

7. знесення та пошкодження при терті в машинах

7.1. Трибологічні відмови

Трибологія – це наука, яка вивчає процеси зношування з урахуванням властивостей матеріалів та мастила [Кубарев, с. 78].

Основною причиною руйнування поверхонь деталей є зовнішнє тертя. Шкідливі прояви цього явища виражаються у зносі, пошкоджуваності поверхонь контакту, втратах потужності, нагріванні тощо.

Під тертям розуміється явище опору відносному переміщенню, що виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь щодо них [Кубарев, с.79].

При аналізі механічних систем необхідно розрізняти такі види тренування за наявністю та характером руху.

За кінематикою руху тренія ділитися на тренування ковзання (тертя I роду) та тренування кочення (тертя II роду). За динамічними умовами контакту розрізняють тренування спокою та тренування руху. За участю мастила розрізняють рідинне, граничне (напіврідинне або напівсухе) та сухе тренування.

Тертя є результатом поєднання різних видів взаємодії механічних, фізичних хімічних, електричних та інших процесів, що виникають при контакті та відносному переміщенні тіл [Костецький, с. 21].

Тертя обумовлюється низкою причин: природою матеріалів, довжиною поверхні контакту, тиском, тривалістю та швидкістю контакту.

Підвійна природа тертя виражається законом Кулону $F_A - N$,

(3.1)

де F – сила тренування;

A – константа, що характеризує здатність тертьових тіл до взаємного зчепленню;

μ – Коефіцієнт тренування; N – нормальна сила реакції.

Дослідження процесів зношування показують, що вид руйнування, його межі та інтенсивність протікання при встановленому режимі роботи машини визначається трьома групами факторів:

- Зовнішніми механічними впливами на поверхню тертя;
- зовнішньою середою;
- властивостями поверхонь тертя.

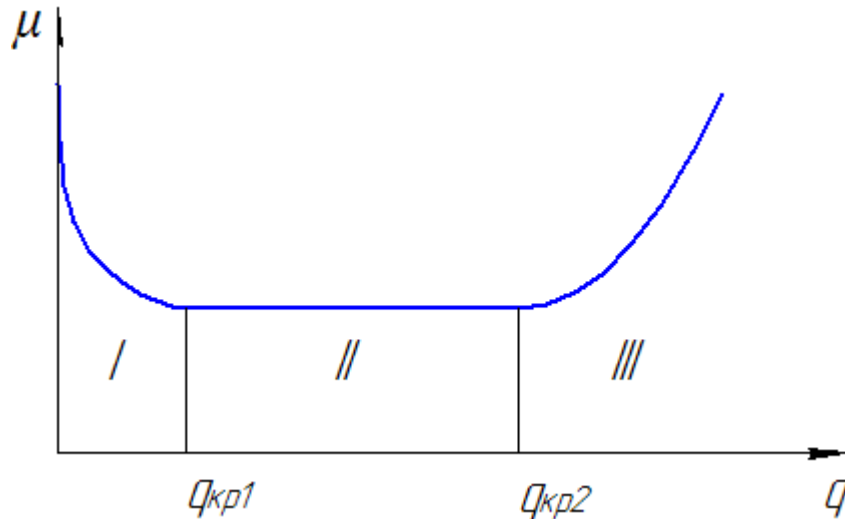
7.2. Залежність коефіцієнта тертя від умов роботи вузла

Зовнішні механічні на поверхню тренія визначаються величиною швидкості відносного ковзання, значенням нормального

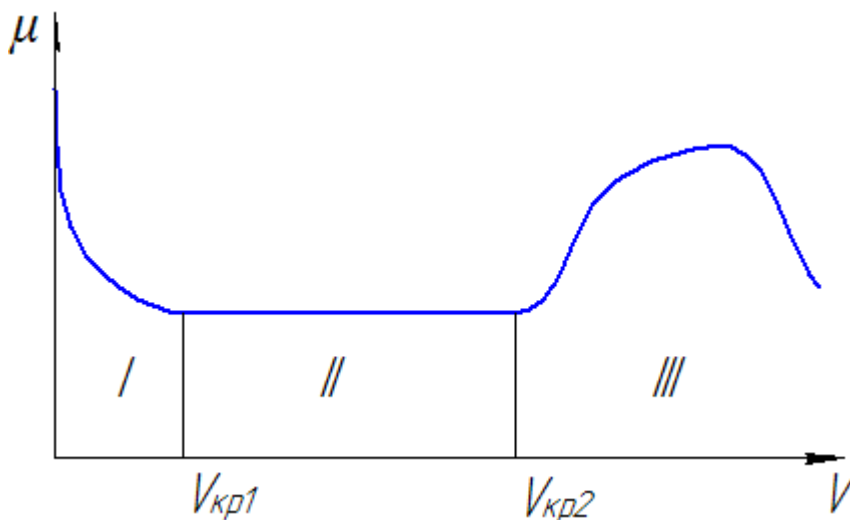
тиску на поверхні, величиною коефіцієнта тренування та іншими факторами [кістка с. 35 Костя див. 56].

Величина коефіцієнта тренія визначає значення сили тренування, як наслідок роботи тертя.

У загальному випадку величина коефіцієнта тренування залежить від нормального тиску та швидкості ковзання (рис. 3.1 та рис. 3.2).



Малій. 3.1 - Залежність коефіцієнта тренія від нормального тиску



Малій. 3.2 - Залежність коефіцієнта тренія від швидкості ковзання

Залежність коефіцієнта тренія від нормального тиску має три характерні ділянки. Нормальний режим (ділянка II) визначається стабільним стійким коефіцієнтом тренування та мінімальним (допустимим) знесенням. На ділянці виникнення патологічних процесів (ділянка III) різко починаються процеси схоплювання, зминання та інші явища, що призводять до великих коливань коефіцієнта тренування, інтенсивного зношування та, в результаті, до швидкого переходу до аварійного стану.

Залежність коефіцієнта тренія швидкості також має три ділянки.

7.3. Класифікація знесення та пошкодження при терті

Зношування поверхонь класифікується на такі види.

- механічне – абразивне, гідроабразивне, ерозійне, гідроерозійне, кавітаційне, зношування при фретингу;
- Корозійно-механічне – окисне, зношування при фретинг-корозії, електроерозійне.

У процесі зношування поверхонь деталей відбуваються явища [Кубарев, з. 78]:

- схоплювання при терті – явище місцевого з'єднання двох твердих тіл, що відбувається під впливом молекулярних сил тертя;
- перенос матеріалу - явище, яке полягає в тому, що матеріал одного тіла з'єднується з іншим та, відриваючись від першого, залишається на поверхні іншого;
- Заїдання – процес виникнення та розвитку пошкоджень поверхонь внаслідок схоплювання та перенесення матеріалу;
- Задир і дряпання – пошкодження поверхонь у вигляді широких та глибоких борозен у напрямку ковзання;
- відшаровування - процес відокремлення з поверхні матеріалу у форму лусочок при втомному зношуванні;
- Вифарбовування – процес утворення ямок на поверхні тертя внаслідок відділення матеріалу.

Механічне зношування відбувається лише внаслідок механічних впливів. У більшості випадків починаючи з моменту приробітку зношування починається з пластичного деформування (розплющування) виступів. За рахунок багаторазового пластичного деформування змінюється форма поверхні, геометричний профіль вирівнюється та вигладжується. Виступи мікронерівності наклепуються, твердість матеріалу у зоні контакту зростає. Після пружного зношування, коли відбувається тільки пружне деформування мікронерівностей, може стати мікрорізання, коли контактна напруга досягає руйнівних значень і починається руйнування поверхні одного тіла мікровиступами іншого.

Абразивне зношування - механічне зношування внаслідок ріжучої чи іншої дії твердих тіл між контактуючими тілами. Такими тілами (розміром 1 – 30 мкм і більше) можуть бути продукти зношування, залишки окисних плівок, окалина та абразивна пилка в навколишній середовищі. Сторонні абразивні частинки можуть бути закріплені на поверхнях тіл, вільно переміщатися з мастилом у зазорі. В останньому випадку має місце гідроабразивне або газоабразивне зношування. Абразивні частинки роблять в основному дряпаючу дію, особливо при різній твердості тіл, що контактують.

Ерозійне зношування складається в одночасному дії механічного тренування та ударів високошвидкісного потоку рідини чи газу. Таке зношування спостерігається у клапанах, золотниках, форсунках, поршневих кільцях та ін.

Ерозійне зношування супроводжується абразивним зношуванням частинками, що присутні в рідині або газі.

Кавітаційне зношування має місце за відносного руху твердого тіла біля рідини в умовах кавітації. Кавітація відбувається на поверхні виробу, обтічної рідиною при різкій зміні тиску, внаслідок чого відбувається пароутворення з різким зростанням тиску в місці утворення газових бульбашок. Зазвичай це відбувається на поверхнях гребних валів, лопаток турбін, колесах насосів тощо.

В результаті процесу зношування відбувається зношування поверхонь. Максимальне значення знесення, у якому виріб зберігає працездатність, називається **допустимим зношенням**. При досягненні певної величини зношування, званого **граничним**, настає відмова або граничний стан об'єкта, після якого стає неможливим або недоцільним подальше його використання.

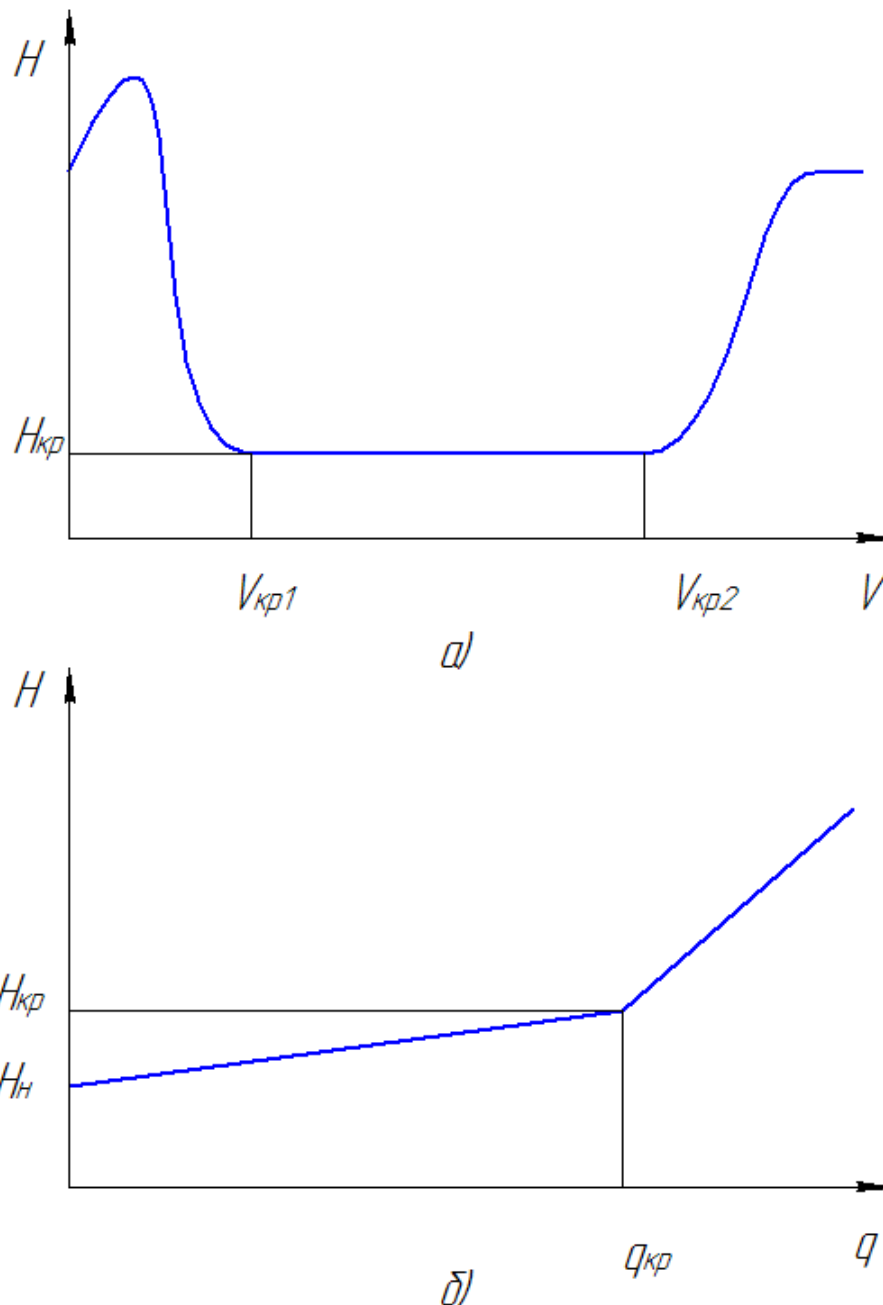
Напрацювання дощенту через зношення визначається за величиною швидкості або інтенсивності зношування.

7.4. Залежність зношення від швидкості ковзання та нормального тиску

Для заданих матеріалів тіл, що контактують, інтенсивність знесення визначається, перш за все, швидкістю ковзання тіл. У більшості випадків залежність знесення від швидкості ковзання має три характерні ділянки (рис. 3.3, а). Ділянка *I* відповідає інтенсивному патологічному процесу захоплювання *I* роду. На ділянці *II* в основному має місце окисний знос, що розвивається за нормальних умов тренування. На ділянці *III* має місце значне температурне навантаження та відбуваються процеси захоплювання *II* роду.

Схоплювання *I* роду – процес неприпустимої ушкоджуваності поверхонь тертя, що розвивається внаслідок виникнення локальних металевих зв'язків, їх деформації та руйнування з відділенням частинок металу або налипанням на поверхні контакту. Процес схоплювання *I* роду є одним із найбільш небезпечних та різко виражених видів пошкодження деталей машин. Процес схоплювання дуже істотно залежить від механічних та фізичних властивостей матеріалів та їх поєднань, межі міцності, твердості, типу кристалічних ґрат взаємної розчинності тощо. Для його усунення необхідно враховувати вплив критичної швидкості ковзання, тиску.

Схоплювання *II* роду - процес незворотного пошкодження поверхонь, викликаний утворенням місцевих металевих зв'язків, їх деформацією та руйнуванням, що виражається в утворенні тріщин, намазуванні, перенесенні металу та окремих частинок з поверхонь. Виникнення цього схоплювання обумовлено нагріванням та розм'якшенням поверхонь контакту. Найчастіше таке пошкодження має місце при порушенні стану стійкого граничного мастила.



Малий. 3.3 – Залежність знесення від швидкості ковзання та нормального тиску

Графік залежності знесення від нормального тиску має дві характерні ділянки (рис. 3.3, б): I – стаційне, нормального механохімічного зношування; II – ділянка, що відповідає патологічній процесів ушкодження внаслідок захоплювання III роду.

8. КОРОЗІЙНИЙ І ЕРОЗІЙНИЙ РОЗРУШЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

8.1. Відмови щодо параметрів корозії

Корозія – це руйнування металу внаслідок хімічної або електрохімічної взаємодії їх із корозійною середою (рідинами чи газами). Під корозійною надійністю розуміється властивість виробу зберігати в годині в установлених межах значення всіх параметрів в умовах

взаємодії з корозійною середою. Корозія може бути не лише процесом безповоротного пошкодження деталей машин та їх відмов, а й бути причиною прискореного зношення внаслідок тертя, руйнування втоми, зниження механічних властивостей [Кубарєв, с. 90, Костецький с. 146].

Встановлено, що близько 30 % виробів, виготовлених із чорних та кольорових металів та сплавів, вибувають із ладу через корозійну руйнацію, причому третина з них безповоротна.

Різноманітність умов експлуатації машин, різноманітність факторів, що впливають на корозійні процеси, зумовлюють різноманіття форм прояву корозії.

Корозійні руйнування класифікуються залежно від:

- механізму перебігу процесу:
 - хімічна корозія;
 - електрохімічна корозія;
- характеру пошкодження поверхні:
 - суцільна (рівномірна, нерівномірна, вибіркова);
 - місцева (плями, крапками, міжкристалітна);
- Умови перебігу процесу:
 - газова;
 - у неелектролітах;
 - в електролітах;
 - атмосферна;
 - Електрична та ін.

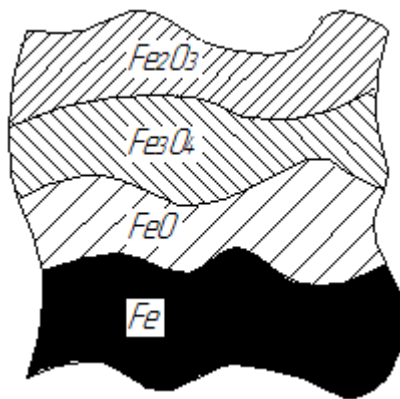
Хімічна корозія поєднує гаму процесів хімічної взаємодії металів з агресивними середовищами різного складу. Найбільший практичний інтерес представляє процес взаємодії матеріалів із кислородом. Через велику спорідненість металів до кисню в першу чергу відбувається адсорбція кисню на поверхні деталі. Молекули кисню дисоціюють на атоми, які, закріплюючись на поверхні, починають хімічні реакції з металом за формулою



де m - число атомів металу;

n - валентність (окислювальне число) металу.

Плівка продуктів окислення, що утворюється на поверхні, може або не перешкоджати подальшому процесу окислення (окислення алюмінію), або гальмувати її. Якщо в процесі окислення у плівці виникають значні внутрішні напруження, вона руйнується і кисень отримує доступ до наступних шарів металу. На поверхні металів із змінною валентністю (мідь, кобальт, залізо та ін.), що мають різні ступені окислення залежно від температури і тиску, можуть виникати одно або багатофазні товсті плівки, що відповідають різним ступеням окислення (рис. 4.1).



Малій. 4.1 – Схема товстої плівки при окисненні заліза

Електрохімічна корозія - це взаємодія металу з корозійним середовищем (розчином електролітів), при якому іонізація атомів металу та відновлення окисної компоненти електролітичного середовища протікають не в одному акті та їх швидкості залежати від електродного потенціалу.

Процеси електрохімічної корозії описуються електрохімічними законами кінетики. При цьому процесі протікають дві групи реакцій: анодна та катодна. Анодна реакція призводить до розчинення атомів металу в електроліті, катодна до відновлення або металу або водороду.

8.2. Основні види корозії

Механізми хімічної та електрохімічної корозії є головними, що визначають закономірності руйнування деталей за умови їх взаємодії з навколишнім середовищем.

Залежно від конкретних умов експлуатації корозійне руйнування деталей може відбуватися або за одним із вищезгаданих механізмів або з переважанням одного з них.

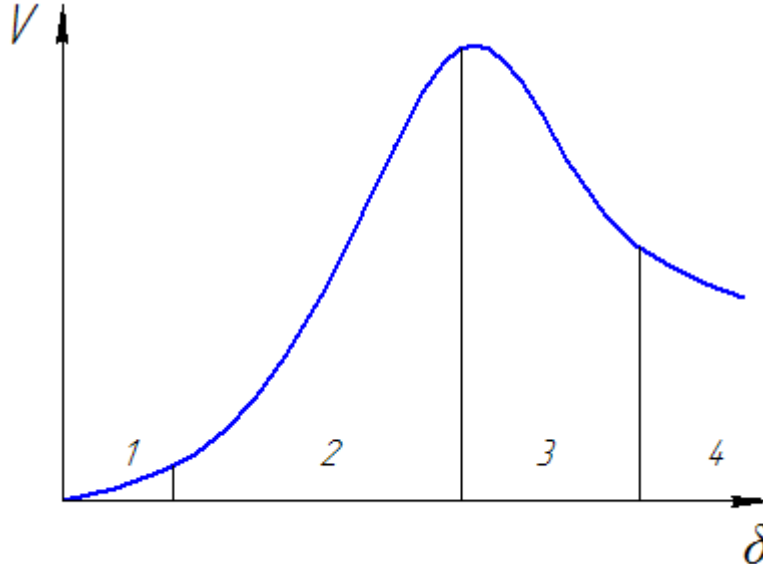
Найбільш поширеними є такі види корозії. **Газова корозія** є окремим випадком хімічної корозії в активних газових середовищах за підвищених температур (деталі двигунів, хімічної апаратури та ін.). Газова корозія залежить від складу газового середовища. Крім кисню найбільш сильними агресивними властивостями володіють пари води, вуглекислота, хлор, сірководень. Газова среда має виборчу агресивність щодо різних металів. Наприклад, серед сірчастого газу низьку стійкість мають залізо, нікель та кобальт. У той же час мідь має в цьому середовищі високу стійкість.

Корозія у неелектролітах протікає також за хімічним механізмом при дії агресивних органічних речовин. Найбільш активними є органічні розчинники (бензол, толуол, чотирихлористий вуглець), рідке паливо (мазут, гас, бензин), мастильні речовини та ін. Корозії цього типу схильні до деталей нафтовидобувної та переробної промисловості, корпусу танкерів, апаратури хімічного виробництва. Корозійна активність нафти та її продуктів зумовлена наявністю в їхньому складі чистої сірки та її сполук (від 0,1 до 3...5 %).

Корозія в електролітах виникає при контакті металів з водою, водними розчинами, що мають електропровідність. Залежно від хімічного складу середовища корозія може бути кислотною, лужною, соловою та морською.

Однією з найпоширеніших є **атмосферна корозія**. На її частку припадає понад половина корозійних втрат.

Розрізняють суху, вологу та мокру атмосферну корозію (рис.4.2).



Малій. 4.2 - Залежність швидкості корозії від товщини кулі води

Суха корозія (Дільниця 1) має місце при сухій поверхні деталей. На поверхні утворюються найтонші, невидимі оком окисні плівки. Швидкість корозії у своїй мінімальна.

Волога корозія (Дільниця 2) протікає під невидимою кулею води, що утворюється внаслідок капілярної, адсорбційної чи іонної конденсації. Швидкість сягає максимальних значень.

Мокра корозія (Дільниця 3) спостерігається при краплинній конденсації води та утворення видимої плівки рідини. Такі умови виникають при попаданні на поверхні деталей дощу, снігу 100 % вологості повітря. Швидкість корозії дещо сповільнюється. Ділянка 4 відповідає умовам корозії при повному зануренні деталей електроліт.

Швидкість корозії залежить від складу атмосфери, температури та вологості.

Електрична корозія відбувається з деталями, що знаходяться в зоні дії блукаючих струмів, джерелами яких є електрофіковані дороги, електропередачі системи «провід-земля», зварювальні генератори та ін.

8.3. Види ерозійного руйнування деталей машин

Під дією ударів струменя рідини, що багаторазово повторюються, або газових потоків відбувається руйнування деталей внаслідок ерозії. Прикладом є руйнування гірських порід під впливом води та вітру.

Більшість видів ерозії призводить до передчасного виходу деталей із ладу. З цієї причини прагнуть або повністю локалізувати ерозію, або навести процес руйнування менш інтенсивної форми.

Види ерозії класифікуються залежно та умовами зовнішнього впливу середовища.

Розрізняють чотири види ерозії:

- **Газова** - явище руйнування поверхні під впливом механічних та теплових сил молекул газу;
- **Кавітаційна** - руйнування поверхні внаслідок дії парогазових бульбашок та крапельок рідини;
- **Абразивна** - вид ушкодження під дією струменя дрібних абразивних частинок із підвищеною твердістю;
- **Електрична** - руйнування металу під дією електричного розряду.

8.4 Конструктивні методи боротьби з корозійним руйнуванням

Методи захисту деталей від корозії поділяються на такі групи:

1. Оптимальне конструювання вузлів та деталей, що працюють в агресивних середовищах;
2. Раціональний вибір матеріалів, стійких проти корозії;
3. Ізоляція деталей від прямої дії середовища за рахунок застосування захисних покриттів;
4. Обробка середовища з метою зниження її активності;
5. Використання методів електрохімічної захисту.

Оптимальне конструювання деталей та вузлів:

- уникати поєднання різнорідних в електрохімічному відношенні металів;
- уникати утворення щілин, зазорів, застійних місць та ін;
- Забезпечувати плавність перерізу, легкість обтікання поверхні.

Універсальних матеріалів, стійких за всіх видів корозії немає. Для шкідливого випадку використовують спеціальні матеріали, зазвичай високолеговані сталі (жаростійкі, жаростійкі, корозійностійкі).