СТРУКТУРНОГО ПРИСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ

Національний університет біоресурсів і природокористування України

*Досліджено зносостійкість деталей сільськогосподарських машин в умовах абразивного зношування. Розглянуто питання моделювання процесів абразивного зношування.*

**Вступ.** Під терміном «абразивне зношування» розуміють руйнування поверхонь тертя під впливом твердих частинок, що перебувають у зоні тертя. До цього виду належить знос, спричинений частинками, що відокремлюються в процесі тертя. Механічний вплив абразивних частинок на зношуваний матеріал здебільшого залежить від їх форми, ступеня закріплення, співвідношення механічних властивостей абразивної частинки та зношеної поверхні, діючих навантажень.

Частинки, гранично зміцнені, можуть вільно рухатися в зоні тертя, або, проникнувши в один з елементів пари тертя, поводитись як мікронерівності [1]. Абразивне зношування та пошкодження – найбільш поширенні види руйнування робочих поверхонь ґрунтообробних, садильних, кормозбиральних, машин для тваринництва і кормовиробництва. Деталі автомобілів, тракторів і сільськогосподарських машин зношуються нерівномірно. Так, наприклад, термін експлуатації гусеничного трактора Т-74 становить лише всього 6–10% гарантійного терміну експлуатації трактора, а стандартних лемешів тракторного плуга – 7,2% його технічного ресурсу [2]. Співвідношення між нормальними процесами та явищами пошкодження під час експлуатації машин суттєво змінюється в часі. Зі збільшенням наробітку питома частка нормальних процесів помітно зменшується, відповідно збільшується частка абразивного зношування і пошкодження, схоплювання, фретинг-процесу та інших недопустимих явищ. Установлено, що у вузлах тертя різних машин, які працюють за наявності абразиву, на поверхнях робочих органів процесів елементарного різання зі зняттям мікростружки не спостерігається (рис. 1).

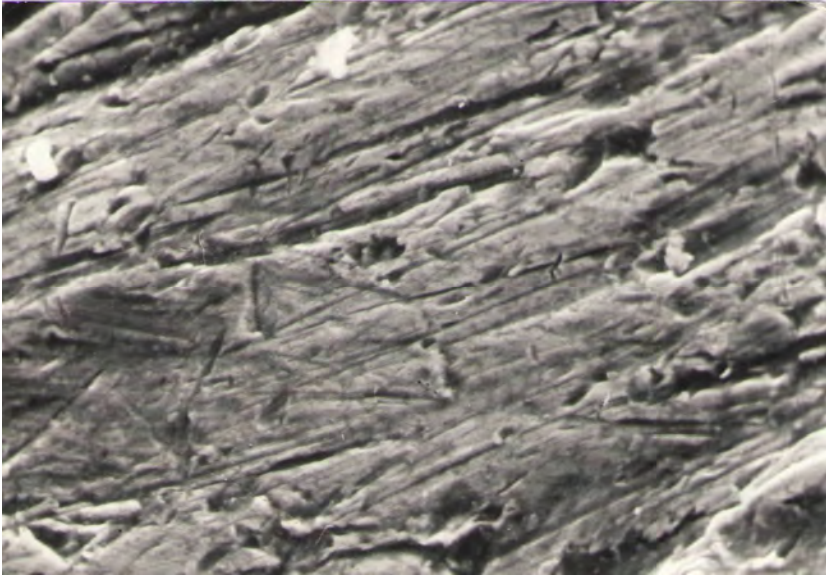


Рис.1. Мікрофотографія поверхні тертя сталі 65Г в умовах абразивного зношування ( $\times 2000$ )

Досліди в лабораторних умовах і теоретичні розрахунки свідчать про те, що процеси взаємодії металу з абразивом не є чисто механічними. Взаємодія абразивних частинок з робочими поверхнями деталей машин обмежується тільки деформацією поверхневих шарів металу, причому залежно від конкретних умов вона поширюється на різну глибину і має різну інтенсивність. Цю форму абразивного зношування називають механохімічною [3].

Механохімічна модель процесу абразивного зношування включає такі фази процесу: механічний контакт; пружно-пластичну деформацію; активізацію–утворення тонкого шару деформованого активного металу; миттєву пасивацію–взаємодію активованого металу з хімічно активними компонентами середовища (утворення послаблених вторинних структур); руйнування вторинних структур наступними механічними впливами. Значно рідше в машинах спостерігається абразивне зношування з перевагою механічного руйнування.

**Мета дослідження.** Дослідження абразивного зношування деталей та вузлів машин на основі теорії універсального явища структурного пристосування матеріалів в умовах тертя.

**Результати досліджень.** Механічна модель процесу абразивного зношування включає: механічний контакт та пружно-пластичну деформацію; упродовження абразивних частинок і руйнування поверхневих шарів без відокремлення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки. Процес утворення частинок зносу в умовах тертя є одним з найважливіших питань, позитивне вирішення якого забезпечує передумови для пояснення механізму руйнування поверхонь і побудови динамічної або розрахункової моделі.

Виявлене раніше явище структурного пристосування матеріалів в умовах тертя – це закономірність зміни структури і властивостей поверхневих шарів в енергетично вигідному напрямі, тобто перебудова вихідної структури поверхневих шарів тертьових матеріалів у сталу, енергетично більш вигідну, форму для умов навантаження [4].

Стійкість форми забезпечує мінімальні енергетичні витрати на тертя, а робота, що витрачається на руйнування одиниці об'єму матеріалу поверхневих шарів, стає максимальною. При цьому процес зовнішнього тертя стабілізується, настає динамічна рівновага і саморегулювання всієї системи. Сутність відкритого явища полягає в тому, що для всіх матеріалів і умов середовища існує певний діапазон навантажень та швидкостей переміщення, який забезпечує перебіг нормального механохімічного зношування.

Загальні ознаки структурного пристосування характеризуються: 1) наявністю нормального (оптимального) процесу тертя та різних видів пошкодження; 2) впливом зовнішніх механічних навантажень, природи тертьових матеріалів, складу і концентрації газових та рідких мастильних середовищ на оптимізацію параметрів нормального тертя; 3) оптимізацією мікрогеометрії.

Комплекс взаємозв'язаних процесів, які обумовлюють структурну пристосованість матеріалів, забезпечує стійкий динамічний стан зносостійкості і антифрікційності (фракційності) тільки за умови динамічної рівноваги та саморегулювання процесів і дотримання таких енергетичних співвідношень:

$$\int_V \frac{\Delta E(V)}{A} dV = \min, \quad \frac{A}{3} = \max,$$

де  $\Delta E$  – зміна поглиненої енергії;  $A$  – робота сил тертя;  $V$  – об'єм;  $3$  – знос.

Енергія, необхідна для руйнування (питома робота руйнування матеріалів), визначається природою матеріалів і не залежить від умов навантаження [5]. Питому роботу зношування і пошкодження можна використовувати як головну характеристику для вибору матеріалів, методів їх обробки і мастильних середовищ, а також під час проектування, виготовлення і експлуатації машин.

Механізм руйнування поверхневих шарів в умовах абразивного зношування такий. Тверді абразивні частинки під час тертя контактують з поверхнею металу і ковзають по ній. Як тільки сумісна дія нормальних і тангенціальних зусиль починає перевищувати певну критичну величину, характерну для певного матеріалу, абразивне зерно проникає поверхню і починає її руйнувати зазвичай без зняття мікростружки. Наступні абразивні частинки продовжують руйнування аж до відокремлення мікрочастинок металу. Якщо в умовах абразивного зношування переважає проковзування і деформування поверхонь контакту абразивними частинками, то великого значення набувають супутні явища взаємодії активованого деформованого металу і кисню повітря.

На поверхнях тертя утворюються вторинні структури. Подальша взаємодія таких вторинних структур з абразивними частинками призводить до їх руйнування. Процес утворення і руйнування плівок вторинних структур періодично повторюється. Такий характер абразивного зношування, аналогічний характеру окислювального зношування, який поширюється під час експлуатації ґрунтообробних машин.

Різниця між величинами руйнування поверхневих шарів в умовах нормального механохімічного зношування і руйнування унаслідок патологічних процесів пошкодження становить 2–7 порядків (рис. 2). Ці дані були отримані шляхом статистичної обробки великої кількості результатів вимірювань величин зношування і пошкодження деталей конкретних машин, а також даних лабораторних випробувань, проведених за широкого діапазону змін матеріалів, середовищ і умов навантаження.

Для кожного процесу на діаграмі показано поле розсіювання, величина якого обумовлена впливом умов тертя на кількісні показники цього процесу. Найбільша відносна величина поля розсіювання зафіксована для фретинг-процесу, що, очевидно,

пов'язано із сутністю цього процесу, зумовленого як явищами схоплювання (максимальні значення руйнування), так і окиснювання.

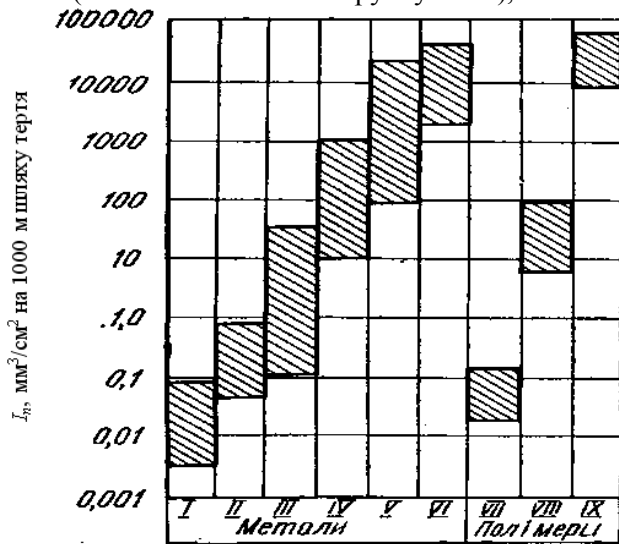


Рис. 2. Інтенсивність руйнування поверхневих шарів металів і полімерів за різних видів зношування і пошкодження (за даними Б.І. Костецького): I – нормальний механохімічний знос металів; II – механохімічна форма абразивного зношування; III – фретинг-процес; IV – схоплювання II роду (термічне); V – схоплювання I роду (атермічне); VI – механічна форма абразивного руйнування металів; VII – нормальний механохімічний знос полімерів; VIII – теплове пошкодження полімерів; IX – абразивне пошкодження полімерів

Найменші відносні межі поля розсіювання були отримані в умовах нормального механохімічного зношування і механічної форми абразивного зношування, що спричинено з однорідністю якісних характеристик цих видів руйнування.

Відмінність у структурі, властивостях і поведінці під навантаженням не дозволяє повністю використовувати існуючі уявлення, теоретичні і експериментальні розробки про поверхневу міцність, зносостійкості і пошкодження металів. Але загальним для полімерів і металів є: схема напружено-деформованого стану, розподіл процесів поверхневого руйнування на нормальні, теоретично неминучі і практично допустимі, явища пошкодження і

зумовлена з цим закономірність – явище структурного пристосування. Але механізми структурного пристосування для полімерів і металів мають суттєві відмінності.

Як критерій пошкодження поверхонь тертя в абразивному середовищі було взято величину квадрата відносної глибини пошкодження під впливом одиночної абразивної частинки  $h_2$ . Вивчення процесу поверхневого руйнування під впливом окремих абразивних частинок дозволяє встановити закономірності зношування та пошкодження в середовищі абразиву.

Залежності пошкодження сталі 45 від навантаження на абразивну частинку показано на рис. 3.

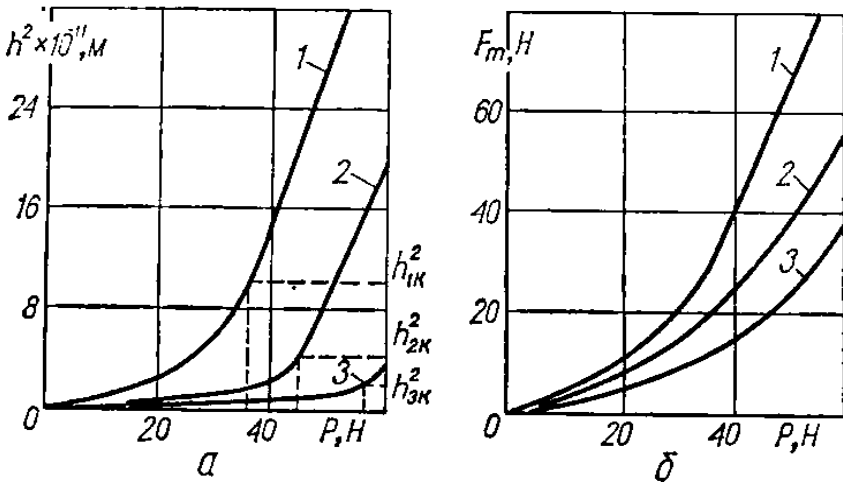


Рис. 3. Залежність пошкодження сталі 45 (а) і сили тангенціального опору в умовах тертя (б) від навантаження на абразивну частинку. Температура відпуску сталі, К: 1 – 773; 2 – 623; 3 – 423 (за даними М.Ф. Сагача, В.Д. Гречкосія, Ю.П. Дяченко)

Якщо навантаження, менші від критичних величин  $P_{кр}$ , відбувається пластичне деформування металу. Із досягненням  $P_{кр}$  відбувається мікрорізання. Спостерігається лінійна залежність від тиску. Величина пошкодження залежить від ступеня термічного зміцнення сталі. Використаний підхід дозволяє в конкретних умовах для конкретних матеріалів виявляти критичні навантаження переходу від механічної форми абразивного пошкодження до

допустимої механохімічної форми абразивного зношування та знизувати його інтенсивність.

Критичні величини навантажень, швидкостей і температур, які порушують динамічну рівновагу, суттєво залежать від структури механічних і хімічних властивостей матеріалів, від складу і властивостей мастильних середовищ. Додатковим фактором, що суттєво впливає на порушення нормального тертя, є наявність абразиву, неминуче наявного в зонах контактування спряжень і деталей сільськогосподарської техніки.

**Висновки.** Вивчення явища структурного пристосування дає можливість глибше проникнути в сутність відомих методів зміцнювальних технологій та обґрунтувати принципи розроблення нових методів зміцнення.

За наявності абразивного середовища в зоні тертя процеси пластичної деформації і активації матеріалу поверхневих шарів різко посилюються, окиснення охоплює глибші шари і перебігає більш інтенсивно.

Утворення механохімічної або механічної форми абразивного зношування залежить від співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів зношеного матеріалу.

### Список літератури

1. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский. – М. Машиностроение, 1977 – 526 с.
2. Сагач М.Ф. Эксплуатационные и физические основы повышения надежности и работоспособности сельскохозяйственной техники / М.Ф. Сагач. – М.: Изд. МИИСП, Автореферат докторской диссертации. – 1975.
3. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И. Костецкий. – К.: Техника, 1970 – 396 с.
4. Универсальное явление структурной приспособляемости при трении. / Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К., Костецкая Н.Б., Ляшко В.А., Сагач М.Ф. – К.: УкрНИИНТИ, 1974 – 32 с.
5. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов / В.С. Иванова. – М.: Металлургиздат, 1963 – 398 с.

*Денисенко Н.И.* **Моделирование процессов абразивного изнашивания на основании теории универсального явления структурной приспособляемости материалов** // Проблемы тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 53. – С.26–33.

Исследована износостойкость деталей сельскохозяйственных машин в условиях абразивного изнашивания. Рассмотрены вопросы моделирования процессов абразивного изнашивания.

Рис. 3, список лит.: 5 наим.

**Modeling process in the abrasive wear at base of theory universal fact of structure material**

The wear resistance of part agricultural machine in the conditions of abrasive wear. Considered problem modeling process abrasive wear.

Стаття надійшла до редакції 04.06.10