

УДК 621.891

М. Й. БУРДА, А. О. КРИЛЬ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ТВЕРДОЗМАЩУВАЛЬНОГО АНТИФРИКЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ

Експериментально визначено адгезійну складову коефіцієнта тертя мідно-срібного твердозмащувального покриття. Встановлено, що досліджуване покриття має високі антифрикційні характеристики

Ключові слова: адгезійна складова коефіцієнта тертя, твердозмащувальне покриття, антифрикційні характеристики, навантаження

Постановка проблеми. Основним критерієм надійності і довговічності роботи машин та механізмів є працездатність їх пар тертя. Підвищити працездатність вузлів, що працюють в умовах тертя без мащення та значних навантажень можна створюючи на їх поверхнях антифрикційні твердозмащувальні покриття, через це виникає необхідність у детальному вивченні таких покриттів. Серед вже відомих покриттів на основі твердих мастил і металічних складових, високими антифрикційними властивостями вирізняється мідно-срібне антифрикційне твердозмащувальне покриття [1]. Воно має ряд особливостей і переваг: висока зносостійкість і низький коефіцієнт тертя в широкому інтервалі плюсових та мінусових температур, простота технології нанесення, невисока вартість.

Як відомо з фундаментальних уявлень молекулярно-механічної теорії тертя в основу якої покладено гіпотезу про двоїсту природу тертя, коефіцієнт зовнішнього тертя складається з адгезійної (молекулярної) і деформаційної (механічної) складових.

Визначення деформаційної складової проводять з достатньою мірою точності за розрахунковими формулами. Адгезійну ж складову теоретично не визначають, а знаходять з експериментів [2]. Тому метою даного дослідження стало експериментальне визначення адгезійної складової коефіцієнта тертя мідно-срібного твердозмащувального покриття. В завдання досліджень також входило визначення деформаційної складової та сумарного коефіцієнта тертя.

Спосіб приготування і технологія нанесення антифрикційного твердозмащувального покриття. Суспензія для нанесення мідно-срібного твердозмащувального покриття містить (мас. %):

азотнокисле срібло – 2,5;

оксид міді – 0,6;

тверде мастило (дисульфід молібдену) – 37...38;

ортофосфорна кислота – 9;

азотна кислота – 1,25...1,3;

азотнокислий натрій – 0,125;

дистильована вода – 50.

Приготування суспензії проводили за відомою методикою [1]. Концентровану азотну кислоту змішували з ортофосфорною, нагрівали до 80...90 °С і розчиняли в цих кислотах оксид міді. Після охолодження суміші до кімнатної температури, змішували її з дисульфідом молібдену, азотнокислим сріблом, азотнокислим натрієм та водою. Суміш перемішували до отримання однорідної рідкої маси. Покриття наносили на плоскі зразки зі сталі 45 (ГОСТ 1050-74) шляхом

занурення в суспензію, після чого їх піддавали термообробці при 200...220 °С протягом 3 год, охолоджували на повітрі і полірували робочі поверхні зразків.

Структура покриття складалась з кількох шарів. Основою є сталь 45, на яку наносилось покриття, що має шар глибокого фосфатування внаслідок дії ортофосфорної кислоти. На фосфатному шарі наявні вкраплення срібла, міді та заліза. Вище фосфатного шару спостерігається своєрідний структурний каркас, утворений знизу зі срібла, а зверху в основному з міді. Структурний каркас зі срібла та міді заповнений частинками твердого мастила (дисульфиду молібдену). Зовні покриття повністю покрито суцільним шаром дисульфиду молібдену. Така структура забезпечує формування покриття, в якому реалізується позитивний градієнт зсувного опору.

Методика і результати досліджень. Відомий спосіб визначення адгезійної складової коефіцієнту тертя запропонований М. М. Міхіним та І. В. Крагельським [2; 3]. В даному дослідженні обрано спрощений спосіб визначення адгезійної складової коефіцієнта тертя за методикою розробленою А. Г. Кузьменком [4], згідно якої кулька спочатку вдавлюється в поверхню, а потім повертається і вимірюється момент тертя. Для цього використали прес Брінеля з пристроєм, схема якого показана на рис. 1.

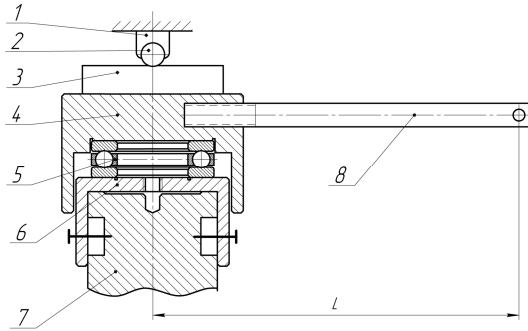


Рис. 1. Схема пристрою для визначення адгезійної складової коефіцієнта тертя:
1 – кріплення кульки; 2 – кулька зі сталі ШХ15; 3 – зразок досліджуваного матеріалу;
4 – підставка під зразок; 5 – упорний ролик-підшипник; 6 – підставка під підшипник;
7 – стіл гвинта пресу Брінеля; 8 – важіль для повороту

Випробування проводили в умовах тертя без мащення, вдавлюючи і повертаючи кульку діаметром 10 мм зі сталі ШХ15 по зразках із твердозмащувальним антифрикційним покриттям. Для порівняння досліджували також зразки зі сталі 45 без покриття. Навантаження змінювали від 5000 до 30000 Н. Для кожного навантаження вимірювали момент тертя повороту кульки вертикальним силою F з плечем $L = 150$ мм.

Випробування проводили в трьох точках поверхні, отримані дані по розмірам площадки контакту і сили повертання для кожного навантаження усереднювались. Згідно з методикою [4], для досліджуваних зразків проводили розрахунок твердості по Брінелю, адгезійної складової напружень тертя τ_A , адгезійної f_A та деформаційної f_g складових коефіцієнта тертя і сумарного коефіцієнта тертя (табл. 1, 2).

Результати досліджень свідчать (рис. 2, а), що адгезійна складова напружень тертя і, відповідно, адгезійна складова коефіцієнта тертя мідно-срібного твердозмащувального покриття в 3–4 рази нижча ніж у сталі 45. Це покриття має також нижчий ніж у сталі сумарний коефіцієнт тертя (рис. 2, б). Низькі значення коефіцієнта тертя забезпечуються наявністю в складі покриття твердої змазки – дисульфиду мо-

лібдену, а також включень срібла та міді. Деформаційна складова коефіцієнта тертя для сталі 45 та твердозмашувального покриття нанесеного на сталь 45, як передбачалось, є однаковою і залежить тільки від навантаження.

Таблиця 1

Результати досліджень для сталі 45 без покриття

Навантаження Q , Н	Сила провергання F , Н	Діаметр плями контакту d , мм	Глибина вдавлення h_0 , мм	Твердість HB , МПа	Адгезійна складова напружень тертя τ_A , МПа	$f_A = \tau_A / HB$	f_g	$f = f_A + f_g$
5000	3,4	2,6	0,17	936,6	110,9	0,118	0,101	0,219
10000	10,5	3,2	0,263	1211	183,7	0,152	0,126	0,278
15000	25	3,7	0,355	1345	282,9	0,210	0,146	0,356
20000	41	4,1	0,44	1447	341	0,236	0,163	0,399
25000	57	4,5	0,535	1488,2	358,5	0,241	0,18	0,421
30000	75	4,7	0,586	1630,4	414,1	0,254	0,188	0,442

Таблиця 2

Результати досліджень для мідно-срібного твердозмашувального покриття нанесеного на сталь 45

Навантаження Q , Н	Сила провергання F , Н	Діаметр плями контакту d , мм	Глибина вдавлення h_0 , мм	Твердість HB , МПа	Адгезійна складова напружень тертя τ_A , МПа	$f_A = \tau_A / HB$	f_g	$f = f_A + f_g$
5000	1,2	2,6	0,17	936,6	39,1	0,042	0,101	0,143
10000	3,8	3,2	0,263	1211	66,5	0,054	0,126	0,181
15000	6,5	3,7	0,355	1345	73,6	0,055	0,146	0,201
20000	10,5	4,1	0,44	1447	87,3	0,06	0,163	0,223
25000	16,5	4,5	0,535	1488,2	103,8	0,07	0,18	0,25
30000	24,5	4,7	0,586	1630,4	135,3	0,083	0,188	0,271

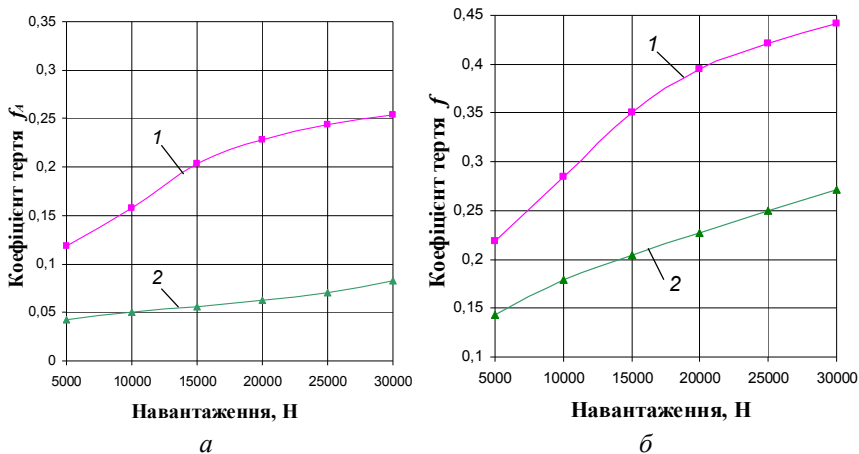


Рис. 2. Залежність величини адгезійної складової коефіцієнта тертя (а) та сумарного коефіцієнта тертя (б) від навантаження: 1 – для сталі 45 без покриття; 2 – для твердозмашувального покриття на сталі 45

Висновки. Отримані результати досліджень свідчать, що у порівнянні зі сталлю мідно-срібне твердозмащувальне покриття має значно вищі антифрикційні властивості. У зв'язку з викладеним, мідно-срібне твердозмащувальне покриття можна рекомендувати для деталей точного машинобудування та нафтогазової галузі, де за умовами роботи неможливо застосування звичайних мастил і змащувальних систем.

Список літератури

1. Кутьков А. А. Износостойкие антифрикционные покрытия / А. А. Кутьков. – М.: Машиностроение, 1976. – 152 с.
2. ГОСТ 27640-88. Материалы конструкционные и смазочные. Методы экспериментальной оценки коэффициента трения. – Введенный 1989-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 21 с.
3. Михин Н. М. Внешнее трение твердых тел / Н.М. Михин. – М.: Наука, 1977. – 221 с.
4. Кузьменко А. Г. Твердость и трение: определение механических свойств поверхности по внедрению к сдвигу шара / А. Г. Кузьменко // Проблеми трибології. – 2008. – №3. – С. 15–43.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2013

M. Y. BURDA, A. O. KRYL

DETERMINATION OF FRICTION COEFFICIENT ADHESION COMPONENT OF SOLID LUBRICANT ANTIFRICTION COATING

Experimentally determined adhesion component of friction coefficient of copper-silver solid lubricant coating. Found that the studied coating has high antifriction characteristics. Copper-silver solid lubricating coatings can be recommended for parts precision engineering and oil and gas sector, where working conditions can not use conventional oils and lubricating systems.

Keywords: adhesive component of the friction coefficient, solid lubricating coating, antifriction characteristics, load

Бурда Мирослав Йосипович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри зносостійкості та відновлення деталей, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, e-mail: myrek@ua.fm.

Криль Андрій Орестович – інженер кафедри зносостійкості та відновлення деталей, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, e-mail: andriykril@i.ua.