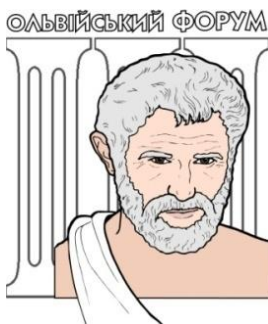


Міністерство освіти і науки України
Чорноморський державний університет імені Петра Могили
Асоціація трибологів України
Хмельницький національний університет



ТЕЗИ
конференції
**«ТРИБОЛОГІЯ, ЕНЕРГО-
ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ»**

в рамках Міжнародної науково-практичної конференції
«ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2015:
СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРЬСЬКОГО РЕГІОНУ
В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ»



3–6 червня 2015 р.
Миколаїв, Україна

Трибологія, енерго- та ресурсозбереження (в рамках Міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум – 2015: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі») : тези. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – 48 с.

Метою конференції є обмін науково-технічною інформацією, напрацювання перспективних напрямків теоретичних та експериментальних досліджень в галузі трибології, енерго та ресурсозбереження. В матеріалах тез доповідей конференції розглянуті моделі і методи механіки контактної взаємодії поверхонь, методики проведення випробувань на тертя та зношування, способи досягнення потрібних властивостей поверхонь тертя завдяки зміцнюючому впливу та нанесенню покриттів, процеси що відбуваються в мастильному шарі, процеси самоорганізації в трибологічних системах, конструювання та методи розрахунку вузлів тертя.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів та аспірантів.

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ
ТА ЗНОШУВАННЯ В МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ
ТРИБОСИСТЕМАХ**

Розглянуто питання зв'язку між коефіцієнтом тертя і динамічними властивостями полімерів ПА-6, ПА-12. Виявлено закономірності зміни амплітудних залежностей внутрішнього тертя і модуля зсуву від шляху тертя. Визначено, що чим більша амплітуда збудження, тим більш інтенсивно протікає процес релаксації, особливо на початковій стадії випробувань. Зі збільшенням шляху тертя нахил амплітудних залежностей зменшується, а при досягненні деякого критичного напрацювання залишається незмінним.

На стадії припрацювання відбувається своєчасне текстурування поверхневого шару полімеру, пов'язане розтягом і орієнтацією молекулярних ланцюгів, що приводить до втрати їх рухомості і, як наслідок, до зниження рівня дисипації енергії. В кінцевому підсумку величина Q^{-1} прямує до рівня амплітудно-незалежного внутрішнього тертя, при якому механічні втрати мінімальні. Зменшенням рухомості молекулярних ланцюгів полімеру в процесі припрацювання підтверджується також зростанням модуля зсуву G_{zc} з часом напрацювання.

З теоретичної точки зору сумісний вплив факторів зменшення механічних втрат і росту модуля зсуву повинно приводити до зниження коефіцієнта тертя. Разом з тим експериментальні дослідження свідчать про зовсім протилежну тенденцію: зі збільшенням Q^{-1} і модуля зсуву G_{zc} коефіцієнт тертя зростає. Для обґрунтування спостереженого додатково проведені експериментальні дослідження з виділенням продуктів зносу із зони тертя на різних стадіях напрацювання. При цьому вимірювали показники як зовнішнього так і внутрішнього тертя.

В роботі використано методики динамічного механотермічного аналізу (ДМТА) поверхневих шарів матеріалів при їх контактній взаємодії і диференціальної трибовіскозиметрії безперервної дії для полімерних матеріалів в стані розплаву.

Методом ДМТА вивчали тонку структуру і релаксаційні процеси динамічними механічними вимірюваннями модуля пружності і кут зсуву по фазі між напруженням і деформацією, що характеризує механічні втрати або внутрішнє тертя. Метод має можливість проводити вимірювання внутрішнього при їх контактній взаємодії в умовах зовнішнього тертя.

За допомогою індентора навантаженого нормальною силою збуджуються крутильні коливання з амплітудою деформації попереднього зміцнення, вимірюють часову залежність тривалості і амплітуди затухаючих коливань маятника, по якому розраховують величину внутрішнього тертя Q^{-1} та значення компонент комплексного модуля зсуву.

Знос зразків в контакт з рухомою високов'язким полімерним середовищем проводили на диференціальному трибовіскозиметрі безперервної дії.

Виявлено, що, незалежно від часу напрацювання тертям, величини f_{mp}^{zn} і Q^{-1} після видалення продуктів зносу приймали значення відповідні початковому моменту випробувань. Це свідчить про те, що зростання коефіцієнту тертя на стадії припрацювання зв'язано із механічними втратами в продуктах зносу, тобто з демпфіруючою дією продуктів зносу. Отримані залежності $f_{mp}^{zn}(Q^{-1}, A)$ мають лінійний характер і перетинаються в точці $f_{mp}^{cm}=0,41$, $Q^{-1}=0,016$, в якій f_{mp}^{zn} відповідає рівню амплітудно-незалежного внутрішнього тертя. При амплітудах збудження, що відповідають амплітудно-незалежному внутрішньому тертю, величина f_{mp}^{zn} не буде залежати від рівня f_{mp}^{cm} . Зазначене дозволяє запропонувати метод прискореної оцінки величини f_{mp}^{cm} , для встановлення якого у ряді випадків необхідне тривале випробування.

При відсутності продуктів зносу величина f_{mp}^{zn} прямо пропорційна внутрішньому тертю Q^{-1} . Для гетероланцюгового полімеру ПА-12, що має високу щільність енергії когезії ($e_{koc}>4\cdot 10^5$ кДж/м³), отримано рівняння:

$$f_{mp}^{zn} = 0,05 + 0,25Q^{-1}.$$

Розглянуто також залежність об'ємного зносу та коефіцієнта тертя від температури сталей 40Х та сталі 45 в контакт з полімерними матеріалами ПА-6, ПА-12, модифікованими скловолкнами.

Випробування проводили при навантаженні 144 Н і швидкості ковзання 0,03 м/с. Головною особливістю отриманих залежностей є їх екстремальний характер. Більшість теорій руйнування полімерів вказує на зв'язок між в'язкопружними і міцнісними властивостями. Найбільш чітка така кореляція проявляється для орієнтованих полімерів модифікованих скловолкнами. Оскільки тертя здійснюється в умовах зсувних напружень, що приводять до орієнтаційних ефектів на поверхні полімерів, то слід очікувати кореляції між динамічними властивостями полімерів, їх зносом і зносом металевого ТЕ. Для цього проведені залежності внутрішнього тертя і модуля зсуву від температури.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИРОДИ І ХАРАКТЕРИСТИК ЯВИЩ ЗНОШУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ТРИБОЕЛЕМЕНТІВ З ТРИБОФІЗИЧНОЇ ТОЧКИ ЗОРУ

В умовах збільшення швидкості прикладання навантаження трибоелементів (ТЕ), зміцнених композиційними матеріалами (КМ) та композиційними покриттями (КП), швидкість деформування зростає і змінюється границя міцності. При цьому поведінка компонентів КМ (КП) суттєво відрізняється між собою, а характер процесів зношування та руйнування ТЕ є багатофакторним. При мікроударному навантаженні, робота зношування та руйнування визначається ударною в'язкістю та міцністю матеріалу. Поведінку КМ (КП) в таких умовах визначають такі фактори: структура та властивості компонентів; склад, властивості та зношувана здатність абразивного середовища; величина та характер навантаження зовнішніми силами та ін.

Для матеріалів ТЕ встановлена активна специфічна зміна стану при навантаженні: наноструктурування аж до аморфізації, інтенсивні дислокаційні процеси, формування тріщин та ін. Механічне навантаження поверхні ТЕ приводить до збурень в електронній підсистемі, а розрив міжатомних зв'язків означає різке збудження електронних станів. В кінетиці зношування та руйнуванні важливим є перехід процесу з мікроскопічного на макроскопічний рівень.

Експлуатаційна зносостійкість більшості деталей залежить від їх працездатного стану і комплексу фізико-механічних та експлуатаційних властивостей робочих поверхонь. Вихід їх з ладу, в першу чергу, обумовлюється величиною і характером зносу, а також втомленістю матеріалу. Для обґрунтування розвитку процесів в локальних областях ТЕ можна використати діаграму стану атомно-молекулярних зв'язків.

В локальній області розгінної западини діаграми стану атомно-молекулярних зв'язків локальних областей з термодинамічними температурами формуються ділатонні типи зв'язків, а гальмівного бар'єру – компресонні. З точки зору фізики твердого тіла (ФТТ) тип зв'язку характеризується напрямками спінів атомів (молекул) у вузлах кристалічної ґратки матеріалу ТЕ: для ділатонів спіни паралельні, що обумовлює електростатичне відштовхування атомів (молекул) і створення локальних областей деформацій розтягу, а для компресонів – властиві антипаралельні спіни, що приводить до появи сил притягання і створення локальних областей деформацій стиску.

З діаграми стану атомно-молекулярних зв'язків можна бачити, що ділатонні зв'язки утворюються в низькотемпературній області з мінімумом вільної енергії, а компресонні – у високотемпературній області з максимумом вільної енергії. При випромінюванні фононів компресонами знижується локальна температура і вони переходять в ділатонну область, в той час як ділатони не можуть перейти в компресонну область. Під впливом навантаження тертям в ділатонних областях матеріалу ТЕ спостерігається крихке деформування та руйнування, а в компресонних, при їх переході в ділатонну область, – пластичне. Звісно, що ці процеси носять імовірнісний характер і при їх узгодженні спостерігаються цілі макрообласті крихкого або пластичного деформування та напрямку розвитку і поширення мікротріщин в матеріалах ТЕ.

Виявлено, якщо ТЕ, виготовлені з металів і сплавів, здатні до фазових перетворень (ФП), то при цьому їх локальні області мають переважно атомні зв'язки компресонного типу, в той час як абразивні частинки середовища ґрунту і тверді частинки наповнювачів КМ (КП) мають переважно зв'язки ділатонного типу. Виходячи з ФТТ, компресонні і ділатонні локальні області ТЕ мають електромагнітну природу і являють собою електромагнітні диполі. Протікання ФП, розподіл компресонних та ділатонних локальних областей, їх взаємодія в матеріалах ТЕ свідчить про суттєву роль як енергетичних характеристик вузлів кристалічної ґратки, які в процесі тертя і зношування матеріалу переходять в нерівноважний стан, а при переході в стан стійкої рівноваги зазначені локальні області випромінюють або поглинають потоки енергії електромагнітної хвилі.

Визначено, що характер зношування матеріалу ТЕ визначається передусім потужністю потоку атомно-молекулярних зв'язків в локальних областях та їх взаємодією і формуванням макродеформацій розтягу або стиску і руйнування у вигляді мікро- та макротріщин. При зношуванні від статичного і динамічного розтягу спостерігається скорочення площі поперечного перерізу матеріалу ТЕ поблизу місця руйнування, оскільки $N_{T_c} > N_{T_d}$. Зазначимо, що при втомленому зношуванні $N_{T_c} \approx N_{T_d}$. При цьому поверхня руйнування, як правило, має дві зони: власне втомленого руйнування, що формується за рахунок розпаду ділатонного типу зв'язків при температурі T_d , та остаточного руйнування при температурі T_c компресонних зв'язків. Тривалість стійкого існування атомно-молекулярних зв'язків локальних областей матеріалу ТЕ визначається діапазоном термодинамічних температур (T_c, T_d), який не перевищує 15...20 % повного інтервалу температур.

Таким чином, зазначений трибофізичний підхід до природи і характеру зношування матеріалу ТЕ можна використати для реалізації методології підвищення зносостійкості деталей з використанням системно-спрямованого підходу та синергетичної концепції.

УДК 621.891:631.31

Аулін В. В., Тихий А. А.,

Кіровоградський національний технічний університет, Україна

ТРИБОФІЗИЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИЯВЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ І СТАНІВ У ЗОНІ КОНТАКТУ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ РОГЗМ-ГРУНТ

Створення високоефективних робочих органів ґрунтообробних та землерийних машин (РОГЗМ) вимагає більш глибокого дослідження їх взаємодії з ґрунтовим середовищем та супроводжуючих фізичних процесів. Процеси тертя та зношування в ґрунті реалізуються на фоні взаємодії робочого органу (РО) із середовищем ґрунту і являють собою складну сукупність фізико-хімічних явищ. Зважаючи на фізичну природу цих явищ доцільно їх розглядати з точки зору трибофізичного підходу до природи і механізму їх прояву, а еволюцію розвитку – з позиції термодинаміки нерівноважних та незворотних процесів. В контактній та приконтактній зонах взаємодії різального елемента (РЕ) РОГЗМ з ґрунтом спостерігаються структурно-енергетичні зміни трибопроцесів. Дослідження енергетичних характеристик руйнування поверхневих шарів РЕ ускладнюється впливом на їх стан багатьох одночасно протікаючих і конкуруючих синергетичних перехідних процесів, в результаті яких проявляються специфічні поверхневі ефекти, обумовлені взаємодією поверхні РЕ з середовищем ґрунту та їх обмін потоками енергії та речовини.

Еволюція розвитку трибосистеми «РОГЗМ-ґрунт» є кінетичним процесом, що прямує або до його повної деградації, або самоорганізації і виходом на принципово відмінний від початкового стану рівень стаціонарної або нестационарної динамічної рівноваги, тобто самоорганізації. Реалізація процесів самоорганізації визначається критерієм Пригожина-Гленсдорфа:

$$\frac{\partial \sigma_s}{\partial t} \leq 0,$$

де σ_s – виробництво ентропії, t – тривалість протікання процесу.

В якості універсальної бази для опису зміни стану поверхневого шару РОГЗМ можна прийняти поєднання системно-спрямованого підходу та енергетичної концепції, при якому критичний стан матеріалу пов'язаний з досягненням щільності внутрішньої енергії в локальних областях величини енергії активації руйнування, при якому дисипативна система переходить в точку біфуркації. Згідно сучасних уявлень про руйнування твердих тіл, енергію активації руйнування можна розглядати як характеристику міцності матеріалів, яке є доречним в трибології, що синтезує в собі уявлення фундаментальних наук про міцність матеріалів.

Всі види структурних змін матеріалів поверхонь тертя також мають єдину природу, обумовлену енергетикою трибоактивування і пасивації матеріалів деталей. Необхідною умовою нормалізації процесів тертя є створення динамічної рівноваги між процесами активування і пасивації, при якому ефективна енергія активації знаходиться в межах значень енергії, необхідної для утворення вторинних структур (ВС):

$$G_{ef} = G_{nac} .$$

ВС навіть при незначній збурювальній дії призводять до переходу системи в новий енергетичний і структурний стан на більш високому рівні стійкості. Внаслідок цього зносостійкість зміцнених матеріалів в основному визначається можливістю самоорганізації структури поверхневих шарів деталі стосовно до діючої схеми напружено-деформованого стану, тобто можливістю володіти трибоенергетичною пристосованістю. Довговічність триботехнічних матеріалів забезпечується в тому випадку, якщо накопичена при зовнішньому температурно-силовому впливі надлишкова енергія встигає розсіятися перш, ніж досягне критичного рівня, що викликає руйнування матеріалу поверхні спряжених деталей.

Дослідження зміни накопичення енергії поверхневих шарів в процесі зношування практично не проводилися, оскільки не було відповідних методик і технічних засобів. Традиційні термодинамічні методи оцінки енергії активації руйнування матеріалів є тривалими, трудомісткими і не придатними для дослідження тонких, модифікованих тертям поверхневих шарів, що стало серйозною перешкодою для широкого застосування в трибології енергетичних критеріїв міцності і розрахункових моделей зношування кінетичного типу. З тієї ж причини відсутні систематизовані дані про активаційні параметри руйнування матеріалів при різних механізмах пошкоджуваності. Разом з тим при оцінці зносостійкості ефективності ресурсопідвищуючих технологій зміцнення, дослідження якості покриттів і визначенні їх довговічності в полі діючих навантажень і температур енергетичні

показники можуть бути більш інформативними в порівнянні з силовими і деформаційними критеріями. Тому найважливішим для широкого впровадження кінетичного підходу до опису пошкоджувальності і руйнування матеріалів є розробка доступних методик оцінки активаційних параметрів руйнування матеріалів.

Остаточно не розроблена трибофізична теорія процесів обробки ґрунту, яка враховує структурно-енергетичні зміни в зоні контакту РЕ РОГЗМ з ґрунтом, а результати дослідження по теорії руйнування ґрунту, запропоновані В. П. Горячкиним, ґрунтуються на уявленні про ґрунт як суцільного середовища з ізотропними властивостями і не відображають будови і властивостей реального ґрунту. В той час системні дослідження процесів різання ґрунтів РОГЗМ проведені М. Г. Домбровським, І. Я. Айзенштоком, Ю. А. Ветровим, А. Н. Зелениним та ін., дали можливість більш глибоко дослідити механіку ґрунтів, однак механіка ґрунтів потребує більш ретельних досліджень з врахуванням закономірностей внутрішнього та зовнішнього тертя.

УДК 631.331.92

Аулін В. В.,

Кіровоградський національний технічний університет, Україна

ПІВНЯННЯ СТАНУ ЕЛЕМЕНТІВ ТРИБОСИСТЕМ ТА РЕЖИМИ ЇХ ЗНОШУВАННЯ

Будь-яка, навіть проста трибосистема (ТТС), що складається з трибоелементів (ТЕ), містить інформацію, що є відображенням фізичних явищ, фізичні взаємодії не тільки елементів, але і всієї системи.

В процесі функціонування елементів ТТС інформація про їх стан та стан ТТС в цілому, визначає властивості діючих на них зовнішніх і внутрішніх процесів, явищ, об'єктів. ТТС не виключає наявності здатності інтерпретувати будь-яким чином ефект впливу для адаптації, що йде від зовнішніх систем, запускаючи систему управління програмою адаптації та різні види зношування.

Процеси зношування при терті в ТТС мають нелінійний характер. При побудові моделі процесів зношування використовували наступні припущення:

– фрикційний контакт містить приповерхневий шар, його підшар (шар Сен-Венана) і матеріал основи;

– рух речовини у приповерхневому шарі здійснюється завдяки в'язкопластичного плинучості елементів його структури і локальних мікро-руйнувань;

– локальні мікротріщини зароджуються на дефектах структури різної природи і масштабів;

– шар Сен-Венана випробовує невеликі пружно-пластичні деформації і виконує буферні функції по відношенню до матеріалів основи і згладжує флуктуації тиску приповерхневого шару.

В процесі тертя відбувається масообмін між приповерхневим шаром і його підшаром, обумовлений зміною контактного тиску та структури. Знос поверхні при цьому визначається розрихленням матеріалу і виносом його з зони тертя. Швидкість виносу матеріалу за межі зони контакту залежить від товщини приповерхневого шару; лінійних розмірів контакту та величини контактного тиску. Визначено, що зі збільшенням товщини приповерхневого шару швидкість зносу матеріалу зростає. Зміна тиску в процесі контакту приводить до розвитку мікропошкоджень і сприяє накопиченню пошкоджень крупних масштабів.

Стан приповерхневого шару ТЕ описується системою рівнянь:

$$\begin{cases} \tau_1^{-1} \dot{u} = u + C_{3e1} h; \\ \tau_2^{-1} \dot{h} = -h + C_{3e2} u p; \\ \tau_3^{-1} \dot{p} = (p_c - p) - C_{3e3} u h, \end{cases}$$

де $\tau_i (i = \overline{1,3})$ – константи, що характеризують час релаксації;

$C_{3ei} (i = \overline{1,3})$ – константи зв'язку; p_c – параметр зовнішнього впливу.

Змінними стану є знос поверхні u , що визначається як зміна початкового положення межі ТЕ, товщини приповерхневого шару h (область, зайнята розрихленим матеріалом) і контактний тиск p . При цьому знос виконує роль параметру порядку, а контактний тиск – керуючого параметру при реалізації стану самоорганізації матеріалу ТЕ.

В отриманій системі рівнянь перше рівняння лінійне, а решта нелінійні. Перші додатки описують релаксацію за стаціонарним значенням $u=0, h=0, p=p_0$. Від'ємний знак в третьому рівнянні перед $C_{3e3} u h$ відображає дію принципу Ле-Шательє-Брауна, а плюс перед $C_{3e2} u p$ – позитивний зворотній зв'язок між параметром порядку u і керуючим параметром, який є причиною самоорганізації ТТС.

Аналіз системи рівнянь стану приповерхневого шару ТЕ свідчить про існування трьох відмінні між собою режимів зношування.

Перший характеризується затухаючим характером зміни змінних станів. При тривалому зношуванні при ньому спостерігається вирівню-

вання тиску і товщини приповерхневого шару. Такий режим зношування відповідає аттрактору у вигляді стійкої нерухокої точки. Процес зношування у другому режимі має незатухаючий коливальний характер, який є стаціонарним після деякого проміжку часу. При цьому аттрактором є стійкий граничний цикл. Для третього режиму зношування характерні нерегулярні коливання тиску і товщин приповерхневого шару і, практично, не можна передбачити поведінку ТТС на великих інтервалах часу. Зміна режимів зношування відбувається не монотонно, а стрибкоподібно, при переході значень керованого параметру через критичні точки. Такий режим зношування відповідає дивному аттрактору.

Виявлено, що при виконанні умови $\tau_1 \sim \tau_2 \ll \tau_3$ реалізується коливальна поведінка ТЕ. В протилежному випадку усі фазові траєкторії збігаються до універсальної ділянки, що відповідає режиму усталеного зношування.

Виходячи із рівнянь стану приповерхневого шару ТЕ можна пояснити: експериментальні закономірності зношування спряжень ТЕ у припрацьованому стані і зв'язок його з тиском в зоні контакту; незалежність характеристик ТТС у припрацьованому стані від початкових параметрів; хвилявий характер зношування при умові сталості зовнішніх факторів.

УДК 621.891

Борак К. В.,
Житомирський агротехнічний коледж, Україна

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ В АБРАЗИВНІЙ МАСІ

Питаннями математичного моделювання процесу зношування в абразивній масі займалися У. А. Ікрамов, М. М. Тененбаум, М. М. Северньов, М. М. Хрущов, Б. І. Костецький, В. І. Дворук, В. В. Аулін та інші.

У. А. Ікрамов запропонував математичну модель для визначення величини зносу при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками:

$$U_{\delta} = I_h L 10^3, \quad (1)$$

де U_{δ} – знос при мікрорізанні початково-вільними абразивними частинками; L – шлях тертя; I_h – інтенсивність абразивного зношування;

$$I_h = \frac{hbn_a}{A_a} 10^{-6}, \quad (2)$$

де h – глибина входження абразивної частинки в матеріал деталі; b – ширина подряпини; n_a – кількість абразивних частинок; A_a – номінальна площа контакту.

Ширина подряпини у відповідності може бути розрахована за формулою:

$$b = 1,4R_a, \quad (3)$$

де R_a – радіус абразивної частинки.

Зношування в реальній абразивній масі може носити змішаний характер. Тоді сумарний знос можна буде визначити із залежності:

$$U = U_v + U_\delta, \quad (4)$$

де U_v – знос при полідеформаційному руйнуванні:

$$U_v = V_v \frac{n_M}{e^\lambda - 1}, \quad (5)$$

де V_v – об'єм одиничного пошкодження матеріалу при полідеформаційному процесі; n_M – число актів мікрорізання; λ – степеневий показник:

$$\lambda = \frac{n_p}{n_{\bar{A}}}, \quad (6)$$

де n_p – число циклів руйнування;

$n_{\bar{A}}$ – число циклів пластичного деформування.

М. М. Тененбаум увів поняття критичного степеню змішаності деформуючих і ріжучих частинок $\left(\frac{n_M}{n_{\bar{A}}}\right)_{\varepsilon\delta}$, який відповідає відношенню зносу при полідеформаційному й прямому руйнуванні:

$$\left(\frac{n_M}{n_{\bar{A}}}\right)_{\varepsilon\delta} = \frac{\ln\left(1 + \frac{V_v}{V_\delta}\right)}{n_p}, \quad (7)$$

При $V_\delta = V_v$ і значенню числа циклів до руйнування $n_p = 10 \dots 10^3$ $\left(\frac{n_M}{n_{\bar{A}}}\right) = 0,07 \dots 7\%$. Відповідно, навіть при малій кількості зерен, які ріжуть поверхню, вони зношують поверхню тертя більше, ніж в результаті пластичної деформації.

У праці Б. І. Костецького з мікроскопічної точки зору зношування різальних елементів ґрунтообробних машин на основі класичної схеми протікання процесу описано стохастичним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dU}{dt} = \varphi(U, t) + \psi(U, t)\xi(t), \quad (8)$$

де $U(t)$ – функція відносного зносу; $U(t) = \frac{u(t)}{u_{zp}}$, $u(t)$ – поточний знос; u_{zp} – граничний знос; $\varphi(U, t), \psi(U, t)$ – детерміновані функції, що характеризують інтенсивність зносу; $\xi(t)$ – випадкова складова; t – тривалість зношування.

Випадкова функція $U(t)$ описує безперервний марківський процес, якщо значення функції $\zeta(t)$ – незалежні випадкові величини.

У існуючих математичних моделях зносу деталей машин, що працюють в абразивній масі, можна відмітити наступні недоліки: громіздкість і незручність використання, не враховано можливість зношування матеріалів різних властивостей (на одній деталі), обмеженість набору параметрів, які впливають на знос та складність, а іноді й неможливість їх вирішення за допомогою ПЕОМ.

Висновки: необхідно створити математичну модель зношування в абразивній масі, яка дозволить врахувати всі параметри та проводити моделювання за допомогою ПЕОМ.

УДК 621.744:004.94

Головка А., Клименко Л. П., Андреев В. И.,
Черноморский государственный университет
им. Петра Могилы, Украина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ LVMFlow

В настоящее время в мировой практике производства заготовок поршневых колец преобладают два способа литья. Получение индивидуальной и маслотной заготовки из серого и высокопрочного чугуна в песчано-глинистые и оболочковые формы, и центробежный способ литья, предназначенный главным образом для получения маслотных заготовок из высокопрочного чугуна. Технологию получения индивидуальной заготовки используют для получения колец диаметром до 250 мм, от 250 до 450 мм индивидуальным и маслотным способом, свыше 450 мм предпочтение отдается маслотной заготовке.

Для прогнозирования свойств, дефектов полученных заготовок и параметров литья ведущие мировые производители поршневых колец (немецкая фирма Deutz, китайская компания WeichaiPowerEquipment, японская – ISUZU) применяют компьютерное моделирование процесса литья.

Для выбора оптимальной технологии литья поршневых колец (рис. 1) была выбрана российская программа LVMFlow.

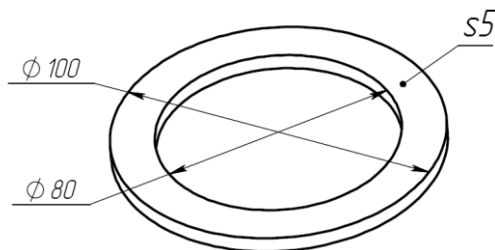


Рис. 1. Геометрия поршневого кольца

Начальные технологические данные:

- материал отливки: СЧ-20;
- температура заливки: 1350 °С;
- температура формы: 20 °С;
- плотность формы: 85-90 ед.;
- опоки: 150x150x30 (низ)/15 (верх) [мм];
- формовочная смесь песчано – глинистая состава:
 - отработанная горелая земля: 94,0-97,0%;
 - песок кварцевый ГОСТ 2138-91 3-5K₁₋₂O₃₋₄O₂: 3,0-6,0 %;
 - суспензия бентонитовая ($\rho = 1,1-1,3 \text{ г/см}^3$, рН = 10,5-12,5): 3,2 %.

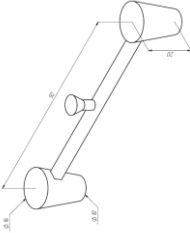


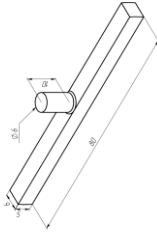


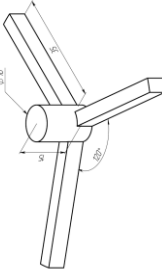


Исследуемые варианты литниковых систем и результаты представлены в табл. 1.

Анализируя данные таблицы 1, пришли к выводу, что применение второй и третьей литниковых систем приведут к появлению усадочных дефектов на лицевой стороне заготовки поршневых колец. Для устранения этих дефектов потребуется увеличить толщину заготовок, а значит увеличить затраты материала и продолжительность механической обработки заготовок.

Применение первой литниковой системы обеспечит получение лицевой поверхности заготовок поршневых колец без дефектов, а значит без дополнительных затрат.

Таблица 1

Расчетные параметры литых поршневых колец

Литниковая система	3D модель кольцо +литниковая система	Усадка (на 3D модели более темным цветом)	Расчётные параметры
			<ul style="list-style-type: none"> - время заполнения – 26,77 с; - заполнено – 97 %; - объемная усадка – 2,23 %; - масса – 0,145 кг; - $T_{\max} = 1103 \text{ } ^\circ\text{C}$.
			<ul style="list-style-type: none"> - время заполнения – 20,99 с; - заполнено – 98,6 %; - объемная усадка – 0,914 %; - масса – 0,115 кг; - $T_{\max} = 1128 \text{ } ^\circ\text{C}$.
			<ul style="list-style-type: none"> - время заполнения – 29,3 с; - заполнено – 98,95 %; - объемная усадка – 0,329 %; - масса – 0,124 кг; - $T_{\max} = 1128 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Изменение параметров литья при изменении температуры формы для первой литниковой системой (табл. 1) представлены в табл. 2:

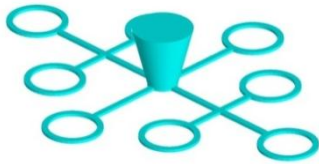
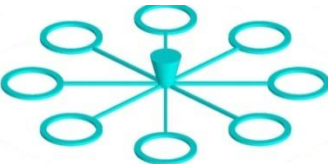
Таблица 2

Тем-ра формы 60 °С	Тем-ра формы 150 °С	Тем-ра формы 200 °С
– время заполнения – 26,77 с.;	– время заполнения – 36,78 с.;	– время заполнения – 39,20 с.;
– заполнено – 97 %;	– заполнено – 98,5 %;	– заполнено – 98,5 %;
– объемная усадка – 2,23 %;	– объемная усадка – 0,84 %;	– объемная усадка – 0,79 %;
– T_{\max} = 1103 °С.	– T_{\max} = 1129 °С.	– T_{\max} = 1104 °С.

Анализируя полученные данные видно, что нагрев формы приводит к снижению усадки за счет меньшего градиента температуры, а значит, кристаллизация идет равномерно по всему объему отливки.

Производить отливку одного кольца нетехнологично. Были спроектированы два вида литниковой системы для отливки восьми заготовок поршневых колец. Производили виртуальную заливку с помощью программного обеспечения LVMFlow. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

3D модель 8-ми колец + литниковая система	Расчётные параметры
	– время заполнения – 5мин. 40 с.;
	– заполнено – 98,4 %;
	– объемная усадка – 0,157 %;
	– масса – 1,61 кг;
	– T_{\max} = 1107 °С.
	– время заполнения – 3мин. 22с.;
	– заполнено – 98,25 %;
	– объемная усадка – 0,025 %;
	– масса – 1,45 кг;
	– T_{\max} = 1098 °С.

Полученные результаты виртуальной заливки заготовок поршневых колец позволяют сформулировать ряд требований для получения заготовок поршневых колец:

– свойства материала формы должны быть близкими к свойствам песчаной смеси. В дальнейшем необходимо провести замену формы из песчаной смеси на форму из губчатого титана.

- забезпечити нагрів форми до 200 °С;
- производити заливку кількох кілець одночасно;
- розгалуження форми від центру заливки.

Висновки:

1. Застосування комп'ютерного моделювання привело до відмови від методу «проб і помилок».

2. Комп'ютерна візуалізація процесу заливки надає можливість спостерігати за розвитком процесів. Чітке хронометрування утворення дефектів дає можливість зрозуміти, коли і в якій області дефекти можуть виникнути, відкриває простір для швидкого реагування і внесення змін у конструкцію.

3. Отримання бездефектної відливки за рахунок змін не тільки конструкції, але й матеріалу форми, а також температури форми і температури заливки.

УДК 621.894:62-192

Гончар В. А.,

Хмельницький національний університет, Україна

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ВІДКРИТИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ

Зубчасті передачі мають широке застосування в техніці. Їх довговічність і надійність часто визначають надійність і довговічність машин в цілому. Досвід експлуатації зубчастих кілець свідчить, що переважна більшість виходу їх з ладу відкритих зубчастих передач відбувається в результаті поломки зубів від вигину. В даний час існує багато способів підвищення зносостійкості і довговічності зубчастих передач, але проблема не вирішена до кінця і є актуальною.

Дослідження на багатоциклову втому при згині проводились на гладких циліндричних зразках діаметром 5 мм на машині ИМА-5 при частоті згині з обертанням (частота 50 Гц), в середовищі 3%-ного розчину NaCl і в повітрі. Зразки виготовлялись з Сталі 45, частина з яких піддавалась іонному азотуванню в воденьмісткому (60 об. % N₂ + 40 об. % H₂) і безводневому (60 об. % N₂ + 40 об. % Ar) середовищах при постійній решті технологічних параметрах (T = 540°C, p = 80 Па, τ = 240 хв).

Результати цих досліджень показують, що межа витривалості зразків, що піддавалися попередньому іонному азотуванню в безводневих середовищах, при випробуваннях на повітрі підвищився в 1,9 рази

(з 190 до 370 МПа), а при випробуваннях в 3 %-му розчині NaCl в 3,6 рази (з 30 до 110 МПа) в порівнянні з аналогічними значеннями для не азотованих зразків. Межа витривалості зразків, азотованих в водень-місткому середовищі при випробуваннях в 3 %-ому розчині NaCl на 25% нижче в порівнянні із зразками, які азотувалися за аналогічним режимом в безводневих середовищах. Причиною зниження межі витривалості є шкідливий вплив водню, що викликає декогезію кристалічної решітки металу, взаємодія атомів водню в металі з дислокаціями, тиском молекулярного водню в мікропорожнинах сталі, хімічну взаємодію водню з компонентами сплаву і виділенням воденьмістких фаз.

Випробування на багатоциклову втому з концентратором напружень проводилося на плоских зразках зі сталі 45X на стенді з електромагнітним збудженням ЕРС-200 при консольному вигині зразка в одній площині і резонансі. Концентратор напружень (нарізна до зміцнення канавка глибиною 1 мм з кутом розкриття 60° і радіусом при вершині 0,2 мм) мав ефективний коефіцієнт концентрації, розрахований за Нейбером, рівний 3,22. Випробування проводилися на повітрі і в кислому середовищі (буферний розчин лимонної кислоти 5 г/л і двохзаміщеного фосфорнокислого натрію 10 г/л) рН 6,5 при частоті навантаження 350...400 Гц. За базу випробувань на повітрі і в кислому середовищі були прийняті відповідно 10^7 і $5 \cdot 10^7$ циклів навантаження. Дослідження припинялися при досягненні довжини тріщини 0,5 мм, яка фіксувалася мікроскопом МБС-1 (x88).

Аналіз умов експлуатації і напружено-деформованого стану зубів відкритих зубчастих передач показали, що різні ділянки поверхні зубів приймають різні за величиною і видом напруження. Найбільш небезпечними ділянками поверхні є ніжка і западина між зубцями. Тому очевидно, що для цих ділянок поверхні необхідні різні властивості поверхневого шару і залишкові напруження стиску, що забезпечують максимальну зносостійкість і довговічність зубчастих коліс. Досягти цієї мети можна за рахунок зміцнення поверхні зубів і в першу чергу на небезпечних ділянках за рахунок нанесення зміцнюючих покриттів з градієнтної структурою по глибині, створення в поверхневих шарах залишкових напружень стиску з оптимальним значенням і зміцнення серцевини зуба. Для цього слід використовувати термічну обробку матеріалу зуба з підвищенням твердості його серцевини, наносити зміцнюючі покриття із застосуванням іонного азотування в безводневих середовищах за оптимальними технологічним режимами з урахуванням умов експлуатації.

**ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ ВАЖКО НАВАНТАЖЕНИХ
КОНСТРУКЦІЙНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ КОНТАКТНОМУ
ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННІ**

В техніці велика кількість конструкційних елементів працює в умовах циклічної дії великих контактних навантажень при коченні з проковзуванням, зокрема: підшипники кочення, зубчаті колеса, валки прокатних станів, колеса залізничних поїздів та заводських і будівельних кранів тощо. В зоні контакту під дією нормальних і дотичних навантажень виникають великі контактні напруження, які в початковий період експлуатації часто перевищують границю пропорційності матеріалу та викликають пластичні деформації. В залежності від співвідношення нормальних і дотичних навантажень та середовища відбувається руйнування поверхні контактування за рахунок виникнення втомних мікротріщин їх розвитку і утворення пітингу або зношування при проковзування в абразивному середовищі.

Дослідженнями багатьох авторів встановлено, що відповідальними за утворення мікротріщин в матеріалі є максимальні дотичні напруження, які виникають при дії як нормальних, так і дотичних навантажень. При відсутності або малих значеннях дотичних сил в контактні максимальні дотичні напруження знаходяться на певній глибині від поверхні і визначаються за теорією Герца. При збільшенні дотичних навантажень максимальні дотичні напруження наближаються до поверхні і при відношенні їх до нормального навантаження більшому 0,3 виходять на поверхню. Тому для підвищення зносостійкості та довговічності конструкційних елементів при циклічному контактному навантаженні необхідно зміцнювати поверхню, наносячи відповідні покриття. Пріоритетними є дифузійні покриття (нітридні, карбідні, карбонітридні), що характеризуються високою твердістю, плавним градієнтом твердості по глибині, значною товщиною при відсутності проблеми адгезійної міцності на відміну від покриттів, одержаних методом осадження. Дослідження показують, що при великих контактних навантаженнях покриття будуть швидко руйнуватися, якщо вони опираються на основу малої твердості. Тому в таких випадках необхідно підвищувати твердість основи методами термічної обробки до значень твердості нижнього шару покриття.

Великий вплив на довговічність конструкційних елементів має структура матеріалу і залишкові напруження стиску, які виникають в поверхневих шарах при нанесенні дифузійних покриттів. Наявність в структурі матеріалу метастабільного залишкового аустеніту в оптимальній кількості сприяє підвищенню контактної витривалості та зносостійкості матеріалів в абразивному середовищі при коченні з проковзуванням. В результаті циклічного контактного деформування поверхневого шару залишковий аустеніт перетворюється в більш твердий мартенсит, поглинаючи при цьому частку енергії руйнування, що приводить до збільшення довговічності деталей машин.

Дослідження процесу тріщиностійкості показують, що відповідальними за утворення мікротріщин в крім інших факторів є напруження розтягу. Залишкові напруження стиску компенсують напруження розтягу, що виникають на поверхні контакту при коченні з проковзуванням. Максимальний ефект досягається при оптимальному значенні залишкових напружень стиску, які визначаються з умови рівномірності розтягнутої і стисненої зон на поверхні.

Значний вплив на контактну витривалість матеріалів має водень та гідридні сполуки, що утворюються при хіміко-термічній обробці при нанесенні дифузійних покриттів в водневих насичуючих середовищах (аміаку, газових сумішах з воднем). Нашими дослідженнями і дослідженнями багатьох авторів встановлено, що водень і його сполуки з металом викликають окрихчення поверхневих шарів конструкційних елементів та значне зменшення міцності серцевини матеріалу. Це викликає значне зменшення довговічності та зносостійкості деталей машин, що працюють при циклічному контактному навантаженні і особливо при ударних навантаженнях.

Таким чином, для підвищення зносостійкості та довговічності важко навантажених конструкційних елементів необхідно: застосовувати зміцнення поверхні нанесенням дифузійних покриттів великої товщини і оптимальної твердості та високої твердості для умов роботи в абразивному середовищі; зміцнювати серцевину матеріалу методами термічної обробки, підвищуючи її твердість і створюючи структуру матеріалу з оптимальним вмістом залишкового аустеніту; застосовувати безводневі технології при нанесенні дифузійних покриттів.

РАЗРАБОТКА АСПЕКТОВ ОЦЕНКИ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ В ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Значимая часть деталей объектов машиностроения работает при их смазывании, например: моторными, трансмиссионными, промышленными и другими маслами, из которых на поверхностях трения формируются смазочные слои. В условиях граничной смазки поверхностей трения без подачи смазочного материала, регенерируемые в местах локального контакта (по площади, точечного, линейного) механическое, тепловое, химическое поля взаимодействия могут привести к перестроению структуры смазочных слоев. Это произойдет при однозначном насыщении продуктами изнашивания материалов контактируемых поверхностей, поскольку неизбежны очаги разрушения не только адсорбционных, но и оксидных пленок, и приведет к изменению первоначальных свойств смазочного материала, например, вязкости. В процессе такого структурообразования возможно образование смазочного материала со свойствами, отличительными от исходного, т. е. вторичного. Ранее в работах был выявлен факт образования вторичного смазочного материала, и при этом имело место нормальное трение, а инициирование процесса структурообразования обуславливалось степенью поверхностной активности металлов пар трения.

Разработка трибологических аспектов повышения функциональности формирующихся смазочных структур на поверхностях твердых тел в экстремальных условиях взаимодействия является актуальным научно-техническим заданием. При этом, особо значимой задачей следует считать оценку влияния степени активности поверхностных структур материалов твердых тел, задаваемой технологически и изменяемой в процессе эксплуатации, к адсорбционным процессам с компонентами смазочных материалов.

Для оценки функциональности смазочных слоев в трибологических системах в условиях масляного голодания предлагается использовать критерий – удельное время постоянства минимального коэффициента трения, как функцию от безразмерных комплексов параметров влияния (1). Причем, одним из них рассматривается комплекс, учитывающий содержание i -ой компоненты металла в сплаве. В качестве параметров, отражающих состояние смазочного материала, рассматриваются динамическая вязкость и коэффициент поверхностного натяжения, групп-

пированные в комплексах (2). Критерием же полного разрушения – отсутствия масляных пленок, т.е. ювенильного контакта может быть принято значение коэффициента сухого трения, полученное при испытании таких же материалов в равнозначных условиях.

$$\frac{t}{\mu_{\min}} = A \Pi_1^{\alpha_1} \Pi_2^{\alpha_2} K \Pi_k^{\alpha_k} \quad (1)$$

где A – постоянный коэффициент, учитывающий влияние неучтенных факторов; $(\Pi_1^{\alpha_1} - \Pi_k^{\alpha_k})$ – безразмерные комплексы, составленные из параметров влияния; $(\alpha_1 - \alpha_k)$ – коэффициенты, определяемые экспериментальным путем; k – количество комплексов.

$$\Pi_k = \frac{N}{S_{\text{тр}k} \eta_o n}, \quad \Pi_{k+1} = \frac{v_c \sigma}{Nn} \quad (2)$$

где N – нормальная нагрузка в зоне трения, Н; η_o – динамическая вязкость масла, Па·с; $S_{\text{тр}k}$ – площадь трения, м²; σ – коэффициент поверхностного натяжения смазочного материала, Н/м; v_c – скорость сближения поверхностей через смазочные слои, мкм/с; n – частота вращения диска, мин⁻¹.

Для проведения триботехнических испытаний предлагается использовать машину трения модели СМЦ-2 с компьютеризированным управлением с моделированием контактного взаимодействия материалов со схемами трения: «подвижный диск – неподвижная колодка»; «подвижный диск – неподвижный диск»; «подвижный диск – неподвижный шарик».

Полученные результаты позволяют:

- установить закономерности формирования и поведения смазочных слоев в парах трения с различными схемами контакта, в которых возможны переходы из одного вида трения в другой при сменах режимов силового и нагрузочного взаимодействия, с деталями, изготовляемыми из одно-, и разноклассовых материалов, с различной степенью исходной и эксплуатационной активности наружных поверхностей;
- определить границы механических свойств металлов (поверхностная, объемная твердости), обуславливающих возможность смазочного функционирования внутренней поверхности металлов в трибосопряжениях, что предопределяет формирование вторичного смазочного материала, обеспечивающего их работоспособность при нарушении режимов смазки;
- разработать рекомендации по использованию материалов для изготовления деталей узлов трения, обеспечивающих повышение их надежности в аварийных эксплуатационных режимах.

Литвин С. Н.,
ООО «Мотортех»,
Манзюк В. Н.,

*Первомайский политехнический институт
Национального университета кораблестроения
имени адмирала Макарова, г. Первомайск, Украина*

О ДОВОДКЕ СИСТЕМЫ ВОЗДУХОСНАБЖЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ 6ЧН25/34

Совершенствование системы воздухообеспечения, одновременно с доводкой проточных частей турбокомпрессора является одним из важнейших вопросов при доводке двигателей и данному вопросу необходимо уделять большое внимание.

На серийных дизелях 6ЧН25/34 принята традиционная для рядных шестицилиндровых дизелей схема расположения турбокомпрессора – на торце двигателя перпендикулярно оси вращения коленчатого вала. При этом воздух, поступая от компрессора в цилиндры двигателя 6ЧН25/34, выполняет пять поворотов под углом 90° , а отработавшие газы, прежде чем попасть на лопатки турбины, выполняют три поворота.

Несмотря на то, что число Маха из-за малых скоростей движения воздуха во впускном тракте небольшое, гидравлические потери составляют значительную величину. Для серийного двигателя 6ЧН25/34 со средним эффективным давлением 0,8 МПа гидравлические потери давления воздуха на участке от компрессора до цилиндра при штатном воздухоохладителе составляют 200-250 Па. С ростом форсирования количество потребляемого двигателем воздуха возрастает, растет его скорость a , следовательно, число Маха, т. е. гидравлические потери. При форсировании двигателя до 1,3 МПа гидравлические потери возрастают до 600-700 Па. В выпускном коллекторе гидравлические потери значительно больше, что обусловлено высокими температурами и скоростями движения выпускных газов. Все это говорит о несовершенстве системы впуска-выпуска дизелей 6ЧН25/34 и необходимости ее совершенствования, как при исходном уровне форсировки, так и при форсировании данных дизелей по среднему эффективному давлению.

При совершенствовании системы впуска-выпуска необходимо так расположить турбокомпрессор и остальные элементы системы, чтобы количество поворотов воздуха и газов было минимальным, чтобы воздух на вход компрессора поступал равномерно и как можно меньше подогревался теплом излучаемым двигателем и другими источниками.

Уменьшение количества поворотов уменьшает гидравлическое сопротивление системы, а уменьшение температуры воздуха на входе в компрессор – адиабатическую работу компрессора, необходимую для сжатия воздуха.

Поставленной цели наиболее полно соответствует расположение турбокомпрессора на переднем торце двигателя так, чтобы его ось вращения совпадала с осью вращения коленчатого вала. При таком расположении турбокомпрессора количество поворотов воздуха, так же как и газов, может быть уменьшено до двух. Располагать турбокомпрессор со стороны генератора на двигателях, входящих в состав двигатель – генераторов, нежелательно, так как в этом случае воздух на входе в компрессор подогревается воздухом, охлаждающим обмотки генератора, и его температура становится на 5-8° выше по сравнению с вариантом расположения турбокомпрессора на переднем торце.

Данные конструктивные предложения были реализованы на модификации двигателя 6ЧН25/34, форсированного до среднего эффективного давления 1,3 МПа, входящего в состав дизель – генераторов ДГР500/500 и ДГА 500-1 а, также ряда газовых модификаций. Для достижения этой цели на базе турбокомпрессора ТК18-02 была создана новая модификация турбокомпрессора ТК18С23.

Сравнительные испытания двух вариантов воздухообеспечения были проведены на дизельном топливе и показали в новом варианте снижение температуры отработавших газов выходящих с цилиндров двигателя до 380°С – то есть на 20...30°С. Одновременно понизилось и давление наддува, свидетельствующее об уменьшении сопротивления газоздушного тракта, что и было подтверждено в дальнейшем. Из-за большого количества переборок двигателя во время эксперимента, в том числе и цилиндро-поршневой группы достоверно зафиксировать факт снижения удельного расхода топлива не представилось возможным, но среднестатистический удельный расход топлива после модернизации составил 158...159 г/кВт.ч. что на 3...4 г/кВт.ч. меньше чем в серийном исполнении.

Для увеличения расхода воздуха и повышения давления наддува проходное сечение соплового аппарата турбины было уменьшено с 45 см² до 42см². Расход воздуха при этом увеличился на 11 %.

Из анализа рабочего процесса двигателя, а также по данным зарубежных аналогов видно, что при выбранной комплектации двигателя дефицит воздуха составляет 5...7 %, а оптимальная величина удельного расхода воздуха будет около 8 кг/кВт.ч. Увеличивать запас по расходу воздуха необходимо еще и потому что при фазах газораспределения заимствованных с серийных двигателей ЧН25/34 значительная часть

воздуха (более 11 %) расходуется на продувку и не участвует в процессе горения. Т. е. требуется и оптимизация фаз газораспределения.

Анализ параметров рабочего процесса двигателя 6ЧН25/34 при работе по нагрузочной характеристике показал, что на частичных нагрузках также можно достичь значительного снижения удельного расхода топлива, как за счет отключения охлаждения надувочного воздуха, так и за счет его подогрева до температуры 80...90 °С. Необходимость подогрева надувочного воздуха на данных режимах обоснована снижением коэффициента избытка воздуха на данных режимах. При подогреве надувочного воздуха на режимах выше 25...30 % от номинального наблюдается ухудшение расхода топлива.

Выводы:

1. Совершенствование системы воздухообеспечения является одним из важнейших вопросов при доводке двигателя.

2. Реализация конструктивных предложений по совершенствованию системы воздухообеспечения на двигателе 6ЧН25/34, форсированном до среднего эффективного давления 1,3 МПа, позволила после модернизации снизить температуру отработавших газов, на номинальном режиме, на выходе из рабочих цилиндров двигателя на 20...30 °С и удельный расход топлива на 3...4 г/кВт.ч.

3. Анализ параметров двигателя 6ЧН25/34, форсированного до среднего эффективного давления 1,3 МПа, при работе по нагрузочной характеристике, показал необходимость подогрева надувочного воздуха на режимах от холостого хода до 25 ... 30 % от номинального.

4. Дальнейшие работы целесообразно направить на оптимизацию давления наддува и фаз газораспределения, совершенствование системы воздухообеспечения в комплексе с оптимизацией температуры надувочного воздуха в зависимости от нагрузки.

УДК 620.178.3; 621.785.53

Каплун П. В.,

Хмельницкий национальный университет, Украина

ВЛИЯНИЕ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ИЗГИБА И ФРЕТТИНГА ПОСЛЕ ИОННОГО АЗОТИРОВАНИЯ

В технике много деталей машин, механизмов и станков работают в условиях фреттинг-усталости. Например, лопатки турбин, опоры колес автомобилей, полуоси катков тяговых органов конвейеров и другие конструкционные элементы в местах консольного крепления в узлах

испытывают совместное действие напряжений изгиба и контактных напряжений и разрушаются от износа и усталости.

В исследованиях была проведена сравнительная оценка долговечности образцов из стали 45 в исходном состоянии без ХТО и после ионного азотирования в безводородных средах, определено влияние технологических режимов ионного азотирования на фреттинг-усталость.

Испытания проводились на образцах из стали 45, подвергавшихся ионному азотированию в безводородных средах по различным режимам. Испытания проводились на базе типовой машины УКИ-10М. В качестве критерия оценки фреттинг-усталости служило число циклов нагружения до разрушения образцов. За базовое число циклов принято число циклов до разрушения не азотированного образца из стали 45.

Испытания проводились на воздухе при частоте вращения образца 6000 мин.⁻¹, нагрузке $Q = 392$ Н, моменте затяжки гайки крепления образца 25 Нм, максимальном напряжении изгиба 210 МПа. Биение образца в месте приложения нагрузки Q составляло 0,05...0,15 мм и контролировалось индикатором. Относительная погрешность в определении долговечности образцов не превышала 10 %. Среднее значение долговечности не азотированных образцов, полученное на основании семикратного повторения испытаний, составляло $1,23 \cdot 10^6$ циклов. Свойства покрытий изменялись за счет изменения технологических параметров процесса ионного азотирования (состава насыщающей среды – процентного содержания аргона в смеси с азотом, давления P , температуры T , продолжительности диффузионного насыщения τ). Ионное азотирование проводилось по 20 технологическим режимам, при проведении которых технологические параметры изменялись в следующих границах: $T - 480...600^\circ\text{C}$, $p - 80...450$ Па, $\tau - 20...240$ мин.; содержание аргона в смеси с азотом – 0...76 об %.

Результаты испытаний показали, что ионное азотирование позволяет более чем на порядок повысить выносливость образцов из стали 45 при испытаниях на фреттинг-усталость. Режим ионного азотирования оказывает существенное влияние на выносливость стали, которая в условиях проведенных испытаний изменялась от $1,6 \cdot 10^6$ до $20 \cdot 10^6$ циклов. Зависимости выносливости от технологических параметров ионного азотирования (рис. 2), полученные на основании обработки результатов испытаний, не линейны и имеют экстремальный характер с явно выраженными максимумами для всех параметров технологического процесса.

Металлографическими и рентгеноструктурными исследованиями образцов стали 45 установлено, что после ионного азотирования свойства азотированных слоев изменялись в зависимости от режимов технологического процесса и находились в пределах: толщина азоти-

рованного слоя $h = 50...300$ мкм; микротвердость поверхности $H_{100} = 4000...8500$ МПа; фазовый состав – от наличия на поверхности в нитридных слоях всех трех фаз (ε , γ' , α) в различном процентном соотношении до наличия преимущественно α -фазы (зоны внутреннего азотирования). Также возникают остаточные напряжения сжатия, величина которых достигает 500 МПа на поверхности диффузионного слоя в нитридной зоне. Их величина уменьшается с глубиной по экспоненциальному закону. Значениями остаточных напряжений можно управлять в больших пределах, что очень важно для практики.

Экспериментами установлен оптимальный режим ионного азотирования для увеличения несущей способности и долговечности конструктивных элементов, и достижения максимального эффекта от остаточных напряжений сжатия. В работе сделаны рекомендации:

1. Ионное азотирование в безводородных насыщающих средах включает вредное влияние водорода на металл и существенно повышает долговечность стали 45 при испытаниях на фреттинг-усталость.

2. На долговечность конструктивных элементов при фреттинг-усталости большое влияние оказывают технологические параметры процесса ионного азотирования и остаточные напряжения сжатия, которые можно оптимизировать по критерию максимальной долговечности.

3. Для повышения долговечности деталей машин, изготовленных из конструкционных сталей, при совместном воздействии на них изгибающих и контактных напряжений при фреттинге рекомендуется применять ионное азотирование в безводородных средах (смесях азота с аргоном) по оптимальным режимам с оптимальными значениями остаточных напряжений сжатия.

Слобожанський І. Й.,
*Первомайський політехнічний інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна*
Литвин С. Н.,
ООО «Мотортех», м. Первомайськ, Україна
Манзюк В. Н.,
*Первомайський політехнічний інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ І КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ХІМІКО-ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Захист поверхонь деталей від кавітаційно-ерозійного руйнування є важливою технічною задачею. В першу чергу захист потрібний проточним частинам насосів, тонкостінним втулкам робочих циліндрів та іншим елементам систем охолодження двигунів внутрішнього згоряння особливо тих, що працюють в морській воді чи інших агресивних середовищах. На даний час для подібних деталей використовують дорогі дефіцитні матеріали такі як бронза та латунь.

При кавітаційно – ерозійному зношенні руйнуються в першу чергу поверхневі шари деталей. При окисненні захисну функцію виконує окисна плівка, яка розділяє середовище і метал та запобігає взаємодії між ними. Але така плівка швидко руйнується при кавітації, яка часто виникає в системах охолодження, особливо при значних швидкостях в проточних частинах.

Тому при розробці заходів по підвищенню кавітаційно – ерозійної стійкості деталей, необхідно добитися збільшення корозійної стійкості матеріалу.

Встановлено, що показники кавітаційно-ерозійної стійкості матеріалів суттєво залежать від складу і корозійної активності середовища.

Кількісна оцінка корозійного руйнування при корозійно-ерозійному зношуванні дозволила встановити, що струм корозії при дії ультразвукової кавітації в 3 % розчині NaCl майже на порядок вище струму корозії в статистичних умовах для чавуну СЧ-18 і на два порядки для сталі 45.

Суттєвого підвищення довговічності деталей ДВЗ, які працюють в корозійно- активних середовищах, можна досягнути при використанні

високолегованих нержавіючих сталей, титанових сплавів, сплаву 130ХІ6М (розроблений інститутом проблем ЛитваАН України) для деталей складної форми. Але застосування цих матеріалів значно підвищує вартість деталей.

Проведені дослідження показали, що для підвищення корозійної і кавітаційної стійкості чавунів і вуглецевих сталей ефективно поверхневе легування хромом, термодифузійне хромування і хромотитанування.

Випробовування проводили на установці з магніострикційним вібратором (МСВ) при частоті коливань 22кГц, температурі 23°C і з амплітудою коливань 40 мкм. Зносостійкість покриття оцінювали за швидкістю його руйнування від дії кавітації шляхом визначення втрати маси за 1 годину випробовувань. Час від початку випробовувань до моменту зростання швидкості руйнування був оцінкою довговічності покриття.

Для визначення цієї величини на протязі випробовувань фіксували зміну потенціалу з часом. При пробі карбідного слою спостерігається різкий стрибок потенціалу.

Випробовування показали, що зносостійкість зразків з сірого чавуна СЧ18-36 поверхнево легованих хромом зростає в 3 рази, термодифузійно хромованих в 5 раз. Для сталі 20 з термодифузійним покриттям хромом в 4 – 6 разів.

Виконані випробування показали можливість, при виготовленні деталей водяних систем суднових двигунів, заміни дефіцитних, дорогих бронзи і латуні вищезгаданими матеріалами. Це дасть значний народно – господарський ефект.

Висновки:

1. Дослідження показали перспективність і ефективність застосування хіміко-термічної обробки деталей ДВЗ для підвищення їх корозійної і кавітаційно-ерозійної стійкості.

2. При оцінці довговічності деталей необхідно враховувати особливості режиму експлуатації їх покриття і геометрію виробу.

3. Заміна бронзи і латуні чавуном СЧ18-36 поверхнево легованого хромом чи термодифузійно хромованого або сталлю 20 з термодифузійним покриттям хромом дасть значний народно-господарський ефект.

4. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вдосконалення технології термодифузійного покриття сталі 20 хромом та поверхневого легування чавунів хромом.

МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У АВТОНОМНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ

Розподіл енергії між споживачами є складною та актуальною задачею. Особливо важливий розподіл у автономній енергетичній системі. Від результатів розподілу енергетичних ресурсів в системі залежить якість енергопостачання та оптимальне використання енергоресурсів в системі. Для визначення оптимального розподілу ресурсів використовуються різноманітні методи і алгоритми. Але не всі методи дозволяють отримати оптимальний розподіл. Це обумовлено складністю задачі та великою кількістю факторів, які впливають на отримання оптимального рішення. Для планування розподілу енергетичних ресурсів пропонується використовувати моделі на основі кольорових мереж Петрі.

Мережі Петрі це апарат моделювання складних систем і процесів, аналіз яких дозволяє отримати важливу інформацію про структуру та динамічну поведінку модельованої системи. Моделювання в мережах Петрі здійснюється на рівні подій. Визначається, які дії відбуваються в системі, які стани передували цим діям і який стан прийме система після виконання дії. Можливість модифікацій мережі Петрі дозволяє адаптувати її для моделювання будь-яких об'єктів і процесів. Збільшення складності об'єктів, що моделюються, призводить до зростання розмірності мережі Петрі. Щоб спростити процес побудови моделі і підвищити її наочність, використовують різноманітні модифікації мереж Петрі (нечіткі, кольорові мережі Петрі, та інш.) Для вирішення завдання розподілу енергії між споживачами в автономній енергетичній системі за допомогою мереж Петрі необхідно вирішити декілька задач. Перша задача це побудова моделей для розподілу енергії між споживачами на основі мереж Петрі. Друга задача, це моделювання і отримання оптимального сезонного розподілу енергії між споживачами.

Для розширення можливостей аналізу складних систем та процесів, в тому числі для моделювання для моделювання розподілу енергоресурсів в автономній енергетичній системі використовується моделювання на основі кольорових мереж Петрі, головною особливістю яких передбачається врахування змінних різного типу та умов спрацювання переходів. Модель на основі кольорової мережі Петрі має наступний вигляд:

$$N_{col} = S, T, F, M_0, \text{Type}, \text{Type}_S, \text{Type}_F, \text{Con} ,$$

де Type – множина типів; Type_S – множина, яка відображає доступну множину типів у позиціях мережі; Type_F – множина типів маркерів, що ініціюють перехід та типи маркерів, які будуть згенеровані переходом; Con – множина умов ініціації переходів.

Автономна енергетична система складається з джерел енергії і споживачів. Електроенергію споживають 8 груп споживачів. Електроенергія постачається 4 окремими джерелами, а саме: – вітряні електростанції (ВЕС); – сонячні батареї; – акумуляторні батареї; – дизель генератор. Слід зазначити, що сонячні батареї, дизель генератор і акумуляторні батареї дають стабільно одне і теж значення видобутої електроенергії щомісяця. Що стосується ВЕС, то інтенсивність, а відповідно і кількість видобутої енергії цим джерелом залежать від пори року і місяця. Необхідно розподілити енергоресурси в залежності від їх потреб і в залежності від пори року. Моделювання здійснюється за допомогою вільно розповсюдженого пакета CPN Tools v.4.01.

Для вирішення поставленої задачі створена модель енергетичної системи (Рис. 1).

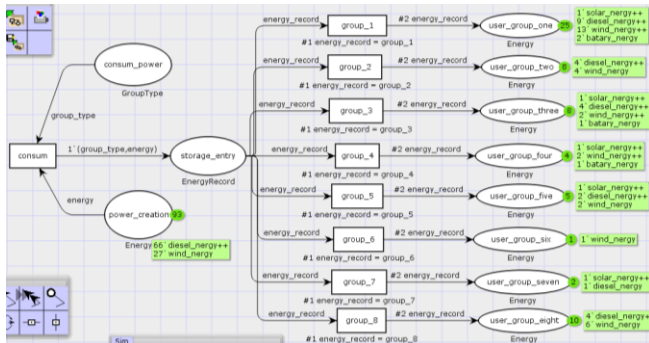


Рис.1 Модель енергетичної системи

На основі моделі отримано сезонні та місячні розподіли енергетичних ресурсів між споживачами. Розроблені моделі були протестовані для розподілення ресурсів сезонно та на кожний місяць і показали свою працездатність. Отримані результати дають можливість зробити висновок, що незважаючи на випадковий механізм вибору ресурсів, ресурси розподіляються пропорційно в залежності від кількості наявних ресурсів та від потреб відповідної групи споживачів. Результати моделювання ефективні.

УДК 621.891

Дмитриченко М. Ф.,
Національний транспортний університет,
Білякович О. М.,
Національний авіаційний університет,
Савчук А. М.,
Національний транспортний університет,
Туриця Ю. О.,
Національний транспортний університет,
Міланенко О. А.,
Національний транспортний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ З УРАХУВАННЯМ ЇХ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

При використанні даної моделі виконується аналіз рівня взаємозв'язку триботехнічних та фізико-хімічних параметрів моторних оливо, що дає можливість визначити оптимальні режими експлуатації вузла тертя. Застосування запропонованих математичних методів оцінки ефективності мащення в нестационарних умовах дозволить прогнозувати надійність конструкційних елементів на стадії проектування, що значно підвищить довговічність трибомеханічної системи.

УДК 621.891

Диха О. В., Гедзюк Т. В.,
Хмельницький національний університет, Україна

МОЛЕКУЛЯРНА БУДОВА ГРАНИЧНОГО МАСТИЛЬНОГО ШАРУ ТА САМООРГАНІЗАЦІЯ ТРИБОСИСТЕМ

Однією з не до кінця вирішених проблем трибології є спроба детально пояснити молекулярний механізм взаємодії частинок трибологічно активних компонентів мастильних матеріалів (ММ) між собою та з твердими поверхнями. Через «пробіли», що знаходяться в сучасних теоріях будови граничних шарів, неможливо за допомогою традиційних математичних методів створити узагальнену модель граничного шару.

Відомо два основні механізми дії трибологічно активних присадок, в присутності яких може утворюватися граничний змащуючий шар при терті ковзанні та в процесі різання: адсорбційний (фізико-хімічний)

процес і хімічна поверхнева реакція. Адсорбція молекул присадок відіграє суттєву роль в процесі тертя, так як створює необхідну підвищену концентрацію молекул присадок в зоні тертя. Граничний мастильний шар – тонка структура, яка формується зі змащуючого середовища на тонкій поверхні. Процес утворення граничного мастильного шару відбувається в два етапи: спершу – адсорбція; потім – молекулярна організація (полімолекулярна фізична адсорбція з елементами впорядкування).

В теперешній час одними з найвідоміших є дослідження явища молекулярної організації в граничному змащуючому шарі Березіної С. В., Годлевського В. А., Усольцева Н. В., Волкова А. В., Кузнецова С. А. Вони вважають, що сприятливим фактором для тертя є структурна впорядкованість присадок на поверхні, тобто формування епітропних мезофаз. Термотропні системи структуруються в певних діапазонах температур, а ліотропні – у відповідних діапазонах концентрацій. У випадку водо- і маслорозчинних трибоактивних присадок в основному відбувається ліотропний мезоморфізм.

Мастильна дія зумовлюється граничним змащуванням при малих контактних температурах і хімічним змащуванням – при високих температурах. Ці дві взаємодоповнюючі функції мастильного матеріалу можуть забезпечувати відповідно два типи трибологічних присадок, що входять до їх складу. Перший тип – це поверхнево активні речовини (ПАР) з добре вираженою здатністю до адсорбції. Другий тип присадок діє через деструкцію молекули з наступним формуванням пасиваційних шарів хімічної природи.

Березіна С. В., Годлевський В. А. і Усольцева Н. В. запропонували такий тип присадок, в якому були б обидві вищеперечислені якості, тобто присадки змогли б забезпечувати при різних температурних режимах обробки матеріалів той чи інший механізм мастильної дії. В якості таких присадок вони використали водорозчинні мідні комплекси фталоціаніну (CuФц) з бічними фрагментами різного складу. Похідні фталоціаніна – це гетероциклічні органічні сполуки, в яких великі пласкі молекули зі слабкими міжмолекулярними зв'язками.

Трибологічні характеристики водних розчинів досліджуваних присадок визначалися для двох різних випадків: а) тертя-ковзання на трибометрі ТАУ-1 (схема палець-диск) і б) при свердлінні отворів діаметром 5 мм і глибиною 6 мм швидкоріжучим сердцем в сталі 45 на динамометричному стенді.

Під час дослідження бінарних розчинів (неонол+вода) виявили, що існує певний діапазон концентрацій, коли відбувається перехід системи в гелеподібний стан, коли не можливо виміряти коефіцієнт поверхневого натягу. Екстремуми на ізотермах поверхневого натягу відпові-

дають перебудовам надмолекулярних сполук. На границі поділу знаходиться розчин – повітря адсорбується не на окремі молекули, а на їх асоціації. Висока поверхнева активність в деякому діапазоні концентрацій пояснюється тим, що поверхня розчину заповнюється асоціаціями молекул Фц-сполук.

Трибологічні характеристики сполук, що досліджувалися, визначаються концентрацією і природою Фц-сполук. Фц 3 є більш ефективним при терті ковзанні, що пояснюється формуванням змішаних надмолекулярних агрегатів. В розчинах ПАР працює як агент, що створює граничний мастильний шар при малих концентраціях і впливає на об'ємну структуру розчину. Додаток Фц-сполук впливає як на міжмолекулярні взаємодії в об'ємі, так і на поверхневі процеси.

Додавання Фц-сполук значно нівелює стрибок в'язкості в зоні гелеутворення ПАР, що позитивно впливає на змашуючий ефект при різанні. Пік збільшення в'язкості гелеподібного неонула пов'язаний з виникненням мезофази. В об'ємі виникають неоднорідності, причинами яких можуть бути молекули Фц-сполук. Додаток даних молекул згладжує пік збільшення в'язкості, змінюється текстура мезофази разом з реологічними властивостями; при різанні покращується мастильна дія в цьому діапазоні концентрацій.

Співставлення кривих течії розчинів неонолів свідчить про структурні відмінності. Вчені виділили область, в якій реалізуються текучість, близька до ньютонівської, і область різкого зниження в'язкості за рахунок руйнування структури (неньютонівська текучість). Можна відмітити критичну поведінку, пов'язану з лавиноподібним зростанням в'язкопружних властивостей. Зона гелеутворення, виявлена для розчинів ПАР, знижує коефіцієнт тертя ковзання в гідродинамічному режимі за рахунок збільшення в'язкості. Можна припустити, що при різанні, гелеутворення – це негативний фактор, оскільки підвищення в'язкості відіграє гальмуючу роль для кінетики формування граничного мастильного шару.

В останні роки внаслідок швидкого прогресу обчислювальної техніки інтенсивно розвивається комп'ютерне моделювання молекулярної структури речовини. Складність задачі суттєво збільшується зі збільшенням числа атомів в молекулі. Незважаючи на це з'явилися пакети програм, які дозволяють розраховувати конфігурацію досить складних органічних молекул і молекулярних агрегатів. В зв'язку з їх появою, з'явилась можливість використовувати ці програмні продукти для модельного розрахунку процесу адсорбції в трибосистемі.

Мастильна трибосистема в узагальненому, спрощеному модельному вигляді являє собою схему, що включає в себе як мінімум п'ять шарів:

“об’ємний” шар мастильного матеріалу (ММ), дві твердих поверхні та два адсорбційних шари. Під час тертя елементи цієї конструкції піддаються зсуву, що сприяє безперервній перебудові та самоорганізації молекул в шарах мастильного матеріалу. Модель мастильного шару слід розробляти по принципу “від простого до складного”:

1. Модель одиничної молекули ММ.
2. Модель ділянки твердої поверхні.
3. Модель “молекула ММ + тверда поверхня”.
4. Модель неадсорбованої ділянки однотипних молекул ММ.
5. Модель адсорбованого моношару групи молекул ММ на твердій поверхні.
6. Полішарова модель “полімолекулярного” адсорбційного шару з виходом за межі граничного шару (адсорбційного об’єму) в зону гідродинамічної частини шару.

На основі результатів трибологічних досліджень можна судити про процеси самоорганізації в умовах граничного тертя. Структура і властивості граничного шару в процесі тертя не залишаються незмінними. В місцях фактичного контакту вони інші, ніж на решті поверхні тертя. Тому трибологічна система є гетерогенною і, як мінімум, двохкомпонентною, якщо під компонентами розуміти збуджений і незуюджений стан речовини в зоні контакту. Саме це дає змогу стверджувати, що механізми хімічної дисипації механічної енергії, яка безперервно підводиться, відіграють значну роль в процесі самоорганізації.

Додатково до хімічного каналу енергетичного скидання в досліджуваних трибосистемах, вчені припустили, що збуджений тертям граничний шар під орієнтуючою дією поверхні і відносного руху являє собою квазірідину, яка містить в своєму складі фрагменти незбудженого шару. Впорядкування цих фрагментів (полімолекулярних агрегатів) за рахунок орієнтації в градієнтному потоці при відносному русі тіл що труться приводить до орієнтаційно-впорядкованої структури граничного шару, що в трибологічному експерименті проявляється як зменшення опору руху (зниження сили тертя), а самий перехід в новий стаціонарний стан з локальною мінімізацією сили тертя є ні що інше, як фіксація в реальному масштабі часу процесу самоорганізації в умовах граничного тертя.

В роботі проаналізовано сучасний стан теорії молекулярної будови граничного мастильного шару, пояснюється можливість самоорганізації трибосистем, що працюють в умовах граничного тертя.

МОДЕЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНТАКТУ ПРИ ДИСКРЕТНІЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ (ДЕМО)

Визначення поверхні контакту інструменту і оброблюваної деталі є одним з перших кроків, необхідних для правильного вибору технологічних параметрів ДЕМО. Для визначення глибини зміщеного шару використовують напівемпіричні залежності, які не враховують механічні і геометричні параметри інструменту і деталі. В даній роботі для такої задачі пропонується використати комп'ютерне моделювання, зокрема метод скінчених елементів. На відміну від теоретичного розрахунку площа контакту визначається з урахуванням реальних геометричних розмірів і механічних характеристик, шляхом рішення контактної задачі методом скінчених елементів. За результатами розрахунку проводилось рішення теплової задачі, з урахуванням знайденої площадки контакту, з якого визначається потрібний об'єм, усередині якого температура перевищує $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ і таким чином забезпечуються умови для утворення білого шару.

Для вирішення контактної задачі про взаємодію інструменту і деталі і визначення площадки контакту використовувався пакет скінчено-елементного аналізу Ansys. Розрахункова модель представлена на рис. 1.

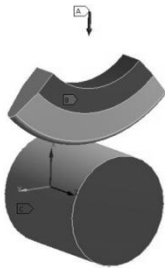


Рис. 1. Розрахункова модель

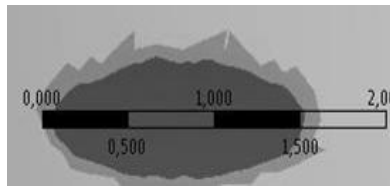


Рис. 2. Розрахункова площадка контакту при навантаженні на ролик 500 Н

В результаті рішення контактної задачі про взаємодію інструменту і деталі отримані форма і розміри площадки контакту (рис. 2). Окрім цього рішення контактної задачі дозволило оцінити при цьому напружено-деформований стан. Аналіз напружено-деформованого стану показує, що максимальне еквівалентне напруження виникає не на поверхні,

а на деякій відстані від поверхні і досягають значень 325 МПа, а максимальне дотичне напруження має подібну форму розподілу і досягає максимуму в 185 МПа. При цьому пластичні деформації значно перевищують пружні. Так відносні пластичні деформації досягають значень 5,3 %.

Особливості термомеханічних процесів при ЕМО, а також термічні і силові дії по глибині істотно відбиваються на фізико-механічних і експлуатаційних властивостях поверхневого шару. Визначення площадки контакту дозволило визначити геометричні параметри об'єму, в якому виникають умови для формування білого шару. Аналіз ізотерм по глибині деталі (рис. 3) показує, що для даних фізичних і геометричних параметрів деталі і інструменту, мінімальна температура, при якій можливе формування білої зони, розташована від поверхні на відстані 0,225 мм, що добре узгоджується з відомими даними для тіл обертання.

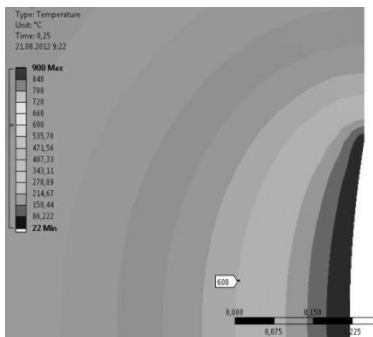


Рис. 3. Розподіл температурних полів по глибині деталі

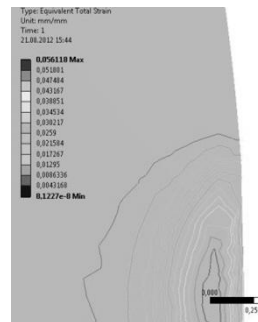


Рис. 4. Розподіл сумарних деформацій по глибині деталі

Слід зазначити, що максимальні напруження і деформації знаходяться приблизно на такій же відстані від поверхні, що сприяє формуванню зміцненої білої зони.

Відносні деформації від температурної дії досягають значень 1 %, при відносних сумарних деформаціях 0,7 % (рис. 4). При цьому еквівалентні напруження по Мізесу від температурної дії досягають досить високих значень 950 МПа і максимальні дотичні напруження досягають значень 500 МПа.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ НАПРЯМНИХ КОВЗАННЯ МЕХАНІЗМІВ ЗА РАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОГО ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ПАР ТЕРТЯ

Для напрямних ковзання вибір оптимальних матеріалів – один з найважливіших шляхів забезпечення високої довговічності. Починаючи з ХІХ століття науково-дослідні інститути різних країн світу виконували дослідні роботи по вивченню основних видів і причин пошкодження напрямних, їх швидкості зношування, характеристик тертя та інше.

Основні вимоги до пар тертя напрямних ковзання це: зносостійкість, мінімальні деформації при робочій температурі, жорсткість, стійкість та економічність.

При виборі матеріалів напрямних необхідно враховувати умови і режими їх роботи. Умови роботи напрямних характеризують, в основному наступні фактори: контактний тиск, швидкість ковзання, умови мащення, температура в зоні контакту, шлях тертя та наявність абразиву. Так, середній тиск в направляючих станин поздовжньо-фрезерних верстатів близько 0,2 МПа, середніх токарних верстатів – до 1,5 МПа. Особливо високі тиски на напрямних повзунах карусельних верстатів – до 13 МПа. Швидкість ковзання в напрямних залежить від призначення та виконуваної роботи і знаходиться в межах від 0,01 до 9 м/сек. Слід зауважити, що при високих тисках та швидкостях ковзання можлива втрата змащення за рахунок підвищення температури, тому до таких напрямних висувають підвищені вимоги зносостійкості.

Для напрямних ковзання, як правило, рекомендовано використовувати різні матеріали, що відрізняються структурою та твердістю. Для напрямних прямолінійного руху призначення матеріалу залежить від довжин напрямних. Так, напрямні більшої довжини рекомендовано виготовляти з матеріалу, що має більшу зносостійкість і твердість. В загальному, матеріали для напрямних поділяють на 4 групи: чавуни не зміцнені, загартовані сталі і чавуни з високою твердістю, кольорові сплави, пластмаси.

Відомо, що зносостійкість чавуну при абразивному зношуванні зростає з підвищенням твердості при переході від феритної до перлітної і далі до мартенситної структури. Різниця в зносостійкості між феритним і перлітним чавунами менша, ніж перлітним і мартенситним. А

зменшення розміру графітових включень сприяє підвищенню зносостійкості.

Легування чавунів нікелем, хромом, молібденом застосовують для станин і корпусних деталей прецензійних верстатів. Лабораторними дослідженнями абразивного зношування встановлено, що в межах перлітної і феритної структур не має вагомої різниці в зносостійкості легованих і не легованих чавунів. Більш високою зносостійкістю володіють високолеговані чавуни, але для виготовлення масивних напрямних їх застосування економічно не доцільне.

Зносостійкість сталей при абразивному зношуванні зростає із збільшенням вмісту вуглецю, із збільшенням твердості при переході від перлітної до сорбітної, трооститної і мартенситної структури за рахунок термообробки, а також із збільшенням легуючих елементів – хрому, вольфраму, нікелю та інших. Високою зносостійкістю володіють хромовані і азотовані сталі.

Зносостійкість доєвтектоїдних сталей і сірого чавуну безпосередньо пов'язана з кількістю вуглецю, в стані цементиту, і твердістю, що визначає стан цементиту в сплаві. Термообробка сталі і чавуну до високої твердості значно підвищує їх зносостійкість.

До аналогічних результатів призводить легування сталі і чавуну хромом, нікелем вольфрамом і іншими елементами з послідуною термообробкою та отриманням загартованих структур. В парах тертя сталь – сталь і чавун – чавун підвищення зносостійкості одного елемента знижує знос кожного з них.

Для напрямних ковзання, з матеріалів другої групи, найбільш широко використовують чавун СЧ 32-52 з поверхневим гартуванням СВЧ глибиною не менше 2,5 мм, структурою – мартенсит та твердістю HRC 48–53; леговані сталі 20X і 18XГТ з цементацією, гартуванням та відпуском, твердістю HRC 56–52; високо вуглецеві леговані сталі ШХ15, ХВГ і 9ХС з об'ємним гартуванням та відпуском, твердістю HRC 58 – 62.

Напрявні з кольорових сплавів – бронзи, бабіту, латуні і інших головним чином застосовують в рухомих вузлів важко навантажених станків та механізмів для попередження схоплювання і рівномірності подачі руху.

Пластмасові напрямні застосовують, як правило, в важких станках та механізмах для попередження задири, та при ремонті. Матеріалом для пластмасових напрямних служить текстоліт, поліаміди, гетинакс. Особливою вимогою до напрямних з пластмас є висока зносостійкість при роботі в парі з чавуном (сталлю) при граничному змашуванні та абразивному середовищі.

Пластмасові напрямі рекомендовані для роботи в парі із не зміцненими чавунами першої групи типу СЧ 32-52. Застосування пластмас із зміцненими сталями або чавунами вважається економічно не доцільним.

УДК 621.891

*Сорокатый Р. В., Дыха К. А.,
Хмельницький національний університет, Україна*

ДИСКРЕТНАЯ МОДЕЛЬ НАКОПЛЕНИЯ КУМУЛЯТИВНЫХ ТРИБОПОВРЕЖДЕНИЙ

Необходимым условием управления показателями триботехнической надежности систем является совершенствование расчетных методов анализа. В первую очередь это касается трибосистем, которые работают в условиях экстремальных воздействий, где экспериментальные исследования являются трудноосуществимыми и дорогостоящими. Сложности, которые возникают при разработке методов прогнозирования износа узлов трения, работающих в условиях высокоскоростного трения, обусловлены недостаточной изученностью процессов, которые протекают на поверхностях трибоконтактного взаимодействия, вероятностным характером параметров внешних воздействий, влиянием условий функционирования трибосистем.

При построении моделей накопления трибоповреждений для узлов, работающих в условия высокоскоростного трения, необходимо учитывать ряд специфических особенностей, которые возникают вследствие высоких скоростей относительного перемещения элементов пар трения.

Целью данной работы является построение модели процесса накопления трибоповреждений и расчетный анализ влияния изменений коэффициента трения на напряженно-деформированное состояние узла в условиях высокоскоростного трения.

Построение модели процесса накопления трибоповреждений в условиях высокоскоростного трения. Трибоповреждения относятся к классу кумулятивных повреждений. Под кумулятивными повреждениями понимают необратимое накопление повреждений в условиях циклического взаимодействия. На основании обработки экспериментального материала доказано, что вероятностные модели феноменологических процессов накопления повреждений, построенные на основе случайных марковских процессов с дискретным временем и состояниями, описывают процессы кумулятивных повреждений с высокой степенью адекватности.

Для определения характеристик полей напряжений и температур, как наиболее существенных факторов влияющих на процессы накопления повреждений в высокоскоростных узлах трения, в большинстве случаев используются методы компьютерного моделирования. В свою очередь указанные методы предполагают пространственно-временную дискретизацию расчетных моделей.

Используя модель удара, приняв ряд допущений, представим процесс накопления трибоповреждений в дискретной форме.

1. Процесс взаимодействия элементов узла трения состоит из повторяющихся циклов нагружения (ЦН). Цикл нагружения – это период функционирования изделия, в течение которого могут накапливаться трибоповреждения. Циклами нагружения измеряется время, которое в данном случае является дискретным. Допущение о том, что появление трибоповреждений возможно только в период цикла нагружения не приводит к искажению физического смысла модели, но дает существенные преимущества при построении расчетных алгоритмов.

2. Состояния трибоповреждаемости являются дискретными и переходными. Если накопленное количество трибоповреждений в окрестностях некоторой точки превысит граничное значение, происходит разрушение. Предположение о дискретности состояний хорошо соотносится с экспериментальными данными о прерывистом характере протекания диссеминированных повреждений в микрообъемах.

3. Накопление трибоповреждений в цикле нагружения зависит только от этого цикла и от состояния повреждения в его начале, а характеристики, которые определяют жесткость ЦН остаются неизменными в пределах этого цикла. Это допущение постулирует, что трибоповреждения рассматриваются только в начале и в конце цикла нагружения. Это условие есть условием вероятностного процесса Маркова, то есть накопление трибоповреждений зависит только от цикла нагружения и состояния поврежденности в его начале.

4. Для определения вероятностных характеристик процесса накопления трибоповреждений воспользуемся допущением, что повреждения могут возникать только в период цикла нагружения. Обозначим w_{ii} вероятность того, что в период цикла нагружения повреждение не возникнет. Тогда вероятность возникновения повреждения в данном цикле равняется $1 - w_{ii}$, так как события образуют полную группу. Если концентрация трибоповреждений превысит некоторое критическое значение P_{TP}^* и произойдет разрушение, то система перейдет в поглощающее состояние, с нулевой вероятностью выхода из него.

Таким образом, получена модель накопления трибоповреждений, которую можно описать случайным процессом Маркова с дискретными состояниями и временем. Дискретная модель является вложенной в непрерывный физический процесс накопления кумулятивных трибоповреждений.

УДК 621.891

*Шевеля В. В., Олександренко В. П., Косткевич Э. Э.,
Хмельницький національний університет, Україна*

ЯВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ И ХИМИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ В ЗОНЕ КОНТАКТА

Трение и износ происходит при динамическом контактном взаимодействии твердых тел и является структурно-чувствительным процессом, триботехнические характеристики которого связаны с неоднородностью напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя сопрягаемых деталей. При этом динамическая напряженность зоны контакта определяется не столько макропоказателями материалов пары трения, сколько релаксационными свойствами их поверхностных слоев и протекающими в них неупругими явлениями.

Независимо от механизма изнашивания поверхностное (или подповерхностное) разрушение начинается в местах концентрации напряжений. Следовательно, факторы, обуславливающие износостойкость, должны обеспечивать деконцентрацию контактных напряжений, поверхность локализацию и однородность деформации.

Типичными процессами механической релаксации в ОЦК-металлах (релаксационного ВТ) являются: релаксация Сноэка (РС), релаксация Кестера (РК) и зернограничная релаксация (РЗГ). Температурные зависимости внутреннего трения материалов и поверхностных слоев образцов после испытаний на трение изучались с использованием методов «резонансного стержня» и динамического механотермического анализа на маятниковом триборелаксаторе.

Для изучения указанных явлений выявления механизма происходящих процессов были проведены исследования по влиянию скорости скольжения без смазки на характеристики трения и изнашивания сталей с различной термообработкой (то есть отличающимися реологическими свойствами поверхности) в средах различной окислительной способности.

Наибольшее влияние на процесс трения и изнашивания оказывает скорость скольжения и связанная с ней температура нагрева контактирующих поверхностей.

Установлено, что при определенных нагрузочных и температурно-скоростных условиях внешнего трения важным фактором, контролирующим износостойкость и совместимость пары, является уровень внутреннего трения, приобретаемый поверхностными слоями в процессе контактного динамического взаимодействия. При низких скоростях скольжения вследствие проявления пика Сноэка и особенно при средних – в результате возникновения пика Кестера – наблюдается падение износа элементов трибосистемы. Уменьшение проявления релаксационных максимумов вызывает снижение износостойкости СтЗ и возрастание ее истирающей способности.

Однако трение характеризуется не только динамическим взаимодействием твердых тел, но и участием в этом процессе компонентов окружающей среды, которые могут вступать в химическое взаимодействие с активированным трением материалом. Этот процесс относится к трибохимическим и также способствует рассеиванию подводимой извне к узлу трения механической энергии.

Выявлено, что при трении в режиме повреждения 1-го рода (в нашем случае при $V = 1,15\text{ м/с}$) износ и изнашивающая способность диска уменьшается с ростом химической активности газовой среды в порядке: аргон, воздух, кислород. В режимах, когда износ диска не зависит от окислительной активности среды, его изнашивающая способность возрастает с ростом окислительной способности среды.

Таким образом, установлено, что при низком уровне внутреннего трения диссипация подводимой механической энергии обеспечивается интенсификацией протекания трибохимических релаксационных явлений путем повышения окислительной способности среды, способствующих росту сопротивления материала изнашиванию и износостойкости пары трения увеличивается с повышением окислительной активности газовой среды в порядке: аргон, воздух, кислород. В условиях температурно-скоростного контактирования, обеспечивающего проявление материалом высокого внутреннего трения, обуславливающего устранение между контактирующими поверхностями повреждающих релаксационных процессов схватывания, повышение окислительной активности среды приводит к росту изнашивающей способности поверхностных слоев, что способствует увеличению износа пары трения.

ЗМІСТ

<i>Аулін В. В., Бруцький О. П., Лисенко С. В.</i>	
Дослідження закономірностей процесів тертя та зношування в металополімерних трибосистемах.....	3
<i>Аулін В. В., Кузик О. В., Лисенко С. В.</i> Обґрунтування природи і характеристик явищ зношування поверхневих шарів трибоелементів з трибофізичної точки зору	5
<i>Аулін В. В., Тихий А. А.</i> Трибофізичний підхід до виявлення процесів і станів у зоні контакту елементів системи РОГЗМ-грунт	7
<i>Аулін В. В.</i> Рівняння стану елементів трибосистем та режими їх зношування.....	9
<i>Борак К. В.</i> Аналіз математичних моделей процесу зношування в абразивній масі	11
<i>Головка А., Клименко Л. П., Андреев В. И.</i> Проектирование литья заготовок поршневых колец с помощью программного обеспечения LVMFlow.....	13
<i>Гончар В. А.</i> Підвищення довговічності відкритих зубчатих передач	17
<i>Каплун В. Г.</i> Особливості зношування важко навантажених конструкційних елементів при контактному циклічному навантаженні	19
<i>Кубич В. И.</i> Разработка аспектов оценки смазочных слоев в трибологических системах.....	21
<i>Литвин С. Н., Манзюк В. Н.</i> О доводке системы воздухооборудования дизелей ЧН25/34.....	23

<i>Каплун П. В.</i> Влияние на долговечность деталей машин совместного действия изгиба и фреттинга после ионного азотирования	25
<i>Слобожанський І. Й., Литвин С. Н., Манзюк В. Н.</i> Підвищення корозійної і кавітаційно-ерозійної стійкості деталей двигунів внутрішнього згорання за допомогою хіміко-термічної обробки.....	28
<i>Гожий О. П.</i> Моделювання розподілу енергетичних ресурсів у автономній енергосистемі.....	30
<i>Дмитриченко М. Ф., Білякович О. М., Савчук А. М., Туриця Ю. О., Міланенко О. А.</i> Математична модель прогнозування довговічності контактних поверхонь тертя з урахуванням їх трибологічних властивостей	32
<i>Диха О. В., Гедзюк Т. В.</i> Молекулярна будова граничного мастильного шару та самоорганізація трибо систем	32
<i>Диха М. О.</i> Моделювання параметрів контакту при дискретній електромеханічній обробці (демо)	36
<i>Посонський С. Ф.</i> Підвищення зносостійкості напрямних ковзання механізмів за рахунок раціонального вибору матеріалу пар тертя	38
<i>Сорокатый Р. В., Дыха К. А.</i> Дискретная модель накопления кумулятивных трибоповреждений.....	40
<i>Шевеля В. В., Александренко В. П., Косткевич Э. Э.</i> Явления механической и химической релаксации в зоне контакта	42

ДЛЯ НОТАТОК

Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Н. Андрєєва*.
Друк, фальцовально-палітурні роботи *С. Волинець*.

Підп. до друку 17.07.2015 р.
Формат 60x84^{1/16}. Папір офсет.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Ум. друк. арк. 1,86. Обл.-вид. арк. 1,48.
Тираж 50 пр. Зам. № 4692.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десанників, 10.
Тел. : 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: vrector@chdu.edu.ua.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009 р.

Міжнародна науково-практична конференція

«ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2015:
СТРАТЕГІЇ КРАЇН ПРИЧОРНОМОРЬСЬКОГО РЕГІОНУ
В ГЕОПОЛІТИЧНОМУ ПРОСТОРІ»

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:

Чорноморський державний університет імені Петра Могили,
вул. 68 Десантників, 10,
м. Миколаїв, 54003, Україна

Тел.: (+380512) 50-03-33
(+380512) 50-03-32
(+380512) 76-55-99
Факс: (+380512) 50-03-33 / 50-00-69

E-mail: of@chdu.edu.ua, avi@chdu.edu.ua

WEB: <http://www.chdu.edu.ua>

