

РОЗДІЛ 2

ОРГАНІЗАЦІЯ БОРОТЬБИ З ТЕРТЯМ ТА ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В УКРАЇНІ

2.1. Области застосування триботехніки

Одна із класифікацій областей використання триботехніки може базуватися на встановленні різниці (наприклад, за твердістю матеріалів) між парами ковзання: із двох твердих, із твердої і гнучкої, а також із двох гнучких поверхонь.

Пара твердих поверхонь (метал по металу) є найбільш розповсюдженою в техніці і виробництві. В табл. 2.1 наведено використання триботехніки в технології виробництва (в середній колонці вказано конкретні виробничі процеси, а в правій – перелік відповідних галузей промисловості).

Таблиця 2.1

Процеси триботехніки у виробництві

Класифікація	Виробничі процеси	Галузь промисловості
Пара тертя – метал по металу (дві тверді поверхні)	Кування. Штампування. Шліфування. Фрезерування. Розвертування. Волочіння. Полірування. Пресування. Формування. Висадка	Виробництво чавуну і сталі. Виробництво дроту. Обробка металів. Машинобудування. Інструментальна
Пара тертя – гнучка і тверда поверхні	Литво під тиском і видування. Холодна обробка. Пресування. Волочіння. Теплове формування. Вакуумне формування. Нанесення шарів	Шинне виробництво. Виробництво пластмас. Будівництво. Електроізоляція. Взуттєве виробництво. Тверді мастила
Пара тертя – волокно по волокну (дві гнучкі пари)	Ткацтво. Прядіння	Текстильна промисловість. Трикотажне виробництво. Виробництво кабелів. Виробництво пластмас

Пара тертя із гнучкої і твердої поверхонь утворюється при терті еластомерів і пластиків об тверду поверхню, в той час як тертя пари гнучких поверхонь виникає при терті волокна об волокно. Як бачимо з таблиці 2.1, діапазон можливого використання досягнень триботехніки в технології виробництва і споріднених областях дуже широкий, а перелік відповідних галузей промисловості також досить вагомий.

Типовими областями застосування досліджень тертя металів у промисловості є:

- змащування зворотно-поступальних механізмів;
- проектування інструменту для технологічних операцій;
- волочіння металевого дроту, змащування філери;
- механічна обробка чавуну і сталі;
- контактні напруження в зубчастих передачах і підшипниках кочення;
- пара тертя – гнучка і тверда поверхня зустрічаються при дослідженні ковзання автомобільних шин;
- динамічного витікання ущільнень машин;
- ковзання і зчеплення між гнучкими пасами і шорсткими шківками;
- характеристики дискового зчеплення автомобіля і склоочисника;
- використання твердих мастил у технології тощо.

Пара тертя волокно об волокно знаходить конкретне використання в текстильній промисловості і у виробництві електричних кабелів. Як правило, оптимізація виробничих операцій значно залежить від розуміння і правильного використання принципів триботехніки.

Застосування досягнень триботехніки можна знайти в автомобільній і аерокосмічній промисловості, медицині і біології та багатьох інших галузях народного господарства. Характерним прикладом є створення двигунів внутрішнього згорання, суден на повітряній подушці, систем гальмування, пневматичних шин і сталених коліс залізничних вагонів тощо. Освоєння космосу поставило завдання вивчення конкретних фрикційних (або змащувальних) характеристик конструкційних матеріалів в умовах вакууму при криогенних температурах. У такому розрідженому середовищі десорбція або випаровування поверхневих покриттів і мастил може виникати спонтанно, і холодне зварювання незахищених поверхонь, які повинні бути змащені, стає реальною небезпекою з катастрофічними наслідками. Належне змащування вузлів тертя в космосі важко забезпечити, а іонізуюче опромінення додатково ускладнює вирішення цього завдання.

В останні десятиріччя досягнення триботехніки знайшли застосування в області біомеханіки, наприклад, для змащування суглобів людини. Коли синовіальна рідина, що виділяється в суглобах людини, не забезпечує належного змащування рухомих поверхонь, починається хвороба артрит, яка приводить до інвалідності. Хворий артритом суглоб втрачає здатність забезпечувати достатню густину синовіальної рідини. Перспективний підхід з точки зору триботехніки у відновленні здатності синовіальної рідини до згущення шляхом уприскування у хворий суглоб полімерів.

2.2. Інженерно-технічні проблеми триботехніки

Прошли часи, коли майже епізодичного застосування змащувальних матеріалів (мастил) було достатньо для вирішення всіх завдань, пов'язаних із тертям рухомих поверхонь. Багато цих завдань у наш час можуть бути успішно вирішеними тільки на основі знань про систему взаємодіючих поверхонь критичного вузла складного механізму. Дотепер багато загадок природи (з точки зору триботехніки) залишаються не вирішеними. Наприклад, викликає подив здатність дельфіна пересуватися у воді швидше, ніж передбачає теорія. Якщо це пояснюється тим, що на поверхні його шкіри встановлюється чисто ламінарна течія, то як подавлюється турбулентність? Встановлено, що використання деяких полімерів і присадок зменшує опір течії в трубопроводах і гідравлічних системах, але теорія знову ж не дає пояснення цьому. Такі присадки мають важливе застосування при гасінні пожеж (забезпечуючи довжину струменя), а також при розробленні конструкцій торпед.

Як зменшити пробуксовування автомобільних шин на мокрій дорозі або виключити проковзування ведучих коліс при розгоні залізничних потягів? Як відновити функції ураженого артритом суглоба?

Необхідно знайти заміну або методи позбавлення відходів промислових масел, розчинів, технологічних емульсій і змащувально-охолоджувальних рідин, щоб запобігти подальшому забрудненню природних водних ресурсів.

Фактично вирішення однієї із найважливіших проблем сучасності – захисту навколишнього середовища, неможливе без застосування основ триботехніки і виключення відходів на всіх рівнях у промисловості й техніці.

З тертям і його наслідками ми зустрічаємося дуже часто. Важко уявити, які катастрофічні наслідки були б при зникненні тертя. Навіть у результаті часткового його зникнення, наприклад, внаслідок ожеледиці, в сотні разів збільшиться кількість дорожніх пригод. Без тертя неможлива робота багатьох механічних передач, а робота пасових (ремінних) передач, фрикційних варіаторів, гальм і муфт повністю засновується на використанні сил тертя. В усьому світі іде боротьба за збільшення коефіцієнта тертя наземно-колісного транспорту з дорогою, яке підвищує тяглову здатність і збільшує коефіцієнт ефективності гальмування.

Трибологічні явища враховуються при проектуванні й виробництві машин і механізмів. Вони проявляються в земляних роботах, сільському господарстві, будівництві, добувній промисловості й багатьох інших випадках.

Для зменшення тертя в світі на рік витрачається понад 100 млн. тонн мастильних матеріалів, які при змащуванні зазнають старіння і підлягають заміні. Мастила, які відпрацювали, підлягають переробці або утилізації, інакше вони будуть серйозною небезпекою для навколишнього середовища.

Відносні розміри зношення, наприклад, відношення втрати маси машини або вибору до її початкової маси, досить малі, але зношення призводить до виходу з ладу всієї машини або виробу в цілому. Втрати коштів у

машинобудуванні промислово розвинених держав унаслідок тертя і зношування досягають 4...5% національного доходу. Опір тертю поглинає в усьому світі 30...40% енергії, яка виробляється протягом року.

Енергія при терті перетворюється в теплоту, що нагріває механізми і вузли машин. Їх надмірне нагрівання в багатьох випадках призводить до відказів (відмов) і аварій. Дослідження показують, що приблизно 80...90% відказів машин відбувається через зношування вузлів і деталей машин, а також робочого інструменту.

До найважливіших і найактуальніших інженерно-технічних проблем триботехніки необхідно віднести: 1) підготовку інженерних кадрів з триботехніки; 2) розроблення сучасної теорії тертя; 3) створення "беззношувальних" вузлів тертя; 4) створення і виробництво принципово нових автоматизованих змащувальних систем для машин і обладнання та нових змащувальних матеріалів; 5) розроблення нових видів фінішної антифрикційної безабразивної обробки (ФАБО) поверхонь тертя; 6) захист деталей машин від водневого зношування.

2.2.1. Підготовка спеціалістів з триботехніки

Для успішного розвитку будь-якої науки необхідні наукові інженерно-технічні кадри.

У США, Великобританії, Німеччині, Польщі і багатьох інших країнах тривалий час проводяться роботи з підготовки спеціалістів з тертя, зношування і змащування машин. В одних країнах інженерні кадри готують на спеціальних факультетах підвищення кваліфікації (Польща), в інших – шляхом спеціалізації студентів у вищих навчальних закладах (Німеччина). У Великобританії підготовка кадрів з триботехніки проводиться в університетах. Навчання студентів триботехніки у Вищій технічній школі Німеччини проходить на спецкурсах, загальний об'єм програм складає 400 годин. Окремим курсом читається трибофізика і трибохімія.

Програма навчання студентів триботехніки містить такі предмети: 1) проектування змащувальних пристроїв; 2) випробувальні станції змащувальних пристроїв; 3) основи триботехніки; 4) методи розрахунку і конструювання в техніці змащування; 5) засоби раціоналізації в триботехніці; 6) оцінювання експлуатаційних властивостей пар тертя; 7) транспорт і транспортуючі пристрої; 8) фізичні і техніко-вимірювальні основи проблем тертя і зношування; 9) розрахунок трубопроводів і змащувальної апаратури; 10) прикладна хімія змащувальних матеріалів.

Навчання побудовано таким чином, що випускники за даною спеціалізацією можуть працювати в усіх галузях промисловості, а також в спорудженні енергоустановок, хімічних установок, в приладобудуванні і в галузі транспортних засобів. У курсі триботехніки, що читається у Вищій інженерній школі м.Цвікау, є розділ "Ефект беззношування" (вибірковий перенос при терті).

В Україні наукових кадрів з триботехніки готують у Києві, Одесі, Хмельницькому та ін. Однак інженерних кадрів з триботехніки не випускає ні один вищий навчальних закладів України.

2.2.2. Розроблення сучасної теорії тертя та зношування

Те, що тертя є неврівноваженим термодинамічним процесом, відомо було давно. Але тільки в останні роки було встановлено, що при глибокій неврівноваженості й нелінійності можлива самоорганізація й утворення структури системи тертя іншого порядку, аніж тертя при граничному змащуванні. Таким чином, виявлено можливість роботи при досконалішій системі, аніж тертя при граничному змащуванні, а одночасно і можливість існування різних (двох) систем тертя – при граничному змащуванні й вибірковому переносі.

В реальних системах, які розглядаються у фізиці, виявляють просторові й часові структури. Наявність просторово-часової структури є загальною і фундаментальною властивістю матерії. При вивченні складних систем мають справу з кібернетичними структурами.

Автор робіт з термодинамічної теорії структур і самоорганізації в неврівноважених системах І.Р.Пригожин встановив, що деякі відкриті системи при переході від рівноважних умов до умов, далеких від рівноважних, стають нестійкими, їх макроекономічні властивості радикально змінюються. Такі властивості мають багато біологічних систем, причому в усіх випадках існує термодинамічний поріг самоорганізації, який розмежовує клас рівноважних структур і клас структур, які називають дисипативними, що виникають лише при великих відхиленнях від рівноваги.

Вперше основні положення теорії відкритих термодинамічних систем для вивчення явища тертя твердих тіл були застосовані в працях українського вченого Б.І. Костецького. Він створив структурно-енергетичну теорію тертя і зношування в машинах, яка визнана в усьому світі і є найсучаснішою з точки зору викладеного вище, а її концепція заснована на термодинаміці утворення самоорганізуючих структур при необоротних процесах і дисипації енергії тертя.

2.2.3. Проблема створення "беззношувальних" вузлів тертя машин

До останнього часу генеральним напрямком боротьби зі зношуванням у машинобудуванні було підвищення твердості поверхонь деталей, що труться. В промисловості розроблена велика кількість методів підвищення твердості деталей: цементування, азотування, хромування, ціанування, поверхневе гартування, наплавлення твердими матеріалами та ін. Багаторічний досвід свідчить, що цей напрямок дав змогу великою мірою підвищити надійність деталей машин, що працюють на тертя. Наприклад, електролітичне хромування циліндрів двигунів внутрішнього згорання не тільки підвищує зносостійкість пари циліндр–поршневе кільце, але й значною мірою зменшує втрати на тертя в циліндро-поршневій групі двигунів. Без азотування або цементування

зубчастих передач в наш час неможливо забезпечити надійну роботу важконавантажених редукторів. Розроблені методи підвищення твердості деталей, що труться, стали сильною зброєю в справі підвищення зносостійкості деталей, а звідси – і терміну служби машин.

Однак постійне прагнення до зменшення маси і підвищення інтенсифікації робочих процесів призвело до збільшення тисків у вузлах машин і швидкостей ковзання і погіршило умови змащування. Крім того, вимоги до підвищення ККД механізмів, а також застосування спеціальних змащувальних матеріалів і рідин призвело до того, що традиційні методи збільшення зносостійкості деталей, підвищення їхньої твердості в багатьох випадках перестали себе виправдовувати. Площа фактичного контакту поверхонь деталей при високій твердості матеріалу з багатьох причин (наявність можливого переносу, великої шорсткості й хвилястості поверхні) складає незначну долю номінальної поверхні тертя. В результаті на ділянках фактичного контакту створюється високий тиск, що призводить до інтенсивного зношування тертя.

У процесі пошуку засобів підвищення зносостійкості деталей машин у СНД було відкрито явище вибіркового переносу при терті (Д.Н.Гаркуновим). Вибірковий перенос (ВП) – це комплекс фізико-хімічних явищ на контакті поверхонь при терті, який дозволяє подолати обмеженість ресурсу спряжень машин, що труться, і зменшити втрати на тертя. У ВП використовуються фундаментальні фізико-хімічні процеси. На відміну від тертя при граничному змащуванні, де основою є механічна взаємодія і ефект Ребіндера, майже не використовується.

Вибірковий перенос, його системи зменшення зношування і тертя, розроблені А.А.Поляковим, не впливають з раніше відомих уявлень про тертя і зношування. Складність ВП зумовлюється як сукупність різних хімічних і фізико-хімічних процесів, що носять кібернетичний характер. У зв'язку з цим доречно послатися на загальну теорію систем, де вказується, що традиційний розділ науки на класичні дисципліни не задовольняє потреби сучасного наукового пізнання, а складні системи будь-якого виду не піддаються опису в рамках однієї наукової дисципліни. Процеси, що складають сутність ВП знаходяться, як правило, на стиках розділів хімії, фізичної хімії, фізики, кібернетики і механіки.

Складність ВП полягає також у тому, що ряд його хімічних і фізичних процесів не зустрічаються в практиці досліджень тертя. До них слід віднести процеси, що відбуваються при терті в сервовитній плівці, коли накопичення дислокації при її деформації підтримується на дещо низькому рівні, тим самим забезпечуючи її неруйнування і беззношуваність контактуючих поверхонь. До цих явищ слід також віднести зворотний зв'язок між навантаженням і силою тертя, коли в певному діапазоні навантажень і швидкостей ковзання їх збільшення викликає зменшення сили тертя. Більшість хімічних реакцій ВП є гетерогенними, тому їх вивчення ускладнене.

Сервовітна плівка – захисна металева плівка, що виникає на початковій стадії тертя в результаті вибіркового розчинення анодних компонентів поверхневого шару матеріалу.

Електричні явища супроводжують усі види зовнішнього тертя, бо процес утворення адгезійного зв'язку між поверхнями різнорідних твердих тіл, що дотикаються, призводить до утворення в контакті подвійного електричного шару. У ВП електричні явища відіграють певну роль. У початковій стадії ВП має місце вибіркоче (електрохімічне) розчинення в результаті роботи мікроелементів мідного сплаву, ускореного механодинамічною дією тертя. В результаті на поверхні утворюється шар міді – сервовітна плівка, яка пасивує поверхню мідного сплаву. Починає одночасно працювати елемент мідь–сталь. На поверхні тертя виникає два одночасно однойменно заряджені шари. Ця обставина має кардинальне значення – виникає кулонівське відштовхування цих шарів, що зменшує адгезійну взаємодію. Вступає в роботу третій елемент. Його дія полягає у втягуванні в зазор позитивно заряджених частинок. Напруженість поля ЕРС, що виникає, може сягати десятків мільйонів вольт на 1 см, і в зазор будуть втягуватись не тільки золі, але і частинки колоїдних розмірів, тобто виникає електрофорез.

Згідно з Д.Н. Гаркуновим ВП має в своїй основі описані вище та інші корисні фізико-хімічні явища і групи явищ, названі системами зношування і тертя. Вони стримують зношування, зменшують опірність зсуву і мають властивості самоорганізації, а іноді і здатність до оберненого зв'язку зі збуджуючою причиною. Їх основна цінність полягає в тому, що вони працюють диференційовано проти факторів, що ведуть до руйнування поверхні. Майже кожна з систем має глибокий зміст. Наприклад, система захисту від водневого зношування являє собою цілий трибологічний напрямок, а дифузійно-вакансійний механізм зменшення опірності зсуву являє собою нову фізичну проблему тертя, що зумовлює беззношуваність.

Традиційною системою зношування і тертя є самостійне утворення шару змащувального матеріалу при терті з граничним змащенням у результаті адсорбції молекул мастила на поверхні. Є й інші дані використання фізико-хімічних явищ для захисту від зношування і для зменшення тертя.

Явище ВП зумовлено термодинамічними системами тертя. Властивості цих систем розкрив І.Р. Пригожин, котрий встановив можливість високої самоорганізації фізичних і хімічних систем за певних термодинамічних умов. Тертя є термодинамічно неврівноваженим процесом, який може існувати як в області, близькій до рівноваги, так і далі від неї, утворюючи різноманітні структурні класи, перехід до яких здійснюється стрибкоподібно. У зв'язку з цим можливе існування систем тертя, що не накопичують енергію у вигляді нагромадження дефектів у поверхневих шарах, а повністю передають енергію в навколишнє середовище. Прикладом такої системи є ВП.

Корисною є властивість ВП працювати в середовищах, де тертя при граничному змащуванні не може ефективно виконувати свою функцію. ВП проявляє здатність перебудови захисних систем, котрі змінюються залежно від

властивостей середовища, що є вихідним матеріалом для утворення системи зношування і тертя. Варіанти розглядаються як різні модифікації ВП, які отримали назви за принципом змащувальної дії – плазмоутворення мастила, металоплачуча, іонна, траверсивна та ін.

При плазмоутворюючому змащуванні використовується група вуглецево-водневих мастил, що забезпечують виникнення ВП шляхом трибодеструкції частини своїх компонентів у зоні контакту при терті, хемосорбції продуктів деструкції на анодних компонентах сплаву вузла тертя й утворення поверхнево-активних речовин (ПАР) і сервовитної плівки. Таке мастило викликає ВП тільки у вузлах тертя, що містять плівкоутворюючий матеріал – бронзу, мідь тощо.

Для здійснення ВП у парах тертя сталь–сталь, чавун–сталь та ін., що не містять плівкоутворюючого матеріалу, використовуються металоплачучі змащувальні матеріали. Вони мають у своєму складі плівкоутворюючі матеріали, або оксиди металу, що відновлюються при терті, або металоорганічне з'єднання, що виділяє метал при розкладі в зоні тертя. При цьому поверхнево-активні речовини повинні міститись у базовому змащувальному матеріалі або утворюватись при розкладі металоорганічного з'єднання.

«Металоплачучі» пластичні змащувальні матеріали (наприклад, на основі ЦИАТИМ–201), що містять порошок бронзи або латуні, застосовуються у важконавантажених вузлах тертя типу гвинт–гайка та ін., де звичайні матеріали з добавками металоорганічних або комплексних з'єднань, працюють як у режимі ВП, так і в режимі граничного змащення.

У випадках, коли змащувальним матеріалом є середовище, що не містить поверхнево-активних речовин (наприклад, вода, водяні розчини сірчаної кислоти, солей), «металоплачуче» мастило переходить в іонне.

Іонне мастило засноване на властивості іонів металу, що знаходяться в розчині, втягуються у зазор між поверхнями тертя і розряджатися в зоні контакту, утворюючи роздільну (дивідуальну) плівку.

Зносостійкість контактуючих поверхонь у соляних та інших агресивних розчинах істотно зростає, якщо в контакт ввести продукти деструкції пластмаси за допомогою підпружинених вставок або інших конструктивних заходів. Такі вставки істотно збільшують термін служби поверхонь тертя в морській воді. Продукти деструкції твердої пластмаси поводять себе в контакті аналогічно продуктам деструкції рідких вуглеводнів, тобто виключаючи окисно-відновний процес, і утворюють поверхнево-активні речовини, що істотно знижує інтенсивність зношування. Суміщення іонного мастила з підживленням поверхнево-активними речовинами називають траверсним мастилом.

Дослідження механізму вибіркового переносу, його закономірностей і областей раціонального використання призвело до деякої зміни поглядів, що склалися раніше, на ряд питань триботехніки – структуру і властивості тонких

поверхневих шарів, деталей машин, що труться, механізм дії зношування і змащування, шляхи створення змащувальних матеріалів і присадок до них, оптимальну структуру і властивості зносостійкості й антифрикційних матеріалів і припрацювання покриттів та ін.

Наведені вище зведені дані про вибірковий перенос, його використання і ефективність, узагальнені з літературних джерел. На думку Д.Н. Гаркунова, можна вважати, що вибірковий перенос – особливий вид тертя, який зумовлений самовільним утворенням в зоні контакту неокисленої тонкої металічної плівки з низьким опором зсуву і нездатний наклепуватися. На плівці, в свою чергу, утворюється полімерна плівка, яка утворює додатковий антифрикційний шар.

ВП застосовується в машинах: літаках (вузли тертя, шасі), автомобілях (передня підвіска), металорізальних верстатах (направляючі, пара гвинт–гайка), парових машинах (циліндр–поршневе кільце), дизелях (підшипники кочення), редукторах (пара черв'як–колесо), обладнанні хімічної промисловості (підшипники, ущільнювачі), механізмах морських суден (підшипники), магістральних нафтопроводах (ущільнення), гідронасосах (вузли тертя), нафтопромислового обладнанні (вузли тертя). ВП застосовується також в приладах (електричні контакти) і може бути використаний для підвищення стійкості ріжучого інструменту при свердлінні, фрезеруванні, протягуванні і при нарізуванні різі.

Фактори, що зумовлюють незношуваність:

- контактування поверхонь проходить через м'який шар металу, основний метал має знижений (в 10 разів) тиск;
- металічна плівка при деформації в процесі тертя не наклепується і може багатократно деформуватися без руйнування;
- тертя проходить без окислення поверхонь, ефект Ребіндера реалізується значною мірою;
- продукти зношування переходять з однієї поверхні, що треться, на іншу і назад, а в зоні тертя продукти зношування утримуються електричними силами.

Вибірковий перенос дає змогу:

1. При виготовленні машин економити метал (15...29%) за рахунок більшої вантажопідйомності (в 1,5...2 рази) пар тертя;
2. Збільшити термін роботи машини (в 2 рази), скоротити період припрацювання двигунів (в 3 рази) і редукторів (в 10 разів), відповідно скоротити витрати електроенергії;
3. В підшипниках кочення і ковзання зменшити витрати змащувальних матеріалів (до 2 разів);
4. Підвищити ККД глобоїдних редукторів з 0,7 до 0,85, гвинтової пари з 0,25 до 0,5;
5. Збільшити економію дорогоцінних металів (золота, платини, срібла) в приладах у 2...3 рази за рахунок великої надійності електричних контактів.

2.2.4. Удосконалення змащувальних систем і розширення їх випуску

Мастило різко зменшує інтенсивність зношування. Досить ввести в зону контакту деталей невелику кількість мастила (товщина змащувального шару 0,1 мкм), як сила тертя може зменшуватися в 10 разів, а зношування поверхонь тертя до 1000 разів.

Сучасні машини й обладнання містять велике число вузлів тертя (від десятків до тисяч), які витримують високі тиски, температури і швидкості ковзання. В наш час розроблені спеціальні змащувальні системи, які автоматично, через суворо певний проміжок часу, подають в зону тертя задану кількість змащувального матеріалу. Рівень технічного вдосконалення машин багато в чому визначається ступенем організації змащування вузлів тертя.

Ефективність змащувальної системи залежить від її конструктивної досконалості і якості змащувального матеріалу. Дотепер немає чітких рекомендацій з дозування й тривалості подачі змащувальних матеріалів в конкретні вузли тертя машини.

В наш час випускають кілька тисяч змащувальних систем на рік. Збільшення випуску повинно супроводжуватись підвищенням їх ефективності, що потребує проведення науково-дослідних розробок із конструктивного й технологічного вдосконалення виробництва основних вузлів цих систем, створення поточкових ліній, покращення планування і використання економічних стимулів підвищення продуктивності праці.

Річний випуск основних видів машин, на яких потенційно доцільно встановлювати системи змащування, дуже значний. Серед них – металорізальні верстати і ковальсько-пресові машини та верстати, екскаватори, бульдозери, автогрейдери, трактори, магістральні локомотиви, вантажні автомобілі й автобуси, комбайни та інші сільськогосподарські машини. За експертною оцінкою спеціалістів (проектантів машин, розробників змащувального обладнання, експлуатаційників) оснащення змащувальними системами і багатовідвідними насосами, що забезпечують точність і своєчасність подачі змащувальних матеріалів, підлягає до 85% перерахованих вище машин і обладнання (близько 2,5 млн. одиниць).

Для значного підвищення технологічного рівня і якості машин, їх економічності і надійності необхідно розв'язати проблему змащування. Це може бути забезпечено за рахунок: підвищення технологічного рівня і якості змащувального обладнання, його уніфікації, стандартизації, вдосконалення і підвищення ефективності експлуатації змащувального обладнання і техніки змащування; вдосконалення спеціалізації і кооперування виробництва; організації крупносерійного і масового виробництва змащувального обладнання з повним задоволенням потреб машинобудування при мінімальних затратах.

З випуску змащувального обладнання у світі спеціалізується багато фірм. В більш повній номенклатурі змащувальне обладнання випускають фірми "Фогель" (Західний Берлін) і "Трабон" (США); їх змащувальні системи користуються найбільшим попитом споживачів.

Підвищення технічного рівня обладнання для змащування доцільно проводити за такими основними напрямками: створення комплексного обладнання за принципом систем машин; розширення номенклатури змащувальних систем різних видів стаціонарних і мобільних машин, а також різних виробничих і кліматичних умов; створення автоматичних систем, адаптованих до режимів роботи основних вузлів тертя машин; зменшення габаритів і металомісткості вузлів і апаратів змащувальних систем; підвищення точності і стабільності подачі змащувального матеріалу; проведення робіт зі стандартизації й уніфікації.

2.2.5. Фінішна антифрикційна безабразивна обробка (ФАБО) поверхонь тертя

Як відомо, зносостійкість залежить від кінцевої (фінішної) технологічної обробки поверхонь деталей. Тому велике значення мають експериментальні дослідження впливу шорсткості поверхонь тертя на інтенсивність зношування деталей. Для найбільш розповсюджених спряжень знайдено оптимальні значення параметрів шорсткості, за яких зношування деталей мінімальне. Встановлено, що від фінішної обробки деталей залежить не тільки початкове (при припрацюванні) зношування, але й зношування при встановленому процесі, тобто припрацювання може впливати на інтенсивність зношування при тривалій експлуатації машин.

В останні роки розроблено нові технологічні процеси фінішної обробки деталей, які дозволяють зменшити припрацювання зношування деталей і підвищити антифрикційні властивості спряжень (покращити змащування деталей, зменшити коефіцієнт тертя). До таких методів можна віднести вібраційну обробку поверхонь тертя й алмазне вигладжування.

Однак використано ще не всі резерви підвищення зносостійкості деталей в області застосування нових фінішних видів обробки. Наприклад, кінцеву обробку дзеркала циліндра двигунів внутрішнього згорання проводять хонінгуванням, перед яким циліндри шліфують, розгортають або розточують. Хонінгування проводять у кілька етапів. Цей процес може забезпечити необхідну шорсткість поверхні дзеркала циліндра і певний напрямок виступів нерівностей (виступи, направлені під певним кутом до осі дзеркала циліндра), які створюють найкращі умови для утримання змащувального матеріалу на

робочій поверхні. Однак при цьому оброблювана поверхня більшою чи меншою мірою насичується абразивом хонів і, не дивлячись на наступне продування циліндра стисненим повітрям, абразивні частинки залишаються на робочій поверхні і у важкодоступних місцях (на стиках нерухомих посадок і т.д.). Ці частинки в процесі роботи вимиваються мастилом і викликають підвищене зношування деталей. Це ж саме стосується обробки шийок колінчастих валів.

У зв'язку з викладеним, вкрай необхідне розроблення нових технологічних методів викінчувальної обробки деталей, за яких взагалі виключалася б абразивна обробка поверхні. До таких методів відноситься фінішна антифрикційна абразивна обробка (ФАБО). Суть ФАБО в тому, що поверхня тертя деталі покривається тонким шаром латуні, бронзи або міді шляхом використання явища перенесення металу при терті. Перед нанесенням покриття абразивну поверхню знежирюють і покривають гліцерином або сумішшю, що складається з двох частин гліцерину і однієї частини 10%-го розчину соляної кислоти. В процесі тертя окисна плівка на поверхні сталі розпушується, поверхня мідного сплаву пластифікується, створюються умови для його схоплення зі сталлю. Товщина перенесеного шару бронзи або латуні 1...2 мкм.

Деталі, які підлягають ФАБО, можуть бути шліфовані, розгорнені, проточені або хонінговані. Шорсткість поверхні повинна бути не нижче $R_a=2,5...1,25$ мкм. Перевага ФАБО перед іншими фінішними операціями в тому, що цей метод надто простий і не потребує складного обладнання. ФАБО надає сталевій або чавунній поверхні високі антифрикційні властивості. Після ФАБО циліндр двигуна внутрішнього згорання немов перетворюється на перший період роботи в бронзовий, коефіцієнт тертя між поршневим кільцем і дзеркалом циліндра зменшується в два рази. Це може суттєво відобразитися на потужності двигуна.

Перші досліди з застосування ФАБО для циліндрів двигунів показали великі переваги цього методу перед хонінгуванням. Зносостійкість циліндрів і поршневих кілець зросла в півтора рази.

Шийки колінчастих валів також доцільно піддавати ФАБО, оскільки вони і спряжені з ними вкладиші лімітують час припрацювання двигунів і часто піддаються ремонту.

2.2.6. Проблема водневого зношування

Важливим завданням триботехніки є розроблення методів боротьби з водневим зношуванням. У кінці 70-х років в Україні експериментально було виявлено невідоме раніше явище концентрації в поверхневих шарах деталей, що труться, водню, який виділяється з матеріалів пари тертя і з навколишнього середовища (змащувального матеріалу, палива, води та ін.). Це явище викликає прискорення зношування.

Водневе зношування характеризується рядом процесів у вузлах тертя машин:

- інтенсивним виділенням водню в результаті трибодиструкції матеріалів, що містять водень, прискореним механічною дією;

- дифузією водню в деформованих шарах сталі; швидкість дифузії визначається градієнтами температур і напружень, що створює ефект накопичення водню в процесі тертя; особливим видом руйнування, пов'язаним з одночасним проявом великого числа "зароджень" тріщин по всій зоні деформування, і згаданим ефектом накопичення водню.

Водневе зношування не має загальних рис з водневою крихкістю сталі ні за джерелами насичення воднем, ні за інтенсивністю і характером розподілу водню в сталі, ні за характером руйнування, оскільки воно пов'язане тільки з процесом тертя і зумовлене ним. Для водневого зношування характерні висока локальна концентрація водню в поверхневому шарі сталі, що виникає внаслідок великих градієнтів температур і навантажень при терті, які зумовлюють явище накопичення і особливий характер росту тріщин, що призводить до суцільного руйнування шару. Водневе зношування вносить нову уяву про механізм крихкого руйнування.

Захист від водневого зношування має особливі значення для таких галузей:

- авіаційної техніки (вузли тертя паливних насосів, а також гальмівні колодки і барабани коліс виходять із ладу в результаті водневого зношування);

- залізничного транспорту (підвищення швидкостей поїздів пов'язане зі створенням ефективніших гальм); намагання використання пластмасових гальмівних колодок бажаних результатів не дало внаслідок підсиленого водневого зношування бандажів коліс;

- автомобільного транспорту (водневе зношування різко зменшує термін служби гальмівних накладок, гальмівних барабанів і дисків зчеплення, а також лопаток бензинових насосів та інших деталей і агрегатів автомобілів);

- морського флоту (водневому зношуванню підлягають вузли тертя, які змащуються водою, наприклад, гребені, вали суден та ін.);

- деревообробної промисловості (водневе зношування деревообробного інструменту і робочих органів машин стримує зростання продуктивності праці в галузі);

- техніки Півночі (однією з причин швидкого зношування машин є крихкодія водню, який за низьких температур не розсмоктується в поверхневих шарах, а концентрується між зоною тертя і об'ємом матеріалу деталі, що треться, внаслідок значного перепаду температур);

- техніки майбутнього (в нових машинах розширюється застосування

титану і його сплавів; при терті ці матеріали володіють низькими антифрикційними властивостями, дуже швидко поглинають водень і піддаються водневному зношуванню).

При проведенні робіт зі створення двигунів для автомобілів і літаків на водневому паливі дослідники повинні насамперед вжити заходи для захисту деталей від водневого зношування. Проблема водневого зношування має комплексний міжгалузевий характер і вимагає залучення для її розв'язку вчених різних спеціальностей (металознавців, фізиків, хіміків, спеціалістів з триботехніки) і повинна виконуватися за єдиним планом.

2.3. Основні напрямки підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя машин

До основних напрямків підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя машин відносять: оптимізацію конструктивних рішень вузлів тертя в процесі розроблення й проектування машин, тобто, так званий, конструктивний фактор (напрямок); технологічні методи; експлуатаційні заходи.

Оптимізація конструктивних вирішень вузлів тертя. Конструкція виробу визначає структуру виробництва і його технологію, трудомісткість і матеріаломісткість виробу, тобто економічність виробу у виробництві й експлуатації перш за все залежить від конструкції. Тому конструктор разом із технологом у процесі розроблення й проектування машини (виробу) в першу чергу повинен займатися відпрацюванням конструкції машини на технологічність.

Технологічність конструкції виробу – це сукупність конструктивних і технологічних вирішень, які забезпечують використання прогресивної технології й організації виробництва з найменшими затратами часу і матеріалів, які при заданих масштабах виробництва забезпечують найменшу собівартість і високу якість виробу за умови використання машиною всіх її функцій.

Мабуть першим серед конструкторів, хто звернув увагу на зв'язок зносостійкості з конструкцією вузлів тертя, був П.І. Орлов. В його праці "Смазка легких двигателів" (1937р.), що стала бібліографічною рідкістю, міститься цінний матеріал для конструкторів з питань конструктивних форм підшипників, конструювання високозносостійких опор ковзання, теорії тертя кочення. Вона по сьогодні не втратила цінності як в частині яскравих конструкторських прийомів, які шляхом раціонального використання мастила у вузлах машин забезпечують високу надійність деталей, що труться, так і в твердженні, що в питаннях конструювання, й особливо в техніці, змащування "дрібниць", наприклад, витікання масла з ущільнювачів, підвищених витрат при

викиді масла з суфлерів і тому подібне, не повинно бути, бо це затримує створення нових машин і утруднює роботу обслуговуючого персоналу при експлуатації діючих. В інших його трьох книжках із конструювання машин приділено багато уваги також резервам надійності і довговічності при конструюванні машин, наголошено на провідній ролі конструктора у вирішенні питань зносостійкості й довговічності машин.

У роботах М.М. Тененбаума, починаючи з 1966р., проводиться систематизація конструктивних способів забезпечення високої зносостійкості машин. Усі відомі способи розділено на такі групи: виключення зовнішнього тертя; покращення умов тертя; рівностійкість деталей, що зношуються; оптимізація форм деталей; індикатори зношування. М.М. Тененбаум у своїх роботах наголошує, що розв'язання прикладних задач повинно базуватися на закономірностях динаміки зношування деталей і впливу конструктивних параметрів на їх зносостійкість.

До конструктивних способів усунення пошкоджень і підвищення зносостійкості деталей машин Б.І. Костецький відніс такі:

- вибір виду тертя в опорах;
- визначення форми і розмірів робочих поверхонь;
- розроблення засобів із регулювання температури;
- раціональне поєднання матеріалів складових елементів вузла тертя;
- вибір системи змащування;
- наявність агрегатів і устаткування для очищення повітря і змащувального матеріалу, а також ущільнень;
- забезпечення технологічності ремонту і заміни зношених деталей і вузлів;
- розроблення заходів із захисту вузлів тертя від попадання абразиву та інших забруднень;
- правильний вибір матеріалу і методу зміцнення для пар тертя.

Основним принципом, як вказував у своїх працях Б.І.Костецький, який повинен бути в основі проектування й розрахунку форми і розмірів деталей пар тертя, є забезпечення в гарантованому діапазоні швидкостей ковзання і навантажень режиму нормального (окисного) зношування. Для цього необхідно керуватися відомими закономірностями того або іншого виду зношування залежно від швидкості ковзання й нормального тиску для вибраних матеріалів і середовищ, а також даних про вплив розмірів пар тертя (масштабного фактора) на вид зношування і його інтенсивність.

Шляхи вирішення цих завдань схематично зображено на рис. 2.1.

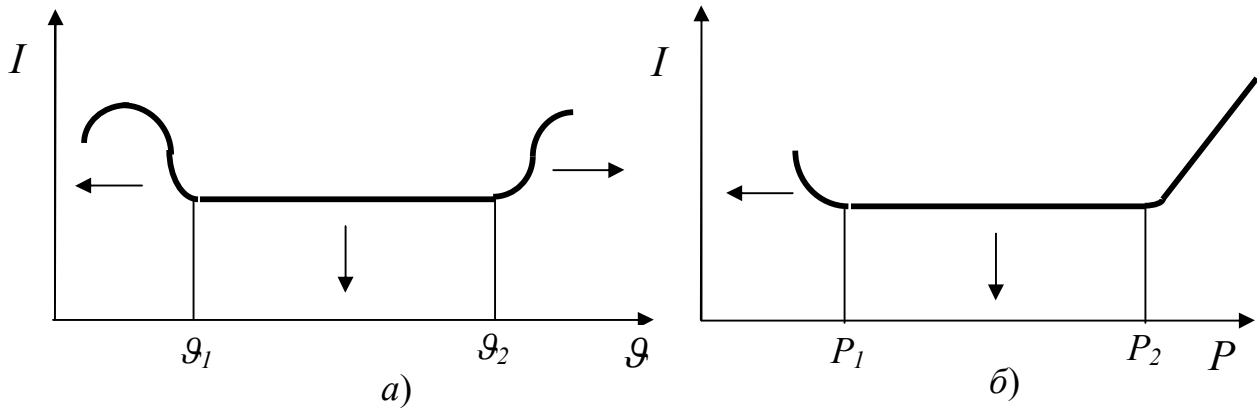


Рисунок 2.1. Схема розширення діапазону і мінімізація окисного зношування: а – за швидкістю ковзання; б – за нормальним тиску

Другим принциповим завданням боротьби зі зношуванням і налагоджуванням є зменшення інтенсивності окисного зношування. Ці два принципові завдання доповнюють одне одного і їх сумісне вирішення забезпечує збільшення термінів служби і надійності роботи машин. Очевидно, що при цьому повинен бути використаний весь комплекс конструктивних, технологічних і експлуатаційних заходів.

Технологічні методи підвищення зносостійкості деталей. У виробництві і техніці відомі й використовуються багаточисельні технологічні способи для підвищення зносостійкості деталей. Основні технологічні заходи, що підвищують зносостійкість і довговічність машин, можна розділити на такі групи:

1. Застосування сучасних методів для створення матеріалів необхідної міцності для різних умов експлуатації машин і отримання з них заготовок високої якості, близьких за формою і розмірами до готових деталей.
2. Застосування сучасних технологічних прийомів, що забезпечують виготовлення деталей заданої точності і стабільності як за розмірами, так і за фізико-механічними властивостями.
3. Застосування сучасних методів контролю якості матеріалів, заготовок і готових виробів за відповідними показниками надійності.
4. Застосування процесів зміцнюючої обробки (технології) для отримання необхідної якості робочих поверхонь деталей машин з високим опором зношуванню і поломкам у різних умовах експлуатації.

Методи зміцнюючих технологій для підвищення зносостійкості деталей машин накопичували протягом багатьох десятиріч розвитку машинобудування.

Серед найбільш розповсюджених необхідно назвати такі:

- хіміко-термічна обробка: цементування, азотування, хромування;
- ціанування, силіціювання, алітування, сульфоціанування і сульфідкування та ін.;
- термічна обробка: поверхневе гартування полум'ям, високочастотне

- гартування, поверхневе гартування з нагрівом в електроліті, лазерне зміцнення;
- хімічна обробка: глибоке анодування, оксидування, фосфатування;
 - поверхневе пластичне деформування: обкатка кульками і твердосплавними роликками, шротоструменева обробка, алмазне вигладжування, зміцнення чеканкою, гідрополірування, обробка поверхні вибуховим навантаженням;
 - гальванічні покриття: хромування, нікелювання, залізнення, борування, радіювання, посрібнення, луження, свинцювання і покриття сплавами;
 - хімічні покриття: нікелювання, хромування, покриття кобальтом і сплавами нікель–кобальт;
 - способи надання поверхні антифрикційних властивостей: графітування, накатування (заглиблення канавки), нанесення покриттів у вакуумі, нанесення дисульфиду молібдену, фрикційне латунювання і бронзування – ФАБО (фінішна антифрикційна безабразивна обробка), покриття пластмасами (вихровий і газополуменевий методи), металізація напиленням;
 - наплавлення: електродугове, електрошлакове, вібродугове;
 - електроіскрове зміцнення тощо.

Експлуатаційні заходи підвищення зносостійкості і довговічності машин. Конструктивна досконалість і висока якість виготовлення машин, що не гарантують їх тривалу і безаварійну роботу. Додатковими умовами такої роботи є грамотна технічна експлуатація і доцільна система технічного обслуговування і ремонтів.

Завданнями технічної експлуатації є: забезпечення справного технічного стану машин під час їх експлуатації і консервації; забезпечення безаварійної роботи машин за належної її економічності. Рівень технологічної експлуатації машин, в загальному, визначається встановленням її у відповідності з призначенням, кваліфікацією обслуговуючого персоналу, постановкою догляду за машинами і технічного нагляду за ними, організацією змащувального господарства.

В останні роки поряд з технологічними методами, які забезпечують високу якість поверхні і задані властивості поверхневих шарів, отримали розвиток методи підвищення якості поверхонь безпосередньо при експлуатації машин. Особливо ефективним напрямком є організація вторинних захисних структур на поверхні тертя внаслідок застосування спеціальних присадок до змащувальних матеріалів і механізмів взаємодії їх з металом поверхневих шарів у процесі деформації при терті.

Детальніше заходи з підвищення зносостійкості і надійності машин розглядатимемо у наступних главах.

2.4. Стан науки про тертя і зношування в машинах в Україні

Етапи розвитку триботезніки, як і інших наук, пов'язані зі створенням аерокосмічної і корабельної техніки, машинобудівної і металообробної промисловості, залізничного транспорту, автомобільної промисловості і т.п.

Значущість триботехніки в останні десятиріччя постійно підвищується.

Вона торкається різноманітних сфер діяльності людини, але особливо велика її роль у зв'язку з необхідністю підвищення зносостійкості машин, приладів, технологічного обладнання, інструменту, робочих органів та інших виробів, а також зменшення витрат на тертя при їх використанні. Вирішення завдань із застосування досягнень триботехніки має яскраво виражений міжгалузевий характер і здійснюється на державному рівні в багатьох високорозвинених у науково-технічному відношенні західних країнах. Зараз вважають, що увага до триботехніки (трибології) на відповідному рівні, особливо на стадії навчання, наукових досліджень і застосування, можуть дати економію коштів від 1,3% до 1,6% валового національного доходу. При цьому найважливіше, що перші 20% такої економії можна отримати без значних капітальних вкладень. Справедливість розміру вказаної економії підтверджена багатьма офіційними дослідженнями в Німеччині, Канаді, Великобританії, Китаї, США та інших країнах.

У зв'язку з цим, терміни "трибологія" і "триботехніка" внесені в словники кожної промислово розвиненої країни. В більшості університетів і технічних вузів світу нині створені і функціонують кафедри трибології. В усіх розвинених країнах створені організації трибологів.

В Україні не існує таких кафедр. Але в останні десятиріччя відбулися певні зрушення в цьому напрямку. В деяких вищих технічних навчальних закладах України, в тому числі і в Тернопільському державному технічному університеті імені Івана Пулюя читаються курси з триботехніки. В 1995 році в Україні створено "Товариство трибологів" з центром у Київському міжнародному університеті цивільної авіації, мета якого – впровадження перспективних ідей і розробок у промисловості.

В наш час провідними науково-дослідними організаціями в області триботехніки в Україні є Інститут проблем матеріалознавства АН України, Інститут надтвердих матеріалів АН України, Інститут електрозварювання АН України ім. Є. Патона та деякі інші.

Роботи в області триботехніки проводяться й у вищих навчальних закладах України: Національному авіаційному університеті, Національному технічному університеті "Київський політехнічний інститут", Військово-повітряних інститутах Києва і Харкова, Хмельницькому технологічному інституті та ін.

Велика роль у створенні української школи тертя і зношування в машинах, організації та проведенні наукових досліджень і підготовці кваліфікованих наукових кадрів з триботехніки, як вже вказувалося вище, належить професору, доктору технічних наук Борису Івановичу Костецькому, який працював в Київському інституті інженерів цивільної авіації та Українській академії сільського господарства (м. Київ).

У Києві видається республіканський міжвідомчий науково-технічний журнал "Проблеми тертя і зношування".