

УДК 631.173

М.В. Молодик, чл.-кор. НААНУ, проф., д-р техн. наук, М.О. Василенко, канд. техн. наук, Ю.І. Лисіков, ст. наук. співр., О.М. Іванов, наук. співр.

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», смт. Глеваха

Перспективні напрями підвищення довговічності пар тертя сільськогосподарської техніки

Викладені результати експериментальних досліджень порівняльної зносостійкості і припрацювання пар тертя при використанні фосфатних покриттів і додаткового їх просочування в розчинах, що містять наночастинки. Розглянуто питання підвищення ресурсу трибоспрями за рахунок покращення умов тертя.

пари тертя, фосфатне покриття, наночастки, трибоспрями

Проблема. Ефективність сільськогосподарської техніки оцінюється надійністю та економічністю. Для забезпечення надійності насамперед необхідно забезпечити безвідмовну роботу вузлів, агрегатів і спрями робочих поверхонь деталей. Кожну машину можна розглядати як сукупність трибосистем, а безвідмовна її робота залежить насамперед від їх надійності. Найбільш розповсюдженим в механіці є процес тертя твердих тіл в умовах граничного мащення. В якості мастильних матеріалів найбільш поширені вуглеводневі консистенції та рідини. Вважається також, що за умов неможливості проникнення їх в зону фрикційної взаємодії, функцію мащення виконує довкілля (повітря, гази та ін.). Тому в сучасному тракторному і сільськогосподарському машинобудуванні приділяється велика увага удосконаленню конструкції трибосистем і пошуку оптимальних умов їх роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Робота трибосистем розглядається як фрикційна взаємодія, яка оцінюється кінематикою тертя, навантаженням фрикційного контакту та властивостями контактуючих поверхонь.

Для зменшення втрат на тертя здійснюються заходи конструкторського характеру: підбір форми, розмірів і матеріалів деталей пар тертя і технологічного характеру: удосконалення властивостей робочих поверхонь, забезпечення оптимальних умов мащення. При цьому змінюються деякі параметри: конструктивні (шорсткість, точність обробки), фізичні (щільність, міцність, твердість), хімічні (абсорбція, в'язкість, адгезія).

На збільшення ресурсу трибосистем великий вплив мають умови мащення, властивості мастильного матеріалу, способу його подачі в зону фрикційної взаємодії, умов навантаження контактуючих поверхонь, робочої температури. Також для цього на робочі поверхні деталей наносять покриття, різновидом яких є конверсійні покриття. Конверсійні покриття – це перетворений шар на робочій поверхні, який складається з кристалів фосфатів металів, з'єднаних з решіткою металу деталі[1].

Такі покриття мають ряд позитивних властивостей (рис.1).

Приведені властивості позитивно впливають на роботу трибосистем. Адгезія такого покриття з основним металом досить значна, тому що решітки металу основи і кристалів фосфатів мають спільний атом кисню. Міцність конверсійного шару менше основи, за рахунок чого досягається прискорене припрацювання[1].

Під час фрикційної взаємодії кристали фосфатів руйнуються і заповнюють об'єми (порожнечі) між нерівностями обробленої поверхні. Цим досягається

збільшення площі контактуючих поверхонь, покращується антифрикційність, а самі частинки кристалів виконують функцію твердого мащення [2].

В зону тертя вводять наночастинки Cu , Mo , C , B у вигляді ремонтно-відновлювальних композицій, абсолютна більшість котрих виготовлена з використанням вуглецевих складових - фулеренів. Фулерени це гігантські молекули вуглецю, в основному C_{60} і C_{72} , які мають кулевидну форму, високу адгезію та спорідненість з металами, в тому числі і з кольоровими.

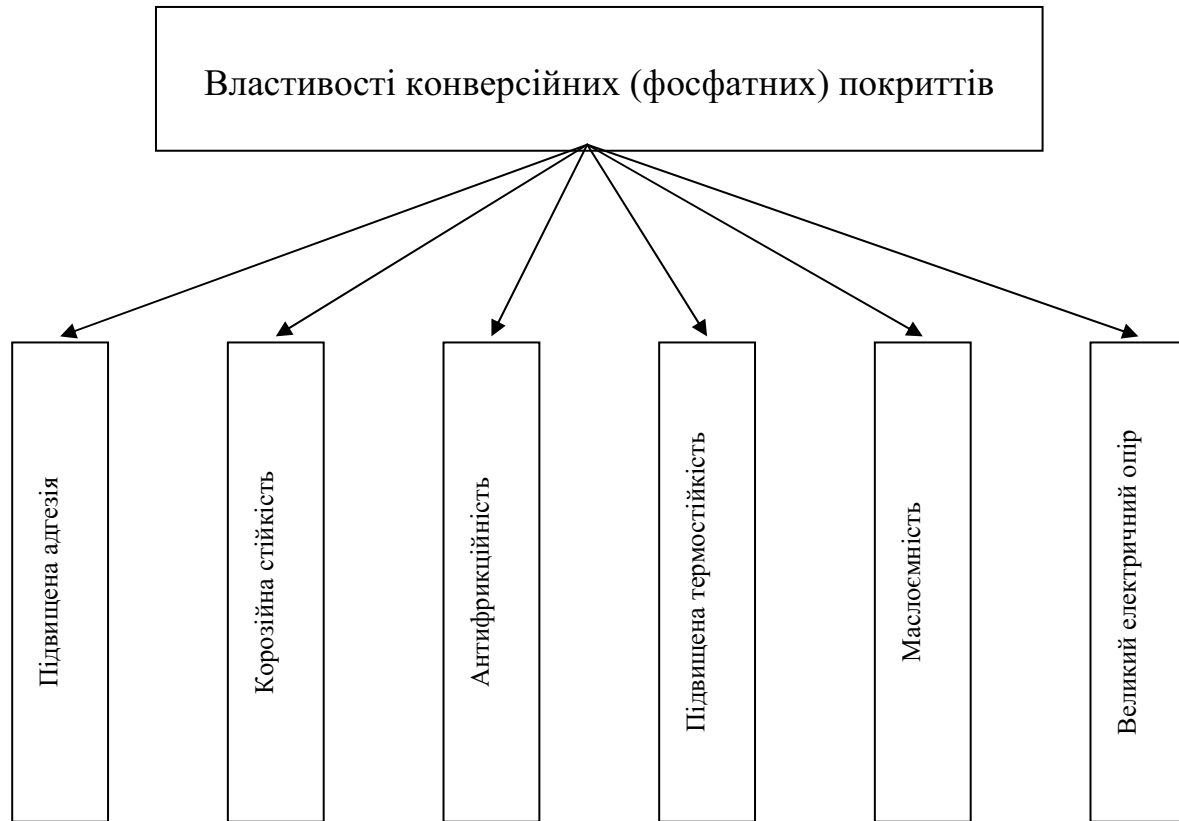


Рисунок 1 – Властивості фосфатних покриттів

Мета роботи. Підвищення довговічності вузлів тертя сільськогосподарських машин за рахунок використання ремонтно-відновлювальних композицій.

Результати досліджень. В ННЦ «ІМЕСГ» проведені дослідження щодо впливу фосфатів і конверсійних покриттів на зносостійкість поверхонь тертя і покращення їх припрацювання.

В процесі досліджень нами використовувались такі властивості фосфатного шару як висока адгезія і достатньо велика кількість пустот між кристалами фосфатів, які прогнозувалося заповнити наночастинками. При цьому проводилося додаткове просочування покриттів вуглеводневими мастильними матеріалами з вмістом наночастинок.

Просочування здійснювалося розчиненими добавками, а також сухим натиранням. Дослідження проводилися з використанням каніфолі, технічного парафіну та «алюмінієвої пудри» (Al_2O_3) з розмірами частинок від 6 до 100 нм.

Для нанесення покриттів готувалися такі розчини:

- масло $\text{M10Г}_{2\text{к}} + 4\% \text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$ (каніфоль);
- технічний парафін в рідкому стані при температурі 85°C ;
- масло $\text{M10Г}_{2\text{к}} + 5,5\% \text{Al}_2\text{O}_3$;
- масло $\text{M10Г}_{2\text{к}} + 5\% \text{«Нанопротек»}$;
- сухий порошок Al_2O_3 .

Нанесення покриттів здійснювалося на зразки із сталі Ст. 3 після шліфування ($R_a=0,5$). Фосфатні покриття наносилися на зразки із розчину фосфатуючого концентрату ФК-16 при температурі 80°C [3]. Після нанесеного фосфатного шару зразки ретельно промивалися у гарячій воді при температурі $75\pm 5^{\circ}\text{C}$ і в холодній воді при температурі $15\pm 5^{\circ}\text{C}$ впродовж 15-20 хв. Після їх висушування у сушильній шафі при температурі $120\pm 10^{\circ}\text{C}$ впродовж 15 хв. зразки просочувались, також впродовж 15 хв., в таких розчинах (табл. 2).

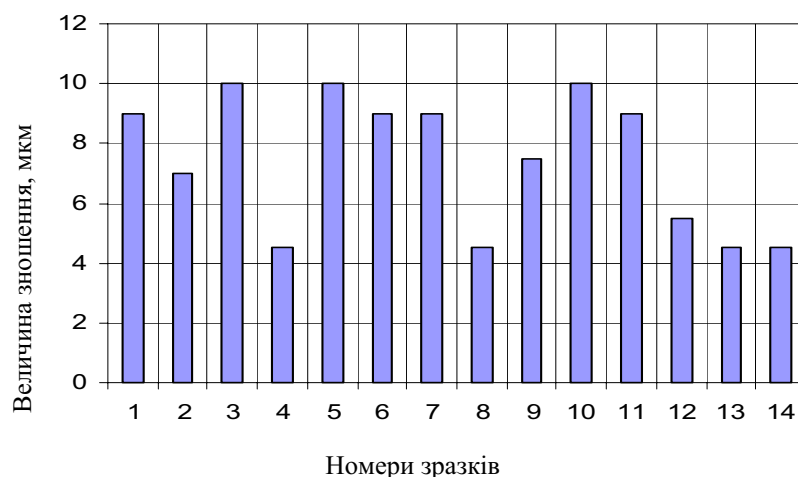
Таблиця 1 – Склад розчинів та температура просочування

Номер розчину	Склад розчину	Робоча температура, $^{\circ}\text{C}$
1	$\text{M10Г}_{2\text{K}}$	135
2	$\text{M10Г}_{2\text{K}} + 5,5\% \text{Al}_2\text{O}_3$	135
3	$\text{M10Г}_{2\text{K}} + 4\% \text{C}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$	125
4	$\text{M10Г}_{2\text{K}} + 5\% \text{«Нанопротек»}$	90
5	Парафін технічний ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$)	90

Після просочування зразки підвішувались для видалення рештків розчину самопливом. Нанесення сухої суміші Al_2O_3 також проводилось на висушену і нагріту поверхню, рештки видалялися протиранням поверхні.

Моніторинг зносостійкості поверхонь зразків проводили на розробленому та виготовленому нами пристрої. Пристрій складається з платформи на якій обертається сталевий диск (контртіло), та навантажувального важеля. Привод пристрою здійснюється від шпинделя свердлильного верстату. Зразок закріплювався на навантажувальному важелі та притискувався до обертального диску. Зношення відбувалось за схемою «площина по площині» при терті ковзання.

Проведені нами в 2007-2009 роках порівняльні випробування сталевих зразків з такими покриттями показали покращення припрацювання (скорочується час припрацювання в 3-6 разів) та підвищення зносостійкості в 1,2-1,4 рази.



1, 3, 5, 7, 9, 11 і 13 - зразки з нанесеним фосфатним шаром;
 2, 4, 6, 8, 10, 12 і 14- зразки з нанесеним фосфатним шаром і
 просочені моторним мастилом $\text{M10Г}_{2\text{K}}$.

Рисунок 2 – Гістограма величини зношення нанесеного шару після випробувань на тертя, впродовж 60 хв., при навантаженні 40 кПа

Порівняння слідів і величин зношення поверхонь свідчить про зменшення величин зношень на поверхнях, які піддані просочуванню моторним мастилом М10Г_{2к}, якщо розглядати зразки 1, 3, 7, 11 і 13 порівняно із зразками 2, 4, 8, 12 і 14 [4].

В працюючій трибосистемі безперервно відбуваються фізичні і хімічні процеси. Наприклад руйнування поверхневої плівки розглядається як відпадання мілких частинок кристалів фосфатів (руйнування від втоми) та попадання їх у трибоплазму. Такі частинки мають нанорозміри.

З досліджень властивостей наночастинок встановлено, що при їх зменшенні до розмірів менш 10 нм, їх міцність збільшується в десятки разів, температура плавлення зменшується, в деяких випадках на сотні градусів. Змінюються і ще деякі властивості, закономірності яких ще не встановлені. Наприклад, дослідженнями вчених встановлено, що фулереносілікатні нанорозмірні суміші при введенні в зону тертя трибосистем сприятливо впливають на роботу пари тертя[5]. На цій властивості створено значну кількість ремонтно-відновлювальних композицій, більшість з яких використовують як добавки в мастильні матеріали, а введення їх в зону фрикційного контакту здійснюється за існуючими системами мащення.

Величина зношень в процесі досліджень встановлювалась в залежності від тривалості випробувань. Обробка результатів величин зношення при навантаженні 80кПа та трьох швидкостях взаємного тертя (2,5м/с, 3,5м/с, 4,5м/с) свідчить, що зношення, при даних режимах, описується логарифмічною функцією:

$$Y = a \ln(x) + b,$$

де Y – величина зношення, мкм;

X – час випробування, хв.;

a, b – коефіцієнти.

Залежності величини зношень від тривалості випробувань показані на рисунку 3.

Всі добавки позитивно вплинули на роботу трибосистем «зразок - обертовий диск» (площина по площині). Впродовж перших 60 хв. випробувань (припрацювання) величина зношень спостерігалась в межах від 8 до 20 мкм. Впродовж наступних 60 хв. інтенсивність зношення знизилась (закінчилось припрацювання) і становила від 1 до 3 мкм. За наступні ще 60 хв. величина зношення спостерігалась в межах 1-2 мкм.

При порівнянні і оцінюванні припрацювання нанесеного шару різниця величини зношень зразків складала десятки долі мікрон і фактично знаходилась в межах нанорозмірів.

На припрацьованих поверхнях спостерігалася наявність світлих і темних смуг, напрямком яких співпадає з напрямком тертя (обертання контртіла), рис.4.

Ні на одному зразку не має порушень поверхневої плівки. Навпаки, спостерігається суцільна глянцева поверхня (ефект дзеркала контакту). При спостереженні через оптичну систему металографічного мікроскопу ММР-2Р чітко спостерігається наявність суцільної, прозорої плівки (ефект утворення плівки з більш м'якого матеріалу). При цьому на світлих смугах, слідах зношення поверхні металу, також має місце так званий «намазаний» шар. Він являє собою шар твердого змащування на контактуючих поверхнях, його товщина знаходиться в межах від 20 до 200нм. Він також являє собою контактну поверхню тертя при заданих параметрах трибосистеми.

Слід відзначити, що наявність такої плівки збільшує строк служби трибоспрямлення ще тим, що захищає контактуючі поверхні з самого першого моменту фрикційного контакту трибосистеми, коли існуюча система мащення ще не забезпечила подачу мастильного матеріалу, наприклад після зупинки агрегата.

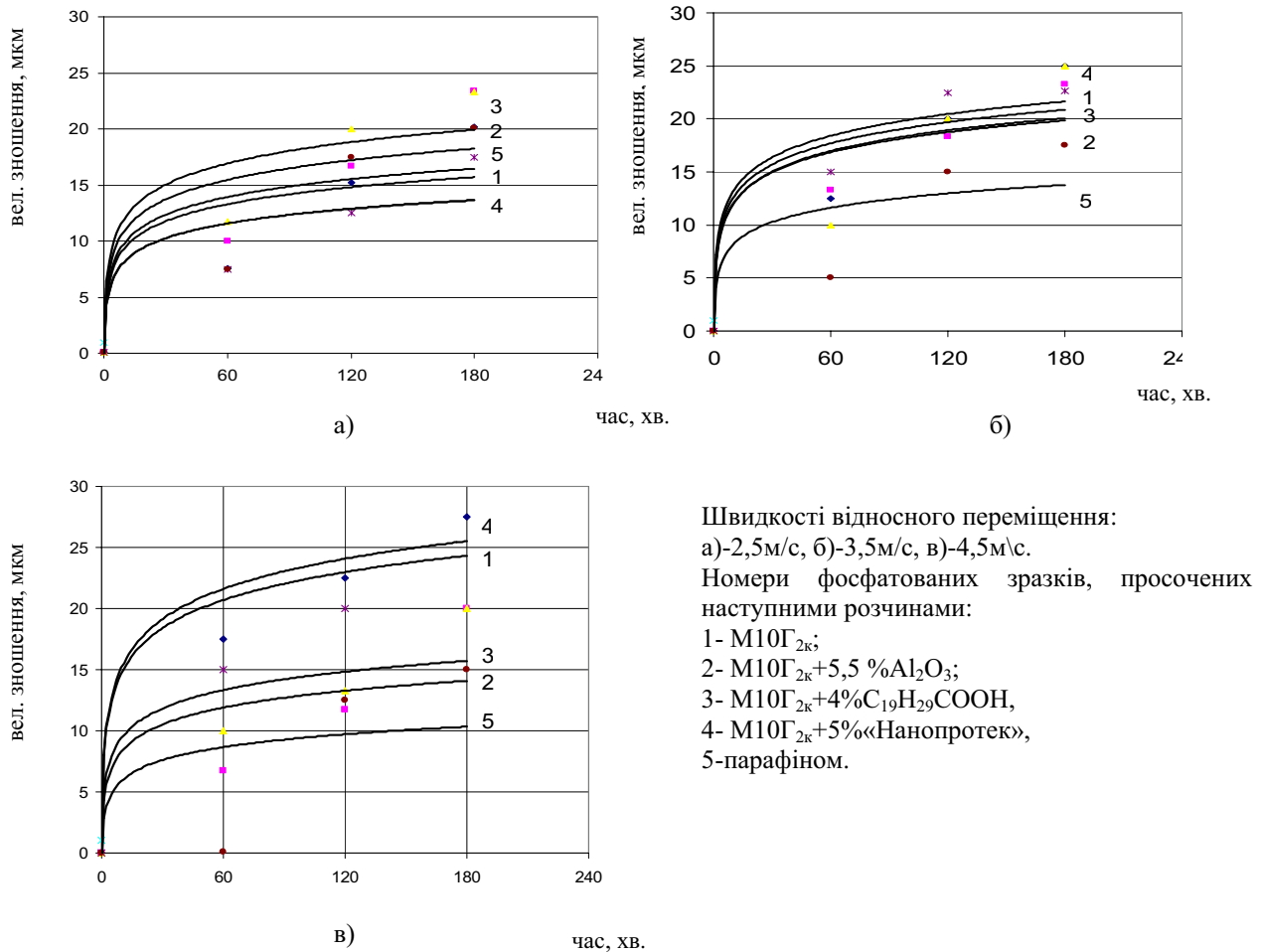


Рисунок 3 – Залежності величини зношень зразків від тривалості випробувань. Навантаження 80 кПа



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд зразків після випробувань протягом 180 хвилин

Аналіз зношень свідчить, що при малих швидкостях випробувань(<2,5м/с) найкращу зносостійкість показали поверхні зразків, які містять добавку композиції «Нанопротек» для трансмісій.

Достатньо високу зносостійкість при швидкостях взаємного тертя більше 3м/с мають поверхні зразків, які просочені парафіном.

Висновки:

1. Додаткове просочування фосфатних конверсійних покриттів мастильними матеріалами з добавкою, парафіну, кانیфолі, алюмінієвої пудри забезпечує підвищення антифрикційності поверхневих шарів вузлів тертя. Продукти зношення конверсійних шарів мають нанорозміри, залишаються в складі трибоплазми (змащувального середовища) і сприяють підвищенню зносостійкості контактуючих поверхонь.

2. Просочування конверсійних шарів розчинами з вмістом нанорозмірних частинок зменшує тривалість припрацювання контактуючих поверхонь в 3-6 разів і підвищує їх зносостійкість в 1,2 -1,4 рази, особливо в умовах граничного мащення.

Список літератури

1. Хаин И.И. Теория и практика фосфатирования металлов / И.И. Хаин. – Л.: Химия, 1973. – 312 с.
2. Д.Н. Триботехника. Износ и безизносность / Д.Н. Гаркунов. – М.: МСХА. – 600 с.
3. Молодик М.В. Доцільність та перспектива використання хіміко-термічних методів нанесення покриттів / М.В. Молодик, М.О. Василенко, Ю.І. Лисіков // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2007 р. – Вип. 91. – С. 86-91.
4. Молодик М.В. Підвищення довговічності рухомих спряжень сільськогосподарських машин нанесенням конверсійних покриттів / М.В. Молодик, М.О. Василенко, Ю.І. Лисіков // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2008 р. – Вип. 92. – С. 405-411.
5. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего / В.И. Балабанов. – М.: Эксмо, 2009. – 248 с.

М. Молодык, М. Василенко, Ю. Лысиков, О. Иванов

Перспективные направления повышения долговечности пар трения сельскохозяйственной техники

Изложены результаты исследования износостойкости поверхности фосфатированных стальных образцов, пропитанных растворами содержащими наночастицы. Установлено, что такие покрытые рабочие поверхности позволяют улучшить прирабатываемость и повысить ресурс пар трения за счёт повышения антифрикционности.

М. Molodyk, M. Vasilenko, U. Lysikov, O. Ivanov

Promising directions of raising resources of friction pairs of agricultural machinery

Given are the results of studies into surface wear proof of phosphatired steel specimens impregnated with solutions containing nanoparticles. It is elucidated that such covered working surfaces allow to improve running-in and raise resources of friction pairs at the expense of decrease in friction.

Одержано 25.08.11