

ОСНОВИ ТРИБОФАТИКИ І НАДІЙНОСТІ МАШИНИ

Nikolay Denisenko

National Agrarian University, Ukraine
Geroyiv Oborony Street,15, Kyiv 03041, Ukraine

Анотація. Основи трибофатики і надійності машин. Проблема підвищення надійності і довговічності машин разом з іншими задачами розвитку машинобудування відноситься до числа першочергових.

Ключові слова: трибофатика, крива втоми, руйнування

ВСТУП

Проблема підвищення надійності та довговічності машин поряд з іншими задачами розвитку машинобудування відноситься до числа першочергових.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Відповідно ГОСТ 30638 – 99 трибофатика це: «наука про зносовтомні пошкодження і руйнування силових систем машин та обладнання», а силова система це «механічна система, в якій реалізується процес тертя в любых його проявах і яка одночасно сприймає та транзитно передає повторно – змінне навантаження» [1].

Встановлено, що багаторазове прикладання навантаження визиває руйнування деталей машин і елементів конструкцій при напруженнях, значно менших, ніж у випадку одноразового навантаження.

За великої кількості повторних навантажень напруження, при яких утворюється пошкодження, можуть бути менше не тільки межі міцності і межі плинності, але і межі пружності. Це явище було названо утомою металів [2].

Процес тертя здійснюється в любых її проявах, наприклад, при ковзані, ударі, коченні, фретингу і т. інше [3] – «основні можливості типа пошкоджень і руйнувань при повторно – змінних навантаженнях ілюструє повна крива втоми: квазістатична, мало циклова, багато циклова і високо ресурсна втома» [3].

В теперішній час ще не існує єдиної загальноприйнятої теорії втомного руйнування, побудованої на уявленнях про фізичні процеси, які супроводжують це явище. Використання теорії недосконалості кристалічної будови реального металу до вивчення процесу руйнування металів в умовах циклічного навантаження дозволяє ближче підійти до розкриття фізичної природи втомного руйнування. Основні характеристики та розвиток втомних пошкоджень визначаються процесами повторної пластичної деформації, зміцненням та знеміцненням металу поверхневих шарів, утворенням залишкових

напружень і особливими явищами втомленості. Руйнування поверхонь при втомних пошкодженнях характеризується утворенням мікротріщин, поодиноких і групових западин [1].

Руйнування – це складний, багатостадійний процес, що розвивається на структурному і атомному рівнях. Умовою високої міцності металів і сплавів, зміцнених деформацією є висока щільність дислокацій (лінійні дефекти атомної структури кристалічних матеріалів) рух яких повинно бути загальмовано внутрішніми бар'єрами.

В місцях дислокацій і розривах кристалічної решітки (внаслідок зносу, інородних включень і т. інше) атоми володіють підвищеною енергією. В процесі експлуатації це призводить до утворенню тріщин, електрохімічної корозії, прискореному спрацюванню і задирам.

Поверхні та поверхневі шари металу при пошкодженні в результаті втомних явищ характеризуються наступними даними: геометрія поверхні – локальні макроскопічні зміни; глибина зруйнованого шару – до 5 мм; температура поверхневого шару – до 100°C; зміни хімічного і фазового складу шару – немає; відносні зміни твердості поверхневого шару ($H_{\text{ост}} / H_{\text{исх}}$) – до 2, коефіцієнт збільшення об'єму поверхневого шару – 1,01; Напруження в поверхневому шарі – стиснення; руйнування поверхневого шару – особливі прояви мало циклічної втоми (по Костецькому Б.І.).

Під терміном «втома» розуміють особливий тип руйнування, що визивається повторно – діючими циклами напружень, амплітудне значення яких не перевищує межу пружності матеріалу [4,5].

Загальна картина цього процесу виглядає так: внаслідок шорсткості реальних тіл, їх взаємодія при терті є дискретною, дотикання проходить на окремих ділянках, сукупність яких складає фактичну площу контакту (ФПК). Шерсткі поверхні під впливом нормального навантаження взаємно упроваджуються або розплющуються, а в місці плям фактичного контакту виникають відповідні напруження і деформації. При терті фіксований об'єм матеріалу, що знаходиться в поверхневому шарі, зазнає багаторазового повторюваного впливу. Втома, з точки зору масштабів виникнення і розвитку пошкоджень – процес локальний, що призводить до змін в мікрооб'ємах матеріалу.

Зовнішніми ознаками втомного руйнування треба вважати утворення глибоких тріщин або вищербин на поверхні. Цією проблемою займаються спеціалісти не тільки контактної міцності, але і об'ємної [6,7].

Фізичними механізмами загальної закономірності тертя та зношування є універсальне явище адаптації – структурного пристосування (СП) матеріалів при терті [8].

Явище (СП) спостерігається при терті любых матеріалів, в певних для кожної пари матеріалів, умовах навантаження, але механізми пристосування для різних матеріалів мають свою специфіку [8].

Систему тертя у всіх випадках складають активовані поверхневі об'єми обох твердих тіл і розділового шару рідкого та газового середовища. Деталі реальних машин, які працюють в складних умовах циклічного навантаження в різних газових і мастильних середовищах схильні адсорбційній втомі. Адсорбційна втома значно ускладнюється, якщо деталі машин сприймають під час роботи ще і навантаження тертям [2].

Плівки хімічного адсорбованого кисню завжди присутні на поверхні металу, якщо деталі працюють в середовищі повітря.

Для комплексного вивчення специфіки втомного зношування досліджено більше 200 деталей робочих органів машин: леміш, полиця, польова дошка плуга; лапа культиватора; диск борони; молоток дробарки; ніж подрібнюючого барабану кормозбиральних машин. Для підвищення стійкості проти втомлюваності деталей використані різноманітні методи зміцнення: лазерна обробка поверхонь, точкове зміцнення порошковим дротом ПП-АН170, мікроплазмова обробка порошковим дротом ПП-АН148, евтектичні покриття великої товщини №1, використання порошкових композиційних матеріалів КХЖ70, КХНФ15, КХЖ50, КХТНФ25.

Визначення елементного складу поверхневих шарів матеріалів, головним чином за киснем, підтверджує, що в процесі експлуатації на поверхнях тертя усіх деталей, що працюють в абразивному середовищі, утворюється новий трансформований шар – вторинна структура механіко хімічного походження. Хімічний склад (ВС) характеризується [9] підвищеним вмістом кисню, місткість якого по результатам ОЖЕ – спектрального аналізу в поверхневих шарах деталей робочих органів машин складає 15...30% (рис. 1).

В практиці машинобудування та експлуатації сільськогосподарської техніки збільшення надійності та ресурсу їх роботи досягається використанням різноманітних методів зміцнення. Особливе значення мають способи зменшення сили і роботи тертя як основного фактору генерування теплоти і збільшення ступені пластичної деформації.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В основі запропонованої теорії втомного зношування [10] – поступового руйнування поверхні твердого тіла під впливом сил тертя – є процес поступового накопичення дефектів в поверхневому шарі в результаті повторних деформацій цього шару, які призводять до втомного пошкодження деформованої дільниці.

Стійкість шару до повторного деформування, інтенсивність виникаючих напружень і деформацій значно змінюються під впливом фізико-хімічних і електрохімічних процесів, які протікають в поверхневих шарах тертьових тіл, розділених проміжним прошарком. Важливу роль при цьому відіграють адсорбційні і хемосорбційні явища, електрохімічна корозія, електрокінетичні процеси (електрофорез), суттєво змінюючи властивості поверхневих шарів. Наявність шорсткості і хвилястості призводить до дискретного дотикання та значного локального тиску, що утворюється при стиканні високих виступів [10]. Цей тиск різко зменшується при виході виступів із зачеплення.

Експериментальні дослідження показали, що з фізичної точки зору вивчення контактної втоми в основному складається в оцінюванні концентрації напружень, що визначають характер розповсюдження втомної тріщини.

У випадку втоми пошкодження матеріалу визивається знакозмінними напруженнями, тобто руйнування матеріалу виникає під впливом змінних напружень, максимальний рівень яких був би безпечний, якщо би діяло тільки розтягнення або стиснення. Але практика показує, що в більшості випадків руйнування від втоми є результат дефектів, які утворюються при обробки поверхні деталей.

Процес контактної втоми схожий процесу звичної втоми (утворення та поступовий розвиток тріщин, залежність довговічності та межі витривалості від ряду факторів і т. ін.), але він має і свої специфічні риси. Вони обумовлені тим, що в зоні контакту реалізується об'ємний напружений стан, мають місце різкі градієнти компонент напруження, проходить локалізація максимальних напружень в невеликих об'ємах металу.

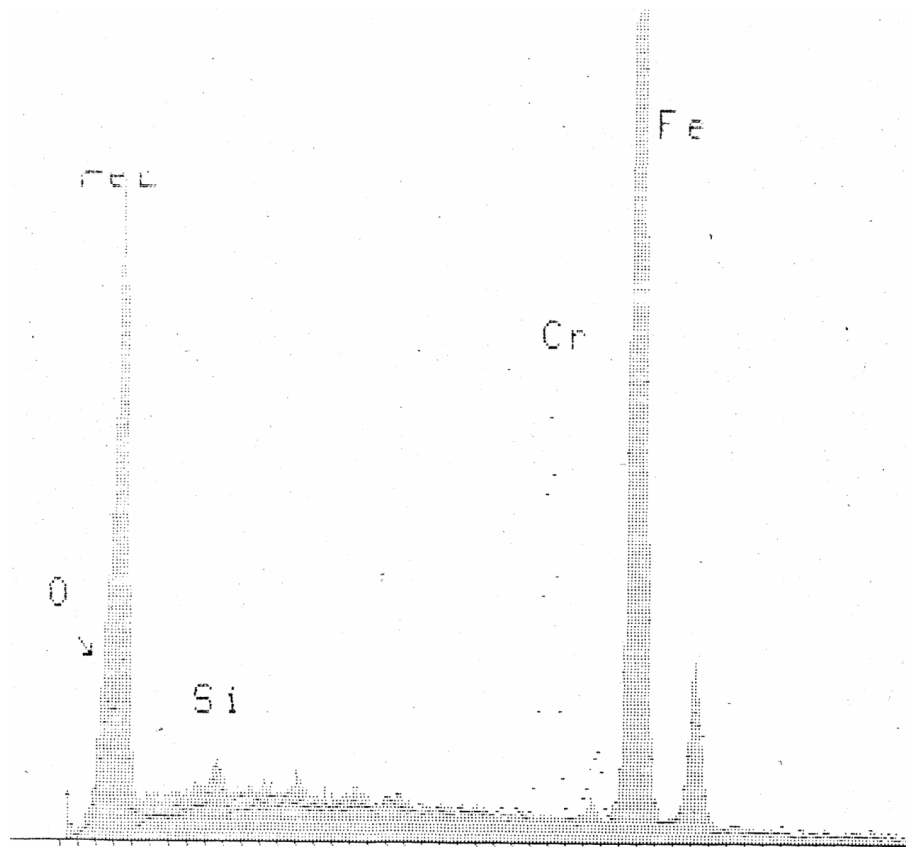


Рис. 1. Рентгенівські спектри поверхні тертя молотка із композиційного матеріалу КХЖ70

Fig. 1. X-ray photography spectrums of surface of friction of hammer with composition material KXЖ70

Характерні ознаки руйнування деталей від втоми – відсутність помітних залишкових деформацій і утворення на поверхні зламу двох зон: зони розвитку тріщини з рівною поверхнею і зони поломки з шорсткою поверхнею. Процес втоми металу поділяють на два періоди в часі: 1) накопичення незворотних змін в металі під впливом локальних мікродеформацій, що призводить до утворення зародку тріщини; 2) розвиток (зростання) тріщини.

Наші дослідження показують, що оптимальну гетерогенну структуру для гальмування і стримування втомних пошкоджень більш ефективно – це виготовлення ударних робочих органів із композиційних матеріалів (див. рис.2, рис.3). Частинки зернових сумішей здійснюють локальні імпульсні удари на поверхню молотків кормодробарок, щоби визвати пластичну деформацію.

Зниження ступені пластичної деформації поверхневих шарів і втомного пошкодження здійснюється наступними механізмами:

- перерозподілення знакозмінного або пульсуючого навантаження на тверді включення карбіду хрому (Cr_3C_2);

- блокування пластичної деформації матриці твердими включеннями карбіду хрому (Cr_3C_2), (рис.2, рис.3).

За допомогою ОЖЕ спектрального аналізу поверхонь деталей машин виявлено, що втомні пошкодження та модель процесу набагато складніше, а уявлення може мати вигляд як зображення імпульсного, квантомеханічного та координатного, але на рівні структурно – енергетичних змін поверхні.



Рис. 2. Скануючи зображення ділянки найбільшого зносу поверхні тертя молотка із сплаву КХНФ15, x 1200

Fig. 2. Scanning the image of area of most tearing down of surface of friction of hammer from the alloy КХНФ15, x 1200



Рис.3. Глибина проникнення хрому (Cr) в основу молотка, x 1200

Fig.3. Depth of penetration of chrome (Cr) in basis of hammer, x 1200

ВИСНОВКИ

1. Головною метою процесів поверхневого зміцнення, виготовлення деталей машин із композиційних матеріалів є створення умов, що сприяють процесу самоорганізації – адаптування матеріалу поверхневих шарів відповідно параметрам навантаження при терті.

2. Результати проведених досліджень можна використати для побудови фізико – математичної моделі руйнування деталей машин в умовах втоми.

3. результати проведених досліджень можна використати для побудови схеми напружено – деформованого стану поверхонь деталей машин з врахуванням руху і аналізу абразивного середовища

ЛІТЕРАТУРА

- Трибофатика. Термины и определения. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 30638 – 99. Киев. ГОССТАНДАРТ УКРАИНЫ 2000.
- Костецкий Б.И.: Носовский И.Г., Бершадский Л.И., Караулов А.К.: Надежность и долговечность машин. – К.: Техника, 1975. – 408 с.
- Сосновский Л.А. Трибофатика.: Праці симпозіуму. Основы механики износоусталостного повреждения и разрушения. 23 – 27 вересня 2002 р. Тернопіль (Україна), том 1 – С. 9 – 22.
- Крагельский И.В.: Трение и износ в машинах. – М.:Машгиз, 1962. – 384 с.
- Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С.: основы расчета на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 С.
- Иванова В.С.: Усталостное разрушение металлов. – М.: Металургиздат, 1963.
- Джонсон В.С.: Сцепление и контакт деформируемых тел.. – Теоретическая и прикладная механика. Труды XIXМеждународного конгреса. – М.: Мир, 1979. – 346 – 365 с.
- Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Караулов А.К. Бершадский Л.И.: Поверхностная прочность материалов при трении. – К.: Техника, 1976. – 202 с.
- Зазимко О.В.: Закономерности механохимических процессов при абразивном изнашивании сталей. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук. Киев – 1988. 19 с.
- Шведков Е.Л., Ровинский Д.Я., Зозуля В.Д., Браун Э.Д.: Словарь – справочник по трению. Знос и смазке деталей машин. – К.: Наукова думка, 1979. – 188 с.

BASES OF TRYBOFATYKY AND RELIABILITY OF MACHINES

Summary. The article deals with the problem of the increase of reliability and durability of machines along with the other tasks of machine-building development.

Keywords: curve of fatigue, destruction

Reviewer: Timoshevskiy B.G., Prof. Sc. D. Eng.