УДК 621.891

В.В. Токарук, Р.Г. Мнацаканов, д.т.н., Є.С. Горб, О.Є. Якобчук
(Національний авіаційний університет, Україна)

Оцінка структурної пристосованості трибосистеми на основі реєстрації та обробки сигналів акустичної емісії

Встановлено механізм дисипативних процесів трибосистеми з дискретним електроіскровим покриттям міді. Структурно-енергетична пристосованість при терті обумовлена зниженням напружено-деформованого стану в поверхневих шарах трибоелементів за рахунок високої здатності зносостійких вторинних структур поглинати механічну енергію в процесі деформації.

Умови контактної взаємодії при терті призводять до різного деформування поверхневого шару металу та формування його структурного стану з певною вільною енергією, фізичною та хімічною активністю. Необхідно враховувати, що динамічна адаптація поверхневого шару контактуючих деталей до умов експлуатації, що спостерігається, є результатом дії самоорганізованої системи, яка зумовлює підвищення її зносостійкості.

Мета роботи полягала в визначенні ефективності застосування методу акустичної емісії (АЕ) для дослідження процесів структурної пристосованості контактних поверхонь при терті.

Трибологічні дослідження процесів тертя і зношування контактних поверхонь проводилися на серійній машині тертя 2070 СМТ-1 протягом 240 хв. у режимі граничного мащення з витратою оливи 1,2 л/год.

Модельні кільцеві зразки пари тертя виготовлені зі сталі 30ХГСА та сплаву Д16, на поверхню якого методом ЕІЛ нанесено дискретно, зі щільністю 55 – 65% мідь (Cu). Еталонна пара тертя - сталь 30ХГСА та сплав Д16.

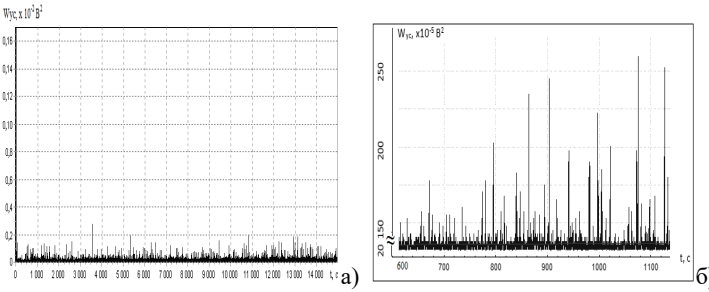
Умови експерименту: зразок сплаву Д16+ Cu обертається з частотою 400 $хв^{-1}$, а зразок сталі 30ХГСА встановлюють співвісно, притискають один до одного торцевими поверхнями з вісьовим навантаженням 600 Н; в якості мастильного матеріалу використовувалася моторна олива М10$Г_2$к (ГОСТ-8581-78).

Пара тертя Д16+Cu – 30ХГСА характеризується нормальним роботоздатним станом протягом всього періоду спостережень тривалістю 240 хв.

Аналіз зміни середньої температури поверхні в зоні трибологічного контакту виявив три характерних ділянки 0…30 хв, 30…200 хв та 200…240 хв. При цьому період припрацювання трибосистеми 0…30 хв характеризується значним зростанням середньої температури поверхні в зоні трибологічного контакту від 18 до 45 °С. Період 30…200 хв характеризується зменшенням швидкості зростання середньої температури поверхні в зоні трибологічного контакту, діапазон підвищення температури становив 45…84 ^{0}С. У подальшому середня температура поверхні в зоні трибологічного контакту залишається практично постійною на рівні ≈ 84 ^{0}С. Таким чином, підвищення температури свідчить про значну інтенсивність дисипації енергії, що виділяється при терті поверхонь фрикційного контакту.

Коефіцієнт тертя, який в процесі припрацювання контактних поверхонь становив 0,15…0,14, після закінчення етапу припрацювання трибосистеми Д16+Cu – 30ХГСА залишається постійним і дорівнює 0,13.

Зміна усередненої потужності акустичної емісії представлена на рис. 1.



а) б)

Рис. 1. Характер зміни усередненої потужності сигналів АЕ у часі для трибосистеми Д16+Cu – 30ХГСА: а) – загальний час напрацювання, б) – період напрацювання 600…1100 с.

Аналіз зміни акусто-емісійного випромінювання у часі показав, що під час всього періоду випробувань зафіксовано практично незмінні низькі значення усередненої потужності акустичної емісії на рівні $W_{ус} \approx (20…30)\times10^{-5}$ $В^2$ та наявність її короткочасних значних сплесків до $(150…200)\times10^{-5}$ $В^2$.

Проаналізуємо зміну енергетичного балансу трибосистеми при нанесенні методом ЕІЛ міді на поверхню дюралюмінію Д16. Для пари Д16+Cu – 30ХГСА встановлено зростання потужності тертя в 1,6 рази, в порівнянні з еталонними зразками. В той же час, в 1,9 рази зменшується критерій *Ре*. Отже, зростання потужності тертя обумовлює підвищення інтенсивності тепловиділення в фрикційному контакті, що проявляється в підвищенні температури майже вдвічі до 200 хвилин напрацювання, в порівнянні з еталонними зразками. Однак, за рахунок високого коефіцієнту теплопровідності міді (λ = 401 Вт/(м·К)) і коефіцієнту температуропровідності ($a_t = 1{,}165\cdot10^{-4}$ $м^2/с$), температурне поле в трибологічному контакті, імовірно характеризується рівномірним градієнтом температур як в поперечному, так і в повздовжньому напрямах. Це є передумовою для релаксації температурних напружень, які виникають в зонах фактичного дотику контактних поверхонь. Згідно [1, 2] термопружні напруження сприяють появі залишкових напружень та формуванню дислокаційної структури. Таким, чином зменшення як осьового, так і радіального градієнту розподілу температур в поверхневих шарах металу за рахунок нанесення мідного покриття буде сприяти формуванню вторинних структур при структурній пристосованості трибоелементів, для яких буде характерна мінімальна генерація структурних недосконалостей.

Порівняльний аналіз кінетики зміни середніх значень усередненої потужності акустичної емісії при нанесенні мідного покриття виявив наступні закономірності, в порівнянні з еталонними зразками.

Покриття з міді забезпечує стабільність параметру W_{yc} як на етапі припрацювання, так і на подальшому етапі нормальної роботи трибоелементів. Для пари тертя, де рухомою поверхнею є Д16+Cu, зниження середніх значень W_{yc} зафіксовано в 25 разів під час припрацювання та в 9 разів при подальшому напрацюванні, в порівнянні з еталонним зразком Д16 без покриття. Отже, за кінетикою зміни середніх значень усередненої потужності акустичної емісії, припускаємо про зниження напружено-деформованого стану в поверхневих шарах металу при терті за рахунок наявності м'якого покриття міді на поверхні Д16. Основним чинником, який сприяє цьому процесу, є те, що ударна в'язкість міді становить 1700 кДж/м^2, що, в середньому у 5,8 рази більше за ударну в'язкість дюралюмінію. Таким чином, механізм зниження напружено-деформованого стану в поверхневих шарах при терті при нанесені покриття з Cu полягає в високій здатності міді поглинати механічну енергію в процесі деформації та руйнування при терті. Якщо врахувати закономірності, які встановлені вище, і стосуються процесів релаксації температурних напружень, то проявляється чітка кореляційна залежність напружено-деформованого стану поверхневих шарів в фрикційному контакті від фізико-механічних властивостей металу. До основних з них відносяться ударна в'язкість, коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності. Саме за рахунок вибору покриття для електроіскрового легування контактних поверхонь можливо забезпечити формування вторинних структур певного типу при терті, які будуть характеризуватися високою зносостійкістю.

Нанесення на поверхню Д16 покриття з міді методом ЕІЛ забезпечує значне зростання зносостійкості контактних поверхонь. Характерною ознакою контактних поверхонь при напрацюванні є те, що візуально не чітко проявляється доріжка тертя, особливо на сталевй поверхні (рис. 2).

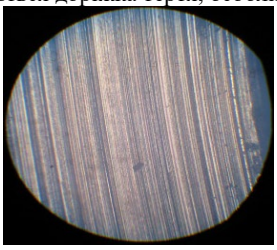
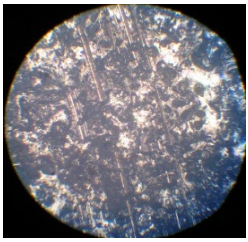

30ХГСА

Д16+Cu

Рис. 2. Фрактографія поверхонь (×478), напрацювання 240 хв.

На сталевій поверхні зафіксовані поодинокі зони відшарування глибиною 0,01-0,025 мм. Модифікування поверхні дюралюмінію Д16 за рахунок нанесення покриття з міді забезпечує зниження вагового зносу елементів трибоспряження. Швидкість зношування сталі 30ХГСА при терті в парі дюралюмінієм з мідним покриттям становить $3{,}0 \cdot 10^{-6}$ г/хв, що в 430 разів менше, в порівнянні з еталонним зразком. Швидкість зношування Д16+Cu, в порівнянні з немодифікованою еталонною поверхнею Д16, знижується в 5 разів та становить $8{,}28 \cdot 10^{-6}$ г/хв.

Таким чином, модифікування контактної поверхні пластичним матеріалом забезпечує зниження напружено-деформованого стану фрикційного контакту, підвищення його зносостійкості та ресурсу за рахунок механо-хімічних перетворень, що спричинюють ефективну структурну пристосованість елементів трибоспряження в умовах ковзання.

Список літератури

1. Meyers M.A., Mishra A., Benson D.J. Mechanical properties of nanocrystalline materials / Progress in Materials Science. – 2006. – 51. P. 427–556.

2. Kaplunov I. A., Kolesnikov A. I., Skokov K. P. and others. The relationship between mechanical stresses and optical anomalies in germanium and paratellurite / Journal of Optical Technology. – 2005. - Vol. 72, Is. 7. - P. 572-576.