

Лекція 8

ВТОМНЕ, КОРОЗІЙНЕ, КАВІТАЦІЙНЕ, ЕРОЗІЙНЕ, ВОДНЕВЕ ТА ЗНОШУВАННЯ ПРИ ФРЕТІНГ-КОРОЗІЇ

План

- 8.1. Втомне зношування
- 8.2. Корозійне зношування
- 8.3. Кавітаційне зношування
- 8.4. Ерозійне зношування
- 8.5. Зношування при фретінг-корозії
- 8.6 Водневе зношування

8.1. Втомне зношування

Втомне руйнування виникає в деталях при терті кочення і є результатом інтенсивного руйнування поверхневих шарів металу, які знаходяться в особливих умовах напруженого стану. Основні характеристики і розвиток втомних пошкоджень визначаються процесами повторної пластичної деформації, зміцненням і зменшенням міцності поверхневих шарів, виникненням залишкових напружень і особливими явищами втоми. Руйнування поверхонь при втомних пошкодженнях характеризується виникненням мікротріщин, одиничних і групових впадин. При цьому виді руйнування швидкості процесів, які зумовлюють явища втоми металів, перевищують швидкості інших процесів, що протікають на поверхнях тертя, тому процес втомного руйнування стає переважаючим.

Існують граничні величини тисків, за яких повторне багатократне прикладення зовнішнього навантаження викликає характерні зміни тонкої структури, що призводить до втомного руйнування.

Втомне руйнування спостерігається в деталях підшипників кочення, зубчастих колесах, при роботі пари ролик–шайба і багатьох інших парах, де має місце тертя кочення і кочення з ковзанням.

При певній величині проковзування втомне руйнування не розвивається, і залежно від умов ковзання виникає відповідний вид зношування.

Втомне зношування металевого антифрикційного шару підшипників ковзання вперше було помічено в 1918 на бабітових шатунних підшипниках V- подібних авіаційних двигунів у вигляді тріщин невідомої тоді природи. Як серйозна проблема питання про опір втомі підшипникових сплавів виникло на початку 30-х років 20 століття у зв'язку з експлуатацією автомобільних дизелів і швидким розвитком дизелебудування. Зростання швидкостей ковзання на шийках колінчастих валів і навантажень на підшипники потребувало дослідження і застосування нових матеріалів підвищеної міцності. Однак і в сучасній практиці існує проблема підвищення довговічності підшипників, на які припадає найбільший процент виходу з

ладу.

Втомне зношування антифрикційного шару відбувається в підшипниках, що підлягають тривалому навантаженню змінними за напрямком і величиною зусиллями. Принциповим для цього достатньо змінності одного з факторів. Наявність рідинного зношування не є перешкодою процесу. Втомні тріщини беруть початок на поверхні тертя і входять, звужуючись, у глибину шару. Розвиваючись по довжині, дрібні тріщини утворюють сітку на окремих обмежених або великих ділянках поверхні. Розкриття тріщин відбувається під дією пульсуючого тиску мастила. На пізнішій фазі тріщина, досягнувши основи антифрикційного шару, змінює свій напрямок, розповсюджуючись по стику між шаром і основою. У результаті окремі ділянки поверхневого шару відокремлюються в решти шару, а потім викришуються. Велику роль у відокремленні частинок відіграє змащувальний матеріал, який, просякнувши в тріщину, немов підриває метал над нею. Іноді тріщина не доходить до стику і просувається поблизу нього і паралельно йому. Викришування крупних кусків шару може супроводжуватися поверхневими виразками.

Опір втомі антифрикційного шару залежить від режиму роботи і конструкції підшипника, антифрикційного матеріалу, фізичних властивостей з'єднання шару з основою, жорсткості вала та ін. Недостатня жорсткість вала, корпусів і кришок підшипників може стати причиною перекосів цапф відносно підшипників і концентрації навантажень біля країв. Результатом підвищеного крайового тиску на підшипниках може бути тріщиноутворення або пластичний зсув м'якого сплаву. Конусність і овальність шийок, неправильна геометрія форми і невідповідність розмірів вкладишів (особливо тонкостінних) часто служать причиною перенапруження антифрикційного шару.

Чим більший тиск, чим більша амплітуда переміщення до стичних поверхонь, чим швидкохідніша машина, тим швидше вичерпується витривалість підшипникового матеріалу. Швидкість зростання навантаження відіграє важливу роль. Опір втомі високооолов'яних бабітів у парових поршневих машинах при важких навантаженнях вище, ніж у дизелях, які мають більші швидкості прикладання тиску.

Досить значний вплив має робоча температура підшипника на опір втомі, причому цей вплив проявляється як безпосередньо, так і через температурні напруження. Звичайна робоча температура підшипників транспортних дизелів 80...100°C, але є двигуни, в яких температура підшипників досягає 150°C. З підвищенням температури зменшуються всі показники механічної міцності,

особливо у бабітів: при температурі 100°C вони зменшуються приблизно в 2 рази в порівнянні з показниками за нормальної температури. Порівняно невелике число повторних нагрівань і охолоджень у вказаному інтервалі

температури призводить іноді до появи тріщин у бабіті поблизу стику з основою вздовж по колу. Утворення тріщин або можливий наклеп сплаву в результаті циклічних термічних напружень несприятливо відображається на опорі втоми. Ці напруження можна зменшити, застосовуючи бронзовий вкладиш, а при алюмінієвому вкладиші вони майже зникають.

Олово, кадмій і цинк з гексагональною будовою кристалів володіють помітною анізотропією термічного розширення. Нерівномірність термічного розширення в різних кристалографічних напрямках не дає можливості кожному кристалу в полікристалі вільно розширюватися при підвищенні температури. Це створює основу для утворення залишкових напружень і пластичної деформації. Досліди показують, що після повторного нагрівання електрополірованих олов'яних зразків поверхня набуває шорсткості як у підшипників на олов'яній основі, що свідчить про наявність зсувів усередині матеріалу. В зразках кадмію пластична деформація проявляється у вигляді тонких ліній зсуву, число яких зростає зі збільшенням числа циклів нагрівання і в міру збільшення інтервалу температури. Фактор анізотропії термічного розширення є важливим в зменшенні опору втоми сплаву.

Опір втомі бабітів на олов'яній основі тим більший, чим більший вміст міді і сурми, але при цьому підвищується крихкість і погіршуються антифрикційні властивості сплавів. Свинець в олов'яних бабітах є шкідливою домішкою. Уже при 0,5% Pb утворюється багата свинцем з низькою температурою плавлення фаза у вигляді сітки. Руйнування сітки призводить до викришування основних структурних складових. Сплави на кадмієвій основі в особливо важких умовах працездатніші, ніж олов'яні й свинцеві бабіти. Ще більшу опірність втомі мають мідно-свинцеві сплави при порівняно великій товщині шару (більше 2 мм).

Свинцеві бронзи із сіткою свинцю в мікроструктурі володіють високими антифрикційними властивостями, але недостатнім опором втомі. Олово, нікель і срібло в якості легуючих домішок служать для регулювання структури. З підшипникових матеріалів найбільший опір втомі має срібло.

Дуже негативним явищем у парах тертя є утворення тріщин термічного походження. Розтріскування поверхонь тертя в результаті дії температури спостерігається, наприклад, на бандажах залізничних коліс і чавунних барабанах гальмівних механізмів, гальмівних колодках, у плоских антифрикційних парах тощо. Утворення тріщин підвищує зношування поверхонь тертя: гострі кромки виконують різальну дію, а поблизу кромки відбувається викришування матеріалу. Тріщини з часом забиваються продуктами зношування, що діють як абразив. Вихід радіальних тріщин на циліндричну поверхню кілець контактних ущільнень валів, що обертаються, порушується герметичність. Основним способом боротьби з терморозтріскуванням є правильний вибір матеріалів. Чим вища температуропровідність матеріалу, чим менше температурне розширення, чим пластичніший матеріал, тим менша вірогідність утворення в ньому

тріщин. Схильними до температурного розтріскування є крихкі матеріали і матеріали, які мають малу температуропровідність – скло і кераміка, тверді сплави, загартовані сталі, сплави з великим умістом нікелю або вісмуту, які мають невисоку твердість, але володіють низькою теплопровідністю. Мало підлягають розтріскуванню вуглеграфіти, полімери типу ТТРЕ (політетрафторетилен) не підлягають розтріскуванню. Додатковими заходами боротьби з температурним розтріскуванням поверхонь тертя є їх висока точність, якість обробки і ретельне їх припрацювання.

8.2. Корозійне зношування

Корозією називають процес руйнування поверхні металу при хімічній або електрохімічній дії навколишнього середовища. Приклади корозійного руйнування металів різноманітні, бо чиста металева поверхня легко піддається хімічному впливові середовища.

Однак якщо в процесі корозії продукти її утворюють міцно зв'язану плівку, яка ізолює поверхню від корозійного середовища, то метал стає пасивним відносно нього. Процес штучного утворення тонких окисних плівок на поверхні металу для захисту його від корозії і надання виробу кращого вигляду називають пасивацією. Здатність до пасивації мають залізо, нікель, хром, алюміній та інші матеріали.

Хімічна корозія протікає при взаємодії металів із сухим газом, парою і рідкими неелектролітами. Цьому виду корозії підлягають циліндри двигунів, випускні клапани, камери згорання газових турбін, елементи парових котлів, арматура печей і т.п. Серед процесів газової корозії, як одного з різновидів хімічної, найчастіше зустрічається окислення металу при високих температурах за рахунок кисню, повітря або CO_2 , O_2 у продуктах згорання палива.

На поверхні вуглецевої сталі газова корозія проявляється у вигляді плівок окислів уже при температурі 200...300°C. З підвищенням температури приблизно до 600°C у зв'язку з утворенням під дією внутрішніх напружень тріщин у захисній плівці швидкість корозії зростає. При загальному підвищенні температури швидкість корозії швидко зростає й утворюється окалина.

Досліди з утворенням окислів на чавунах у різних газових середовищах показали, що швидкість корозії при зростанні температури від 500 до 800°C збільшується в сухих газах в 11...13 разів, а у зволжених – у 20 разів.

На алюмінії і його сплавах захисна плівка швидко досягає найбільшої товщини при температурі 300...600°C, припиняючи процес газової корозії.

Електрохімічна корозія протікає при дії на метал рідких електролітів. Електрохімічна корозія зумовлена неоднорідністю металу в контакті з електролітами.

В деяких машинах можна спостерігати щілинну корозію, при якій корозійне пошкодження зосереджується в зазорі між поверхнями. Зазором

можуть бути щілини між листами, в спряженнях і стиках, зони тріщин у металі, а також щілини між притертими до поверхні сторонніми речовинами. Малодоступні для кисню або електроліту ділянки поверхні металу в зазорі або щілині стають анодом відносно решти поверхні, куди кисень або електроліт має вільний доступ і які стають катодом.

Щілинній корозії підлягають навіть метали, стійкі до інших видів корозії, завдяки утворенню на їх поверхнях плівок, які мають високі захисні властивості.

Пил, навіть хімічно неактивний, осідаючи на незахищену металеву поверхню або знаходячись під шаром мастильного матеріалу, викликає корозію.

Газова корозія, як електрохімічна, не є видом зношування. Корозія може проявлятися навіть при кавітаційному руйнуванні й фреттінг-корозії, в багатьох випадках протікає паралельно з ерозією, завжди її пом'якшує процес тертя, особливо тертя без змащувального матеріалу.

Корозія робочих поверхонь деталей в непрацюючих машинах зменшує зносостійкість пар тертя із таких причин:

- у непрацюючих парах тертя погіршується якість поверхні й після пуску машини знову починається процес припрацювання;
- продукти корозії діють як абразив;
- спрацювання (руйнування і витіснення) продуктів корозії, яке відбувається за дуже короткий проміжок часу, пов'язане з швидкою зміною лінійних розмірів деталей в небажаний бік.

При атмосферній корозії відбувається інтенсивне насичення воднем сталей. У сталі, насиченої воднем, спостерігається різке зниження опірності механічним навантаженням і зносостійкості. Інтенсивність насичення воднем при атмосферній корозії залежить від вологості, забруднення повітря промисловими газами, наприклад H_2S .

Корозія металу в тому чи іншому середовищі може відбуватися незалежно від того, є тертя чи немає. Сумісна дія корозії, навантаження і механічного зношування підсилює інтенсивність руйнування поверхонь деталей. Бувають випадки, коли корозія стає активною лише завдяки тертю в спряженні деталей.

У циліндропоршневій групі двигунів внутрішнього згорання спостерігається корозійно-механічне зношування. Поршневі кільця і циліндрові втулки (гільзи) двигунів, виготовлені із ливарних чавунів, за наявності електроліту утворюють гальванічні пари, які одне з одним, так і між структурними складовими чавуну – перлітом, графітом, фосфідною евтектикою, а всередині перліту – між цементитом і феритом. Окрім того, внаслідок нерівномірності температури утворюються анодні ділянки в областях з інтенсивнішим опроміненням.

Згорання в циліндрах дизелів палива з підвищеним умістом сірки збільшує інтенсивність зношування поршневих кілець і циліндрових втулок в 3–4 рази, а іноді й більше. Сірка згорає, утворює SO_2 і лише близько 7% її

іде на утворення SO_3 у результаті каталітичного окислення SO_2 . Сірчаний ангідрид SO_3 з водяними парами продуктів згорання утворює сірчану кислоту. Вплив сірки на корозію пов'язаний з явищем конденсації H_2SO_4 , випаданням у конденсат концентрованої сірчаної кислоти. Одним із методів зменшення інтенсивності зношування в цьому випадку є нейтралізація кислот за допомогою лужних добавок у змащувальне масло, які випали на стінки. Є ряд емульсійних циліндрових масел, що зменшують інтенсивність. Зношування циліндро-поршневої групи при роботі двигуна на паливі з підвищеним умістом сірки, але використання деяких з них супроводжується з підвищенням кородуючої здатності картерного масла відносно антифрикційного металу підшипників унаслідок потрапляння в картер циліндрового масла.

При згоранні в двигунах бензину поряд з водяною парою утворюються двоокис вуглецю, окисли сірки, азоту і з'єднання бромів або хлору (що виділяються з тетраетилсвинцю, який входить до складу палива в якості антидетонатора). Внаслідок взаємодії з водяною парою ці продукти утворюють кислоти – вугільну, сірчану, азотну й азотисту, бромистоводневу, соляну, які в основному виносяться з циліндра з відпрацьованими газами.

Проблема корозії підшипників виникла після впровадження в швидкохідні двигуни антифрикційних свинцевих, мідно-свинцевих і кадмієвих сплавів. Антифрикційні сплави певною мірою кородують під впливом органічних кислот, які є в маслах або які утворюються в них під час роботи. Масла, окислюючись, дають перекиси, які викликають реакції, що закінчуються утворенням органічних кислот. Дія останніх на олов'яні бабіти є порівняно слабкою, і значно сильнішою є на свинцево-миш'якові сплави і свинцеві бабіти. За деякими даними корозійна стійкість мідно-свинцевих і кадмієвих сплавів була вирішена при використанні антикорозійних присадок до мастил. Ці присадки являють собою органічні речовини, в яких містяться сірка і фосфор. Пасивація поверхні підшипника відбувається в результаті утворення на ній захисних плівок, наближені до металу шари якої пов'язані з ним хімічно, а наступні шари утримуються силами фізичної адсорбції. Плівки в процесі спрацьовуються (руйнуються) і відновлюються. Для кожної пари сплав – присадка існує певний температурний інтервал, в якому присадка найефективніша. Для більшості присадок він складає $80 \dots 120^\circ\text{C}$. За більш низьких температур корозійний процес випереджає утворення плівки, а при вищій температурі підсилюється дифузія через плівку агресивних інгредієнтів масла.

Особливому різновиду корозійно-механічного зношування підлягають робочі органи технологічного обладнання харчової та переробної промисловості для переробки сировини, що містить жирні кислоти. До таких машин відносяться, наприклад, шнекові преси для виробництва олії, машини для різання, подрібнення, розпилювання і перемішування сировини на м'ясопереробних підприємствах тощо.

Жирні кислоти, поверхнево-активні речовини, з них олеїнова і стеаринова, які у великій кількості вводять до складу рослинних масел і тваринних жирів, проявляють високу активність. Адсорбуючись і проникаючи в мікро- і субмікротріщини металевої поверхні, поверхнево-активні речовини пом'якшують поверхню, полегшують пластичне деформування в тонкому поверхневому шарі. Справа може дійти до втрати міцності і розривів під дією сили тертя. Це доповнюється корозійною дією кислот. Дослідження деталей шнек-пресів, які використовувалися для виготовлення олії соняшнику, показало, що робочі поверхні деталей, які контактували лише з мезгою і маслом, стають полірованими при значному їх зношуванні. Шорсткість робочих поверхонь зменшується з $R_z=0,32 \dots 0,16$ мкм. Зношування протікає у вигляді відшарувань.

У ході технологічних процесів на підприємствах харчової, хімічної, інших галузей промисловості для перекачування кислих і лужних вод, вод з різним умістом солей і зважених частинок широко використовують відцентрові водяні насоси. Для захисту від корозії вали відцентрових насосів облицьовують захисними втулками із бронзи, сталі або чавуну, що працюють у парі тертя із сальниковою набивкою. Якщо матеріал захисних втулок не сприяє утворенню міцних плівок, то зношування буде корозійно-механічним, а інтенсивність його буде залежати від агресивності води. При транспортуванні жомових вод на цукрових заводах середній знос втулок складає $0,23 \dots 0,26$ мкм на 1000 м шляху ковзання, в той час як при транспортуванні річкової води знос захисних втулок складає лише $0,019 \dots 0,044$ мкм на 1000м шляху (при швидкості ковзання $3,38 \dots 4,13$ м/с).

8.3. Кавітаційне зношування

Кавітація означає порожнина. Кавітацією називають процес руйнування поверхонь деталей, які працюють у контакті з рідиною, що рухається зі змінною швидкістю. Кавітаційні руйнування мають локальний характер виражаються в утворенні місцевих заглибін і каверн.

Під кавітацією розуміють явище утворення в потоці рідини, що рухається по поверхні твердого тіла, порожнин у вигляді бульбашок (бульок) і “мішків”, наповнених парами, повітрям або газами, розчиненими в рідині, які виділяються з неї. Це явище зумовлене тим, що у швидкісному потоці рідини при його звуженні або за наявності перешкоди на його шляху тиск може впасти до значення, яке відповідає тиску пароутворення за даної температури. При цьому, залежно від опору рідини зусиллям на розтяг, може статися розрив суцільного потоку. Порожнини, що утворюються, заповнюються паром або газами, які виділяються з рідини. Повітря, що втягується в потік, полегшує виникнення кавітації. Парогазові бульбашки, що утворилися розмірами порядку десятих долей міліметра, переміщуючись

разом із потоком, потрапляють у зони високих тисків. Пара конденсується, гази розчиняються і в порожнину, що утворилася з великим прискоренням, потрапляють частинки рідини, відбувається відновлення суцільного потоку, що супроводжується ударом.

Кінозйомка показала, що кавітаційна бульбашка може вирости за 0,02 с до 6 мм в діаметрі й повністю зруйнуватися за 0,01 с.

При певних типах кавітації на площині в 1 см² протягом однієї секунди може утворитися і зруйнуватися понад 30 млн. кавітаційних бульбашок.

Кавітаційному руйнуванню підлягають трубопроводи, гідродвигуни, лопаті гідравлічних турбін і насосів, гребні гвинти, зовнішні поверхні циліндрів двигунів внутрішнього згорання і т.п.

Явище кавітації викликає вібрації, стукіт і струс, що призводить до розхитування кріпильних зв'язків, обривання болтів, зминання різи, руйнування ущільнень і втомного руйнування з'єднань.

Кавітація зменшує ККД машин і гребних валів і викликає безпосереднє руйнування поверхонь деталей у зоні її дії. Вона сприяє закупоренню розпилювачів форсунок двигунів внутрішнього згорання.

У процесі кавітаційного зношування суттєву роль відіграє корозія. Наприклад, у морській воді кавітаційне зношування набагато вище, ніж у прісній за таких же умов.

Попередити кавітацію можна, проектуючи гідромеханічну систему так, щоб у всіх точках потоку тиск не був нижчим тиску пароутворення.

Інтенсивність кавітаційного зношування залежить від температури, властивостей рідини і природи матеріалу деталей. Додавання у воду речовин, які утворюють емульсії (масла й емульгатори), зменшує поверхневий натяг і, відповідно, кавітаційне зношування. Воді температурою 50°C відповідає найбільша інтенсивність зношування.

Кавітаційна стійкість матеріалу визначається його складом і структурою. Підвищення вмісту С у вуглецевій сталі збільшує її стійкість, але, починаючи з 0,8% С, вона починає падати. Нікель і хром у сталі теж підвищують її стійкість.

Гартування з нагріванням СВЧ, цементація, поверхнєве зміцнення значно підвищують кавітаційну стійкість сталей. Те ж саме можна сказати і про покриття хромом. Латунь теж дуже стійка до кавітаційного зношування завдяки своїм властивостям. Добру кавітаційну стійкість мають гумові покриття.

При коливаннях твердого тіла відносно рідини або рідини відносно твердого тіла тиск у рідині на межі розподілу рідини і твердого тіла може впасти і викликати утворення кавітаційних бульбашок. Умови вібраційної кавітації (так іноді називають це явище) залежать від зовнішнього тиску на систему і насиченості рідини повітрям.

Вібраційну кавітацію можуть викликати звукові коливання, особливо ультразвукові. Звукові хвилі прискорюють окислювально-відновлювальні реакції, визначають внутрішньомолекулярні перегрупування речовин,

підсилюють диспергування, прискорюють процеси мийки і знежирення поверхонь і викликають коагуляцію дрібних частин. При вібрації не виключається кавітація в тонкому змащувальному шарі між поверхнями, яка може призвести до викришування матеріалу підшипників ковзання, зубів колес і поверхонь інших деталей.

Вібраційна кавітація проявляється, наприклад, і в двигунах внутрішнього згорання, особливо на зовнішніх поверхнях гільз у результаті їх коливань від ударів поршня. Знос від кавітації зовнішньої стінки гільзи може бути в 3...4

рази більшим, ніж знос внутрішньої поверхні від дії поршневих кілець. Велику небезпеку становить при цьому кавітаційне руйнування опірних поясів гільз і блока циліндрів, що призводить до проникнення охолоджувальної рідини в порожнину циліндра і картер двигуна.

8.4. Ерозійне зношування

Явище механічної ерозії металів було відомо в техніці як руйнування поверхонь деталей машин і механізмів під дією повторюваних багатократно ударів струменя рідини або газових потоків, які викликають місцеві пошкодження. Руйнування металів під дією електричних зарядів також відносять до ерозії.

Ерозію поділяють на газову, кавітаційну, абразивну й електричну. Кожен вид ерозії має підвиди.

Ерозійна дія високошвидкісного потоку рідини, газу або пари в чистому вигляді складається з тертя суцільного потоку і його ударів по поверхні. В результаті тертя відбувається розхитування і вимивання окремих об'ємів матеріалу. Швидкість зношування в цьому випадку мала. Динамічна дія потоку або струменя є порівняно більшою. Залежно від властивостей матеріалу можливі викидання окремих об'ємів або групи зерен із несприятливою орієнтацією стосовно прикладених сил. Рідина поводить себе подібно клину, розсуваючи бокові стінки мікротріщин.

Ерозія в початковий період на гладкій поверхні розвивається повільно, але після появи вражених місць посилюється. Швидкість ерозійного зношування залежить від властивостей твердих частин, їх концентрації, швидкості руху в потоці й ступеня агресивності води.

Ерозійному зношуванню підлягають сталі і чавунні поршневі кільця авіаційних двигунів, золотники гідравлічних агрегатів, підшипники гребних валів, що піддаються впливу води, поверхневі шари насосів, гідравлічних турбін, трубопроводів і їх арматури, центрифуг і т.п.

Ерозійне зношування в багатьох випадках було б слабкішим, якби не було в потоці сторонніх частинок. Лопатки ступенів низького тиску парових турбін за відсутності проміжного перегріву підлягають ударам крапельок води, які містяться в насиченій парі і мають швидкість потоку 300...400 м/с; не виключена також деяка роль хімічних явищ. Найкращий опір ерозійному зношуванню в цьому випадку показали лопатки із аустенітних сталей.

Якщо потік містить абразивні частинки, то зношування стає ерозійно-абразивним.

Ерозія і корозія дуже часто протікають сумісно. Корозійно-ерозійне зношування являє собою різновид корозійно-механічного зношування. Роль обох факторів залежить від співвідношення механічної і хімічної дій на матеріал.

Сумісну дію газової корозії й ерозії можна спостерігати, наприклад, у випускних клапанах високонапружених деталей двигунів і на входних кромках лопаток компресора газотурбінних двигунів. При заміні лопаток з алюмінієвих сплавів на сталені ерозійне зношування кромки лопаток стало неактуальним.

Поверхневий шар деталей насосів, центрифуг, сит, грохотів, гідравлічних турбін, трубопроводів і їх арматури та подібних деталей машин і технологічного обладнання розмивається потоком води, який містить абразив. Швидкість ерозійно-абразивного зношування залежить від властивостей твердих частинок, їх концентрації, швидкості руху в потоці й ступеня агресивності води.

Агресивність середовища вносить особливості в процес ерозійного зношування, тому не всі закономірності абразивного процесу є справедливі для ерозійно-абразивного зношування. В цьому випадку матеріали повинні мати корозійну стійкість і опір абразивній дії. Ступінь цих якостей повинна варіюватися залежно від впливу кожного фактора. Це ж необхідно враховувати і при корозійно-ерозійному зношуванні.

Гаряча газова ерозія пластичних мас і теплозахисних покриттів в останні роки отримали назву абляції. Це явище спостерігається, наприклад, під впливом аеродинамічного нагрівання при входженні балістичного снаряда в щільні шари атмосфери або під впливом високонагрітих відпрацьованих газів при роботі ракетних двигунів. Стійкість пластмас до абляції залежить від теплопровідності. На противагу металам пластмаси повинні мати низьку теплопровідність. Деталі, відлиті під високим тиском, краще чинять опір абляції в порівнянні з деталями, відлитими при низькому тиску.

8.5. Зношування при фретінг-корозії

Фретінг – це процес руйнування сильно контактуючих між собою поверхонь пар метал–метал або метал–не метал у результаті малих коливальних відносних переміщень. Для збудження фретінг-корозії достатньо переміщень поверхонь з амплітудою 0,25 мкм. Руйнування полягає в утворенні на поверхнях, що дотикаються, дрібних виразок і продуктів корозії у вигляді плям, порошку. Цьому виду зношування піддаються не

тільки вуглецеві, але й корозійностійкі сталі в парах тертя сталь–сталь (можуть бути як однойменні, так і різнойменні), сталь–олово або алюміній, а також чавун–бакеліт чи хром та інші.

Окислення у фретінг-процесі має специфічний характер, незвичний для умов нормального тертя, і протікає досить інтенсивно. Процес схоплювання, також різко виражений, спостерігається при контактуванні багатьох матеріалів. Значна інтенсифікація і схоплювання викликані динамічним характером навантаження, при якому на контакті різко збільшується градієнт деформацій і температур.

Фретінг-процес виникає при терті ковзання з дуже малим зворотно-поступальним переміщенням і динамічному навантаженні. Цьому виду руйнування підлягають різноманітні матеріали; він можливий при сухому терті і в умовах змащування.

Внаслідок малої амплітуди переміщень поверхонь контактування, пошкодження зосереджуються на невеликих ділянках дійсного контакту. Продукти зношування не можуть вийти із зони контакту, в результаті чого виникає високий тиск і збільшується їх абразивна дія на основний метал.

Таблиця 8.1

Стійкість матеріалів до фретінг-корозії за різних амплітуд коливань

Марка матеріалу нерухомого зразка	Втрата маси нерухомого зразка, мг, при амплітуді коливань, мм			
	0,03	0,08	0,15	0,3
Сталь 20	1	1,25	2,5	12,7
30ХГСА	0,5	1	1,7	9,0
18Х2Н4МА	1,8	2,1	2,0	9,1
Д16	0,4	1,4	3,5	7,7

Примітка. Матеріал рухомого зразка – сталь 30ХГСА.

Дослідження впливу амплітуди коливань поверхонь на ступінь пошкоджуваності металів при фретінг-корозії показали, що є приблизна лінійна залежність втрати маси металу від амплітуди. Виявилося, що при переході до амплітуди 0,3 мм зносостійкість сталей різко зменшується і наближається до лінійної залежності. Випробування проводили при частоті 1500 хв^{-1} , контактному тиску 12,5 МПа, без мастила (таблиця 8.1).

Підвищення контактного тиску при фретінг-корозії призводить до підвищення пошкоджень. Є дані, що між швидкістю, зношуванням і навантаженням існує прямо пропорційна залежність (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2

Залежність зношування від навантаження при фретінг-корозії

Марка матеріалу нерухомого зразка	Втрата маси нерухомого зразка, мг, при амплітуді коливань, мм			
	0,5	1	1,5	2
Сталь 20	7,5	9,4	12,5	16,5
30ХГСА	14,2	14,8	15,1	15,5
18Х2Н4МА	10,2	11,4	14,3	16,0
Д16	7,8	12,9	14,9	25,0

Примітка. рухомого сталі
Матеріал зразка 30ХГСА.

Дослідження впливу середовища на зношування при фретінг-корозії показали, що в сухому повітрі інтенсивність зношування значно вища, ніж при вологості повітря від 45 до 100%. Наявність пари води зменшує інтенсивність фретінг-корозії. В рідкій фазі інтенсивність зношування при фретінг-корозії набагато нижча, навіть у розчині їдкого натрію, не кажучи вже про дистильовану воду, втрата маси матеріалу була в кілька разів менша, ніж у середовищі атмосферного повітря.

Як і при інших видах зношування, немає універсальних засобів боротьби з фретінг-корозією. Якщо виходити з того, що взаємне мікрозміщення поверхонь не може бути виключене внаслідок пружності матеріалу, то для боротьби з фретінг-корозією слід: а) зменшити мікрозміщення; б) зменшити сили тертя; в) зосередити ковзання в проміжному середовищі.

Зменшити відносне мікрозміщення можна шляхом надання деталям відповідних конфігурацій або через підвищення сили тертя. Наприклад, застосування таких елементів розвантаження, як виточки в ступицях і підвісних конічних ступеях замість циліндричних підвищує границі витривалості валів і осей. Ці заходи зменшують не лише теоретичний коефіцієнт концентрації напружень, але й просковзування.

Сили тертя можна збільшити, підвищивши тиск шляхом зменшення площі дотику деталей або підвищивши коефіцієнт тертя за рахунок збільшення шорсткості поверхонь. Дієвим методом збільшення сили тертя є нанесення на поверхню електролітичного шару міді, олова, кадмію, срібла або золота.

Зосередження ковзання або перенесення його в проміжне середовище дозволяє зменшити питому силу тертя (як відомо, для цього достатньо

знизити тиск або зменшити коефіцієнт тертя). В умовах фретінг-корозії звичайні матеріали не впливають на коефіцієнт тертя, бо гранична плівка в процесі руйнування не відновлюється і швидко руйнується. Молібденіт у вигляді порошку або пасти зменшує пошкоджуваність, але з цього приводу є різні думки і тому цей захід не можна вважати універсальним. Аналогічно діють свинцеві білила або їх суміш з MoS_2 (молібденітом). Для зменшення сили тертя при фретінг-корозії застосовують фосфатування поверхонь або доцільно покривати їх парафіном. Свинцеві й індієві покриття при малому опорі зсуву відіграють роль твердих змащувальних матеріалів. Добрий опір фретінг-корозії чинять пари сталь–ПТРЕ або поліаміду, поліхлорвінілу. Дієвим заходом можуть стати гумові прокладки. Зменшити пошкодження від фретінг-корозії можна, збільшуючи твердість однієї з деталей. При збільшенні твердості сталі зменшується взаємне впровадження деталей, що знижує інтенсивність зношування. Окрім того, продукти зношування менші за розміром, їх абразивна дія слабкіша.

8.6. Водневе зношування

8.6.1. Вплив водню на поведінку металів в процесі їх експлуатації

Водневе зношування, як один з процесів руйнування поверхонь при терті ковзання, встановлене всього лише 15 – 20 років тому А. А. Поляковим і автором, проте з цього питання вже опубліковано декілька книг [17, 19] і близько 100 журнальних статей. За кордоном явище водневого зношування при терті ковзання знаходиться в початковій стадії вивчення.

Із всіх видів руйнування поверхонь при терті ковзання, відомо, що водневе зношування найважче піддається вивченню, не дивлячись на те, що воно проявляється у вузлах тертя машин різних галузей техніки і по широті прояву може бути порівнянне з абразивним зношуванням. Процеси, що відбуваються при водневому зношуванні, знаходяться на стику таких областей науки, як електрохімія, органічна хімія, каталіз, хімія полімерів і змащувальних матеріалів, механохімія та ін.

Водневе зношування залежить від концентрації водню в поверхневих шарах деталей, що труться. Він виділяється з матеріалів пари тертя або з навколишнього середовища (змащувального матеріалу, палива, води та ін.) і прискорює зношування. Водневе зношування обумовлене наступними процесами, що відбуваються в зоні тертя:

- інтенсивним виділенням водню при терті в результаті трибодеструкції водневовмісних матеріалів, що створює джерело безперервного проникнення водню в поверхневий шар сталі або чавуну;
- адсорбцією водню на поверхнях тертя;

- дифузією водню в шар, що деформується, сталі, швидкість якої визначається градієнтами температур і напруги, що створює ефект накопичення водню в процесі тертя;
- особливим видом руйнування поверхні, пов'язаного з одночасним розвитком великого числа зародків тріщин по всій зоні деформації і афектом накопичення водню, характерним для руйнування, є миттєве утворення дрібнодисперсного порошку матеріалу.

У технічній літературі протягом багатьох років публікуються результати численних досліджень по впливу водню на зниження об'ємної міцності матеріалів, особливо при дії циклічних навантажень.

Область прояву водневого зношування вельми обширна. Практично всі поверхні сталевих і чавунних деталей, що труться, містять підвищену кількість водню і, отже, схильні до підвищеного зношування. Наявність в повітрі пари води створює сприятливі умови для водневого зношування, не говорячи вже про розкладання в зоні контакту змащувального матеріалу, палива або пластмаси.

Водневе зношування може бути викликане не тільки воднем, який утворюється при терті, але і воднем, який може утворитися при різних технологічних процесах. При виплавці чавуну в доменному процесі з вологи дуття утворюється водень, який і потрапляє в метал (такий водень називають біографічним). При термічній обробці, наприклад в результаті азотування (при дисоціації аміаку), водень, що виділяється, дифундує в сталь. Наводнювання сталевих виробів відбувається при електроосадженні кадмію, цинку, хрому і нікелю. Одним із способів усунення водню при гальванічних покриттях є термообробка виробів при температурі 200 °С.

Для видалення окалини, продуктів корозії сталеві вироби піддають витримці в кислоті. Занурення сталі в розчин кислоти приводить до розчинення заліза на анодних ділянках і виділення водню на катодних ділянках з одночасним проникненням водню в сталь. Ступінь наводнювання залежить від багатьох чинників: стани сталі і особливо наявність в розчині навіть нікчемних кількостей (слідів) сірки, фосфору, миш'яку, селену (званих «отруйниками»), які здатні уповільнювати реакції хімічної десорбції і, таким чином, збільшувати площу покриття воднем і власне адсорбцію. Тому на практиці вибір інгібітору повинен бути ретельно продуманий, інакше можливе підвищення абсорбції водню.

При фосфатуванні водень проникає в сталь. Необхідно регулювати у ванні зміст вільної кислоти і певних окислювальних агентів і тим самим знижувати кількість абсорбованого водню.

Атмосферна корозія металу може викликати абсорбцію водню в тому випадку, якщо вона протікає в промисловій атмосфері, що містить сірчистий ангідрид і кислоту сірчанокислу сіль.

Водень, що проник в сталь, при терті поступово дифундуватиме в поверхню і викликати її зношування.

8.6.2. Водневе зкрихчування та водневе руйнування поверхневих шарів металів деталей сполучень

Першою роботою, в якій встановлений вплив водню на зкрихчування сталі, є дослідження Пфейля, опубліковане в 1926 р.

Неймовірно було припустити, що при терті може виділятися дифузійно-вільний водень із змащувального матеріалу, пластмаси або води. При нормальному тиску і температурі водень з цих речовин не виділяється. При підвищених температурах в процесі трибодеструкції пластмаси або змащувального матеріалу водень також не виділяється при первинних процесах, він виділяється при вторинних процесах.

До останнього часу вважали, що при терті максимальна температура виникає на поверхні деталі, що треться. Відомо, що водень дуже легко дифундує під дією температурного градієнта в нагріті ділянки тіла. Цю властивість використовують для обезводнювання деталей після їх наводнювання, наприклад, при гальванічному хромуванні. Тому вважали, що при терті у разі підвищених температур процес наводнювання неможливий. Більш того, вважали, що наявний в деталі водень переходить із зони тертя. Такі деталі, як циліндри авіаційних двигунів, після хромування не обезводнювали.

Тільки останніми роками теоретично А. Ст. Кудінов, а потім експериментально В. Я. Матюшенко и Г. П. Шпеньков встановили, що при важких режимах тертя максимальна температура утворюється не на поверхні, а на деякій глибині. Це створює умови, при яких водень, якщо він буде адсорбований на поверхні деталі, під дією температурного градієнта дифундує в глиб поверхні, там концентрується і викликає зкрихчування поверхневих шарів, а отже, підсилює зношування.

Основні висновки, зроблені П. Коттерілом, по впливу водню на об'ємну міцність сталі зводяться до наступного:

- 1) водень істотно не впливає на пружні характеристики заліза і сталі;
- 2) при змісті водню до $0,1 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ твердість сталі не міняється, хоча межа міцності зменшується;
- 3) руйнуюча напруга знижується пропорційно зростанню концентрації водню;
- 4) характеристики пластичності (подовження і звуження) знижуються пропорційно підвищенню концентрації водню аж до $5 \text{ см}^3/100 \text{ г}$; при подальшому збільшенні змісту водню пластичність залишається на низькому рівні;
- 5) ступінь зкрихчування сталі під впливом водню зменшується з підвищенням швидкості деформації; при її гранично високому значенні (випробуванні на удар) водень не викликає зкрихчування сталі;
- 6) зкрихчування сталі під впливом водню виявляється в інтервалі температур $-100 \dots +100 \text{ }^\circ\text{C}$;

7) найбільший ступінь зкрихчування спостерігається при нормальній і декілька нижчій температурі;

8) для здійснення явища зкрихчування необхідна наявність напруги розтягу;

9) у присутності водню характер руйнування сталі змінюється;

10) замість типового для пластичного металу в'язкого руйнування спостерігається крихке руйнування (зазвичай шляхом обриву по площинах спаяності);

11) інтенсивність зкрихчування металу під впливом водню залежить від виду обробки; сталь особливо схильна до водневої крихкості в загартованому стані; вірогідність прояву водневої крихкості підвищується також в результаті наклепу;

12) водень викликає передчасне крихке руйнування високоміцних легованих сталей при статичному навантаженні;

13) водень не впливає на властивості металу в ненапруженому стані; видалення водню із сталі до її деформації забезпечує повне збереження пластичності; мабуть, для прояву водневої крихкості необхідна присутність водню, здатного дифундувати в процесі деформації;

14) якщо водень розподіляється за зразком нерівномірно, то області, багаті воднем, володітимуть найменшою пластичністю при випробуванні на розтяг, у цих областях почнеться передчасне руйнування.

Вказані особливості впливу водню на властивості сталі встановлені експериментально при виявленні впливу водню на об'ємну міцність сталевих деталей. Можна з великою достовірністю припускати, що ці положення в деякій мірі будуть справедливими для сталі в процесах тертя і зношування.

Не дивлячись на обширну літературу з описом експериментальних робіт, єдиної точки зору на механізм водневого зкрихчування немає. Це пояснюється численністю чинників, що впливають на цей механізм, складністю і недостатньою вивченою окремих елементарних фізико-хімічних процесів.

Розрізняють декілька видів водневого зкрихчування. Б. А. Калачев ділить їх на дві групи: зкрихчування першого роду, обумовлене джерелами, які є в початковому металі унаслідок підвищеного вмісту водню; зкрихчування другого роду, обумовлене джерелами, які розвиваються в металі з підвищеним вмістом водню в процесі пластичної деформації. Зкрихчування першого роду є зворотнім і посилюється з підвищенням швидкості деформації; зкрихчування другого роду розвивається при малих швидкостях деформацій і може бути як оборотнім, так і необоротнім.

Теорії водневого зкрихчування можна розділити на чотири групи:

1. Теорія тиску молекулярного водню, згідно якої зкрихчування є результат тиску молекулярного водню в макро- і мікропорожнинах, а також в тріщинах усередині металу. Тиск виникає в результаті молізації атомарного водню.

2. Адсорбційні гіпотези, що пояснюють зниження руйнуючої напруги унаслідок зменшення поверхневої енергії усередині тріщин при адсорбції водню (водень діє як поверхнево-активна речовина).

3. Теорія взаємодії водню з решітками металу; водень є різновидом дефекту, що знижує міцність когезійного металевого зв'язку.

4. Теорії, засновані на взаємодії водню з дислокаціями; водень проводить блокуючу дію на дислокації.

Для захисту металів від дії водню при підвищених температурах і тиску рекомендуються наступні методи:

- введення в сталь сильних карбідоутворювальних елементів (хром, молібден, ванадій, ніобій і титан) для стабілізації карбідної складової і попередження знеуглецювання сталі (процес знеуглецювання описується реакцією $\text{Fe}_3\text{C} \rightarrow 2\text{H}_2 \leftarrow 3\text{Fe} \rightarrow + \text{CH}_4$, відбувається своєрідна корозія сталі);

- плакування або футерування сталі металами, що мають нижчу водородопроникненість (наприклад, мідь, срібло, алюміній, сталь 08X13, 12X18H10T і ін.);

- зменшити зміст в сталях з'єднань сірки, сурми, селену та ін., які сприяють проникненню в метал водню.

М. Смілковський відзначає, що якщо підключити до мембрани позитивний електричний потенціал по відношенню до допоміжного електроду, то проникнення водню повністю гальмується. При підключенні негативного потенціалу близько 1000 В наводнювання збільшується у декілька разів. Водень проникає в метал переважно у вигляді протона.

Є речовини–добавки які сприяють проникненню в метал водню. Це можуть бути з'єднання сірки, сурми, миш'яку, селену, домішки сірководня та ін. Тому наявність вказаних речовин в сталі вкрай небажано.

Існують також інгібітори проникнення водню в метал. Багато полярних органічних сполук гальмують проникнення водню в метали при корозії і катодної поляризації. Так, дибензилсульфоксид при сильно негативних потенціалах катода відновлюється в дибензилсульфід і міцно адсорбується на поверхні металу. Механізм дії органічних інгібіторів проникнення водню полягає в тому, що при електролізі іони водню розряджаються на зовнішній поверхні адсорбованого шару органічних молекул, в результаті порушується безпосередній контакт іонів водню з поверхнею.

Водневе зношування не має загальних рис з водневим зкрихчуванням сталі, ні за джерелами наводнювання, ні по інтенсивності і характеру розподілу водню в сталі, ні по характеру руйнування. Водневе зношування пов'язане тільки з процесом тертя і обумовлене тертям. Для нього характерна висока локальна концентрація водню в поверхневому шарі сталі, що виникає із-за великих градієнтів температури і напруги при терті, яка обумовлює накопичення водню і особливий характер зростання тріщин, що приводить до суцільного руйнування шару сталі.

Водневим зношуванням є еволюційний процес, направлений на руйнування поверхонь тертя. Тертя створює умови для утворення дифузійно-здатного водню із змащувального матеріалу, палива, пластмаси, пари води і

інших матеріалів. Далі тертя забезпечує адсорбцію водню на поверхню деталі (сталевою або чавунною), що третється, шляхом створення ювенільних поверхонь. Тертя, завдяки деформації тонких поверхневих шарів, утворює гідридофільну зону на сталевій або чавунній поверхні деталі, яка своєрідно «вбирає» водень. В результаті тертя дифундуючий водень концентрується на деякій глибині від поверхні тертя, де розташовується максимум температури при терті. Глибина концентрації водню залежить від режимів тертя і матеріалів, що беруть участь в ній. Чим важче режим тертя, тим глибше знаходиться максимум температури. Всі вказані вище процеси відрізняють водневе зношування від водневої крихкості металів.

Останнім етапом водневого зношування є своєрідне руйнування сталевих поверхні. Під нею одночасно утворюються численні тріщини, які, зливаючись, можуть миттєво перетворити поверхневий шар деталі в порошок. При водневому зкрихчуванні утворюється і розвивається тільки одна тріщина, яка доводить до руйнування деталі. Як видимий, і тут є корінна відмінність водневого зношування від водневого окрихчування.

При водневому зношуванні концентрація водню під поверхнею настільки велика, що ніяке інше джерело наводнювання не може створити і десятої частки подібної концентрації.

Переважає більшість методів боротьби з водневим зношуванням не можуть бути використані для зниження інтенсивності водневого зкрихчування металів зважаючи на принципові відмінності цих явищ. Водневе зношування – явище самоутворююче; по складності і масштабам прояву воно перевершує явище водневого зкрихчування. В свою чергу, процеси водневого зкрихчування, а також схожі з ними процеси корозійного розтріскування сталей і сплавів вивчені більшою мірою (хоча і не до кінця). Це полегшує вивчення механізму руйнування сталі при водневому зношуванні.

8.3 Класифікація видів водневого зношування

Деякі типові ланцюжки фізико-хімічних процесів, ведучих до виникнення водневого зносу. Початком цих ланцюжків є трибодеструкція і утворення активних частинок – радикалів, інших термодинамічних нестійких частин молекул вуглеводнів і просто нестійких з'єднань з подвійними зв'язками, які легко утворюють нові хімічні сполуки як між собою, так і з металом поверхні. Ці процеси можуть відбуватися в результаті механодинамічного і термічної дії, а також каталітичного і електрохімічного впливу металу поверхонь тертя при їх взаємодії.

Подальший перебіг процесу можна розділити залежно від початкового матеріалу мастила (середовища) і умов перетворення на два напрями:

перше – коли крім утворення водню і інших з'єднань можуть утворюватися поверхнево-активні речовини (ПАВ), які тут же адсорбуються на поверхні, наприклад:

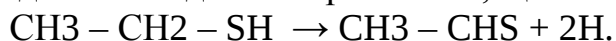
друге - коли ПАВ не утворює і активні центри адсорбції на поверхні залишаються вільними і можуть прийняти водень.

У третьому рядку схеми розглянуто три можливі випадки: перший – сумісна адсорбція ПАВ і водню. Власне адсорбується ПАВ, а водень проникає у поверхні в невеликих кількостях. В цьому випадку відбувається прискорення зносу залежно від ступеня покриття поверхні ПАВ. Чим менш щільне покриття, тим більше знос.

Проникаючий водень викликає тільки ВІДІС, оскільки він розсівається за об'ємом. Якщо ж температура в процесі тертя по яких або причинах виявиться вищою за температуру десорбції ПАВ або водень витісняє адсорбат з поверхні, то водень вільно адсорбується і, проникаючи в глибокі сталі, накопичуватиметься, викликаючи ВІРАЗ, - це другий випадок. Якщо ж ПАВ не утворюється, то ВІРАЗ виникає безперешкодно – це третій випадок.

Проте не виключено, що вже в першій стадії в процесі деструкції може відбутися виділення водню, наприклад, при попаданні води на поверхні тертя $\text{H}_2\text{O} + \text{Me} \rightarrow \text{MeO} + 2\text{H}$.

Або виділення водню з меркаптанів, що містяться в паливі:



Що стосується біографічного водню, то в результаті утворення гідрідофільного утворення в поверхневому шарі при терті цей водень мігрує в поверхневий шар. Швидкість міграції і градієнт концентрації його в гідрідофільній зоні залежить від градієнтів температур і напруги.

Як встановлено А. А. Поляковим, є два основні види зношування поверхонь сталевих і чавунних деталей під впливом водню: зношування диспергуванням і зношування руйнуванням.

Водневе зношування диспергуванням (ВІДІС)

При цьому виді зношування яких-небудь змін в поверхневому шарі деталей унаслідок звичайного зносу при диспергуванні не спостерігається. Водень підсилює (залежно від його кількості в поверхневому шарі) диспергування стали або чавуну. На поверхнях тертя немає задирів, помітного перенесення матеріалу з однієї поверхні тертя на іншу; вони можуть мати блиск і дуже дрібні подряпини, які не видно неозброєним оком і направлено уздовж напрямку руху.

При вивченні зносостійкості наводнених сталевих зразків (наводнювання проводилося електролітичним способом) встановлено, що при незначному наводнюванні зносостійкість зразків із сталі 45 декілька збільшується, а при подальшому наводнюванні падає.

Це пов'язано з тим, що при початковому наводнюванні декілька підвищується твердість сталі.

Мікротвердість збільшується в перший період (1,5 год) наводнювання, коли відбувається процес насичення стали воднем, що супроводжується зміцненням поверхневого шару. Далі мікротвердість при наводнюванні падає і стає менше початковою. Зменшення мікротвердості сталі при насиченні її воднем свідчить про розпушування її поверхневого шару, зниження зносостійкості.

Випробування зразків на зношування проводили на машині тертя ПМТ-1 при зворотно-поступальному русі. Спочатку випробовували ненаводнені

зразки. Нижній зразок (2х4х6 см) був із сталі 45, а верхній (0,5х1,5х3,5 см) з чавуну СЧ 21. Наводнювання проводили в 26 %-ому розчині сірчаної "кислоти по методиці, викладеній в роботі.



Рисунок 8.1 – Схема етапів водневого зношення

Дослідження показали, що інтенсивність зношування при наводнюванню спочатку може зменшитися на невелику величину, а надалі збільшитися на два порядки. Встановлено також, що при наводнюванні значно зменшується навантаження до заїдання сталевих зразків при терті з бронзою. Випробування проводили на машині тертя АЄ-5, в якій три сталеві зразки, розташовані під кутом 120° , стиралися об плоску сторону диска, що обертався. Масло подавали краплями в центральну частину диска. З приведенного графіка виходить, що найбільше падіння навантаження до заїдання відбувається після 4 – 5 годинного наводнювання.

Водневе зношування руйнуванням (ВІРАЗ)

Цей вид зношування має специфічну особливість: поверхневий шар сталі або чавуну руйнується миттєво на глибину до 1 ... 2 мкм. Це відбувається, коли поверхневий шар накопичує велику кількість водню. Раніше наголошувалося, що процес тертя створює умови високої концентрації водню в поверхневих шарах сталі. Тертя десорбує змащувальний матеріал, і водень отримує можливість зайняти більше число адсорбційних центрів на поверхні. Концентрація водню в сталі безперервно зростає. Водень потрапляє в зародкові тріщини, порожнини, міжкристальні межі і інші місця. При терті відбувається періодична деформація поверхневого шару, і об'єм дефектних місць (порожнин) змінюється. Водень молізується, що поступає в порожнині, і, не маючи можливості вийти назад при зменшенні об'єму, прагне розширити порожнину, створюючи високу напругу. Повторення циклу викликає ефект накопичення, що продовжується до тих пір, поки внутрішній тиск в порожнинах не призведе до руйнування сталі по всіх розвинутих тріщинах, що з'єдналися.