

Експериментальні дані накопичені за останні роки, дозволяють доповнити відомі уявлення про природу і види процесів тертя та зношування та запропонувати трибофізичний підхід. Залежно від фізики процесу зношування доцільно виділити їх класи: механічне, механо-хімічне, фізико-хімічне. В них слід розрізняти зношування при терті ковзання, терті коченні, при ударі у робочому (технологічному) середовищі (грунту, оливі). Залежно від умов взаємодії поверхонь тертя необхідно розрізняти абразивне зношування, зношування при взаємодії металевих поверхонь без дії абразиву, зношування при терті із змащувальним матеріалом і зношування при терті без змащувального матеріалу. Такий укрупнений розподіл припускає існування часткових різновидів зношування, які виходять за межі єдиної класифікації.

Невизначена роль трибології та фізики в матеріалознавстві стримувало розвиток методології фундаментальних досліджень в частині методології дослідження основних закономірностей механізму тертя та зношування і виявлення критеріїв оцінки створення зносостійких конструкційних матеріалів деталей трибоспряджень систем і агрегатів машин.

При проектуванні трибоспряджень деталей машин і механізмів трибологічні вимоги часто взагалі не враховуються, що негативно впливає на якість робочих поверхонь та їх довговічність. Перш за все прагнуть виключити їх деформацію та руйнування, а потім шукають способи підвищення зносостійкості.

Зносостійкість матеріалів деталей трибоспряджень, що працюють в умовах механічного зношування є величиною змінною, що залежить від співвідношення властивостей їх матеріалів та матеріалів робочих (технологічних) середовищ.

Тертя саме по собі викликає розігрівання спряжених поверхонь і знеміцнення початкових структур матеріалів деталей. Відбувається додатковий перерозподіл фізико-механічних характеристик, зрештою знижується статична міцність і опір утомленості: зменшення твердості негативно впливає на початкову зносостійкість. Оцінка зносостійкості матеріалів деталей є багатофакторним завданням, яке не слід спрощувати при зростаючих вимогах підвищення ресурсу машин і механізмів.

Матеріали зони тертя та робочих технологічних середовищ потребують створення наукових основ трибофізичного матеріалознавства з підвищенням зносостійкості робочих поверхонь деталей та їх спряжень, причому для кожного виду зношування необхідно науково-обґрунтувати, вибрати або створювати свої матеріали, методи їх зміцнення та модифікування. Рішення розглянутих проблем немислимо без систематизації і узагальнення накопиченої трибологічної інформації.

УДК 620.66.08:539.62

МЕЗОМЕХАНІКА – СУЧАСНИЙ ПІДХІД ДО ТЕОРІЇ ЗНОШУВАННЯ

**І.В. Жилова, асп.,
В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук**

Одним з найбільш поширених і в той же час найбільш складних видів руйнування робочих поверхонь деталей при експлуатації є зношування їх матеріалів. З трибології відомо, що локальне руйнування в зоні фрикційного контакту деталей спряження машин розвивається в сильно нерівноважних умовах, з підвищенням температури, схоплюванням, окисленням та з реалізацією багатьох інших процесів. В той час при розробці матеріалів трибоспрямижень деталей систем і агрегатів використовують критерії міцності і зносостійкості, які пов'язані з механікою локального руйнування і утворенням вільних частинок зносу.

Виявлено, що при дослідженні процесів тертя та зношування найбільш ефективними методами є методи фізичної мезомеханіки, які розглядають поверхневий шар деталі, як багаторівневу самоузгоджену систему. Такий підхід до проблем тертя та зношування є особливо перспективним, оскільки для підвищення зносостійкості матеріал деталей піддаються поверхневому зміцненню або нанесенню на їх робочі поверхні високоміцних покриттів. Традиційна механіка описує матеріал поверхневого шару деталей на макромасштабному рівні, не враховуючи його внутрішньої структури. Фізика пластичності і міцності твердих тіл враховує внутрішню структуру матеріалу, але описати поведінку ансамблів дислокацій в ньому на мікромасштабному рівні математично неможливо.

Для пояснення поведінки неоднорідного матеріалу поверхневого шару деталей під навантаженням доцільним є використання методів фізичної мезомеханіки матеріалів. При цьому вводиться в розгляд проміжний масштабний рівень – мезоскопічний. Методи мезомеханіки дозволяють не лише здолати математичні труднощі опису системи частинок зносу, але і розкрити принципово нові механізми поведінки навантаженої деталі у трибоспрямиженні. В основі фізичної мезомеханіки матеріалів лежить опис руху на мезорівні тривимірних структурних елементів або мезооб'ємів.

Відповідно до уявлень мезомеханіки, незалежно від умов тертя і конкретних механізмів зношування, базова модель процесів, що відбуваються у поверхневих шарах деталей, завжди має бути єдиною. Вона повинна відображати зародження, еволюцію і механізм відриву дискретних частинок зносу від поверхні тертя у контактній локальній області. Моделі фізичної мезомеханіки враховують виникнення в навантаженому матеріалі деталі локальних концентраторів напружень, пов'язаних з ними миттєвих напружень та вихровий характер руху мезооб'ємів. Останнє супроводжується виникненням на першій стадії локальних несучільностей і мікротріщин, а завершується розвитком магістральної тріщини і руйнуванням матеріалу деталі. Ця схема в фізичній мезомеханіці покладена в основі формування і відриву будь-яких дискретних частинок зносу від зони тертя. Звісно, специфіку конкретних умов тертя при побудові тієї або іншої моделі в мезомеханіці необхідно враховувати.

Процеси на мікрорівні враховуються, як акомодатійні на основі континуальної теорії дислокацій. Усереднювання руху кінцевого числа мезооб'ємів дозволяє отримати макроопис робочої поверхні деталі, що деформується, з врахуванням складної внутрішньої структури поверхневого шару. Ілюстрацією такої ієрархічної системи може бути самоузгоджене переміщення об'єктів, яке аналізується на різних масштабних рівнях: рух локальних областей (мікрорівень), рух робочих поверхонь (мезорівень), рух всіх об'єктів (макрорівень).

У основі методології фізичної мезомеханіки матеріалів поверхневого шару деталей лежать синергетичні уявлення. Будь-які пластичні зсуви у навантаженому поверхневому шарі матеріалу деталі розглядаються, як втрата зсувної стійкості матеріалу в локальних областях концентраторів напружень.

Найменшу зсувну стійкість в матеріалі деталей має їх вільна поверхня. Первинні зсуви пружнопластичності в структурно-однорідному конденсованому середовищі поверхневого шару деталей завжди розвиваються в поверхневих шарах навантаженого матеріалу. Саме тому в реальних матеріалах немає різко вираженої межі текучості. Втомне руйнування при циклічному навантаженні нижче умовної межі текучості, починається з

розвитку процесів пластичного плину в поверхневих шарах, які фактично навантажені вище за їх межу текучості. Змінюючи стан поверхневого шару деталі, можна істотно змінювати межу текучості його матеріалу, опір деформації, пластичність матеріалу втомну міцність та зносостійкість в трибоспряженнях.

Аналіз результатів досліджень процесу зношування, показує, що процеси деформації поверхневих шарів при терті розвиваються на мезомасштабному рівні. Ці дослідження підтверджують висловлене припущення Рігні Д.А. про те, що висока міра деформації, пов'язана з масопереносом на поверхні, обумовлена ротаційним характером деформації з відносним розворотом фрагментів структури переважно довкола осі, перпендикулярної напрямку тертя і паралельної поверхні ковзання.

На основі уявлень фізичної мезомеханіки, можливе розроблення ряду зміцнюючих технологій нових поколінь, які забезпечують високу стійкість матеріалів до зношування як в абразивному середовищі, так і в трибоспряженнях деталей з робочими, технологічними, в т.ч. і мастильному середовищі. При цьому досягається необхідна зносостійкість і довговічність у поєднанні з високою конструкційною і втомною міцністю.

При проведенні комплексних досліджень визначено структурний стан, фазовий склад і властивості модифікованих поверхневих шарів зразків і деталей з градієнтними структурами. Виявлено вплив градієнтних структур, сформованих в результаті високоенергетичних дій, на процеси утворення ієрархічних фрактальних структур в приповерхневих шарах на мікро-, мезо- і макромасштабних рівнях в умовах зовнішніх статичних і динамічних навантажень. Отримані результати дозволяють обґрунтувати можливість застосування фізичної мезомеханіки до опису процесів деградації робочої поверхні спряжень деталей при їх контактній взаємодії, які мають місце при терті ковзання і кочення, абразивному зношуванні і високотемпературній ерозії. Спираючись на експериментальні і теоретичні дослідження, які проводилися в межах фізичної мезомеханіки, запропоновано нові технологічні вирішення створення перспективних матеріалів і покриттів для деталей спряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ, що працюють в складно напружених умовах експлуатації.

Список літератури

1. Панин В.Е., Витязь П.А. Физическая мезомеханика разрушения и износа на поверхностях трения твердых тел // Физ.мезомех.-2002.-Т.5.-№1.- С. 5-13.
2. Ригни Д.А. Физические аспекты трения и изнашивания // Трибология, исследования и приложения: опыт США и стран СНГ. - М.: Машиностроение, 1993. - С. 52-66.
3. Панин В.Е. Синергетические принципы физической мезомеханики// Физ. мезомех. - 2000. - Т. 3. - № 6. - С. 5-36.
4. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах [Текст]: [монографія] / Аулін В. В. - Кіровоград: Лисенко В. Ф. [вид.], 2014. - 369 с.
5. Антони К.-Х. Термодинамика процесса трения и лагранжев формализм: вклад в мезоскопический подход в теории пластичности // Физ. мезомех. - 2001. - Т. 4. - № 4. - С. 33-46.
6. Дмитриев А.И., Зольников К.П., Псахье С.Г., Гольдин С.В., Ляхов Н.З., Фомин В.М., Панин В.Е. Физическая мезомеханика фрагментации и массопереноса при высокоэнергетическом контактном взаимодействии // Физ. мезомех. - 2001. - Т. 4. - № 6. -С. 57-66.
7. Панин В.Е. Поверхностные слои нагруженных твердых тел как мезоскопический структурный уровень деформации // Физ. мезо- мех. - 2001. - Т. 4. - № 3. - С. 5-22.

УДК 531.43

ВИЯВЛЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛІ З ЇЇГО ТЕМПЕРАТУРОЮ ДЕБАЯ

**В.В. Аулін, проф., д-р техн. наук,
В.М. Лисенко, ас.**