

УДК 621.982 8.621.893

В.О. Лантєв

ДО ПРОБЛЕМИ КОНСТРУЮВАННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ МІДНОМІСТКИХ МАСТИЛ ДЛЯ ПАР ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Однією з головних проблем у сучасному машинобудуванні залишається проблема, пов'язана зі зменшенням інтенсивності зношування в парах тертя — ковзання. Частково вона розв'язується застосуванням ефективних мастильних матеріалів і різних видів термічної та хіміко-термічної обробки контактуючих поверхонь, вдалим підбором металевих пар і т. д. Однак такий підхід має, на наш погляд, стихійний характер, бо ґрунтується не на узагальнюючому принципі, а на окремих загальновідомих положеннях (використання мастила, збільшення твердості поверхонь і т.п.) і дуже часто призводить до негативного результату. Окремі мастила можуть бути в конкретній парі тертя малоефективними, збільшення твердості однієї поверхні, як правило, веде до швидкого зносу в умовах тертя — ковзання поверхні контртіла.

Явище вибіркового переносу стало, на нашу думку, значним кроком у трибології завдяки тому, що дослідники не замкнулися в традиційних схемах, а, виділивши основні фактори, зуміли надати процесу характеру саморегулюючої системи.

Розглянемо декілька сучасних методів зменшення коефіцієнта тертя в парах тертя — ковзання:

1. Ефективним способом мінімізації коефіцієнта тертя є наводнювання металевих поверхонь. Які ж зміни відбуваються на поверхні металу після наводнювання, з позицій фізики твердого тіла? Численні експериментальні та теоретичні роботи показують, що водень, як потужний поверхнево-активний елемент, суттєво зменшує поверхневу енергію, а це спричиняє збільшення

параметрів гратки металу. Показано, що при вмісті в залізі $0,1 \pm 0,4 \text{ см}^3/\text{кг}$ водню його питома поверхнева енергія зменшується з 1,6 до 0,6 Дж/м², у результаті чого послаблюються адгезія та деформаційна взаємодія металевих поверхонь в умовах тертя — ковзання.

2. При використанні в умовах тертя багатоатомних спиртів та інших поверхнево-активних елементів і мідномістких сплавів ініціюється явище вибіркового переносу. При цьому коефіцієнт тертя зменшується на 1 — 2 порядки. У даному випадку нас не цікавить факт використання поверхнево-активного мастила в зоні тертя, а привертають увагу ті зміни, які відбуваються під впливом його на поверхні металу. Показано, що в умовах вибіркового переносу суттєво збільшуються параметри гратки міді. Це свідчить про зменшення поверхневої енергії міді під впливом поверхнево-активних речовин. Дане явище відбувається за рахунок дегідрогенізації водню з високомолекулярних органічних речовин у вигляді $\text{H}+n$, який попадає у приповерхневі шари металу, зменшуючи там енергію зв'язку (де n — від 0 до 1). Водень, фактично у вигляді протону, захоплює електрони "електронного газу", зменшує його густину й утворює більш енергетично вигідний стан H^\ominus . Цим самим послаблюється металевий зв'язок, зменшуються енергія зв'язку і поверхнева енергія.

Отже, незважаючи на всю складність і багатофакторність системи при зносі металів в умовах наводнювання і режимі вибіркового переносу, можна зауважити, що суттєве зменшення коефіцієнта тертя в обох випадках викликане мінімізацією поверхневої енергії на межі метал — метал.

Нами було проведено аналіз літератури та ряд експериментів з вивчення впливу швидкості проковзування і температури контактуючих поверхонь в умовах тертя — ковзання на коефіцієнт тертя й інтенсивність зносу металевих пар. Для досліджень використовували установку СМТ-1, яка працює за схемою тертя — ковзання диска і колодки (рис.1). На пульті управління установки фіксувалися кількість циклів і навантаження колодки на диск, автоматично записувалося значення моменту тертя $M_t = F_t \cdot r$ протягом усіх експериментів. Досліди здійснювалися при частотах обертання диска 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, і 1000 хв^{-1} , що відповідало лінійній швидкості обертання $v = \frac{\pi \cdot n}{30}$ (0,63; 0,84; 1,0; 1,26; 1,46; 1,68; 1,89; 2,0 м/с). База випробувань — 10 000 циклів. Навантаження колодки на диск при всіх експериментах — 100 Н. Матеріал диска — сталь 38Х2Н2МА, колодки — сталь 20.

Зафіксовано, що при зміні швидкості обертання в діапазоні 0,63 — 2,0 м/с момент тертя диска відносно колодки практично не змінюється. Залишається також на одному рівні інтенсивність зносу диска $J_D = M_D \cdot N^{-1}$ і колодки $J_K = M_K \cdot N^{-1}$. Тут J_D — інтенсивність зносу диска; J_K — інтенсивність зносу колодки; M_D — масовий знос диска; M_K — масовий знос колодки; N — базове число циклів (10^4).

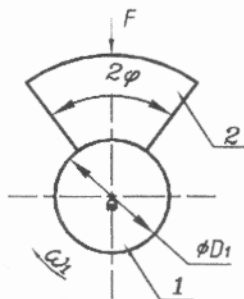


Рис.1 Схема тертя
1 - ролик; 2 - колодка

Зрозуміло, що при постійній величині навантаження колодки на диск $F = 100$ Н сталі значення моменту тертя $M_t = f \cdot F \cdot r$, де F – навантаження колодки на диск; f – коефіцієнт тертя; r – радіус диска (це свідчить про незмінність коефіцієнта тертя для даних пар матеріалів при відповідних швидкостях обертання, що добре узгоджується з рядом робіт) [2, 7, 8].

Очевидно, при збільшенні швидкості проковзування металевих пар суттєво підвищується температура приповерхневих шарів у зоні контакту. Зміна температури при зростанні швидкості проковзування у вищевказаному діапазоні реєструвалась автоматично на пульті управління установки СМТ за допомогою термопари ХА. Відмічено, що при зміні швидкості обертання в діапазоні 0,63 – 2,0 м/с для даної пари матеріалів (сталь 38Х2Н2МА і сталь 20) температура в приповерхневому шарі зростає від 20 до 98°. Отже, для цих матеріалів при збільшенні швидкості проковзування і відповідній зміні температури від 20 до 98° коефіцієнт тертя й інтенсивність зносу змінюються малопомітно—практично в діапазоні розкиду статистичних даних.

Виходячи з вищесказаного, домінуючим фактором в умовах тертя—ковзання є поверхнева енергія на межі метал—метал. Його зміна (в ту чи іншу сторону) зумовлює аналогічну зміну коефіцієнта тертя та інтенсивності зносу металів. Цей висновок може бути корисним, на наш погляд, для широкого спектра проблем трибології, які пов'язані з підбором металевих пар, розробленням антифрикційних матеріалів, мастил і т. ін.

Високі контактні тиски та швидкості взаємного проковзування в багатьох вузлах тертя поліграфічних машин не сприяють нормальній роботі контактуючих поверхонь. Підвищення їх довговічності досягається використанням у вузлах мастильних антифрикційних матеріалів. Однак існуючі рідкі та консистентні мастила не забезпечують потрібної зносостійкості поверхонь

тертя деталей машин, бо мало захишають їх від адгезійної взаємодії. Не існує також експрес-методів розроблення захисних мастильних матеріалів для конкретних умов роботи контактної пари. Тому-то нами пропонується використати енергетичний підхід для конструювання нових ефективних антифрикційних металоплакуючих мастил для пар тертя вузлів поліграфічного устаткування з урахуванням зміни поверхневої енергії на межі метал — метал [1, 4, 5].

Останнім часом широко застосовуються триботехнічні присадки або так звані реметалізанти-присадки з вмістом міді, срібла, нікелю та інших елементів, які вводяться у вигляді дрібнодисперсної суспензії. Мідномісткі присадки створюють на поверхнях тертя так званий ефект „беззношуваності”, при якому мідь з розчину осідає на поверхнях деталей у найбільш навантажених точках, поступово заповнюючи мікронерівності. При цьому збільшується площа контакту поверхонь тертя й зменшуються питоме навантаження в плямі контакту та зазори в парах тертя, зростає час експлуатації вузла.

Якісний і кількісний склад металевих інгредієнтів та їхню дисперсність пропонується вибирати залежно від параметрів тертя (контактного тиску, швидкості ковзання, температури поверхневих шарів), враховуючи твердість і шорсткість контактуючих поверхонь. Дослідження щодо використання у вузлах тертя мастильних антифрикційних матеріалів на основі рідкого мастила И20А, ИГП-2 з добавками мідного порошку в лабораторних і виробничих умовах засвідчили їх високі мастильні властивості, зменшення тертя та мінімізацію зношування порівняно з мастилами без добавок порошку міді. При цьому дисперсність мідного порошку складала 100 мкм, а вміст його в мастилі змінювався з 10 до 20% відносно загальної маси мастила в залежності від швидкості ковзання (0,3 – 0,7 м/с). Відомо, що мідь як поверхнево-активний елемент ініціює явище вибіркового переносу на поверхнях ковзання [3]. Разом з тим зменшується коефіцієнт тертя на 1—2 порядки. Суттєво збільшуються параметри ґратки міді [6], що зумовлює мінімізацію поверхневої енергії на межі метал — метал. Це досягається за рахунок того, що макромолекули або частини міді, що входять до складу рідини, попадають в зону тертя і на нагрітих поверхнях тіл деструктують під дією високої температури, утворюючи концентровані парамагнітні центри та вільні макрорадикали.

Утворення зносостійкого поверхневого шару елементів триботехнічних систем і зниження опору руху відбуваються за рахунок виникнення мідної плівки (рис.2). Металева мідь під впливом відповідних умов тертя вступає в хімічну реакцію з металом основи або дифундує в нього, змінюючи суттєво властивості поверхневого шару елемента, який має структуру, близьку до аморфної.

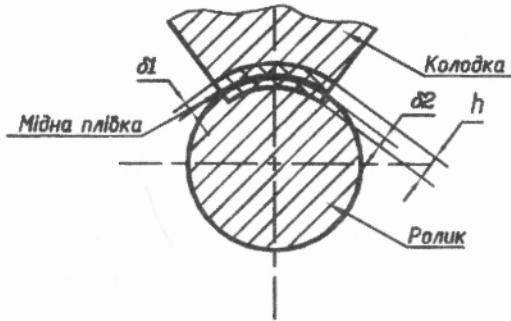


Рис. 2 *Схема утворення мастильного шару*
 $h_{\text{ш}} = K\pi(\delta_1 + \delta_2)$ - *товщина мастильного шару*
 $K\pi = 1,5 \dots 6$ - *коефіцієнт, що враховує швидкість та характер навантаження*

Таким чином, базуючись на процесі вибіркового переносу в умовах тертя, розроблено узагальнений підхід до конструювання метало- та метало-плакувальних мастил з використанням потужних поверхнево-активних речовин для підвищення зносостійкості важконавантажених вузлів деталей машин.

1. Білонога Ю.Я. Лаптев В.О. Зменшення коефіцієнта тертя металевих пар шляхом мінімізації поверхневої енергії на границі метал—метал //Тези доп. звітної наук. конф. УАД. Вип.2. Львів, 1995. С. 60. 2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М., 1985. 3. Избирательный перенос в тяжело нагруженных узлах трения/ Под ред. Д.И.Гаркунова. М., 1982. 4. Лаптев В.О., Білонога Ю.Я. Підвищення зносостійкості пар тертя вузлів деталей поліграфічного устаткування // Тези доп. звітної наук. конф. УАД. Вип.1. Львів, 1993. С. 57. 5. Лаптев В.О. Энергетичний підхід при конструюванні антифрикційних металоплакуючих мастил для пар тертя – ковзання //Тези доп. Міжнар. наук.-техн. конф. „Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин”. Миколаїв, 2003. С. 62—63. 6. Рыбакова Л.М., Куксенова Л.И. Исследование структуры поверхностного слоя, формирующегося в зоне контакта в условиях избирательного переноса (физ.- хим. механика материалов). М., 1976. 7. Трение, изнашивание и смазка: Справочник. Кн.1 /Под ред. И.В. Крагельского, В.В. Алисина. М., 1978. 8. Чернець М., Пашечко М., Невчас А. Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання. Т.1. Дрогобич, 2001.