

Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П.
Центральноукраїнський національний технічний університет

МОЖЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ І ДОВГОВІЧНОСТІ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Встановлено, що при реалізації триботехнологій відновлення спряжень зразків і деталей різних типів ефективним є застосування відновлювальної суміші КГМТ-1. При використанні цієї суміші на конструкціях трибоспряжень зразків і деталей I і III типу відбувається швидке та ефективне формування зносостійких шарів на поверхнях тертя. Показано зміну моменту тертя, а також зменшення інтенсивності зношування в 3...6 разів за рахунок використання відновлювальної суміші КГМТ-1.

Ключові слова: спряження деталей, технологія триботехнічного відновлення, відновлювальна суміш, покриття, олива, транспортний засіб, зносостійкість, довговічність

Постановка проблеми. Аналіз робіт вітчизняних і зарубіжних вчених свідчить, що всі відомі на цей час методи й засоби безрозбірного відновлення трибоспряжень деталей за компонентним складом відновлюваних сумішей, фізико-хімічними процесами їх взаємодії з поверхнею тертя, властивостям отриманих покриттів (захисних плівок), а також механізмами функціонування варто ділити на три основні групи: металоплакувальні композиції, що реалізують ефект вибіркового переносу; речовини, які полімеризуються; металокерамічні матеріали, які формують відновлювальні покриття та захисні плівки [1, 2]. До відновлювальних сумішею присадок, які дають найбільший техніко-економічний ефект, можливо віднести кондиціонери металу і інші поверхнево-активні речовини, а також добавки модифікаторів [3, 4]. Ці продукти відрізняються за умовами й способами застосування.

В роботах [5, 6] з фізичної точки зору обґрунтовано та розроблено технологічний процес електротрибохімічного плакування зразків і деталей трибоспряження "гільза циліндра-поршневе кільце" шаром міді в моторній оливі з додаванням гліцерату міді. Металографічними дослідженнями показано, що покриття міді не повністю займає площу поверхні, а розподіляється по локальним областям, в основному, на площах контакту. Коефіцієнт заповнення залежить від щільності струму, тиску, концентрації гліцерату міді в композиційній оливі.

Фізико-хімічні дослідження складу, структури та властивостей сформованого покриття при реалізації триботехнологій відновлення показали, що воно перебуває в нерівноважному стані і в процесі формування мають місце ряд ефектів:

- спостерігаються дифузійні процеси як на поверхні (С, О), так і на межі з основним металом з утворенням інтерметаліду CuFe, останнє суттєво підвищує міцність зчеплення;
- підвищена концентрація О і С приводить до зміцнення поверхневого шару міді і істотного зменшення його схильності до схоплювання;
- залежність щільності дислокацій, фізичного уширення рентгенівських ліній міді від параметрів трибопроцесу відображає наявність процесу пластифікації нанесеного шару міді при електротрибохімічному плакуванні;
- встановлено, що ефект пластифікування шарів міді, нанесеної при електротрибохімічному плакуванні, більш виражений при збільшенні питомого тиску в трибоспряженні зразків і деталей.

Застосування композиційної оливи забезпечує зниження початкового зносу деталей в процесі припрацювання спряжень деталей і прискорює формування рівноважної мікрогеометрії поверхонь тертя ($Ra=0,08$ мкм) за рахунок утворення тонкого плакувального шару антифрикційного матеріалу при електротрибохімічному плакуванні

За хімічним й фазовим складом в композиційній оливі можуть бути представлені ревіталізанти як суміші магнезійно-залізного силікату – серпентиніту $Mg_6\{Si_4O_{10}\}(OH)_8$, що є формою цілого ряду мінеральних руд класу олівінів. Кінцевими фазами при цьому є форстерит Mg_2SiO_4 і фаяліт Fe_2SiO_4 , а також, у невеликих кількостях, кремнезем SiO_2 і доломіти $CaMg(CO_3)_2$.

Хімічні елементи Fe і Al, що входять до складу триботехнічних відновлювальних сумішей, є каталізаторами утворення піролітичного вуглецю на границях зерен підповерхневого шару. На поверхнях тертя, за рахунок механохімічної активації аморфної фази двоокису кремнію SiO_2 і атомів металу, утворюється плівка металосилікату. По суті відбувається типова коливальна хімічна реакція

модифікування:



Аналогічне рівняння виводиться й для тривалентного алюмінію Al^{+3} . Як видно з рівняння, на поверхні утворюються кристали металосилікату з об'ємною анізотропною структурою, до того ж зв'язується й віддається розчинений у поверхневих шарах металу водень, тим самим запобігаючи водневному окрихчуванню спряження деталей.

Зазначимо, що хімічна складова утворення металокерамічного шару, з ревіталізаторів та модифікаторів тертя розроблена досить ґрунтовно в роботах [7, 8], але недостатньо досліджені триботехнічні характеристики та експлуатаційні властивості шару покриття. Автори робіт [3, 4] наводять показники ударної міцності й твердості металокерамічного шару, сформованого на поверхні деталі. Глибоких фізичних досліджень поверхневого та підповерхневого шарів, які сформовані на поверхнях тертя при обробці ревіталізаторами у відкритій літературі не виявлено.

Недостатньо досліджені динаміка утворення й руйнування металокерамічного шару на поверхнях тертя при використанні триботехнічних відновлювальних сумішей. При цьому зносостійкі покриття безумовно мають дисипативні та метастабільні структури. Відомості про стійкість покриттів, отриманих за допомогою технологій триботехнічного відновлення, в процесі експлуатації практично відсутні. Різними є відомості про товщину металокерамічних шарів, утворених на поверхнях тертя: від 0,005 до 0,7 мм.

Таким чином, до складу триботехнічних відновлювальних сумішей можуть входити структурні складові різного походження, при реалізації які обумовлюють різну зносостійкість при реалізації триботехнологій відновлення і формуванні покриттів на різних типах спряжень деталей систем і агрегатів засобів транспорту. Зазначене потребує наукового обґрунтування з точки зору забезпечення належного рівня зносостійкості поверхневих шарів деталей та їх довговічності.

У зв'язку з цим **метою роботи** є дослідження триботехнічних характеристик робочих поверхонь зразків і деталей, на яких сформовано покриття при реалізації триботехнології відновлення з використанням відновлювальної суміші КГМТ-1. Мету реалізовано розв'язанням завдань:

- вивчення процесів формування покриттів на робочих поверхнях зразків (деталей), використовуючи схему "кільце-кільце" на машині тертя 2070 СМТ-1;
- виявлення ефективності додавання відновлювальної суміші КГМТ-1 до оливи М-10Г_{2К} для формування покриття на робочій поверхні зразка (деталі);
- дослідження зміни моменту тертя різних типів спряжень зразків з напрацюванням на машині тертя 2070 СМТ-1;
- дослідження зміни інтенсивності зношування різних типів спряжень зразків з напрацюванням на машині тертя 2070 СМТ-1 з використанням методу акустичної емісії.

Результати досліджень. Досліджували зразки і деталі використовували сталь 45 (HRC52) і бронзу Бр.АЖ 9-4 (НВ95). Як мастильне середовище використовували моторну оливу М-10Г_{2К} – базова олива та оливу М-10Г_{2К} з додаванням триботехнічної відновлювальної суміші: базова олива+присадка КГМТ-1. Дослідження ефективності застосування відновлювальної суміші КГМТ-1 проводили на різних типах конструкцій трибоспряжень зразків (табл. 1).

Табл. 1. Типи трибоспряжень зразків (деталей) та характерні ознаки їх властивостей

Характерні ознаки властивостей трибоспряжень зразків (деталей)				
Тип спряження	Рухомий зразок (деталь)		Нерухомий зразок (деталь)	
	Твердість матеріалу, H_p	Площа зони тертя, S_p	Твердість матеріалу, H_n	Площа зони тертя, S_n
I	більша	більша	менша	менша
II	менша	більша	більша	менша
III	більша	менша	менша	більша
IV	менша	менша	більша	більша

Широко розповсюдженою конструкцією є перший тип трибоспряження зразків (деталей), у яких матеріал рухомого зразка (деталі) має більшу твердість (H_p) і більшу площу зони тертя (S_p), а нерухомого – відповідно меншу твердість (H_n) і меншу площу зони тертя (S_n). Для трибоспряжень другого типу характерним є $H_p < H_n$, $S_p > S_n$, третього типу – $H_p > H_n$, $S_p < S_n$ та четвертого типу – $H_p < H_n$, $S_p < S_n$. Інтенсивність зношування твердих і м'яких матеріалів зразків (деталей) трибоспряжень четвертого типу однакова.

Відновлювальна суміш КГМТ-1 внесена в моторну оливу М-10Г_{2К} пройшла випробування на чотирикульковій машині тертя ЧШМ-К1. Випробування мали порівняльний характер. Вплив

присадки КГМТ-1 в складі моторної оливи М-10Г_{2К} порівнювали з базовою оливою М-10Г_{2К}. В процесі випробувань визначали показник зносу, критичне навантаження, і навантаження зварювання в середовищі оливи М-10Г_{2К} та композиційній оливі М-10Г_{2К}+ КГМТ-1. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

Табл. 2. Результати випробувань на чотирикульковій машині тертя ЧШМ-К1

Середні значення показників	М-10Г _{2К}	М-10Г _{2К} + КГМТ-1
Показник зносу, мм	0,560	0,454
Критичне навантаження, Н	1236	1570
Навантаження зварювання, Н	1962	2452

Отримані результати випробувань свідчать, що трибологічні характеристики моторної оливи після введення відновлювальної суміші КГМТ-1 покращилися: показник зносу зменшився на 19 %, а критичне навантаження зросло на 27 %. Це пояснюється формуванням шарів покриття на поверхнях кулькових зразків. Протизадирні властивості, які визначаються навантаженням зварювання, покращилися на 25%.

Результати досліджень закономірностей зміни моменту тертя (табл.3) та інтенсивності зношування (табл.4) представлені для різних типів трибоспряжень зразків.

Табл. 3. Закономірності зміни моменту тертя $M_{тр}$ (мНм) в різних конструкціях трибоспряжень зразків на базовій оливі (чисельник) і з додаванням суміші КГМТ-1 в оливу (знаменник) з напрацюванням

Тип конструкції трибоспряження зразків	Тривалість випробування, хв.											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
I	$\frac{1,2}{1,2}$	$\frac{2,4}{2,7}$	$\frac{2,7}{2,8}$	$\frac{2,7}{2,7}$	$\frac{1,8}{2,2}$	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,8}{2,0}$	$\frac{1,7}{1,9}$	$\frac{1,7}{1,8}$	$\frac{1,8}{1,8}$	$\frac{1,8}{1,7}$	
	$\frac{1,2}{1,7}$	$\frac{1,8}{2,2}$	$\frac{2,3}{3,0}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,8}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	
II	$\frac{1,2}{1,7}$	$\frac{1,8}{2,2}$	$\frac{2,3}{3,0}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,8}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	
	$\frac{1,2}{1,7}$	$\frac{1,8}{2,2}$	$\frac{2,3}{3,0}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,8}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,5}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	$\frac{2,1}{2,9}$	
III	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{2,5}{2,1}$	$\frac{2,4}{1,9}$	$\frac{4,3}{1,9}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	
	$\frac{0,9}{1,0}$	$\frac{2,5}{2,1}$	$\frac{2,4}{1,9}$	$\frac{4,3}{1,9}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	$\frac{2,3}{1,8}$	
IV	$\frac{2,3}{2,2}$	$\frac{4,1}{2,6}$	$\frac{4,2}{3,0}$	$\frac{4,2}{3,1}$	$\frac{4,0}{3,6}$	$\frac{3,7}{3,6}$	$\frac{3,6}{3,6}$	$\frac{3,6}{3,5}$	$\frac{3,3}{3,4}$	$\frac{3,7}{3,1}$	$\frac{3,7}{3,1}$	
	$\frac{2,3}{2,2}$	$\frac{4,1}{2,6}$	$\frac{4,2}{3,0}$	$\frac{4,2}{3,1}$	$\frac{4,0}{3,6}$	$\frac{3,7}{3,6}$	$\frac{3,6}{3,6}$	$\frac{3,6}{3,5}$	$\frac{3,3}{3,4}$	$\frac{3,7}{3,1}$	$\frac{3,7}{3,1}$	

Табл. 4. Закономірності зміни інтенсивності зношування I_u (10^{-9}) в різних конструкціях трибоспряжень зразків на базовій оливі (чисельник) і з використанням суміші КГМТ-1 в оливу (знаменник) з напрацюванням

Тип конструкції трибоспряження	Тривалість випробування, хв.											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
I	$\frac{0,20}{0,28}$	$\frac{0,55}{0,40}$	$\frac{0,59}{0,39}$	$\frac{0,58}{0,38}$	$\frac{0,57}{0,30}$	$\frac{0,57}{0,24}$	$\frac{0,58}{0,22}$	$\frac{0,57}{0,21}$	$\frac{0,57}{0,20}$	$\frac{0,57}{0,20}$	$\frac{0,57}{0,20}$	
	$\frac{0,40}{0,20}$	$\frac{0,60}{0,45}$	$\frac{0,75}{0,45}$	$\frac{0,83}{0,45}$	$\frac{1,00}{0,50}$	$\frac{1,12}{0,55}$	$\frac{1,15}{0,55}$	$\frac{1,18}{0,57}$	$\frac{1,19}{0,58}$	$\frac{1,19}{0,60}$	$\frac{1,20}{0,60}$	
II	$\frac{0,40}{0,20}$	$\frac{0,60}{0,45}$	$\frac{0,75}{0,45}$	$\frac{0,83}{0,45}$	$\frac{1,00}{0,50}$	$\frac{1,12}{0,55}$	$\frac{1,15}{0,55}$	$\frac{1,18}{0,57}$	$\frac{1,19}{0,58}$	$\frac{1,19}{0,60}$	$\frac{1,20}{0,60}$	
	$\frac{0,40}{0,20}$	$\frac{0,60}{0,45}$	$\frac{0,75}{0,45}$	$\frac{0,83}{0,45}$	$\frac{1,00}{0,50}$	$\frac{1,12}{0,55}$	$\frac{1,15}{0,55}$	$\frac{1,18}{0,57}$	$\frac{1,19}{0,58}$	$\frac{1,19}{0,60}$	$\frac{1,20}{0,60}$	
III	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{1,10}{0,65}$	$\frac{1,20}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,29}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	
	$\frac{0,50}{0,50}$	$\frac{1,10}{0,65}$	$\frac{1,20}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,29}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	$\frac{1,21}{0,20}$	
IV	$\frac{0,50}{0,40}$	$\frac{0,64}{0,60}$	$\frac{1,00}{1,20}$	$\frac{1,21}{1,15}$	$\frac{1,38}{1,22}$	$\frac{1,43}{1,22}$	$\frac{1,54}{1,21}$	$\frac{1,58}{1,21}$	$\frac{1,59}{1,20}$	$\frac{1,60}{1,20}$	$\frac{1,60}{1,20}$	
	$\frac{0,50}{0,40}$	$\frac{0,64}{0,60}$	$\frac{1,00}{1,20}$	$\frac{1,21}{1,15}$	$\frac{1,38}{1,22}$	$\frac{1,43}{1,22}$	$\frac{1,54}{1,21}$	$\frac{1,58}{1,21}$	$\frac{1,59}{1,20}$	$\frac{1,60}{1,20}$	$\frac{1,60}{1,20}$	

Можна бачити, що при роботі на моторній оливі М-10Г_{2К} з добавкою відновлювальної суміші КГМТ-1

процес припрацювання змінюється. Виявлено, що момент тертя має більшу величину та коливання. Інтенсивність зношування спряження зразків при роботі на базовій оливі і оливі з КГМТ-1, різко відрізняється. Після формування зносостійких захисних шарів на поверхнях тертя вона зменшується в три рази. Такий результат можна пояснити наступним чином. Тверді мікрочастинки триботехнічної відновлювальної суміші КГМТ-1 шаржуються в м'яку поверхню нерухомого зразка та, володіючи хорошою хімічною активністю, вступають в реакцію з лугами, які знаходяться в їх складі. Тиск і температура, які генеруються в процесі тертя, сприяють протіканню трибохімічної реакції утворення зносостійких шарів.

Біля поверхні тертя нерухомого бронзового зразка зафіксовано формування покриття, яке значно знижує інтенсивність зношування, але практично не змінює момент тертя. Виявлено, що таке покриття є пластичним та рухомих і може поводити себе як пружно-пластичне середовище.

Визначено позитивний ефект і на трибоспряженні зразків III типу, в якому нерухомий зразок виготовлено з м'якого матеріалу, тобто як і в трибоспряженні I типу. Можна припустити, що процес шаржування і процес протікання хімічних реакцій на поверхнях тертя в даному випадку проходить за тим же механізмом, що і в I типі трибоспряжень, але з тою відмінністю, що процес припрацювання протікає швидше і закінчується за 15...20 хвилин. Пояснюється це тим, що рухомий твердий зразок має меншу площу тертя, а отже і більш ефективно діє на м'яку поверхню спряженого зразка.

При застосуванні відновлювальної суміші КГМТ-1 незначно знижується момент тертя (табл. 3), але при цьому також майже в шість разів знижується інтенсивність зношування (табл. 4). Це свідчить про те, що ефективність використання відновлюваної суміші КГМТ-1 на трибоспряженнях зразків і деталей III типу краща, ніж на трибоспряженнях I типу.

Результати випробувань різних типів трибоспряжень зразків з хромованої сталі 45 і сірого модифікованого чавуну СЧМ представлено на рис.2-5.

Закономірності зміни моменту тертя та інтенсивності зношування трибоспряжень зразків I типу, наведено на рис. 2.

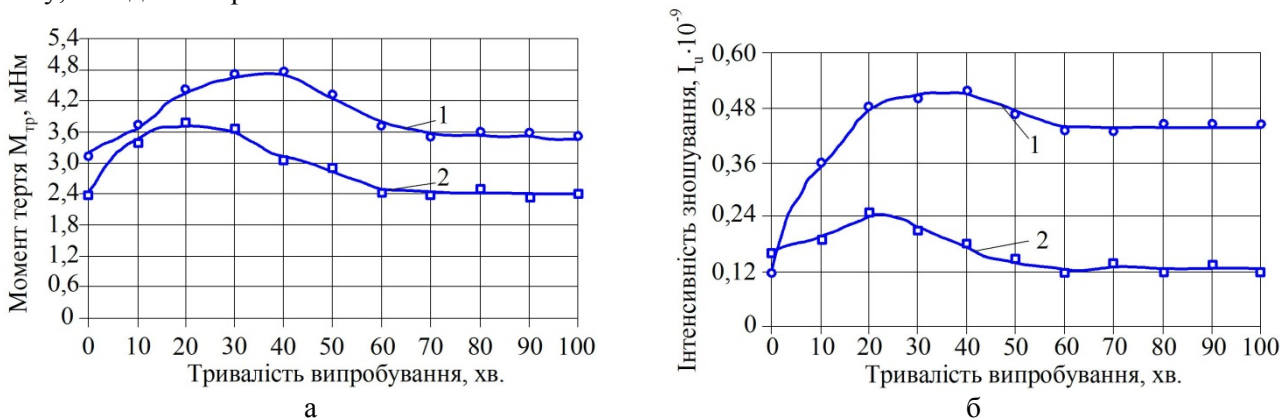


Рис. 2. Закономірності зміни моменту тертя (а) і інтенсивності зношування (б) трибоспряження зразків I типу в часі:
1 – базова олива М-10Г_{2К}; 2 – базова олива М-10Г_{2К} + КГМТ-1

Результати досліджень закономірностей зміни моменту тертя та інтенсивності зношування трибоспряження зразків другого, третього та четвертого типів наведена на рис. 3-5.

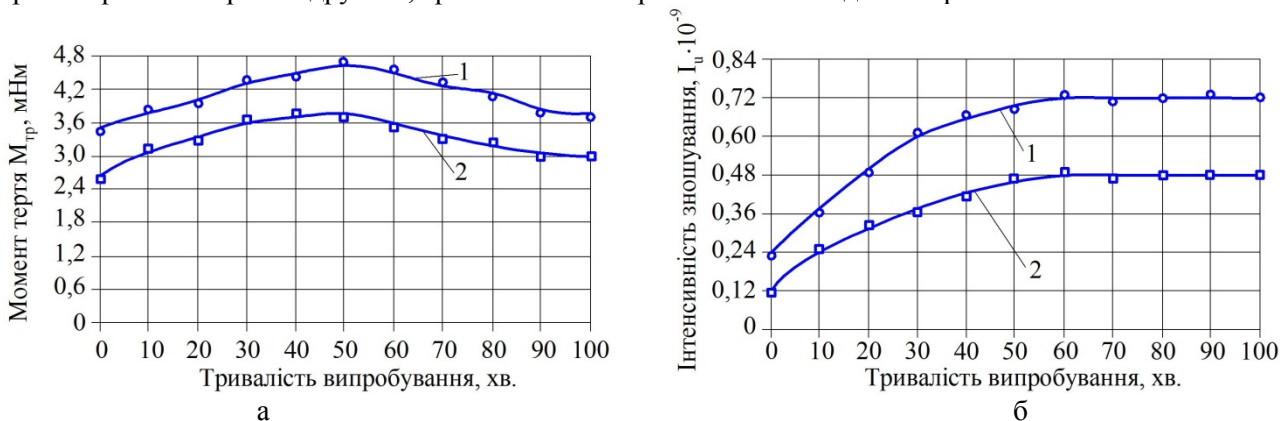


Рис. 3. Закономірності зміни моменту тертя (а) і інтенсивності зношування (б) трибоспряження II типу з часом:
1 – базова олива М-10Г_{2К}; 2 – базова олива М-10Г_{2К} + КГМТ-1

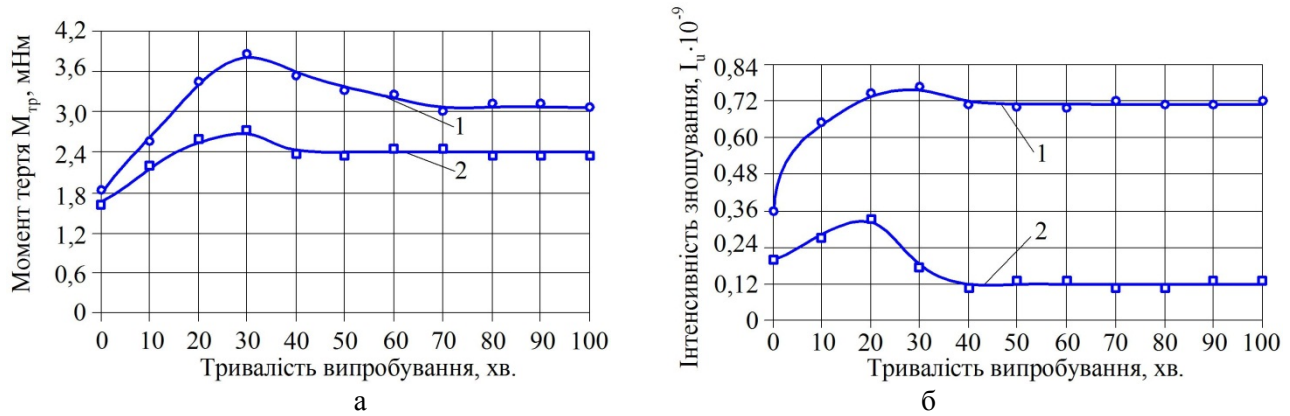


Рис 4. Закономірність зміни моменту тертя (а) і інтенсивності зношування (б) трибоспряження зразків III типу з напрацюванням:

1 – базова олива М-10Г_{2К}; 2 – базова олива М-10Г_{2К} + КГМТ-1

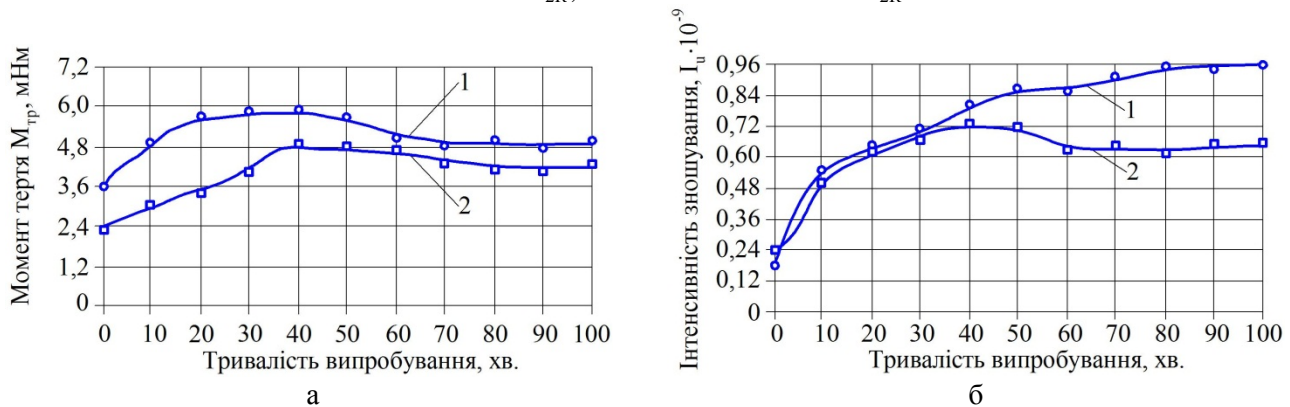


Рис. 5. Закономірність зміни моменту тертя (а) і інтенсивності зношування (б) трибоспряження IV типу в часі:

1 – базова олива М-10Г_{2К}; 2 – базова олива М-10Г_{2К} + КГМТ-1

В порівнянні з трибоспряженням, в якому використовували більш м'які матеріали, тривалість припрацювання трибоспряжень зразків I типу (рис. 2) збільшилась. Це можна пояснити покращенням трибологічних властивостей матеріалів. При цьому спостерігається збільшення моменту тертя. На відміну від трибоспряження матеріалів "сталь 45-Бр.Аж 9-4", для більш твердих матеріалів при використанні відновлювальної суміші КГМТ-1, момент тертя змінюється на більшу величину.

Після формування зносостійких шарів на поверхнях тертя, спостерігається характерне для I типу трибоспряжень зразків і деталей зменшення інтенсивності зношування. Зафіксовано також поліпшення властивостей у трибоспряженнях зразків і деталей III типу (рис.3). В цих трибоспряженнях отримано найбільший позитивний ефект від використання відновлювальної суміші КГМТ-1.

У трибоспряженнях II (рис. 4) і IV (рис. 5) типів ефект від використання присадки КГМТ-1 незначний. Це підтверджує справедливність припущення, яке використовували для пояснення поведінки твердих мікрочастинок відновлювальних сумішей, що формують основу зносостійкого покриття при триботехнологіях відновлення на різних типах трибоспряжень зразків і деталей.

Висновки

1. Результати експериментальних досліджень на машині тертя ЧШМ-К1 підтверджують ефективність застосування відновлювальної суміші КГМТ-1 при реалізації триботехнологій відновлення спряжень зразків і деталей різних типів.

2. Швидке та ефективне формування зносостійких шарів на поверхнях тертя відбувається на конструкціях трибоспряжень зразків і деталей I і III типу, причому трибоспряження III типу ефект проявляється швидше.

3. Після завершення формування зносостійких шарів набагато менше змінюється момент тертя у порівнянні з випробуваннями у базовому мастильному середовищі, а інтенсивність зношування зменшується в 3...6 раз.

4. На трибоспряженнях зразків і деталей II і IV типу ефективність застосування відновлювальної суміші КГМТ-1 недостатня, особливо це стосується трибоспряжень IV типу.

1. Балабанов В.И. Восстановление работоспособности ДВС в процессе эксплуатации / В.И. Балабанов // Автомобильная промышленность. – 1996. – №8. – С. 16-19.
2. Погодаев Л.И. Износостойкость пар трения серый чугуно-гальваническое хромовое покрытие при использовании смазочных композиций с различными присадками / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // Трение, износ, смазка. (Электр. ресурс). – www.tribo.ru. – 2000. – Т.2, №3. – С. 17-20.
3. Аратский П.Б. Применение геомодификаторов трения для увеличения ресурса работы металлообрабатывающего инструмента / П.Б. Аратский, А.Г. Капсаров // Трение, износ, смазка. (Электр. ресурс). – www.tribo.ru. – 2001. – Т.3, №1. – С. 7-10.
4. Половинкин В.Н. Антифрикционная противоизносная добавка в смазочные материалы минерального происхождения (геомодификатор трения) / В.Н. Половинкин, В.Б. Лянной, Ю.Г. Лавров // Трение, износ, смазка. (Электр. ресурс). – www.tribo.ru. – 1999. – Т.1, №1. – С. 17-21.
5. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення : монографія / В. В. Аулін, С. В. Лисенко, О. В. Кузык, А. В. Гриньків, Д. В. Голуб; ред.: В. В. Аулін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. - 303 с.
6. Аулін В.В. Фізико-мезомеханічний підхід до виявлення характеру зношування спряжень деталей сільськогосподарської і автотранспортної техніки / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузык, І.В. Жилова // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2017. – №4 – С.82-86.
7. Погодаев Л.И. Структурно-энергетическая модель изнашивания / Л.И. Погодаев [и др] // Трение и износ. – 2001. – Т.22, №2. – С. 168-172.
8. Бершадский Л.И. Масштабное переупорядочение структуры и энтропийные эффекты при трении и износе металлов / Л.И. Бершадский // Физика износостойкости поверхности металлов. – Л., 1988. – С. 166–182.

REFERENCES

1. Balabanov, V. (1986). *Vosstanovlenie rabotosposobnosti DVS protsesse ekspluatatsii* [Restoration of the operability of internal combustion engine during operation]. *Automobile industry - Avtomobilnaya promyshlennost*, 8, 16-19 [in Russian].
2. Pogodaev, L., & Kuzmin, V., & Dudko, P. (2000). *Iznosostojkost par treniya seryj chugun-galvanicheskoe hromovoe pokrytie pri ispolzovanii smazochnyh kompozicij s razlichnymi prisadkami* [Wear resistance of friction pairs gray cast-galvanic chrome coating when using lubricating compositions with different additives]. *Trenie, iznos, smazka - Friction, wear, lubrication*, 3(2), 17-20. Retrieved from <http://tribo.ru> [in Russian].
3. Aratskij P., & Kapsarov, A. (2001). *Primenenie geomodifikatorov treniya dlya uvelicheniya resursa raboty metalloobrabatyvayushchego instrumenta* [The use of friction geomodifiers for increasing the life of a metalworking tool]. *Trenie, iznos, smazka - Friction, wear, lubrication*, 1(3), 7-10. Retrieved from <http://tribo.ru> [in Russian].
4. Polovinkin, V., Lyannoij, V., & Lavrov, Yu. (1999). *Antifrikcionnaya protivoznosnaya dobavka v smazochnye materialy mineralnogo proiskhozhdeniya (geomodifikator treniya)* [Antifriction antiwear additive in lubricants of mineral origin (friction geomodifier)]. *Trenie, iznos, smazka - Friction, wear, lubrication*, 1(1), 17-21. Retrieved from <http://tribo.ru> [in Russian].
5. Aulin, V., Lysenko, S., Kuzyk, O., Hryniv, A., & Holub D. (2016). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhniki tekhnolohiiamy trybotekhnichnoho vidnovlennia: monohrafiia* [Tribological bases of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicles technology of tribotechnical restoration: monograph]. Кропивницький: Лисенко В.Ф. [in Ukrainian].
6. Aulin, V., Lysenko, S., Kuzyk, O., & Zhylova, I. (2017). *Fizyko-mezomekhanichni pidkhid do vyavlenia kharakteru znoshuvannia spriazhen detalei silskohospodarskoi i avtotransportnoi tekhniki* [Physico-mezomechanical approach to detecting the nature of wearing couplings of parts of agricultural and road vehicles]. *Problemy trybolohii - Problems of tribology*, 4, 82-86 [in Ukrainian].
7. Pogodaev, L. (2001). *Strukturno-ehnergeticheskaya model iznashivaniya* [Structural-energy model of wear]. *Trenie i iznos - Friction and wear*, 2(22), 168-172 [in Russian].
8. Bershadsckij, L. (1988). *Masshtabnoe pereuporyadochenie struktury i ehntropijnye ehffekty pri trenii i iznosne metallov* [Scale rearrangement of the structure and entropic effects in the friction and wear of metals]. *Fizika-iznosostojkosti-poverhnosti-metallov - Physics of wear resistance of metal surfaces*, 166-182 [in Russian].

Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Чернай А.Є., Лукашук А.П. Возможности технологий триботехнического восстановления для повышения износостойкости и долговечности сопряженных деталей транспортных средств.

Установлено, что при реализации триботехнологий восстановления сопряжений образцов и деталей различных типов эффективно применение восстановительной смеси КГМТ-1. При использовании этой смеси на конструкциях трибоспряжений образцов и деталей I и III типа происходит быстрое и эффективное формирование износостойких слоев на поверхностях трения. Показано изменение момента трения, а также уменьшение интенсивности износа в 3...6 раз за счет использования восстанавливающей смеси КГМТ-1.

Ключевые слова: сопряжения деталей, технология триботехнического восстановления, восстановительная смесь, покрытие, масло, транспортное средство, износостойкость, долговечность.

V. Aulin, S. Lysenko, A. Hrinkiv, A. Chernai, A. Lukashuk. Possibilities of tribotechnical recovery technologies for increasing wear resistance and durability of the associated parts of vehicles.

It is established that when implementing tribotechnology for restoring conjugations of samples and parts of various types, it is effective to use the KGMT-1 restorative composition. When this mixture is used on the constructions of triboconjugations of samples and parts of type I and III, wear-resistant layers on the friction surfaces are rapidly and efficiently formed. Shown the change in the friction moment, as well as the decrease in the intensity of wear in 3...6 times due to the use of the repair composition KGMT-1.

Keywords: conjugation of parts, technology of tribotechnical recovery, repair composition, coating, oil, vehicle, wear resistance, durability.

АВТОРИ:

АУЛІН Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор кафедри «Експлуатація та ремонт машин», Центральноукраїнський національний технічний університет, e-mail: AulinVV@gmail.com

ЛИСЕНКО Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент кафедри «Експлуатація та ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: sv07091976@gmail.com

ГРИНЬКІВ Андрій Вікторович, молодший науковий співробітник кафедри «Експлуатація та ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: avgrinkiv@gmail.com

ЧЕРНАЙ Андрій Євгенійович, аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт машин» ЦНТУ, e-mail: chernayae91@gmail.com

ЛУКАШУК Андрій Петрович, аспірант кафедри «Експлуатація та ремонт машин» ЦНТУ, e-mail: atdvnz@ukr.net

АВТОРЫ:

АУЛИН Виктор Васильевич, д.т.н., профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», Центральноукраинский национальный технический университет, e-mail: AulinVV@gmail.com

ЛЫСЕНКО Сергей Владимирович, к.т.н., доцент кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: sv07091976@gmail.com

ГРИНЬКИВ Андрей Викторович, младший научный сотрудник кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: avgrinkiv@gmail.com

ЧЕРНАЙ Андрей Евгеньевич, аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: chernayae91@gmail.com

ЛУКАШУК Андрей Петрович, аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт машин», ЦНТУ, e-mail: atdvnz@ukr.net

AUTHORS:

Viktor AULIN, Doctor of Science in Engineering, Professor Operation and repair of machines Department, Central Ukrainian National Technical University, e-mail: AulinVV@gmail.com

Sergii LYSENKO, PhD. in Engineering, Assoc. Professor of Operation and repair of machines Department, Central Ukrainian National Technical University, e-mail: sv07091976@gmail.com

Andrii HRINKIV, Junior research fellow operation and repair of machines Department, Central Ukrainian National Technical University, e-mail: avgrinkiv@gmail.com

Andrii CHERNAI, Postgraduate Student of operation and repair of machines, Central Ukrainian National Technical University, e-mail: chernayae91@gmail.com

Andrii LUKASHUK, Postgraduate Student of operation and repair of machines, Central Ukrainian National Technical University, e-mail: atdvnz@ukr.net

Стаття надійшла в редакцію 23.05.2018р.