

## ОСОБЛИВОСТІ РУЙНУВАННЯ КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ, ОБУМОВЛЕНІ ХВИЛЬОВИМИ ПРОЦЕСАМИ ПРИ ТЕРТІ

*В статті розглянуто процеси, що відбуваються при роботі трибологічної системи без розвантаження контактної пари в режимі реального часу. Показано, що руйнування матеріалу при терті накопичені не в локальних точках на поверхні в зонах контактної взаємодії, а спостерігаються на досить великій глибині. Досліджено вплив на тибологічний вузол хвильових процесів зношування, які пов'язані з утворенням звукових хвиль. Запропоновано метод, що розширює можливість дослідження трибологічних систем для визначення характеристик руйнування поверхонь.*

*Ключові слова: трибологія, зношування, акустична емісія, руйнування, тертя.*

O.O. SLASHCHUK, V.O. SLASHCHUK

Khmelnytsky scientific research forensic centre of the ministry of internal affairs of Ukraine

## FEATURES OF DESTRUCTION CONTACT SURFACES CREATED BY WAVE PROCESSES BY FRICTION

*This article presented process occurring at work of tribological system without unloading of contact pairs in real time. Purpose of the work is to study the process of surface destruction at low normal loads, describe dynamics of destruction process without interfering with work of loaded node. Prove nonlocal nature of contact interaction in process of friction and take into account existing feedback in system. Analyze phenomenon in which in process of contact interaction there are vibration fields that bind together all the components of system, changing nature of contact reactions from kinematics to dynamic ones. It is shown that destruction of material at friction is not accumulated in local points on surface in contact interaction zones, but observed at a fairly large depth. The influence on the tribological node of wave processes of wear, which are connected with the formation of sound waves, what is investigated. Method is proposed that expands the possibility of studying tribological systems for determining the characteristics of surface destruction. From the analysis of well-known research results, one can draw the following conclusion, that at maxima of coefficient of friction tribological connection of the shaft-sleeve works on the edge of jamming. This is wave process that has no explanation within the framework of tribokinematics. The presence of not rigid (belting) create an illusion of wear. In fact, they result in occurrence of low frequency infrasonic waves that affect wear. The method of acoustic emission can supplement traditional methods of determining characteristics of surface damage, as it gives an opportunity to observe as a global destruction of contact surfaces at a high infrasonic cluster, and local surface fracture with an increase in the high-frequency (ultrasonic) cluster.*

*Keywords: tribology, wear, acoustic emission, destruction, friction.*

### Вступ

Процес тертя завжди складається з багатьох етапів. На початку відбувається взаємодія спряжених поверхонь на межі шорсткості, що в процесі еволюції призводить до руйнування поверхневих і глибинних шарів матеріалу [1].

Вважається, що напруження локалізуються в плямах контакту. Навіть, коли матеріал не досягає межі текучості, багаторазове повторюване навантаження може призвести до накопичення напружень в глибинних шарах матеріалу і призвести до утворення тріщин, сколів, відривів частинок (утворення третього тіла) [2].

### Мета і постановка задачі

Метою роботи є дослідження процесу руйнування поверхонь при низьких нормальних навантаженнях, опис динаміки процесу руйнування без втручання в роботу навантаженого вузла. Довести нелокальний характер контактної взаємодії в процесі тертя та врахувати діючі зворотні зв'язки в системі [3]. Проаналізувати явище, при якому в процесі контактної взаємодії виникають вібраційні поля, які зв'язують воедино всі складові системи, змінюючи характер контактних реакцій з кінематичних на динамічні.

### Аналіз відомих результатів

Актуальність дослідження даної тематики підтверджується значним доробком наукових праць, представлених в спеціалізованих наукових виданнях: фізична мезомеханіка, листи в журнал технічної фізики [4, 5].

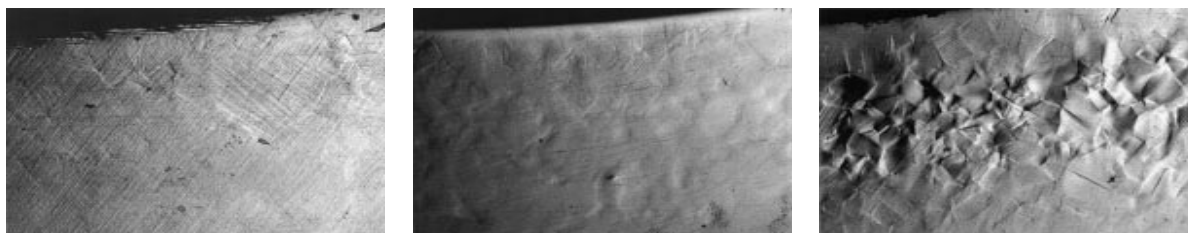


Рис. 1. Глибинне руйнування матеріалу внаслідок роботи трибовузла

Як видно з рис. 1, руйнування, накопичені не в локальних точках на поверхні, а спостерігаються на досить великій глибині, що досягає 2-3 мм. Пояснюються такі утворення деформацій з позиції збудження

пружних хвиль. Їх механізм пов'язаний з режимами схоплення в плямах дотику, який призводить до генерації звуку [4].

На рис. 2 представлені значення коефіцієнта тертя при дослідженні навантаженого вузла в процесі роботи трибосистеми [5].

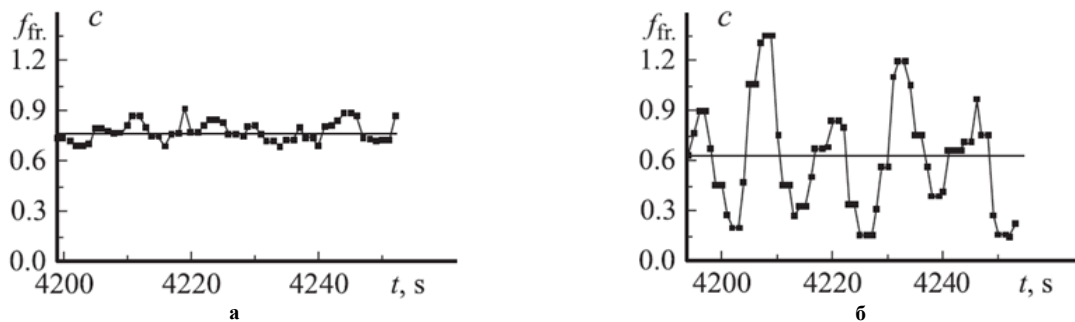


Рис. 2. Коефіцієнти тертя: а – при досліджах простий; б – із застосуванням приладу, що гасить звукові коливання (демпфер)

Як видно з графіка, гасіння звукових коливання не завжди призводить до покращення режимів роботи контактних поверхонь. Регулярне квазіперіодичне підвищення коефіцієнту тертя до значень 0,9-1,35, з нашої точки зору, пояснюється ультразвуковими коливаннями всієї установки, пов'язаними у тому числі з низькою жорсткістю привода – ремінною передачею від електричного двигуна та вал установки (рис 3).

**Проведення дослідів**

Відповідно до матеріалів, представлених вище, дослідження проводилися на установці УМТ 2168 в режимі сухого тертя за схемою вал-втулка при низькому діапазоні тиску від 1 до 4 МПа.

Спеціалізована установка тертя 2168 УМТ (рис. 4), призначена для випробувань фрикційних, антифрикційних і змащувальних матеріалів на тертя та зношування в широкому діапазоні режимів.

*Технічні дані:*

Привід машини – електричний, оснащений плавним регулятором швидкості. Вимірювач моменту тертя – електромеханічний. Притискання зразків здійснюється пневматично, визначення притискної сили здійснюється за рахунок встановленого манометра. Охолодження системи – водяне (від водопроводу).

*Принцип роботи:*

В процесі випробування визначаються момент тертя, сила, яка здійснює притискання, частота обертання, шлях тертя та температура.



Рис. 3. Зовнішній вигляд реміної передачі установки УМТ 2168



Загальний вигляд спеціалізованої установки тертя 2168 УМТ

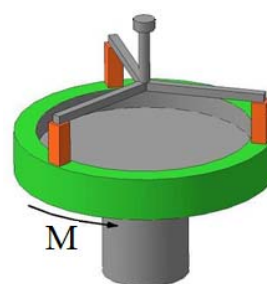


Схема тертя зразка і контртіла, за якою проводилися дослідження

Рис. 4. Спеціалізована установка тертя 2168 УМТ та схема навантаження вузла трибосистеми

У трибологічному дослідженні за схемою «палець – диск» контртіло виготовлено зі Сталь 45, а досліджувані зразки – зі Сталь 30ХГСА, Алюміній АД1.

Паралельно трибологічному дослідженню проводився запис звуку мікрофоном Media-tech SFX microphone МТ 383. Обробка даних здійснювалась програмою Audacity 2.0.5 (рис. 5).

Аналізуючи спектрограму холостого ходу установки можна стверджувати про кластерний характер, на ньому чітко видно і низькочастотну (інфразвук) і високочастотну (ультразвук) складові. Результати проведеного дослідження представлені на рис. 6–8.



Рис. 5. Зовнішній вигляд звукознімача та програма запису та обробки звукових даних

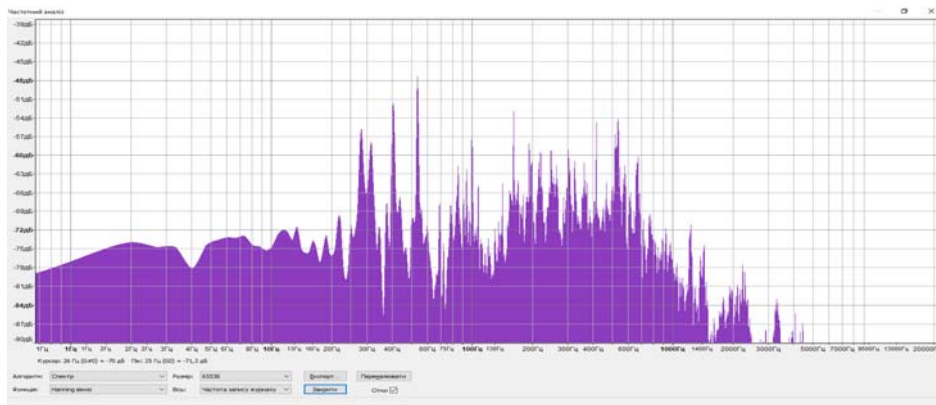


Рис. 6. Спектрограма роботи спеціалізованої установки тертя 2168 УМТ без навантаження

При дослідженні Сталі 30ХГСА спостерігається збільшення низькочастотного і високочастотного кластеру, які відсутні при холостому режимі (рис. 7). Такі ж результати спостерігаються при дослідженні Алюмінію АД1 (рис. 8).

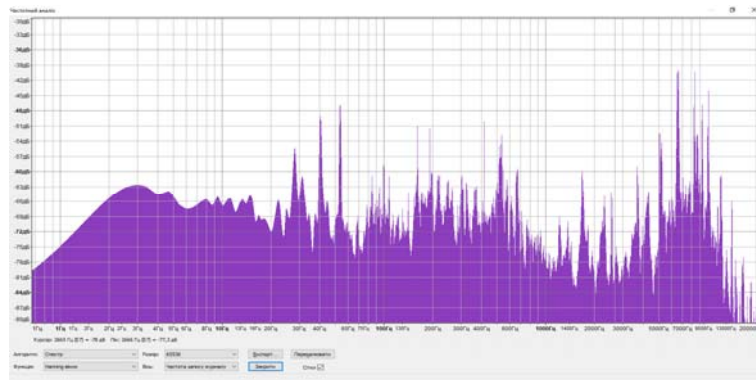


Рис. 7. Спектрограма дослідження зразка зі Сталь 30ХГСА

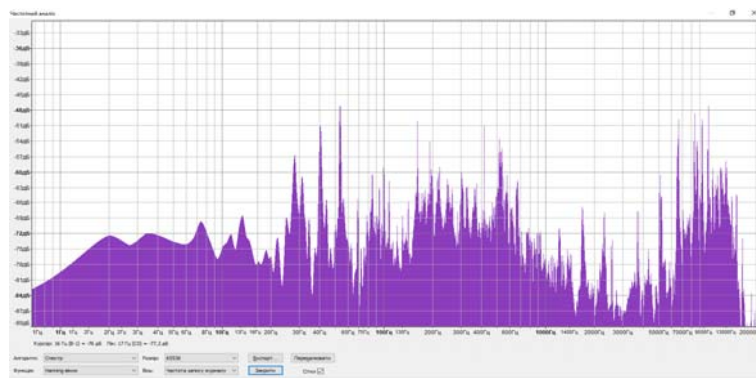


Рис. 8. Спектрограма дослідження зразка з Алюмінії АД1

### Висновки

З аналізу відомих результатів досліджень можна зробити висновок, що в максимумах коефіцієнта тертя трибологічне з'єднання вал-втулка працює на межі заїдання. Це хвильовий процес, який не має пояснення в рамках трибокінематики.

Наявність не жорстких (ремінних) передач створює ілюзію зношування. Насправді вони призводять до виникнення інфразвукових хвиль з низькими частотами, які впливають на зношування.

Метод акустичної емісії може доповнити традиційні способи визначення характеристики руйнування поверхонь, адже дає можливість спостерігати як глобальне руйнування контактних поверхонь при високому інфразвуковому кластері, так і локальні поверхневі руйнування при збільшенні високочастотного (ультразвукового) кластеру.

### Література

1. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах : навчальний посібник. – Тернопіль : Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 114 с.
2. Денисенко М.І. Термодинамічні процеси тертя та зношування конструкційних матеріалів // Техніка та енергетика : науковий журнал. 2015. № 196, лют. С. 64. ISSN 2663-1342.
3. Скрипченко Н.Б., Ткачук М.М., Неділько К.Д., Киричук Д.В., Борисенко С.В., Касай О.І. Контактна взаємодія складнопрофільних деталей з урахуванням локальної податливості поверхневого шару // Вісник НТУ "ХПІ". 2016. № 39(1211). С. 93. ISSN 2079-0775.
4. Колубаєв А.В., Іванов Ю.Ф., Сізова О.В., Колубаєв Є.А., Аліошина Є.А., Громов В.Є. Вплив пружних збуджень на формування структури поверхневого шару сталі Гадфілда при терті // Журнал технічної фізики. 2008. Том 78, вип. 2. С. 68.
5. Колубаєв Є.А., Колубаєв А.В., Сізова О.В., Рубцов В.Є., Вагін І.Н., Попов В.Л. Особливості динаміки тертя Сталі Гадфілда // Фізична мезомеханіка. 2008. С. 55.

### References

1. Zakalov O.V., Zakalov I.O. Osnovy tertia i znoshuvannia v mashynakh : navchalnyi posibnyk. – Ternopil : Vydavnytstvo TNTU im. I. Puliuia, 2011. 114 s.
2. Denysenko M.I. Termodynamichni protsesy tertia ta znoshuvannia konstruktivnykh materialiv // Tekhnika ta enerhetyka : naukovyi zhurnal. 2015. № 196, liut. S. 64. ISSN 2663-1342.
3. Skripchenko N.B., Tkachuk M.M., Nedilko K.D., Kyrychuk D.V., Borysenko S.V., Kasai O.I. Kontaktna vzaiemodiia skladnoprofilnykh detalei z urakhuvanniam lokalnoi podatlyvosti poverkhnevoho sharu // Visnyk NTU "KhPI". 2016. № 39(1211). S. 93. ISSN 2079-0775.
4. Kolubaiev A.V., Ivanov Yu.F., Sizova O.V., Kolubaiev Ye.A., Alioshyna Ye.A., Hromov V.Ie. Vplyv pruzhnykh zbudzhen na formuvannia struktury poverkhnevoho sharu stali Hadfilda pry terti // Zhurnal tekhnichnoi fizyky. 2008. Tom 78, vyp. 2. S. 68.
5. Kolubaiev Ye.A., Kolubaiev A.V., Sinzova O.V., Rubtsov V.Ie., Vahin I.N., Popov V.L. Osoblyvosti dynamiky tertia Stali Hadfilda // Fizychna mezomekhanika. 2008. S. 55.

Рецензія/Peer review : 21.6.2019 р.

Надрукована/Printed : 17.7.2019 р.  
Стаття рецензована редакційною колегією