

за каналів круглої форми діаметрів менше 6 мм криві течії апроксимуються однією, а за діаметрів 20-25 мм розходження кривих також стає несуттєвим. Виходячи з цього можливо зробити висновок, що за малих поперечних перерізів результати експерименту проведеного для каналів некруглої та круглої форми дещо відрізняються. Дану ситуацію можна пояснити наявністю додаткових концентраторів напружень по ширині каналу некруглої форми. Що до каналів великих розмірів, то результати співпадають.

Отже за малих розмірів каналів (2x32, 4x32, 8x32) стінка впливає на весь поперечний переріз, а при більших розмірах каналу відносна величина пристінного шару є не значною порівняно з лінійними розмірами сторони каналу.

Список використаної літератури

1. Ю.А.Жданов, В.Ф.Дубовицкий. Исследование профиля скоростей при течении расплава полиэтилена в цилиндрических каналах. «Химическое машиностроение». Республиканский межведомственный сборник, 1968, выпуск 8, ст.42-47.
2. Ю.А.Жданов, В.Ф.Дубовицкий. Пристенные эффекты при течении полиэтилена в цилиндрических каналах. «Химическое машиностроение». Республиканский межведомственный сборник, 1969, выпуск 9, ст. 21-27.
3. Рябинин Д.Д. Течение полиэтилена высокой плотности в прямоугольных каналах. «Химическое машиностроение». Республиканский межведомственный сборник, 1976, выпуск 24, ст.33-37

УДК 621.532.691

**М.М.Свирид канд.техн.наук, С.М.Занько ас., В.В.Луб'яний канд.техн.наук,
В.А.Тит асп., І.В.Морозова ас.
Національний авіаційний університет**

МОНІТОРИНГ ТРИБОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПАРАМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ ТРИБОЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

В представленной работе исследуется влияние магнитных силовых линий на поведение магнетиков в трибоузле, а также возможность репарации поверхности, с помощью технологий безразборного восстановления. Показаны результаты влияния входящих параметров на трибологические характеристики узла трения.

In this work the influence of magnet force lines, for the magnetic action in the tribonode, is researched, and possibility of surface reparation, without disassemble renewal technology is also proposed. The input parameters results, to the tribological characteristics of friction node, are shown.

Загальна постановка проблеми і її зв'язок з науково-практичними задачами. Різноманітними галузями промисловості і сільського господарства щорічно витрачаються сотні тисяч тон металу на виготовлення запасних частин і їх заміну. При цьому присутні значні трудовозатрати, збільшуються простої агрегатів для заміни зношених деталей, знижується продуктивність машин і механізмів. Тому підвищення

зносостійкості і строку служби машин вельми важлива задача науки і виробництва, особливо в сучасних умовах. Складна структура та технічні рішення системних деталей гідроприводів, що використовуються в новітніх транспортних засобах, з часом потребує обслуговування та періодичного ремонту на ряду з відновленням. Якість ремонту деталей і вузлів транспортних засобів можна істотно підвищити, використовуючи новітні технології реставрації деталей, в конструкціях, заснованих на досягненнях фізики, хімії та матеріалознавства. Провідні матеріали, які застосовуються для виготовлення плунжерних пар – це низько леговані сталі, загартовані на мартенсит, та корпусні мідні сплави бронзи та латуні і легкоплавкі алюмінієві сплави.

Ремонт деталі потребує розбору та шліфування, далі доведення поверхонь тертя проводять в три етапи пастами: притирання – пастою 28 мкм, доведення – пастою 7 мкм, освіження – пастою 1 мкм. Після кожного процесу притирання і доведення, деталі необхідно ретельно промивати, можна в чистому дизельному паливі. Відновлення пари тертя втулка - клапан виконується за допомогою механічної розшліфовки втулки до наступного ремонтного розміру. Такий шлях відновлення прицевзійної пари потребує високої точності обробки, що значно підвищує собівартість ремонту. На рис. 1. показана поверхня тертя алюмінієвого корпусу шестеренного насосу із сплаву АЛ-9 в парі з вуглецевою сталлю.

Огляд публікацій і аналіз невирішених проблем. Дослідження показали, що в парі сталь-бронза утворюється мідна плівка, в результаті анодного розчинення бронзи. Після того, як поверхня бронзи і сталі покриється міддю, розчинення бронзи припиняється і встановлюється режим вибіркового перенесення [1].

У міру зменшення товщини змащувального шару посилюється взаємодія приповерхневих шарів із змащувальним матеріалом. В умовах граничного тертя перетворення енергії здійснюється в поверхневих шарах змащувального матеріалу і в найтонших поверхневих шарах матеріалів тіл, що труться. В умовах сухого тертя без задирів і заїдання, перетворення енергії відбувається в тонких поверхневих шарах матеріалів тіл і плівках вторинних структур.

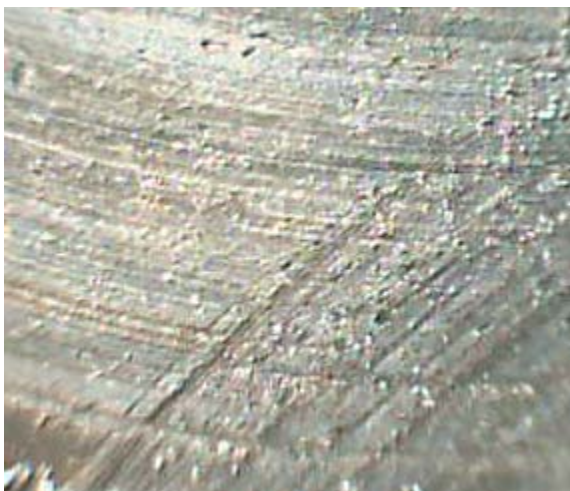


Рис. 1. Поверхня тертя алюмінієвого корпусу шестеренного насосу із сплаву АЛ-9 в парі з вуглецевою сталлю

Поки ще неможливо дати повний математичний опис фізичних закономірностей з урахуванням усіх компонентів, що визначають зносостійкість матеріалів в узагальненому вигляді, беручи до уваги множини різних факторів. Однак, дана концепція має самостійне значення, оскільки уточнює предметні уявлення про зносостійкість і розширює базу наукових знань трибології. В науці і техніці потрібно приймати рішення на основі множини взаємопов'язаних факторів, взаємне математичне описання впливу яких не може бути відсутнім, тому

використовують математичне планування експерименту. Результати дослідження формування складу, структури і властивостей зносостійких сплавів отримані з використанням сучасних методів, наукового обладнання і оригінальних приладів, які забезпечують достовірність та правильність вибраних технологічних прийомів відновлення, що впроваджуються в експлуатаційні характеристики вузла тертя. [2].

На поверхнях, що труться і в прилеглих до них шарах, одночасно відбувається велика кількість процесів: потік тепла, потоки речовини, фізико-хімічні процеси взаємодії тіл, що труться з іншим тілом і середовищем, деформації, структурні, фазові перетворення в тілах, що труться та інші. Деякі з цих процесів викликані безпосередньо тертям. Ю.Л. Клімонтович вказав, що при виробництві ентропії, в процесі самоорганізації за інших рівних умов, інтенсивність зношування нестійких вторинних структур менша ніж в стаціонарному стані. Таким чином, дисипативний процес структури – неврівноважений і проходить із зниженням ентропії. Отже, за інших рівних умов, у присутності дисипативних структур, загальне виробництво ентропії буде менше ніж при їх відсутності, буде менша і інтенсивність зношування. Система може втратити термодинамічну стійкість в станах далеких від рівноваги, якщо надмірне виробництво ентропії стане негативним. З погляду виробництва ентропії, самоорганізація може привести до стану, коли при посилюванні умов тертя, тобто при збільшенні частини виробництва ентропії, пов'язаного з тертям, загальне її виробництво не змінюється. Це відбувається за рахунок збільшення абсолютної величини загального виробництва ентропії, пов'язаної з проходженням нестійких процесів, внаслідок чого система «пропускає» енергію великої потужності без помітних пошкоджень, тобто без значної зміни інтенсивності зношування. За рахунок подібної енергетичної взаємодії незалежних процесів тертя і проходження струму або опромінювання, можна описати такі процеси як: явище аномальнонизького тертя або ефект змашувальної дії струмом. Зміна умов і характеру поверхні відбувається в залежності від впливу магнітних силових полів на умови тертя направлення до площини тертя.

В більшості речовин внутрішні сили вирівнювання магнітної орієнтації атомів відсутні, домени не утворюються, і магнітні поля окремих атомів спрямовані випадковим чином. Через це поля окремих атомів-магнітів взаємно гасяться, і зовнішня речовина відсутня. В той же час, ці речовини мають власне магнітне поле. При розташуванні такої речовини в сильному зовнішньому полі (в нашому випадку 100 мТс), магнітні поля атомів орієнтуються в напрямку, що співпадає з напрямком зовнішнього магнітного поля, від чого ми спостерігаємо ефект підсилення магнітного поля в присутності такої речовини.

Я.І. Френкель розвинув оригінальну теорію парамагнітної релаксації в перпендикулярних полях, поклавши в основу явище магнітоспінного резонансу. Згідно його теорії, магнітний момент атому здійснює прецесійний рух у зовнішньому магнітному полі з визначеною частотою. Треба відмітити, що теорію Френкеля в однаковому ступені можливо прикласти до твердих і рідких тіл і дозволити передбачити тотожний характер явищ релаксації в них, якщо розчинення твердої солі

не змінює стану магнітного атому і не супроводжується істотною зміною часу встановлення рівноваги між спін-системою і молекулярним рухом.

Застосування трибоелектрохімічних методів відновлення алюмінієвих сплавів, що мають характеристики парамагнетиків, в середовищах з великим питомим електроопором є дуже складними.

Мета дослідження - дослідити параметри відновлення поверхонь тертя, в умовах безрозбірних технологій та провести моніторинг впливу магнітних силових ліній на трибологічні параметри парамагнітного матеріалу (алюмінію, свинцю).

Задачі досліджень - відпрацювати технологію нанесення трибологічнопридатного матеріалу свинцю на поверхню алюмінію, для захисту поверхонь тертя і визначити параметри репарації алюмінію в парі з сталевим зразок.

Виклад матеріалу і результати досліджень.

Проведення експериментальної частини завжди є передумовою моделювання вузла тертя і параметрів його експлуатації та механізму, який необхідно дослідити з метою відновлення. Для обґрунтування процесів та уявлень про закономірності, що протікають на поверхнях тертя машин та механізмів, нами розроблена логічна модель впливу вхідних параметрів на трибологічні характеристики трибовузла (рис 2).

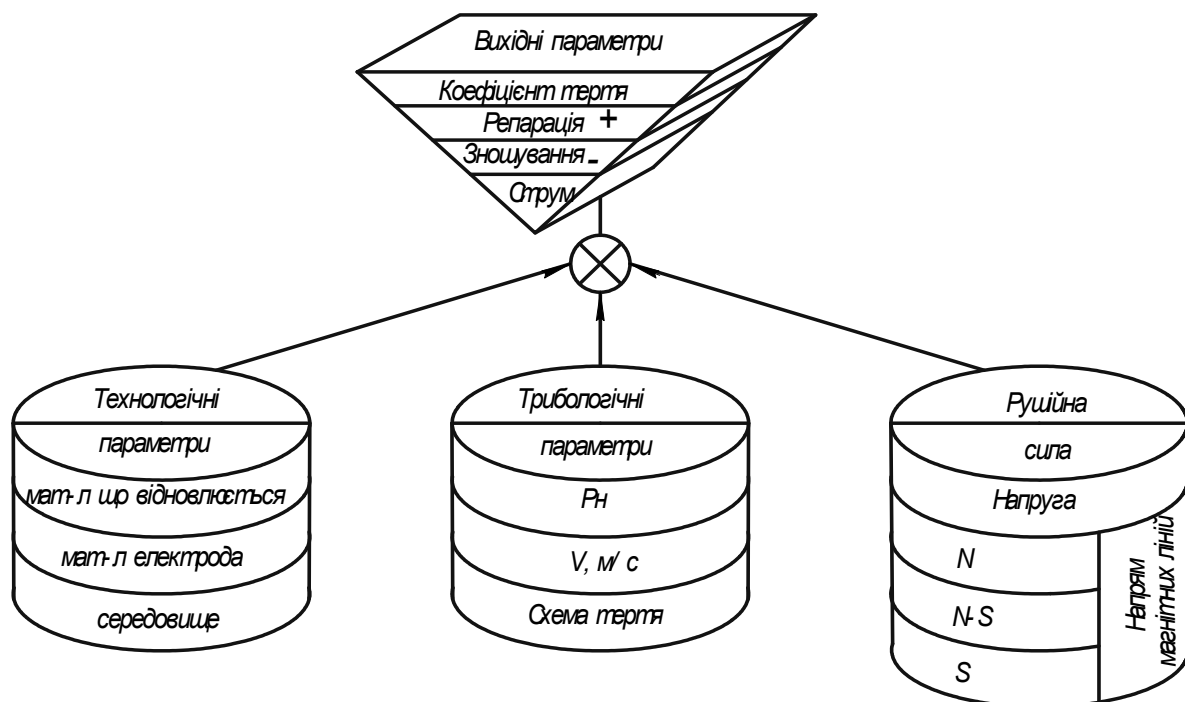


Рис. 2. Реалізація лінійного передбачення (логічна модель)

Згідно проведеного аналізу, можливо поетапно проаналізувати вплив вхідних параметрів на трибологічні характеристики вузла тертя. Комплексний вплив значно ускладнює умови дослідження, тому ми провели розділення вхідних чинників системи:

а) найбільш впливовими на зміни в «чорному ящику» з технологічних параметрів є: матеріал, який необхідно відновити, середовище, в якому проводиться репарація поверхні тертя та метал, яким відновлює, тобто допоміжний електрод;

б) основними експлуатаційними вхідними характеристиками трибологічної системи є: навантаження, швидкість, схема тертя;

в) для відновлення поверхні використовуються електронні або молекулярні переносики матеріалу. Вплинути на їх параметри переміщення можливо направленою дією струму (напругою) або магнітним полем.

Представлені параметри майже всі одночасно приймають участь у формуванні поверхні тертя і утворенні проміжного шару. Якщо реакцію спрямувати в бік відновлення поверхні, то необхідно створити умови переносу матеріалу від допоміжного електроду на поверхню матеріалу, який необхідно відновити. Для таких умов необхідно активувати середовище і зсунути енергетичний потенціал в напрямку відновлення. Енергетично рушійною силою може бути напруга або направлені магнітні лінії. Для проведення випробувань в магнітному полі провели допрацювання установки, [3] яка заключалася в тому, що вбудували постійний магніт таким чином, щоб джерело магнітного поля якнайближче знаходилося до поверхні тертя, а його силові лінії перпендикулярно перетинали площину тертя. Моніторинг поверхні тертя сталі та алюмінію відпрацьовували за схемою тертя «площина–палець» згідно методики. Робочою рідиною слугував поліетиленгліколь-400 середньою молекулярною масою 400 в 5% водному розчині, з кислотністю $pH=5,5$. Потужність магнітної індукції в зоні тертя, в фокусі фотографування складала 100 мТл. Контртілом слугувало скло, як міцний та модельний матеріал. Достовірність експерименту в значній мірі залежить від робочої площі контакту, тому необхідно ізолювати неробочу поверхню зразка від потрапляння рідини. Для цього використовується цапонлак або термоусадкова ізолююча трубка. Враховуючи, що взаємодія в реальному вузлі поверхонь проходить між шестернею (метал на основі заліза) і алюмінієм (внутрішня поверхня корпусу насоса) дослідними матеріалами вибрано допоміжний електрод – алюміній для сталевого зразка та цинк або свинець для алюмінієвого. Модельним вузлом тертя взяли загартовану, на мартенсит, сталь У-8 в парі із склом, для визначення направленості переносу алюмінію, який слугував допоміжним електродом, на зразок із сталі. Для відновлення алюмінієвої поверхні використовували свинець або цинк у вигляді допоміжного електроду. Зразки мали циліндричну форму з розмірами 4 мм в діаметрі та 35 мм довжиною з алюмінію та сталі У-8. Основним показником трибологічних можливостей вузла тертя є коефіцієнт тертя, а його працездатність та довговічність характеризує зносостійкість пари тертя в розрахункових параметрах. Відносне переміщення поверхонь провокує опір, що виникає між двома тілами в зонах зіткнення поверхонь по місцям фактичних площ контакту, механізм якого супроводжується дисипацією енергії. При цьому розбалансована механічна система, при терті, перетворює 90% енергії на теплову. Для постійної підтримки системи в стані рівноваги необхідно створювати самоорганізуючу систему репарації трибологічної поверхні.

Робоча поверхня зразка притиралася на абразивній шкурі - мікронці, після чого промивалася спиртом і зважувалася на аналітичних терезах АДВ-200М з точністю 10^{-4} грама. На установці впродовж двох хвилин притирали зразок до появи плями контакту, яку спостерігали на екрані монітора в період припрацювання. Потім підключали

постійну напругу «мінус» на зразок «плюс» до допоміжного електроду, та відмічали початковий та встановлений струм, що утримувався в процесі репарації. Напруга мережі відповідала 30В, а струм досягав 0,013А. На катоді осаджується метал з електроліту, анод – допоміжний електрод (*Pb, Zn*).

Носіями зарядів в розчинах є іони, тобто самі атоми або молекули, що втратили або захопили один або декілька електронів. Електричний струм проходив по колу, елементом якого є розчин, іони останнього постійно переміщуються і переміщуються по колу на зразок, від чого змінюють його хімічні властивості. Маса речовини, що виділяється при електролізі прямо пропорційна кількості, пройденій через електроліт електрики (сила струму на час) і не залежить від інших причин, крім роду речовини.

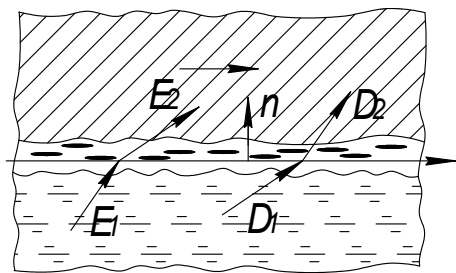


Рис. 3. Злом силових ліній векторних полів напруженості \vec{E} і електричної індукції \vec{D} на межі розподілу двох середовищ

Здатність матеріалу утворювати захисні плівки на поверхні, в процесі окислення під впливом навколишнього середовища, в конструктивно і технічно обґрунтованих та заданих параметрах, під дією як тертя так і в стаціонарних умовах, значно відрізняються. Достатньо важче утримати пасивуючу поверхню під час тертя [4]. Постійний зрив захисних плівок, що утворюються, не дає можливості стабілізуватися поверхні в будь-яких умовах. Це пояснюється збільшенням ентропії вузла тертя до критичного значення. Хімічна

взаємодія середовища з свіжоутвореною поверхнею матеріалу, по місцях фактичного контакту значно впливають на сукупність параметрів, які характеризують життєдіяльність оксидних плівок на поверхні тертя. Тертя двох поверхонь під впливом дії магнітних силових ліній супроводжується направленою дією переміщення продуктів зносу. Примусове утримання останніх створює передумову утворення конгломератів які виконують роль змащування. Зміщення конгломератів під дією електричної індукції \vec{D} і напруженості \vec{E} в векторному полі обумовлюється розподілом як продуктів зношування так і середовища по поверхні, що органічно пов'язано одне з одним.

Введення спеціального вектора \vec{D} в якості зручної розрахункової величини, що характеризує електричне поле. Однак вектор \vec{D} електричної індукції або вектор електричного зміщення, нормальна компонента векторного поля \vec{D} на межі розподілу двох середовищ сприймають стрибок, рівний поверхневій щільності вільних зарядів. Між цими ж площинами отримаємо локальну умову для компонента вектора напруженості \vec{E} електростатичного поля. Навколо довільної поверхні розподілу двох

середовищ, після вибору додатного напрямку нормалі, розглянемо замкнений контур, як показано на рис. 3, лінією розподілу двох середовищ 2 і 1.

Тангенціальні (дотичні) компоненти векторного поля \vec{E} безперервні при переході через межу розподілу двох середовищ. Зауважимо, що дотичні компоненти векторного поля \vec{E} однозначно формують дотичні компоненти векторних полів, якщо середовища ізотропні. Тому умови переходу дії магнітних силових ліній достатні для отримання співвідношень зв'язку дотичних компонент векторних полів на межі розподілу двох середовищ. Маючи математичні данні напруженості та електричної індукції, даний механізм дії магнітних ліній дозволяє змінити напрямлення іонів допоміжного електроду, в задалегідь вибраному напрямку. Тобто, спрогнозувати вплив силових ліній на поведінку продуктів зносу.

Зміна напрямку магнітного поля значно впливає на поведінку утворення вторинних структур при зношуванні, в залежності від того, до якого класу відноситься матеріал, який використовується як допоміжний електрод. На гістограмі (рис. 4) представлені трибологічні характеристики зразків з алюмінію та сталі У-8, для яких допоміжним електродом слугували матеріали: *Zn*, *Pb* та *Al*.

На рис. 5. представлені поверхні тертя в режимі зношування: рис. 5а - в середовищі 25% розчину поліетиленгліколя в воді, де видно нарощування окисних плівок до рівня відриву від поверхні тертя алюмінієвого зразка, їх товщина може досягати 20...25 мкм. Подальше напрацювання призводить до розбіжності даних по коефіцієнту тертя та значно погіршується топографія поверхні. Характер поверхні в режимі відновлення (рис. 5б) відповідає окислювальному зношенню. Напрацювання в десятки кілометрів (до 40 км) не призводять до зміни топографії поверхні, товщина оксидної плівки становить 3...5.мкм.

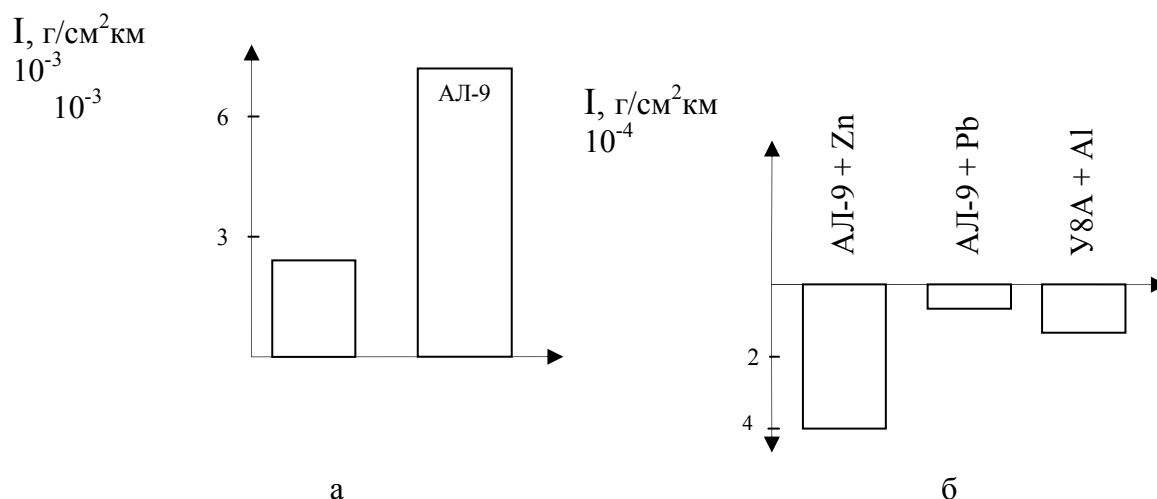


Рис. 4. Гістограма гравітаційної зміни приведенного зношування матеріалів, під дією магнітного поля, в умовах переміщення маси: а – зношування в ПЕГ- 400, 25%; б – переміщення маси допоміжного електроду (*Zn*, *Pb*) на дослідний зразок в ПЕГ- 400, 25%

Взаємодія із склою в розчині ПЕГ без напруги та дії магнітного поля має характерну доріжку тертя з достатньо гладкою поверхнею. Під час експерименту використовували введення допоміжного електроду із сталі та керування магнітними лініями, які розташували таким чином, щоб вони проходили через скло перпендикулярно до площини тертя, в напрямку від *N* до *S*. В представленій схемі направлені магнітні лінії збираються в жмут, який підсилює їх дію. Продукти зношування та іони були спрямовані на площу тертя силою магнітної дії.

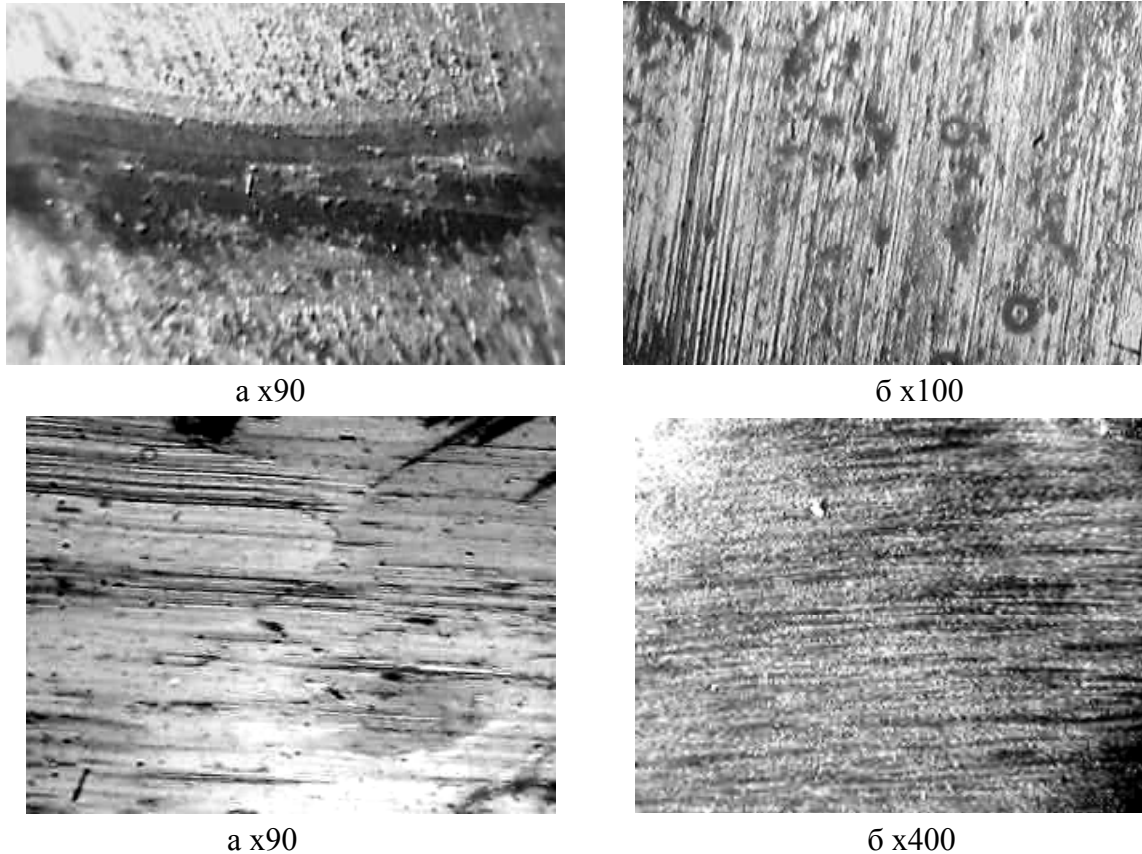


Рис. 5. Топографія поверхні тертя. Режим зношування **а** (в ПЕГ 25%)
Режим відновлення **б** (на поверхні сплаву АЛ-9; x100)

Трибологічні властивості алюмінієвого сплаву слабкі. Звідси й умови відновлення поверхні складніші. Плівка має щільні характеристики, покриває майже 90 % площі товщиною 3...4 мкм, коефіцієнт тертя становить 0,025...0,02 по скляному зразку, проте на сталевому зразку, загартованому на мартенсит, коефіцієнт тертя зменшується до 0,015.

Переміщення електричних зарядів характеризується електричною рухливістю u_i іонів i -го компонента, яка дорівнює швидкості упорядкованого руху, при напруженості поля, і залежить від ефективного заряду z_i^* . Ці величини пов'язані рівнянням Ейнштейна:

$$u_i = z_i^* e D_0 / kT,$$

де D_0 - коефіцієнт молекулярної дифузії, e - елементарний електричний заряд, k - стала Больцмана, T - абсолютна температура.

Переміщення іонів металу в атомарному стані [5] супроводжує перебудову структури, яка формується у напрямі максимального зміцнення і орієнтації поверхневих шарів. Направленні магнітні лінії сконцентрувалися в зразку з сталі У-8А та прошивали контртіло, проходячи перпендикулярно до поверхні тертя і зтягуючи за собою частинки матеріалу допоміжного електроду, якщо він феромагнетик.

У випадку парамагнітних матеріалів, як алюміній, при нанесенні на феромагнетик, дія магнітних ліній значно підсилиться якщо зона тертя знаходиться між полюсами рис. 6а. В разі репарації поверхні парамагнітного матеріалу алюмінію матеріалом, що відповідає діамантним властивостям, тобто цинком, в положенні від *N* до *S*, поверхня тертя набуває вигляду рис 6б. і характеризується підвищенням ваги зразка та появою явних ознак цинку.

Відновлення поверхні тертя проходить за рахунок вмісту іонів відповідного металу в розчині ПЕГ та направленої дії магнітного поля.

Висновки

Виходячи з одержаних результатів, з питань репарації поверхонь тертя в умовах трибоелектрохімічної технології, яка підсилювалася направленим магнітним полем, можна зробити висновок, що дія силових ліній на магнетики неоднозначно впливає на їх поведінку в трибовузлі.

На базі зроблених досліджень, представляється можливість, за допомогою технології безрозбірного відновлення, значно зменшити трудозатрати на відновлення прицевійних пар тертя.

Список літератури

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безизносность): Учебник. – 4-е изд., перераб. И доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. 616с., ил.280.
2. В.В. Кравець, В.Д. Евдокимов Повышение износостойкости поверхностей трения электрофрикционным методом стр.68. Сучасні проблеми триботехніки. Міжнародна науково-технічна конференція 29.вер.-1 жов 2005р.
3. Проблеми тертя та зношування: Науково-технічний збірник. – К.: НАУ, 2006. – Вип.45.- 204с., Свирид М.М., Паращанов В.Г., Онищенко А.В., - Комплекс для дослідження трибологічних параметрів вузла тертя.
4. Бурлакова, В.Э. Трибозлектрохимия эффекта безизносности: [моногр.] / В. Э. Бурлакова; ДГТУ. - Ростов н/Д, 2005. - 211 с.: ил. - ISBN 5-7890-0323-0 : 65-00.
5. Роль заряда поверхности металла в процессе коррозионно-механического изнашивания/ А.И.Портер, Г.А. Прейс – Проблемы трения и изнашивания : Респ. Межвед. Научн.-техн. Сб., 1981, 20, с. 57-61.