

ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ SMART- ПОКРИТТІВ В ЗЕЛЕНІЙ ТРИБОЛОГІЇ

В.В. Аулін, *д-р. техн. наук, проф.*,
С.В. Лисенко, *канд. техн. наук, доц.*,
А.В. Гриньків, *канд. техн. наук, с.н.с.*,
І.В. Жилова, *асп.*,

Центральноукраїнський національний технічний університет

Зелена трибологія визначається, як наука і технологія трибологічних аспектів екологічного балансу. Оптимізація трибоспряжень деталей систем і агрегатів машин в зеленій трибології визначає вплив на економіку і навколишнє середовище за рахунок скорочення відходів і продовження терміну їх служби, дає можливість покращити технологічний і екологічний баланс, а також забезпечити стійкість і безпеку їх функціонування. Один із головних принципів зеленої трибології - це екологічність покриттів і мастильних матеріалів, розробка, оптимізація та впровадження екологічно чистих виробництв і технологій синтезу матеріалів та формування покриттів [1-3].

Сучасні технології виробництва об'ємних матеріалів (сплави, полімери, кераміка, композити) і покриттів розробляються у відповідності сучасних вимог до робочих характеристик трибоспряжень деталей машин і механізмів. Пошук матеріалів, що відповідають вимогам до продуктивності, комплексу характеристик і властивостей (на макро-, мезо-, мікро- або нанорівні) та задовольняє необхідним граничним умовам експлуатації, призвів до розвитку розумних матеріалів з оптимальною структурою та складом, які дозволяють цілеспрямовано впливати і контролювати їх стан, характеристики і властивості. Розумні матеріали, так називають створення програмованого та розробленого матеріалу [4-6], як розумного, є результатом еволюційного розвитку матеріалознавства, починаючи з проектування функціональних матеріалів та поступова розробка інтелектуальних або smart-матеріалів. Вони мають одну або декілька провідних властивостей, які можуть бути змінені контрольованим чином за допомогою зовнішніх впливів, таких як навантаження, температура, вологість, рН, напруження електричних або магнітних полів, а також набуття певних функцій в їх системі.

Комбінації різних технологій, необхідних для виробництва матеріалів з компонентів з наперед заданим комплексом властивостей шляхом синтезу розробленої мікроструктури і композиції, є корисними в трибологічних застосуваннях. В трибології розглядаються завдання збереження (без знищення) для того, щоб система розвитку процесів в трибоспряженні деталей мала рівновагу між процесами руйнуванням і регенерацією. Зазначене найбільш яскраво відбувається в процесі селективного переносу матеріалу між робочими поверхнями трибоспряжень деталей. У разі створення фрикційних покриттів, це явище допомагає при терті латуні спряженої зі сталлю в особливих умовах вибіркового переносу. Ця процедура реалізується і при антифрикційній неабразивній обробці сталевих і чавунних поверхонь трибоспряжень деталей та при використанні компонентів при особливих умовах змащення з металоплакуючими добавками.

У зонах контакту при цьому виникає реактивне нанесення покриттів з особливими властивостями. Структура в поверхнях тертя істотно змінюється, а сама трибологічна система може мати більш високі навантаження при впливі різних процесів зношування.

Завдяки зеленій трибології в аспекті зношування фрикційних відновлюваних покриттів і регенерації зношених поверхонь без спільного демонтажу, вирішується проблема формування фрикційних покриттів з мідьвмісних матеріалів в разі неабразивної обробки сталевих поверхонь деталей. В зеленій триботехніці технології формування фрикційних покриттів міді та латуні шляхом вибіркового переносу матеріалів.

Селективне явище переносу в трибоспряженнях матеріалів, що містять мідь, передбачає взаємодію зі сталлю в середовищі спеціального мастила (наприклад, гліцерин) й створення сервовидного, самосформованого smart-шару, що служить для продовження терміну служби трибоспряжень деталей [7-8]. Smart-шар, сформований на деталях безпосередньо на поверхні тертя призводить до високої поліпшеної зносостійкості гільз циліндрів та поршневих кілець двигуна внутрішнього згоряння, важких навантажених трибоспряжень деталей транспортних засобів, авіаційних агрегатів і т.д.

Д.Гаркунов та Г.Пользер є першими дослідниками в теорії і практиці селективного переносу матеріалу в трибоспряженнях деталей та формування smart-покриття при терті [7-10]. Загальні роботи в цьому напрямі проводили в трибологічному центрі в Софії, Болгарія, а останнім часом в Schoenfels, Німеччина.

На основі рівнянь теоретичної фізики, професором Г. Пользером були отримані рівняння процесу самоорганізації при терті. При наявності проблеми руйнування є дві можливості її вирішення: одночасний розвиток процесів, які створюють рівновагу між руйнуванням і регенерацією, або експоненціальні руйнування всієї системи [7-8]. Формування покриття при терті реалізується на сталевому елементі (наприклад, валу), який обертається і взаємодіє зі стрижнем при наявності спеціального мастила, утворюючи трибоспряження матеріалів «бронза-сталь»

Формування плівки на поверхні тертя в трибоспряженні матеріалів «бронза-сталь» відбувається в гліцериновому середовищі. Покриття формується в першу чергу за рахунок розчинення бронзової поверхні, де гліцерин виступає в якості слабкої кислоти. Атоми таких хімічних елементів як олово, цинк, залізо, алюміній поглинаються мастилом, в результаті чого поверхня бронзи збагачується міддю. При терті деформація бронзової поверхні викликає нове проходження хімічних елементів в мастило, в результаті чого бронзовий шар очищається і практично складається тільки з міді. Пори в матеріалах заповнюються гліцерином. Гліцерин виступає в якості каталізатора оксидів міді. Мідна плівка складається з вільних оксидів Cu. Він дуже активний з вільними іонами і має високу адгезію до сталевій поверхні. Сталева поверхня деталі покривається тонким шаром міді. При цьому має місце організація і селективне перенесення міді до сталі. Перед стабілізованим виборчим перенесенням, процес осадження міді триває поки сталь та бронза не покривуться мідними шарами товщиною 2 мкм [10]. В поверхневих шарах робочих поверхонь спряжень деталей мають місце механічні та хімічні перетворення, утворення поверхнево-активних речовин (ПАР) на поверхнях тертя, а тому ПАР взаємодіють хімічно з поверхнями різної форми, утворюючи хемосорбовані шари (рис.1).

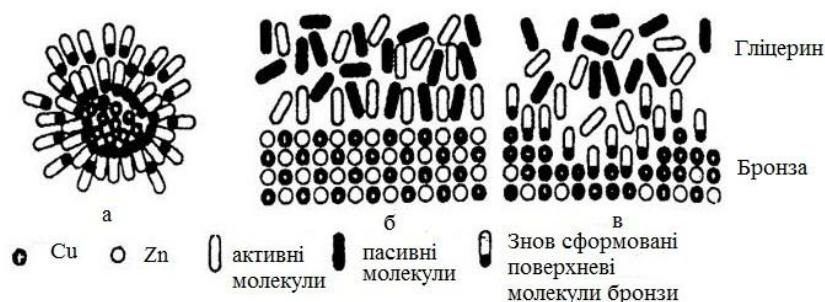


Рисунок 1 – Схема формування міцел (а) та характеру взаємодії поверхнево-активних речовин з бронзою (б,в)

В трибоспряженні «гліцерин-сталь» спостерігається самоорганізація і формуванні плівки з істотно зміненою зносостійкістю. Головним результатом є низький знос зразка (деталі) з покриттям за умови режиму селективного переносу матеріалу. Важливо також зменшення концентрації водню на поверхні тертя і, відповідно, тим менше водневий знос. Зазначене важливе для практичних застосувань, де має місце зварювання та захоплення [8]. Між поверхнями тертя значно знижуються ці явища в умовах вибіркового переносу.

Значний практичний результат є можливістю демонтажу вільного відновлення зношених зразків та деталей трибоспряження.

Явищу прямого нанесення покриттів сприяють натирання і осадження міді в спеціальних умовах селективного переносу матеріалу в результаті протікання різних процесів. У зонах контакту виникає реактивне нанесення покриттів зі спеціальними властивостями: Електрохімічний потенціал визначає не тільки зміст, але й зміну структури поверхонь тертя [8].

Прикладена сила тиску при обертанні латунного стрижня включає великий тиск в зоні контакту між стрижнем і основним матеріалом через відносно невелику контактну поверхню. Створюється позитивний градієнт міцності на зсув у напрямку глибини поверхневого шару зони тертя [11].

В результаті, створюється трибологічна система, яка може мати більш високі навантаження при впливі різних процесів. Авторами розроблені технології та сформовані покриття на основі використання принципів їх фрикційного відкладання на зразках і деталях в процесі вибіркового переносу. На рисунку 2 показано зниження водневої глибини на поверхні тертя.

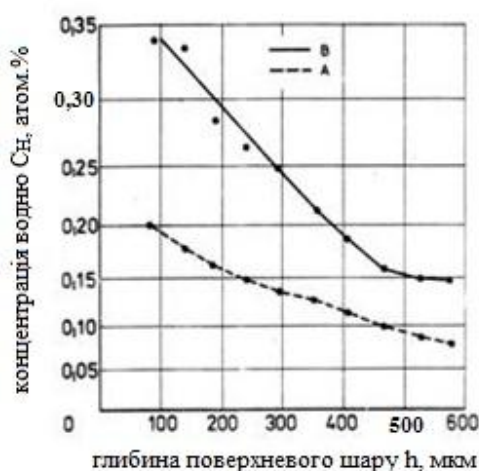


Рисунок 2 – Зниження концентрації водню у поверхневому шарі зони тертя

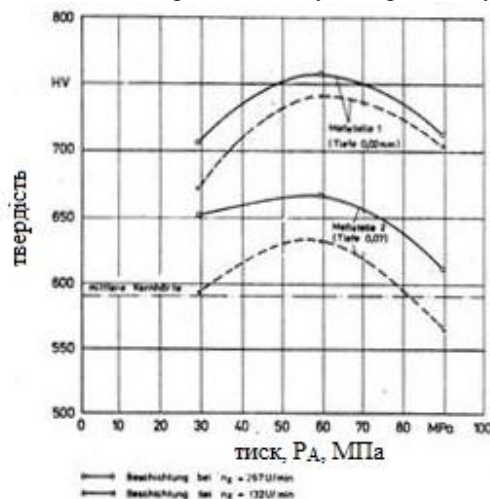


Рисунок 3 – Розподіл твердості в різній глибині після фрикційного нанесення покриттів на сталь: суцільна лінія – формування покриття при $n = 267$ об / хв., переривчаста лінія – при $n = 132$ об/хв., глибина шару покриття 0,02 мм

Результатами водневого зношування від синергетичної взаємодії є різні поверхневі явища: екзоемісія, адсорбція, фрикційні руйнування. Формується температурний градієнт та електричні і магнітні поля; які призводять до дифузії водню в металах у приповерхневому шарі та швидкого зношування цього шару [8,10]. Формування дефектів металу в деформованому поверхневому шарі зони тертя також збільшує концентрацію водню і

збільшує знос. Сформовані фрикційні покриття, в результаті вибіркового переносу, тим не менш, істотно поліпшують його стійкість до водневого зношування [8].

За допомогою сформованого покриття від фрикційної латуні в різних конструкціях трибоспрямижень із сталі і чавуну є можливість зниження сили тертя на 10...20% та зміни розподілу зносу для верхньої мертвої точки в гільзах циліндрів двигунів.

Фрикційні покриття на основі латуні успішно застосовуються у високонавантажених трибоспрямиженнях двигунів.

Результати досліджень в області зеленої трибології слід інтегрувати в світову науку і врахувати її вплив на рішення загальносвітових глобальних проблем. Зелена трибологія має ряд проблем, основною з яких є зведення до мінімуму зносу. Проблему розглядають зниження зносу можливо розв'язати за рахунок фрикційних покриттів. Результати досліджень фрикційних покриттів, пов'язані концепцією створення інтелектуальних матеріалів.

Висновки:

1. Спостерігається самоорганізація в системі «латунь-гліцерин-сталь» при селективній взаємодії. Це запобігає накопиченню дислокацій в поверхневих шарах, на відміну від режиму граничного тертя.

2. Спостерігається низький опір зсуву і матеріал покриття стає поверхнево-активним, що характерне для процесів при пластифікації металів, так що дислокації, рухомі до поверхні розряджаються.

3. Сформована плівка призначена для управління покриттям з істотною зміною його зносостійкості, що дає можливість управляти впливаючи на властивості в процесі створення при терті.

4. Важливими особливостями покриття, нанесеного при терті в режимі селективного переносу матеріалу є низький рівень зносу компонентів, а також низький водневий знос поверхонь з покриттям; поліпшена довговічність трибоспрямижень; можливість без демонтажу вільного відновлення зношених одиниць / трибоспрямижень.

5. Фрикційні покриття є екологічно чисті, оскільки осадження покриттів є екологічно чистою технологією і в якості додатку через поліпшення терміну служби трибоспрямижень, енергії і економії матеріалів шляхом зменшення зносу і шляхом безрозбірного відновлення зношених трибоспрямижень.

Список літератури

1. Nosonovski, M. and Bhushan B. (edtrs), "Green Tribology. Biomimetics, Energy Conservation and Sustainability", Springer Verlag, 2012.
2. H. P. Jost: 30th Anniversary and Green Tribology. Report of a Chinese Mission to the United Kingdom, 7-14 June 2009, issued by the Tribology Network of the Institution of Engineering & Technology.
3. Assenova, E., Majstorovic, V., Vencl, A., Kandeve, M., "Green Tribology and Quality of Life", International Convention on Quality 2012, Belgrade (Serbia), 05-07.06.2012, Proceedings, p.p. 32-38, Published in Advanced Quality, 40, 2, 2012, 26-32.
4. Toffoli, T. and Margolus, N., "Programmable matter: concepts and realization", Physica D, 47, 1991, 263-272.
5. Zakin, M., "The next revolution in Materials", DARPA Tech, DARPA's 25th Systems and Technology Symposium, August 7, 2007, Anaheim, California.
6. Vinnova, Sweden: <http://www.vinnova.se/en/Ouractivities/Production-Materials-and-Natural-Resources/Designed-Materials/>
7. Polzer, G., "Der Erfahrungsaustausch: Reibbeschichten und selective Uebertragung", Publ. Bezirks-Neuerer-Zentrum, Gera, 1988.
8. Polzer, G., Assenova E., Tsermaa, "Copper Frictional Coatings under Conditions of Selective Transfer", Tribological Journal BULTRIB, Sofia, Vol. 3, 2012.
9. Garkunov D.N., Triboengineering (wear and nondeterioration), Moscow Agricultural Academy Press, Moscow, 2000 (in Russian).
10. Garkunov D.N., Scientific Discoveries in Tribotechnologies. No-wear effect under friction: Hydrogen wear of metals. MAA Publishing House, Moscow, 2007.
11. Kragelsky, I. V., Friction and Wear, Moscow, Mashinostroenie, 1968.
12. Emilia Assenova, Gottlieb Polzer, Dr. Tsermaa and Mara Kandeve, Smart Coatings and Green Tribology World Tribology Congress 2013 Torino, Italy, September 8 - 13, 2013.