

УДК 621.891

І. Ярема, к.т.н. доц., Р. Лещук, к.т.н., доц., А. Гупка, к.т.н., доц., В. Буховець, к.т.н. асистент

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

СТРУКТУРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД В КЕРУВАННІ ПОВЕРХНЕВОЮ МІЦНІСТЮ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕРТІ

I. Yarema, Ph.D., Assoc. Prof., R. Leshchuk, Ph.D., Assoc. Prof., A. Gypka, Ph.D., V. Bukhovets, Ph.D.

Ternopil Ivan Puluuj National Technical University, Ukraine

STRUCTURAL AND ENERGETIC APPROACH IN CONTROLLING THE SURFACE STRENGTH OF MATERIALS DURING FRICTION

Abstract. From the standpoint of the structural-energetic theory of friction and wear, general principles of managing the surface strength of materials during friction are proposed. The fundamental principles of tribology and the conditions for the formation of dissipative self-organizing secondary structures are considered. The role of the kinetic phase transition in the energy balance of processes in the zone of frictional contact is determined.

Масштаб та значення проблеми зовнішнього тертя оцінюються великими витратами енергетичних ресурсів на подолання тертя та великими втратами народного господарства зумовленого зносом машин та механізмів. Оптимальне вирішення широких та багатогранних задач триботехніки являється одним із найбільш ефективних і екологічно чистих шляхів економії енергії та матеріалів. На жаль більшість задач триботехніки вирішується малоефективним шляхом, при відсутності виробничого контролю і комплексної системи управління якістю трибосистем (ТС).

Пари тертя відносяться до систем, які обмінюються енергією і речовиною із зовнішнім середовищем. Фундаментальні принципи трибології знаходяться у відповідності до першого та другого законів термодинаміки. У відкритих ТС при певних умовах взаємодії потоків енергії і речовини проходять процеси впорядкування матерії, що відповідає зменшенню виробництва ентропії та утворенню самоорганізуючих дисипативних вторинних структур (ДВС).

Найбільш поширеним в роботі вузлів тертя машин та механізмів являється режим граничного тертя, при якому процес самоорганізації (СО) являється основою структурної пристосовуваності (СП) і проявляється шляхом утворення ДВС, які екранують основний матеріал поверхонь тертя від безпосереднього контакту, схоплювання та інтенсивного руйнування. ДВС являють собою тонкі плівки товщиною 10-100 нм, які утворюються в результаті кінетичного фазового переходу (КФП), основою якого являється синергетика процесів деформації, нагріву, дифузії, хімічних реакцій. Головним фактором, який визначає необхідність та механізми КФП, енергію активації, кінетику утворення, трансформації та руйнування ДВС, являється робота сил тертя [1]. На всіх етапах силового навантаження пари тертя відбувається взаємодія активованих поверхневих шарів з активними компонентами зовнішнього середовища (адсорбція, дифузія, хімічні реакції).

Експериментально підтверджено існування двох типів ДВС та їх проміжних станів. ДВС I являють собою перенасичені аморфізовані тверді розчини кисню, сірки, фосфору та інших реагентів в металах пар тертя та зовнішнього середовища і характеризуються бездислокаційною фрагментарною будовою, аномальною пластичністю, у яких при виході із контакту збільшується твердість. Товщина ДВС I –

20-50 нм. ДВС II являють собою хімічні з'єднання нестехіометричного складу, як правило з дефіцитом по реагуючому елементу, володіють аномально високою твердістю, при цьому відбувається, як правило, пружна деформація. Товщина ДВС II – 40-100 нм. Механізми руйнування ДВС, форма, розміри та склад продуктів зносу відповідають виявленим механізмам вторинного структуроутворення, міцності, пластичності та характеру деформації ДВС.

Суттєво, що КФП для режиму СО та утворенню ДВС не являється самовільним, а керується мінімальними принципами. Всі взаємодії в зоні тертя (в режимі СО) локалізуються в тонких поверхневих плівках. Мінімальний енергетичний принцип даного процесу записується у вигляді:

$$\int_V \frac{\Delta E(\vartheta)}{A_T} \alpha \vartheta \rightarrow \min .$$

Інтеграл енергії, яка поглинається, поверхнею тертя ΔE віднесений до роботи тертя A_T по об'єму, який трансформується V , наближається до мінімуму. Наслідками цього принципу являються наступні умови:

$$V_{ef} \rightarrow \min; \quad \frac{A_T}{A_p} \rightarrow \max; \quad \frac{V_E}{V_{ef}} \rightarrow \max ,$$

де V_{ef} – ефективний об'єм взаємодії; V_p – об'єм руйнування ДВС; V_E – об'єм матеріалу, який поглинув енергію E , близьку до граничної.

При цьому встановлено, що ДВС являються стабільними утвореннями і володіють властивістю саморегуляції.

Надзвичайна складність та багатогранність процесу тертя та зношення приводить до висновку, що дані процеси не можуть бути описані простим фундаментальним законом. Виходом являється комплексний підхід в якому поєднані теоретичні положення трибології з розвитком сучасних методів вирішення практичних задач. Практичне вирішення даної проблеми здійснюється на основі структурно-енергетичної теорії тертя та зношення, шляхом регулювання умов та параметрів СО ТС за допомогою конструкторських, технологічних та експлуатаційних засобів.

Фундаментальною енергетичною умовою СО ТС являється динамічна рівновага процесів трибоактивації та пасивації, при якій ефективна частина активації G_{Aef} еквівалентна енергії, яка запасастся поверхневими шарами ΔE та знаходиться в границях енергії, яка необхідна для утворення ДВС – $G_{ДВС}$:

$$G_{ef} = G_{ДВС} .$$

Співвідношення G_{Aef} до загальної енергії активації $G_{Aзаг}$ (роботи тертя) оцінюється коефіцієнтом енергії, яка запасастся $K_z = G_{Aef} / G_{Aзаг}$.

При порушенні умов СО ДВС виникають процеси пошкодження, механізми зовнішнього тертя порушуються, відбувається перехід до внутрішнього тертя. Основою кінетичної умови СО матеріалів ТС являється узгодженість процесів утворення ДВС та їх руйнування: $V_{утв ДВС} = V_{руйн ДВС}$

Важливою кінетичною характеристикою СО ТС являється періодичність циклів утворення, трансформації та руйнування ДВС, при цьому їхня міцність, в результаті синергетичних процесів при КФП, у порівнянні із міцністю основного матеріалу збільшується в декілька разів.

За результатами проведених досліджень побудована загальна закономірність (фундаментальна діаграма ведучих процесів) тертя та зношення, суть якої полягає в тому, що для всіх матеріалів і робочих середовищ існує діапазон навантажень і швидкостей переміщення в яких показники тертя та зношення стабільні і на декілька

порядків нижчі чим поза даним діапазоном (рис 1). Механізмом загальної закономірності являється універсальне явище СП матеріалів при механохімічних і термохімічних процесах тертя.

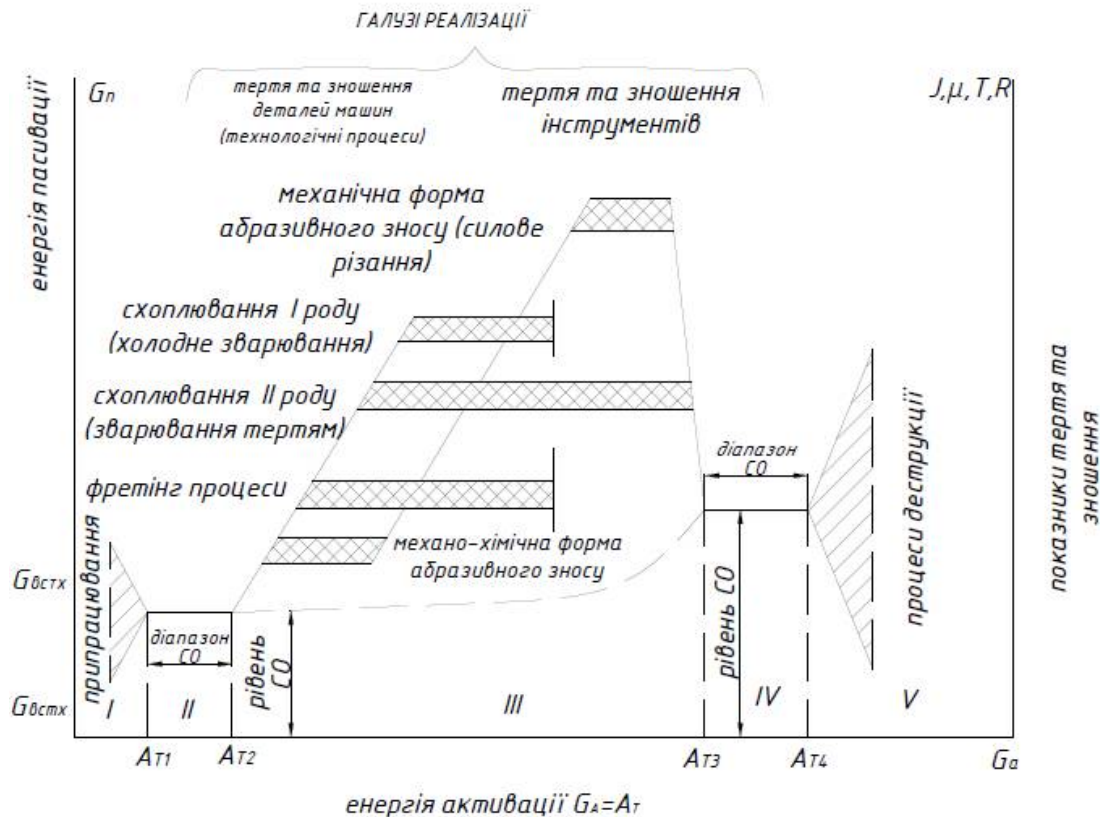


Рис. 1. Загальна закономірність тертя та зношення

I – Нестабільні процеси, II – Механохімічні процеси, III – Пошкоджуваність при терті, IV – Термохімічні та термомеханічні процеси ($BC_{ТХ}$, $BC_{ТМ}$), V – Об’ємне руйнування поверхонь тертя, J – величина зношування, μ – коефіцієнт тертя, T – температура в зоні тертя, R – контактний електричний опір пар тертя.

Результати процесів СО, утворення захисних ДВС оцінюються діапазонами СО (ДСО) та рівнями СО (РСО), які нормалізують показники тертя та зношення. Для кількісного опису ДСО і РСО ТС використовують енергетичні критерії енергоємності та питомої роботи руйнування. Питома енергоємність ТС по температурному показнику E_Q характеризується витратами роботи тертя A_T на підвищення температури на $1^\circ C$:

$$E_Q = \frac{A_T}{\Delta T}, \left(\frac{Дж}{см^2 \cdot 1^\circ C} \right).$$

Величина питомої роботи руйнування A_p характеризує витрати роботи тертя A_T на видалення з поверхні тертя одиниці об’єму матеріалу (1 мм^3): $A_p = \frac{A_T}{\Delta J}, \left(\frac{Дж}{мм^3} \right).$

Запропоновано комплекс фундаментальних умов та критеріїв, які можуть бути використані в якості методологічної основи подальших теоретичних та експериментальних робіт в галузі прикладної трибо техніки.

Література.

1. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. - Киев: Техника, 1976. - 296 с.