
МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СУЧАСНИХ ПРОБЛЕМ ТРИБОМАТЕРІАЛОЗНАВСТВА В КОНТЕКСТІ ПІДГОТОВКИ ВИЩИХ ІНЖЕНЕРНИХ КАДРІВ

Вступ

Динамічні глобалізаційні процеси нерозривної інформаційної та соціотехнічної інтеграції країн Європи, азійського, та східного регіонів, розвинених промислових регіонів США, Канади, Австралії, Північної Америки та інших в економічній і політичній сферах обумовили генерацію нового єдиного наукового та освітнього простору. Тож одним із головних кроків такого стратегічного розвитку стало створення ERA – «Європейського науково-дослідного простору» і ENEA – «Європейської зони вищої освіти», які дозволяють забезпечити адаптацію системи зв'язків науки, промисловості та освіти однієї країни з іншими країнами. Це надає можливості інженерно-технічним кадрам та науковцям, незалежно від місця навчання, одержувати і вдосконалювати кваліфікацію, що підтверджується єдиним міжнародним сертифікатом [1]. Такі тенденції починають виразно проявлятися і в галузі трибоматеріалознавства, розробки технологій підвищення зносостійкості та строку служби деталей машин, робочих органів обладнання. Все більше стає безумовним, що технічні кадри в спряжених галузях трибології, матеріалознавства, зміцнювальних та відновлювальних технологій, зокрема методами наплавлення, напилення та інших новітніх методів нанесення чи створення захисних шарів [2–4], які формувалися як фахівці для роботи в якій-небудь одній виробничо-технологічній системі, на сьогодні вже не можуть повністю задовольнити потреби сучасних як національних, так і транснаціональних промислово-наукових корпорацій і науково-дослідних центрів, що співпрацюють з різними країнами Європа, США, Азії та інших регіонів світу.

Тому для підготовки інженерних кадрів вищої кваліфікації виникає нагальна потреба у врахуванні сучасних знань трибоматеріалознавства, наукових методик, які дозволять готувати вищі технічні кадри на основі вимог європейської кредитно-модульної системи (ECTS) з урахуванням національних особливостей. Перспективи адаптації методик освіти найбільш актуальні в контексті Болонського процесу, спрямованого на зближення європейських країн у формуванні єдиного європейського освітнього простору, що інтенсивно розвивається. Аналіз інтеграційних зв'язків у галузі підвищення термінів експлуатації механізмів та споріднених науково-технологічних напрямків між провідними країнами показує, що Україна не є винятком і визначила для себе орієнтир на швидке входження в освітній простір Європи та світу. Це стає можливим тільки за національної адаптації освітньої сфери в контексті європейських та загально світових вимог, зокрема виконання яких пов'язано з практичним приєднанням до Болонського процесу. Крім того, важливим чинником у сучасному процесі соціо-технічної інтеграції є урахування сьогоденних світових тенденцій у розвитку різних галузей промисловості та науки, що орієнтовані на застосування та розробку енергоефективних технологій та матеріалів, а також оптимальне використання сталей і сплавів, що забезпечує збільшення надійності та довговічності деталей робочих органів машин та устаткування. Тож одним з перших місць у питаннях працездатності сталей та сплавів, із яких виготовляються деталі машин, є проблеми тертя, зношування та руйнування при взаємодії зі спряженими поверхнями, зокрема, із твердими абразивними матеріалами.

Матеріали та методика досліджень

Головне навантаження лягає на дослідження наплавлені зносостійких матеріалів в умовах інтенсивної руйнації поверхонь тертя. Синергетичний метод у певних рамках, зокрема здатності трибосистем до адаптації в умовах

зношування, має пояснити найбільш заплутані моменти проблемного поля. Насамперед, це віднесено до можливості рахування енергодинамічних впливів, що пов'язані з термодинамічним походженням процесів дисипативних структур, які мають просторову конструкцію та здатні до самоорганізації. На нашу думку, це є один з основних методів, що у майбутньому може дати комбіновану, не тільки якісну, характеристику, а і кількісне вираження проходження біфуркаційних процесів у складних трибосистемах, що мають нелінійний математичний опис алгоритмів. Крім того, у залежності від виконання конкретних завдань на певних етапах дослідження були використані методи структурно-функціонального та аналітико-теоретичного аналізу, а також задіяні методи аналогії, порівняльного аналізу і синтезу, структурно-логічного моделювання, нелінійного (недетермінованого) мислення, комплексного, економіко-математичного та інші.

Складні умови зношування, різноманіття параметрів та чинників, які охоплюють як властивості середовища, зовнішні фактори, так і матеріалознавчі й технологічні аспекти виготовлення матеріалів, обумовлюють необхідність глибокого вивчення процесів, які відбуваються на поверхні тертя та зношування робочих органів та деталей машин. Обрахування кореляційних залежностей між інтенсивністю руйнування сталей і сплавів та їх трибологічними характеристиками потребує від фахівців застосування комплексу спеціальних методів лабораторних і промислових випробувань, а також використання аналітичних, теоретичних розрахункових алгоритмів на базі апарату математичного моделювання.

Теорія та аналіз отриманих результатів

Процес руйнування сталей та сплавів, з яких виготовлена більшість деталей машин охоплює сукупність складних явищ, що відбуваються при взаємодії поверхневих шарів матеріалу з абразивним середовищем у визначених конкретних специфічних умовах експлуатації. Усі компоненти цього процесу, що включають сам метал, контактне середовище, зовнішні умови, за яких здійснюється зношування, взаємозалежні та кожний з них окремо і у взаємодії з іншими факторами впливає на кінцевий результат – процес руйнування та величину зносу.

Тому, дуже важливо використовувати сучасні методологічні наукові напрямки, зокрема синергетичні алгоритми оптимізації матеріалознавчих і триботехнічних параметрів, які забезпечують мінімальне руйнування поверхні тертя та збільшення терміну служби матеріалів деталей і робочих органів машин і апаратів.

По-перше, це пов'язано з тим, що багато науковців робили неодноразові спроби розробити методи прогнозування та розрахунку хімічного складу та структури зносостійкого металу. При цьому мінералогічний, гранулометричний, хімічний склад і характеристики міцності середовища, що зношує, а також умови зношування (тиск, температура, швидкість тощо) у більшості випадків приймалися постійними і вважалися критеріальними факторами, що накладають визначені обмеження, які практично не могли впливати на модулювання процесів руйнування поверхні тертя і не враховувались при прогнозуванні властивостей оптимального складу сталі чи сплаву.

По-друге, хоча метою пошуку, проведеного багатьма авторами [2–5], була максимальна зносостійкість, проте хімічний склад, розроблений кожним з дослідників, виходив істотно різним. При цьому оптимізація результатів випробувань проводилася цілком коректно у відповідності до всіх відомих рекомендацій з планування експерименту. Тож, можна констатувати, що різниця у рекомендаціях з'ясовна, оскільки кожний з дослідників розробляв зносостійкий матеріал для визначених умов роботи конкретної деталі. Таким чином, навіть найменші відхилення одного з параметрів цих окремих випадків зношування робить отримані рекомендації з хімічного складу сплаву непридатним для використання в інших умовах експлуатації. Тож, виходячи з цього, стає зрозумілим, що при тих самих старих, механічних підходах до вирішення проблеми підвищення зносостійкості, кожного разу буде вимагати нових і нових циклів планування експерименту, що замикає коло невизначеності. І якщо провести паралель з точки зору математичного опису, то інтеграл по замкнутому колу завжди буде дорівнювати нулю. Тому задача одержання оптимального складу зносостійкого сплаву має нескінченно велику кількість рішень, кожне з яких справедливо тільки для одних специфічних умов контактних поверхонь, що руйнуються у своїх особливих умовах при взаємодії з конкретним середовищем, що зношує.

На цей час у вітчизняній та закордонній науковій літературі на тему розробки зносостійких наплавлювальних сплавів накопичений чималий експериментальний матеріал, цікаві й оригінальні наукові розробки, які можуть бути корисними для фахівців, що займаються як практичними, так і науково-теоретичними питаннями опору матеріалів. Але аналіз великої кількості робіт у суміжних напрямках триботехніки та матеріалознавства показує, що здобута авторами цих праць інформація не є однозначно визначеною, а критерії, що вводяться, і фактори обмеження можуть бути точно не визначені. Тому, створення алгоритмів та моделей оцінювання і прогнозування здатності сталей та сплавів опиратися руйнуванню поверхні тертя необхідно проводити на підставі формалізації накопичених знань у різних галузях – триботехніки, матеріалознавства, технології зварювання, технології матеріалів, експлуатації механізмів, що дозволить перебороти бар'єри при узагальненні знань про зносостійкість різних деталей у конкретних умовах експлуатації машин та механізмів.

Головним чинником до такого підходу є системний розгляд зносостійкості з урахуванням основних аспектів комплексної трибосистеми: матеріал – умови зношування – середовище, що зношує; вивчення якої має самостійне

методологічне та наукове значення, оскільки уточнює предметні уявлення з трибоматеріалознавства та дозволяє розширити базу знань у цій предметній площині [6].

Процеси, які супроводжують тертя і знос у значній мірі впливають на матеріалознавчі параметри поверхневих шарів сплавів. Багаторазові пружні деформації приводять до виникнення явищ втоми, пластична деформація викликає зміну властивостей, утворення нового структурно-фазового стану матеріалу. Товщина деформованого шару залежить від швидкості відносного переміщення, температури, тиску, розмірів, форми абразиву та ін. Визначення загальних закономірностей впливу всіх параметрів одночасно на даному етапі наукових досліджень ще чекає на своє повне вирішення. Однак вже сьогодні є можливим виявлення особливостей комплексного впливу чинних факторів у конкретних умовах зношування та врахування їх у системі критеріїв трибоматеріалознавчих параметрів сталей і сплавів, що при їх розробці забезпечує максимальне наближення до оптимального хімічного складу, структури і властивостей матеріалу.

Концепція визначення матеріалознавчих параметрів оптимального сплаву (хімічний склад, структурно-фазовий стан, фізико-механічні властивості та ін.) для роботи в умовах зношування містить у собі східчасті дослідження, аналіз апріорної інформації, аналітико-теоретичний аналіз, спрямовані дослідження, які дозволяють у загальній комплексній трибосистемі приймати рішення стосовно зносостійкості матеріалів у конкретних умовах експлуатації деталей.

За нашим переконанням найближчим підходом до реального розуміння закономірностей трибології та матеріалознавства є аналіз енергетичної природи абразивного руйнування [3, 4]. Це пов'язано з тим, що тільки з енергетичної позиції можна пояснити той факт, що інтенсивність пошкодження поверхні тертя для тих самих матеріалів у залежності від зовнішніх умов спрацювання може відрізнятись до 10–12 разів.

Штучне роз'єднання процесів руйнування поверхонь на «метал – метал» чи абразивне зношування (у всіх його видах – гідроабразивне, газоабразивне, ударноабразивне тощо) не завжди дає змоги фахівцям, які працюють у цих наукових напрямках, інтегрувати та типізувати закономірності, що пов'язані з загальною теорією спрацювання робочих шарів металу. На нашу думку всі питання зношування сталей та сплавів так чи інакше потрібно розглядати як комплексну трибосистему, що вивчає контактну взаємодію поверхні тертя з твердим тілом. При цьому геометрична форма, розміри, фізико-механічні властивості та інші його характеристики є вже особливостями конкретного механізму зношування. Це підтверджується й тим фактом, що схема процесу руйнування при зношуванні поверхні сталей та сплавів постійно змінюється, що обумовлює в один і той же час наявність кількох механізмів контактної взаємодії. Взагалі у кожному процесі, в якому відбувається відділення мікрообсягів матеріалу, можливо (якщо б не було обмеження чутливості) зареєструвати практично всі види зношування. Але питомий внесок у спільний баланс втрат лінійних розмірів чи масових втрат металу буде мати процес зношування від зовсім незначних значень порядку 0,001–0,01 %, середніх – 1–10 % та значних – 50–90 %. Тому виявлення закономірностей, що дозволяють прогнозувати повну картину від початку до кінця, як елементарних актів, так і сумарної дії, зміну превалюючих і суміжних механізмів зношування у часі є можливим тільки в умовах поєднання всіх трибоматеріалознавчих наукових напрямків. При цьому конче важливим та необхідним є розуміння того, що ця інтеграція повинна відбуватися не просто механічним шляхом із додаванням одного до іншого. Ця теза повинна розглядатися поступово, логічно з осмисленням доцільності цього злиття у кожному конкретному випадку, але у рамках загальної комплексної багатокритеріальної трибосистеми. На нашу думку, треба більш детально звернути увагу на потенційні можливості, які обумовлюють *приспосовуваність* структури, яку розуміють як властивість трибосистеми в умовах зовнішнього впливу змінювати і стійко відтворювати свою структуру в енергетично вигідному напрямку (ДСТУ 2823-94).

Перш за все це пов'язано з тим, що поверхнєве руйнування матеріалів при терті та зношуванні представляє собою особливу форму дисипації енергії, при якому відбувається процес пластичної деформації поверхневого шару і відтворення самоузгодженої структури, обумовлений розвитком концентраторів напружень мікро-, мезо- і макромасштабних рівнів [4]. Різниця між внутрішньою енергією системи в початковому і нестійкому (активованому) стані є енергією активації цих процесів, яка оцінюється як підвищення внутрішньої енергії мезо- (або макро-) системи за рахунок сумарної роботи, витраченої на пружній зсув частинок матеріалу від положення рівноваги, що знижує енергію створення одиничних пошкоджень. При цьому відбувається незворотне зростання кількості дислокацій у площинах ковзання до величини, при якій активується по даній площині зрушення кристалічної ґратки, тобто фіксується пластична деформація матеріалу.

Особливо вагомим з теоретико-практичних досліджень слід рекомендувати $\gamma \rightarrow \alpha$, $\gamma \rightarrow \epsilon$ та інших перетворень до вивчення структур, які можуть мати приспосовуваність чи адаптацію в умовах контактування поверхонь без абразивних часток. Так теоретично припустимо, що концентрація напружень у точках дотику виступів може створювати значні деформації, які обумовлюють відтворення на поверхні тертя мартенситу з мікротвердістю до 10–2 ГПа та інших фаз з H_{50} 6–30 ГПа.

Розсіювання підводиться до робочої поверхні енергії при зовнішньому впливі найбільш ефективно проводиться мікрогетерогенність структурою з метастабільного аустеніту [3]. Метастабільні аустенітні сталі реагують на мікролокальні ударні впливи освітою дисперсних кристалів мартенситу напруг (нижче температури M_s) або мартенситу

деформації (нижче температури M), що створюють високий рівень зміцнення поверхні, що екранують її від пошкоджень і одночасно сприяють релаксації пікових напруг у процесі розвитку деформаційного мартенситного перетворення [6]. Крім цього не треба уникати принципової можливості використання дисипативних структур, які мають тимчасове або просторове упорядкування у вигляді системної самоорганізації.

Висновки

Наявність перетворень, що забезпечують підвищення фізико-механічних характеристик на поверхні, що зношується, є наслідком адаптації сплаву до зовнішніх силових навантажень при контактній взаємодії, в результаті чого останній набуває деякі властивості дисипативних систем. Однак, адаптація матеріалів за рахунок зміцнення поверхні тертя в умовах конкретного абразивного зношування не може залишатися безфінальним актом, обходячи стадію деструкції, тобто відділення мікрооб'ємів металу, що вказує на отримання тільки квазидисипативних властивостей. Тож аналіз підходів до дослідження зносостійкості сталей та сплавів показав, що на попередніх етапах розвитку трибоматеріалознавства вирішувались різні окремі задачі та здійснювались спроби поширити ці окремі рішення на все різноманіття явищ, що супроводжує тертя та зношування. Тому, при розробці нових зносостійких наплавлювальних матеріалів необхідно використовувати синергетичні підходи, які дозволяють розглядати триборуйнування як дисипацію енергетичного впливу комплексної багатокритеріальної системи в умовах контактної взаємодії, що забезпечує підвищення зносостійкості матеріалів у рамках дисипативних і квазидисипативних систем.

Список літератури

1. Попов С. М. Перспективи адаптації системи освіти галузей зварювання за вимогами європейських стандартів та Болонської угоди / С. М. Попов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2005. – № 1. – С. 156–161.
2. Popov S. N. Wear resistance of metal deposited on working parts of road-building machines during their operation / S. N. Popov // The patron welding journal. – Kyiv. – 2000. – № 8. – С. 14–16.
3. Якубов Ф. Я. Особенности проявления закономерностей физической мезомеханики при трении и износе / Ф. Я. Якубов, В. А. Ким, Ч. Ф. Якубов. – (<http://www.nbu.gov.ua/portal> – Нац. бібліотека Укр. ім. В. І. Вернадського)-інтернет ресурс.
4. Попов С. М. Синергетична концепція самоорганізації: теоретико-методологічний аналіз / Сергій Миколайович Попов // ГІЛЕЯ : науковий вісник : зб. наук. праць / Гол. ред. В. М. Вашкевич. – К. : ВІР УАН, 2010. – Вип. № 41 (№ 11). – С. 247–257.
5. Филиппов М. А. Применение сталей со структурой метастабильного аустенита в условиях высоких контактных нагрузок / Филиппов М. А. Разиков Н. М. // Новые направления в развитии оборудования непрерывной разливки металлов : мат-лы междунар. науч.-практич. семинара. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ им. Б. Н. Ельцина, 2009. – С. 72–86.
6. Попов С. М. Особливості руйнування сталей і сплавів з нестабільною структурою в умовах адаптації до зовнішніх енерго-механічних впливів / Попов С. М. // Триботехнічні та матеріалознавчі аспекти руйнування сталей і сплавів при зношуванні : навч. пос. – Запоріжжя : ЗНТУ, ВАТ «Мотор Січ», 2010. – С. 186–196.

Одержано 29.11.2012

© Канд. техн. наук С. М. Попов

Національний технічний університет, м. Запоріжжя

Popov S. Methodological aspects of modern problems triboengineering material science in the context of higher engineering personnel training
