

УДК 681.6+621.891+ +621.793+620.169.1

О.П.Стецьків

ДО ПИТАННЯ ПРО СУМІСНІСТЬ ТА ДОВГОВІЧНІСТЬ ПАР ТЕРТЯ ПРИ НОРМАЛЬНИХ ВИДАХ ЗНОШЕННЯ

У багатьох випадках для виготовлення деталей поліграфічних машин застосовують економічні матеріали – вуглцеві сталі і сірі чавуни. На жаль, загальний комплекс їх механічних властивостей не високий. А тому, перспективним є застосування методів поверхневого зміцнення, які дозволяють одержувати вузли тертя з високими триботехнічними властивостями поверхонь при збереженні початкової структури і властивостей серцевини. Але прогнозування ресурсу поверхнево зміцнених пар тертя неможливо без дослідження фізичних аспектів сумісності матеріалів, що беруть участь в терті. Сучасний стан теорії тертя і зношення не дозволяє передбачати довговічність пар тертя у зв'язку з впливом на зношення багатьох різних факторів, з невизначеністю так званого "третього тіла". Таким чином, парадокс полягає в тому, що, як правило, вузли тертя розраховують тільки на міцність, тоді як основна причина їх прискореного виходу з ладу – недостатня зносостійкість – не береться до уваги.

Пару тертя, що в даних умовах експлуатації характеризується мінімальним зносом і мінімальним коефіцієнтом тертя, називають сумісною [5]. Часто замість терміна "сумісність" вживають термін "структурна пристосованість" [4]. Досягнення сумісності, чи структурної пристосованості значною мірою залежить від правильного добору матеріалів пар тертя. Згідно з І.В.Крагельським, сумісність поверхонь тертя досягається реалізацією нормального процесу фрикційної втоми (втомне зношення). Це забезпечується здійсненням пружного контакту в зоні тертя, позитивним градієнтом механічних властивостей матеріалів, що контактують. Принципове положення теорії втомного зношення полягає в тому, що відокремлення частинок відбувається внаслідок багатократного руйнування і утворення одиничних фрикційних зв'язків на контакті тіл тертя. Утворенню частинки передують $10^6 - 10^{10}$ елементарних актів руйнування одиничних фрикційних зв'язків.

Згідно з уявленнями В.І.Костецького, процес тертя складається зі зміни ритмів руйнування (активації) і відновлення (пасивації) плівок вторинних структур, що екранують поверхні тіл тертя і запобігають їх схоплюванню. Головною умовою забезпечення підвищеної зносостійкості пар тертя вважають нормальне окислювальне зношення, що досягається утворенням в антифрикаційних парах вторинних структур I і II типів.

М.О.Буше розглядає сумісність як здатність матеріалів стабільно працювати в умовах порушення суцільності масляного шару. Забезпечити сумісність пар тертя можна шляхом утворення на ділянках контактування або тонких дуже рухомих плівок, або твердих важко схоплюваних плівок, або штучно створених поверхневих шарів [1].

Варто підкреслити, що в даній роботі розглядаємо тільки так звані нормальні види зношення -- окислювальне і фрикційну втому.

До сьогодні вплив на зношення одного з найголовніших факторів структурного (під яким розуміємо структуру поверхневих шарів тіла тертя на мікро- і субструктурному рівнях) -- вивчений недостатньо. Цій проблемі присвячена дана робота.

Основою пропонованої моделі зношення [6] є гіпотеза про зв'язок між енергією, що нагромаджується в поверхневих шарах матеріалів під час тертя і спричиняє старіння металу, і механічними характеристиками цих шарів (в першу чергу межу плинності). Коректність зіставлення цих величин доведена в [7]. Як відомо [9,2], межа плинності матеріалу поверхневого шару в процесі тертя збільшується. Розрізняють початкову межу плинності σ_{T_n} і кінцеву межу плинності σ_{T_k} (рис. 1), а також коефіцієнт

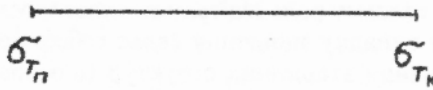


Рис. 1. Зміна межі плинності матеріалу, що бере участь в терті.

фрикційного зміцнення $\psi = \frac{\sigma_{Tk}}{\sigma_{Tn}}$ [5]. Для контактної пари введено структурний критерій застосовуваності матеріалів у парі тертя $\sigma = \sigma_{Tk}$, що визначає діючу напругу σ , з перевищенням якої пара тертя виходить з ладу (рис. 2).

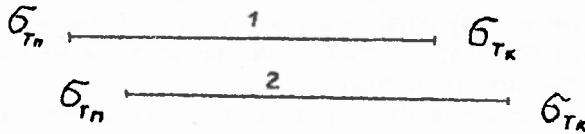


Рис. 2. Зміна межі плинності матеріалів пари тертя.

Деталь у процесі тертя розглядаємо, згідно з [3], як трирівневу систему, що складається з поверхневого 1 і підповерхневого 2 шарів і глибокого матеріалу 3 (рис. 3). Товщина поверхневого шару – субмікроскопічна, а підповерхневого – мікроскопічна. До поверхневого шару відносяться плівки змащувального матеріалу, адсорбовані плівки рідин і газів, оксидів та ін. (так зване "третє тіло"). Підповерхневий шар – це нижче розміщена деформована область поверхні. Залежно від режимів тертя і властивостей матеріалів, що беруть у ньому участь, зносостійкість визначається переважним руйнуванням поверхневого або підповерхневого шарів.

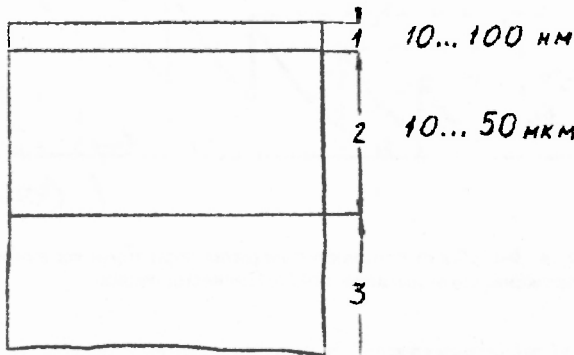


Рис. 3. Схематична будова поверхні деталі, що бере участь у терті.

Легкі режими тертя сприяють появі окислювального зношення, при якому головну роль відіграють властивості поверхневого шару. В цьому випадку зношення являє собою періодичне утворення і руйнування вторинних структур (в основному оксидів). Частинки зношення, що при цьому утворюються, мають субмікроскопічні розміри, а зносостійкість матеріалу висока. Напруження в підповерхневому шарі не перевищують певного критичного рівня. З переходом до важких режимів тертя відбувається реалізація втоми зношення. При цьому поряд з утворенням субмікроскопічних частинок зношення в поверхневому шарі процес тертя супроводжується нагромадженням критичних напружень в підповерхневому шарі, який руйнується внаслідок фрикційної втоми. Утворені при цьому частинки зношення неспіврозмірно крупніші, а це дозволяє розглядати зношення підповерхневого шару як процес, що превалює і, відповідно, визначає зносостійкість металу.

Процес зношення пар тертя можна представити таким чином. Тертя приводить до виникнення у підповерхневих шарах контактних деталей напружень (залежних від навантажувально-швидкісних факторів, змащувального матеріалу тощо), середній рівень яких в початковий момент дорівнює σ_x (рис. 4). В процесі

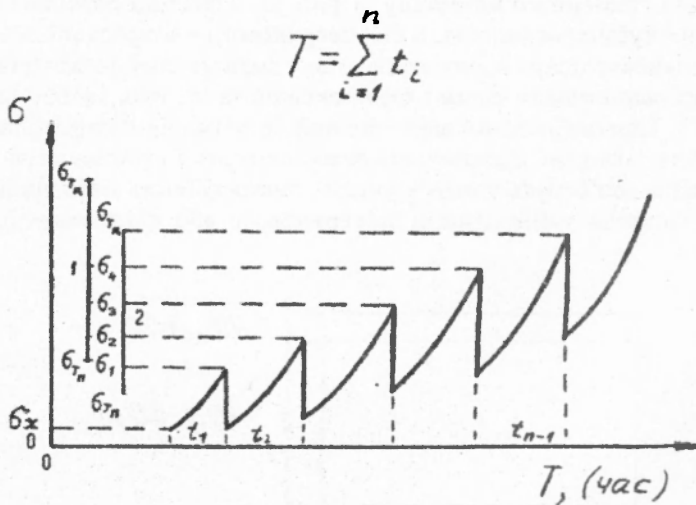


Рис. 4. Зміна межі плинності матеріалів пари тертя від зміни напружень, що виникають в підповерхневих шарах.

періодичної дії навантажень в підповерхневих шарах поступово нагромаджуються напруження, і їх рівень у певний час починає перевищувати початкове значення межі плинності σ_{Tn} . Як тільки

діючі напруження стануть більшими за σ_{Tn} , здійсниться їх розрядка (релаксація) за рахунок фрагментації матеріалу поверхневого шару. При цьому, по-перше, відбудеться елементарний акт пластичної деформації, що приведе до переміщення дислокацій з одного положення в інше. В результаті здійсниться нагартування матеріалу, початкова межа плинності зросте і стане рівною σ_1 . По-друге, досягнутий рівень напружень моментально знизиться до майже початкового σ_x . Подальший процес тертя знову буде супроводжуватись збільшенням напружень в підповерхневому шарі, але для їх розрядки вже потрібно перевищити рівень σ_1 . Наступна релаксація напружень знову приведе до падіння напружень до раніше досягнутого рівня, а внаслідок чергового акту пластичної деформації відбудеться подальше нагартування підповерхневого шару і його межа плинності дорівнюватиме σ_2 . Процеси періодичного нагромадження і розрядки напружень будуть тривати доти, доки матеріал, що бере участь у терті, внаслідок пластичної деформації не досягне критичної межі плинності σ_{Tk} . Подальша релаксація напружень неможлива, тому що матеріал вичерпав запас в'язкості. У цей момент відбудеться утворення мікротріщин і відокремлення частинки зношення. Таким чином, зношення пар тертя можна розглядати як процес періодичного накопичення і розрядки напружень в підповерхневому шарі на все більш високому рівні до досягнення критичного. Зрозуміло, що число таких елементарних актів пластичної деформації дуже велике ($n = 10^6$ і більше). Зносостійкість визначатиметься як значеннями вихідних меж плинності матеріалів пар тертя σ_{Tn} , так і значеннями їх запасів в'язкості $|\sigma_{Tk} - \sigma_{Tn}|$.

Детальний аналіз [7] показує, що застосування тугоплавких покриттів з високими значеннями модулів зсуву (боридів, нітридів, карбідів) – ефективний спосіб підвищення довговічності металічних пар тертя з економічних матеріалів. Щоб досягти їх сумісності, необхідно додатково забезпечити високу і співставну мікротвердість поверхневих шарів матеріалів, що беруть участь у терті, та їх мінімальну хімічну спорідненість (для недопущення абразивного і адгезійного зношення).

Тонкі експериментальні дослідження [8], виконані методами рентгеноструктурного аналізу і растрової електронної мікроскопії, підтверджують запропоновану модель зношення пар тертя.

1. Буше Н.А., Копытько В.В. Совместимость трущихся поверхностей. М. 1981.
2. Гарбар И.И. Фрагментация поверхностных слоев низкоуглеродистой стали и меди при усталостном и адгезионном изнашивании // Трение и износ. 1986. № 6.

Т. 7. С. 1043-1053. 3. Ишлинский А.Ю., Крагельский И.В., Алексеев Н. и др. Проблемы изнашивания твердых тел в аспекте механики // Трение и износ. 1986. № 4. Т. 7. С. 581-591. 4. Костецкий Б.И., Носовский И.Г., Бершадский Л.И. и др. Надежность машин. К, 1975. 5. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М. 1977. 6. Стецьків О.П. Структурно-енергетична модель спрацювання поверхнево зміщеної деталі // Тези доп. наук.-техн. конф. УПІ ім. Ів. Федорова. Вип. 1. Львів, 1993. С. 4. 7. Стецьків О.П., Ключас О.С., Шкоропад О.В. Триботехнологические аспекты повышения долговечности металлических пар трения из экономичных материалов // Проблемы машиностроения и автоматизации. 1992. № 2. С. 68-75. 8. Стецьків О.П., Шкоропад О.В. Кинетика изменения параметров тонкой структуры при усталостном изнашивании // Металловедение и термическая обработка металлов. 1990. С. 19-21. 9. Ball A. On the importance of Work Hardening in the Design of Wear-Resistant Materials // Wear. 1983. Vol. 91, № 2. P. 201-207.

Стаття надійшла до редакції 14.01.93.