

УДК 669.017:531.43

В.В. Аулін, проф., канд. ф-м. наук, О.В. Кузик, ст. викл., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

Системно-спрямований підхід та синергетична концепція реалізації процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем

В статті на основі системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції з'ясовано реалізацію процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем.

Визначено сукупність ознак здатності матеріалів до самоорганізації, встановлено їх взаємозв'язок. Розглянуто характер зміни процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах.

З'ясовано, що на основі ознак здатності матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем можна розробляти більш ефективні технології їх зміцнення, відновлення та модифікування, враховуючи самоорганізуючий характер процесів тертя.

триботехнічна система, самоорганізація, необоротність, відкритість, нерівноважність, нелінійність, флуктуація, нестійкість, кооперативність, дисипативність, складність, зміцнення

В.В. Аулин, проф., канд. ф-м. наук, А.В. Кузык, ст. преп., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет

Системно-направленный подход и синергическая концепция реализации процессов и состояний самоорганизации материалов элементов, рабочих и технологических сред триботехнических систем

В статье на основе системно-направленного подхода и синергической концепции выяснена реализация процессов и состояний самоорганизации материалов элементов, рабочих и технологических сред триботехнических систем.

Определена совокупность признаков способности материалов к самоорганизации, установлена их взаимосвязь. Рассмотрен характер изменения процессов и состояний самоорганизации в триботехнических системах.

Выяснено, что на основе признаков способности материалов элементов, рабочих и технологических сред триботехнических систем можно разрабатывать более эффективные технологии их упрочнение, возобновления и модифицирования, учитывая самоорганизующий характер процессов трения.

триботехническая система, самоорганизация, необратимость, открытость, неравновесность, нелинейность, флуктуация, неустойчивость, кооперативность, диссипативность, сложность, упрочнение

Постановка проблеми. Підвищення зносостійкості і надійності, зниження експлуатаційних та енергетичних витрат є нагальною проблемою, загальною для всіх областей техніки. Основними напрямками підвищення зносостійкості триботехнічних систем (ТТС) є: вдосконалення конструкції; підвищення зносостійкості її елементів; використання високоефективних олив, змащувально-охолоджуючих рідин; поліпшення умов експлуатації та ін. Останнім часом виявлено, що найбільш ефективні методи підвищення зносостійкості ТТС слід шукати в реалізації їх процесів та станів

самоорганізації [1]. При самоорганізації спостерігається ефект практичної безносності за рахунок стабілізації технічного стану, відновлення властивостей і характеристик поверхневих шарів деталей, робочих і технологічних середовищ з використанням для цього необхідних матеріалів та потоків речовини і енергії.

Для вивчення трибологічних явищ і ефектів в ТТС та використання їх при створенні нових технологій зміцнення, відновлення та модифікування поверхонь тертя доцільно використовувати системно-спрямований підхід та синергетичну концепцію. Це дозволяє побудувати модель трибоспряження деталей з іншим характером зношування, яким при необхідності можна керувати, зменшуючи, збільшуючи або стабілізуючи розміри зон тертя та реалізуючи комплекс необхідних їх властивостей та характеристик [2]. Слід врахувати і процеси, що відбуваються в поверхневих шарах трибоелементів (ТЕ) при їх взаємодії та взаємодії з робочим та технологічним середовищем. Оскільки створення ТТС з керованим ресурсом з математичної точки зору є типовим завданням теорії оптимального керування, а отже необхідно забезпечити найоптимальніші значення критеріїв, що характеризують ефективність керування при заданих обмеженнях.

Останнім часом розвиток трибоматеріалознавства і технологій зміцнення матеріалів ТЕ пов'язаний, в основному, з експериментальним виявленням комплексу явищ (фізико-механічних, фізико-хімічних, трибологічних, реологічних та ін.), але є необхідність в їх обґрунтуванні з позицій методології синергетики, теорій дисипативних систем або детермінованого хаосу, фрактального світогляду та ін. Зазначене пов'язане з новими структурними рівнями досліджень до реалізації процесів і станів самоорганізації в ТТС із врахуванням еволюційного їх розвитку та застосуванням динамічного аналізу прогнозування структури характеристик та властивостей матеріалів ТЕ, робочих і технологічних середовищ в нерівноважних умовах. Це сприяє розвитку теорії нерівноважних фазових перетворень (ФП) і утворення метастабільних структур матеріалів елементів ТТС з особливими властивостями, а також в розробці і оптимізації на цій основі перспективних технологій їх зміцнення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Через різноманітність і багатогранність умов протікання тертя та зношування [3] в ТТС створюються можливості виникнення великого спектру станів і процесів самоорганізації та забезпечення належного рівня зносостійкості і надійності ТТС. Процеси при терті виникають і розвиваються в результаті двох основних явищ: активації (збільшення) та пасивації (зменшення) вільної енергії ТТС. Їх можна описати на основі першого і другого початків термодинаміки. Перетворення зовнішньої механічної енергії в енергію внутрішніх процесів визначаються потоками субстанції, (енергії, речовини, інформації) в ТТС, обумовленими інтенсивністю зовнішніх механічних дій, структурою і властивостями матеріалів ТЕ, фізико-хімічною дією робочого і технологічного середовищ, масштабним чинником та ін.

Самоорганізація і утворення дисипативних структур (ДС) при терті можуть здійснюватися шляхом трансформацій в матеріалах ТЕ різних за природою і агрегатних станів [4,5], але механізм протікання самоорганізації в різних ТТС може мати загальні особливості: виникнення широкого спектру станів самоорганізації - утворення просторових і просторово-тимчасових структур, що визначають зносостійкість, антифрикційність і фрикційність елементів ТТС; здійснюватися трансформація матеріалів елементів ТТС, робочих та технологічних середовищ в різних агрегатних станах.

Зовнішні механічні дії при терті неминуче приводять до руйнування ДС, матеріалу ТЕ, але ці ж дії і спряжені процеси перенесення речовини і енергії в ТТС

забезпечують їх регенерацію. У традиційних умовах роботи спряжень тертя в поверхневих шарах матеріалів ТЕ утворюються дисипативні вторинні структури (ВС) механо-хімічної природи, що володіють екстремальними властивостями та екранують основний матеріал від безпосереднього контакту і руйнування. Технологічна обробка матеріалів ТЕ активування при модифікуванні обумовлює термомеханічні, термохімічні та фізико-хімічні процеси, виникнення ВС термохімічної природи на поверхнях тертя. Трансформація початкової структури матеріалів ТЕ в нову фазу супроводжується максимальним зміцненням подрібненням зерна, появою текстур, насиченням робочої поверхні активними компонентами середовища при модифікуванні речовиною і енергією фізичних полів.

Процеси нерівноважних ФП і структуроутворень в матеріалах ТЕ ускладнені для дослідження швидкоплинності і вивчення у вигляді особливої морфології таких структур як фрагментовані, ультрадисперсні, нанокристалічні, «білий шар» та ін. свідчать про нетривіальні механізми перетворень. На особливу увагу заслуговують процеси, що протікають в матеріалах ТЕ при поверхневій обробці концентрованими потоками енергії (КПЕ), оскільки вони вимагають нових теоретичних підходів до пояснення їх механізму. Спроби таких підходів здійснювались М. Ешбі, Р. Гейтсом, В.Д. Садовским, Б.Я. Любовим, В.М. Пустовойтом та ін. зарубіжні вчені [6-13], але практично відсутні дослідження динаміки структурних елементів матеріалів ТЕ в процесі еволюції на етапі самоорганізації, що обумовлює істотно нерівноважні ФП і подальше формування метастабільних структур матеріалу при дії КПЕ.

Динамічний аналіз процесів і станів ТТС є одним із методів теоретичного дослідження самоорганізації, ефективність якого особливо наочна при вивченні істотно нелінійного стану ТТС з переважно дисипативним характером процесів. При цьому зміцнюючи та модифікуючи матеріали ТЕ, робочих та технологічних середовищ, намагаються розширити діапазон нормалізації та підвищити рівень нормалізації, мінімізуючи при цьому інтенсивність зношування ($I_{zn} \rightarrow \min$) і оптимізуючи коефіцієнт тертя ($f_{тр} \rightarrow \text{opt}$). В таких ситуаціях керування зносостійкістю ТЕ в ТТС передбачає наступні етапи: трибодіагностика; прийняття оптимальних рішень; випробування.

Постановка завдання. З'ясувати систему ознак здатності матеріалів трибоелементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем до реалізації процесів та станів самоорганізації.

Виклад основного матеріалу. Здатність до самоорганізації характерна всім матеріалам ТЕ, робочим та технологічним середовищам через властиву їм спонтанну активність, яка проявляється лише при наявності певних ознак та умов [6,14]. Порядок в ТТС, що характеризує стійкі структури матеріалів, змінюється також спонтанно. При цьому організованість ТТС може підвищуватися як за рахунок її внутрішніх властивостей, так і унаслідок зовнішніх керуючих дій, а їх синергетична спрямованість полягає у самоузгодженості функціонування за рахунок внутрішніх зв'язків із зовнішнім середовищем. При цьому припускається поява сильних функціональних зв'язків між всіма складовими ТТС, на що указує нелінійна нерівноважна термодинаміка при досягненні критичного рівня виробництва ентропії [10]. Разом з тим виявляється, що надзвичайно різноманітні і, на перший погляд, не зв'язані між собою явища, що відбуваються в ТТС, можуть регулюватися декількома узагальненими ознаками самоорганізації. Найбільш характерними з них є: необоротність, відкритість, нерівноважність, нелінійність, флуктуаційність, нестійкість, кооперативність та когерентність, дисипативність, складність [15]. В узагальнених умовах реалізації самоорганізації вони відіграють роль основних синергетичних компонентів (рис. 1).

З'ясуємо сутність і обґрунтуємо взаємозв'язок між цими компонентами, виявимо їх вплив на умови функціонування ТТС та розвиток процесів і станів самоорганізації.

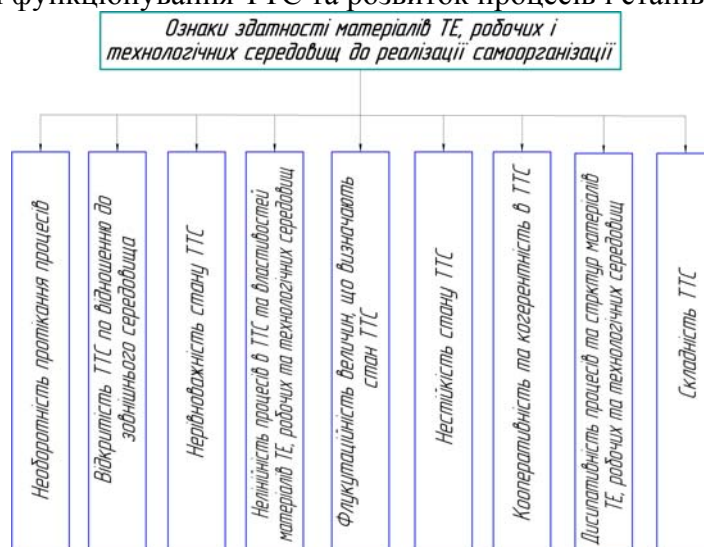


Рисунок 1 – Схема взаємозв'язку ознак здатності матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ до реалізації явищ і станів самоорганізації

Необоротність – це ознака, що характеризує здатність самочинного протікання процесів в ТТС. До таких процесів можна віднести теплопровідність, дифузію, в'язку течію, електропровідність, поляризацію, намагніченість та ін. Необоротність, по І. Пригожину [6-8], відіграє конструктивну роль і є головною ознакою самоорганізації, оскільки саме необоротні процеси організують матеріали ТЕ, робочих та технологічних середовищ. Всі реальні процеси, що розвиваються в ТТС є необоротними і ТТС не можуть повернутися до свого початкового стану без зміни матеріалу ТЕ, робочих, технологічних і навколишнього середовищ, а отже витрат енергії на перетворення в них. Причина необоротності процесів і станів полягає в нестійкості атомів, молекул, їх кластерів та агрегатів в матеріалах елементів ТТС.

За сучасною синергетичною концепцією найбільш істотним чинником необоротності є її біфуркаційна природа, яка передбачає розгалуження станів ТТС. При цьому у критичних точках невірноважні ФП в матеріалах відбуваються непередбачуваним чином. Це свідчить про те, що поряд з дисипативними можуть брати участь і поверхневі, електричні, хімічні, магнітні та інші сили [8,11,12].

Ознака відкритості ТТС означає наявність в ній процесів обміну різними видами субстанцій з зовнішнім середовищем, активна взаємодія яких з наявними і доступними джерелами речовини, енергії та інформації знижує величину ентропії в самій ТТС. Надмірність відтоку ентропії над внутрішньою її генерацією відкриває можливість прояву самоорганізації й виявлення шляхів структуризації матеріалів. Оскільки реально існує ціла сукупність зовнішніх і внутрішніх керуючих параметрів, то важливо вибрати ті параметрів, які активізують потенціальну здатність ТТС до самоорганізації і обумовлюють пошук найбільш ефективних шляхів її реалізації. Маючи зворотні зв'язки із зовнішнім середовищем, підсилює їх позитивні або послаблює негативні зв'язки. На основі синергетичної концепції співставляють зовнішні дії відкритої ТТС та її внутрішні активні сили й виділяють властивості ТТС, характерні тільки їй і ті, що забезпечують процеси самоорганізації та сукупність рівноважних станів.

Нерівноважність станів ТТС – це ознака, яка характеризує наявність неоднорідного фізичного поля або його характеристик: температури, напруження, деформації, концентрації, дефектів, напруженості електричного та магнітного полів,

швидкості руху частинок та ін. В такій ТТС разом із стаціонарним станом існують різного роду нестационарні динамічні та релаксаційні процеси. У випадку їх великої чутливості до зовнішніх впливів може відбутися спонтанна адаптивна організація (самоорганізація) та її підстроювання до зовнішнього середовища [6,8,16].

Нерівноважність є основним джерелом встановлення впорядкованості матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ. Локальні області рівноважного матеріалу поводять себе незалежно одна від одної в той час як його в нерівноважний стан зумовлює їх встановлювати зв'язки між ними. При надходженні в ТТС і наростанні потоку субстанцій нерівноважність підсилюється, що приводить до руйнування існуючих взаємозв'язків між локальними областями та їх структурою. В таких умовах можуть виникати і нові зв'язки, посилюватися кооперативні процеси на новому макроскопічному рівні. При цьому елементи ТТС стають більш чутливими до впливу факторів на стан їх рівноваги. Велика нерівноважність виявляє шлях і самоорганізації матеріалів до появи більш досконалої їх впорядкованості. Нерівноважність породжує у ТТС можливість проявляти вибірковість, неоднозначність і незвичність реакцій на зовнішні дії, чутливість до особливостей змін у зовнішньому середовищі й реагування на них своєю поведінкою, причому деякі слабкі зміни можуть здійснювати більш істотний вплив, ніж сильні, але неадекватні власним тенденціям розвитку ТТС.

Нелінійність процесів та характеристик матеріалів ТЕ, робочих і технологічних середовищ є звичайною ознакою реальних ТТС: у природі немає нічого абсолютно лінійного. Разом з нерівноважністю, нелінійність виступає необхідною умовою виникнення в матеріалах ТЕ, робочому і технологічному середовищах впорядкованих структур. У нелінійних ТТС властивості їх матеріалів залежать від протікаючих у них процесів. Зазначимо, що вихідні нелінійні процеси приводять до необоротності станів ТТС, які характерні для взаємодій в мікросвіті. Крім цього фізичні механізми, що лежать в основі самоорганізації, безпосередньо зв'язані з характером і типом нелінійності і значною мірою є загальними для різних середовищ і матеріалів ТЕ. Для принцип суперпозиції в нелінійних ТТС немає місця і результуюча їх реакція на сукупність дій не дорівнює сумі часткових реакцій.

Ознака нелінійності ТТС породжує неоднозначність та відносну незалежність ТТС від зовнішнього середовища. Взаємодіючи з дисипацією, нелінійність сприяє обмеженню амплітуди параметрів процесів і є причиною різких змін їх інтенсивності та спрямування. Нелінійні ТТС мають різні стаціонарні стани, яким відповідають різні закономірності їх поведінки. Метастабільність і гістерезисне затягування резонансного переходу до нового усталеного стану теж служать ознаками нелінійності процесу. Зрозуміти такі процеси можна моделюючи їх математичними та фізичними методами.

Нелінійність як і відкритість ТТС наявна при створенні позитивного зворотного зв'язку із зовнішнім середовищем, коли виникають умови підсилювання процесів в певних областях ТЕ або у всій системи. Це може привести до коливання станів і виникнення локальних та загальних ефектів самоорганізації. Зазначимо, що позитивний зворотний зв'язок найчастіше носить природний характер, а нелінійність, створена за допомогою штучного негативного зворотного зв'язку, є типовою рисою керованих ТТС. На ступінь нелінійності впливає і глибина дії, що надходить ззовні, яка у невірноважній ТТС може бути значною і при цьому не виконується співвідношення взаємності Онзагера [7]. Збільшення нелінійності досягається шляхом побудови ієрархії ТТС, елементи якої здатні до самоструктурування. Змінюючи внутрішні параметри ТТС, можна у великих межах впливати на її нелінійність. Посилюється нелінійність та ефективність процесів і інформаційною компонентою зовнішнього впливу, реалізуючи

при цьому ефект самоорганізації [10]. Ефективно використана інформація забезпечує протікання малоймовірних процесів структуризації елементів ТТС.

З синергетичної точки зору нелінійність припускає розуміння того, що малі причини можуть породжувати великі наслідки: мала ймовірність подій в лінійній ТТС може бути великою у нелінійній. Структура, поведінка і стан нелінійних ТТС в першу чергу визначаються властивостями і прихованими можливостями матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ. Власне автономна динаміка в нелінійній ТТС проявляє свої унікальні можливості без специфічної зовнішньої дії, тобто слід враховувати внутрішні тенденції її розвитку. З точки зору фізики нелінійність дозволяє в ТТС врахувати різноманітні взаємодії, взаємовпливи, тонкі ефекти, виявити процеси і параметри, що відображають її вибірковість (гістерезисні, резонансні, деструкційні та інші явища), багатогранність проявів, мінливість і т. п.

Велику роль в реалізації процесів самоорганізації в ТТС відіграє така ознака як флуктуація. При дослідженні різноманітних процесів в ТТС розглядаються питання флуктуації основних і характеристик, активно розробляється флуктуаційна теорія в реалізації самоорганізації [11,12]. Невеликі випадкові флуктуації характеристик, що визначають стан ТТС, завжди присутні в матеріалах ТЕ, робочого та технологічного середовища на локальному рівні, віддаленому від критичного стану і практично стримуються дисипативними силами. У міру наближення до критичної величини виробництва ентропії флуктуації в ТТС наростають, захоплюючи її повністю і приймаючи аномально великі значення в околі точки ФП. Це сприяє розвитку ефектів синхронізації (узгодження) коливань значень характеристик елементів ТТС. Взаємодії в точці ФП при цьому змінюються кооперативним чином, тобто ТТС нібито відчуває зміни, що відбуваються в будь-якій її частині. Для кожної ТТС існує одна або декілька параметрів порядку, флуктуації яких різко зростають в точці критичного ФП. Для робочих і технологічних середовищ це щільність, концентрація наповнювача (присадки), для феромагнітних матеріалів ТЕ – намагніченість, для сегнетоелектричних – поляризація і т.д. Посиленню флуктуацій сприяють нерівноважність і нелінійність, що трансформують утворену структуру матеріалу елементів ТТС.

Нестійкість, як ознака здатності ТТС до самоорганізації, в режимі нормального функціонування складної ТТС, часто викликає моменти втрати контролю над її експлуатаційними параметрами, але завдяки їй можливі переходи до нової структури та більш ефективної поведінки. Оскільки за своєю сутністю самоорганізація є результатом розвитку просторово-часових нестійкостей в ТТС, то зовнішні дії можуть варіюватися не тільки по інтенсивності, але і по просторовій конфігурації. Нестійкість ТТС, з її чутливістю до малих збурень, може підсилюватися механізмом позитивного зворотного зв'язку із зовнішнім середовищем. При цьому відбувається нібито вихід мікропроцесів в макропроцеси. За таких умов визначення порогу самоструктурування ТЕ, робочого і технологічного середовищ можна зв'язати з кількісним аналізом критичного рівня виробництва ентропії. В процесі еволюції ТТС нестійкість переводить простий флуктуаційний шум в один з факторів, що визначає одиничну самоорганізацію.

Самоорганізація за своєю природою являє собою нерівноважне кооперативне явище, тобто кооперативність є її узагальненою ознакою. В синергетичній концепції Г. Хакен окреслив принципово визначальну роль колективних, кооперативних взаємодій в нерівноважних ТТС [9,10], основною особливістю яких є їх обумовленість з властивостями всієї сукупності елементів ТТС та узгодженість діям при реалізації відповідних умов. Характерним є те, що кооперативність елементів в ТТС підкоряється одним й тим закономірностям, незважаючи на їх різні вихідні рівні організації. При досягненні рівня критичного виробництва ентропії спостерігається стрибкоподібне

утворення когерентних (кооперативних, дисипативних) структур. В сильно нерівноважних ТТС матеріали ТЕ, робочого і технологічного середовищ проявляють свої адаптивні можливості при зміні зовнішніх умов, і якщо взаємодії в ТТС носять когерентний і резонансний просторово-часовий характер, то в ній спостерігається упорядкування з відповідним пониженням симетрії та реалізація процесів і станів самоорганізації. При цьому сутність когерентності полягає в колективній стратегії поведінки локальних областей елементів ТТС.

До найбільш загального механізму самоорганізації можна віднести і селективне (резонансне) підсилення і синхронізація окремих просторово-часових гармонік (мод) ТТС при їх взаємодії із зовнішнім джерелом енергії. Цей механізм дозволяє підсилити вельми слабкі взаємодії, але які керують еволюційними процесами в ТТС і обумовлюють дисипативні сили та процеси.

Поряд з нерівноважністю і нелінійністю, дисипація є джерелом упорядкування в ТТС, а отже ознакою здатності ТТС до виникнення умов самоорганізації. Вона приводить до зростання ентропії в ТТС, енергія впорядкованого руху в яких переходить в енергію нерегульованого теплового руху. У відкритих сильно нерівноважних нелінійних ТТС дисипація із розвиваючого фактора неоднорідності перетворюється на фактор сприяння виникненню надмолекулярних стійких складних утворень ДС. Вона нібито "виїдає" все зайве: відбувається не стільки деградація, скільки концентрування енергії за допомогою утворення більш складних структур з простих. При цьому ДС формуються при наступних умовах [19]: ТТС термодинамічно відкрита; динамічні процеси нелінійні; відхилення від рівноваги перевищують критичні значення величин; мікроскопічні процеси відбуваються кооперативно.

Найчастіше прояв властивості дисипативності пов'язують з резистивними ефектами дифузії і переносу субстанцій в ТТС [8]: розповсюдження теплоти (термодифузія); розповсюдження маси (конвекція та концентраційна дифузія); сухе і в'язке тертя; омичне тертя (джоулеве тепло), що виникає при русі носіїв заряду в електрично провідних матеріалах ТЕ і середовищах; флуктуаційне тертя, що перешкоджає обертальним і поступальним рухам атомів і молекул; магнітна в'язкість (перезамикання силових ліній) в магнітному полі; пружна і пластична деформація і т.п.

Дисипативний процес має односторонню спрямованість на виробництво теплової енергії, але її не вистачає на створення когерентного руху і самоупорядкування в ТТС, а отже є необхідність підживлення із зовнішніх джерел щоб компенсувати внутрішні витрати і забезпечити прогресивну еволюцію ТТС. ДС в нерівноважному матеріалі виникають резонансно в процесі перебудови ТТС. ДС можуть стійко існувати тільки в умовах безперервного підведення субстанцій із зовнішнього середовища і більш складні структури вимагають для своєї стабілізації більше енергії, ніж ті, на зміну яким вони приходять.

В усіх формах самоорганізації ТТС мають місце синергетичні і кінетичні умови, які відрізняються структурним механізмом, пов'язаним з еволюцією утворених ДС, і мають певний діапазон функціонування. Енергетичні і кінетичні умови створення і функціонування ДС відповідають фундаментальним принципам трибофізики, критерію міцності і базуються на уявленнях синергетики, досягненнях матеріалознавства, механохімії і фізикохімії контактних і поверхневих явищ. Утворення ДС здійснюється шляхом кінетичного фазового переходу (КФП), основою якого є узгоджена синергетична взаємодія деформаційних, теплових, адсорбційних, дифузійних, хімічних і ін. процесів і локалізація їх в тонкоплівкових об'єктах - нових структурах.

В зоні контакту ТЕ при реалізації КФП здійснюється стрибкоподібний перехід до більш доступних і економних механізмів функціонування ТТС (деформація, дифузія,

хімічні реакції та ін.). Відмінність форм КФП, будова і склад ДС визначаються природою трибоактивування, властивостями матеріалів ТЕ, складом і станом робочих та технологічних середовищ. Аналіз механізмів КФП показує, що найважливішими характеристиками нових структур є ступінь впорядкованості і характер модифікування. ТТС, створивши в результаті самоорганізації ДС, в новому стаціонарному стані зменшує свою ентропію, нібито скидаючи її надлишок в зовнішнє середовище, ентропія якого при цьому зростає, що, звичайно, буде впливати на процеси, що протікають в ньому. Ентропійний обмін мінімізується за допомогою утворення ДС.

Складність разом з нелінійністю, властива всім реальним ТТС [10]. Ця ознака здатності ТТС до самоорганізації є наслідком колективної поведінки внутрішньо простих складових ТТС. Явища самоорганізації протікають в макроскопічних ТТС, що представлені елементами з великою сукупністю: дискретних (окремих) або безперервних (суцільних) локальних областей. Якщо послідовно впливати на локальні області матеріалів ТЕ, робочих та технологічних середовищ, різноманітність і силу зв'язків між ними, то ТТС можна довести до деякого критичного значення складності, в якому вона набуває нову системну властивість і найбільш значущим є кооперативний початок самоорганізації процесів і станів.

З іншого боку ознака складності – це складність зовнішніх проявів ТТС, тобто складність її поведінки. ТТС з сильною нерівноважністю і нелінійністю володіють здатністю до самоорганізації переважно за поведінкою. Якщо наявна велика кількість зв'язків між локальними областями ТТС, то спостерігається надзвичайно сильна якість критичних переходів до нових типів структур і нової поведінки [17-19]. Самоорганізацію можна трактувати, як морфогенез складного, тобто багатокomпонентність нелінійних і нерівноважних ТЕ, робочих та технологічних середовищ, що зазнають у взаємодії із зовнішнім середовищем низку якісних спонтанних перебудов структури і зміни поведінки. Чим складніше ТТС, тим більше в ній виникає біфуркаційних переходів, а отже і більш багатоваріантна її поведінка, для виявлення яких системно-спрямований підхід і синергетична концепція вказують прості і універсальні шляхи.

Висновки.

1. Показано, що сукупність узагальнених ознак здатності ТТС до різних форм самоорганізації та умови їх реалізації складають трибофізичну основу забезпечення та підвищення зносостійкості і надійності їх функціонування.

2. При цьому враховується термодинамічна природа тертя як дисипативного процесу, використовуються уявлення про структурну пристосованість, самоорганізацію і саморегулювання в ТТС. Це не тільки створює можливості проникнення у фізичну природу тертя як фундаментального явища, але і відкриває перспективи побудови загальної і несуперечливої теорії тертя, мащення і зношування, основою якої може бути системно-спрямований підхід та синергетична концепція самоорганізації ТТС, спонтанного виникнення нових високоорганізованих просторових і просторово-часових ДС, що набувають специфічної форми відповідно до конкретних умов тертя.

3. Величезні можливості вирішення практичних задач в проблемі підвищення зносостійкості ТТС пов'язані, головним чином, з трибофізичними основами реалізації самоорганізації, з резервами трибоматеріалознавства або динамічного матеріалознавства елементів ТТС і фізикохімії робочих та технологічних середовищ, можливостями триботехнологій зміцнення, модифікування і відновлення деталей.

4. Визначено, що реалізація процесу самоорганізації дозволяє на декілька порядків зменшити інтенсивність зношування трибоспрямижень й забезпечити оптимальне значення коефіцієнту тертя, а отже суттєво підвищити їх зносостійкість.

5. Самоорганізація супроводжується еволюційними процесами – утворенням шару ДС на поверхнях тертя. Головним в цьому випадку є характер самоорганізуючого тертя, який обумовлений обміном спряжень тертя із зовнішнім середовищем енергією і речовиною, а також колективною поведінкою іонів металу та органічних сполук, з яких формується захисна плівка або покриття.

6. Характерним є те, що сформована або нанесена плівка, покриття або поверхневий шар матеріалу перебувають в особливому стані, властивому тільки процесу тертя. Тертя не може їх знищити, оскільки воно їх відтворює.

Список літератури

1. Аулін В.В. Підвищення надійності трибосистем реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін // Матеріали III міжнар. наук.-техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 15-17.
2. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів / В.В. Аулін / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.14-15.
3. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический поход / В. Эбелинг, А. Энгель, Р. Файстель – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.
4. Kohonen T. Self-organization and associative memory / T.Kohonen. – Berlin : Springer-Verlag, 1988.
5. Mishra R.K. On self-organization. An interdisciplinary search for a unifying principle / R.K.Mishra, D.Maas, E.Zwielein (Eds). – SpringerVerlag, 1994. – 298 p.
6. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах/ Г. Николис, И. Пригожин - М.: Мир, 1979 – 254 с.
7. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. - М.: Иностранная литература , 1960 – 363с.
8. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации /Г. Николис, И. Пригожин – М.: Мир, 1979. – 512 с.
9. Хакен Г. Синергетика: Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. – М.: Мир, 1985. – 419 с.
10. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – М.: Мир, 1991. – 240 с.
11. German S. Fox Self-organization during friction. Advanced / Surface-engineered materials and system design / German S. Fox. – Rabinovich, George E. Totten. – 2007 by Taylor and Francis Group, LLC. – 458 p.
12. Blau P.J. Friction Science and Technology From concepts to application / Peter J. Blau. – 2nd ed. 2009 by Taylor and Francis Group, LLC. – 420 p.
13. Beck C. Termodinamics of Chaotic Systems / C.Beck, F.Schlogl. – Cambridge Universiry Press, 1993. – 270 p.
14. Аулін В.В. Узагальнені ознаки здатності матеріалів трибоелементів і робочих середовищ до реалізації процесів самоорганізації / В.В. Аулін / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження", "Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.19-21.
15. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін // Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.60-62.
16. Аулін В.В. Самоорганізація на основі неврівноважених процесів в трибосистемах / В.В. Аулін // Зб. тез міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум"-2009: Стратегії України в геополітичному просторі.-Миколаїв: ЧДУ, 2009.-С. 61-62
17. Аулін В.В. Структурні перетворення в конструкційних матеріалах, що знаходяться в неврівноважених умовах / В.В. Аулін, Ф.Й. Златопольский, С.М. Лізунов // Инженерия поверхности и реновация изделий. Материалы 4-й междуна. научн.-техн.конф., 25-27 мая 2004, г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2004. – С.38-40.
18. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищ в зазорах трибосполучень деталей/В.В. Аулін//Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №4 – С.103-111.

19. Аулін В.В. Стан самоорганізації середовища ґрунту та закономірності зносу робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №1 – С.114-119.

Viktor Aulin, Aleksandr Kuzyk

Kirovohrad national technical university

System-directed approach and sinergistical conception of realization of processes and states of self-organization of materials of elements, working and technological environments of the tribotechnical systems

In the article on the basis of the system-directed approach and sinergistical conception realization of processes and states of self-organization of materials of elements, working and technological environments of the tribotechnical systems is found out.

Totality of signs of ability of materials is certain to self-organization: irreversibility; openness; non-equilibrium; non-linearity; fluctuating; instability; cooperativity and coherentness; dissipativity; complication. Their essence is considered and intercommunication is set. It is shown that totality of the generalized signs of ability of the tribotechnical systems to the different forms of self-organization and condition of their realization is folded tribophysics basis of providing and increase of wearproofness and reliability of their functioning. Character of change of processes and states of self-organization is considered in the tribotechnical systems that is accompanied by evolutional processes. Attention is concentrated and on formation of layer of dissipativities structures, that come true by a kinetic phase transition basis of that is concert sinergistical co-operation of deformation, thermal, adsorption, diffusive, chemical and other of processes and localization of them in thin-film objects - new structures. It is shown coming from the analysis of mechanisms of kinetic phase transition, that major descriptions of new structures are a degree of efficiency and character of retrofitting. Main in this case there is character of self-organization friction, that is conditioned by the exchange of interfaces of friction with an environment by energy and substance, and also by collective behavior of ions of metal and organic compounds, from that protective tape or coverage is formed. Characteristic is that the formed or inflicted tape, coverage or superficial layer of material, are in the special state peculiar only to the process of friction. A friction can not destroy them, as it recreates them.

It is shown that enormous possibilities of decision of practical tasks in the problem of increase of wearproofness of the tribotechnical systems are constrained, mainly, with tribophysics bases of realization of self-organization, with backlogs of triboengineering material science or dynamic material science of elements of the tribotechnical systems and physicochemical of working and technological environments, possibilities of the tribotechnology strengthening, retrofitting and proceeding in details.

Certainly, that realization of process of Self-organization allows on a few orders to decrease intensity of wear of tribounit and provide an optimal value to the coefficient of friction, and consequently substantially to promote their wearproofness.

It is found out that on the basis of signs of ability of materials of elements, working and technological environments of the tribotechnical systems it is possible to develop more effective technologies their work-hardening, renewals and retrofitting, taking into account self-organized character of processes of friction.

tribotechnical system, self-organization, irreversibility, openness, non-equilibrium, non-linearity, fluctuation, instability, cooperativity, dissipativity, complication, work-hardening

Одержано 28.04.14