

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Надійність обладнання галузі»

Тема 1. Експлуатаційні засоби підвищення надійності і довговічності машин.

1.1. Шляхи підвищення надійності машин при експлуатації

Надійність машин при експлуатації може бути забезпечена внаслідок вирішення двох основних задач:

- 1) Вибір допустимих для даної системи навантажень і навколишнього середовища;
- 2) призначенні оптимальних регламентів експлуатації та досягнення високої якості технічного обслуговування та ремонту.

Найчастіше перша задача передбачає вибір оптимального типорозміру машини, який забезпечує необхідні показники надійності при заданих характеристиках навантаження та середовища (повторні ввімкнення та вимкнення, характер зміни навантажень, динамічні характеристики, температурна агресивність середовища, наявність абразивів).

Друга задача – вибір оптимальної системи обслуговування.

Під час експлуатації розрізняють 2 етапи: до і після капітального ремонту.

Система технічного обслуговування і ремонту обладнання (СТО і РО) має в своїй структурі 2 етапи: технічного обслуговування, профілактичних їх чергових ремонтів.

Приблизна схема такого обслуговування виглядає так:

Класифікація методів обслуговування.

- за організаційним принципом (індивідуальне, спеціалізоване);
- за методом заохочення (стандартне, планово-попереджувальне, за заявкою);
- за мобільністю обладнання стаціонарне, мобільне);
- за місцем віддаленості (локальне, територіальне, централізоване);
- за періодичністю (постійне, періодичне, випадкове).

1.2. Роль мастильних матеріалів при зносі і терті

Уявлення про структуру пристосовуваності матеріалів при терті показують первинну роль середовища у розширенні діапазону та оптимізації параметрів цього явища. Одним із найбільш засобів практичного використання середовища для управління надійністю є застосування змащувальних матеріалів. При цьому виникає 2 принципово різних підходів:

- 1) забезпечення без зношуваності деталей в контактні за рахунок за рахунок заміни зовнішнього тертя твердих тіл внутрішнім тертям у рідинах або газах, що знаходяться між контактними поверхнями;

2) забезпечення ефекту структурної пристосовуваності матеріалів та його оптимізації.

Перший підхід – дві групи методів. Обидві реалізують створення газогідродинамічного шару в зоні контактування і умов виникнення гідродинамічного клину між контактними поверхнями.

Другий підхід – 2 методи.

1) використання зовнішніх пристроїв, що створюють високий тиск і герметизацію рухомих з'єднань та дозволяють зовнішнє регулювання;

2) методи створення саморегулювального гідродинамічного клину змащування у процесі взаємного переміщення контактних поверхонь.

Цей клин має достатню несучу здатність для забезпечення зазору між поверхнями та попередження зовнішнього тертя твердих тіл. При цьому досягається ефект «безношуваності», що реалізується при заданих швидкісних режимах відносного переміщення. Знос має місце лише при увімкненнях (пусках) і зупинках.

В основі гідродинамічного змащування лежать процеси відтворення параметрів руху, за яких можливе існування рідини як суцільного середовища.

Коли це буває – відповідність геометрії з'єднань.

Використання гідродинамічного ефекту не завжди реалізується на практиці. Наприклад: рідинне змащування може бути недопустимим при обмеженнях технологічного процесу (об'єкти металургії, харчова та легка промисловість, вакуум, космос). У деяких випадках утворення масляного клину неможливе або важко відтворюване через неприйнятні геометричні і кінематичні параметри рухомого з'єднання (з'єднання з низькою швидкістю). У цьому випадку під час тертя повинні весь час створюватися розподільні вторинні структури, які екранізують безпосередньо взаємодію твердих тіл.

Першим видом вторинних структур є граничні прошарки мастил, адсорбовані на металевих поверхнях і активовані тертям. Інші види вторинних структур пов'язані з перетвореннями у метали.

Найбільш типові вторинні структури – сполуки металу з киснем. При сухому терті ці сполуки близькі до окислів; при терті в присутності мастила – це розчини кисню + домішки відповідних металів.

Утворення вторинних структур відбувається в широкому діапазоні температур. Це пов'язано з тим, що головним чином фактором утворення вторинних структур є зміна внутрішньої енергії під час деформування поверхонь.

В якості вторинних структур виступає в останньому мило (стеарити).

При відповідному складі рідинного та газового середовищ вторинні структури являють собою гетерогенні фази металів і різних електронегативних елементів (сірка, хлор, вуглець).

Також у зоні тертя утворюються полімерні плівки (через вплив мастила).

Вибірковий перенос матеріалу – це окремий вид вторинних структур. Утворення їх обумовлене хімічною природою середовища в зоні тертя.

До особливих видів вторинних структур відносяться прошарки рідких металів і тверді мастила, змішані з водою, графітом, солями і окислами металів.

Таким чином, вторинні структури являють собою розділювальну фазу, утворювану під час тертя внаслідок адсорбційних і хімічних взаємодій поверхонь тертя, мастил і активних елементів навколишнього середовища.

1.3. Утворення стійкого граничного прошарку і деконцентрація навантажень

Внаслідок фізичної адсорбції на поверхні тертя утворюється особливий прошарок мастила. Параметри цього прошарку визначаються, з однієї сторони, властивостями молекул мастила, а, з другої – складом і структурою поверхонь тертя (в основному – металевих).

До основних функцій граничного прошарку при терті необхідно віднести:

- 1) фізичний розподіл поверхонь тертя;
- 2) деконцентрацію навантажень (прошарок сприймає і ремонтує частину навантаження в зоні тертя);
- 3) пластифікування і хімічне екранування (наприклад, затримка проникнення кисню на поверхню тертя).

Стійкість граничного прошарку характеризується його опором стиску (міцністю на роздавлювання) і термостійкістю.

При підвищенні температури відбувається явище розпаду граничного прошарку з вмістом мастильних речовин (випаровування).

Тема 2. Тверді мастила. Електролітичні покриття

2.1. Тверді мастила

Застосування твердих мастил (твердих речовин органічного та неорганічного походження) пов'язане, головним чином, зі специфічними умовами тертя: в агресивних середовищах, у вакуумі, при високих температурах і тисках, вплив радіації.

Розрізняють такі види твердих мастил, як:

- багат шарові (графіт, нітрид бору);
- органічні сполуки (мило, віск, жири);
- хімічно активні покриття (сульфідні, хлоридні, фосфатні, оксидні);
- м'які метали (індій, свинець, олово, цинк, мідь, барій);
- полімерні плівки;
- різноманітні пластичні матеріали.

За групами тверді мастила поділяються на: структурні; протекторні механічні (метали, пластмаси); мило; хімічно активні; експериментальні; вогнетривкі матеріали; кераміка; скло.

Особливо необхідно відмітити суміші твердих мастил зі зв'язками, що полегшують їх нанесення на поверхню, і антифрикційні мастила, отримувані змішуванням (наприклад, металографітні матеріали). Тверді мастила застосовують у вигляді порошку, покриття, у складі композиції.

Механізм змащувальної дії твердих мастил складний і недостатньо вивчений. Існує декілька теорій (гіпотез), які розглядають різні сторони дії твердих мастил.

Структурна теорія (розроблена для мастил типу графіт – пояснює антифрикційні властивості багат шаровою будовою, тобто, великими віддалями і ослабленими зв'язками між атомами. Це теорія не має загального характеру. Наприклад, вона не пояснює змащувальної дії таких багат шарових матеріалів, як слюда, тальк, дисульфід титану.

Адсорбційна теорія базується на фактах різноманітної змащувальної дії графіту у вакуумі та в присутності кисню, парів води, бензолу та інших рідин. Змащувальну дію за цією теорією пов'язують не з шаровою будовою твердої речовини, а з її здатністю утворювати адгезійні плівки на поверхнях. Ця теорія також має обмежену область застосування, тому що не може пояснити поліпшення антифрикційних властивостей деяких твердих мастил зі зростанням температури, задовільної роботи молібдену у вакуумі.

Структурно-хімічна теорія зв'язує мастильну дію твердих мастил з режимами тертя. При невеликих навантаженнях тверді мастила поведуть себе як суцільне середовище (подібно гідродинамічним мастилам). Дисперсування кристалів, що відбувається при цьому, активує і підвищує його адгезійну здатність. Ця роль структури, пов'язана з низькою міцністю кристалів, найбільше проявляється при малих навантаженнях, швидкостях і невисоких температурах.

При середніх режимах швидко-силових навантажень дія твердих мастил і рідких мастил аналогічна; має місце взаємодія активних елементів мастила з деформаційно-активованими поверхневими шарами металу: адсорбція, дифузія і хімічні реакції. При цьому повною мірою проявляються структурна пристосовуваність матеріалів, динамічна рівновага і саморегулювання процесів утворення та руйнування вторинних структур.

При важких режимах тертя тверді мастила застосовуються для розширення діапазону нормального тертя і зносу за рахунок інтенсивного хімічного модифікування поверхневих шарів тіл тертя. При цьому важливої ролі набувають такі фактори, як температура, концентрація активних компонентів (кисню, сірки, хлору, фосфору), що викликає суттєвий вплив на швидкість утворення вторинних структур.

Сьогодні накопичено велику кількість даних про експлуатаційні властивості твердих мастил різних типів. Дані про змащувальні властивості порошкоподібних неорганічних речовин кристалічної будови: металів, окислів, солей отримані при випробуваннях на машинах тертя при температурах від 20 до 500°C і швидкостях на рівні 0,5 м/с.

Сполуки фтору в таких умовах мають низькі змащувальні властивості, величина зносу зі збільшенням температури суттєво зростає.

Найкращою змащувальною дією характеризуються сполуки натрію та літію. Окисли (за винятком окислів свинцю) мають незадовільні змащувальні характеристики, вони відзначаються навіть абразивністю. Метали взагалі також є незадовільними мастильними речовинами.

Тверді мастила найчастіше застосовують у вигляді тонких покриттів, у якості структурних складових підшипникових сплавів, у конструкційних матеріалах, для просочування багатошарових пластиків. Для нанесення змащувальних плівок у якості носіїв дисперсних часток використовують гази або рідини. Їх також наносять методами гальваніки, випаровування, шляхом хімічної обробки поверхонь тертя.

Тверді мастила успішно працюють у підшипниках ковзання та кочення, шарнірних з'єднаннях, зубчастих передачах. Графіт застосовують в автомобільних двигунах для поліпшення припрацювання, а також у різних процесах обробки металів тиском. Сучасні графітові плівки застосовують у ланцюгових передачах.

Порошкоподібні мастила – найпростіший і найдавніший тип твердих мастил. Вони зменшують тертя і знос. Найчастіше це – порошкоподібний графіт.

Застосовують тверді мастила з керамічними зв'язками.

Широке розповсюдження тверді мастила отримали у виробництві підшипникових матеріалів. Одним із перших був застосований метод нанесення тонких шарів (0,006мм) м'яких металів (свинцю, міді) на поверхню бронзи для покращення її припрацьованості.

Велику перспективу має застосування фторопласту. Він наноситься на поверхні тертя шляхом просочування, наплавлення або у вигляді покриття.

Значні успіхи досягнуті в області змащування різцевих з'єднань для попередження схоплювання їх при роботі в умовах високих температур і в

корозійних середовищах. У цих випадках тверді мастила застосовують у вигляді графітових паст. Тверді мастила, знову ж таки, графітові, застосовують для змащування в атомних реакторах.

2.2. Електролітичні покриття

Методом електролітичних покриттів створюються зносостійкі, антифрикційні, корозієстійкі, ерозієстійкі покриття, що застосовуються для зміцнення деталей машин. Зміцнення дає змогу покращити довговічність і надійність роботи машин, найбільш широке застосування серед електролітичних покриттів отримали: хромування, нікелювання, цинкування і кадміювання.

Електролітичне хромування, як метод покращення зносостійкості деталей, що працюють в умовах тертя, займає одне з перших місць.

Хромування збільшує термін служби деталей обладнання в 4-5 разів. Товщина хромових покриттів залежить від умов роботи деталей. Поверхні валів прокривають шаром хрому товщиною 0,3...0,8 мм. поршні прокривають товщиною 0,08 мм. невеликі втулки – товщиною 0,025 мм.

Хромуванню піддають стволи вогнепальної зброї. Хромують поршневі кільця – зносостійкість вища в 4 рази.

Деталі, що піддають хромуванню, в залежності від умов роботи поділяють на 3 класи. До 1 класу відносять деталі, хромована поверхня яких працює в умовах тертя при питомих тисках до 50 МПа. Товщина хрому при цьому 0,1...0,2 мм.

Деталі 2 класу працюють в умовах тертя при питомих навантаженнях до 200 МПа. До таких деталей відносяться шпинделі, шийки валів, осей.

Деталі, що працюють при питомих тисках до 1500 МПа і при підвищених температурах, відносяться до 3 класу. Для них товщина шару хрому в межах 0,1 мм.

Хромові покриття, в залежності від режимів хромування (щільність струму, температура і склад електроліту бувають блискучі і матові (молочні). Молочні покриття більш стійкі у важких умовах роботи. Для запобігання зменшення міцності на втому перед хромуванням поверхні необхідно піддати наклепу.

Перспективним методом зміцнення поверхонь тертя вважається електролітичне осадження вольфрамових сплавів (W-Cr; W-Ni; W-Co; W-Fe). Ці покриття відзначаються високою твердістю і хімічною стійкістю.

Також ведуться роботи із застосування гальванічних покриттів із марганцю (твердість HV 980...1100).

Тема 3. Втомне руйнування деталей машин. Вплив зовнішніх механічних характеристик на втому. Вплив якості поверхні на втому. Корозійна втома

3.1. Загальні відомості про втомне руйнування

На сьогодні встановлено, що багаторазові навантаження викликають руйнування деталей машин і елементів конструкцій при напругах значно менших, ніж у випадку одноразового навантаження. При великій кількості повторних навантажень напруги, при яких відбувається руйнування, можуть бути меншими не тільки за межу міцності та межі плинності, але і навіть межі пружності. Це явище назване втомою металу.

Зовнішнім проявом втоми металів є виникнення та розповсюдження при багаторазових навантаженнях характерного виду тріщин на поверхні виробів у тих місцях, де є сліди обробки інструментом, переходи від одного перерізу до другого та інші концентратори напруги. Тріщини втоми з'являються не зразу, а поступово. Спочатку у металі накопичуються незворотні зміни, що призводять до виникнення мікротріщин, а потім відбувається поступове збільшення та поглиблення їх всередину виробу по його поперечному перетину, поки ослаблення останнього не призводить до завершального крихкого руйнування.

Повторні зміни навантаження за своїм характером можуть бути різноманітними. Розрізняють наступні види циклів навантаження: знакозмінний симетричний цикл, знакозмінний асиметричний, пульсуючий знакопостійний.

Цикл навантаження характеризується:

- максимальною напругою σ_{\max} ;
- мінімальною напругою σ_{\min} ;
- амплітудою $\sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min})/2$;
- середньою напругою $\sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min})/2$;
- коефіцієнтом асиметрії циклу $R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$.

Беручи до уваги, що напруги розтягу додатні, а напруги стиску – від'ємні, кожен із видів циклів навантажень можна описати, використовуючи ці основні параметри. Наприклад, знакозмінний симетричний цикл описується наступним чином: $\sigma_a = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$; $\sigma_m = 0$; $R = -\sigma_{\min} / \sigma_{\max} = -1$.

Основним критерієм, що характеризує опір металу втомному руйнуванню, є межа витривалості (межа втоми), яка для знакозмінного симетричного циклу позначається σ_{-1} .

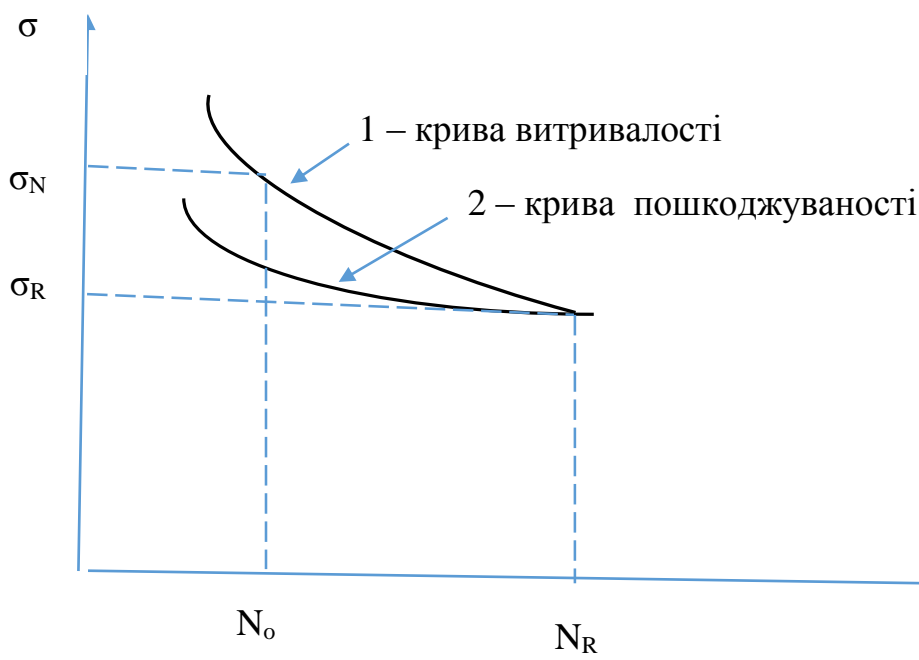
Під межею витривалості при даному R мають на увазі ту найбільшу напругу циклу σ_{\max} , яку може витримати метал зразка без руйнування від втоми при необмеженій кількості циклів навантаження.

При дослідженнях звичайно приймають задану кількість зміни навантажень (база), яка не повинна викликати втомного руйнування. Базу приймають у залежності від програми досліджень і службового призначення досліджуваного металу.

Другим критерієм, яким можна характеризувати стійкість металу проти втоми, є довговічність. Довговічність N – це кількість циклів навантажень, при якій відбувається руйнування при даних умовах дослідження. Дослідження на витривалість полягає в установленні залежності σ_{\max} від відповідної довговічності N . криву витривалості будують згідно даних, отриманих під час досліджень.

Найчастіше криві витривалості будують в координатах $\sigma_{\max} - \lg N$ або $\sigma_{\max} - N$.

Методика досліджень на втому наступна. З досліджуваного металу виготовляють серію зразків (10-12 шт.), які піддають навантаженню на спеціальних машинах. Величину напруг і кількість навантажень, при яких ламаються зразки, наносять на координатну систему з вісями «напруга σ » – «кількість циклів навантажень N ». При дослідженні наступного зразка напругу зменшують. Внаслідок багаторазового повторення досліджень утворюється система точок, з'єднавши які, отримують криву витривалості.



При дослідженні на витривалість, як правило, спостерігається значне розсіювання точок, тому необхідно проводити велику кількість дослідів. Як видно, крива витривалості 1 асимптотично наближається до горизонталі, що відповідає рівню напруги, що дорівнює межі витривалості σ_R . Відношення $\sigma_N/\sigma_R = K_o$ (σ_N – напруга при кількості циклів N) називається коефіцієнтом циклічного перевантаження деталі. Цей коефіцієнт характеризує перевантаження деталі при втомному руйнуванні.

Для сталі крива витривалості, отримана при дослідженні на повітрі, приблизно після 1–2 млн. циклів навантажень стає практично горизонтальною, тобто, коефіцієнт K_o наближається до 1. Тому для визначення межі витривалості обмежуються 6-10 млн циклів навантажень.

Криві витривалості кольорових металів повільно наближаються до горизонталі, тому їхню істинну межу витривалості визначити неможливо. За умовну межу витривалості в цьому випадку приймають те циклічне навантаження, яке витримує зразок не руйнуючись при умовній кількості циклів N , яку приймають у діапазоні $(50 \dots 100) \times 10^6$.

Крива пошкодженості 2 показує зв'язок між кількістю циклів і напругами, за яких руйнування металу ще немає, але вже відбуваються незворотні зміни його властивостей і з'являються перші тріщини втоми.

Втомлений злам має дві різко відмінні одна від одної зони. Перша – дрібнозерниста з гадкою, ніби притертою, поверхнею і в концентричними лініями – це зона поступового руйнування від втоми. Друга зона має звичайну кристалічну структуру і нагадує злам при статичному навантаженні.

3.2. Вплив зовнішніх механічних характеристик на втому

Результати досліджень процесу витривалості металу на повітрі показали, що межа витривалості практично не залежить від характеру зміни напруг протягом одного циклу і частоти зміни циклів до 1000 Гц. В основному, на межу витривалості впливає вид напруженого стану, величина і знак максимальних і мінімальних навантажень і ступінь асиметрії циклу.

Форма деталі, в першу чергу, обумовлює можливість існування місць з концентраторами напруг внаслідок конструкції деталі та особливостей процесу її виготовлення.

Концентратори напруг зменшують витривалість з інтенсивністю, яка визначається максимальними напругами, градієнтом їх розподілу по перерізу деталі, а також структурною неоднорідністю металу. Різні матеріали по різному чутливі до концентраторів напруг. Чавун, сталь, багато кольорових металів, пластична сталь малочутливі до концентрації напруг. Найбільш чутливі – загартовані сталі, причому, чутливість зростає зі зростанням межі міцності. Дрібнозерниста сталь більш чутлива до концентрації напруг, ніж крупнозерниста, хоча перша має більшу витривалість. Зі збільшенням розмірів деталі її міцність на втому зменшується, особливо, якщо деталь із загартованої сталі і має концентратори напруг.

Внаслідок багаточисленних досліджень встановлено низку залежностей між статичними механічними характеристиками і межею витривалості:

$$\sigma_{-1} = 0,24\sigma_B + 27,5; \quad \sigma_{-1} = 0,45\sigma_m + 12,2; \quad \sigma_{-1} = 0,13HB + 4,64.$$

3.3. Вплив якості поверхні на втому

Теоретично і практично визначено, що майже в усіх випадках процес втомного руйнування розпочинається з поверхні. Це пояснюється тим, що метал поверхневих шарів може знаходитися в несприятливих умовах експлуатації, наприклад, напруги на поверхні можуть сягати небажаних значень. Зміна перерізу деталі, пошкодження

та шорсткість поверхні викликають локальну концентрацію напруг, що досягають найбільших величин на поверхні.

У поверхневому шарі при впливі корозійного середовища зароджуються і розвиваються критичні тріщини втоми. У зв'язку з цим очевидним є те, що від якості поверхні залежить інтенсивність процесу втомного руйнування металу.

Це дозволяє стверджувати, що якість поверхні є важливим фактором, за допомогою якого можна впливати на зміну межі витривалості деталей машин.

Вплив шорсткості на витривалість сталі пов'язаний з чутливістю її до концентрації напруг.

Але, крім шорсткості, на межу витривалості впливають і інші фактори, що визначають якість поверхні. Технологічно можна отримати поверхню з однаковою шорсткістю різними методами обробки, наприклад, шліфуванням і точінням. Але, стійкість проти втоми буде різною, тому що міцність на втому залежить не лише від шорсткості, а і від механічних властивостей, напруженого стану поверхні (розподіл напруг у поверхневому шарі), які є наслідком обробки.

3.4. Корозійна втома

Корозійна втома – це процес руйнування металу при одночасному впливі циклічного деформування і хімічно агресивних середовищ.

При корозійній втомі так само, як і при втомі, тріщини з'являються на поверхні і, поступово розвиваючись в глибину, ведуть до зменшення активного перерізу деталі. процес закінчується швидким руйнуванням перерізу, що залишився, від механічних напруг. На зламі від корозійної втоми розрізняють дві зони: втомну з участю корозії; зону долому.

Тема 4. Процеси і класифікація процесу зношування. Тертя в машинах і механізмах. Нормальні і патологічні процеси тертя

4.1. Класифікація видів зношування і пошкоджуваності

Поверхні тертя деталей машин при експлуатації суттєво змінюються. Змінюються розміри і геометричні характеристики, структура, властивості і напружений стан поверхневих шарів. Ці зміни можуть мати монотонний і різко виражений стрибкоподібний характер. Вони можуть охоплювати мікро-, макро- і субмікроскопічні об'єми. Характер змін значною мірою залежить від кінематичного руху (виду тертя), умов механічного навантаження, наявності й складу середовища, виду змащування, концентрації кисню, матеріалу.

Зміни можуть бути корисними, які нормалізують зовнішнє тертя і сприяють мінімізації зношування, або призводять до недопустимих явищ різко вираженої пошкоджуваності.

Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) нагромадження його залишкової деформації під час тертя, що виявляється в поступовому змінюванні розмірів і або форми деталі, зразка.

Знос – результат зношування, що оцінюється безпосередньою зміною розмірів або побічними (непрямими) ознаками. Розрізняють знос лінійний, який визначається зменшенням розміру по нормалі до поверхні тертя, об'ємний – зменшення об'єму і ваговий – зменшення ваги.

Окрім зміни форми і геометричних розмірів деталей або зразків, відбувається повна трансформація структури і її поверхневих шарів. Найбільш різка зміна структури і її властивостей спостерігається в початковий період роботи спряжень. При встановленому зношуванні процеси трансформації мінімізовані й зосереджені в надзвичайно тонких поверхневих шарах.

Пошкоджуваність – процес різко вираженої і нерівномірної зміни геометричного стану поверхонь тертя, структури і властивостей поверхневих шарів.

Пошкодження – результат пошкоджуваності, що проявляється у зміні макрогеометричних характеристик, структури, властивостей і напруженого стану поверхневих шарів. Зношування і пошкоджуваність відрізняють чітко вираженими зовнішніми ознаками, механізми їх внутрішнього розвитку специфічні.

В основу класифікації видів зношування і пошкоджуваності деталей машин при терті, яку запропонував професор Б.І. Костецькій, покладено такі принципи:

1. Вивчення природи процесів руйнування, що спостерігаються при роботі деталей машин.
2. Відтворення цих процесів і вивчення їх у лабораторних умовах.
3. Вивчення зношування і пошкоджуваності в процесі їх розвитку у зв'язку з критичними переходами від одних видів до інших залежно від зовнішньої механічної дії, факторів середовища і властивостей матеріалів деталей. При цьому

також враховується вплив масштабного фактора, фактора часу і характеру навантаження – статичного або динамічного.

Можливості чіткого розмежування зношування і пошкоджуваності виявляються при аналізі видів руйнування деталей різних машин (які експлуатуються в сільському господарстві, переробній і харчовій промисловості, авіації і на транспорті, металорізальному обладнанні тощо). Залежно від умов тертя, середовища і матеріалів спостерігаються певно визначені провідні (ведучі) процеси. Поряд з ними можуть існувати супутні явища, що здійснюють менш значний вплив на руйнування поверхонь. Положення про провідні й супутні процеси руйнування є фундаментальною основою класифікації видів зношування і пошкоджуваності професором Б.І. Костецьким (рис. 8.1).

З точки зору надійності роботи всі види трансформації у відповідності з класифікацією поділяють на дві великі групи – допустимі й патологічні (недопустимі). До допустимих відносять велику групу явищ, пов'язаних із процесами мінімалізації пластичної деформації, активізації тонких поверхневих шарів металу, миттєвої їх взаємодії з агресивними компонентами навколишнього середовища (газовим і рідинним) і утворення рівномірно розміщених на поверхні вторинних структур, які періодично руйнуються і знову утворюються. Процес встановленого тертя і зношування в таких умовах має властивості саморегулювання.

Простою і найбільш розповсюдженою різновидністю допустимого зношування є окисне (окислювальне) зношування. Воно має кілька форм, а його кількісні параметри можуть змінюватися в певних межах.

Взаємодія активованих пластичною деформацією поверхневих шарів металів з різними агресивними компонентами рідких і газових середовищ може призвести до утворення вторинних захисних структур іншого складу – на основі сірки, фосфору, азоту, вуглецю тощо. Цей загальний комплекс явищ, пов'язаних з деформацією, текстуруванням поверхневих об'ємів металу, подальшою взаємодією з хімічно активними компонентами робочого середовища і руйнуванням утворених структур, складає механохімічне зношування.

До проміжних процесів руйнування можна віднести деякі форми абразивного зношування без зняття стружки і пошкодження дряпанням.

До патологічних процесів руйнування поверхонь відносять: процеси, які безпосередньо пов'язані з тертям (схоплення I і II роду, абразивне зношування з пошкодженням поверхонь контакту – зняттям мікростружки, втомне пошкодження, фретінг-процес) і побічно пов'язані з тертям (змінання, корозія, кавітація, ерозія). Патологічні явища – це своєрідні, яскраво виражені види руйнування поверхні, що виникають при порушенні нормальних умов зовнішнього тертя. Перехід до патологічних процесів відбувається стрибкоподібно при досягненні деяких критичних умов.

Класифікація видів зношування і пошкоджуваності деталей машин**4.2. Механохімічне окисне зношування**

Механохімічне окисне зношування – це процес поступового руйнування поверхонь тертя деталей вузлів або зразків при терті, який викликається взаємодією активних пластично деформованих (текстурованих) поверхневих шарів металу з атомами кисню, сірки, фосфору, хлору, азоту, вуглецю та іншими, що містяться в середовищі та адсорбуються на робочій поверхні. Взаємодія поверхневих шарів металу з киснем у повітрі або в мастилі, спричиняє окислювальне зношування як різновид механохімічного зношування. Окисне (окислювальне) зношування відбувається у випадку, коли на поверхнях дотику утворюються плівки окислів (твердих розчинів – вторинні структури I типу і хімічних з'єднань металу з киснем – вторинні структури II типу), які в процесі тертя руйнуються і знову утворюються. Продукти зношування складаються з окислів. Окисне зношування – встановлений стаціонарний процес динамічної рівноваги руйнування і відновлення окисних плівок вторинних структур.

При цьому виді зношування швидкість окислення ($V_{ок}$) перевищує швидкість інших процесів, що протікають на поверхнях тертя, тобто окислення, є переважаючим (домінуючим). Міцність плівок вторинних структур, що утворюються, забезпечує стає протікання цього виду зношування, швидкість руйнування плівок не перевищує швидкість окислення ($V_{ок} > V_{руйн.}$). Спільним для вторинних структур обох основних типів є їхня поверхнева локалізація,

високоміцна ультра дисперсна будова, здатність мінімізувати руйнування поверхневого шару й екранувати неприпустимі процеси схоплювання, втомленості, корозії тощо.

Окисне (окислювальне) зношування характеризує нормальні умови експлуатації вузлів тертя. Окисні процеси як супутні спостерігаються і при інших видах зношування і пошкодженості поверхонь тертя. Деформаційні й окислювальні процеси відбуваються в дуже тонких поверхневих шарах порядку 10...100 нм.

Найчастіше механохімічне зношування спостерігається при терті сполучених деталей, виготовлених з різних металів і сплавів на основі твердих розчинів з гетерогенною структурою або підвищеними твердістю і границею текучості. Цей вид зношування характерний для деталей шарнірно- болтових з'єднань, калібрів, металевих коліс, фрикційних передач, чашок варіаторів, тяги механізмів керування тощо.

Окисне зношування має кілька форм. Залежно від умов, виду тертя, швидкості відносного переміщення, тиску, динамічності навантаження, температури, складу середовища, механічних і хімічних властивостей матеріалів, що труться, характер та інтенсивність окисних процесів змінюється. Перша форма окисного зношування характеризується утворенням на поверхнях тертя твердих розчинів кисню і тонких евтектик його з'єднань з металом. Друга форма – утворенням хімічних з'єднань кисню з металом (для сталі – FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄). У першому випадку характерне в'язке руйнування поверхонь контакту, в другому – в'язко-крихке.

В умовах наявності абразивного середовища окислення і руйнування поверхонь інтенсифікується внаслідок великої концентрації напружень у локальних об'ємах металу. Особливості цієї форми окисного зношування розглянуто далі.

Нормальне окисне зношування виникає при терті ковзання і кочення, при сухому терті і граничному змащуванні.

Питомі тиски при окисному зношуванні не перевищують критичних значень, за яких відбувається руйнування мастильної плівки при граничному терті, або величин, які визивають інтенсивне руйнування захисних вторинних структур окислів і контактування ювінільних поверхонь при сухому терті.

Інтенсивність зношування може бути значною, але поверхні тертя зберігають малу шорсткість. Це пояснюється тим, що окисли перешкоджають схоплюванню поверхонь. При значних температурах окислення поверхня характеризується пластичною деформацією. Тому одним із методів боротьби з окисним зношуванням є створення поверхонь тертя з високою твердістю.

Підвищення температури до певних значень сприяє утворенню і зростанню окисних плівок, а вібрації – їх руйнуванню. У випадку циклічного руйнування окислів високої твердості зношування буде носити характер абразивного.

Окисне зношування може виникати при терті металів і сплавів з різними механічними й хімічними властивостями. Основні кількісні характеристики –

інтенсивність зношування і коефіцієнт тертя, за різних форм і умов окисного процесу, залежить від специфіки окисних змін.

Окисне зношування є найважливішою різновидністю механохімічного зношування, загальною особливістю якого є те, що в усіх випадках воно зумовлене механічним процесом деформації тонких поверхневих шарів і одночасною взаємодією активних деформованих шарів з агресивними компонентами середовища.

Поряд з окисним існує ряд різновидів механохімічного зношування, які відрізняються утворенням у процесі тертя сульфідних, фосфатних та інших видів плівок вторинних структур, які виконують таку ж роль, як і плівки окислів.

4.3. Абразивне зношування

Абразивним матеріалом називають мінерал природного або штучного походження, зерна якого мають достатню твердість і мають здатність різати. Абразивне зношування і пошкоджуваність – процеси руйнування поверхонь деталей машин у результаті їх взаємодії з твердими частинками (абразивним середовищем), за наявності відносної швидкості. У ролі таких частинок виступають:

- нерухомо закріплені тверді зерна, які входять у контакт по дотичній або під невеликим кутом до поверхні деталі;

- не закріплені частинки, які входять у контакт з поверхнею деталі (наприклад, насипні вантажі при їх транспортуванні відповідними засобами, абразивні частинки в ґрунті при роботі сільськогосподарських машин і т.п.);

- вільні частинки, які перебувають у зазорах спряжень деталей;

- вільні абразивні частинки, які затягуються в потік рідиною або газом.

Абразивному зношуванню підлягають деталі сільськогосподарських машин, дорожньо-будівельних, гірничих, транспортних машин і засобів транспортування, вузли металургійного обладнання, металорізальних верстатів, шасі літаків, робочі колеса турбін, труби і насоси земснарядів, лопатки газових турбін, труби водяних економлайзерів і парових котлів, обладнання нафтової і газової промисловості, підшипники валів гребних коліс, підшипники гребних валів суден і т.п.

На процес абразивного зношування може впливати природа абразивних частинок, агресивність середовища, властивості поверхонь, що зношуються, ударна взаємодія, нагрівання та інші фактори. Загальним для абразивного зношування є механічний характер руйнування поверхні.

Абразивне зношування виникає при контактуванні з ґрунтом, рудою, вугіллям і породою, золою, попелом, пилом, які потрапляють на поверхню тертя, металічною стружкою, окисними плівками, які закріпилися на поверхні тертя або руйнування, нагаром і продуктами зношування.

Абразивні частинки можуть мати різноманітну форму і бути по-різному зорієнтовані відносно поверхні спряження. Здатність абразивного зерна втискуватися у поверхню залежить не тільки від співвідношення його твердості,

але й від геометричної форми зерна. Зерно з випуклою поверхнею або гострим ребром може бути втиснене, навіть без пошкодження, в плоску поверхню твердішого тіла. Це пояснює факт зношування металу абразивними частинками з твердістю, меншою його твердості.

Іноді твердість окисних плівок більша твердості самих металів. Вид зношування визначається характером взаємодії абразивних частинок із поверхневим шаром матеріалу. На деталях сільськогосподарських машин спостерігається абразивне зношування трьох видів, у кожному з яких є два підвиди. Існують дві чітко виражені форми прояву абразивних процесів, які відрізняються характером взаємодії частинок із поверхнею металу:

I – з переважаючим механічним руйнуванням (пластичне деформування поверхневих об'ємів, їх окислення з наступним руйнування окисних плівок). Ця форма є різновидністю механічного зношування.

II – з переважаючим механічним руйнуванням металу поверхневих шарів (проникнення абразивних частинок і руйнування поверхневих об'ємів без відокремлення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки). Ця форма є недопустимим процесом пошкоджуваності при зовнішньому терті.

Механізм зношування відбувається у випадку, коли абразивні частинки входять у контакт із поверхнею металевої деталі по дотичній. Абразивні частинки пружно деформують метал, залишаючись цілими або руйнуються. Залежно від структури абразивного матеріалу і середовища зерна можуть втискуватися в це середовище, повернутися або навіть вийти із зони контакту, як, наприклад, частинки кварцу в ґрунті під тиском ножа грейдера. Абразивна частинка втискується в метал деталі, якщо вона має більшу твердість, аніж металічне зерно, і міцністю, достатньою для сприйняття навантаження, необхідного для втискування в метал і якщо її достатньо підтримує основа. Впроваджена частинка при русі відносно поверхні може дряпати або зрізувати мікроскопічну стружку. Різання може початися тільки при певному відношенні глибини проникнення абразива до радіуса заокруглення його граней. Дно рівчака наклепується. Коли вся робоча поверхня наклепується, опір упродовженню підвищується. Після багатократної пластичної деформації настає крихкість матеріалу. Встановлено, що відносна зносостійкість чистих металів знаходиться в лінійній залежності з мікротвердістю.

Механізми абразивного зношування полімерних матеріалів визначають ступенем їх еластичності. У високопластичний матеріал – гуму, вулкан, поліуретановий вулканізатор та інші, абразивні частинки легко втискуються, не викликаючи пластичної деформації навіть при глибокому контакті. Абразивне зерно переміщується по поверхні. Сили тертя спереду зерна викликають стиснення, а позаду нього – розтяг. Під дією багатократних напружень на розтяг відбуваються мікрориви, частина матеріалу з поверхні виноситься з утворенням хвилеподібного рельєфу з виступів і впадин у напрямку, перпендикулярному руху абразиву. При дослідженні зношування пластмас незакріпленим абразивом розмірами 0,075...1,5мм на пружній підкладці було встановлено:

1. Абразивні частинки розміром 0,075мм практично не викликають зношування. Відносно еластичні полімери, такі, як поліаміди, мало зношуються при розмірі зерна 0,015мм. При збільшенні розміру абразивних частинок більше 0,1мм інтенсивність зношування всіх полімерів зменшується.

2. При терті пластмас по шліфувальній шкірці зношування прямопропорційне тиску, що зберігається тільки до певної межі. У подальшому інтенсивність зношування зі зростанням тиску не збільшується.

3. Збільшення швидкості ковзання до 0,5м/с не впливає на інтенсивність зношування. Зі зменшенням швидкості інтенсивність зношування падає, а потім зростає.

Експериментально встановлено: якщо розмір абразивних частинок, які знаходяться в маслі або іншій рідині, не перевищує 5мкм, то вони адсорбують на себе продукти окислення мастила, що може зменшити інтенсивність зношування деталей. Частинки більших розмірів починають наносити шкоду. За наявності в мастилі частинок менше 5мкм швидкість зношування становить 0,3 мг/год, а при частинках 10мкм – 0,92 мг/год.

Особливу небезпеку частинки великих розмірів становлять для гідросистем, де деталі з твердих сталей працюють при малих зазорах. У гідросистемах завжди є фільтри тонкого очищення, але все ж у системах присутні частинки з розмірами більше 5мкм. Фірма “Вікерс” (Великобританія) наводить для гідросистем наступний розподіл по розмірах частинок: 0...5мкм – 39%, 5...10мкм – 18%, 10...20мкм – 16%, 20...40мкм – 18%, 40...80мкм – 9%.

Абразивні частинки, які потрапили в зазори пар тертя, беруть участь у сприйманні прикладеного навантаження і можуть, залежно від умов, вклинюватися в поверхні тертя, подрібнюватися на м'якші фракції, перекочуватися вздовж поверхні зношування, пружно і пластично деформуючи її.

Абразивні частинки можуть потрапити в робочі порожнини машин і на поверхні тертя з повітря разом із паливом і змащувальними матеріалами, а також іншими шляхами.

Із абразивних частинок, що потрапляють із повітря, найбільшу дію створюють частинки кварцу, твердість яких досягає 11...12 ГПа. Ці частинки розміром 1...30 мкм можуть тривалий час знаходитися в повітрі при його русі (в результаті вітру або руху транспорту). Повітряні фільтри двигунів автомобілів і багатьох інших машин можуть затримувати лише крупні частинки пилу. Дрібні частинки проникають у двигун разом із повітрям.

4.4. Схоплювання і заїдання поверхонь при терті

Під час роботи машин і механізмів, вузли тертя яких передають великі навантаження за високих швидкостей ковзання і температур, виникає заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхонь тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу.

Схоплювання – явище місцевого з'єднання двох твердих тіл (металів) у результаті взаємного тертя або сумісного деформування при температурі, нижчій від температури рекристалізації. При цьому утворюються міцні кристалічні зв'язки в зонах безпосереднього контакту поверхонь. У місцях схоплювання зникає межа між тілами, що дотикаються, і відбувається зношування металів. Процеси схоплювання безпосередньо зв'язані з адгезією і когезією. Адгезія супроводжується перенесенням матеріалу і спостерігається в усіх металів під час контакту їхніх незабруднених поверхонь.

Вивченню явища схоплювання і методів боротьби з ним присвячено праці Б.І. Костецького, В.Д. Кузнєцова, М.Л.Голего, І.В. Крагельського, М.О. Буше тощо. Встановлено, що на інтенсивність розвитку процесів схоплювання впливають фізичні, хімічні, механічні властивості матеріалів, геометрія поверхонь тертя, фізико-хімічні властивості середовища.

На явищі схоплювання при сумісному пластичному деформуванні металів базуються технологічні процеси холодного зварювання металів і отримання біметалів методом холодного прокатування тощо.

В умовах вакууму без газового або рідинного середовища зовнішнє тертя приводить до міцної адгезійної взаємодії двох поверхонь – їх зварювання. У зв'язку з цим з'явився технологічний процес зварювання у вакуумі, а з 1936 р. почалися роботи із забезпечення працездатності вузлів тертя, експлуатованих в умовах вакууму.

Задир – пошкодження поверхні тертя і утворення в результаті схоплювання широких і глибоких борозен (ривчаків) з витісненням металу як в сторони, так і в напрямку ковзання. На поверхнях тертя може утворитися і кілька борозен.

Розрізняють процеси схоплювання I і II родів, відмінних умовами роботи. Схоплювання I роду – процес недопустимого пошкодження поверхонь тертя в результаті виникнення локальних металічних зв'язків, їх деформації і руйнування з відокремленням частинок металу або налипанням на поверхню контакту. При цьому виді пошкоджуваності швидкість процесу утворення металічних зв'язків перевищує швидкість інших процесів і стає переважаючим. Виникнення металічних зв'язків відбувається при інтенсивній деформації поверхневих об'ємів металу, зумовленої термічною пластичністю.

Пластична деформація в цих умовах призводить до зміни стану поверхні, руйнування плівок окислів і адсорбованих плівок мастила, виходу на поверхню ювенільних ділянок. У результаті деформації відбувається активізація металу поверхневих шарів. Унаслідок схоплювання частинки металу вириваються на одних ділянках поверхонь і налипають на інші ділянки, що призводить до зношування поверхні деталей, а в окремих пошкодженнях поверхні тертя внаслідок схоплювання і перенесення матеріалу.

Схоплювання I роду або холодний задир виникає при терті ковзання з малими швидкостями відносного переміщення і питомим тиском, які перевищують границі плинності (текучості) металу на ділянках фактичного контакту за відсутності шару мастила або захисних плівок окислів в умовах незначного

підвищення температур, які призводять до інтенсивного пластичного деформування, руйнування й вдосконалення частинок металу з поверхонь тертя, внаслідок схоплювання металів, що являє собою процес міцного зеднання контактних ділянок сполучених поверхонь. У вакуумі, починаючи від ступеня розрідження (1,33 10⁻³), цей вид пошкоджуваності може виникати і при терті кочення. Процес схоплювання суттєво залежить від механічних і фізичних властивостей матеріалів, їх співвідношень, міцності, твердості, типу кристалічної ґратки, взаємного розчинення, електронної будови і т.п.

Схоплювання I роду або холодний задир є один з найнебезпечніших і різко виражених видів пошкоджуваності деталей машин.

У практиці роботи деталей машин цей патологічний процес зовсім небажаний. Для його усунення необхідні дані про критичні значення величин тиску, швидкості та природи процесу. Особливо небезпечні прояви атермічного схоплювання, що виникають при динамічному навантаженні поверхонь і розвитку фретінг-процесу.

Схоплювання II роду – процес недопустимого пошкодження поверхонь тертя, викликаний утворенням місцевих металічних зв'язків, їх деформацією і руйнуванням, який виражається в утворенні тріщин, намащуванні, перенесенні металу і відокремленні частинок з поверхонь тертя. Виникнення металічних зв'язків при цьому зумовлене нагріванням, пом'якшенням, деформацією і контактуванням ювінільних поверхонь. Виділення теплоти вище значень, допустимих для даних матеріалів, зумовлює їх деформацію, вихід ювінільних ділянок і наближення поверхонь на відстань міжатомних радіусів.

Схоплювання II роду, або гарячий задир, виникає й розвивається при терті ковзання за великих швидкостей відносно руху і підвищених питомих тисків, що зумовлює високий градієнт й інтенсивність зростання температури в поверхневих шарах металів та їх термічну пластичність. Термічна пластичність викликає втрату міцності, явища відпуску і плавлення. При цьому утворюються структури рекристалізації, відпуску, гартування і вторинного гартування, структурних змін і фазових перетворень, до різкої зміни механічних властивостей. Схоплювання II роду може проявлятися при сухому терті і граничному змащуванні. При граничному терті воно виникає при високих швидкостях ковзання й тиску і пов'язано з попередніми процесами десорбції мастила. Схоплювання II роду більшою мірою залежить від теплофізичних властивостей матеріалів, теплостійкості, твердості, тепломісткості й теплопровідності. Воно виникає при терті металів з різними механічними властивостями. У групі сталей цей вид схоплювання найхарактерніший для загартованих матеріалів.

У практиці роботи деталей машин схоплювання II роду найчастіше виникає в тих спряженнях, робота яких пов'язана зі стійким граничним змащуванням. Ця умова порушується при припиненні регулярного підведення мастила.

4.5. Зминання

Зминання – макроскопічна об’ємна пластична деформація металу деталей машин. Воно пов’язане зі зміною форми при навантаженнях, вищих за границю текучості. Деформація і зминання можуть розповсюджуватися на весь об’єм деталей або на його значну частину. При цьому розміри деталей змінюються, але їх вага залишається постійною. Зминання деталей може виникати при терті і може бути викликане передаванням зусиль, безпосередньо не пов’язаних із коченням або ковзанням поверхонь.

Деформація мікрооб’ємів металу являє собою дуже суттєвий фактор у випадках, коли деталі виготовлені з кольорових сплавів – бронзи, латуні, бабітів, алюмінієвих сплавів. Можливі також випадки зминання сталевих деталей – бандажів, коліс залізничного транспорту і т.п. У цих випадках об’ємна деформація може бути пов’язана з перевищенням допустимих навантажень. Явище зминання слід відрізнити від пластичної деформації в тонких шарах поверхонь тертя.

4.6. Види тертя. Основні терміни й означення

Зовнішнє тертя – явище опору відносному переміщенню, яке виникає між двома тілами в зонах дотику поверхонь по дотичних до них, що супроводжуються дисипацією енергії.

Зношування – процес руйнування і відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і (або) накопичення його залишкової деформації при терті, що проявляється в поступовій зміні розмірів і (або) форми тіла.

Знос – результат зношування, що визначається в установлених одиницях. Величину зносу можна виразити в одиницях довжини, об’єму, маси і т.д.

Зносостійкість – властивість матеріалу чинити опір зношуванню в певних умовах тертя, що оцінюється величиною, оберненою швидкості зношування, або інтенсивністю зношування.

Зношувальний матеріал – матеріал, що вводиться на поверхню тертя для зменшення сили тертя і (або) інтенсивності зношування.

Змащування (змазка) – дія змащувального матеріалу, в результаті якого між двома поверхнями зменшується сила тертя і (або) інтенсивність зношування.

Змащування – підведення змащувального матеріалу до поверхні тертя.

Тертя спокою – тертя двох тіл при мікропереміщенні в процесі переходу до відносного руху.

Тертя руху – тертя двох тіл, що знаходиться у відносному русі.

Тертя без змащувального матеріалу – тертя двох тіл за відсутності на поверхні тертя введеного змащувального матеріалу любого виду.

Тертя із змащувальним матеріалом – тертя двох тіл за наявності на поверхні тертя введеного змащувального матеріалу будь-якого виду.

Тертя ковзання – тертя руху двох тіл, за якого швидкості тіл в точках дотику різні за величиною і напрямком, або лише за величиною, або лише за напрямком.

Тертя кочення – тертя руху двох твердих тіл, при якому швидкості тіл в точках дотику однакові за величиною і напрямком.

Сила тертя – сила опору за відносного переміщення одного тіла по поверхні другого під дією зовнішньої сили, направленої по дотичній до загальної границі між цими тілами.

Найбільша сила тертя спокою – сила тертя, при якому будь-яке перевищення призводить до виникнення руху.

Попереднє зміщення – відносно мікропереміщення двох твердих тіл при терті в межах переходу від стану спокою до відносного руху.

Швидкість ковзання – різниця швидкостей тіл у точках дотику при ковзанні.

Поверхня тертя – поверхня тіла, що бере участь при терті.

Коефіцієнт тертя – відношення сили тертя двох тіл до нормальної сили, що притискає ці тіла одне до одного.

Коефіцієнт зчеплення – відношення найбільшої сили тертя спокою двох тіл до нормальної відносно поверхонь тертя сили, що притискають тіла одне до одного.

Механічне зношування – зношування в результаті механічної дії.

Молекулярно-механічне зношування – зношування в результаті одночасної механічної дії та молекулярних або атомарних сил.

Корозійно-механічне зношування – зношування при терті матеріалу, який вступив в хімічну взаємодію із середовищем.

Абразивне зношування – механічне зношування матеріалу в результаті різальної або дряпаючої дії твердих тіл або частинок.

Гідроабразивне зношування – зношування в результаті дії твердих тіл або частинок, захоплених потоком рідини.

Газоабразивне зношування – зношування в результаті дії твердих тіл або частинок, захоплених (втягнутих) потоком газів.

Втомне зношування – зношування поверхні тертя або окремих її ділянок в результаті повторного деформування мікрооб'ємів матеріалу, що призводить до виникнення тріщин і відокремлених частинок (зношування втомлення може відбуватися при коченні й ковзанні).

Ерозійне зношування – зношування поверхні в результаті дії потоку рідини або газу.

Кавітаційне зношування – зношування поверхні при відносному русі твердого тіла в рідині в умовах кавітації.

Зношування при заїданні – зношування в результаті схоплення, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і дія нерівностей, що утворились, на поверхню спряження.

Окисне зношування – зношування за наявності на поверхні тертя захисних плівок, які утворилися в результаті взаємодії матеріалу з киснем.

Зношування при фреттінг-корозії – корозійно-механічне зношування тіл, які дотикаються при малих коливальних відносних переміщеннях.

Швидкість зношування – відношення значення зносу до інтервалу часу, протягом якого він виник.

Інтенсивність зношування – відношення значення зносу до шляху, на якому відбувається зношування, або об'єму виконаної роботи.

Схоплення при терті – явище місцевого з'єднання двох твердих тіл, яке відбувається внаслідок дії молекулярних сил при терті.

Перенесення матеріалу – явище при терті твердих тіл, коли матеріал одного тіла з'єднується з другим і, відірвавшись від першого, залишається на поверхні другого.

Заїдання – процес виникнення і розвитку пошкоджень поверхонь тертя внаслідок схоплення і перенесення матеріалу.

Задир – пошкодження поверхні тертя у вигляді широких і глибоких борозен (рівчаків) у напрямку ковзання.

Припрацювання – процес зміни геометрії поверхонь тертя і фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів матеріалу в початковий період тертя, що проявляється за постійних зовнішніх умов у зменшенні сили тертя, температури та інтенсивності зношування.

Газове змащування – змащування, коли поділ поверхонь тертя деталей здійснюється газовим мастильним матеріалом.

Рідинне змащування – змащування, коли повний розділ поверхонь тертя здійснюється рідинним мастильним матеріалом.

Тверде змащування – змащування, коли поділ поверхонь тертя деталей, які перебувають у відносному русі, здійснюється твердим мастильним матеріалом.

Гідродинамічне (газодинамічне) змащування – рідинне (газове) змащування, коли повне розділення поверхонь тертя здійснюється в результаті тиску, самовиникаючого в шарі рідини (газу) при відносному русі поверхонь.

Гідростатичне (газостатичне) змащування – рідинне (газове) змащування, при якому повне розділення поверхонь тертя деталей, які перебувають у відносному русі або спокої, здійснюється в результаті надходження рідини (газу) в зазор між поверхнями тертя під дією зовнішнього тиску.

Еласто-гідродинамічне змащування – змащування, при якому характеристики тертя і товщина плівки рідинного мастильного матеріалу між двома поверхнями, які перебувають у відносному русі, визначається пружними властивостями матеріалів тіл, а також реологічними властивостями останнього.

Граничне змащування – змащування, коли тертя і зношування між поверхнями, які перебувають у відносному русі, визначається властивостями поверхонь і властивостями мастильних матеріалів, відмінними від об'ємної в'язкості.

Напіврідинне змащування – змащування, коли здійснюється частково гідродинамічне, частково граничне змащування.

4.7. Загальні аспекти. Класифікація видів тертя

Тертя виникає, коли два тіла, які переміщуються одне відносно одного, дотикаються своїми зовнішніми поверхнями (зовнішнє тертя), або коли елементи

структури тіла (атоми, молекули) переміщуються одне відносно одного (внутрішнє тертя). Внутрішнє тертя може мати місце в рідинах, газах, твердих тілах.

Зовнішнє тертя завжди виникає при відносному русі тіл, що контактують і механічно взаємодіють. Основна характеристика сили тертя – реакція, яка перешкоджає взаємному переміщенню.

У природі спостерігаються різні види взаємодії тіл. Деякі з них, наприклад, тяжіння, електромагнетизм описуються фундаментальними законами фізики.

Тертя – результат різних видів складної взаємодії, за якої проходять механічні, фізико-хімічні, електричні та інші процеси. Їх співвідношення може бути різним залежно від характеру навантаження, властивостей матеріалів і середовищ.

Умови зовнішнього тертя різноманітні. Однак це не означає, що для визначення процесів тертя не можна отримати задовільні закономірності. В першу чергу, це стосується до таких умов, де співвідношення різних видів взаємодії має цілком визначений характер, що дозволяє встановити закономірності тертя, виходячи із загальних законів руху, збереження енергії, мінімальних принципів і т.д. Яскравим прикладом є процес тертя і зношування, типові для нормальної роботи машин.

Зовнішнє тертя в машинах, механізмах, приладах і установках – широко розповсюджене явище. Шкідливі прояви зовнішнього тертя проявляються у втратах потужності, зношуванні й пошкодженості поверхонь контакту. Корисне тертя використовується у фрикційних пристроях при передаванні руху, зусиль і роботі виконавчих органів машин.

Зовнішнє тертя є одним із основних процесів при технологічній обробці металів (різання, шліфування, тиском). Його також використовують, наприклад, при зварюванні металів (зварювання тертям, холодне зварювання зсувом).

Класифікацію основних видів тертя в машинах можна провести за ознаками, наведеними в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Класифікація видів тертя

Ознака класифікації	Вид тертя
Наявність відносного руху	Тертя спокою, тертя руху
Характер відносного руху	Тертя ковзання; тертя кочення; тертя кочення з ковзанням (просковзування)
Наявність змащувального матеріалу (мастила)	Тертя без змащувального матеріалу (сухе); тертя зі змащувальним матеріалом (рідинне, граничне)
Умова контактування з контртілом	У вузлах і з'єднаннях машин; при контакті виконавчих органів машин з робочим середовищем
Показники надійності і довговічності	Нормальні процеси тертя; патологічні процеси тертя
Область службового використання	Тертя антифрикційних з'єднань; тертя фрикційних пар

За характером відносного руху розрізняють тертя ковзання і тертя кочення. Іноді обидва види тертя проявляються сумісно, коли кочення супроводжується просковзуванням, наприклад, у зубчастих або зубчасто-гвинтових передачах або між колесами і рейками. між колесами і рейками.

Залежно від того, чи є відносне переміщення дотичних пар макро- або мікрозміщенням, розрізняють силу тертя руху, неповну силу тертя спокою, найбільшу силу тертя спокою. Сила може виступати в узагальненому понятті й виступати як момент сил.

Сила тертя руху – сила опору при відносному переміщенні одного тіла по поверхні другого під дією зовнішньої сили, направленої тангенціально до загальної межі між цими тілами.

Найбільша сила тертя спокою – сила граничного опору відносно переміщення дотичних тіл без порушення зв'язку між ними за відсутності зміщення на контакті. Якщо прикладена до одного із тіл паралельно площині дотику сила перевищує хоча б на нескінченно малу величину силу тертя спокою, то порушується рівновага.

Неповна сила тертя спокою – сила опору, направлена протилежно до зусилля зсуву, за відсутності зміщення на контакті. Вона змінюється від нуля (за відсутності сил, що прагнуть порушити відносний спокій тіл у площині їх дотику) до найбільшого значення, коли вона переходить у силу тертя спокою.

Деформація тіл, в першу чергу нерівностей їх поверхонь, під дією зусилля зсуву і протилежної йому неповної сили тертя спокою викликає попереднє зміщення тіл, що передує їх відносному переміщенню. Попереднє зміщення мале за величиною і пропорційне прикладеній силі зсуву. Воно частково зворотне, тобто після зняття сили зсуву відбувається частково зворотнє зміщення. На ділянках фактичного контакту попереднє зміщення дорівнює нулю.

Залежно від наявності змащувального матеріалу розрізняють такі види тертя: тертя без змащувального матеріалу і тертя зі змащувальним матеріалом.

У загальному під тертям розуміють комплекс явищ у зоні контакту поверхонь двох тіл, які переміщаються одне відносно другого, в результаті чого в цій зоні виникають контактні сили. Тертя, як вказувалось вище, є наслідком сил когезії й адгезії.

Багаточисельність явищ тертя в машинах не вичерпується перерахованими видами.

Аналіз обширного матеріалу, отриманого в лабораторних умовах, і позитивного досвіду практики дозволяє виділити із усієї різноманітності явищ тертя дві різко виражені області нормального і патологічного процесів тертя.

Залежність коефіцієнтів тертя від навантаження завжди містить таку ділянку, коли значення коефіцієнта тертя приблизно постійні (стабільні) і мінімальні в порівнянні зі значеннями коефіцієнтів тертя поза цією ділянкою. Назвемо цю ділянку стабільною.

Аналогічна ділянка зберігається і при залежності коефіцієнтів тертя від швидкості ковзання v . Таким чином, може бути виділена стабільна область залежності коефіцієнтів тертя від умов навантаження (тиску і швидкості ковзання).

За нормальної експлуатації машин, вузли тертя працюють виключно в стабільній області, хоча, як показує практика, ймовірність порушення нормальних умов тертя досить велика. У цих випадках спостерігаються переходи до аварійних процесів (схоплення I і II роду, мікрорізання, зминання і т.п.).

Стабільна область завжди пов'язана з певним видом трансформування та руйнування (зношування) поверхонь тертя. Цей вид трансформування визначається динамічною рівновагою і встановленням вторинних структур. У звичайних умовах експлуатації машин – це механічний процес окисного зношування.

В стабільній області умов має місце приблизна лінійна залежність між тангенціальною і нормальною реакцією. Коефіцієнт пропорційності в основному визначається механічними параметрами основного матеріалу: розсіювання (дисперсія) коефіцієнта пропорційності – значенням $\Delta E_{вн}$ енергії поглинання, що залежить від механохімічних характеристик поверхневих шарів і складу середовища. В цій області закономірно отримання емпіричних залежностей типу закону Амонтона-Кулона.

Існування стабільної області нормального тертя висуває одну з найважливіших і необхідних для практики завдань теоретичних і експериментальних досліджень. Це завдання полягає в розмежуванні умов нормального і патологічного тертя, що відповідає різним областям механічних впливів (P, V) при заданих параметрах тертя (характеристиках матеріалів, середовища); у встановленні нормального коефіцієнта тертя і його розсіювання в нормальній області; в керуванні процесами тертя і зношування за допомогою оптимального вибору характеристик матеріалів і середовищ з метою розширення діапазону механічних навантажень, за якої відбувається зношування вторинних структур і мінімізація сили тертя й швидкості зношування.

4.8. Тертя без змащувального матеріалу

Тертя без змащувального матеріалу за відсутності забруднень між поверхнями, що труться, спостерігається в гальмах, фрикційних передачах, вузлах машин текстильної, харчової, хімічної промисловостей, де змащувальний матеріал, щоб уникнути псування продукції або з міркувань безпеки недопустимий, а також у вузлах машин, які працюють в умовах високих температур, коли будь-який змащувальний матеріал не придатний.

Тертя згідно з однією з теорій, має молекулярно-механічну природу. На площадках фактичного контакту поверхонь діють сили молекулярного притягання, які проявляються на відстанях, які в десятки разів перевищують міжатомну відстань у кристалічних ґратках, і збільшуються з підвищенням температури. Молекулярні сили за наявності або відсутності проміжного в'язкого прошарку (вологи, забруднення, мастильного матеріалу і т.п.) викликають на тій чи іншій кількості ділянок адгезію. Вона можлива між металами і плівками окислів. Адгезія може бути зумовлена одночасно і дією електростатичних сил. Сили адгезії як

молекулярні сили прямо пропорційні площі фактичного контакту. Прикладений тиск впливає на ці сили посередньо, через площу фактичного контакту.

Молекулярні сили як сили, перпендикулярні поверхні, здавалося б, не повинні виконувати роботу при відносному тангенціальному переміщенні поверхонь. Те саме стосується і сил адгезії, якщо зв'язок, що утворився між тілами, руйнується в місцях з'єднання. Насправді ж, відносне зміщення поверхонь за наявності взаємного притягання й адгезії супроводжується деформацією зсуву, що внаслідок неідеальної пружності матеріалу вимагає витрати енергії в необерненій формі. Зрозуміло, що потрібно прикласти більшу тангенціальну силу, якщо зв'язок між тілами порушується не в місці з'єднання, а на деякій глибині від поверхні.

Сильнішим проявом молекулярних сил є схоплювання поверхонь. Сили тертя у цьому випадку залежать від довжини зон схоплення й опору їх роз'єднанню.

4.9. Тертя при граничному змащуванні

При граничному змащуванні поверхні спряжених тіл розділені шаром змащувального матеріалу дуже малої товщини (від товщини однієї молекули до 0,1 мкм). Наявність граничного шару чи граничної плівки зменшує силу тертя в порівнянні з тертям без мастила в 2...10 і зношування спряжених поверхонь у сотні разів.

Усі мастила здатні адсорбуватися на металевій поверхні. Міцність адсорбованої плавки залежить від наявності в ній активних молекул, їх якості й кількості. Хоча мінеральні змащувальні масла є механічною сумішшю неактивних вуглеводів, вони, за винятком надто чистих масел, які не були в роботі, завжди мають включення органічних кислот, смол та інших поверхнево-активних речовин. Жирні кислоти входять до складу масел рослинно-тваринного походження, а також до складу пластичних мастильних матеріалів. Тому майже всі змащувальні масла утворюють на металічних поверхнях граничну фазу кристалічної структури товщиною до 0,1 мкм, що має більш або менш міцний зв'язок з поверхневою та поздовжньою когезією. За наявності відносно товстого маслянистого прошарку між поверхнями тертя перехід від орієнтованої структури масла до неорієнтованої здійснюється стрибком.

Молекули змащувального матеріалу орієнтуються перпендикулярно до твердої поверхні, що дозволяє увітнути граничну плівку у вигляді ворсу (рис. 4.1).

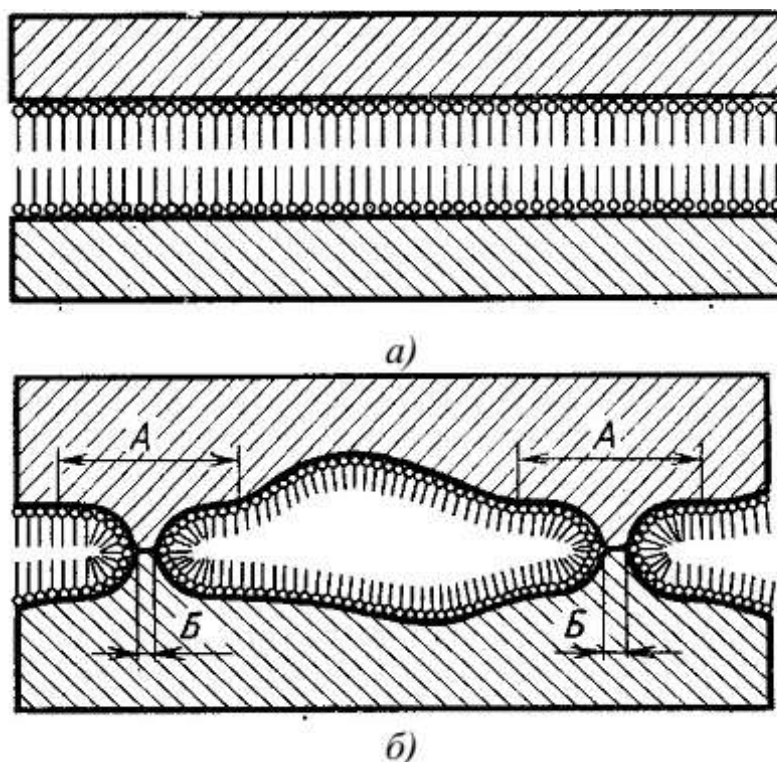


Рисунок 4.1 Схеми ковзання тіл при граничному зношуванні:

а – змащування ідеальних поверхонь; б – контактування реальних поверхонь;
А – ділянки, які сприймають навантаження; Б – ділянки безпосереднього контакту
або контактування при твердих плівках

При взаємному переміщенні поверхонь тертя “ворсинки” немов згинаються в протилежні боки. Насправді ж відбувається зсув із перекосом квазікристалічної структури плівки.

Опір її ковзанню в такому стані трохи підвищений. На відновлення орієнтації молекул у попереднє положення перпендикулярно поверхні тіл потрібно деякий проміжок часу, інколи дуже тривалий.

Змащувальний матеріал у граничному шарі анізотропний, в тангенціальному напрямку молекулярні шари легко згинаються і при товщині шару більше деякої критичної величини ковзають один по одному. По нормалі до твердої поверхні плівка має високий опір стисненню. Її несуча здатність обчислюється десятками тисяч кілограмів на 1 см². Деформація стиску плівки дуже висока.

Механізм тертя при граничному змащуванні проявляються у такому вигляді. Під навантаженням проходять пружна і пластична деформації на площинах контакту, під якими треба розуміти ділянки найближчого прилягання поверхонь, які покриті граничною плівкою мастила, аж до мономолекулярного шару. На площинах контакту може виникнути взаємне втілення поверхні без порушення цілісності плівки мастила. Опір руху тіл при ковзанні складається з опору зсуву граничного шару і опору “проорюванню” поверхонь об’ємами, які втілилися. Крім того, на площадках контакту, які піддаються найбільш значній пластичній деформації, і в точках з високими місцевими температурами може виникнути

руйнування змащувальної плівки з настанням адгезії оголених поверхонь і навіть схоплення металів на мікроділянках Б (рис. 4.1). Це викликає додатковий опір руху.

Завдяки рухомості молекул змащувального матеріалу на поверхні тертя проходить з великою швидкістю адсорбція, що надає мастильній плівці властивостей “самозаліковуватися” при місцевих її пошкодженнях. Ця здатність відіграє важливу роль у попередженні лавинного процесу схоплювання.

Гранична плівка, яка не відновлюється, в міру зростання шляху тертя зношується, мастило з плівки адсорбується на продукти зношування і виноситься з поверхні тертя. Проходить сублімація плівки як твердого тіла і видалення мастила в атмосферу. Окислення плівки сприяє дезорієнтації структури і руйнуванню її.

В’язкість мастила не впливає на процес граничного змащування. Мастило з однаковою в’язкістю, але різних марок, мають різноманітну змащувальну дію. Для оцінювання поведінки мастил при граничному змащуванні ще в 1903 році було введено поняття маслянистості й запропоновано різноманітні формулювання цього поняття. Маслянистість – це комплекс властивостей, які забезпечують ефективне граничне змащування. Маслянистість оцінюється в основному за коефіцієнтом тертя: чим він менший, тим вища маслянистість. Робляться спроби кількісно оцінити її. Маслянистість характеризує дію змащувального матеріалу при застосуванні до даного сполучення матеріалів, що труться.

4.10. Тертя при рідинному змащуванні

Рідинне змащування характеризується тим, що поверхні, які труться, розділені шаром рідкого змащувального матеріалу (масла), який знаходиться під тиском. Тиск змащувального матеріалу зрівноважує зовнішнє навантаження. Шар мастила називають несучим шаром. При збільшенні його товщини більше товщини граничної плівки зменшується ступінь впливу твердої поверхні на молекули мастила, які знаходяться далеко від неї. Шари, які знаходяться на відстані більше 5 мкм від поверхні, набувають можливості вільно переміщуватися один відносно другого. При рідинному змащуванні опір руху визначається внутрішнім тертям (в’язкістю) рідини і складається з опору ковзанню шарів мастила по товщині змащувального прошарку. Цей режим тертя, з властивими йому досить малими коефіцієнтами тертя, є оптимальним для вузла тертя з точки зору втрат енергії, довговічності і зносостійкості. Сили тертя при рідинному змащуванні не залежать від природи спряжених поверхонь.

Явище тертя при рідинному змащуванні відкрив у 1883 році М.П.Петров, який створив основи теорії гідродинамічного змащування.

Існує два способи створення тиску в несучому шарі. За першим способом спеціально передбачається насос, який створює гідростатичний тиск, достатній для розділення поверхонь, які труться (рис. 7.2). Витік мастила через торці підшипника компенсується відповідною подачею насоса. За другим способом тиск у змащувальному шарі розвивається автоматично. Для цього необхідні належні конструктивні заходи і підбір марки мастила залежно від швидкості ковзання.

Згідно з обома способами створення тиску в несучому шарі розрізняють гідростатичні й гідродинамічні опори ковзання. Одні й другі є опорами тертя при рідинному змащуванні. Під опорою з рідинним змащуванням розуміють гідродинамічну опору. В побуті найбільш розповсюджені гідродинамічні.

Механізм утворення тиску в несучому шарі легко пояснити на прикладі плоскої опори (рис. 7.3). Нехай пластина А-А переміщується з деякою швидкістю v під кутом α до нерухомої підкладки Б-Б. Проміжок між пластиною і підкладкою заповнений в'язкою рідиною. Шар рідини, яка змочує пластину А-А, силами в'язкого тертя приводить у рух суміжний з ним по висоті шар. Так рух буде передаватися від одного шару до другого, за винятком шару, який змочує нерухому підкладку Б-Б.

У результаті мастило буде втягуватися в клиновий зазор, який звужується, і в ньому буде підтримуватися тиск, який буде постійним по довжині, оскільки на вхідній і вихідній кромках мастило стикається з атмосферою, де надлишковий тиск дорівнює нулю (рис. 7.3б). Графіки швидкостей руху рідин у зазорі зображено на рис. 7.3а. Несуча здатність, або вантажопідйомність змащувального шару дорівнює рівнодіючій силі тиску. Такою силою можна навантажити пластину при даних її розмірах, швидкості переміщення і переміщення і в'язкості масла.

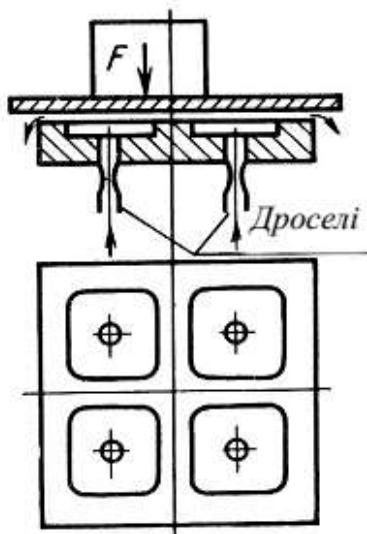


Рисунок 7.2. Схема роботи гідростатичної опори

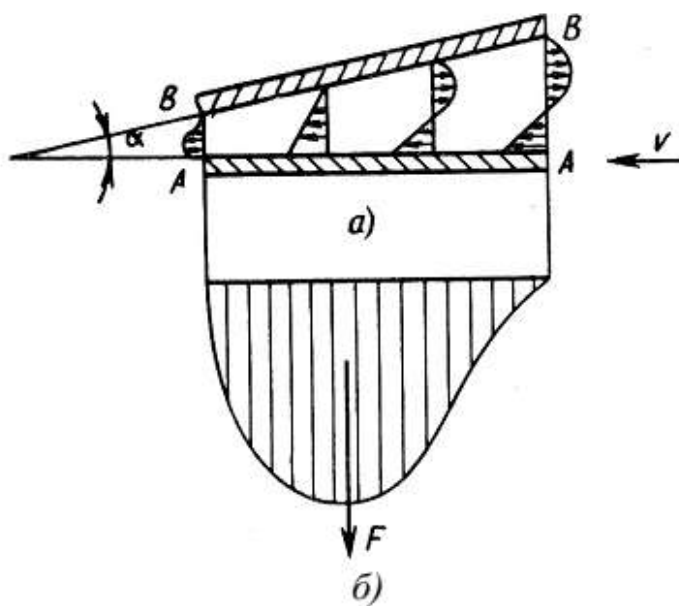


Рисунок 7.3. Схема утворення несучого шару змащування

Клиновий зазор є необхідною умовою підтримування режиму тертя при рідинному змащуванні в гідродинамічній опорі. У плоских опорах клиновий зазор створюється конструктивно, за допомогою нахилів поверхонь, як це має місце в повзунах і кільцевих опорах, чи завдяки самоустановці опорної поверхні (опорні підшипники типу підшипника Мічелла).

В опорному підшипнику ковзання діаметр отвору більший за діаметр цапфи, в результаті чого між цапфою і підшипником створюється клиновий серпоподібний зазор. При обертанні цапфи змащувальна рідина втягується силами в'язкості в зазор, який звужується, що призводить до підвищення тиску в шарі рідини. При достатній в'язкості мастильного матеріалу і швидкості на колі цапфи в шарі мастила створюється тиск, необхідний для відділення цапфи від підшипника – цапфа немов спливає на тонкому шарі мастила. Центр цапфи зміщується від початкового положення. Тиск у шарі мастила підтримується нагнітаючою дією цапфи, що обертається. Наявність підвищеного тиску в шарі мастила призводить до складної картини витікання рідини. Частина рідини, яка втягується в зазор, витискається через вихідне січення в бік, обернений напрямку обертання, і основний потік виноситься із навантаженої зони по обертанню вала, а інша частина витікає через торці підшипника.

4.11. Тертя при напіврідинному змащуванні

Таке тертя має місце за наявності одночасно рідинного і граничного змащування. Нормальне навантаження при напіврідинному змащуванні зрівноважується нормальною складовою сил взаємодії поверхонь на площадках їх контакту і силами гідродинамічного тиску в шарі мастила. Відносна доля кожної реакції залежить від навантаження, швидкості взаємного переміщення поверхонь, шорсткості, жорсткості і макрогеометрії, кількості і в'язкості мастила. Сила тертя складається з дотичної складової сил взаємодії поверхонь і опору в'язкому зсуву.

Гідродинамічна дія рідини може виникнути в двох випадках. По-перше, якщо макрогеометрія поверхонь, які контактують, така, що існує зазор, який звужується і в який мастило може затягуватися при терті, то при подачі його в достатній кількості і при відповідних параметрах режиму тертя виникає потік і створюється піднімальна сила. Але ця сила недостатня для повного сприйняття навантаження при напіврідинному змащуванні. Потік рідини обтікає ділянки взаємного контакту поверхонь.

По-друге, якщо нерівності між площадками контакту утворюють у напрямку відносного переміщення деталей місця звуження і розширення по висоті. При достатній кількості мастила між поверхнями тертя заповнені мікропорожнини звуження відіграють роль гідродинамічних мікроклинів (рис. 7.6). Гідродинамічна дія мастила на мікроклинах проявляється вже при дуже малій швидкості ковзання.

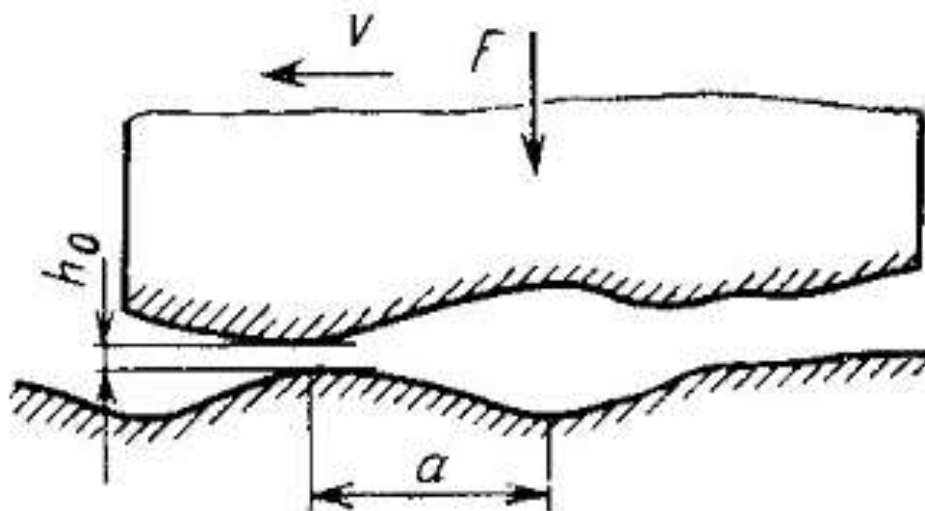


Рисунок 7.6. Схема елементарного гідродинамічного клина, створеного нерівностями поверхонь, які труться: a – довжина елементарного масляного клина; h_0 – початковий зазор між поверхнями у вершині масляного клина

Переваги змащувальних мастил перед твердими мастильними матеріалами полягає в тому, що вони можуть не тільки створювати гідродинамічний ефект за певних умов, але й служити для охолодження вузла тертя.

4.12. Режими тертя в підшипниках ковзання

Умови переходу з одного виду тертя в інший у присутності рідинного мастила розглянемо на прикладі підшипника ковзання.

Якщо кількість мастила обмежена, але достатня для утворення адсорбованого моношару і граничної плівки, то при терті первинний шар на вершинах нерівностей поверхонь швидко зношується, і тертя при граничному змащуванні перейде частково в тертя без змащувального матеріалу. Але завдяки рухомості полярно-активних молекул адсорбований моношар швидко відновлюється, внаслідок чого умови тертя покращуються. Це може призвести до коливань коефіцієнта тертя.

В результаті мастило через якийсь період спрацьовується. Якщо ж, крім витрат на утворення граничної плівки, є надлишок мастила, який достатньо заповнює впадини нерівностей, то він служить для відновлення граничної плівки, яка зношується. В цьому випадку тертя при граничному змащуванні стійке. При збільшенні подачі мастила до необхідної для створення гідродинамічного ефекту на виступах нерівностей поверхонь, чи на макрогеометричних нерівностях сполучених тіл, тертя при граничному змащуванні переходить у тертя при напіврідинному змащуванні. Останній вид тертя не залежить від швидкості ковзання поверхонь і в'язкості мастильного матеріалу.

Для прикладу розглянемо підшипник ковзання. Нехай навантаження, в'язкість мастила і геометричні параметри з'єднання зберігаються постійними. Будемо

змінювати швидкість обертання цапфи. При малій швидкості ковзання поверхонь гідродинамічний ефект їх відокремлення не спостерігається, бо мастило витискується із зазора. Тертя тільки напіврідинне. При збільшенні швидкості ковзання гідродинамічні сили зростають і взаємодія поверхонь зменшується, зрештою, при деякій швидкості відбувається повне розділення поверхонь і настає режим тертя при рідинному змащуванні. Подальше збільшення швидкості призводить до підвищення в шарі мастила, і коефіцієнт тертя збільшується. Мінімум коефіцієнта тертя відповідає початку тертя при рідинному змащуванні.

Аналогічне явище будемо спостерігати при зміні в'язкості змащувального матеріалу: при малій в'язкості мастила рідинного змащування не буде, але після досягнення згаданого мінімуму коефіцієнта тертя збільшення в'язкості мастила підвищує опір тертю. Протилежно діє питоме навантаження: при великому тиску на опору умови для рідинного змащування несприятливі, зменшення навантаження до деякої величини призводить до “спливання” цапфи: подальше зменшення навантаження супроводжується збільшенням товщини несучого шару змащувального матеріалу і опором тертю. Таким чином, режим тертя в підшипнику визначається в'язкістю η , швидкістю ковзання ϑ і тиском P , точніше, фактором $P \eta \vartheta$

4.13. Особливості тертя кочення

Сила тертя кочення в десятки разів менша сили тертя ковзання. Наявність сили тертя кочення пояснювали раніше ковзанням сполучених поверхонь. Пізніше було встановлено, що воно впливає на силу тертя кочення. Опір коченню пояснюється деформаційними втратами в розміщеному нижче твердому тілі. За відсутності пластичної деформації тертя зумовлене гістерезисними втратами в твердому тілі.

Взаємне просковзування поверхонь можна уявити при розгляданні кочення кульки (рис.7.8). Коло АВ кульки переміщується посередині канавки, а коло CD торкається її країв. Як бачимо з рисунка, коло АВ проходить за один оберт кульки більшу відстань, аніж коло CD. Ця різниця й зумовлює ковзання поверхонь тертя.

Гістерезисні втрати при терті кочення пояснимо з допомогою рисунка 8.9.

Ще О. Рейнольдс помітив, що коли циліндр із твердого матеріалу котиться по плоскій поверхні гуми, то при кожному оберті він проходить шлях менший, ніж довжина кола циліндра. Він припустив, що гума розтягується в точці С по-іншому, ніж у точках BD, у результаті має місце, як вже згадувалося, просковзування з відповідним розсіюванням енергії. З рис. 7.8 і 7.9 бачимо, що попереду під кулькою в точці Е утворюється заглибина, а позаду в точці А – деформаційний матеріал повністю (при гумі), а при металах частково відновлюється під дією сил пружності або пружного гістерезису. Крім того, внаслідок залишкової пластичної деформації сили реакції позаду кульки менші, ніж сили тиску спереду неї. В результаті кулька виконує роботу деформації.

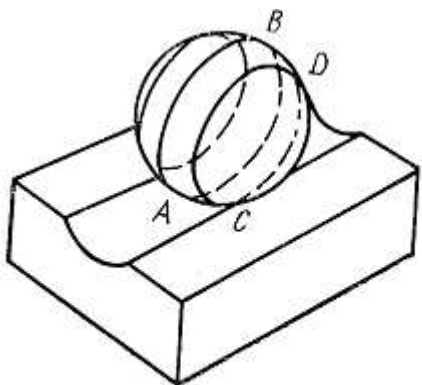


Рисунок 7.8 Кулька, яка котиться по канавці

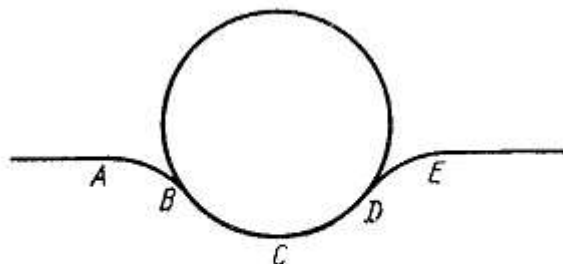


Рисунок 7.9 Кулька, яка котиться вправо по плоскій пружній основі

На поверхнях тіл кочення, як і при їх ковзанні, виникають сили зчеплення. Адгезійне зчеплення незначно впливає на сили тертя кочення (наявність граничного змащування майже не впливає на силу тертя кочення), але відіграє велику роль у зношуванні тіл кочення.

За допомогою методу радіоактивних ізотопів доведено, що при коченні кульки з сапфіру по поверхні міді відбувається деяке перенесення металу з доріжки кочення на кульку. Якщо поверхні змащені олеїною кислотою, то опір коченню кульки не змінюється, однак кількість перенесеної міді зменшується більш ніж у 4 рази.

При терті кочення у випадку твердих тіл деформації поверхонь невеликі й окисні плівки, які є на поверхнях тертя, не піддаються значному руйнуванню. Тому ковзання поверхонь проходить не по металу, а по окислах, які можуть зношуватися. Це і пояснює вплив ковзання на зношування тіл кочення.

Сила тертя підшипника кочення при високих швидкостях залежить від в'язкості мастила і може досягати значних величин. На силу тертя підшипника кочення впливає в'язкість мастила, тертя в сепараторі підшипника, розмір кульок, шорсткість поверхні та ін.

Сила тертя в підшипниках кочення збільшується у випадку технологічних і монтажних похибок, підвищених швидкостей і при терті в ущільненнях. Значення коефіцієнтів тертя в різних видах підшипників кочення знаходяться в діапазоні 0,002 ... 0,008.

4.14. Ефект аномально низького тертя

Вчені А.А.Сілін, Е.А.Духовський та інші в 1969 р. відкрили явище наднизького тертя. Коефіцієнт тертя поліетилену і пропілену при терті у вакуумі під дією потоку атомів гелію (і деяких інших елементів) зменшився на два порядки. Спочатку коефіцієнт тертя дорівнював $f=0,1...0,13$, а при ввімкненні атомного пучка густиною 1013 атомів на 1 см² з енергією 2кеВ зменшився до $f = 0,0015$. Досліди проводили за нормальної температури, швидкості ковзання – 2 м/с, тиску 20...60кПа і при розрідженні в камері $655 \cdot 10^{-6} \dots 655 \cdot 10^{-4}$ Па. Після припинення опромінення коефіцієнт тертя відновлювався до початкових значень. На

полістиролі й політетрафторетилені ефект аномально низького тертя не спостерігався.

Інтенсивність зношування при наднизькому терті різко зменшується. Дослідження довели, що при опроміненні тонкий поверхневий шар речовини переходить в упорядкований стан. Цей стан характеризується малою поверхневою енергією і залишається стійким за нормальної й підвищеної температур.

Ефект може проявлятися і без опромінення, якщо речовина має шарувату кристалічну структуру (наприклад, молібденіт). Орієнтація структури такої речовини при терті у вакуумі відбувається за рахунок енергії тертя. Однак цьому процесу заважають домішки, особливо молекули води. Бомбардування прискореними частинками виганяє воду, що сприяє швидшій орієнтації речовини.

Одним з напрямів, що активно розвиваються в цей час, є створення самозмащувальних матеріалів, здатних зберігати свої властивості у високому вакуумі за температур -150 до $+450^{\circ}\text{C}$. У космічних апаратах як самозмащувальні матеріали використовують дисульфід молібдену, однак цілком задовольнити зростаючі вимоги якості самозмащувальних матеріалів вони не можуть. Більш перспективнішим у цьому випадку є диселенід молібдену.

Автори ефекту створили новий самозмащувальний матеріал, здатний працювати у важких і екстремальних умовах. У вакуумі при високих навантаженнях він витримує як низьку температуру, так і нагрівання до 1000°C , а при опроміненні реалізує наднизьке тертя. Матеріал випробуваний у реальних конструкціях і застосовується на підприємствах у різних галузях. Джерела опромінення можуть бути портативними, а додаткові витрати енергії для їх живлення малі в порівнянні з виграшем від зменшення втрат на тертя.

Тема 5. Ерозійне руйнування деталей машин. Види ерозійного руйнування деталей машин

5.1. Механізм ерозійного руйнування

Термін «ерозія» об'єднує широкий клас видів поверхневого руйнування деталей машин під впливом динамічних потоків рідин, газів, твердих часток або електричних розрядів. У більшості випадків під час ерозії відбувається інтенсивне руйнування матеріалів з утворенням піттингів, каверн і раковин.

Спочатку ерозія була відома в техніці як результат руйнування поверхонь деталей машин під дією багаторазового повторюваних ударів струменів рідини або газу, що викликають локальні руйнування, подібні руйнуванню мінералів і гірських порід під дією вітру і води.

Пізніше зіткнулися з новим видом руйнування, що виникає під впливом на матеріал електророзрядів. Це явище внаслідок певної зовнішньої схожості з класичними видами ерозії було названо електричною ерозією.

З розвитком ракетної та космічної техніки специфічні види руйнування деталей у космосі почали відносити також до розряду ерозійних.

Більшість видів ерозійного руйнування призводить до завчасного виходу деталей з ладу. Тому на практиці намагаються або повністю локалізувати ерозію, або привести процес руйнування до менш інтенсивних форм. Одночасно, процес ерозії успішно застосовують у технологічних операціях при обробці важкооброблюваних матеріалів.

Проблема вивчення процесів ерозії полягають у різноманітті фізичних механізмів, що викликають поверхневе руйнування, складному їх поєднанні, а також у великій кількості зовнішніх і внутрішніх факторів, що суттєво впливають на характер і форму протікання процесу руйнування деталей машин.

5.2. Класифікація видів ерозії

В основу існуючої класифікації видів ерозії покладено принцип, згідно якому вид ерозії визначається умовами зовнішнього впливу. Розрізняють чотири основні види ерозії: газову, кавітаційну, абразивну, електричну.

Газову ерозію розглядають як явище руйнування металів під впливом механічних і теплових сил газових молекул;

кавітаційну – як результат дії парогазових бульбашок краплин рідини;

абразивну як вид пошкодження, що проявляється при впливі на матеріал дрібних часток підвищеної твердості;

електричну – як вид руйнування металу під дією електричних сил.

Але, як показують результати досліджень, фізичні механізми руйнування різних видів ерозії (за наведеною класифікацією) є практично ідентичними. Одночасно, у межах одного виду ерозії руйнування може протікати за різними механізмами. Тобто, класифікація видів ерозії за зовнішніми умовами впливу створює невизначеність при розробці заходів з боротьби з ерозійним руйнуванням конкретних деталей машин.

Часто супутніми ерозійному руйнуванню є процеси, дотично пов'язані з ним. Вони відбуваються паралельно, але суттєво впливають на протікання власне ерозійного руйнування. Наприклад, газова ерозія може супроводжуватися процесами хімічної корозії, термічної втоми, цементації тощо; гідроерозія – електрохімічною корозією. Одночасно можна виділити фізичні механізми руйнування (механохімічний, мікроударний, термічний і електричний), які і визначають специфіку ерозії.

Тому запропонована ще одна класифікація, що, на відміну від попередньої, базується на трьох ознаках:

- за механізмами ерозійного руйнування;
- характером поверхневого руйнування;
- умовами протікання процесу.

На практиці ерозійне руйнування практично не відбувається за якимсь одним механізмом, і це надзвичайно ускладнює картину руйнування. Тому необхідно виділяти домінуючий механізм.

Механохімічний механізм є основним, коли енергія потоків рідини, газу або твердих часток відносно невелика і нездатна викликати у поверхневих мікрооб'ємах (глибиною всього декілька мікрон) пластичну деформацію, структурні або фазові зміни.

Мікроударний механізм ерозії спостерігається у тих випадках, коли поверхня матеріалу в потоках рідин, газів і твердих часток, піддається локальним імпульсним ударам, енергія яких є достатньою, щоб викликати пластичну деформацію поверхні. Найчастіше подібне спостерігається при кавітації.

Термічний механізм ерозії є домінуючим при впливі на матеріал розжареного газового потоку. Фізичні механізми і кінетика цього процесу, на жаль, на сьогодні не вивчені.

Вважається, що поверхня металу нагрівається до температур, що перевершують температуру плавлення і тому починає слабо протистояти динамічному впливу нагрітого газового потоку. Зв'язки між частками металу слабшають, і частки виносяться разом із потоком газу. Подібне явище назвали абляцією.

Електроерозійному руйнуванню піддаються струмопровідні матеріали під дією імпульсного електричного розряду.

В залежності від часу протікання розрізняють дві форми електричних розрядів: дуговий та іскровий. При дуговій формі розряду процес не локалізований і може охоплювати значну частину електрода. Перенесення металу відбувається з аноду на катод. Іскровий розряд локалізований на окремих ділянках поверхні.

В основі електроерозійного руйнування лежать електротермічні процеси. Температури, що виникають в розрядному каналі, набагато вищі температур плавлення або кипіння любого металу. Видалення металу відбувається шляхом випаровування.

5.3. Види ерозійного руйнування деталей машин

Гідроерозія – це поверхнєве руйнування деталей при контакті з динамічним потоком рідин. Цьому виду руйнування піддаються лопатки гідротурбін, гільзи циліндрів, трубопроводи, деталі гідронасосів, підшипники, що працюють у потоках води та інших рідин.

Газова ерозія – поверхнєве руйнування деталей в контакті з динамічним потоком газів, насамперед, газових струменів з високою температурою, швидкістю і хімічною активністю.

Подібним чином руйнуються сопла і лопатки двигунів газових турбін, канали стволів зброї, клапани і поршневі кільця двигунів внутрішнього згорання, камери згорання двигунів.

Абразивна ерозія виникає при поверхневому руйнуванні деталей під дією твердих часток у потоках рідин і газів.

Тема 6. Конструкторські методи покращення надійності і довговічності деталей машин. Основні принципи конструювання вузлів тертя. Підбір матеріалів для вузлів тертя

6.1. Основні принципи конструювання вузлів тертя

При розробці схем найважливішими, з точки зору надійності і довговічності, є вимоги простоти і раціональної компоновки основних вузлів, технологічності і ремонтпридатності конструкції. Розроблювана конструкція повинна відповідати вимогам технічної естетики і бути зручною в експлуатації.

При розробці заходів із забезпечення міцності необхідно мати на увазі, що це проблема має два аспекти: об'ємний і поверхневий.

Питання об'ємної міцності розроблені досить детально. Вивчені фізичні механізми процесів, причому, в'язкого, втомного руйнування і плинності, запропоновані інженерні методи розрахунку на міцність.

Але забезпечення об'ємної міцності не гарантує поверхневої міцності деталей. Фізичні механізми процесів поверхневого руйнування деталей машин при зношуванні, ерозії та корозії принципово відрізняються від об'ємних. Це викликає значні труднощі при виборі матеріалів та їх поєднання (суміщення) у вузлах тертя.

При конструюванні вузлів тертя необхідно вибрати такий вид тертя в опорах, форму і розміри робочих поверхонь, раціональне суміщення матеріалів елементів вузла тертя, щоб зносостійкість цього вузла була як найвищою, а пошкоджуваність – мінімальною або відсутньою взагалі.

Оптимальні умови роботи опор ковзання можуть бути забезпечені при режимах гідродинамічного, газостатичного, пружно гідродинамічного тертя, при яких в сталих (стійких) умовах досягається повний розподіл поверхонь тертя.

Але ці режими у багатьох випадках важко досягненні. Тому більшість вузлів тертя машин експлуатується в умовах недосконалого змащування.

Основним принципом, що повинен бути покладений в основу проектування і розрахунку форми та розміру деталей пари тертя, є забезпечення в заданому діапазоні швидкостей ковзання і навантаження режиму нормального тертя. Це досягається вірним вибором матеріалів, а також конструкційними заходами, націленими на ліквідацію основних причин, що викликають пошкоджуваність (руйнування).

При відносно низьких швидкостях ковзання і силових перевантаженнях у зоні тертя, а також при порушеннях змащувальної дії, викликаних попаданням абразиву у мастило і перервами у його подачі, може виникнути схоплення (схвачування) поверхонь тертя. Тому при розробці конструкцій вузлів тертя ковзання необхідно передбачити можливість зменшення навантаження при експлуатації і виключити прояви місцевого локального підвищення навантажень при переносах і перевантаженнях. Необхідно передбачити захист вузлів тертя від попадання абразиву і забезпечити надійне змащування поверхонь тертя.

При підвищених швидкостях ковзання і теплових перевантаженнях у зоні тертя також з'являється можливість схвачування матеріалів пари тертя. Тому, у таких випадках необхідно передбачати можливості зниження теплової напруженості вузлів тертя за рахунок покращення умов тепловідведення та застосування систем охолодження.

Фретінг – процес виникає при мікрозміщеннях і динамічному характеру навантаження. Тому необхідно ліквідувати можливість появи мікрозміщень, підвищувати жорсткість конструкцій, знімати можливість появи вібрацій. Основним конструкційним заходом боротьби з механічною формою абразивної пошкоджуваності є захист вузла тертя від попадання абразиву. Цей вид пошкодження може виникати при роботі деталей машин у контакті з абразивною масою. У цьому випадку необхідно за рахунок вірного вибору матеріалу досягнути такого стану, щоб деталь спрацюувалася за менш руйнівною схемою зношування – механохімічною.

Для боротьби з втомним руйнуванням поверхонь при коченні необхідно здійснювати ретельний розрахунок і вибір параметрів навантаження, щоб виключити можливість такого руйнування.

Зношування робочих поверхонь призводить до зміни зазорів, появи ударних навантажень і переходу до недопустимих процесів пошкоджуваності, а знос у з'єднаннях – до порушення точності позиціонування. У цих випадках необхідно передбачити можливість компенсації зносу.

Вихід деталей пар тертя з ладу може обумовлюватися їхньою недостатньою міцністю. При цьому в глибинних прошарках розвивається пластична деформація мікрооб'ємів матеріалу, що викликає змінання і об'ємну втому, особливо в біметалевих підшипниках ковзання (та взагалі у пластичних матеріалах).

Пошкодження може виникнути і при протіканні процесів дотично зв'язаних із тертям (корозія і ерозія).

Іншою принциповою задачею, що вирішується за допомогою конструкційних методів, є зменшення інтенсивності нормального зношування матеріалів і оптимізація сил тертя в парі.

6.2. Підбір матеріалів для вузлів тертя

6.2.1. Антифрикційні матеріали

Вимоги до антифрикційних матеріалів. Антифрикційні матеріали призначені для виготовлення підшипників (опір) ковзання, що широко застосовуються в сучасних машинах і приладах завдяки стійкості до вібрацій, безшумності роботи, невеликим габаритам.

Основними властивостями антифрикційних матеріалів варто вважати антифрикційність і опір втомленості.

Антифрикційність – це здатність матеріалу забезпечувати низький коефіцієнт ковзання, незначні втрати на тертя і малу швидкість зношування сполучених

деталей. Крім того, кожен матеріал у конкретних умовах роботи має бути, наприклад, стійким проти окиснювання за підвищених температур, мати високий опір корозії під час роботи в агресивних середовищах і т. ін. Ці матеріали мають працювати в широкому діапазоні швидкостей ковзання (від 0,001 до 100 м/с і більше), навантажень (від 1 МПа до 25 МПа і більше), температур до 100°C і більше.

Наведені відомості не дають змоги створити універсальний антифрикційний матеріал, здатний працювати у вузлах тертя різного призначення. Тож постає потреба в розробленні різноманітних матеріалів тертя для конкретних заданих умов роботи.

На тепер налічується безліч вузлів тертя, у яких застосовуються антифрикційні матеріали – циліндричні й кулькові підшипники, підп'ятники, вкладиші, напрямні, що ковзають, струмознімачі, торцеві й бічні ущільнення, шарнірні пристрої, поршневі кільця та ін.

Антифрикційні матеріали працюють у найрізноманітніших умовах, а саме: за граничного тертя, у вакуумі, тертя без змащення, еластогідродинамічного тертя, за підвищених температур, високих швидкостей, великих навантажень, у різних агресивних середовищах (воді, кислотах, лугах, розплавлених металах, розпечених газах), інертних газах та ін.

Основні вимоги до антифрикційних матеріалів такі:

- висока зносостійкість;
- низькі значення коефіцієнта тертя;
- оптимальна поверхнева й об'ємна міцність;
- припрацьовуваність;
- достатня в'язкість для унеможливлення крихкого руйнування;
- висока втомна міцність;
- здатність протистояти схоплюванню;
- достатня теплопровідність й оптимальні значення коефіцієнта теплового розширення;
- наявність у матеріалі запасу твердого або рідкого мастила;
- технологічність виготовлення;
- економічність.

Крім цих вимог до матеріалів конкретного призначення, що працюють у специфічних умовах, потрібні спеціальні властивості. Наприклад, об'ємна міцність у матеріалах для важконавантажувальних вузлів тертя має бути досить високою, а матеріали для роботи в разі підвищених температур повинні мати стійкість проти окиснення.

Природа антифрикційності. Антифрикційність забезпечується такими властивостями підшипникового матеріалу:

- 1) високою теплопровідністю;
- 2) ефективним змащенням мастильним матеріалом;
- 3) здатністю створювати на поверхні захисні плівки;

4) задовільною припрацьовуваністю, що ґрунтується на здатності матеріалу в процесі тертя легкопластично деформуватись і збільшувати площу фактичного контакту, що сприяє зниженню місцевого тиску і температури на поверхні підшипника.

Згідно з І.В. Крагельським основною властивістю антифрикційної пари тертя (при цьому розглядаються пари тертя і взаємодія їх зі змащенням) є забезпечення додатного градієнта механічних властивостей за глибиною, що призводить до мінімальної роботи об'ємного деформування, а в разі пластичного деформування – до здатності багаторазово передеформуватися, що не спричиняє окрихчування матеріалу.

Для досягнення додатного градієнта механічних властивостей користуються змащенням. Однак цього не досить, оскільки в разі розриву мастильного шару (за пускових режимів, перевантажень) відбувається взаємодія двох твердих поверхонь, яким необхідно забезпечити додатний градієнт механічних властивостей. Це можливо у випадках, коли на поверхні тертя будуть:

- 1) вторинні структури у вигляді оксидних плівок;
- 2) плівки перенесеного м'якого металу зі структурних складових пари тертя;
- 3) нанесені спеціальні легкоплавкі покриття.

Більшість антифрикційних матеріалів має композиційну структуру, а саме, тверді вкраплення рівномірно розподіляються в пластичній матриці, що відповідає правилу Шарпі. У процесі роботи такого підшипникового матеріалу тверді вкраплення сприймають навантаження і передають його м'якому сполученню – матриці, що завдяки високій пластичності набуває форми вала, знижуючи контактний тиск на виступи третьових поверхонь.

Перспективною є ідея про можливість забезпечення нормальних умов ковзання за рахунок вибіркового перенесення м'якої складової сплаву з однієї поверхні на іншу. В цих умовах здійснюється робота пари тертя майже без зношування.

Критерії оцінювання підшипникових матеріалів. Критеріями для оцінювання підшипникових матеріалів є коефіцієнт тертя і допустимі вантажно-швидкісні характеристики: тиск p , що діє на опору, швидкість ковзання V . Параметр pV визначає питому потужність тертя та гранично допустимі значення навантажень і швидкостей.

Слід зазначити, що показник pV істотно відрізняється від експериментальних даних. Він не враховує конструктивних особливостей вузла тертя (масштабного фактора) і типу використовуваних мастил та присадок. У разі легкого режиму роботи значення добутку pV можуть бути високими, але для підшипникового матеріалу у важчих умовах роботи вони будуть значно меншими. Тому порівнювати несучу здатність матеріалу за величинами pV можна тільки для однотипних режимів роботи.

Наведемо умовну класифікацію несучої здатності матеріалів, розроблену в Інституті проблем матеріалознавства НАН України на основі багаторічного аналізу умов роботи різних антифрикційних матеріалів. Ця класифікація передбачає

чотири режими роботи матеріалів – легкий, середній, важкий і гранично важкий. За цією класифікацією несуча здатність матеріалу оцінюється за значенням pV , визначеним для даного режиму роботи. Незважаючи на те, що ця класифікація умовна, вона дає змогу розмежовувати рівень властивостей існуючих матеріалів і тих меж параметрів роботи, до яких необхідно прагнути для створення нових матеріалів, а також для стандартизації й уніфікації умов роботи вузлів тертя.

Легкий режим роботи характеризується наявністю мастильного роздільного шару, невеликими значеннями навантажень і швидкостей ковзання, що не викликає підвищення температури в зоні тертя.

Середній режим роботи визначається вищими параметрами навантажень і швидкостей або збільшенням часу експлуатації підшипникового вузла, що супроводжується зменшенням товщини змащення й активнішою участю матеріалу підшипника в процесі тертя.

За важкого режиму тертя навантаження і швидкості високі, кількості змащення в зоні тертя, як правило, недостатньо і працездатність вузлів тертя залежить в основному від походження матеріалів тертьової пари. У цьому випадку температура вузла тертя підвищується.

Гранично важкий режим тертя включає умови роботи вузлів тертя без рідкого мастила, що потрібно для підвищених і високих температур, швидкостей ковзання в різних діапазонах навантажень, у вакуумі, інертних й активних газових і рідких середовищах тощо.

Легкі, середні й важкі умови роботи за наявності рідкого мастила властиві вузлам тертя багатьох машин і механізмів, що застосовуються у сільськогосподарській галузі, транспортному і важкому машинобудуванні. Гранично важкі режими роботи характерні для вузлів тертя металургійного та прокатного устаткування у космічній та авіаційній, атомній, криогенній, газотурбінній та інших галузях техніки.

Основні зовнішні фактори, що впливають на несучу здатність антифрикційних матеріалів. Під час конструювання підшипників ковзання, в яких використовуються антифрикційні матеріали, необхідно враховувати несучу здатність матеріалу, що залежить насамперед від питомого навантаження і швидкості ковзання. Крім цих факторів, на несучу здатність антифрикційних матеріалів впливають середовище, температура середовища, стан поверхонь тертя, ступінь взаємного перекриття тертьових поверхонь та ін.

Досягнення критичного рівня допустимості дії того або іншого зовнішнього фактора, що впливає на несучу здатність матеріалу, виявляється в різкому підвищенні температури вузла тертя. Відомо, що зовнішньою ознакою сталого процесу є сталість температури в трибосистемі. Отже, одна з основних умов нормальної роботи вузла тертя полягає у рівновазі кількості тертя і тепла, що відводиться в навколишній простір.

Основні види антифрикційних матеріалів

Антифрикційні матеріали на основі олова і свинцю.

Сплави на основі олова і свинцю є найдавнішими підшипниковими матеріалами. Ще в 1839 р. англієць М. Бабіт розробив сплав, що містить 82...84% Sn, 5...6% Cu і 11...12% Sb. Цей сплав поклав початок використанню м'яких білих антифрикційних сплавів у техніці, і тому всі наступні сплави на олов'яній і свинцевій основах почали називати бабітами. Бабіти мають низькі значення твердості (НВ 12...32) і температури плавлення (240...320°C), відмінну припрацьовуваність. За антифрикційними властивостями вони перевершують усі інші сплави, але значно поступаються їм щодо опірності втомі. У зв'язку з цим бабіти застосовують лише для тонкого (менше 1 мм) покриття робочої поверхні опори ковзання.

Найпоширенішими бабітами на олов'яній основі є Б93, Б88, Б83, Б83С. Усі вони мають гетерогенну структуру і являють собою механічну суміш твердого розчину на основі олова (м'яка основа) і твердого розчину на основі інтерметалідної сполуки $SnSb$ (тверді вкраплення). Висока зносостійкість цих сплавів зумовлена значною міцністю вторинних структур, що утворюються на поверхні сплаву.

Через високий уміст дорогого олова їх використовують для підшипників відповідального призначення (дизелів, парових турбін і т. ін.), що працюють за великих швидкостей і навантажень. Дешевшими є бабіти на основі свинцю. До них належать БКА, БК2, БК2Ш.

Для тонкостінних вкладень бабіт має задовольняти такі вимоги:

- не мати різко вираженої неоднорідної структури;
- підвищену опірність утомному руйнуванню;
- мати знижену твердість;
- міцно з'єднуватися з основою.

Антифрикційні матеріали на основі міді

Як антифрикційні матеріали широко застосовують сплави на основі міді, відомі як бронзи і латуні. Бронзи бувають олов'яністі, алюмінієві.

Бронзи, що застосовуються в підшипниках ковзання, поділяють на сплави з високим (до 10%) і низьким (до 3%) умістом олова. До складу легувальних домішок входять Sn, Pb, Ni, P, Fe, Sn, Sb та ін.

Для виготовлення втулок, торцевих дисків та інших антифрикційних деталей застосовують олов'яністі бронзи, які деформуються.

Крім олов'янистих бронз порівняно широке застосування набули сплави, що не містять олова (безолов'яністі). До них належать БрCuCF6-12-0,3, БрCuHCF3-3-20-0,2, БрCuH6-2, БрCuCF6-1, БрKMц3-1.

У важконавантажувальних вузлах тертя (дорожніх машин, важкого верстатного устаткування) з успіхом застосовують високоміцні алюмінієві бронзи, а саме: БрА9Мц2, БрА10-Мц2, БрА9Ж4, БрАЮЖ3-МцІ, 5, БрА10-Ж4-Н4, БрАП-Ж6-Н6.

Як замітники бронз для опор тертя застосовують латуні. Вони бувають подвійні і багатокомпонентні, містять, крім міді та цинку, як основні елементи алюміній, залізо, марганець, олово, кремній або свинець. Латуні за своїми антифрикційними властивостями значно поступаються бронзам.

Двофазні латуні ЛЦ16Д04, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А та інші застосовують за малих швидкостей ковзання (менше 2,0 м/с) і невисоких навантажень, їх часто використовують для опор тертя приладів.

Антифрикційні матеріали на основі алюмінію.

Використання алюмінієвих сплавів як антифрикційного матеріалу з кожним роком збільшується. Вони мають достатні втомну міцність, корозійну стійкість у мастилах, порівняно високу задиркостійкість і високі антифрикційні властивості.

Сплави на основі алюмінію застосовують як у біметалевому, так і монометалевому виконанні. Останні слугують для виготовлення втулок, підшипників ковзання, шарнірів та ін. Для монометалевих підшипників використовують порівняно тверді міцні сплави, а шар біметалевих вкладишів виготовляють з менш твердого пластичного сплаву.

Алюмінієві сплави завдяки своїм специфічним властивостям застосовують замість антифрикційних сплавів на свинцевій і олов'яній основі, а також свинцевої бронзи. Алюмінієві антифрикційні сплави, що містять до 20% олова, можуть конкурувати з такими дорогими матеріалами, як безолов'яниста бронза.

Алюмінієві сплави класифікують переважно за мікроструктурною ознакою. До першої групи належать сплави АН-2,5, АСМ, а до другої – А09-1, А03-1, А09-2, А09-2Б, А020-1. Останні два сплави мають найкращі властивості.

Підшипники у вигляді литих монометалевих втулок виготовляють зі сплавів з підвищеною конструкційною міцністю: АМКО-1, АМКО-3, АМгК-1, АМгК-2, АММгК-1, АММгК-2 та ін.

Зростає інтерес до антифрикційних сплавів на основі алюмінію, виготовлених методами порошкової металургії, завдяки їх істотним перевагам, таким, як мала питома маса, невисока вартість і велика корозійна стійкість.

Для виготовлення деталей вузлів тертя двигунів внутрішнього згорання і вузлів тертя, що працюють без мастила, застосовують матеріали, до складу яких входять графіт, сульфід, оксиди, карбіди.

Підшипникові матеріали на основі алюмінію, що працюють за підвищених температур, у своєму складі містять порошки твердих сплавів, таких, як WC, TiC, а в деяких випадках – нітрид бору.

Антифрикційні матеріали на основі цинку

Відомі давно, однак вони не набули поширення, не зважаючи на ряд значущих властивостей, що дають змогу замінити цими сплавами бабіти і деякі антифрикційні бронзи.

Перевагами сплавів на основі цинку варто вважати високу припрацьовуваність і технологічність.

Відмітною особливістю цинкових сплавів від бронз і алюмінієвих сплавів є підвищення міцності і пластичності після гарячої обробки тиском (250...300°C).

Основними антифрикційними матеріалами з цинковою основою, що застосовуються для виготовлення підшипників ковзання замість бронз і бабітів, є ЦАМ4-1, ІДАМ5-1, ЦАМ9-1Д ЦАМ10-5, ЦОС3-3 та ін. Їх застосовують переважно у вузлах тертя залізничного транспорту. Підшипники ковзання й інші деталі з цинкових сплавів вживаються в литому й обробленому тиском (прокатка, пресування)

Антифрикційні матеріали на основі заліза.

На основі заліза застосовують як антифрикційні матеріали два сплави: сталь і чавун. Однак унаслідок високої твердості і температури плавлення, незадовільної припрацьовуваності і схоплюваності зі сполучуваною поверхнею сталі як антифрикційні матеріали застосовують рідко. Зазвичай використовують мідисті сталі, що мають малий уміст вуглецю, або графітізовані сталі, що мають вкраплення вільного графіту.

Чавуни застосовують для підшипників та інших деталей вузлів тертя в більшій кількості й асортименті, ніж сталі. Антифрикційність чавунів забезпечується наявністю в структурі вільного графіту. Він може бути у вигляді глобул і пластин. Крім графіту, в структурі антифрикційного чавуну має бути вільний ферит (не більше 15%) і не повинно бути вільного цементиту.

Антифрикційні чавуни містять 2,8...3,8% С, 1,5...2,7% Si, 0,4...1,2% Mn, а також залежно від марки чавунів у їхній структурі можуть міститися такі елементи: Ni, Cr, Cu, P і S. Найпоширенішими антифрикційними чавунами є: А4С-1, А4С-2, А4С-3, ковкий А4-1, високоміцний А4В-1. Задля зменшення зношуваності сполученої деталі марку чавуну вибирають так, аби його твердість була нижчою від твердості сталевих цапфи. Перевага чавунів – невисока вартість.

Найпоширенішими антифрикційними матеріалами на основі заліза є спечені матеріали. Вони успішно конкурують з литими сплавами типу бабітів і бронз і зі спеченими бронзами завдяки недефіцитності вихідної сировини і можливості широкого впливу на їхні антифрикційні властивості легуванням і введенням різних присадок.

На основі заліза застосовують різноманітні спечені антифрикційні матеріали – пористе залізо, просочене мастилом, залізо–графіт, залізо–мідь–графіт, сульфидовані залізграфітові матеріали, матеріали з присадками як твердим мастилом фторидів кальцію або барію, пористі матеріали, просочені свинцем або легкоплавкими сплавами на основі міді, олова, свинцю та інших присадок, сульфидовані неіржавійні сталі, складнолеговані пористі матеріали та ін.

Уведення в сплави заліза легувальних домішок підвищує фізико-механічні властивості й забезпечує працездатність матеріалів в умовах абразивного зношування, підвищених навантажень, швидкостей ковзання і температур за наявності агресивних газів і рідин, значно розширюючи можливі межі працездатності спечених антифрикційних матеріалів і сфери їх застосування.

Пористе залізо. Це найпростіший тип матеріалів, що мають феритну пористу структуру. Пористе залізо у разі рясної подачі мастила зберігає свою працездатність за навантажень 2,0...2,5 МПа і швидкості ковзання 1...2 м/с. Пористе залізо використовують у галузях промисловості для виготовлення самозмащувальних підшипників ковзання, побутової апаратури, приладів, лічильних пристроїв, прядильних кілець та ін.

Композиції залізо–мідь і залізо–мідь–графіт широко застосовують у промисловості. Уведення міді в порошковий матеріал на основі заліза сприяє підвищенню його міцності, сприятливо впливає на його змащуваність і дає змогу регулювати зміну розмірів у разі усадки в процесі спікання. Кількість міді, що вводиться в антифрикційний матеріал на залізній основі, коливається в межах 2,5...20%. У більшості цих матеріалів міді утримується до 5...9%.

Високі триботехнічні характеристики матеріалів композицій залізо—мідь і залізо–мідь–графіт дають змогу застосовувати їх у відповідальних вузлах тертя, де потрібна підвищена міцність підшипникового матеріалу. Такі матеріали здатні витримувати статичні навантаження 60...290 МПа.

Матеріали залізо–мідь–графіт–фосфор. Легування залізо–мідь–графіт-тових антифрикційних матеріалів фосфором дає змогу значно підвищити їх опір пластичній деформації в умовах тертя. Ці матеріали мають вищу зносостійкість унаслідок тертя без мастила. Оптимальними визнано матеріали на основі заліза, що містять 1,2% графіту і 0,2...0,4% фосфору, за вмісту графіту 0,6 фосфору рекомендується 0,9%.

Матеріали, що містять сірку, сульфідні і селеніди. Сірка позитивно впливає на фізико-механічні властивості та структуру залізографіту й істотно поліпшує експлуатаційні характеристики матеріалів. Сірка вводиться в антифрикційні матеріали на основі заліза як легувальний елемент і у вигляді сульфідів різних матеріалів. Найвищі гранично допустимі навантаження (5... 10 МПа) мають матеріали з перлітною і феритно-перлітною структурами, що містять 4...8% 2p і 1...3% графіту з поруватістю в межах 15...25%. Антифрикційний матеріал марки ЖГр3ЦС4, що містить 3% графіту і 4% Zn , під час випробовувань у різних умовах тертя показав переваги перед іншими залізографітовими матеріалами і бронзами.

Матеріали залізо–графіт–молібден. Для деяких композиційних матеріалів, що містять молібден, характерне зменшення коефіцієнта тертя зі збільшенням швидкості ковзання і питомого навантаження. При цьому за цією характеристикою і за зносостійкістю він перевершує олов'янисту бронзу (табл. 10.5).

Матеріали на залізній основі, що містять свинець або сплави на основі кольорових металів. Підвищити міцність й антифрикційні властивості матеріалів

на основі заліза можна також додаванням до них свинцю або сплавів на основі кольорових металів. Це здійснюється у двох напрямках:

- 1) додавання кольорових металів у шихту;
- 2) просочування спечених пористих матеріалів на основі заліза розплавленими кольоровими металами.

Для підшипників, що працюють за питомих навантажень, більших за 1 МПа, пропонується матеріал, що складається з 60...90% заліза та 40–10% сплаву, що містить 85% Cu, 5% Sb, 5% Pb, 5% Zn. Цей сплав у вигляді порошку додається до порошку заліза під час шихтування.

Композиційний матеріал на основі заліза, що містить 15...30% свинцю і 3...5% міді, просочується мастилом. Матеріали, у складі яких 0,8 C, 2,5% Si, 3...5% Cr, 6...10% Mo, до 2% Ni, решта – залізо, просочуються сплавом 90% Cu + 10% Sn. Вони здатні працювати за великих питомих навантажень.

Антифрикційні матеріали на основі нікелю і кобальту.

Відомо, що нікель і кобальт мають низькі триботехнічні характеристики й особливо нікель, оскільки він пластичний і в умовах тертя без змащення схоплюється. Однак спечені композиційні порошкові матеріали на основі нікелю і кобальту за наявності мастильного матеріалу мають високі триботехнічні характеристики, особливо в агресивних середовищах.

Антифрикційні матеріали являють собою багатокомпонентну композицію, до складу якої входять, крім нікелю, такі елементи, як залізо, мідь, а як зміцнювальні частинки використовують берилій, бор, молібден, тугоплавкі сполуки типу *Si*, *B₄C*, *WC*, *Ti*, *Zn₂*, *Mo₂* та ін.

Для підвищення антифрикційних властивостей у ці матеріали вводять графіт, фториди кальцію, барію або стронцію. Зношеність композиційних нікелевих матеріалів, просочених фторидами кальцію або барію, або матеріалів, просочених їх евтектиками, в умовах тертя без змащення становить 10 мкм/км, а коефіцієнт тертя – 0,15...0,25.

Залізонікелеві композиційні матеріали, що містять 50% нікелю і більше, мають достатню корозійну стійкість у морській воді, лугах і деяких розчинах кислот. Вони міцніші і менш пластичні, ніж мідно-нікелеві сплави, можуть витримувати великі навантаження.

Антифрикційні матеріали на основі тугоплавких металів і сполук.

Характерними властивостями металів і сплавів на основі металів IV—VI груп періодичної системи елементів та їхніх сполук з вуглецем, бором, азотом, кремнієм і киснем є висока твердість і міцність. Ці властивості особливо важливі для функціонування вузлів тертя в умовах високих температур, швидкостей ковзання, що супроводжуються розігрівом і абразивною дією середовища.

У більшості випадків основою в цих матеріалах є сполуки типу *WC*, *W₂C*, *Mo*, *Mo₂C*, *Ti*, *Cr₃C*, *Cr₇C₃*, *Ta*, *Ti₂*, *CrB_x* або композиція *WC-Ti*, *WC-TiC-Ta*, *TiC-Ti₂* та ін. Просочення їх феросплавами, що містять бор і кремній, підвищує їх щільність і

міцність. Багатофазні композиційні матеріали на основі нітриду кремнію пористістю 20...34% просочують розкиснювальними сплавами, що взаємодіють з Si_3N_4 задля підвищення міцності. Ці матеріали здатні працювати як за кімнатних, так і за високих температур.

Антифрикційні матеріали на основі пластмас.

Як антифрикційні матеріали набули поширення пластмаси, синтезовані на основі однотипних і модифікованих смол і їхніх композицій з різними наповнювачами, стабілізаторами, пом'якшувачами, прискорювачами й іншими домішками. Як наповнювачі для антифрикційних пластмас застосовують матеріали органічного походження (деревне борошно і кришиво, дерев'яний шпон, бавовняні тканини та ін.), наповнювачі неорганічного походження (графіт, тальк, дисульфід молібдену, азбест, скляні нитки, каолін та ін.). Наповнювачі можуть бути листовими, сітчастими, волокнистими, порошковими і газовими.

До антифрикційних матеріалів на основі пластмас, що застосовуються у вузлах тертя, варто віднести поліетилен низького і високого тиску, фторопласт, полістирол, вініпласт, капролон, капрон технічний, поліформальдегід, плексиглас та ін.

Основними перевагами антифрикційних матеріалів на основі пластмас порівняно з металевими є зносостійкість, високе відношення міцності до питомої маси, здатність до гасіння вібрацій, високий опір захопленню з матеріалом вала, технологічність процесів виготовлення й обробки, низька вартість. Недоліки – низька теплопровідність, гігроскопічність, високий коефіцієнт лінійного розширення, низька механічна міцність.

Працездатність і несучу здатність полімерів можна значно підвищити за допомогою наповнювачів і армування. Могою наповнювачів і армування.

У сучасних вузлах тертя знаходять застосування три типи метало- полімерних матеріалів: зміцнених сталеву підкладкою; поруватих спечених виробів, просочених фторопластом; наповнених фторопластом, не армованих каркасом.

Основні вимоги до антифрикційних матеріалів на основі пластмас такі: надійність, довговічність, мінімальна маса, металомісткість і собівартість. Вхідні складові компоненти мають бути доступні й технологічні.

Антифрикційні матеріали на основі термореактивних полімерів.

Термореактивні пластмаси (реактопласти) отримують на основі епоксидних, поліефірних, поліуретанових, фенолоформальдегідних і кремнієорганічних полімерів. Задля поліпшення міцнісних і триботехнічних характеристик у фенолоформальдегідні смоли вводять волокнисті й порошкові наповнювачі.

Антифрикційні вуглецеві матеріали поділяють на вуглецеві – випалені та графітовані (без просочення і просочені металами та сплавами), графітофторопластові та графітопластові. Для їх виготовлення використовують не випалений нафтовий кокс і кам'яновугільний пек з додаванням природного графіту.

Максимальна температура обробки випалених матеріалів становить 1300°C, а графітованих – 2300...2600°C. Просочення виконують бабітом, бронзою, сплавами свинцю й олова та іншими, а для здобуття графітопластових антифрикційних матеріалів використовують високополімерні сполуки.

Антифрикційні вуглецеві випалені матеріали мають підвищену твердість і міцність, але меншу теплопровідність, ніж графітовані. ену твердість і міцність, але меншу теплопровідність, ніж графітовані. Їх коефіцієнт термічного розширення нижчий, ніж металів, а коефіцієнт тертя – в межах 0,05- 0,1.

Основні види фрикційних матеріалів

Фрикційні матеріали на основі азбесту.

Азбестові матеріали розрізняються сполучним і наповнювачем. Крім азбесту, як наповнювач застосовують метали у вигляді стружки, дроту або порошку (латунь, мідь, алюміній, свинець), графіти, оксиди і солі металів (каолін, оксид цинку, сурик). Азбокаучукові матеріали застосовують як гальмівні накладки в гальмах автомобілів, кільцях зчеплення тракторів, автомобілів й інших машин. Недоліком цих матеріалів є різке зменшення коефіцієнта від температури та їх теплоємності. Істотним недоліком фрикційних азбестовмісних матеріалів є їх низька температура розпаду, за якої вони здатні взаємодіяти з чавуном або сталлю (іншим елементом пари тертя), утворювати карбіди і пересичені тверді розчини.

Порошкові металокерамічні фрикційні матеріали.

Порошкові металокерамічні фрикційні матеріали застосовують у важких режимах тертя. Їх роблять на залізній і мідній основах. Найпоширенішими фрикційними матеріалами на основі заліза є ФМК-8 і ФМК-11, МКВ-50А і СМК, а на основі міді – МК-5.

Матеріали на основі міді й мідних сплавів.

Фрикційні порошкові матеріали на основі міді застосовують для роботи в умовах тертя без мастила і з мастилом. Матеріали на основі олов'янистої бронзи завдяки високій зносостійкості і досить високому коефіцієнтові тертя добре зарекомендували себе в гальмівних і передавальних пристроях різного призначення. Порівняно з матеріалами на основі заліза вони значно менше стирають сполучену деталь, виготовлену з чавуну або сталі.

Для роботи гальмівних пристроїв в умовах тертя без змашування великого поширення набув матеріал марки МК-5 на основі олов'янистої бронзи з максимальною робочою температурою 300...350°C і коефіцієнтом тертя 0,16...0,32. В електромагнітних муфтах фрезерних верстатів, гальмах вулканізаторів-форматорів і фрикційних пар торових варіаторів швидкостей застосовуються порошкові спечені матеріали на основі алюмінієвої бронзи. Заміна текстоліту на цей матеріал дає змогу продовжити термін експлуатації фрикційної пари у 15 разів.

Тема 7. Процес старіння неметалевих матеріалів. Полімери. Полімери плівки, полімери – вироби. Фактори впливу. Класифікація процесів, що протікають при старінні. Характер протікання процесу старіння. Методи досліджень старіння.

7.1. Старіння. Основні поняття і термінологія. Фактори впливу

Старіння – сукупність фізичних і хімічних процесів, що протікають у полімерному матеріалі і призводить до зміни його складу і структури під дією факторів впливу.

З точки зору виробничої практики нас цікавить старіння полімерних матеріалів і покриттів, вироби з них, деталі машин, устаткування, будівель.

Полімери – високомолекулярні сполуки, молекули яких складаються з великої кількості однакових угруповань, що чередуються, які мають хімічний зв'язок.

Полімерні матеріали складаються власне з полімерів плюс добавки. Характеризуються вони цілою сукупністю властивостей. Полімерні покриття – плівки з полімерних матеріалів на поверхнях виробів.

Полімерні вироби – вироби з полімерних матеріалів (деталі, вузли), що мають певну форму і здатні виконувати необхідні експлуатаційні функції.

Сукупність факторів, що діють на полімерні матеріали і покриття об'єкта, в процесі виготовлення, зберігання та експлуатації визначають умови старіння.

Фактори, що впливають на стабільність полімерів, як і при дослідженні процесів корозії, можна умовно розділити на

- зовнішні,
- експлуатаційні (пов'язані з впливом середовища і навантажень),
- внутрішні або фактори стану полімерів (визначаються хімічним складом, будовою, особливостями структури і фазовим станом, молекулярного зчеплення, деформаційними та іншими властивостями),
- конструктивно-технологічні фактори.

Зовнішні фактори:

- світло;
- повітря;
- температура;
- штучне опромінювання;
- навантаження;
- активні середовища;
- мікроорганізми бактерії, грибки).

Фактори стану полімерів:

- хімічний склад;
- хімічна будова наявність ароматичних радикалів, кількість функціональних груп);

- структура (взаємне розташування молекул, розгалуження в ланцюгах);
- молекулярна маса;
- міжмолекулярна взаємодія (орієнтаційна, індуаційна, дисперсна, водневий зв'язок);
- фазовий стан (кристалічні, аморфні, гомогенні, гетерогенні);
- деформація (пружність, еластичність, в'язкість);
- реогія (внутрішнє обертання молекул, гнучкість полімерних ланцюгів).

Технологічні і конструктивні фактори:

- технологічні (особливості отримання, особливості нанесення покриття, можливість відновлення покриття, можливість додаткового захисту);
- конструктивні (розміри виробів, форма, спряження поверхонь, з'єднання елементів, контакт полімера з металом).

Крім того, необхідно враховувати властивості полімера, що визначають його стійкість до впливу середовища.

Фактори властивостей полімера:

- щільність;
- світлостійкість;
- вологостійкість і стійкість по відношенню до інших розчинників;
- теплостійкість;
- міцність (крихкість, зносостійкість, пластичність, плинність, твердість, внутрішні напруги та їх концентрація);
- хімічна стійкість (здатність до реакцій, нейтралізуюча здатність, здатність до інгібування, стійкість до лугів);
- біостійкість (не обростання);
- електротехнічні властивості (опірність, провідність);
- корозійна активність до металів (через повітря, через контакт, загальна до всіх металів, вибіркова, при тривалому впливі);
- властивості поверхні розподілу (шорсткість, адсорбційна здатність, адгезійна здатність).

7.2. Класифікація процесів, що протікають при старінні

Старіння полімерів – надзвичайно складне явище, яке супроводжується низкою процесів, які в залежності від умов експлуатації, конструкцій техніки і будівель і факторів впливу середовища можуть визначально впливати на міцність та інші характеристики виробу.

Основним процесом старіння є деструкція – розрив хімічного зв'язку в основному ланцюгу. Він супроводжується реакцією руйнування макромолекул – деполімеризація.

Структурування – процес утворення нових зав'язків між молекулами і вільними радикалами, також супроводжується змінами у структурі.

Зшивання – утворення поперечних хімічних зав'язків між молекулами, полімер аналогічна реакція (зміна молекулярної структури, по різному впорядковуються молекули).

Кристалізація – молекули в полімері впорядковуються в кристали.

Поліморфне перетворення – перехід однієї кристалічної модифікації в іншу.

Аморфізація – просторове розупорядкування молекул у полімері.

Сприяють старінню полімерів процеси сорбції (поглинання) або десорбції (видалення речовин із полімера).

При старінні можливі процеси пластифікації і склоутворення.

Пластифікація – (підвищення еластичності) відбувається при утворенні речовин-пластифікаторів.

Склоутворення – перехід полімера з пластичного стану у скловидний. Пластифікація може супроводжуватися набряканням – між молекулами з'являється розчинник, а потім і розчиненням – процесом розподілу молекул полімера по об'єму середовища-розчинника.

Багаторазові циклічні навантаження призводять до зміни властивостей полімера – явище називається втомою.

Зростання деформації в часі під дією внутрішніх напруг може викликати явище, яке називається плинністю. При недостатній пластичності (пружності) відбувається порушення суцільності полімера або в масі (об'ємі) або на поверхні – утворюються тріщини. Кінцевий результат – поломка.

Протяжність експлуатації полімерного об'єкта у часі від моменту навантаження до руйнування, активованого механічними напругами, називається механічною довговічністю.

За характером протікання процесу старіння розрізняють три типи старіння:

– рівномірне (однакова швидкість старіння по всьому об'єму);

– нерівномірне (різна швидкість на різних ділянках);

Вибіркове (характерне для багатокомпонентних полімерів – зміни в різних компонентах відбуваються з різними швидкостями).

З урахуванням впливу середовища і експлуатаційних факторів старіння поділяють на такі види:

– при впливі механічних навантажень;

– радіаційне;

– термічне;

– викликане дією підвищеної температури;

– світлове, внаслідок дії світла (ультрафіолетового і видимого);

– хімічне, під дією хімічних реагентів;

– окислювальне, під дією кислот та інших окислювачів;

– біологічне, внаслідок дії мікроорганізмів;

– електричне;

– абляція (під дією потоків газів, твердих часток у присутності високої температури);

– старіння в космосі, у водяному і вологому середовищі, при контакті з живими організмами;

- у штучно створених умовах;
- багатофакторне.

Старіння полімерів під час експлуатації виробів і будівель відбувається в основному у вигляді деструкції. Деструкція буває хаотичною і ланцюговою.

Хаотична деструкція внаслідок впливу факторів середовища і концентрації енергії на певній сполуці, наприклад, С-Н, відбувається за випадковим законом одноразовими актами розриву макромолекул, осколки яких продовжують існувати як стійкі молекули.

Найбільший об'єм займає атмосферне старіння полімерів, як світло, повітря, волога, температура. Значний внесок в ефект пошкоджуваності вносить фактор світла.

При стиканні з атмосферним старінням необхідно враховувати кліматичні і експлуатаційні фактори (коливання температури, вологості, світлового потоку, обмеження доступу повітря тощо).

Врахування цих факторів, а, головне, оцінка їх значимості та кількісного внеску у процес старіння на рівні лабораторних випробувань стикається з певними труднощами. Важко змоделювати реальні умови, в яких буде працювати об'єкт в майбутньому.

7.3. Загальна характеристика проблеми старіння

Проблема старіння полімерів виникла порівняно недавно, з появою та застосуванням цих матеріалів у техніці. Номенклатура і об'єм застосування їх у конструкціях машин, устаткування, будівель і споруд продовжує зростати. Як показав досвід експлуатації, на полімери найбільш впливають фактори середовища.

Старіння полімерів призводить до погіршення механічних властивостей і зниження працездатності деталей машин, устаткування і споруд, незворотніх ефектів пошкодження конструкцій, що викликають відмови.

Складність проблеми старіння полягає у тому, що хімічна природа полімерів різна, тому і механізми процесів деструкції і структурування молекулярних ланцюгів різні. Відмінності у природі і хімічних зв'язках настільки великі, що вплив факторів середовища стає невизначеним. Такі ж коливання стабільності полімерів можливі при зміні факторів середовища (температура, вологість, забруднення).

Необхідно також враховувати, що продукти деструкції полімерів зазвичай стимулюють процеси корозії металів у контакті, а остання, у свою чергу, інтенсифікує старіння полімерів.

7.4. Методи дослідження старіння

Мета дослідження старіння полімерів – визначити їхню стійкість проти процесів старіння і достатність заходів захисту.

В задачі дослідження входять:

- визначення значимих факторів, що найбільш впливають на процес старіння в умовах експлуатації;
- виявлення механізму зміни властивостей матеріалів і характеристик виробу в процесі старіння, щоб можна було моделювати процес;
- оцінка ефективності засобів стабілізації полімерів;
- діагностика стану вузлів з полімерами на певних стадіях експлуатації;
- прогнозування термінів експлуатації виробів з врахуванням кількісних характеристик стану полімеру;
- вирішення теоретичних питань старіння і поліпшення методології досліджень;
- пошук нових ефективних стабілізаторів старіння, розробка комплексних методів захисту конструкцій.

Методи дослідження старіння поділяються на 2 групи:

- дослідження в штучних умовах;
- дослідження в природних умовах.

Перші – це ті, що здійснюються в лабораторних умовах. Їх проводять на зразках.

Другі – об'єднують дослідження в природних умовах і експлуатаційні дослідження.

Лабораторні дослідження поділяються на імітаційні (дозволяють отримати моделі, подібні експлуатаційним умовам, з врахуванням найзначиміших факторів) і прискорені (дозволяють проводити дослідження в більш жорстких умовах, але за короткий термін).

В якості методів дослідження процесу старіння використовують:

- гравіметричний метод (по зміні маси зразка);
- метод бальної оцінки (зміна зовнішнього вигляду, площі і глибини руйнування);
- метод механічних досліджень (міцність, деформація – їх зміна);
- метод визначення зміни фізико-хімічних властивостей (спектральний, радіоактивних ізотопів, електропровідності, зміни мікротвердості);
- визначення адгезії покриттів.

Розрізняють наступні види стійкості полімерів до старіння:

- кліматична (термічна, радіаційна);
- світлостійкість;
- морозостійкість;
- вологостійкість;
- водостійкість.

7.5. Методи і засоби захисту від старіння

Методи захисту поділяють на:

- активного захисту (націлені на послаблення факторів впливу);
- пасивного захисту (націлені на підвищення стабільності полімеру за рахунок введення добавок до його складу);
- комбінованого захисту.

Добавки з метою стабілізації повинні зменшувати ефект дії основних факторів впливу середовища або гальмувати розвиток реакцій;

Інший шлях – взаємодія добавок з радикалами, що утворюються, і припинення реакцій руйнування на самому початку розвитку.

У першому випадку добавки називаються «екранними агентами», у другому – «дезактиватори стану збудження».

До екранних відноситься газова сажа, окиси заліза (до 1 %). До дезактиваторів – люмінесцентні речовини.

1. Біопошкодження. Основні поняття. Фактори впливу

Біопошкодження – особливий вид руйнування матеріалів конструкцій техніки, пов'язаний з впливом мікроорганізмів (бактерій, грибків). До біопошкоджень відносять також руйнування промислових і будівельних матеріалів комахами і гризунами, пошкодження агрегатів птахами, а об'єктів, що працюють у водному середовищі, водними організмами – оброщувачами.

Біофактори можуть впливати безпосередньо (мікроорганізми харчуються матеріалами конструкцій) після певного періоду адаптації або побічно (продукти життєдіяльності мікроорганізмів підвищують агресивність середовища і стимулюють процес корозії металів, старіння полімерів) також через певний період часу, необхідний для утворення колоній мікроорганізмів.

Процеси біопошкоджень за своїм механізмом різноманітні і залежать як від біофактора, так і від особливостей об'єкта, на який він діє. Наприклад: якщо риби та інші істоти, що живуть у воді, найчастіше викликають механічні пошкодження, то в основі дії мікроорганізмів знаходяться, як правило, ферментативні реакції. Для проявлення ферментами активності необхідне (обов'язково) водне середовище.

Вода може привноситися і самими мікроорганізмами, які на 80% складаються саме з неї. Вона ж і індукує ферментні реакції.

Якщо мікроорганізми інтенсивно розмножуються, то необхідно мати на увазі не тільки ферментативні реакції, а й те, що мікробна маса забруднює магістралі, паливні резервуари, ємності, фільтри, сопла тощо.

Основні терміни, що стосуються процесів біопошкоджень (стандартизовані):

Біологічний фактор (біофактор) – організми або колонії організмів, що викликають порушення працездатного стану об'єкта.

Біологічне пошкодження (Біопошкодження) – пошкодження об'єкта, викликане дією біофактора.

Біоруйнування – часткове або повне руйнування об'єкта під дією біофактора, що супроводжується зміною його хімічного складу або будови.

Біологічне забруднення – стан об'єкта, пов'язаний з присутністю біофактора, після видалення якого відновлюється працездатний стан об'єкта.

Мікробіологічна стійкість – здатність об'єкта зберігати свої показники в межах, визначених нормативно-технічною документацією, протягом певного періоду часу.

Визначальний фактор існування мікроорганізмів – вологість середовища. Грибки, спори багатьох бактерій без вологи зберігають життєздатність у сухому вигляді десятки років. Грунтові мікрогриби найінтенсивніше розвиваються при вологості 60%.

Температура середовища – найважливіший фактор впливу на життя мікробів. Кожному виду мікроорганізмів відповідає свій температурний інтервал життєдіяльності. Мікроорганізми поділяють на три групи:

- холодолюбиві (0...10°C);
- ті, що віддають перевагу середнім температурам (10...40°C);
- теплолюбиві (40...80°C).

Пагубну дію високих температур використовують для знищення мікроорганізмів.

Пастеризація – нагрівання до 60...70°C протягом 20...30 хв. – гинуть вегетативні форми мікроорганізмів.

Стерилізація – нагрівання до 100...130°C протягом 20...40 хв. – гинуть практично всі форми мікроорганізмів, у т. ч., спори бацил.

Сонячне світло, ультрафіолетове випромінювання також знищує мікроорганізми.

Ренген у малих дозах стимулює ріст мікроорганізмів, у великих – знищує їх.

Електричний струм і високий тиск практично не впливають на мікроорганізми.

Стимулює ріст мікроорганізмів забруднення середовища.

Необхідно пам'ятати, про таке явище, що супроводжує існування мікроорганізмів, як їхній антагонізм. Одні види мікроорганізмів внаслідок своєї життєдіяльності знищують інші. можливий і інший шлях знищення певних мікроорганізмів напряду (безпосередньо) – паразитизм. Мікроб-паразит харчується іншим організмом.

Явище антагонізму – основа для розробки ефективних біохімічних і екологічних методів захисту від біопшкоджень.

2. Класифікація біопшкоджень

Механізм біопшкоджень надзвичайно складний. Мікроорганізми можуть самі пошкоджувати матеріал пошкоджень, але найчастіше вони стимулюють процеси біопшкоджень. Класифікують біопшкодження за видами, механізмом і умовами їх протікання:

Процеси пошкодження матеріалу	Характер пошкодження	Приклад
Пряме руйнування мікроорганізмами	Асиміляція інградієнтів матеріалів бактеріями, грибками	Пошкодження полімерів в атмосферних умовах
Хімічне руйнування	Вплив продуктів життєдіяльності мікроорганізмів у струмопровідних середовищах	Пошкодження матеріалів при контакті з паливом і мастилами
Електрохімічне (корозія) пошкодження	Вплив продуктів життєдіяльності мікроорганізмів у струмопровідних середовищах(біокорозія)	Пошкодження матеріалів при контакті з водою
Комбіноване пошкодження	Комплексний вплив мікроорганізмів, продуктів їх життєдіяльності в змінних умовах (конденсація вологи, забруднення)	Пошкодження металоконструкцій в специфічних умовах експлуатації

Пояснення до таблиці.

Біокорозія буває бактеріальна (у воді, у ґрунті, пальному при наявності особливих бактерій) і грибову (на вологих поверхнях, при наявності забруднень, спорів грибків).

Специфічні умови експлуатації: наприклад, залізобетонні конструкції заглиблені у воду або ґрунт.

За середовищем існування розрізняють біопошкодження у ґрунті, водному середовищі, в органічних середовищах (наприклад, продуктах нафтопереробки), у повітряному середовищі, у космосі.

За біофакторами розрізняють:

– вплив мікроорганізмів (найпростіші; грибки; бактерії; лишайники (водорості +гриби));

– вплив макроорганізмів (рослини; живі організми з клітковими, органічними та системними рівнями організації (безхребетні і хордові)).

За пошкодженнями матеріалу розрізняють дію: на цеглу, камінь, будівлі, скло, силікати, оптику, покриття шляхів, дерево, метали, полімери, гуму, шкіру, тканину.

3. Загальна характеристика біопшкоджень

У природних умовах мікроорганізми проявляють свою активність, як правило, в асоціаціях (колоніях). Проблему біопшкоджень віднесено до сфери екології. Люди повинні турбуватися про середовище свого існування, оберігаючи його. У класі технологічних проблем важливо створювати такі матеріали, які в складі виробів могли б існувати протягом необхідного для його експлуатації періоду часу без забруднення біосфери або порушення екологічних систем у ній. Але, на жаль, внаслідок дії навколишніх біофакторів впливу об'єкти піддаються певним змінам, а ці зміни призводять до відмов. Приклад: обростання підводних частин конструкцій організмами – оброщувачами, що пошкоджують лакофарбове покриття призводить до передчасного зносу систем; пошкодження гризунами гуми, пластмас, паперу, шкіри; пошкодження птахами архітектурних споруд, транспортних засобів, знищення багатьох неметалевих матеріалів комахами, пошкодження мікроорганізмами оптики, деревини, тканини.

На жаль, більше 60% полімерів, що застосовуються в конструкціях, мають низьку біологічну стійкість.:

Тема 8. Визначення корозії та значення корозійної проблеми. Що таке корозія? Основні поняття і термінологія. Корозійна проблема

Корозія – руйнування металів внаслідок хімічної або електрохімічної реакції. У системі міжнародної стандартизації (ISO) це поняття трактується дещо ширше: фізико-хімічна взаємодія між металом і середовищем, внаслідок чого змінюються властивості металу і часто відбувається погіршення функціональних характеристик металу, середовища або технічної системи, до якої вони мають відношення.

Об'єкти впливу корозії – метали, сплави, металопокриття, металоконструкції машин, устаткування та будівлі.

Руйнування (пошкодження), що відбуваються внаслідок фізичних причин, не називається корозією, і відоме як ерозія, стирання або знос.

Якщо хімічна взаємодія супроводжується фізичним руйнуванням – процес називається корозійною ерозією, корозійним зносом або фреттінг-корозією. Це визначення не поширюється на неметалеві матеріали. Пластмаси можуть набрякати або тріскатися, дерево – розщиплюватися вздовж волокон або гнити, граніт – кришитися, цемент – обезлужуватися, але термін «корозія» відноситься тільки до хімічного впливу на метали.

Ржавінням називається корозія заліза і його сплавів з утворенням продуктів корозії, що складається, в основному, зі сполук заліза з киснем. Кольорові метали, як впливає зі сказаного, кородують, але не ржавіють.

Процес корозії уявляють як корозійну систему, що складається з металу і корозійного середовища. Останнє містить одну або декілька речовин, які вступають в реакцію з металом. Корозійне середовище може бути рідинним і газоподібним. Газоподібне середовище, яке окислює метал, називається окислювальним газовим середовищем.

Зміни влюбій частині корозійної системи, викликані корозією, називаються корозійним ефектом.

Корозійний ефект, який погіршує функціональні властивості (характеристики) металу, покриття, середовища або технічних систем, розцінюють як ефект пошкодження або як корозійне руйнування за системою ISO).

Внаслідок корозії утворюються нові речовини, що містять окисли та солі металу, який кородує, це – продукти корозії. Видимі продукти атмосферної корозії, що складаються в основному, з гідратованих оксидів заліза, називаються іржею, продукти газової корозії – окалиною.

Кількість металу, перетвореного в продукти корозії за певний час, відносять до корозійних втрат.

Корозійні втрати одиниці площі поверхні металу за одиницю часу характеризують швидкість корозії. Ефект пошкодження, пов'язаний з втратами механічної міцності металу, визначають терміном – корозійне руйнування, глибину його за одиницю часу – швидкістю проникнення корозії.

Одне з найважливіших понять – корозійна стійкість. Вона характеризує здатність металу протистояти корозійному впливу середовища.

Корозійну стійкість визначають якісно і кількісно – швидкістю корозії в даних умовах, групою або балом стійкості за прийнятою шкалою.

Метали, яким властива висока корозійна стійкість, відносять до корозієстійких.

Фактори, що впливають на швидкість, вид і розподіл корозії та пов'язані з природою металу (склад, структура, внутрішні напруги, стан поверхні), називають внутрішніми факторами корозії.

Фактори, що впливають на ті ж параметри корозії, але пов'язані зі складом корозійного середовища і умовами процесу (температура, вологість, зміна середовища, тиск тощо) називають зовнішніми факторами корозії.

У багатьох випадках фактори корозії доцільно поділяти:

- за станом металу;
- за конструктивним виконанням виробу;
- технологічні;
- експлуатаційні.

Подовжити термін експлуатації різноманітних металоконструкцій до їх морального зносу – основна мета вирішення вікової проблеми корозії металів. До сьогодення ця проблема у світовому масштабі не вирішена.

Металофонд планети у вигляді машин, устаткування і будівель являє 6 млрд. тон. Це лише 39% від виробленого за три тисячоліття металу. Решта металу зникла з використання, причому, основна причина цього – процеси корозії. Людство безперервно бореться за збереження металоконструкцій. Але втрати від корозії зменшуються у надзвичайно малій кількості. Збитки, внаслідок відмов техніки, аварії і катастрофи не йдуть ні в яке порівняння зі збитками, пов'язаними з прямими втратами металу. У значній мірі це відноситься до складних конструкцій машин і устаткування.

Проблемність попередження корозії в тому, що руйнування металу під впливом факторів середовища – природній термодинамічний вигідний процес, націлений на збереження рівноваги в природі. Проблема корозії металів за кількістю факторів, які необхідно брати до уваги, відноситься до глобальної: на практиці оперують максимум 35 факторами впливу.

Значення корозійних досліджень визначається трьома аспектами.

Перший з них – економічний – має за мету зменшення матеріальних втрат внаслідок корозії трубопроводів резервуарів, деталей машин, засобів пересування по воді, морських конструкцій тощо.

Другий аспект – поліпшення надійності устаткування, яке внаслідок корозії може руйнуватися з катастрофічними наслідками, наприклад, апарати високого тиску, парові котли, металеві конструкції для шкідливих відходів, лопатки і ротори турбін, мости, деталі літаків тощо. Надійність є найважливішою умовою при розробці устаткування АЕС і систем утилізації радіоактивних відходів.

Третій аспект є збереженість металевого фонду. Світові запаси металу обмежені, а втрати металу від корозії ведуть, крім того, до додаткових витрат енергії та води. Не менш важливо, що людська праця, що витрачається на

проектування і реконструкцію металевого устаткування, пошкодженого корозією, могла б бути націлена на вирішення інших суспільно корисних задач.

Економічний фактор є головною рушійною силою більшості прикладних корозійних досліджень. Витрати на повернення корозійних втрат у військовій техніці, будівельному і комунальному секторах економіки обраховуються мільярдами доларів щорічно.

Розрізняють прямі та побічні корозійні втрати. Під прямими розуміють вартість заміни (з врахуванням трудовитрат) пошкоджених корозією конструкцій і машин або їх частин, таких як труби, глушники, трубопроводи, металеві покриття тощо. Інші приклади прямих втрат:

- витрати на перефарбування конструкцій для попередження появи іржі;
- витрати, пов'язані з захистом (покриття, смоління трубопроводів).

Прямі втрати містять додаткові витрати, пов'язані з використанням корозієстійких металів і сплавів замість вуглецевої сталі, нанесення покриттів; вартість інгібіторів корозії; витрати на кондиціювання повітря в приміщеннях, де знаходиться металеве устаткування.

Підраховано, що використання солі для боротьби з голольодом веде до прямих корозійних втрат на суму 2 млрд. доларів на рік.

Загальна сума прямих корозійних втрат США за мінімальними експертними оцінками становить близько 70 млрд. доларів на рік (це 4% валового національного продукту). Втрати Австралії, Великої Британії, Японії також знаходяться у таких межах.

Але відомо і наступне. До 15% цих втрат можна уникнути, якщо вчасно застосовувати відомі на сьогодні засоби протикорозійного захисту.

Набагато важче підрахувати побічні втрати, але, за приблизними оцінками вони обраховуються мільярдами доларів. Деякі приклади побічних втрат:

1. Простої. Заміна пошкодженої труби нафтопроводу коштує декілька сотень доларів, але вартість невиробленої продукції за час простою дає збитків до 20000 доларів за годину. Заміна котла або конденсатора на потужній електростанції призводить до втрат на 50000 доларів за день невиробленої енергії. Загальна вартість невиробленої внаслідок корозійних втрат електроенергії в США становить десятки мільйонів доларів за рік.

2. Витрати готової продукції. В міжремонтний період відбуваються протікання нафти, газу, води внаслідок корозійних пошкоджень відповідних систем.

3. Витрати потужності. Через відкладення продуктів корозії погіршується теплопровідність поверхонь теплообміну. Зменшення перерізу труб через появу іржі вимагає збільшення потужності насосів.

4. Забруднення продукції. Незначна кількість міді, яка попаде а систему внаслідок корозії устаткування, може пошкодити цілу партію мила. Сліди металів змінюють колір фарбників. Компанії, які займаються консервуванням овочів і фруктів, мають великі збитки внаслідок корозії тари, а також бактеріального зараження продукції.

5. Допуски на корозію. Цей фактор є звичайним при проектуванні будівельних конструкцій, реакторів, котлів, резервуарів тощо. Коли швидкість корозії невідома, і, до того ж неясні методи боротьби з корозією, задача проектування надзвичайно ускладнюється. Надійні, перевірені дані про швидкість корозії дозволяють більш точно оцінити термін експлуатації устаткування і спростити його проектування. Типовим прикладом допуску на корозію є вибір товщини стінки підземних нафтопроводів і довжиною 362 км становить 8,18 мм, з урахуванням корозії. А застосування відповідних засобів захисту від корозії дозволяє зменшити цю величину до 6,35 мм, що дає 3700 т економії сталі та збільшення корисного об'єму на 5%.

Класифікація корозійних процесів

Класифікувати корозію прийнято за:

- механізмом;
- умовами протікання процесу;
- характером руйнування.

Крім того, корозію можна розглядати з урахуванням специфіки використання машин, устаткування і будівель у промисловості, господарстві, будівельній індустрії, на транспорті.

За механізмом протікання корозійні процеси поділяються на 2 типи:

- електрохімічна;
- хімічна.

До електрохімічної корозії відносять процес взаємодії з корозійним середовищем, під час якого іонізація атомів металу і відновлення окислювальних агентів середовища протікає не за один акт і залежить від електронного потенціалу (наявність провідників другого роду).

До хімічної корозії відносять процес, при якому окислення металу і відновлення середовища являє один акт (відсутність провідників другого роду).

В залежності від умов протікання процесу і характеру руйнування металу розрізняють види корозії:

1. Атмосферна корозія характеризує процес в умовах вологого повітряного середовища. Це найрозповсюдженіший вид корозії, тому що більшість конструкцій експлуатується в атмосферних умовах. Її можна розглядати наступним чином:

- на відкритому повітрі з можливістю попадання на поверхню машин опадів;
- на відкритому повітрі з захистом від опадів в умовах обмеженого доступу повітря;
- в замкнутому повітряному просторі.

2. Підземна корозія – руйнування металу в землі. Різновидність цієї корозії – електрохімічна корозія під впливом блукаючих струмів. Останні виникають у ґрунті біля джерел електричного струму (систем подачі електроенергії, транспортних електрофікованих шляхів тощо).

3. Підводна корозія – руйнування металоконструкцій, занурених у воду. За умовами такої експлуатації виділяють три випадки:

- повне занурення;
- неповне занурення;
- циклічне занурення.

Водне середовище відрізняється корозійною активністю в залежності від природи розчинення у ньому речовин (морська вода, річкова вода, кислотні та лужні розчини хімічної промисловості тощо).

Підводну корозію можна розглядати, як окремий, але найбільш розповсюджений вид рідинної корозії, тому що можливі процеси корозії устаткування у неводних рідких середовищах, які до того ж, можуть бути електро- та неелектропровідними. Такі середовища специфічні для хімічної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, виробництву скла, нафтохімічної промисловості тощо.

Як окремі види корозії розглядається руйнування металоконструкцій у розплаві солей і в рідких металах.

4. Хімічна корозія – це руйнування металу в окислювальних середовищах при високих температурах. Під час проведення процесів електрохімічної обробки металів відбувається насичення воднем останніх із можливістю руйнування.

5. Корозійні процеси при випромінюванні мають свої особливості. Корозія при іонізуючому опроміненні характерна для атомної промисловості, а також для умов експлуатації металоконструкцій при наявності фактора проникаючої радіації.

6. В особливу групу виділяють види корозії в умовах впливу механічних напруг (механічна корозія). Ця група містить:

– власне корозію під напругами, що характеризується руйнуванням металу при одночасному впливі корозійного середовища і постійних або змінних механічних напруг;

– корозійне розтріскування – при одночасному впливі корозійного середовища і зовнішніх або внутрішніх напруг розтягу з утворенням транскристалітних тріщин.

Розрізняють такі самостійні види корозії:

– корозія при терті – руйнування металу, викликане одночасною дією корозійного середовища і тертя;

– фретінг-корозія – руйнування при коливальному переміщенні двох поверхонь відносно одна одної в умовах впливу корозійного середовища;

– корозійна кавітація – руйнування при ударному впливі середовища;

– корозійна ерозія – при стиранні;

– контактна корозія – руйнування одного з двох металів, які знаходяться в контакті і мають різні потенціали в даному електроліті.

Устаткування для виробництва будівельних матеріалів, транспортні засоби працюють в умовах постійного або змінного контакту з сипучими матеріалами з різною корозійною активністю та вологістю і це створює умови для виникнення корозії ще одного виду – при контакті з сипучими матеріалами.

Як самостійний вид корозії можна розглядати біокорозію – руйнування металу, коли в якості значимого виступає біофактор. Біоагенти – мікроорганізми (гриби, бактерії) є ініціаторами або стимуляторами процесу корозії.

Окремо розглядаються групи окремих видів корозії з характерними особливостями розвитку за місцем і за часом.

Місцева корозія відбувається з руйнуванням окремих ділянок поверхні металів; точкова (пітінг) корозія, корозія плямами і суцільна корозія – різновиди місцевої корозії.

Поверхнева корозія розпочинається з поверхні, але розвивається переважно під нею таким чином, що продукти корозії зосереджені всередині металу; її різновид – пошарова корозія, що розповсюджується насамперед у напрямку пластичної деформації металу.

Структурна корозія – пов’язана зі структурною неоднорідністю металу; її різновид – міжкристалічна корозія, що розповсюджується по межах кристалів (зерне) металу.

Ножова корозія – локалізоване руйнування металу в зоні сплавлення зварних з’єднань в рідких середовищах з високою корозійною активністю.

Вибіркова корозія характеризується руйнуванням однієї структурної складової або одного компонента металу у високоактивних середовищах; графітизація чавуну (розчинення перлітних або феритних складових) і знецинкування (розчинення цинкової складової) латуней – різновиди цього виду корозії.

Щілинна корозія – підсилення процесу руйнування металу в зазорах між двома металами або при нещільному контакті металу з корозійно-інертним матеріалом.

Суцільна корозія охоплює всю поверхню металу, при цьому вона може бути рівномірною та нерівномірною.

Комплексний захист від корозії, старіння та біопошкоджень

Застосування різних систем комбінованих покриттів машин, що експлуатуються – один із шляхів створення комплексного захисту від корозії, старіння та біопошкоджень. Особливо перспективні комбіновані покриття, що містять інгібітори корозії та речовини багатоцільового призначення. (інгібітор – речовина, що уповільнює протікання якої-небудь хімічної реакції, корозії, старіння, окислення мастил тощо). Ці покриття ефективні в умовах експлуатації устаткування і будівель з обмеженим обміном повітря або з замкнутим повітряним простором. Для таких же умов можливе використання комплексного захисту – впливом на середовище.

Методи впливу на середовище і умови експлуатації:

1. Створення штучного середовища:

- застосування нейтральних середовищ;
- зменшення концентрації H_2O ;
- деаерація водних середовищ (видалення кисню).

2. Сушіння повітря:

- динамічне з нагріванням;
- динамічне;
- статичне з застосуванням активованого вугілля.

3. Герметизація:

- часткова;
- повна.

4. Електрохімічний захист:

- анодне (об'єкт, що захищається, стає анодом);
- катодне протектування (з'єднують об'єкт з (-) електродом джерела ЕРС).

5. Раціональне конструювання:

- ліквідація зон локального руйнування;
- виведення вузлів із агресивних середовищ.

При розгляді методів комплексного захисту виникає дві групи задач. Перша – раціональний вибір і оптимізації методу захисту, друга – забезпечення контролю та управління захистом.

При практичному вирішенні задач першої групи доцільно:

- продовжити вдосконалення методів захисту шляхом герметизації та осушування повітряних середовищ;
- розробляти методи, засоби та пристрої нейтралізації агресивних компонентів у повітряних середовищах і на поверхні конструктивних елементів і устаткування та будівель;
- розробляти методи, засоби і пристрої інгібування повітряних середовищ і поверхонь машин.

При розробці інженерних рішень з реалізації цих задач можуть бути використані наступні результати досліджень:

- системний підхід до вирішення проблеми;
- методи планування експериментів;
- математичні моделі;
- оптимальні варіанти технологій;
- речовини інгібітори;
- біоциди – речовини, призначені для боротьби з мікроорганізмами.

Останні повинні бути нетоксичними для людини. Аміни (похідні аміаку-азоту), кетаміни (на основі хлору) гальмують процеси взаємодії води і кисню повітря з поверхнею металу і зменшують таким чином швидкість корозії. Ці речовини також інгібують процеси старіння полімерів і гуми, а також певною мірою зменшують ефекти біопошкоджень.

Досить перспективне поєднання методів статичного осушування повітря з методом динамічного осушування при наявності силікагель (розчин кремнієвої кислоти) та очищення повітря від бруду і використанням активованого вугілля.

При практичному рішенні другої групи задач доцільно:

– розробляти методи, засоби і пристрої контролю вологості поверхонь конструкцій устаткування та будівель з визначенням наявності, товщини і рівномірності розподілу плівок вологи;

– створювати методи управління активним захистом від корозії;

– розробляти засоби дистанційного контролю, в основу яких повинні бути покладені оцінки корозійного стану елементів конструкцій машин і принципи відповідності ефективності захисних заходів корозійним ситуаціям, що виникають у процесі експлуатації.

Комплексний захист техніки від корозії, старіння і біопшкоджень повинен передбачати розумне поєднання методів впливу на об'єкт і середовище. Ускладнення і різноманітність методів комплексного захисту призводить до їх подорожчання і повинне мати достатнє обґрунтування.

Загальним повинен бути таким принцип: спрощення методів і вибір найбільш оптимального варіанта їх використання.

Для попередження корозійних процесів в агресивних середовищах необхідно:

– виключати операції, що ведуть до зміни складу агресивних середовищ, тому що матеріал не розрахований на підвищення агресивності середовища;

– передбачати контроль сталей на їхню схильність до міжкристалітної корозії;

– контролювати режими зварювання термообробки в умовах експлуатації і ремонту, своєчасну заміну елементів конструкцій.

Захист від корозії в природних умовах

Захист від корозії в атмосферних умовах

Процес корозійного руйнування в умовах впливу факторів навколишнього повітряного середовища прийнято називати атмосферною корозією.

Атмосферна корозія – найбільш розповсюджений вид корозії, що наносить суттєвий збиток народному господарству.

Зараз актуальним є удосконалення методів захисту, насамперед, від корозії.

Під час експлуатації машин, устаткування, будівель незворотнім є зволоження та забруднення їх поверхонь, що є першопричиною виникнення та розвитку атмосферної корозії.

Утворення плівкової вологи на металоконструкціях залежить від таких факторів:

– відносної вологості повітря (%);

– температури поверхні металу;

– атмосферних опадів (якщо устаткування експлуатується на повітрі);

– наявності в атмосфері гігроскопічних продуктів;

– реального стану поверхні та пористості матеріалу.

У повітрі завжди є присутньою водяна пара, кількість якої називають абсолютною вологістю (г/м^3).

Вологий стан повітря визначають за такими параметрами, як:

- тиск водяної пари;
- відносна вологість.

Прилюбій вологості частка води з повітря переходить на поверхню конструкції за рахунок сорбції. У сухому повітрі адсорбційний шар вологи співрозмірний з товщиною молекулярного шару води. Якщо вологість повітря збільшується, то товщина шару вологи на поверхні збільшується і може досягати 1 мкм і більше.

Атмосферну корозію, що відбувається під молекулярним шаром аологи (до 10 нм), називають сухою атмосферною корозією.

Цей вид корозії характерний поверхневим окисненням металу за хімічною взаємодією якого-небудь реагента у газоподібному стані. Наприклад, кисень повітря взаємодіє з поверхнею металу (потьямніння нікелевих, цинкових, олов'яних покриттів, латунних виробів, почорніння мідних або срібних покриттів).

Окисні плівки внаслідок «сухої корозії» утворюються на металах протягом перших 2-3 годин. У подальшому потовщення їх практично не спостерігається. Товщина шару окислів на сталевих і мідних поверхнях становить 3- нм, на алюмінієвих сплавах, корозійностійких сталях і срібних виробках – 1...2 нм.

Процеси сухої корозії не виявляють суттєвого впливу на працездатність навіть при вмісті у повітрі незначної кількості агресивних речовин. Наприклад: почорніння срібних контактів приладів викликає збільшення електричного опору не більше 3%.

Відносна вологість при цих умовах становить 30-50%. Ці цифри досить орієнтовні, тому що залежать від стану поверхні. Якщо вологість збільшується, збільшується і товщина плівки води. Адсорбційні процеси на поверхні переходять до капілярної взаємодії, вода перетворюється в електроліт і процес корозії інтенсифікується.

У таких умовах розпочинається «волога» корозія. Оптимальний розмір пор для капілярної конденсації 10...1000 нм. Її стимулюють:

- шорсткість поверхні;
- забруднення поверхні твердими частками.

Інтенсифікація «вологої» корозії відбувається при вологості більше 70...75%. Ці значення вологості вважаються критичними. Тобто, атмосферна корозія при вологості у межах 70% відбувається не за хімічними реакціями, а за електрохімічними.

Довготермінова експлуатація устаткування в умовах 70...80% вологості, як правило, призводить до значних корозійних руйнувань.

Атмосферну корозію при вологості більше 98% називають «мочною» корозією. Моделюється така корозія зануренням металу в електроліт.

При експлуатації машин і споруд практично важко розмежувати «суху», «вологу» і «мочною» корозію, тому, що обволожування поверхні постійно змінюється. Крім того, на інтенсивність корозії впливає, і досить значимо, забруднення поверхні, яке підвищує корозійну активність плівок вологи на металі.

Забруднення поділяють на 2 групи: органічного походження; неорганічного походження.

Перші попадають на поверхні ззовні, другі – або ззовні, або виникають внаслідок взаємодії середовища з матеріалом поверхні.

Водорозчинні забруднення збільшують електропровідність плівок вологи. Мало розчинні, (окалина) створюють умови для існування факторів біопошкоджень.

Забруднення повітряного середовища відбувається внаслідок функціонування промислових об'єктів через:

- недосконалість вузлів устаткування;
- негерметичність роз'ємних з'єднань;
- випадкового проливання технологічних рідин;
- розгерметизації комунікацій технологічного призначення;
- наявності дефектів у конструкційних матеріалах;
- аварійні ситуації в хімічній і будівельних галузях через порушення правил експлуатації устаткування і техніки безпеки, викиди неповністю нейтралізованих газів і рідин.

У промислових районах повітря забруднене різноманітними хімічними сполуками. Особливо небезпечні з них сірчані сполуки, хлор, хлористий водень, окисли азоту, сполуки фтору, різноманітні аерозолі.

Всі ці хімічні сполуки активізують процеси корозії та старіння. Агресивні гази суттєво впливають на хімічний склад атмосферних опадів, тому що ефект їх поглинання середовищем надзвичайно низький.

Тверді частки виділяються при згоранні палива (дим), забруднюють атмосферу продукти технологічних виробництв (мінеральні добрива, цемент, сіль, вугілля тощо).

Особливості корозії і захисту у замкнутому просторі і з обмеженим обміном повітря

Розвиток процесів корозії залежить від умов експлуатації і зберігання техніки. Ізоляція виробів від контакту з ґрунтом дозволяє значно зменшити процеси рівномірної і точкової корозії сталі. Глибина руйнування сталі з контакту з ґрунтом становить приблизно 0,5 мм/рік. При ізоляції вона зменшується майже у 5 разів.

В умовах зберігання техніки у неопалюваних приміщеннях (при ліквідації впливу атмосферних опадів) її вдається зменшити ще на порядок, тобто, до значень, які практично не впливають на довговічність виробів.

Процеси корозії при відсутності захисту від атмосферного впливу протікають більш інтенсивно. Корозійні язви стають концентраторами напруг і зменшують міцність металу на втому, а також його опір до зношування.

Обмеження атмосферних впливів за допомогою обладнання навісів або використання закритих приміщень у поєднанні з консервацією виробів при

зберіганні (нанесення тимчасових воскових покриттів) дозволяє забезпечувати вихідні для даного матеріалу значення міцності на втому і стійкості проти спрацювання.

При зберіганні машин, конструкцій і механізмів розрізняють три його види: міжзмінне, короткочасне, довготривале.

На міжзмінне зберігання ставлять машини, неробочий період яких менше 10 днів, на короткочасне – 10...60 днів, на довготривале – більше 2 місяців.

Машини зберігають трьома способами:

- на відкритих облаштованих майданчиках;
- під навісами;
- в закритих приміщеннях.

Місце зберігання машин, агрегатів, деталей розміщують на віддалі не менше 50 м від житлових, складських і виробничих приміщень, не менше 150 м від пожежонебезпечних місць, і поряд (100 м) від ремонтних цехів. Необхідно враховувати загрозу вітрів і забезпечувати захист від снігових заметів.

Майданчики покривають бетоном або асфальтом (ліквідація контакту з ґрунтом).

Зняті з устаткування вузли треба зберігати в ізольованих одне від одного приміщеннях:

- приміщення для електролітичних батарей;
- приміщення для виробів з гуми;
- приміщення для решти вузлів.

Температурний і вологий режим: +5...+30°C (для гуми +5...+15°C).

Вологість 60...70%.

Захист від корозії в землі та ґрунтах

Земля являє собою зовнішній шар гірських порід, що природньо формується внаслідок протікання одночасних процесів вивітрювання гірських порід і землеутворення, обумовленого діяльністю мікроорганізмів і рослин.

Потужність земельного шару невелика, всього до 2 м.

Ґрунт – це гірські породи, розташовані нижче зони життєдіяльності більшості мікроорганізмів і рослин, що не піддаються вивітрюванню. Між землею і ґрунтом немає чіткої межі. Тому що вологу землю і ґрунт можна вважати провідником струму 2 роду, тобто, електролітом, то процес корозії металу у землі і ґрунті можна розглядати, як електролітичну корозію.

Підземна електрокорозія металу це його руйнування внаслідок взаємодії з корозійним середовищем (розчином ґрунтового або земельного електроліту), причому, швидкість корозії залежить від електродного потенціалу. При електрохімічній корозії обов'язково спостерігається протікання струму.

Для підземних споруд, безпосередньо в землі або ґрунті, характерні такі види підземної корозії:

1. Підземна корозія – корозія в землі і ґрунтах, викликана електрохімічними мікро- та макропорами, що виникають на металі у точках його контакту з корозійним середовищем, що відіграє роль електроліту. Корозійні пари виникають при неоднорідності металу споруди, неоднорідності структури землі або складу електроліту, різниці температур, вологості та повітряної проникності землі за трасою споруди.

2. Підземна біокорозія – викликана життєдіяльністю мікроорганізмів, що впливають на метал. Процес закінчується електрохімічною корозією.

3. Електрокорозія – корозія виключно металевих підземних споруд, викликана проникненням на споруду струмів з електрофікованих об'єктів (наприклад, з рейок електротранспорту або інших промислових електроустановок).

Вона має 2 різновиди:

- корозія блукаючими струмами;
- корозія зовнішнім струмом.

Взаємодія ґрунтового електроліту з металом поділяється на 2 процеси: анодний і катодний.

Анодний – якщо метал переходить в електроліт.

Катодний – якщо метал поглинає надлишок електронів з електроліту.

Захист підземних споруд від підземної корозії можна розділити на:

- пасивний (ізоляція споруд від контакту з ґрунтом);
- активний (створення захисного потенціалу споруди по відношенню до навколишнього середовища).

Ізоляція споруд здійснюється:

- вибором відповідної консирукції захисного покриття;
- раціональним вибором трас підземних споруд;
- використанням спеціальних способів прокладання комунікацій (у колекторах, тунелях, каналах тощо).

Необхідно, по можливості, уникати прокладання трас в агресивних ґрунтах, через звалища сміття, промислових відходів, через райони, де наявні стічні води промислових і комунальних підприємств.

Для зменшення впливу блукаючих струмів необхідно:

- відносити трасу споруди на віддаль більше 500 м від залізниці (якщо змінний струм) більше 100 м (постійний струм);
- зводити до мінімуму перетин спорудою заліниць.

Покриття для захисту від корозії повинні:

- мати високі діелектричні властивості;
- бути суцільними;
- мати добру адгезію до металу;
- бути еластичними і достатньо міцними для даних умов експлуатації;
- стійкими до кліматичних впливів;
- бути біостійкими;
- не мати компонентів, що негативно діють на метал споруди.