

*М. І. Денисенко, канд. техн. наук, доц.,
А. С. Опальчук, д-р техн. наук, проф.*

СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОСПРЯЖЕНЬ МАШИН

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Наведено результати незалежних експериментальних досліджень, що доказують механохімічний механізм абразивного зношування металевих фрикційних поверхонь. Це відкриває можливості описувати і досліджувати цей процес з позицій структурно-енергетичного підходу.

Сутність проблеми. Для забезпечення нормальної роботи вузла тертя необхідно, щоб його деталі мали об'ємну міцність. Часто причиною передчасного виходу з ладу деталей машин є саме недостатня їх об'ємна міцність. Але досягнення високої об'ємної міцності матеріалу не завжди забезпечує його поверхневу міцність. Напружено-деформований стан контактної зони в умовах тертя без пошкодження поверхонь специфічний і характеризується [1–3]:

1) високим значенням відношення поверхні до zdeформованого об'єму. В цьому випадку реалізується прямий силовий вплив на субструктуру поверхні в зонах фактичного контакту, тому пластична деформація локалізується в тонких поверхневих шарах. Цей ефект різко посилюється за наявності на поверхнях тертя деконцентраторів напружень – граничних мастильних шарів;

2) високою однорідністю (гомогенністю) пластичної деформації та аномальною пластичністю поверхневих шарів. Це обумовлено наявністю надвисокого гідростатичного тиску в зоні контакту (ефект Кармана–Бріджмена–Верещагіна), знакозмінним характером прикладання зсувних напружень та багаторазовістю актів деформації, а також ефектом адсорбційного пластифікування за наявності мастильного середовища, яке містить поверхнево-активні речовини;

3) різко вираженою орієнтацією структури поверхонь в напрямку відносного переміщення під час тертя, що зумовлює анізотропію zdeформованих об'ємів;

4) впливом середовища, яке зумовлює трансформацію фазового складу, структури і відповідно здеформованості поверхневих шарів під час тертя.

Унаслідок наведених особливостей напружений стан не може бути описаний з використанням існуючих теорій механіки суцільного середовища. Аналіз видів поверхневого руйнування в умовах тертя показує, що всі процеси можна розділити на допустимі (зношування) і недопустимі (пошкодження).

До допустимих належить механізм утворення на поверхнях тонких плівок захисних вторинних структур, що мінімізують тертя та зношування. Найпоширенішою різновидністю допустимого зношування є окиснювальний, що має декілька форм прояву [4].

Недопустимі процеси пошкодження – схоплювання першого та другого роду, механічна форма абразивного зношування, фреттинг-процес; утома під час кочення (пітинг).

Методи дослідження. Натепер найбільш детально розроблені молекулярно-механічна, втомна, абразивна, ерозійна теорії поверхневого руйнування в умовах тертя. Відповідно до першої концепції на плямах дійсного контакту утворюються адгезійні містки (містки зварювання між твердими тілами), що є результатом молекулярної взаємодії між поверхнями [5].

Як підтвердження втомної природи зношування у парці [6] наведено такі результати. У разі переходу з більшого навантаження на менше спостерігається період, протягом якого зношування зовсім припиняється. В цьому явищі автори вбачають аналогію із закономірністю розповсюдження втомних тріщин в об'ємі матеріалу, коли з переходом від більших навантажень до менших тріщина тимчасово припиняє своє зростання, а потім знову розвивається.

Тут автори виявляють, що залежність часу припрацювання від діючого зусилля якісно нагадує зв'язок між діючим напруженням та кількістю циклів до зруйнування. Ця обставина, на їх думку, може також слугувати побічним підтвердженням ведучої ролі втомних процесів під час зношування. Запропонована одним із дослідників класифікація видів порушення фрикційних зв'язків у поєднанні із втомною теорією зношування дозволяє більш детально вивчити закономірності абразивного зношування.

Основна ідея такого підходу полягає в тому, що якщо діючі напруження або деформації не досягають критичного значення, то однократного впливу на матеріал недостатньо для того, щоб спричинити його зруйнування. Огляд існуючих уявлень про механізми абразивного зношування показав, що більшість авторів розглядають абразивні процеси в умовах тертя як шкрябання, упровадження, проорювання та зняття мікростружки, тобто чисто механічні.

Для багатьох видів контактної взаємодії у разі зовнішнього тертя абразивні процеси є основними. Як газове, так і рідке середовище, в якому відбувається тертя деталей машин, неминуче містять абразивні домішки. Процеси абразивного зношування відбуваються особливо інтенсивно під час роботи деталей робочих органів сільськогосподарських та інших машин. Відповідно до сучасних уявлень система тертя, в тому числі і за наявності абразивного середовища, розглядається як відкрита термодинамічна система, яка обмінюється енергією і речовиною із середовищем. Найбільш активним елементом зовнішнього середовища при цьому є кисень повітря, розчинений в мастилі або міститься в ґрунті.

Загальна методика полягає в комплексному підході до вивчення механізмів та закономірностей механохімічних процесів, що відбуваються під час абразивного зношування з урахуванням зовнішніх механічних впливів, термодинамічної природи системи тертя, трансформації структури та зміни елементного складу матеріалів. Досліджено деталі робочих органів машин, абразивні середовища та зразки після випробувань. Для дослідження механізмів абразивного зношування і поверхневого руйнування, а також особливостей кінетики утворення вторинних структур використано сучасні методи тонкого фізичного експерименту.

Результати досліджень і обговорення. Досліди в лабораторних умовах і виробничі випробування свідчать про те, що процеси взаємодії металу з абразивом не є чисто механічними. Взаємодія абразивних частинок з робочими поверхнями машин обмежується тільки деформацією поверхневих шарів металу, причому залежно від конкретних умов вона поширюється на різну глибину та має різну інтенсивність. Ця форма абразивного зношування названа меланохімічною.[4]. Механохімічна модель процесу абразивного зношування включає такі складові процесу: механічний контакт;

пружно-пластичну деформацію; активізацію-утворення тонкого шару здеформованого 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 виявляється абразивне зношування з переважанням механічного руйнування.

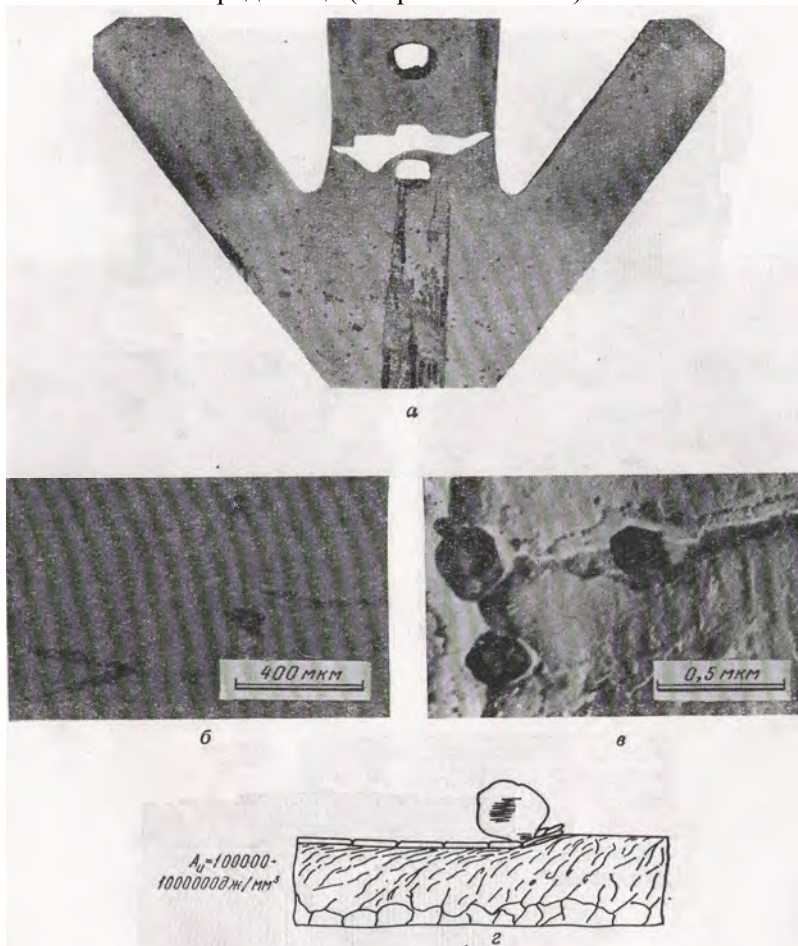
Утворення механохімічної або механічної форми цього виду руйнування залежить від співвідношення механічних властивостей абразивних частинок і поверхневих шарів металу, що зношується, величини робочого навантаження на абразивні частинки, геометричних параметрів абразивних частинок і фізико-хімічної активності середовища.

Механохімічні процеси формування вторинних структур на поверхнях тертя зумовлені зовнішніми механічними впливами, природою тертьових матеріалів та складом робочих середовищ. Робочі органи ґрунтообробних, садильних, кормозбиральних і кормоприготувальних машин під час експлуатації зазнають абразивного механохімічного зношування. Процес зношування в цих умовах характеризується незначною пластичною деформацією поверхневих шарів металу, хімічною взаємодією з агресивним середовищем (волога, гумус, кисень, вуглекислий газ та ін.), утворенням та руйнуванням плівок оксидів (вторинних структур) (див. рисунок).

У результаті досліджень кінетики механізмів утворення та властивостей трансформованих поверхневих плівок, здійснених в широкому діапазоні зміни умов тертя на різних матеріалах і в різних середовищах, були виявлені два основні типи вторинних структур [4]. Загальними для вторинних структур є їх поверхнева локалізація, високоміцна ультродисперсна будова, здатність мінімізувати руйнування поверхневого шару та екранувати недопустимі процеси схоплювання, втоми, корозії.

Вторинні структури першого типу так само, як і «шари Бейльбі», треба розглядати як перенасичені тверді розчини кисню в пластично деформованих, ультрамікроскопічних поверхневих активних об'ємах металу. Зі збільшенням питомої роботи тертя відбувається перехід від вторинних структур першого типу до вторинних структур другого типу. Для кожного металу і сплаву існує

ють певні критичні умови зовнішніх механічних впливів і середовища, за яких на поверхнях тертя утворюються вторинні структури другого типу, які являють собою хімічні з'єднання металу з активним елементами середовища (зокрема з киснем).



Механохімічна форма абразивного зношування лапи культиватора:
a – загальний вигляд; *b* – мікрофотографія поверхні тертя; *c* – електронна фотографія, яка ілюструє руйнування плівок вторинних структур зернами абразиву; *d* – схема взаємодії абразивної частинки з поверхнею металу

Результати досліджень показали, що за механічними властивостями і міцністю зчеплення з основою окиснювальні плівки, що утворюються безпосередньо в умовах тертя (вторинні структури) суттєво відрізняються від плівок, отриманих термічним шляхом. Вторинні структури другого типу часто являють собою оксиди нестехіометричного складу з дефіцитом кисню [7]. Динамічна рівновага в утворенні та руйнуванні вторинних структур визначають зношувальні характеристики поверхонь тертя. Концепцію механізму цього явища розвинуто в працях Б.І. Костецького [7] та інших дослідників і підтвердилася результатами проведеними нами експериментів.

Глибина трансформованого і окисненого шару деталей машин (диск борони, лапа культиватора, леміш плуга, ніж подрібнювального барабана кормозбирального комбайна) становить 0,15...0,25 мкм, уміст кисню перебуває в межах 0,37...16,8%. Визначення елементного складу поверхневих об'ємів металів головним чином кисню, дозволило встановити, що в процесі експлуатації на поверхнях тертя всіх досліджених деталей, що працюють в абразивному середовищі, утворюється новий трансформований шар—вторинна структура механохімічного походження.

Хімічний, фазовий склад та властивості вторинних структур залежать від комплексу характеристик вихідної структури матеріалу, але прямо не пов'язані з жодною окремо взятою властивістю. В момент утворення вторинних структур першого типу матеріал перебуває в стані надпластичності. Геометрія плівок в умовах дискретності контакту призводить до заповнення нерівностей поверхонь, а потім до відокремлення плівок з поверхонь.

Плівки, утворені на поверхні внаслідок тертя, і основний метал відрізняються хімічним складом, структурою, параметрами графок, щільністю (питомим об'ємом), поверхневою енергією. Вторинні структури забезпечують мінімізацію руйнування поверхневого шару за рахунок їх високої міцності та різкого зниження сил тертя, а також екранування (гальмування) фізико-хімічних перетворень і руйнування шарів матеріалу, розміщених нижче. Критичні величини навантажень, швидкостей і температур, спричиняючи порушення динамічної рівноваги, суттєво залежать від структури механічних та хімічних властивостей матеріалів, від складу і властивостей мастильного середовища. Додатковим фактором, що

впливає на порушення нормального тертя, є наявність абразиву, який неминуче наявний в зонах контактування спряжень сільсько-господарської техніки.

Висновки

1. Зміни вихідного хімічного складу зумовлює збільшення або зниження схильності матеріалу до пасивації. Це також може бути причиною зміни типу вторинних структур на поверхнях тертя.

2. Середовище (тверде, рідке і газоподібне) суттєво впливає на напружений стан в зоні контакту та надає ряд ознак процесам поверхневого руйнування при терті.

3. Унаслідок особливостей, вказаних вище, напружений стан неможливо описати математично з використанням наявних теорій механіки суцільного середовища.

Список літератури

1. *Исследование* процессов деформации металлов и сплавов при внешнем трении.- В сб. «Тезисы докладов седьмой Всесоюзной конференции по физике прочности и пластичности металлов и сплавов». Куйбышев, узд. Куйбышевского политехнического института 1973. /Б.И. Костецкий, А.К. Караулов, А. И. Бармашенко, В.А. Ляшко, Ю.И. Созин.

2. *Костецкий Б.И.* Износостойкость деталей машин. / Б.И. Костецкий М.,К.: Машгиз, 1950. – 168 с.

3. *Костецкий Б.И.* Износ металлов и масштабный фактор. // ДАН УССР, –1951, –№2.

4. *Костецкий Б.И.* Основные вопросы теории трения и изнашивания деталей машин. / Б.И. Костецкий – В сб.: «Развитие теории трения и изнашивания». – М., Изд-во АН СССР, – 1957.

5. *Крагельский И.В.* Трение и износ. – М., Машиностроение, 1968.– 480 с.

6. *Endo K., Fukuda Y., Togata H.* The Wear of Steel in Lubricating Oil under Varying Load. Bull. JSME, vol. 12, №51, 1969, p. 539–547.

7. *Костецкий Б.И.* Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И.Костецкий, И.Г.Носовский, А.К.Караулов, Л.И.Бершадский, Под общ. ред. д-ра техн. наук Б.И. Костецкого –К.: Техніка, 1976. –296 с.

Денисенко Н.И.; Опальчук А.С. Структурно-энергетический подход при управлении процессами контактного взаимодействия элементов трибосопряжений машин // Проблемы тертя та зно-

шування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2010. – Вип. 54. – С.52–59.

Приведены результаты независимых экспериментальных исследований доказывают механохимический механизм абразивного изнашивания металлических фрикционных поверхностей. Это открывает возможность описывать и исследовать этот процесс с позиций кинетики структурно-энергетического подхода.

Рис.1., список лит.: 7 наим.

Denysenko M.I., Opalchuk A.S. **Structure-energetic approach near operation process and contact interaction component a treibointerface machine**

The results of independent experimental researches prove the mechanical-chemical form of abrasive wear process of metal frictional surfaces. It opens possibility to describe and investigate this process structure-energetic approach.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2010