

Лекція12

ДІАГНОСТИКА ВУЗЛІВ ТЕРТЯ

План

- 12.1. Діагностика за станом поверхонь тертя
- 12.2. Метод віброакустичної емісії
- 12.3. Метод акустичної емісії
- 12.4. Діагностика за продуктами зношування
- 12.5. Перспективи розвитку діагностики зношування

12.1. Діагностика за станом поверхонь тертя

Трибологічна діагностика як сукупність засобів і методів безперервного контролю стану фрикційних характеристик рухомих з'єднань відіграє дедалі важливішу роль у розвитку теорії і практики тертя, змащування і зношування. Активне застосування засобів діагностики викликано не тільки забезпеченням повнішої відповідності між технічним станом об'єкта дослідження і обсягом виконуваних робіт з його обслуговування, а й вимогою економії металів і забезпечення надійності машин.

Найпоширенішими розповсюдженими методами діагностичного аналізу є поточний контроль робочих параметрів (температури, потужності, тиску тощо) і дослідження продуктів зношування. Розвиваються також спеціальні способи аналізу: ультразвукові, проникні опромінення, голографії, термографії, акустичної й екзоелектронної емісії та ін.

При трибодіагностиці виробляється вимір механічних, оптичних, пневматичних, електричних, віброакустичних та інших характеристик.

Трибодіагностику вузлів тертя проводять за двома напрямками: а) діагностику за станом робочих поверхонь деталей пари тертя; б) діагностику за продуктами зношування.

До діагностичної групи за станом поверхонь тертя належать методи поверхневої активації, акустичної і віброакустичної емісії та ін.

Метод поверхневої активації. Цей метод припускає використання радіоактивних активаторів. З методів внесення радіоактивних елементів на поверхню досліджуваної деталі можна виокремити активацію деталей у реакторі, додавання радіонуклідів у розплав, електроосадження досліджуваного матеріалу на зношувану поверхню; введення радіонукліда і поверхнева активація деталі за рахунок опромінення пучком заряджених частинок та ін.

Методи поверхневої активації ґрунтуються на використанні іонізованого випромінювання – рентгенівського, корпускулярного, альфа-, бета- і гамма-променів. Випромінювання, що використовується в цьому методі (електромагнітної природи у вигляді частинок), характеризується різними фізичними параметрами – потоком енергії, потужністю джерела, інтенсивністю, експозиційною (поглиненою) дозою, енергією кванта тощо.

Потоком енергії випромінювання F називають відношення сумарної енергії E частинок або квантів, які проникають в об'єм елементарної сфери,

до площі поперечного перерізу S цієї сфери:

$$F = E/S. \quad (12.1)$$

Потужністю джерела W називають відношення сумарної енергії частинок або квантів, які випромінюються протягом одиниці часу:

$$W = E/\Delta t \quad (12.2)$$

Інтенсивністю випромінювання (густиною потоку енергії) y називають відношення приросту енергії випромінювання E , яка проходить крізь сферу протягом години Δt , до площі S цієї сфери:

$$y = E / S \cdot \Delta t \quad (12.3)$$

Інтенсивність випромінювання змінюється обернено пропорційно квадрату відстані R від джерела до точки спостереження.

Інтенсивність J немоноенергетичного випромінювання дорівнює сумі енергій його складових. Вона зумовлює значною мірою рівень і спектр вторинного випромінювання, отриманого після взаємодії з контрольованим виробом.

Розмір випромінювальної частини джерел значно менший за відстань до контрольованого виробу і за розмір перетворювача, тому можна вважати, що інтенсивність залежно від відстані зменшується обернено пропорційно її квадрату:

$$J = J_0 \cdot \frac{R_0^2}{R^2} \quad (12.4)$$

де J_0 – інтенсивність випромінювання на відстані R_0 .

Кожен фотон або частинка характеризується енергією E або її максимальним значенням $E_{\text{млх}}$, якому відповідає довжина хвилі λ або $\lambda_{\text{мах}}$, що обчислюється за формулою

$$\lambda = ch / E, \quad (12.5)$$

де c – швидкість світла у вакуумі; h – $6,6256 \cdot 10^{-34}$ Дж;
 E – стала Планка.

Випромінювання у вигляді потоку частинок описується, крім того, спеціальними величинами, основними з яких є:

— флюенс (перенесення) частинок

$$\varphi = \Delta N / \Delta t; \quad (12.6)$$

— потік частинок

$$\Phi = \Delta N / S; \quad (12.7)$$

– густина потоку частинок

$$J = \Delta N / (S \Delta t), \quad (12.8)$$

де ΔN – кількість частинок, що пройшли крізь поверхню площею S протягом часу Δt .

Під час проходження променів крізь контрольований виріб інтенсивність випромінювання зменшується, тобто кількість енергії, яка проходила за одиницю часу крізь одиницю площі, змінюється залежно від густини і товщини матеріалу. За результатами інтенсивності випромінювання визначають наявність дефектів.

Для визначення числових показників уводять поняття поглиненої й експозиційної доз та їх потужності.

Поглинена доза випромінювання $D_{\text{погл}}$ дорівнює середній енергії E , що передається матеріалу, поділений на масу матеріалу m :

$$D_{\text{погл}} = E/m \quad (12.9)$$

Для характеристики результатів взаємодії рентгенівського та гамма-випромінювання з матеріалом щодо ефекту іонізації слугує експозиційна доза випромінювання $D_{\text{експ}}$, яка дорівнює заряду, утвореному в одиниці маси повітря:

$$D_{\text{експ}} = Q/m \quad (12.10)$$

Поглинена та експозиційна дози випромінювання пов'язані коефіцієнтом

$$k_{e-n} = D_{\text{експ}} / D_{\text{погл}},$$

який залежить від використовуваних одиниць випромінювання.

Якщо $D_{\text{погл}}$ виражена в радах, а $D_{\text{експ}}$ – у рентгенах, то $k_{e-n} = 0,877 \text{ Р/рад}$.

Потужність поглиненої дози

$$P_{\text{погл}} = D_{\text{погл}} / \Delta t. \quad (12.11)$$

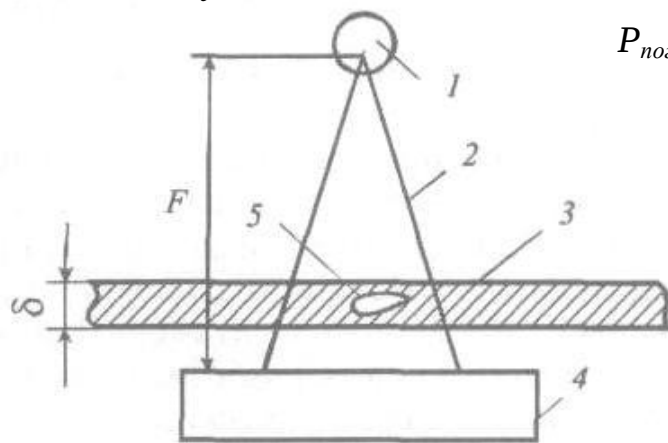


Рисунок 12.1. Схема радіаційного контролю: 1 – джерело випромінювання; 2 – прямий пучок променів; 3 – контрольований матеріал; 4 – касета з детектором і екраном; 5 – дефект; F – фокусна відстань; S – товщина матеріалу

позначки за γ -випромінюванням, що має високу проникну здатність.

Це дає змогу здійснювати безперервний дистанційний контроль за

Сутність методу полягає в тому, що на третьовій поверхні активацією прискореними зарядженими частинками створюється радіоактивна позначка. Ізотропний склад позначки і розподіл у ній активності за глибиною залежать від матеріалу деталі, виду й енергії бомбардувальних частинок, геометрії опромінення і можуть регулюватися залежно від очікуваної величини зносу в області цієї позначки.

Для визначення рівня зношування вимірюють активність

процесом зношування без зупинки і розбирання вузла за допомогою радіометричної апаратури або за заданою часовою програмою. За результатами вимірювань інтенсивності γ - випромінювання активованої ділянки поверхні і відомого його зменшення в міру зношування установлюється фактична кінетика втрати працездатності контрольованого вузла тертя.

До основних переваг цього методу належать такі: можливість безперервного контролю процесу зношування без припинення тертя; висока чутливість, що надає можливість оцінювати знос з точністю до мікрометра; можливість диференційованого оцінювання складової загального зносу, пов'язаної з віднесенням частинок; практично відсутність впливу параметрів триботехнічного середовища на результати вимірювань. Існує й інший напрям застосування радіоактивних елементів для діагностування концентрації радіонуклідів в обробленому мастильному середовищі.

12.2. Метод віброакустичної емісії

Метод віброакустичної діагностики оцінюється з урахуванням його високої інформативності як перспективний для оцінювання стану тертьових поверхонь. Цей метод діагностики використовує як перші сигнали різні характеристики коливальних процесів: механічні коливання, акустичні збурення в пружних середовищах, хвильові ефекти у кристалічних тілах.

Слід зазначити, що вібраційні сигнали мають широкий частотний діапазон, миттєво реагують на зміни стану поверхні контактної взаємодії і до того ж просто перетворюються в електричні, що дасть змогу додатково авторизувати захід щодо діагностики.

Віброакустична діагностика ґрунтується на тому, що кожному стану системи відповідають цілком визначені вібраційні сигнали. Вибір сигналів як джерело інформації про стан устаткування зумовлений рядом причин: вони є відображенням найістотніших фізичних процесів, що відбуваються в середині устаткування; шум як носій інформації має велику ємність; реєстрація шуму надає можливість робити швидкі вимірювання безпосередньо в машинах, що працюють.

12.3. Метод акустичної емісії

Використовують його для проведення діагностичного контролю:

- виявлення і реєстрація дефектів на початковій стадії їх розвитку, що дає змогу класифікувати дефекти не за розмірами, а за ступенем їх небезпеки;
- установлення збільшення розміру тріщини на деталі в частках міліметра; можлива фіксація збільшення розміру в матеріалі до 10^{-6} мм² за впливом на нього зовнішніх навантажень, що свідчить про високу чутливість методу;
- інтегральність і забезпечення контролю об'єкта з використанням

одного чи кількох перетворювачів;

- забезпечення контролю технологічних процесів виробництва і процесів зміни властивостей матеріалів;
- можливість виявлення дефектів незалежно від їх положення й орієнтації;
- зниження кількості обмежень, пов'язаних зі структурою і властивостями матеріалів, порівняно з іншими методами неруйнівного контролю.

Згідно з наявними уявленнями та визначеннями акустична емісія – це випромінювання матеріалом пружин хвиль, викликаних локальною динамічною перебудовою його структури. У методі акустичної емісії фізичне поле утворюється самим матеріалом контрольованого об'єкта й містить повний обсяг інформації про перебіг процесу як у поточний момент, так і в часі. Явище акустичної емісії супроводжує перебіг внутрішніх процесів, що відбуваються в матеріалах, і полягає у вивільненні енергії, яка поширюється у вигляді пружних зміщень частинок матеріалу.

Як приклад на рис. 11.2а наведено схему випромінювання сигналів акустичної емісії в процесі розвитку в матеріалі дефектів структури (тріщини) під дією напружень. Реєстрація поширюваних пружних зміщень здійснюється датчиком, установленим безпосередньо на поверхні матеріалу виробу або на хвилеводі, який має належний акустичний контакт із поверхнею матеріалу.

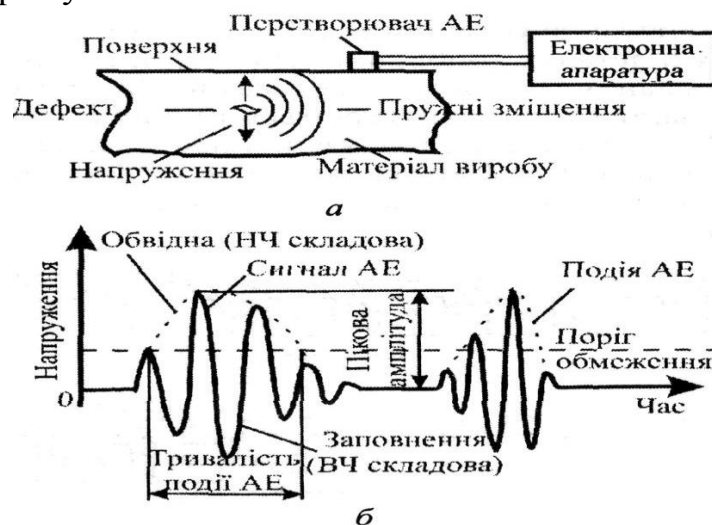


Рисунок 12.2. Схема реєстрації пружних зміщень у процесі розвитку дефекту структури матеріалу під дією напружень (а) та оброблення реєстрованого сигналу акустичної емісії (АЕ) (б)

Датчик акустичної емісії перетворює поширювані пружні зміщення частинок матеріалу в електричний сигнал, який підсилюється й обробляється електронною апаратурою на основі прийнятих концепцій. Для сигналу акустичної емісії, що реєструється, характерні, насамперед, первинні параметри, якими є амплітуда, тривалість, енергія, форма і час появи. Всі інші параметри, що використовуються для аналізу акустичного процесу, є

вторинними, інформативність параметрів акустичної емісії визначається перебігом конкретних фізичних процесів.

Комплекс фізико-хімічних процесів, що відбуваються в матеріалах, визначає природу джерел випромінювання сигналів акустичної емісії та накладає певні умови на специфіку методик експериментальних досліджень і на апаратуру, що використовується для реєстрації та оброблення сигналів. Аналіз сигналів дає можливість вивчення процесів, що відбуваються в матеріалах у реальному масштабі часу.

Отримані результати використовуються для опису перебігу процесів і побудови моделей джерел випромінювання сигналів акустичної емісії, які дають змогу не лише оцінювати інформативність їх параметрів, а й сформулювати деякі вимоги до електронної апаратури. Більшість дослідників, що вивчали явище акустичної емісії, отримали практичні результати, що добре узгоджуються між собою щодо вимог, які ставляться до апаратних засобів реєстрації й аналізу акустичної інформації. Основними з вимог є: рівень шумів, зведений до входу попереднього підсилювача, – 3...10 мкВ; частотний діапазон – від 100...200 кГц до 2...5 МГц; динамічний діапазон – 40...60 дБ.

Спектр апаратних засобів реєстрації і оброблення сигналів акустичної емісії широкий і різноманітний. Застосовуються промислові системи та блоки, які випускають такі фірми та організації, як “*Dunegann/Endexco*” (США), «*Bruel and Kyer*» (Данія), «*Trodyne*» (США), «*Setim*» (Франція), *AVT* (Велика Британія), «*Physical Acorporation*» (США), УНДІНК (Молдова), НВО «Даль-стандарт» (Росія), Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона (Україна). Дедалі більшого використання набуває обчислювальна техніка не лише для моделювання та вторинного опрацювання експериментальних даних, а й для реєстрації та вимірювання інформації про акустичну емісію. Зі всіх апаратних засобів можна виділити три напрями їх використання в організації вимірювання й опрацювання інформації, яка надходить, що базується на загальній концепції (рис. 12.3), термінах і визначеннях явища акустичної емісії - аналоговий, аналого-цифровий і цифровий.

Застосування методів акустичної емісії дає змогу контролювати кінетику тріщиноутворення в деталях трибоспряження. При цьому необхідно відфільтрувати випромінювання, пов'язане з процесами мікропластичної деформації. Відомо, що хвилі напруги, що випускаються тріщиною, перебувають в діапазоні 2000...6000 Гц, імпульси ж, пов'язані з просуванням тріщин по частоті, істотно вище загального тла. Сигнал акустичного випромінювання у вигляді поздовжньої, поперечної або релеєвської хвилі досить короткий і становить приблизно 0,03 мкс.

Для виявлення хвиль кожного типу використовуються окремі датчики, сенсibiлізовані до визначеного частотного діапазону.

Зафіксований акустичний сигнал надходить спочатку на низькочастотний попередній підсилювач, після чого додатково підсилюється в 10^4 разів другим каскадом, потім сигнал розділяється.

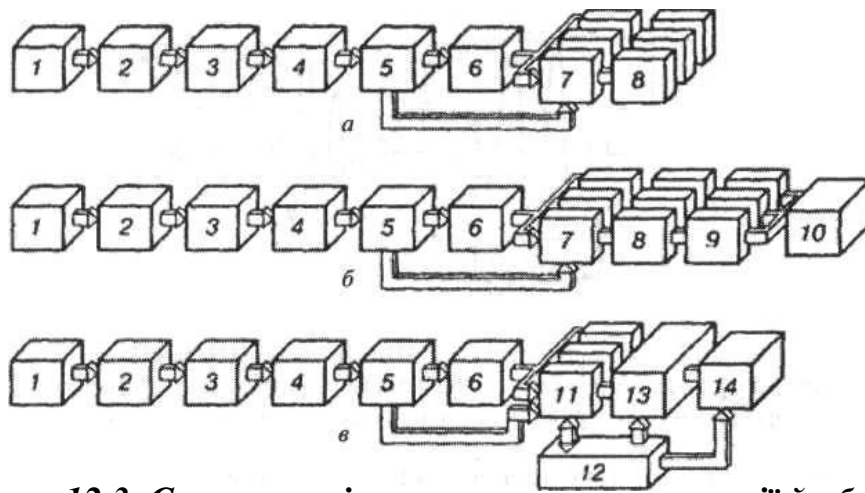


Рисунок 12.3. Структурні схеми систем реєстрації й оброблення сигналів акустичної емісії

Частина його надходить на часовий аналізатор і обчислювальну машину, методом сейсмічної тріангуляції обчислюється розташування джерела емісії. Друга частина імпульсу надходить на вхід дискримінатора, де за заданого рівня напруг здійснюється його профілювання. Далі імпульс подається на загальний механізм рахунку в записувальний пристрій. Одночасне використання аналізатора енергії дає змогу, крім швидкості та її сумарного значення, аналізувати енергію й амплітуду імпульсу задля ідентифікації фізичних процесів.

Цю схему можна використовувати для аналізу явищ, що передують утомному руйнуванню на підставі трьох піків акустичної емісії. Перший пік пов'язують з високою щільністю і швидкістю рухливих дислокацій, що закріплюються на бар'єрах, або навпаки прискорюються під дією напруг, другий – з утворенням мікротріщин; третій – з виникненням макроскопічної тріщини. За одним зі способів для виявлення тріщини одночасно використовуються ультразвук і акустична емісія. Одна частина цієї системи являє собою ультразвуковий дефектоскоп, що працює для визначення довжини тріщини на частотах 50 Гц, друга – власне акустична. Обидва сигнали – ультразвуковий від дефектоскопа і акустичний від датчика – сполучаються на осцилографі й інтерферуються. Процес керується імпульсним навантаженням на зразок і в такий спосіб одночасно реєструються навантаження, розміри тріщини й акустична емісія в триботехнічній системі.

12.4. Діагностика за продуктами зношування

Однією з проблем триботехніки є створення системи, що не потребує заміни змащення, тобто сполучення з автоматизацією зношування, з одноразовим змащуванням. Однак незважаючи на високий потенціал таких систем, вони, очевидно, не можуть бути застосовані в усіх машинах і механізмах. Там, де потрібен контроль стану мастильного середовища задля підтримки його властивостей у заданих межах, будуть потрібні засоби діагностики й регулювання різної складності. Такі засоби в загальному випадку можуть бути орієнтовані не тільки на вміст у мастильному середовищі твердих частинок – продуктів зношування, оскільки легшим

часто виявляється контроль параметрів хімічного складу середовища (наприклад, кислотного числа). При цьому, можливо, перспективним буде використання найнесподіваніших рішень, аж до біологічних датчиків і засобів контролю. Однак прогнозування аварійних станів у всіх випадках найефективніше за параметрами прямих «свідків» руйнування – продуктів зношування контактних тіл у рухомому з'єднанні.

Історія розвитку діагностики зношування за продуктами налічує близько шести десятиліть. Однак за цей відносно короткий період пройдено шлях від якісного опису частинок зносу в різних режимах до кількісних оцінок характеристик процесу зношування.

Дедалі більшого застосування набувають різні методи і засоби діагностики зношування за продуктами зносу, що дає змогу проводити прямий контроль частинок, які містять інформацію про механізми і кінетику руйнування поверхневого шару.

Серед методів кількісного оцінювання продуктів зношування найпоширеніші такі методи, як емісійно-спектрофотометричної, інфрачервоної спектроскопії, полярографічний, калориметричний, магнітометричний, ферографічний, хроматографічний та ін.

Емісійно-спектрофотометричний метод діагностики стану двигунів внутрішнього згорання використовується з 1950-х років. Інтенсивність зношування трибосполучень побічно характеризується концентрацією в мастилі металів заліза, міді, свинцю, що входять до складу матеріалів тертьових деталей. Емісійний спектральний аналіз проводиться по спектрах випускання атомів та іонів, збуджених електромагнітним випромінюванням (зазвичай електричним джерелом світла – електричною дугою, іскрою).

В основу емісійних спектрофотометричних установок покладено відомий у спектроскопії метод внутрішнього стандарту, що полягає у вимірюванні відношень інтенсивності лінії аналізованого елемента до лінії порівняння. Потік світла від дуги або іскри обмежується щілиною і за допомогою диспергуючого елемента (дифракційних ґраток або кварцової призми) розкладається в спектр. Пучки світла, що відповідають довжинам хвиль, які випускаються аналізованими елементами, виділяються зі спектра вихідними щілинами і проєктуються за допомогою дзеркал на фотоприймачі для подальшого порівняння.

Метод інфрачервоної спектроскопії якісного і кількісного молекулярного спектрального аналізу встановлює молекулярний склад досліджуваного зразка і використовується для визначення вмісту продуктів окиснювання олив, солей карбонових кислот, сульфатів і неорганічних нітратів за спектрами поглинання в інфрачервоній області. Для реєстрації інфрачервоних спектрів використовують прилади типу ІКС (Росія), «Спекорд» або ЦК. (ФРН), «Персин-Зльмер» (США), «Хильгер» (Велика Британія) та ін.

Полярографічний метод передбачає вимірювання залежності між силою струму і напругою за допомогою краплинного ртутного електрода,

зануреного в досліджуваний розчин. Назва методу пов'язана з процесом поляризації, що зумовлений напрямленим, але обмеженим зсувом зв'язаних зарядів у розчині електроліту під дією зовнішнього електричного поля. Прилади, що застосовуються в цьому методі, називають полярографами. Полярографічний метод надає можливість визначити концентрацію частинок до 10^3 м на масову витрату проби в 1 г.

Калориметричний метод ґрунтується на визначенні концентрації в оливi елемента порівнянням фарбування досліджуваного і стандартного розчину з відомою концентрацією елемента. Основним недоліком методу є складність приготування розчинів, у зв'язку з чим для діагностики його застосовують рідко.

Магнітометричний метод використовують для визначення концентрації магнітних частинок зносу в оливi. Робота магнітометричних пристроїв ґрунтується на реєстрації зміни величини прикладеного магнітного поля у разі його взаємодії з магнітним моментом вимірюваної проби. В.Е. Канарчук описав прилад для визначення забруднення олив феромагнітними продуктами зношування, що містить електромагніт, у якому в одному із проміжків між полюсами міститься пробірка з пробами. При цьому змінюється магнітний опір проміжку й у приймальній обмотці виникає напруга, за величиною якої визначається концентрація феромагнітних домішок.

Метод фεροграфії дає змогу виконувати якісний і кількісний аналіз робочого стану трибологічної системи за наявності мастильного матеріалу. Фεροграфія використовується як метод дослідження частинок зносу з 1970-х і детально описана у багатьох працях. Її застосовують як засіб прогнозування пошкоджень і запобігання виходу механізмів з ладу через передчасний знос у таких галузях техніки, як реактивні двигуни, дизелі, трансмісійні вертольоти, гідравлічні системи та ін. Метод фεροграфії містить два етапи:

- 1) осадження частинок у магнітному полі (отримання фεροграми);
- 2) отримання кількісної інформації (аналіз фεροграми).

Феромагнітні й парамагнітні частинки з потоку змащення осаджуються під впливом високого градієнта магнітного поля, напрямленого вертикально вниз. Сила, що діє на частинку, пропорційна величині частинки зносу і її магнітній проникності, тому великі частинки розміщуються на вході, малі – на виході підкладки.

Під час аналізу фεροграм користуються різними методами: вимірюванням оптичної щільності фεροграми, отриманої методом прямого зчитування або за допомогою системи аналізу; вимірюванням розмірами частинок зносу уздовж фεροграми під мікроскопом, що може стикуватися зі сканувальним пристроєм, що дає змогу автоматично зчитувати параметри частинок і виводити отримані результати на ЕОМ; дослідженням фεροграми в біхроматичному мікроскопі (використовуються червоний і зелений світлофільтри), що допомагає визначити наявність оксидів (сульфідів і чистого металу за їхнім кольором).

Попередня діагностика трибологічної системи здійснюється за індексом

твердості

$$y_y = A_k^2 - A_m^2 = (A_k + A_m)(A_k - A_m), \quad (12.12)$$

де A_k і A_m – площі, зайняті великими (понад 5 мкм) і дрібними (до 1...2 мкм) частинками зношування відповідно.

Величина A_k вимірюється початковою фεροграмою, A_m – на відстані 50 мм від неї. Додаткову інформацію про механізми і кінетику зношування, крім медіан розподілу площ A_i (рис. 12.4), може дати зміна площі за кривою індексу твердості A_z , що характеризує силу матеріалу.

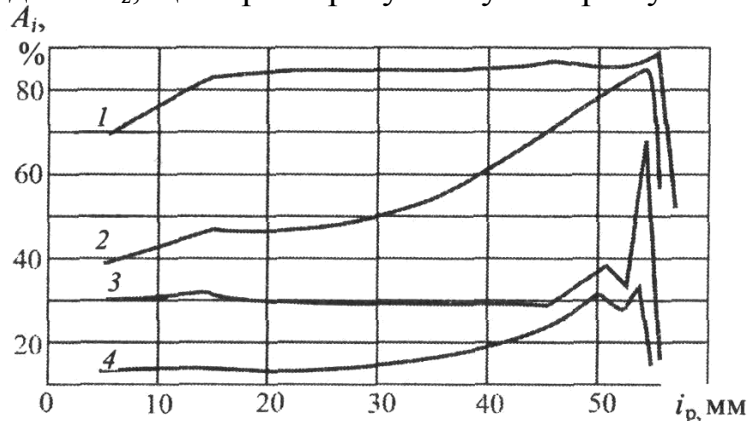


Рисунок 12.4. Зміна щільності фεροграми A_i за її довжиною: i_p – ресурс напрацювання: 1—8%; 2—60%; 3—4%; 4—7%

Оптимальне значення індексу, відповідно до якого проводиться поточна діагностика, буде різним для трибологічних систем, що відрізняються схемою контактних деталей, середовищем та іншими факторами зовнішніх впливів.

Досліджувати частинки немагнітних твердих тіл можна застосуванням кількарезового електростатичного поля, градієнт якого не збігається з градієнтом магнітного поля. Крім того, застосування знаходять також спеціальні рідини, які містять розчинники оливи, що змішуються з водою, магнітні солі, що абсорбуються на частинках зносу. Отриманий розчин досліджують звичайним методом фεροграфії.

Хроматографічний метод полягає в поділі компонентів у рідких фазах, причому на першому етапі хроматографічного дослідження багатоконпонентна рідинна система фракціонується, а на наступному етапі розділені компоненти аналізуються.

Наприклад, диспергувальні властивості мастильних матеріалів можна оцінювати за допомогою хроматографії на фільтрувальному папері. Краплю випробовуваної оливи наносять на фільтрувальний папір поруч із краплею чистої оливи, в яку додають певну кількість сажі. Усмоктуючись у папір, олива утворює характерну круглу пляму, в якій розрізняють чотири зони: внутрішню, граничну, дисперсійну і масляну. Чим більше дисперсійної зони, тим краща якість оливи. Аналіз хроматограми здійснюється за допомогою фотоелектричного фотометра: хроматограма протягується під освітлювачем. Для використання методу в діагностиці зношування потрібне додаткове

методичне припрацювання.

12.5. Перспективи розвитку діагностики зношування

Розвиток методів діагностики зношування вузлів тертя на тепер один із найважливіших напрямів кардинального підвищення безвідмовної роботи машин і механізмів. Використання запропонованих методів трибодіагностики залежить від призначення діагностованого вузла тертя, його складності та конструктивного виконання.

Найперспективнішими з погляду використання як експрес-приладів є пристрої, засновані на принципі аналізу проб змащувальних середовищ за допомогою неоднорідних магнітних і електричних полів.

Метод фєрографії дедалі більше набуває універсальності через використання додаткової апаратури, яка дає змогу досліджувати форму, величину, твердість і хімічний склад продуктів зношування. Проте на сьогодні застосування фєрографії стримує невизначеність магнітних характеристик твердих частинок у змащувальних середовищах, зокрема тих, що включають оксиди і карбіди чорних і кольорових металів, продукти трибохімічних реакцій і частинки забруднень. Крім того, необхідність осадження продуктів зношування з проб змащувального середовища і їх аналіз ускладнюють метод. У зв'язку з цим, мабуть, найцінніші результати могли б бути отримані комбінованими засобами дії на досліджувані проби і визначенням стану проби за кількома параметрами.

Діагностика за продуктами зношування набуває дедалі більшого визнання, оскільки дає змогу проводити прямий контроль частинок, які містять інформацію про механізм і кінетику руйнування поверхневих шарів деталей вузлів тертя. За відомого хімічного складу матеріалів поверхонь тертя і володіючи статистичними методами про розподіл продуктів зношування між деталями у відсотковому вираженні можна проаналізувати кінетику процесу зношування. Хімічний склад, геометрію, розміри та форми частинок аналізують додатковим залученням спеціальних методів, таких, як калориметричний, полярографічний, магнітоіндукційний, радіоактиваційний і спектрографічний. Перспективнішим є спектрографічний метод, який позбавлений недоліків зазначених вище методів діагностики і дає змогу аналізувати частинки будь-якої природи. Окрім цього, час аналізування однієї проби в сучасних автоматизованих установках досягає 3...4 хв.

Польова експрес-діагностика пов'язана з труднощами аналізу невеликих проб, через малу кількість у них продуктів зношування (10^{-3} ... $10^{-4}\%$).

Створення надійних діагностичних засобів потребує передусім розроблення методики трибологічної діагностики, тобто проблеми створення діагностичних критеріїв, адекватних тим, що відображають механізм зношування, з урахуванням різноманітності процесів зміцнення, руйнування і перенесення частинок в умовах тертя.