

*М. М. Свирид, канд. техн. наук, доц.,
А. П. Кудрін, канд. техн. наук, проф.,
С. М. Задніпровська, асп.,
А. М. Хімко, канд. техн. наук, доц.,
В. В. Лубяний, канд. техн. наук, доц.*

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ МАТЕРІАЛІВ В УМОВАХ РЕВЕРСИВНОГО ТЕРТЯ В МАГНІТНОМУ ПОЛІ

Національний авіаційний університет, color7@ukr.net

Розроблено установку, що дозволяє проводити випробування в умовах реверсивного тертя в рівномірному магнітному полі, змінювати та контролювати навантаження, швидкість ковзання та середовище тертя, реєструвати коефіцієнт тертя, а також візуально спостерігати за поверхнею тертя зразка в процесі його випробування.

Вступ. Подовження довговічності машин і вузлів неможливе без проведення відповідних досліджень, що дозволяють точно оцінити вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних чинників на довговічність та зносостійкість вузлів і окремих деталей.

Велика кількість вузлів і механізмів у різних галузях техніки піддаються дії як одностороннього, так і реверсивного тертя. Особливий інтерес становить реверсивне переміщення поверхонь. За умов реверсивного і одностороннього тертя властивості робочих поверхонь істотно розрізняються, і знакозмінність тертя позначається на зносостійкості деталей машин. Знакозмінний перебіг зсувних деформацій під час реверсивного тертя з розвитком нових поверхонь, збільшенням дефектів, розміщенням і втомними процесами призводить до небажаного для практики явища – підвищеного порівняно з одностороннім тертям зносу, названим негативним ефектом реверсу [1].

Проблеми зносу деталей машин завжди вимагали розроблення нових технологій відновлення. Одним з напрямів використання екологічно чистих та енергоощадних технологій відновлення є трибомагнітний метод.

Магнітне поле – це особливий вид матерії, який впливає на заряджені частинки. Напрявлене магнітне поле діє на заряди, як позитивні так і негативні, які рухаються по провідниках в рідких та

газових середовищах, і може змінювати напрям їх руху. Це може зумовлювати притягування або витіснення продуктів зношування із зони тертя і окремих утворень, що виникають під час тертя, які супроводжують процес зношування.

Отже, питання зношування та відновлення поверхонь, що працюють в умовах реверсивного тертя і магнітного поля, на тепер актуальне і розроблення методики відповідних випробувань матеріалів.

Аналіз досліджень та публікацій. Останнім часом багато сучасної літератури присвячено розробленню методик випробувань зносостійкості різноманітних сплавів і металів.

Аналіз джерел [2; 3] показує, що в них здебільшого розглянуто найпоширеніші методи трибологічних досліджень, зокрема визначення площі фактичного контакту, мікрогеометричних характеристик поверхонь тертя, структури і властивостей приповерхневих мікрооб'ємів матеріалів пар тертя, а також наведено відомості про стандартні методи та схеми випробувань тертя і зношування [2]. Також розглядаються нестандартні методи випробувань, їх можливості та конкретні галузі застосування [3]. Але дослідження в магнітному полі в умовах реверсивного тертя та розроблення методик для цих умов обмежені.

Так, у праці [4] автори встановили, що пропускання магнітних силових ліній безпосередньо через зону контакту після зміцнювальної фрикційної обробки забезпечує вищу зносостійкість сталевих поверхонь, ніж їх зносостійкість за умови проходження силових ліній за межами цієї зони. Експериментально доведено, що електромагнітне поле, що пропускається через зони фрикційного контакту, сприяє інтенсифікації вибіркового перенесення [5].

Автори [6] подають новий метод відновлення прецизійних пар тертя деталей машин за трибоелектрохімічними методиками. Порівнюється енергетичний стан поверхні тертя з механізмом нанесення металевого матеріалу на робочі поверхні деталі в умовах безрозбірного відновлення.

Дослідженнями [7] встановлено, що напрям силових ліній магнітного поля до поверхні тертя значно змінюють стан робочого вузла. Розташування поверхні тертя над полюсом N зміщує процес репарації у феромагнітних матеріалах. Намагнічений матеріал утримується в зоні тертя з подальшим перенесенням на найбільш

енергетично нестабільні зони тертя. Визначено параметри утворення і умови існування сервоподібної плівки в умовах тертя сталі 45 по латуні над полюсом N унаслідок витиснення кисню із зони дії полюса. У праці [8] визначено умови утворення проміжної структурної складової дією магнітних силових ліній. Визначено товщину працездатної оксидної плівки в разі дії магнітного поля. Запропонована методика регулювання зміни параметрів оксидних плівок під дією магнітного поля значно поліпшить умови припрацювання прецизійних пар тертя.

Болотов О.М. [9] вивчав створення нових типів магнітопасивних опор ковзання: магніторідинних підшипників і підшипників з магнітним розвантаженням. Розробив рекомендації щодо конструювання, розрахунку, вибору конструкційних матеріалів опор і методику оцінювання їх функціональних властивостей. З'ясовано, що застосування магнітопасивних опор у різних машинах і механізмах значно підвищує їх експлуатаційні властивості і розширює сферу застосування.

І.А. Кравець у праці [10] описав способи і пристрої, що забезпечують відновлення трибосистем у процесі їх зношування. Розглянуто електропровідності нових змащувальних і робочих середовищ, які, крім прямого призначення, також застосовуються як електроліт у трибосистемах.

Аналіз літератури [2–10] засвідчив, що вона присвячена здебільшого або розробленню методик із зносостійкості матеріалів в умовах тертя ковзання, або питанням відновлення зношених ділянок під дією магнітного поля. Натепер не існує методики випробувань матеріалів в умовах реверсивного тертя під дією магнітного поля з різними його напрямленням.

Постановка завдання. Розроблення методики досліджень сталей та сплавів в умовах реверсивного тертя ковзання за дії магнітного поля. Створення установки для дослідження можливості динамічного відновлення зношеної поверхні деталі в магнітному полі в умовах реверсивного тертя.

Розроблення методики. Для вивчення механізму взаємодії поверхонь в робочих середовищах в умовах реверсивного тертя під дією магнітного поля створено установку, що дозволяє досліджувати трибологічні властивості і застосовується для кількісного визначення сил тертя.

Пристрій тертя являє собою ємкість зі скляним дном – контр-

зразком, перпендикулярно до якого розміщують робочий зразок.

Установка тертя, загальний вигляд якої показано на рис. 1, спроектовано таким чином, щоб було можна провести моніторинг зміни топографії поверхні тертя під дією рівномірного магнітного поля, оцінити кількісні параметри утворених оксидних плівок і їх геометричні розміри залежно від значень магнітного поля, контролювати умови тертя металевих поверхонь робочого зразка по «абсолютно» твердому контрзразку, спостерігати і фотографувати одну з поверхонь тертя під час проведення експерименту.

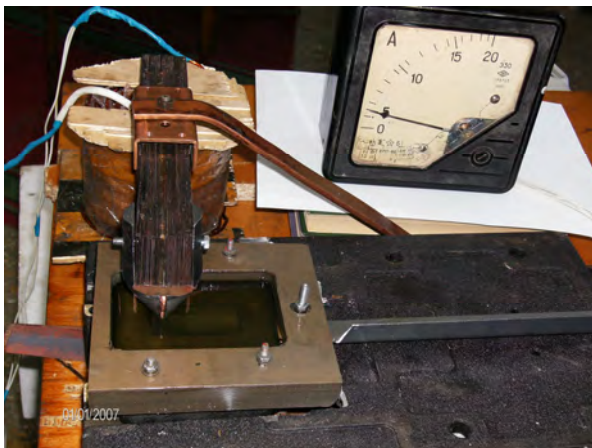


Рис. 1. Зовнішній вигляд установки для дослідження матеріалів та сплавів в умовах реверсивного тертя при дії магнітного поля

Установка дозволяє визначати функціональні та зношувальні характеристики пар тертя, змінювати магнітні властивості в зоні тертя, знімати частотні характеристики процесу напруцювання.

Характеристики установки дають змогу заздалегідь підбирати матеріали з урахуванням робочих параметрів вузла тертя і навколишнього середовища.

Установка складається з приводу зворотно-поступального руху у вигляді електродвигуна та кулачка, платформи з напрямними, на яких розташовується ємкість для робочого середовища та кріплення для контрзразка, робочого зразка та навантаження. Для створення імпульсного магнітного поля з необхідною магнітною індукцією вона містить котушку індуктивності та магнітопровід, змінні металеві наконечники, в одному з яких поміщено робочий

зразок і тензодатчик для зняття частотної характеристики. Тензодатчик з'єднано з комп'ютером, що реєструє рівень шуму. В установку ще входять амперметр і трансформатор для створення необхідної величини магнітного поля, лічильник циклів, балка навантаження, на якій розташовано пристрій для вимірювання коефіцієнта тертя, генератор сигналів для створення поля необхідної частоти, осцилограф для відображення форми вхідного сигналу.

Схему установки для дослідження матеріалів на тертя та зношування в умовах реверсивного руху в магнітному полі зображено на рис. 2.

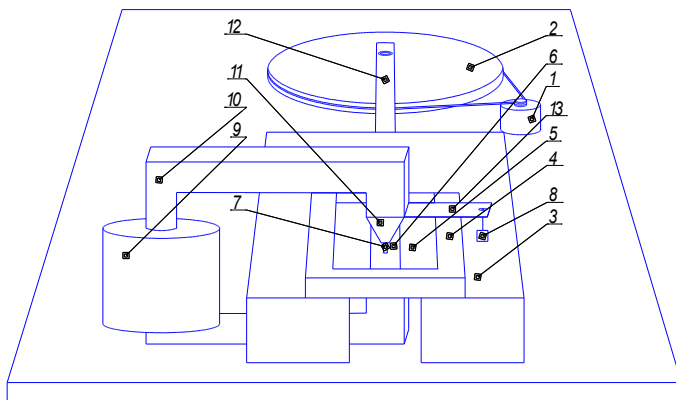


Рис. 2. Принципова схема установки для дослідження матеріалів на тертя та зношування в умовах реверсивного руху в магнітному полі: 1 – електродвигун; 2 – кулачок; 3 – платформа з напрямною; 4 – ємкість для робочого середовища; 5 – кріплення для контрзразка; 6 – контрзразок; 7 – робочий зразок; 8 – навантаження; 9 – котушка індуктивності; 10 – магнітопровід; 11 – змінні наконечники; 12 – важіль передачі руху; 13 – важіль для передачі навантаження

Електродвигун 1 винесено за межі платформи 3, кулачковий механізм 2 переміщує через важіль передавання руху 12 ємкість для робочого середовища 4 з контрзразком 6 так, що можна плавно змінювати швидкість від 0,05 до 0,5 м/с, а робочий зразок 7 розташовано в змінному наконечнику 11 нерухомо [11].

Коефіцієнт тертя вимірюють за схемою, що зображена на рис. 3: пружина 9 сприймає опір, який виникає між робочим зразком 6 та контрзразком 5. Через потенціометр 11 опір передається на міст 8, а далі – на відтарований прилад 10.

Контрзразок поміщують у ємкість, що дозволяє проводити

експеримент в змащувальних, корозійних середовищах та на повітрі.

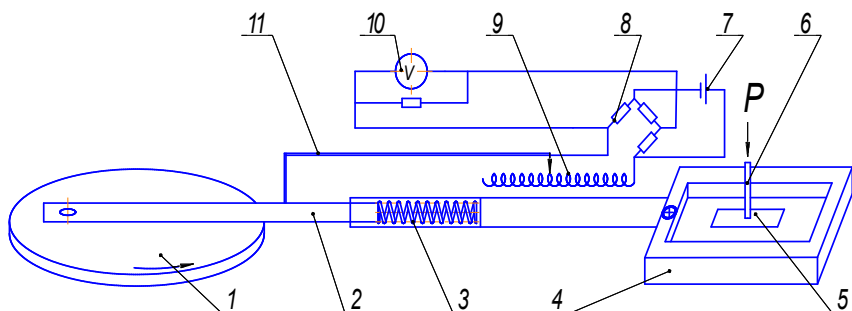


Рис. 3. Схема вимірювання коефіцієнта тертя: 1 – привід двигуна; 2 – тяга; 3 – компенсувальна пружина; 4 – ємкість для робочого середовища та контртіла; 5 – контрзразок; 6 – робочий зразок; 7 – джерело живлення; 8 – міст; 9 – пружина сприйняття опору; 10 – вольтметр; 11 – потенціометр

Навпроти робочого зразка, через скло, вмонтовано об'єктив мікроскопа, через систему лінз якого світло фокусується у фотокамеру з подальшим опрацюванням та фіксацією на екрані комп'ютера. Така система дає змогу контролювати умови тертя металевих поверхонь (робочого зразка) по «абсолютно» твердому контрзразку, яким є електрично нейтральне скло. Оскільки після напрацювання на поверхні скла завжди залишаються продукти зносу, то можна зробити їх експрес-аналіз на металографічному мікроскопі.

У процесі тертя випромінюються акустичні хвилі, тому пристрій для дослідження матеріалів на тертя та зношування при реверсивному русі обладнаний акустичним датчиком для зняття характеристики в звуковому діапазоні частот, що виводяться на екран комп'ютера за допомогою програми Spectrum LAB з можливістю запису на магнітні носії. Момент зміни оксидних плівок супроводжується додатковою силою звуку, що забражується підняттям загальної частотної кривої по всьому частотному діапазону звукового сигналу. У момент зриву оксидної плівки з поверхні металу на середніх та високих частотах 3...20 кГц спостерігається сплеск частотної складової у вигляді піків з -80 дБ до -30 ... -40 дБ (рис. 4).

Технологія проведення експерименту значно спрощується у разі одночасного записування частотних даних та фотографування

поверхні тертя.



Рис.4. Характеристика частотної кривої

Дослідження матеріалів в умовах реверсивного тертя в магнітному полі проводили таким чином: поверхню робочого зразка притирали на абразивній мікронній шкурці, після чого промивали спиртом і зважували на аналітичних терезах АДВ-200М з точністю до 10^{-4} г. Робочий зразок поміщали в змінний наконечник і встановлювали необхідне навантаження – 3,5 МПа. Змінний наконечник закріплювали на магнітопроводі. Дослідження проводили на повітрі зі значенням магнітного поля 0,2 Тл та швидкістю зворотно-поступального руху 0,12 м/с у центрі контргіла.

За матеріал робочого зразка брали сталь 65Г, а контргіла – ЛС59-1. Експеримент проводили в три етапи: без магнітного поля, з напрямком магнітного поля S/N та N/S відносно площини тертя, а в зону тертя додавали по черзі діамагнетик (Zn – до 20 мкм), парамагнетик (Sn – до 10 мкм) та феромагнетик (Ni – до 10 мкм) у вигляді порошку. Графік залежності зносу від напрямку магнітного поля та без нього для робочого зразка показано на рис. 5.

Без дії магнітного поля робочий зразок зношується в парі з

контртілом, що показано на рис. 5, 6. Проте знос зразка значно менший; це пояснюється тим, що частинки порошку, які були додані в зону тертя, механічно втираються у поверхню робочого зразка, що ілюструють знімки на рис. 7, б. На поверхні видно розмазані налипли частинки матеріалу іншого кольору за стабільного зношування контртіла. Механізм сумарного зносу в усіх парах з додаванням різного класу (парамагнетика, діамагнетика) порошоків однаковий і коливається в діапазоні 30..20 мкм на кілометр шляху (рис. 5, 6, без магніту).

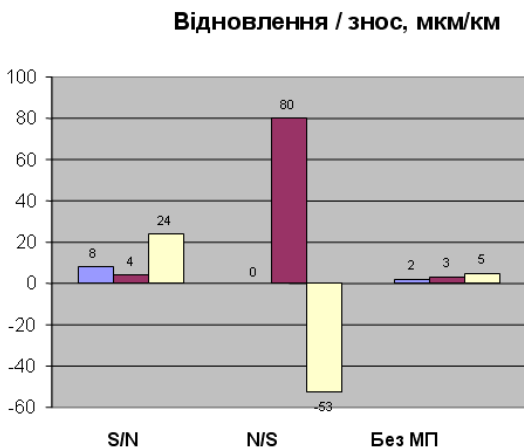


Рис. 5. Залежність зносу від магнітного поля для робочого зразка 65Г:

■ – діамагнетик, ■ – парамагнетик, □ – феромагнетик

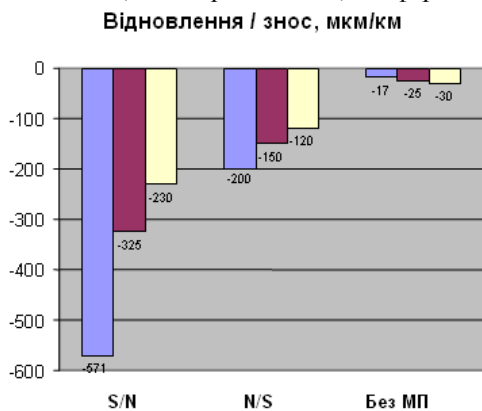


Рис. 6. Залежність зносу від магнітного поля для контргтіла ЛС59-1:

■ – діамагнетик, ■ – парамагнетик, □ – феромагнетик

У разі розміщення поверхні тертя в магнітному полі з напрямком S/N спостерігається збільшення маси робочого зразка (рис. 5), відповідно на контргтілі відмічається процес зношування (рис. 6). Пара тертя, до якої додавали феромагнітний порошок нікелю, має загальний знос ($230+24=254$ мкм) за 1 км шляху.

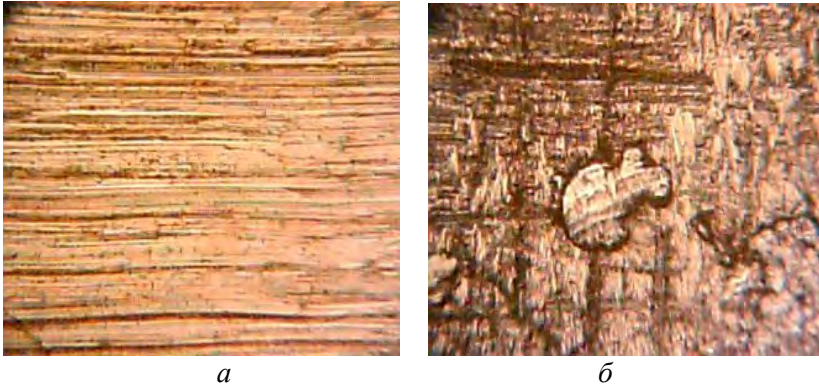


Рис. 7. Поверхня тертя ЛС59-1 (а), 65Г (б) без магнітного поля

Додавання діамагнітного порошку супроводжується збільшенням розміру зразка і значним зменшенням контргтіла [$-571+(+8) = 563$ мкм/км]. Це пояснюється витісненням діамагнітного матеріалу із зони тертя, найбільша кількість якого містить в контргтілі (міді й цинку).

Із додатком у зону тертя парамагнітного порошку (олова) величина зношування металевого зразка дещо зменшилась, незважаючи на налипання олова на поверхню феромагнітного зразка (рис 8, а). На поверхні контргтіла ЛС59-1 спостерігається утворення захисних трибологічних плівок (рис. 7, б), за рахунок чого підвищується сумарна зносостійкість пари тертя 65Г-ЛС59-1 до $(-325)+(1,36) = 324$ мкм/км.

Зміна рівномірного магнітного поля у напрямі N/S супроводжується зносом пари тертя з параметрами, відмінними від попередніх.

Зменшення сумарного зносу внаслідок додавання феромагнітного порошку в зону тертя [$(-53 + (-420) = -473$ мкм/км] пояснюється утриманням порошку в зоні тертя між полюсами магніту. При цьому порошок буде виконувати функцію сухого змащувального матеріалу.

Змінна величина зносу пари через унесення парамагнітного матеріалу олова супроводжується значним погіршенням рельєфу топографії поверхні тертя латунного контртіла (рис. 9, *a*). Проте зразок збільшує розміри внаслідок перенесення на поверхню порошку олова. З протилежного боку діамагнітні складові латуні виносяться із зони тертя під дією магнітного поля, що збільшує знос контртіла.

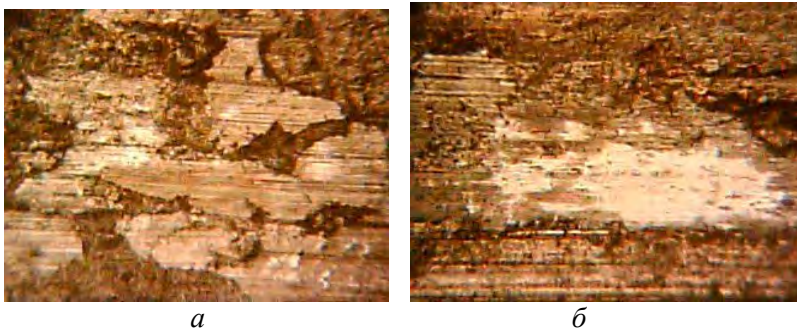


Рис. 8. Поверхні тертя зразка 65Г (*a*), ЛС59-1 (*б*)

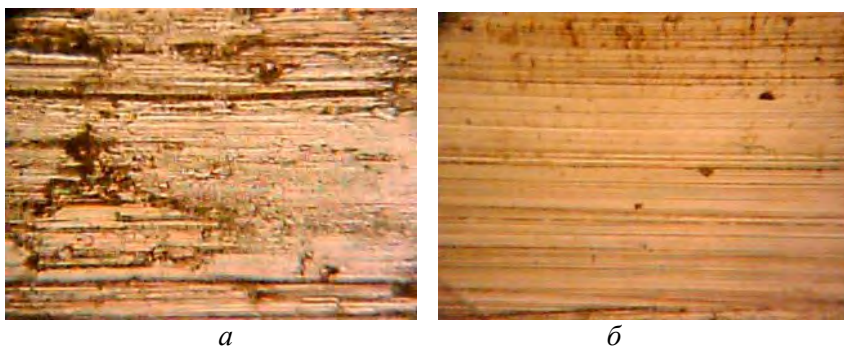


Рис. 9. Поверхня тертя феромагнітного зразка 65Г з додаванням Ni (*a*), Zn (*б*) в напрямленому магнітному полі *N/S*

У разі внесення в зону тертя діамагнітного матеріалу (цинку) у вигляді порошку трибологічні характеристики пари тертя зазнають значних змін. Зразок майже без зношування, відзначається високою чистотою поверхні тертя, проте контртіло набуває достатньо високих значень зносу (див. рис. 4, *б*).

Висновки. Таким чином, можна зробити такі висновки:

1. Розроблено методику досліджень матеріалів в умовах реверсивного тертя в магнітному полі.

2. Розроблено унікальну установку для випробувань сталей, сплавів та неметалевих матеріалів в умовах реверсивного тертя в різному магнітному полі. Випробування можна проводити як у мастилі та пластичних змазках, так і на повітрі без змащувального середовища.

3. Установка дозволяє досліджувати та візуально в динаміці спостерігати за процесами репарації зношених поверхонь в умовах реверсивного тертя в магнітному полі.

4. Установлено вплив діа- пара- и ферромагнітних матеріалів на трибологічні параметри пар тертя.

Список літератури

1. *Евдокимов В.Д.* Реверсивность трения и качество машин. К.: Техніка, 1977. – 148 с.

2. Испытательная техника: справ.: в 2-х кн. / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн.1. – 528 с.

3. *Куксенова Л.И.* Методы испытаний на трение и износ. – М.: Интернет Инжиниринг, 2001. – 152 с.

4. *Макаренко А.С.* Влияние электромагнитного поля, проходящего через зону фрикционного контакта, на износ при высокоскоростном трении / А.С.Макаренко, В.Д.Евдокимов // Проблемы техники: наук.-виробн. журн. Одеса: Диол.-Принт, 2005. – № 1. – С. 77 – 84.

5. *Евдокимов В.Д.* Влияние магнитного поля на избирательный перенос при трении / В.Д.Евдокимов, А.С. Макаренко // Проблемы техники: наук.-вироб. журн. – Одеса: Диол.-Принт, 2006. – № 4. – С. 70 – 78.

6. *Свирид М.Н.* Мониторинг трибологических параметров узла трения в условиях переноса массы/ М.Н.Свирид, В.Г.Паращанов, А.Н.Химко, И.Ю.Беспалов // Проблемы тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2009. – Вип. 51. – 216 с.

7. *Свирид М.Н.* Состояние трибологических систем в условиях репарации // Матеріали ІХ міжнар. наук.-техн. конф.«Авіа-2009».– К.: НАУ, 2009. – Т.2. – С. 14.27 – 14.30.

8. *Свирид М.М.* Моніторинг утворення топографії поверхонь при терті без змащування, під дією магнітного поля. / М.М.Свирид, В.Г.Паращанов, Л.Б.Лучук //Наука і молодь, прикладна серія: зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2007. – С. 34 – 37.

9. *Болотов А.Н.* Триботехника магнитопассивных опор

скольжения: монография / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. – Тверь: ТГТУ, 2008. – 124 с.

10. *Кравец И.А.* Ремонтивная регенерация трибосистем. –Т.: Изд-во Береж. агротехн. ин-та 2003. – 284 с.

11. Пат. на корисну модель заявка № и 2009 08003 від 29.07.2009 р.

УДК 621.537.611

Свирид М.Н., Кудрин А.П., Заднепровская С.Н., Химко А.Н., Лубянский В.В. **Методика исследований материалов при реверсивном трении в магнитном поле** // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк», 2009. – Вип. 52. – С.53–64.

Разработана установка, которая позволяет проводить испытания при реверсивном трении в равномерном магнитном поле, изменять и контролировать нагрузку, скорость скольжения и среду трения, одновременно регистрировать коэффициент трения, а также визуально наблюдать за поверхностью трения образца в процессе его испытания.

Рис. 9, список літ.: 11 найм.

Svirid M.N., Kudrin A.P., Zadneprovskaya S.N., Khimko A.N., Lubyanyu V.V. **Material experiments methodic during reversive friction in magnetic field.**

The test-machine was developed, it provides to test materials at reversive friction in the even magnetic field. It is possible to change and to control loading, sliding speed and to change the environment of friction. Also the friction coefficient is registered. It is possible to make visual register of friction surface at testing process.

Стаття надійшла до редакції 14.10.09.