

УДК 621.317.39.822.5

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ ПІДШИПНИКІВ КОВЗАННЯ  
ТЕПЛОЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ  
МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОДНОГО ПОТЕНЦІАЛУ**

*Я. Шолудько, к.т.н., В. Шолудько, к.т.н., Р. Гуменюк, к.т.н.  
Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** У значній кількості теплоелектроенергетичного обладнання (регулюючі органи автоматизованих систем тепло-, електро- і холодопостачання, генератори та стартери мобільної техніки тощо) конструкцією передбачено використання підшипників ковзання, які, як правило, виготовляють із сплавів на основі міді (латунь, бронза). Ці підшипники ковзання являють собою пару тертя «вал-втулка».

Вал зазвичай виготовляють із різних марок легованої вуглецевої сталі, а втулку – із згаданих раніше сплавів на основі міді. Підбір матеріалів цих пар тертя проводять внаслідок проведення експериментальних досліджень з визначення триботехнічних характеристик (коефіцієнта тертя, величини спрацювання тощо), які потребують значних затрат часу і відрізняються невисокою точністю.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження триботехнічних характеристик науковці здійснюють з використанням молекулярно-механічної [1; 2] та структурно-енергетичної [3; 4] теорій. Згідно зі структурно-енергетичною теорією необхідною умовою високої зносостійкості та антифрикційності тертьових спряжень машин і обладнання є утворення на їх поверхнях тертя нової фази – вторинних структур (ВС), які захищають основний матеріал від механічної і фізико-хімічної деструкції.

Однією з найактуальніших задач сучасної теорії є вивчення кінетики утворення, трансформації і руйнування ВС. Дослідження складу, будови і властивостей ВС здійснюється за залишковими явищами (з допомогою електронної мікроскопії, електронографії, ОЖЕ-спектроскопії [2; 3]) та за кінетикою процесів їх утворення і руйнування (з допомогою електродного потенціалу, вентильного ефекту тощо [5; 6]). У роботах [3; 6] доведена необхідність і перспективність застосування методу електродного потенціалу (ЕП) для дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя.

**Постановка завдання.** Метою роботи є підтвердження доцільності використання методу ЕП для дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя спряжень ковзання теплоелектротехнічного обладнання в кінетиці.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя спряжень ковзання здійснювали на лабораторній установці та за методикою, описаними в [3; 6].

У роботі [6] представлено типові закономірності зміни електродного потенціалу залежно від питомого навантаження на дослідні зразки за постійної швидкості ковзання, а також від швидкості ковзання за постійного питомого навантаження. На цих рисунках позначено три ділянки: ділянку неусталених процесів (припрацювання зразків); ділянку усталених процесів утворення й руйнування ВС (нормальне механічно-хімічне спрацювання) і ділянку переходу до підсиленого руйнування (холодний, гарячий задири). У ділянці усталених процесів утворення й руйнування ВС відзначаються два рівні, які відповідають вторинним структурам I і II типів. Мікроскопічний, електронномікроскопічний, електронографічний аналізи та триботехнічні дослідження показали, що ВС I типу – це тверді розчини кисню та інших активних компонентів мастильного середовища в металі, а ВС II типу – це хімічні сполуки кисню та інших активних компонентів мастильного середовища з металом нестехіометричного складу.

Дослідженню піддавали зразки з чистої міді (М1) та сплавів на її основі (латуні – ЛС59-1, бронзи – БрОНФ 10-1-1, бронзи – БрОФ 6,5-4,0). Контртілом слугував зразок із сталі 9ХВГ, загартований до 62-64 одиниць НРС. На рис. 1, а відображено експериментальні результати дослідження кінетики утворення трансформації й руйнування ВС за допомогою ЕП залежно від питомого навантаження при терті загартованої сталі 9ХВГ по міді (М1) в середовищі гліцерину з добавками: 1-10% 0,1 нормального розчину  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ; 2-10% дистильованої води; 3-10% трипроцентного розчину перекису водню. Тертя здійснювалось із постійною швидкістю відносного переміщення твердих тіл. На рис.1, б і 1, в представлено ідентифікацію зміщень ЕП для міді за спрацюванням і значенням коефіцієнта тертя. Ідентифікація показів ЕП за структурними ознаками (електронні фотографії і електронограми) виконана з врахуванням ВС першого і другого типів (рис.2 і 3). Фотографування і отримання електронограм здійснювали з поверхонь тертя, що працювали в середовищі гліцерину з додаванням 10% дистильованої води.

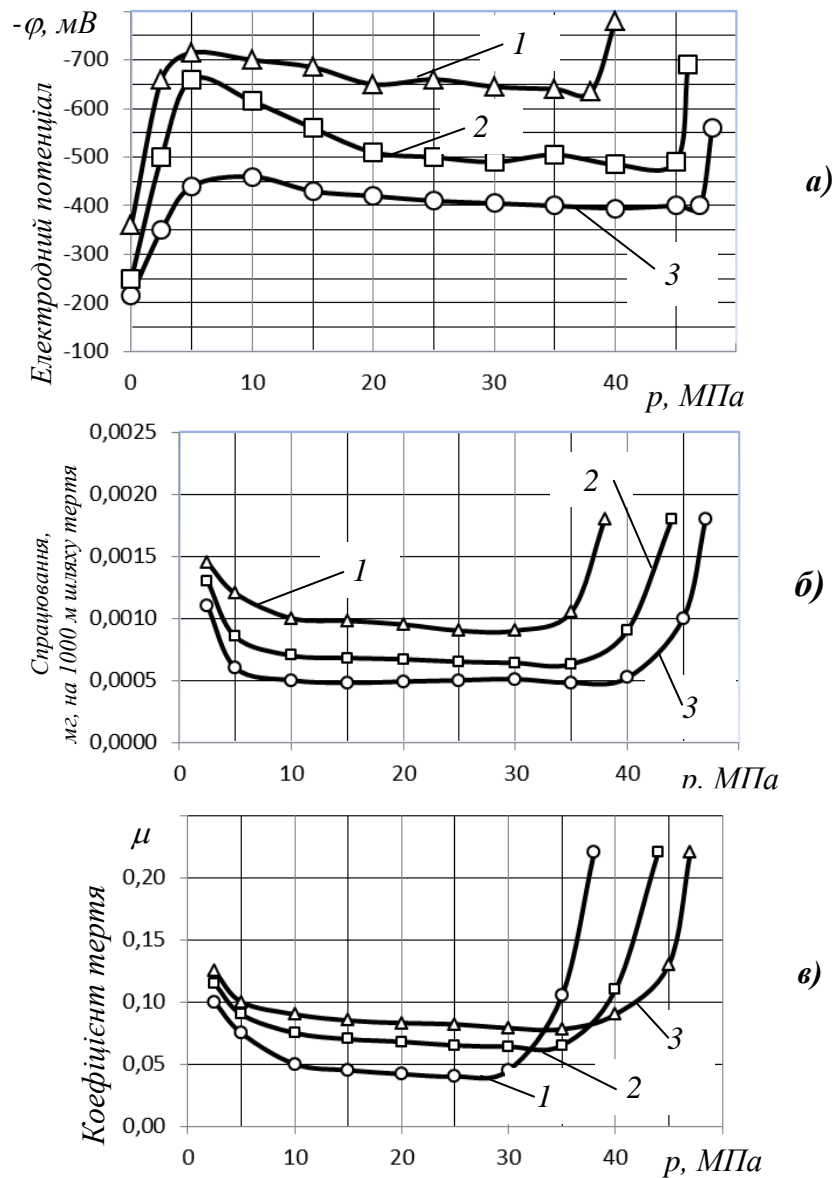


Рис.1. Кінетика зміни електродного потенціалу, спрацювання і коефіцієнта тертя залежно від навантаження притерті загартованої сталі 9ХВГ по міді в середовищі гліцерину з добавлянням: 1 – відновника; 2 – дистильованої води; 3 – окиснювача.

Аналіз отриманих результатів показує, що в разі додавання до мастильного середовища (гліцерину) відновника відбувається зміщення ЕП до ділянки більш від'ємних значень, а в разі додавання окиснювача – до ділянки менш від'ємних значень порівняно з показами ЕП поверхонь цього ж зразка, що працював у середовищі гліцерину з додаванням 10 % дистильованої води (див.рис.1, а).

Криві залежностей коефіцієнта тертя і спрацювання від навантаження для міді (рис.1, б, в) показують, що між показами ЕП і цими характеристиками існує кореляція. Чим більше зміщення ЕП до ділянки менш від'ємних значень, тим менше спрацювання мідного зразка і більше значення коефіцієнта тертя.

Дослідженнями [6; 7] встановлено, що рівню більш від'ємних значень ЕП відповідають ВС I типу, а рівню менш від'ємних значень ЕП – ВС II типу. Це підтверджується електронномікроскопічними та електроннографічними дослідженнями. На електронній фотографії (див. рис.2, а) чітко видно аморфізовані шари (тверді розчини кисню та інших активних компонентів у металі), які за своїми властивостями та будовою відповідають ВС I типу. На рис. 2,в наведена електроннограма цих же структур, отримана з допомогою електронного мікроскопа в режимі мікродифракції. Під час дослідження ВС I типу в цьому режимі фіксувались дифузні ореоли. Результати розрахунку міжплощинних відстаней досить точно підтверджуються дослідженнями, виконаними в [6; 7].

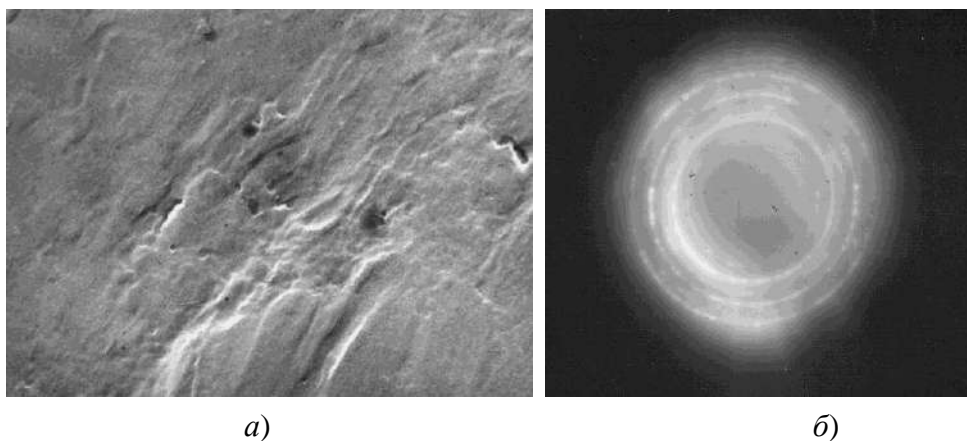


Рис. 2. Вторинні структури I типу на поверхні міді:  
а – субмікроструктура; б – електроннограма.

На рис. 3,а видно крихкий шар (хімічні сполуки кисню та інших активних компонентів мастильного середовища нестехіометричного складу з основним металом), які за своїми властивостями й будовою відповідають ВС II типу. Електронограма цих ВС показана на рис. 3,б.

Для міді ділянка ВС I типу (див. рис. 1, а) лежить у границях навантажень: для відновного середовища –  $3,5 \div 13$  МПа; для мастильного середовища з додаванням дистильованої води –  $4 \div 8$  МПа; для окиснювального мастильного середовища –  $5 \div 15,5$  МПа.

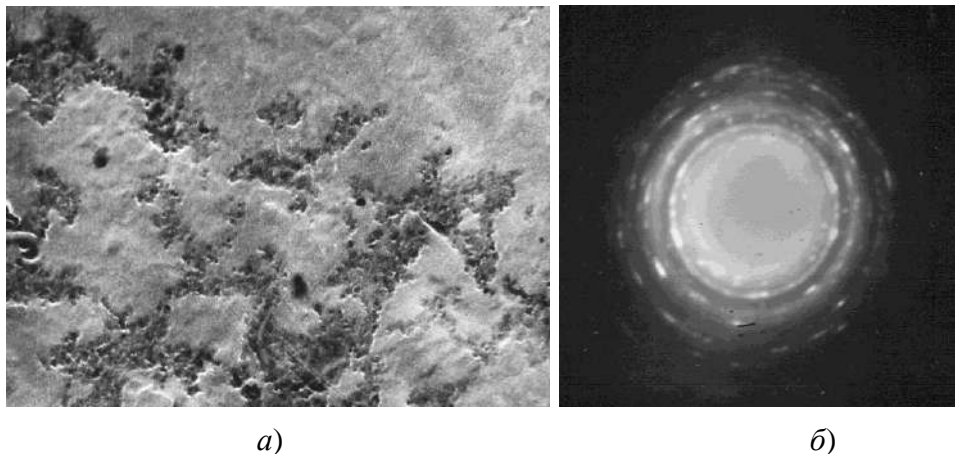


Рис. 3. Вторинні структури II типу на поверхні міді:  
а – субмікроструктура; б – електронограма.

Після перехідного періоду, який у даному випадку для всіх наведених мастильних середовищ закінчується приблизно при одному і тому ж навантаженні, рівному 20 МПа (див. рис.1, а), поверхня міді покривається тільки ВС II типу (див. рис. 3, а, б). Слід відзначити, що для міді зі збільшенням окисної здатності мастильного середовища розширюється ділянка існування на поверхнях тертя ВС II типу та збільшується їх протизадирна стійкість.

Закономірності зміни ЕП, спрацювання і коефіцієнтів тертя під час дослідження зразків зі сплавів на основі міді (ЛС-59-1; БрОНФ10-1-1; БрОФ 6,5-4,0) залежно від навантаження при постійній швидкості відносного переміщення показані на рис.4. Порівняння цих характеристик з такими ж характеристиками, отриманими під час дослідження модельного матеріалу (міді М1), показує, що відмінність між ними є в діапазонах існування ВС I і II типів, границях переходу ВС I типу у II, різних коефіцієнтах тертя та спрацюванні.

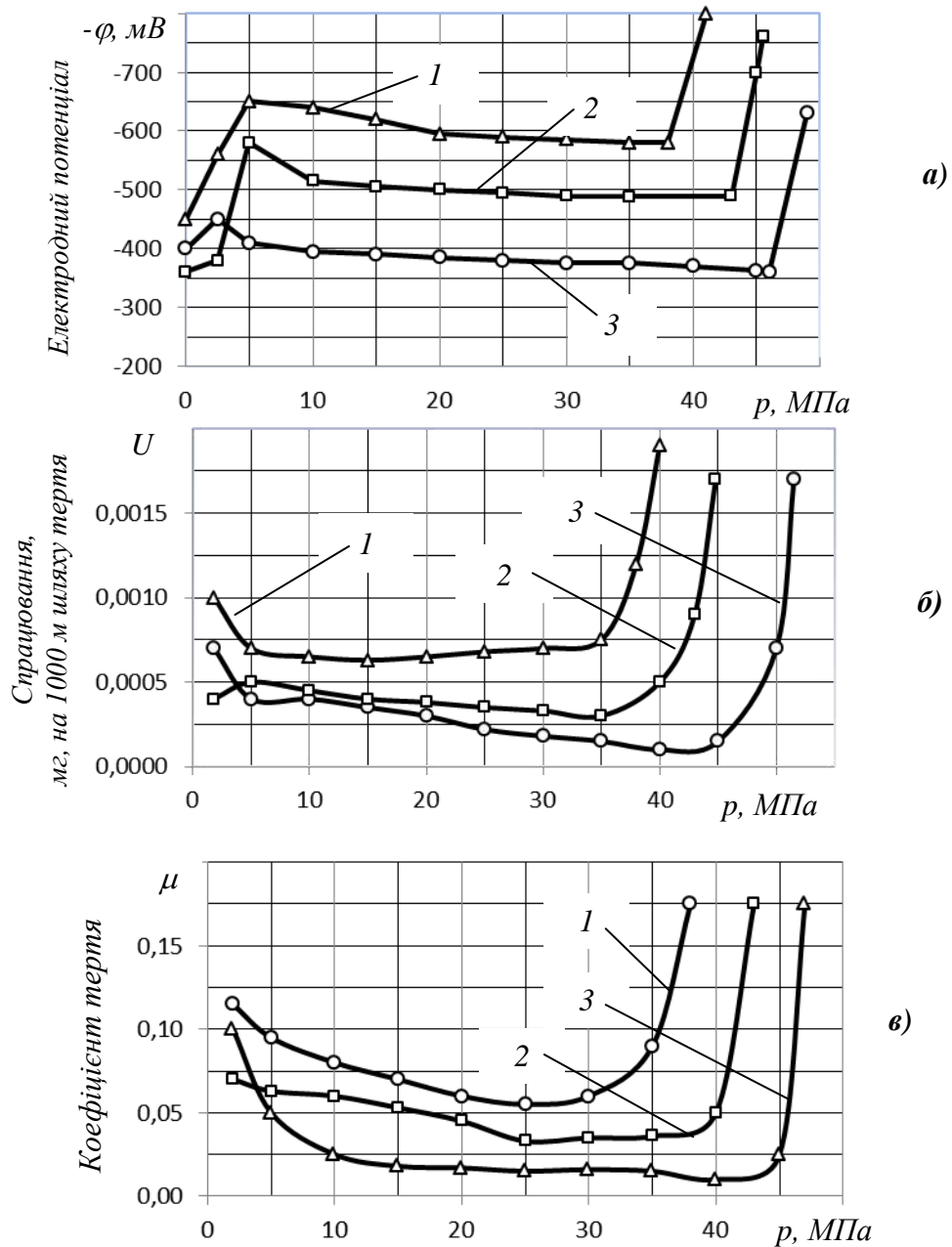


Рис. 4. Кінетика зміни електродного потенціалу, спрацювання і коефіцієнта тертя залежно від навантаження при терті загартованої сталі 9ХВГ по сплавах на основі міді: 1 – ЛС59-1; 2 – БрОНФ10-1-1; 3 – БРОФ6,5-0,4, у середовищі гліцерину + 10 % дистильованої

Закономірності зміни ЕП, спрацювання та коефіцієнтів тертя майже не відрізняються від цих же закономірностей, отриманих під час дослідження чистої міді (див. рис.1). У загальному випадку на ділянці нормального тертя та спрацювання діапазон існування ВС I типу на поверхнях тертя бронз (рис.4) незначний: для БрОФ 6,5-4,0 – від 2 до 2,5 МПа; для БрОНФ10-1-1 – від 4 до 7,5 МПа; для латуні ЛС-59-1 – від 5 до 12,5МПа. Значно ширший діапазон існування ВС II типу. Для цих же матеріалів відповідно: від 6 до 50 МПа; від 11 до 42 МПа; від 18 до 37,5 МПа. Характер зміни спрацювання та коефіцієнтів тертя такий, як і в чистої міді (див. рис.1).

**Висновки.** Наведені результати експериментів показали доцільність застосування методу ЕП для дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя підшипників ковзання теплоелектроенергетичних машин і обладнання. Отримані закономірності під час дослідження модельного матеріалу (міді М1) і сплавів на його основі при різних навантаженнях із застосуванням нейтральних, окиснювальних і відновних мастильних середовищ дали змогу встановити ділянки нормальних механохімічних процесів утворення й руйнування ВС I і II типів, границі перехідних процесів та критичні точки переходу до підсиленого руйнування (пошкодження).

#### **Бібліографічний список**

1. Ишлинский А. Ю. Развитие науки о трении и износе / А. Ю. Ишлинский, В. А.Белый // Трение и износ. – Минск : Наука и техника, 1980. – Т.1, №1. – С. 7–11.
2. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – М. : Машиностроение, 1968. – 478с.
3. Костецкий Б. И. Поверхностная прочность материалов при трении / Б. И. Костецкий ; под ред. проф. Б. И. Костецкого. – К. :Техніка, 1976. – 292с.
4. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – К. :Техніка, 1970. – 396с.
5. Костецкий Б. И. Сопротивление изнашиванию машин/ Б. И. Костецкий. – М. ;К. : Машгиз, 1959. – 476с.
6. Шолудько В. П. Исследование механических и физико-химических характеристик поверхностей трения методом электродного потенциала / В. П.Шолудько // Физ.-хим. механика материалов.– 1980. – № 6. – С. 89-92.
7. Шолудько В. П. Установка для исследования процессов трения и изнашивания металлов в электропроводных средах / В. П. Шолудько // Научные труды УСХА : Совершенствование

технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин. – 1978. – Вып. 212. – С. 17-20.

**ШолудькоЯ., ШолудькоВ., ГуменюкР. Дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя підшипників ковзання теплоелектроенергетичного обладнання методом електродного потенціалу**

Показана доцільність застосування методу електродного потенціалу для дослідження процесів тертя і спрацювання підшипників ковзання енергетичного обладнання. Здійснено ідентифікацію показів електродного потенціалу з даними величин спрацювання і коефіцієнтів тертя. Досліджено поверхні тертя з допомогою електронної мікроскопії, зокрема електронографії.

**Ключові слова:** тертя, спрацювання, підшипник ковзання, електродний потенціал, електронна мікроскопія, електронографія.

**Sholudko Ya., Sholudko V., Humenyuk R. Research of tribotechnical characteristics of the friction bearings surfaces of thermoelectric and energy equipment by the electrode potential method**

The expediency of the method of the electrode potential was considered for the study of friction and wear of the slider bearing of power equipment. The electrode potential data were identified with the variables of the wear and friction coefficients. The friction surface was studied by means of electron microscopy, including electron diffraction investigation method.

**Keywords:** friction, wear, slider bearing, electrode potential, electron microscopy, electron diffraction investigation method.

**Шолудько Я., Шолудько В., Гуменюк Р. Исследование триботехнических характеристик поверхностей трения подшипников скольжения теплоэлектроэнергетического оборудования методом электродного потенциала**

Показана целесообразность применения метода электродного потенциала для исследования процессов трения и износа подшипников скольжения энергетического оборудования. Осуществлена идентификация показателей электродного потенциала с показателями величин износа и коэффициентов трения. Исследованы поверхности трения с помощью электронной микроскопии, в частности электронографии.

**Ключевые слова:** трение, износ, подшипник скольжения, электродный потенциал, электронная микроскопия, электронография.