

Процеси самоорганізації трибосистеми при структурній пристосованості

Розглянуто механізми самоорганізації метастабільних дисипативних структур при терті залежно від базової основи та наявності функціональних присадок в трансмісійних оливах для гіпoidних передач.

Одним із найважливіших процесів, що протікають у зоні трибоконтакту при граничному терті, є, безперечно, процес надмолекулярної самоорганізації в мастильному шарі. Від особливостей протікання процесів надмолекулярної самоорганізації, що визначають товщину, структуру та екрануючі можливості граничного мастильного шару, залежатимуть такі значущі характеристики процесу тертя, як інтенсивність зношування матеріалів пари тертя, температура в трибоконтакті і сила тертя.

Первинні джерела самоорганізації трибосистем мають енергетичну природу, тому багато досліджень направлено на встановлення взаємозв'язку між зміною параметрів і властивостей утворених дисипативних структур при терті та необоротними перетвореннями енергії в області фрикційного контакту відповідно до виконаної роботи.

Тертя та зношування по суті є типовими енергетичними процесами, в ході яких відбувається перетворення механічної роботи або кінетичної енергії в інші види робіт. До таких перетворень можна віднести збільшення питомої роботи тертя, роботи пластичного деформування поверхневих шарів пар тертя, роботи зносу, які є перетворенням робіт у внутрішні (теплові), хімічні, потенційні та інші форми енергії. У роботі [1] проаналізовано складові рівняння енергетичного балансу трибосистеми з використанням існуючих феноменологічних (емпіричних) співвідношень, що визначають конкретні процеси, які відбуваються при терті та зношуванні. Встановлено основні фактори незворотності енергетичних характеристик фрикційного контакту, до яких насамперед можна віднести дисипацію роботи на подолання сил зчеплення, на процеси зношування, пластичну деформацію, дисипацію роботи на утворення та руйнування тріщин. Також слід віднести до факторів незворотності дисипацію роботи, пов'язану з процесами зміни стану речовини під час перебігу хімічних реакцій, дифузійних процесів, процесів теплопровідності.

У роботі [2] наведено результати експериментально-математичного моделювання еволюційних змін системи тертя внаслідок потужності необоротних перетворень енергопідведення в зону тертя. Запропоновані математичні моделі самоорганізації трибосистеми на основі її динамічної перебудови, включаючи біфуркації притягуючих сукупностей її деформаційних переміщень по траєкторії роботи сил тертя.

Одержані в [3] показники питомої роботи тертя в умовах масляного голодування свідчать про те, що схоплювання контактних поверхонь

відбувається тоді, коли поверхневий об'єм металу поглинає певну частину енергії граничної величини, що інтенсифікує процеси руйнування матеріалу контактних поверхонь. Проаналізована здатність трибосистеми до відновлення метастабільних структур в критичних режимах тертя, яка характеризується зростанням питомої роботи тертя в контакті, однак даний показник приймає мінімальні значення в періоді схоплювання контактних поверхонь.

Стадія хаотичної динаміки також може проявлятися і в мастильному матеріалі. У процесі експлуатації мастильний матеріал змінює свої властивості та накопичує домішки, що погіршує умови змащування та збільшує інтенсивність процесів зносу. Також в результаті трибохімічних реакцій можуть виникати корозійні процеси, кавітаційне або втомне зношування, обумовлене динамічними змінами тиску в зоні тертя [4].

Розкриття механізму самоорганізації метастабільних дисипативних структур при терті допоможе проводити відповідний підбір мастильних матеріалів, який дозволить підвищити ймовірність процесу самоорганізації для зниження інтенсивності зношування трибосистеми.

Метою роботи є визначення трибологічних критеріїв переходу трибосистеми у стан самоорганізації.

В якості мастильних матеріалів для досліджень було обрано трансмісійну оливу для гіпоїдних передач (ТСГіп) двох виробників (табл. 1). ТСГіп - це універсальна багатофункціональна олива, що містить високоефективні протизадирні присадки.

Таблиця 1.

Фізико-хімічні показники трансмісійної оливи для гіпоїдних передач ТСГіп

Показник	Зразок №1 (олива трансмісійна «Бора Б» ТСГіп)	Зразок №2 (трансмісійна олива ТСГіп)
В'язкість кінематична, мм ² /с (сСт) при 100°C	25,0	18,5
Вміст водорозчинних кислот та лугів	відсутність	відсутність
Масова частка механічних домішок, %	0,001	0,005
Вміст води, %	сліди	сліди
Масова частка сірки, %	2,3	2,01
Температура застигання, °C	-22	-46
Температура спалаху, °C	225	187
Корозійна дія на пластинки з: - сталі марок 40 або 50 по ГОСТ 1050; - міді марки М2 по ГОСТ 859	Витримує Дас потемніння	Витримує Дас потемніння

В якості матеріалу контактних поверхонь використовувались ролики – сталь 30ХГСА (HRC 48 - 52, Ra 0,34 мкм).

Дослідження проводились на програмно-апаратному комплексі в нестационарних умовах тертя, де за допомогою роликів аналогії моделюється робота зубчастих передач в умовах кочення з проковзуванням.

Структурна пристосованість елементів трибоспряження внаслідок необоротних механо-хімічних процесів в поверхневих та приповерхневих шарах контактних поверхонь полягає в утворенні зносостійких дисипативних структур, які забезпечують зниження енергонавантажності фрикційного контакту. Тому доцільно проаналізувати кінетику зміни питомої роботи тертя ($A_{\text{терт}}$) залежно від типу досліджуваного мастильного матеріалу.

Одержані експериментальні значення $A_{\text{терт}}$ для зразка №1 в діапазоні 736.....11640 Дж/мм² характеризують умови роботи трибосистеми з середнім проявом енергетичних процесів в триботехнічному контакті (рис. 1). З підвищенням температури оливи з 20 до 100⁰С питома робота тертя зростає, в середньому, в 1,68 разів, що свідчить про перехід трибосистеми в більш складні умови тертя. В початковий період підвищення температури мастильного матеріалу питома робота тертя зростає незначно, до 4730 Дж/мм², зриву мастильного шару не встановлено, досліджуваний мастильний матеріал за таких умов забезпечує реалізацію в контакті напівсухого режиму мащення при пуску з швидким переходом до змішаного режиму мащення.

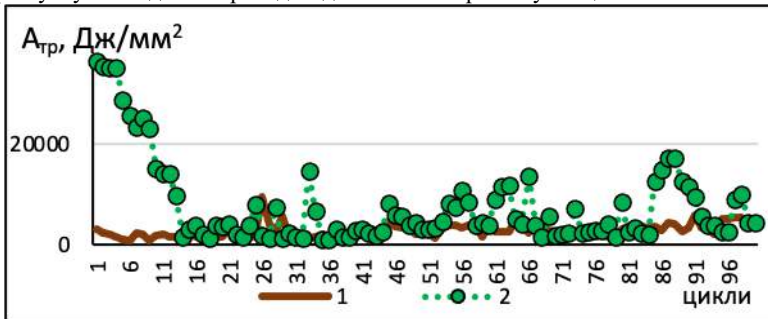


Рис. 1. Кінетика зміни питомої роботи тертя ($A_{\text{терт}}$) при напрацюванні.

Для зразка №2 питома робота тертя в контакті в початковий період припрацювання тривалістю до 13 циклу характеризується високими показниками на рівні 14000 - 36000 Дж/мм², що, в середньому, в 10 разів перевищує аналогічний параметр, встановлений для зразка №1. При подальшому напрацюванні при 20⁰С питома робота становить, в середньому, 3191 Дж/мм², що в 1,37 разів вище, в порівнянні з зразком №1. Із збільшенням об'ємної температури оливи до 100⁰С питома робота тертя зростає вдвічі та становить, в середньому, 6213 Дж/мм², що в 1,6 разів вище, в порівнянні з зразком №1. Зафіксовано періодичні стрімкі періоди підвищення $A_{\text{терт}}$ в контакті в 3.....5 разів, що свідчить про інтенсифікацію енергетичних процесів як на межі мастильний матеріал – метал, так і в поверхневих шарах металу. Дані процеси зазвичай призводять до інтенсифікації зношування пар тертя, що, в свою чергу, є головною передумовою для зниження ресурсу трибосистеми.

Загальний лінійний знос роликів зі сталі 30ХГСА становить 3,259 мкм та 5,21 мкм при змащуванні пар тертя відповідно оливою зразок №1 та зразок №2, при використанні оливи зразок №2 знос пар тертя зростає в 1,6 разів.

На знос контактних поверхонь суттєво впливає як утворення захисних хімічномодифікованих граничних шарів мастильного матеріалу, так і утворення дисипативних структур на поверхні металу з підвищеною твердістю.

Зміна мікротвердості поверхневих шарів сталі 30ХГСА при напрацюванні 100 циклів залежить від типу досліджуваного матеріалу та відрізняється реалізацією протилежних процесів. При використанні в якості мастильного матеріалу зразка №1 зафіксовано зменшення як випереджаючої, так і відстаючої поверхні. Зокрема, мікротвердість поверхневих шарів металу підвищується на 425 та 705 МПа для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно. При змащуванні пар тертя зразком №2 встановлено зменшення поверхневих шарів металу – зниження мікротвердості після напрацювання зафіксовано на 300 та 100 МПа для випереджаючої та відстаючої поверхонь відповідно. Мікроскопічне дослідження поверхні тертя показало, що при використанні в якості мастильного матеріалу зразка №1 та зразка №2 поверхня тертя на 90% та 50 % вкрита плівками мастильного матеріалу відповідно для зазначених оливи.

Оскільки досліджувані трансмісійні оливи містять протизадирні присадки, активні компоненти яких при активації поверхневих шарів металу при терті утворюють на їх поверхні захисні хімічномодифіковані шари, то площа поверхні, вкрита цими плівками і є ведучим показником щодо прояву протизношувальних властивостей оливи, оскільки утворені граничні шари мастильного матеріалу захищають пари тертя від безпосереднього контакту в жорстких умовах мащення, до яких відносяться досліджувані нестационарні процеси. Підтвердженням цьому є кореляція площі поверхні, вкритої захисними плівками, і зносостійкістю пар тертя – при використанні в якості мастильного матеріалу зразка №1 зносостійкість випереджаючої і відстаючої поверхонь зростає в 2 та в 1,4 рази відповідно, в порівнянні з аналогічним показником при використанні зразка №2.

Таким чином, формування зносостійких дисипативних структур при терті необхідно розглядати як сукупність механічних активаційних процесів в верхніх поверхневих шарах елементів трибоспряження та хімічної модифікації поверхонь тертя активними компонентами мастильного матеріалу, раціональний вибір якого забезпечить можливість підвищити довговічність пар тертя в експлуатаційних умовах.

Список літератури

1. Banjac M., Vencl A., Otović S. Friction and Wear Processes – Thermodynamic Approach / M. Banjac, A. Vencl, S. Otović // Tribology in Industry. – 2014. – 36(4). – P.341-347.

2. V. L. Zakovorotny, V. E. Gvindjiliya Self-organization and evolution in dynamic friction systems / Journal of Vibroengineering. – 2021. – Vol. 23, Is. 6. – P. 1418-1432.

3. Wear Resistance of 30KhGSA Steel Under the Conditions of Rolling with Sliding / Mikosyanchyk O.O., Mnatsakanov R.H., Lopata L.A., Marchuk V.E., Yakobchuk O.E. // Materials Science. – 2019. - 55(3). P. 402–408.

4. Experimental Analysis of Tribological Processes in Friction Pairs with Laser Borided Elements Lubricated with Engine Oils / J. Lubas, W. Szczypiński-Sala, P. Woś, E. Zielińska, K. Miernik // Materials. – 2020. – 13. –P. 5810.