

УДК 620.178.16 (045)

М.М. Свирид, к.т.н., доц.

ТРИБОЕЛЕКТРОХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ ВУЗЛА ТЕРТЯ ПІД ДІЄЮ ІМПУЛЬСНОГО МОДУЛЬОВАНОГО СТРУМУ

Національний авіаційний університет
E-mail: svirid_mn@ukr.net

Вивчено умови перенесення матеріалу елемента донора (матеріалу допоміжного електрода) в робочих розчинах із високим електроопором під впливом трибоелектрохімічної дії на поверхню катода (пари тертя). Визначено робочі параметри трибоелектрохімічного процесу відновлення в розчинах поліетиленгліколя-400 під дією імпульсного модульованого струму.

Conditions of donor element material transferring (material of auxiliary electrode) are studied in working solutions with high electroresistance under conditions of triboelectrochemical influences on cathode surface (friction pair). Working parameters of triboelectrochemical renewal process are defined in solutions of polyethylene glycol-400 under the influence of impulse modular current.

Изучены условия перенесения материала элемента донора (материала вспомогательного электрода) в рабочих растворах с высоким электросопротивлением под воздействием трибоэлектрохимического воздействия на поверхность катода (пары трения). Определены рабочие параметры трибоэлектрохимического процесса восстановления в растворах полиэтиленгликоля-400 под действием импульсного модулированного тока.

Постановка проблеми

Умови відновлення поверхонь і характеру проходження процесу формують основні положення для визначення стану сигналу, що впливає на поверхню матеріалу. Стан матеріалу можна змінити дією імпульсних потоків енергії.

Аналіз останніх досліджень

Аналіз впливу імпульсів струму на структуру металів вивчали багато авторів [1; 2], які вказують на зміну кристалічної ґратки металу за густини струму 100 MA/m^2 , що розвиває електропластичний ефект.

Після оброблення зразка імпульсним струмом поліпшується плосконапружений стан поверхневого шару. Зміна приповерхневої структури металу стає одноріднішою, у тонких шарах реалізується плосконапружений стан матеріалу.

Під час тертя навантажені ділянки фактичних площин контакту накопичують енергетичні запаси, руйнуючи атомні зв'язки, створюючи при цьому нерівноважену структуру матеріалу.

Проте насправді частка латентної (запасної) енергії, що створює руйнування, знижується на 4–5 порядків. Ці зниження руйнівної енергії, її розсіяння зумовлені дисипативними властивостями поверхневих структур.

Сучасні підходи до розуміння явищ, що відбуваються, зв'язують ці процеси з самоорганізацією дисипативних структур, що вивчаються синергетикою та термодинамікою нерівноважених процесів системи в умовах деформації.

Для отримання імпульсного випрямленого струму через площину тертя зони робочих поверхонь зразка та контртіла в середовищах із високим питомим електроопором використовується одноперіодичний випрямляч, установлений паралельно площини тертя.

Імпульс струму й інші зовнішні енергетичні дії виконують роль каталізатора, розрядження дислокаційних скупчень. Скачок деформації, що спостерігається при цьому здійснюється за рахунок енергії внутрішнього напруження, накопиченого в процесі пластичної деформації.

У процесі пластичної деформації на рівні окремих дислокаційних ансамблів відбувається неоднорідна пластична деформація в просторі та часі.

Вплив потужності електричного імпульсу на зміну структури матеріалу показано в роботі [1]. Струм не тільки чинить теплову дію, але і впливає на структурні дефекти (електропластичний ефект).

Методику імпульсного оброблення матеріалів застосовують для зміни стану матеріалу на рівні кристалічних ґраток.

Підвищення частоти сигналу, що впливає на робочу рідину, покращує умови проходження електричного струму.

За постійного струму в електрохімічному осередку з високим електричним опором процес перенесення не проходить. Тому розроблено методику відновлення поверхонь тертя імпульсним випрямленим струмом.

Для вивчення умов перенесення матеріалу донора необхідно визначити параметри, за яких процес відновлення проходитиме в рідинах із високим електроопором.

Визначення параметрів спектральних випромінювань пари тертя контролювали за допомогою стандартної програми SpektrumLab.

Характеристика спектральної щільності сигналу – це розподіл енергії або потужності сигналу за діапазоном частот, а також оцінювання сигналу і шуму з використанням спектральної щільності енергії або спектральної щільності потужності.

Спектральна щільність енергії описує енергію сигналу на одиницю ширини смуги й вимірюється відношенням джоуль на герц [Дж/Гц].

Позитивні й негативні компоненти дають рівні енергетичні внески, тому для реального сигналу $x(t)$ величина $|X(f)|$ є парною функцією частоти.

Отже, спектральна щільність енергії симетрична за частотою відносно початку координат.

Втрати енергії на частотах 2...3 кГц пропорційні квадрату частоти сигналу. Кожна частка середовища на шляху поширення хвиль одночасно бере участь в коливаннях усіх цих хвиль.

Мета роботи полягає у вивченні умов перенесення матеріалу елемента донора в робочих розчинах із високим електроопором під впливом трибоелектрохімічної дії на поверхню катода – пари тертя та визначенні робочих параметрів трибоелектрохімічного процесу відновлення в розчинах поліетиленгліколя-400 (ПЕГ-400) під дією імпульсного модульованого струму.

Механізм репарації поверхонь тертя під дією імпульсного модульованого струму

У моделях, розроблених для вуглеводнів, вважається, що електрони під час руху в рідині взаємодіють з коливаннями зв'язку С-С або С-Н.

Енергія коливань набагато менша, ніж енергія іонізації. Якщо електрон набирає енергію, що більша за енергію коливань, то він може рухатися без утрат до досягнення енергії іонізації.

Підбір параметрів дає можливість набувати значень електричної міцності, близьких до експериментальних даних. Проте у разі слабких змін зовнішніх умов (температури T , тиску P , тривалості імпульсу t) теоретичні оцінки істотно розходяться з експериментом.

Згідно з моделями електрична міцність є характеристикою рідини і не залежить від температури та тиску, тоді як в експерименті електрична міцність може змінюватися у декілька разів у разі зміни температури та тиску.

Процеси стирання супроводжуються деформаційними переміщеннями поверхневого шару, випромінюючи складні акустичні спектри, що характеризують умови зміни стану матеріалу. Результати дослідження на зносостійкість трибопари в умовах напрямленої дії імпульсного електричного струму через зону тертя з використанням допоміжного електроду з алюмінію показано на рис. 1.

За вхідних даних 25% ПЕГ і 17 Гц перенесення алюмінію досягає 2,5 мкм/км, що пояснюється великим електродним потенціалом алюмінію (-1,76 В) і валентністю Al^{3+} , а також мінімальним електроопором середовища.

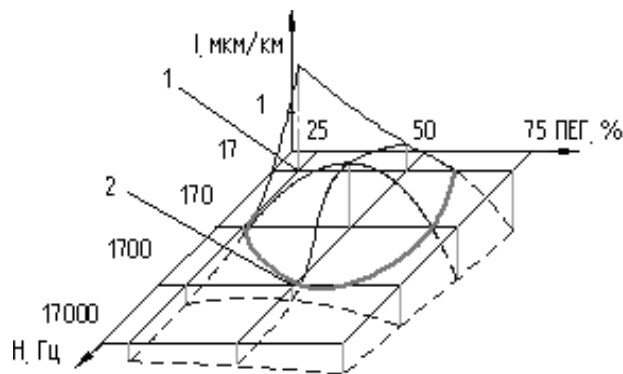


Рис. 1. Трибологічні параметри сталі 45 по контр тілу скла в середовищі ПЕГ залежно від частоти та стану середовища

Технічні можливості комплексу [3] дозволяють у процесі моніторингу перенесення алюмінію на сталь відстежити моменти зростання та стирання, контрольовані в динамічному зношуванні.

У мікроскоп відстежували початок стирання трибологічної плівки (ТП) як по площі, так і по товщині. У цей момент зразок знімали, зважували і промірювали мікрометром, після чого знову випробовували.

Хімічний аналіз поверхні тертя сталевого зразка на склі з допоміжним електродом із алюмінію показав, що кількість алюмінію на поверхні тертя становить 3,22 %.

Результати процесу репарації знімали на режимі I : 17 Гц; 25% ПЕГ (рис. 1).

У процесі контролю параметрів вібрації в умовах тертя, визначено, що чим більше зношування, тим сильніший звуковий тиск (вібрація) у вузлі тертя.

Умовами існування змащувальних властивостей ПЕГ-400 є добра розчинність у воді, властивість поверхневоактивних речовин, високі трибологічні властивості, тому в процесі тертя в умовах підвищеної концентрації мастила спостерігається гідродинамічний механізм тертя.

Умови гідродинамічного змащування характеризує крива 5 на рис. 2. Згідно з методикою досліджень в точці 2 на площині (рис. 1) ПЕГ-400 при 50% і вхідній частоті 1700 Гц відповідає силі звуку від переміщення поверхонь тертя (рис. 2, крива 2).

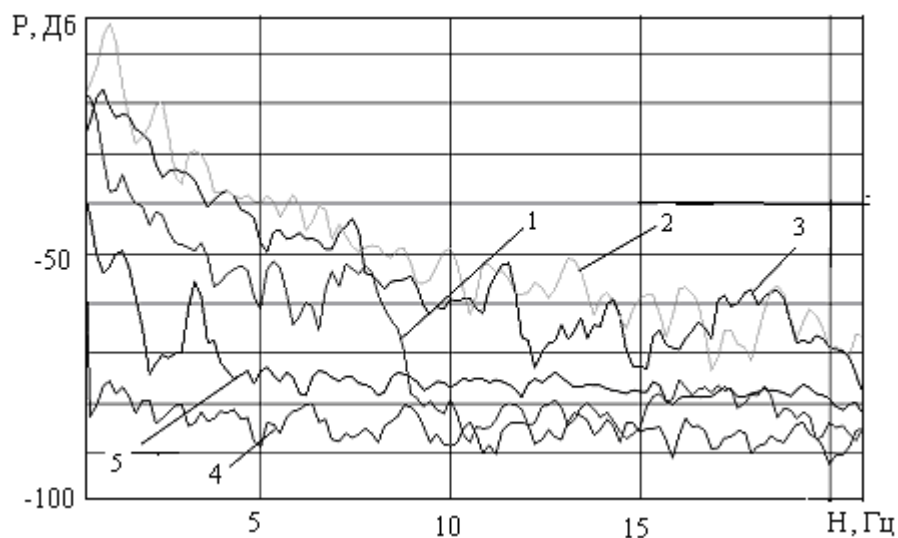


Рис. 2. Характер частотних параметрів поверхні тертя сталі 45 на склі з допоміжним електродом алюмінієм:

- 1 – 1000 + 6 Гц;
- 2 – частота 1700 Гц;
- 3 – імпульсний випрямлений струм 1000 Гц;
- 4 – повірочна крива;
- 5 – гідродинамічне зношування

Для дослідження умови проходження імпульсного струму було розроблено спеціальні умови подачі сигналу в зону тертя згідно зі схемою (рис. 3).

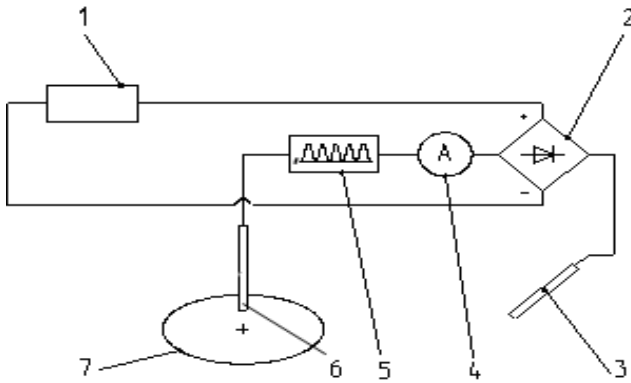


Рис. 3. Принципова схема:

- 1 – генератор сигналів;
- 2 – діодний міст;
- 3 – допоміжний електрод;
- 4 – амперметр;
- 5 – осцилограф;
- 6 – зразок;
- 7 – контртіло

Струм від генератора 1 надходить на діодний міст 2 до допоміжного електрода 3 по робочому розчину на зразок 6. Силу струму вимірювали амперметром 4.

Робоче завдання діода пропускати струм в одному напрямку, від анода – допоміжного електрода до катода зразка або пари тертя (зразок – контртіло). У разі цього отримуємо однонаправлений рух електричних зарядів через зону тертя зразка.

Зміщення сигналу в одному напрямку зумовлює переміщення електронів (іонів) теж в одному напрямку. При цьому можливе керування масоперенесенням матеріалу донора.

Перенесення матеріалу донора в ПЕГ-400 залежить від струму тертя, що проходить через зону тертя.

Для визначення умов роботи трибоелектрохімічної комірки визначали параметри струму, що проходить через робочу рідину в широкому діапазоні частот 20 – 200 кГц.

На робочих частотах 1 – 10 кГц ПЕГ-400 має найменший електричний опір, що утримує найбільшу силу струму. Тому несучою частотою трибоелектрохімічної комірки буде 1000 Гц.

На рис. 4 показано, що струм в середовищі (75% ПЕГ-400) з високим питомим опором порядку 2 ГОм/м зі збільшенням частоти досягає робочих параметрів для перенесення електронів матеріалу допоміжного електрода алюмінію.

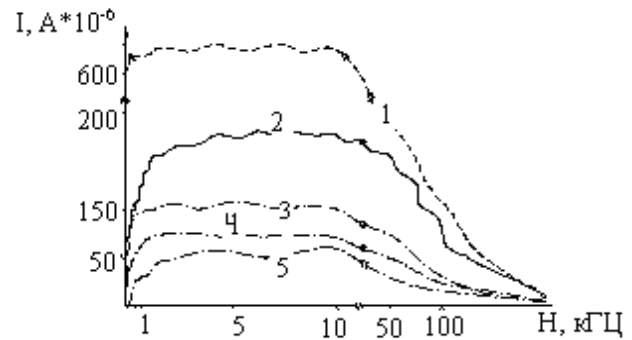


Рис. 4. Зміна сили струму за електричною схемою (рис. 3) в середовищі ПЕГ-400 від частоти напруги:

- 1 – змінний струм;
- 2 – випрямлений струм;
- 3 – переривання 6 Гц;
- 4 – переривання 12,5 Гц;
- 5 – переривання 25 Гц

На частоті 1–7 кГц в робочій рідині (75% ПЕГ-400) спостерігається максимальний струм залежно від параметрів сигналу.

Робоча частота рідини 1 – 7 кГц на частоті ПЕГ-400 пропускає струм різної величини залежно від параметра струму, що подається: на змінній синусоїді найбільший струм 0,6 А при імпульсному випрямленому струму 0,25 А.

За умови переривання сигналу електронним перемикачем струм досягає 0,15 А.

На проходження струму впливає тільки середовище та його концентрація, за рахунок чого можна керувати процесами в трибологічній системі.

Існує багато робіт з імпульсного зміцнення зі зміною порогу втомної міцності сталей шляхом оброблення їх імпульсами електричного струму. Один із параметрів зміни поверхневої деформаційної складової настає у разі дії на матеріал сигналу низької частоти 6–8 Гц, від чого збільшується деформаційна складова поверхневих шарів металу.

Крім того, додаються деформаційні зміни від процесів тертя. Подвійний вплив на кристалічну структуру матеріалу визначає зміни на топографії поверхні тертя.

Подача сигналу з несучою частотою 1 кГц випрямленого струму на робочу поверхню в процесі тертя зумовлює зміни параметрів утворення ТП на поверхні тертя.

За струмом 0,2–0,25 А на поверхні з'являються ТП (рис. 5).



Рис. 5. Поверхня тертя на частоті 1000 Гц імпульсного випрямленого струму

Із топографії видно, що поверхні, захищені ТП, формуються за умови окиснювального зносу, утворюються дрібнодисперсні структури з залишками утворених площ у зоні тертя. Враховуючи імпульсний вплив енергії на поверхневі перетворення матеріалу, були проведені дослідження з модуляцією сигналу та частотою 6,125 Гц.

Такий набір параметрів виконує дві функції:

- на частоті 1000 Гц контроль проходження струму в середовищі з високим електричним опором;

- вплив частотної модуляції на деформаційну складову матеріалу, що характеризує механізм утворення ТП у процесі тертя.

Трибологічні плівки, утворені в процесі тертя сталі 45 по склу з використанням імпульсного модульованого сигналу частотою електронного перемикачання 6,125 Гц, показано на рис. 6.

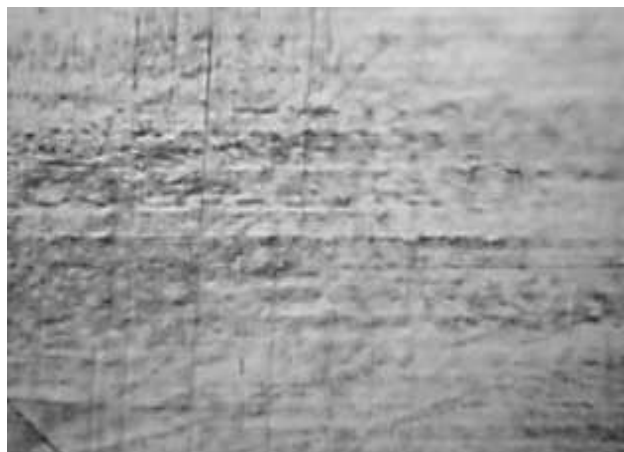


Рис. 6. Поверхня тертя при модульованому сигналі 6 Гц за 1000 Гц змінного струму

Товщина ТП, утворених на поверхні тертя, коливається від 0,5 до 1 мкм.

Частотний сигнал з поверхні тертя характеризує деформаційні зміни матеріалу.

За подачі однопівперіодичного струму 1000 Гц у разі зняття сигналу отримуємо криву 3 (рис. 2), яка пояснюється динамічною зміною ТП. Умови тертя характеризуються окиснювальним зношуванням.

Трибологічні параметри відповідають зношуванню (рис. 7, крива 3), де початок припрацювання відповідає збільшенню довжини зразка, але після короткого часу стабільно підвищується зношування.

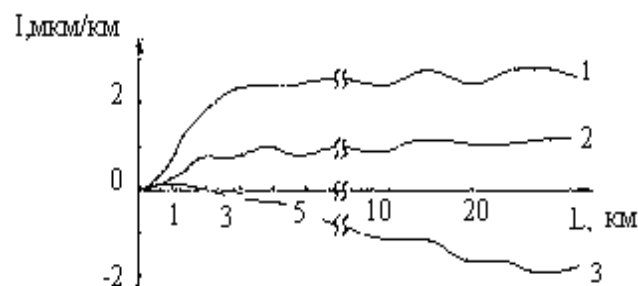


Рис. 7. Трибологічні параметри пари тертя сталь 45 по ЛС59-1 в умовах частотної модуляції електричного сигналу:

1 – випрямлений імпульсний 1000 Гц струм,

модульований перемикачем на 6 Гц;

2 – випрямлений імпульсний струм 1000 Гц;

3 – випрямлений однопівперіодичного струму 1000 Гц

Із подачею випрямленого імпульсного струму 1000 Гц на зразок через зону тертя сила струму підвищується майже вдвічі, що підсилює перенесення матеріалу донора.

У результаті зразок відчутно відновлюється (рис. 7, крива 2).

Умови деформаційних змін є одним з провідних чинників, що впливають на стан тертя. Тому до випрямленого імпульсного струму 1000 Гц додали умови низькочастотної модуляції, що підвищує деформаційну складову поверхонь тертя.

За допомогою електронного перемикача з частотою 6 Гц, за рахунок чого у середовищі 75% ПЕГ-400 зумовлює дроблення ТП.

Крім того, ТП зменшуються в товщині та рівномірно розподіляються по всій площі тертя.

Таким параметрам напрацювання відповідає крива 1 на рис. 2, що вказує на дроблення плівок із високочастотним показником сигналу деформаційних змін у поверхневому шарі. Порівняльні характеристики з плівками товщиною 5–7 мкм, утвореними тільки випрямленим сигналом, показують, що за модуляції 6 Гц товщина плівок знижується та досягає 2 мкм. Вони характеризуються еластичністю та більшою адгезією до поверхні. При цьому зношування зменшується майже в два рази (рис. 7).

На рис. 7 показано результати дослідження зношування пари тертя сталі 45 по контртілу ЛС59-1 у середовищі ПЕГ-400 з концентрацією 75% у воді. Як допоміжний електрод використовували алюміній.

Очевидно, що процес трибологічного відновлення проходить з використанням сигналу на частоті 1000 Гц модульованого сигналу перемиканням з частотою 6 Гц.

Висновки

Визначено умови виникнення параметрів для проходження процесів трибовідновлення поверхонь тертя за безрозбірними технологіями.

Вибір режиму трибовідновлення обумовлювався механізмом деформаційних характеристик матеріалу та дією на нього зовнішнього енергетичного поля. Для оцінювання режимів відновлення визначили умови існування поверхневого насичення за режимів роботи деталей механізму.

Визначено робочі параметри спільного трибовідновлення поверхонь тертя пари Сталь 45-ЛС59-1 в 75%-му розчині ПЕГ-400 у воді.

Література

1. *Залечивание* усталостных поврежденный сталей импульсами электрического тока / Л.Б. Зуев, О.В. Соснин, С.Ф. Подбаронников и др. // ЖТФ. – 2000. – Т. 70, Вып. 3. – С. 24–26.
2. *Онищук С.Г.* Промышленное применение технологии упрочнения деталей машин поверхностно-пластической обработкой с применением энергии магнитного поля / С.Г. Онищук, Е.Ю. Лобунец // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку: Матеріали Четвертої Міжнар. наук.-техн. конф. / під заг. ред. В.Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – 108 с.
3. *Патент* UA 36600 GO1N 3/56 на корисну модель: Пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування / М.М. Свирид, В.Г. Паращанов, С.М. Занько, Л.Б. Приймак. 27.10.2008.