

УДК 621.7

В.Ю. Заблоцький, к.т.н., Н.О. Попова  
Луцький національний технічний університет

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЗНОШУВАНОСТІ ТА МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТОЙКОСТІ

У даній статті описані особливості процесу зношування типових видів вузлів і деталей машин. Висвітлені особливості руйнування і зміцнювання поверхонь. Представлені технології підвищення міцності і зносостійкості деталей.

**Ключові слова.** Зносостійкість, зношування, довговічність, міцність, обробка, зміцнення.

В данной статье описаны особенности процесса изнашивания типичных видов узлов и деталей машин. Освещены особенности разрушения и упрочнения поверхностей. Представлены технологии повышения прочности и износостойкости деталей.

**Ключевые слова.** Износостойкость, износ, долговечность, прочность, обработка, укрепление.

This article describes the features of the wear process of typical components and machine parts. Examining the characteristics of destruction and surface hardening. Presented technology to improve the strength and durability of parts.

**Keywords.** Wear resistance, wear, durability, strength, treatment, strengthening.

Промисловістю та сільським господарством щорічно витрачаються сотні тисяч тонн металу на виготовлення запасних частин і заміну деталей, що швидко зношуються. На ці операції затрачається велика кількість коштів, ресурсів і праці. При цьому знижується продуктивність машин і апаратів, збільшуються простоти агрегатів під час заміни зношених деталей. Отже, підвищення зносостійкості робочих поверхонь спряжених деталей і, тим самим, збільшення терміну служби є важливим науково-практичним завданням.

Зношування - це процес відділення матеріалу від поверхні твердого тіла та збільшення його залишкової деформації в процесі тертя, який проявляється у поступовій зміні розмірів і форми тіла. Зношування є складним процесом, що залежить від двох взаємопов'язаних факторів. З одного боку, процес зношування визначається умовами роботи деталі з урахуванням прикладених навантажень, швидкості переміщення, агресивності середовища та температури експлуатації, з іншого боку, він залежить також від здатності матеріалу деталі чинити опір дії навантажень, яка визначається його хімічним складом, особливістю термічного оброблення, структурою і отриманими в результаті цього механічними властивостями. Зміни розмірів, форми, об'єму або маси деталі, які відбуваються в процесі функціонування називаються зношеннем. Зношенню може бути лінійним або ваговим, виникати в результаті одноразового зрізання матеріалу або формуватися в процесі багаторазового деформування поверхневого шару. Під час зношування, руйнування матеріалу найчастіше спостерігається безпосередньо на поверхні деталі, хоча за наявності усталеного впливу може починатися під поверхнею деталі, погіршуєчи стійкість контактного шару. Величиною, оберненою до зношення, є зносостійкість матеріалу. Під зносостійкістю матеріалу розуміють таке поєднання його властивостей, яке дозволяє чинити опір дії навантажень, що призводять до зношування, в певних умовах протягом заданого часу.

Взаємодія поверхонь спряжених деталей відбувається шляхом утворення контактних зон, які в процесі функціонування можуть з'являтися та зникати під дією нормальних та тангенціальних сил утворюючи тим самим фрикційні зв'язки. Тертя має подвійну молекулярно-фізичну природу. Воно обумовлено об'ємним деформуванням матеріалу та подоланням міжмолекулярних зв'язків, що виникають між поверхнями тертя.

Умови роботи більшості деталей визначають наявність відразу декількох видів зношування, одні з яких призводять безпосередньо до руйнування поверхневого шару, а інші не викликають безпосереднього відділення частинок матеріалу, проте сприяють прискоренню даного процесу.

Систематизація умов роботи, що призводять до зношування деталей, дозволила класифікувати різні види впливу за трьома групами (Рис. 1).

Перша група об'єднує різновиди механічного зношування, що полягають в руйнуванні поверхневого шару в результаті механічної взаємодії з абразивом, газовим або рідинним середовищем або контактом з деталлю.

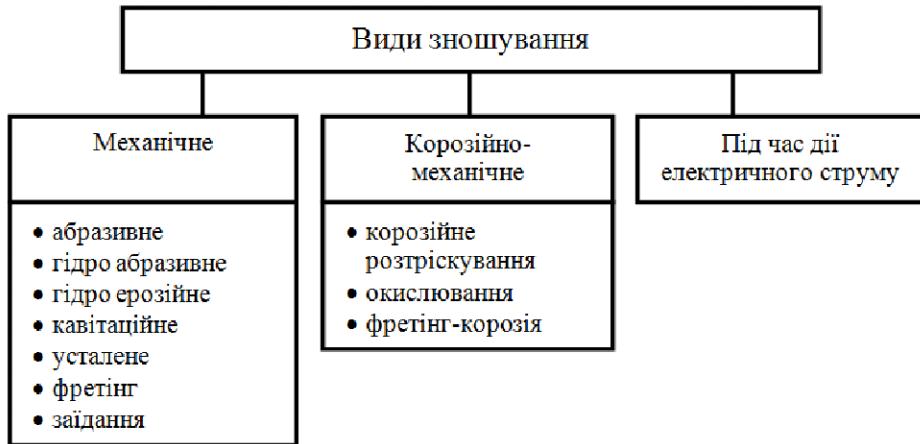


Рисунок 1. Види зношування.

Друга група включає в себе типи корозійно-механічного зношування, що виникає в результаті механічної дії, супроводжуваної хімічною та електрохімічною взаємодією матеріалу деталі із зовнішнім середовищем.

Третя група впливу розглядає дію електричного струму на поверхневий шар деталі.

Абразивним називається зношування поверхні деталі, що виникає в результаті деформуючої, ріжучої або дряпаючої дії твердих частинок, найчастіше мінерального походження. Механізм цього виду зношування полягає у видаленні матеріалу з поверхні зношування у вигляді: дуже дрібної стружки, фрагментів зруйнованого матеріалу, попередньо видавленого абразивною, більш-менш дисперсних шматків, які викришуються при одно- або багаторазовому впливі абразиву.

Газо- або гідро-абразивне зношування являє собою процес зношування поверхні деталі в результаті дії твердих частинок, які захоплюються потоком рідини чи газу. Зношування матеріалів під дією твердих частинок в потоках рідини чи газу, незважаючи на різний стан середовища, має багато спільногого. Вплив абразивної частинки, яку переносять повітряним або рідинним потоком, на поверхню тертя супроводжується або ударом з подальшим утворенням на ній вм'ятин, або ковзанням, що формує подряпини.

Під гідро- та газо-ерозійним зношуванням розуміють процес зношування поверхні в результаті впливу потоку рідини чи газу. Високошвидкісні потоки рідини чи газу механічно діють на поверхневий шар в умовах хімічного і адсорбційного руйнування матеріалу. Ерозійний вплив високошвидкісного потоку рідини, газу або пари в чистому вигляді складається з тертя суцільного потоку або його ударів по поверхні. В результаті тертя відбувається розхитування і вимивання окремих об'ємів матеріалу. Залежно від властивостей матеріалу можливе виривання окремих об'ємів або груп зерен.

Кавітаційне зношування виникає при русі рідини, що містить бульбашки газу, які, стикаючись з поверхнею деталі, лопають і створюють значний ударний тиск або високу температуру.

Усталене зношування - механічне зношування в результаті усталеного руйнування, яке відбувається при багаторазовому пружному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару. Усталене зношування може відбуватися як при терти кочення, так і при терти ковзання, коли поверхневий шар піддається циклічній дії локалізованих напружень, збуджуючих усталений процес руйнування матеріалу.

Фретінгом називається особливий вид зношування у зонах з'єднання, що перебувають під навантаженням деталей, який виникає при дуже малих повітряних відносних переміщеннях (наприклад, при поздовжніх вібраціях). Кінематичною особливістю умов зношування в цьому випадку є коливальний рух на фрикційних контактах при малих амплітудах.

Зношування під час заїдання являє собою процес руйнування поверхонь в результаті їх схоплювання в місцях найбільш щільного контакту, глибинного виривання матеріалу, перенесення його з однієї поверхні тертя на іншу і впливу виникаючих при цьому нерівностей на сполучену поверхню [2].

Корозійне розтріскування протікає в умовах одночасного впливу на метал поверхневого шару корозійного середовища і розтягуючих механічних напружень. Виникаючі при цьому тріщини розвиваються, як правило, перпендикулярно основним розтягуючим напруженням, а поверхня зламу має ознаки яскраво вираженого крихкого руйнування.

Окислювальне зношування – це різновид корозійно-механічного виду зношування, при якому переважає хімічна реакція матеріалу з киснем або окислювальним навколошнім середовищем. При

## ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

окислювальному зношуванні кисень повітря, вступаючи у взаємодію з металом, утворює на ньому окисну плівку, яка надзвичайно впливає на процеси тертя і зношування. У разі тертя спріяжених поверхонь металевих деталей окисні плівки в місцях контактування захищають метали від безпосереднього їх зближення до відстані, при якій можливе схоплювання. Нездатність самих окисних плівок до схоплювання обумовлена їх неметалевою природою [1].

Фретінг-корозія являє собою процес корозійно-механічного зношування робочих поверхонь спріяжених деталей при малих коливальних відносних переміщеннях. Цей процес спостерігається в болтових і заклепкових з'єднаннях, на посадочних поверхнях підшипників кочення, шестерень, муфт, на шліцьових і шпонкових з'єднаннях, які практично не мають осьових переміщень.

Зношування при дії електричного струму називають електроерозійним. Воно відбувається в результаті впливу розрядів при проходженні електричного струму (електроди свічки, контакти реле - розподільника, клеми електроприладів).

В основі підвищення зносостійкості і міцності деталей лежить вплив на робочу поверхню деталей і елементів кристалічної гратки металу шляхом застосування різних видів оброблення. Існуючі способи підвищення зносостійкості і довговічності деталей можна розділити на три групи: термохімічні, електрохімічні і електрофізичні та механічні (Рис. 2). Кожна з цих груп характеризується певними притаманними тільки їй ознаками, що значно полегшує вибір методу підвищення зносостійкості деталей і машин.



Рисунок 2. Способи підвищення зносостійкості.

Термічна обробка застосовується для підвищення твердості поверхні деталі. Для зменшення крихкості і зняття гарячих напружень застосовують відпуск. Поєднання гартування з дією магнітного поля збільшує міцність сталі, оскільки кристали мартенситу приймають одну орієнтацію у всіх зернах. Поверхневе гартування застосовується для підвищення міцності і зносостійкості деталей, що працюють при ударному навантаженні, при цьому основний метал деталі залишається незагартованим. Таке гартування проводиться струмами високої частоти і газополум'яними пальниками. Поверхневе гартування в електроліті засноване на нагріванні деталі іскровим розрядом через оболонку пари з водню, яка виникає біля поверхні нагрітої деталі (катода). При цьому не утворюється гарячих тріщин. Оброблення холодом застосовується для зменшення кількості залишкового аустеніту в загартованій легованій сталі, так як залишковий аустеніт знижує її твердість і зносостійкість. При цьому стабілізуються розміри деталей, що дуже важливо для деталей прецизійних пар.

Під час термомеханічної оброблення поєднуються операції обробки тиском з термічним обробленням деталей або заготовок. Цей спосіб застосовується під час протягування та інших способах отримання заготовок шляхом деформування металу. Під час термомеханічного оброблення подрібнюється зерно і створюється певна структура сплаву. В результаті цього підвищуються характеристики міцності, а чутливість сплаву до надрізів знижується.

Хіміко-термічне зміцнення здійснюється в результаті насичення поверхні деталі легуючими елементами, які змінюють хімічний склад і структуру поверхневого шару. Прискорення процесів дифузії забезпечується високотемпературним нагріванням. Отримання кінцевих мікроструктур і заданих поверхневих властивостей досягається додатковим термічним обробленням. Будь-який процес термодифузії протікає протягом трьох стадій: формування активних атомів легуючих

елементів в реакційному середовищі, їх адсорбція на поверхні деталі, їх дифузія у самому металі. Реакційне середовище, що містить легуючий елемент, може бути газоподібної, рідкої, пастоподібної або порошкоподібної форми. Оброблення включає в себе азотування, фосфатування, анодування, ціанування, сульфідування, борування, цементацію [1].

Під час термохімічного зміщення деталь обмазується енерговиділяючими термічними пастами. Термічна суміш складається з кисневмісних речовин і порошків алюмінію, магнію, заліза, кальцію і сполучної речовини. Після підпалювання суміші на поверхні деталі спостерігається температура 600-8000 °С. В результаті реакції, легуючий елемент дифундує у поверхню деталі.

Основним методом оброблення деталей електрохімічними та електрофізичними способами підвищення зносостійкості є гальванічне оброблення. Пористе хромування робочої поверхні проводиться в електролітичній ванні. Спочатку наноситься шар хрому товщиною 0,15...0,20 мм. Пористість створюється перемиканням струму на зворотний на 15...20 хв. Зворотний струм викликає випадання частинок хрому з утворенням найдрібніших пор. Така пористість покращує змащення поверхонь тертя і підвищує термін служби деталей. Гальванічні способи зміщення включають в себе тверде нікелювання, електролітичне фосфатування, емалювання, електролітичне легування і свинцовування.

Ще один поширений спосіб підвищення довговічності і надійності деталей гіdraulічних машин і апаратів - хімічне нанесення покриття. Поверхня деталі проходить попередню обробку, досягається певна чистота обробки, проводиться знежирення і травлення. Потім деталь занурюється у ванну з розчином, що містить необхідний елемент, який осідає на поверхні деталі. Отримання заданих властивостей досягається подальшою хімічною обробкою.

Під час електроіскрового зміщення і проходження при цьому електро-імпульсного розряду в ланцюзі постійного струму, відбувається перенесення матеріалу анода на катод. Деталь включається в ланцюг як катод, анодом служить інструмент зі змінюючого матеріалу. В процесі розряду відбуваються оплавлення тонкого шару деталі, легування цього шару перенесеним матеріалом анода, дифузія легуючого матеріалу під цей шар і наплавлення на нього матеріалу. В результаті швидкого охолодження відбувається термічне зміщення.

Електроконтактне зміщення являє собою переміщення тертям інструменту - анода по поверхні деталі - катода. За рахунок перенесення легуючого матеріалу, процесу його дифузії і гартування, утворюється змінений поверхневий шар.

Для механічного зміщення деталей застосовують пластичне деформування під час якого відбувається зміна форми кристалів і подрібнення зерен сплаву. Змінюються фізико - механічні властивості поверхневого шару, підвищується твердість, міцність, корозійно-усталена міцність, контактна витривалість і зносостійкість.

Дробоструменева обробка проводиться на пневматичних або відцентрових дробометах. Пневматичні дробомети використовуються для оброблення внутрішніх поверхонь або деталей складної форми (спіральних пружин). Поєднання попередньої змінюючої термічного або хіміко-термічного оброблення з обдуванням дробом збільшує термін служби деталей у декілька разів.

Обкатка роликами і кульками здійснюється на токарних (циліндричні поверхні) і стругальних (плоскі поверхні) верстатах. Форма поверхні ролика впливає на ступінь і якість наклепування. Зменшення діаметра ролика і радіусу скруглення контактної поверхні підвищують глибину і ступінь наклепу.

Вібраційне оброблення полягає в обкатуванні поверхні деталі кулькою, яка вібрue паралельно осі обертання деталі, здійснюючи 2600 подвійних ходів за хвилину при амплітуді 2мм.

Основним інструментом під час алмазного зміщення і вигладжування є кристал алмазу, що має сферичну робочу частину. Алмаз замурований в оправлення. Зусилля притиску створюється тарованою пружиною. Шліфування створює в поверхневому шарі залишкові напруження розтягу, які компенсируються стискаючими напруженнями після алмазного вигладжування.

Дернування застосовується для зміщення і підвищення точності і чистоти обробки внутрішніх поверхонь деталей. Суть процесу полягає в проштовхуванні або протягуванні дерну або кульки через отвір. Якість обробки залежить від величини натягу між інструментом і поверхнею деталі.

Умови роботи деталей машин і обладнання більшості галузей промисловості характеризуються високими механічними і тепловими навантаженнями, наявністю агресивних середовищ, присутністю в зоні контакту робочих поверхонь абразивних частинок. Це визначає необхідність використання для виготовлення активно зношуваних деталей високолегованих високоміцніх сталей і сплавів. Високий рівень міцності властивостей зазначених матеріалів, а також можливість отримання низки спеціальних властивостей, таких, як корозійна стійкість або жаростійкість, визначають безсумнівну актуальність питань використання існуючих і розробки нових спеціальних зносостійких матеріалів. У той же час невелика величина граничного зношення, характерна для більшості деталей, робить у ряді

# ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПРИЛАДИ

випадків застосування дорогих високолегованих сплавів для виготовлення деталей економічно неефективним. Значний інтерес для вирішення проблеми підвищення зносостійкості і продовження терміну служби обладнання представляє використання прогресивних методів поверхневого зміцнення, що дозволяють отримати на деталях, виготовлених з конструкційних сталей, поверхневі шари, що володіють необхідним рівнем зносостійких властивостей. До таких технологій відносяться термохімічні, електрохімічні і механічні методи. Кожна з перерахованих технологій зміцнення володіє рядом переваг і недоліків, а отже вибір необхідної варто здійснювати після огляду усіх розглянутих методів для забезпечення найкращого результату підвищення зносостійкості деталей і вузлів.

## Інформаційні джерела

1. Елагина О.Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин: учеб. пособие / О.Ю. Елагина. – М.: Университетская книга; Логос, 2009. – 488 с.: ил. – (Новая университетская библиотека).
2. Каргельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 481 с.

УДК 621.784

В.Б. Рудасьов, к.т.н., Д.З. Шматко, к.т.н., В.С. Авер'янов, к.т.н.

Дніпродзержинський державний технічний університет

## ФРИКЦІЙНА ВЗАЄМОДІЯ ПАР КОЧЕННЯ

*Будь-який підшипник за відсутності доброго змазування вийде з ладу. Розробка методів управління тертям для створення оптимальних умов тертя при роботі тертя кочення є актуальною задачею.*

**Ключові слова:** тертя кочення, мастило, підшипник.

*Любой подшипник при отсутствии хорошего смазывания выйдет из строя. Разработка методов управления трением для создания оптимальных условий трения при работе трения качения является актуальной задачей.*

**Ключевые слова:** трение качения, смазка, подшипник.

*Any bearing in default of the good greasing will break ranks. Development of methods of management by friction for creation of optimum terms of friction during work of friction of kacheniya is an actual task. Longevity of bearings of kacheniya, besides loading and frequency of rotation, in a great deal depends on the rightness of selection of greasings. Greasing for bearings of kacheniya diminishes friction, a noise, takes heat, protects from corrosion, fills gaps in the compressions, providing pressurization of bearing knot. Liquid, consistency and hard lubricating materials are used. They take in energy of blows, preventing the same tireless destruction of bodies of kacheniya and formation of paths in oboyme of bearing.*

**Keywords:** friction of kacheniya, greasing, bearing.

**Постановка проблеми.** Раз-у-раз процес змащенння пар тертя здійснюється після зупинки роботи машини. Підшипники ковзання нової машини мають правильні геометричні форми з мінімальним зазором між віссю і втулкою, тому об'їм мастила для заповнення даної пари тертя і витрати часу на виконання операції мінімальні. Конструктивні особливості пари тертя дозволяють мастилу якийсь час утримуватися в ній.

При ручному способі змазування "принцип достатності" змащувального матеріалу на непрацюючі машині визначається появою свіжого мастила з нього.

У процесі експлуатації відбувається знос устаткування, і зчленовування вісь-втулка приймає еліпсоїдні форми. "Принцип достатності", описаний вище, у такому разі не працює, оскільки в парі тертя утворюється зазор.

Таким чином, слідуючи по шляху якнайменшого опору, змащувальний матеріал заповнює зазори і рухається назовні. При першій появі мастила подальше її нагнітання в підшипник припиняється. Із запуском машини зазори вибираються, і мастило негайно видавлюється з підшипника. У зв'язку з цим виникає "напівсухе тертя" поверхонь, яке може привести до негативних наслідків.

Аналогічним чином відбувається процес надходження мастила в підшипник кочення. Негативним моментом для таких підшипників є старіння мастила і її відкладення в резервних порожнинах. У ідеалі при змазуванні підшипника кочення старе відпрацьоване мастило повинне віддалятися і повністю мінятися на нове.