

ISSN 0370-2197

# **ПРОБЛЕМИ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ**

**PROBLEMS OF FRICTION  
AND WEAR**

**4 (65). 2014**

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

## ПРОБЛЕМИ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ

Виходить 4 рази на рік

Київ ■ НАУ ■ 2014, № 4 (65)

Засновник – Національний авіаційний університет

Головний редактор *М.В. Кіндрачук*,  
Відповідальний секретар *А.О. Корнієнко*.

### Редакційна колегія:

<i>О.Ф. Аксьонов</i> (Україна, Київ);	<i>Г.О. Кривов</i> (Україна, Київ);
<i>С.А. Бичков</i> (Україна, Київ);	<i>Я.А. Криль</i> (Україна, Ів.-Франківськ);
<i>Н. Вандерка</i> (Німеччина, Берлін);	<i>М.С. Кулик</i> (Україна, Київ);
<i>В.А. Войтов</i> (Україна, Харків);	<i>К. Ленік</i> (Польща, Люблін);
<i>Д.О. Вольченко</i> (Україна, Ів.-Франківськ);	<i>Ю.М. Луїснєв</i> (Росія, Москва);
<i>В.М. Голубець</i> (Україна, Львів);	<i>М.К. Мишкін</i> (Білорусь, Гомель);
<i>В.І. Дворук</i> (Україна, Київ);	<i>В.І. Мірненко</i> (Україна, Київ);
<i>А.Х. Джанахмедов</i> (Азербайджан, Баку);	<i>Р.Г. Мнацаканов</i> (Україна, Київ);
<i>О.В. Духа</i> (Україна, Хмельницький);	<i>О.І. Некоз</i> (Україна, Київ);
<i>В.Д. Євдокімов</i> (Україна, Одеса);	<i>М.І. Пашечко</i> (Польща, Люблін);
<i>В.В. Запорожець</i> (Україна, Київ);	<i>Д. Петкова</i> (Болгарія, Габрово);
<i>Л.Й. Іщенко</i> (Україна, Запоріжжя);	<i>М.С. Стецишин</i> (Україна, Хмельницький);
<i>С.Р. Ігнатювич</i> (Україна, Київ);	<i>Ю.Г. Сухенко</i> (Україна, Київ);
<i>С.А. Клименко</i> (Україна, Київ);	<i>В.П. Харченко</i> (Україна, Київ);
<i>Л.П. Клименко</i> (Україна, Миколаїв);	<i>М.В. Чернець</i> (Україна, Дрогобич);
<i>А.Г. Косторнов</i> (Україна, Київ);	<i>В.В. Шевеля</i> (Україна, Хмельницький);
<i>В.І. Кравцов</i> (Україна, Київ);	<i>В.М. Шмаров</i> (Україна, Київ).

Зареєстровано Міністерством юстиції України.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації.

Серія КВ №19956-9756ПР від 29 квітня 2013 року.

Журнал «Проблеми тертя та зношування» входить до переліку наукових фахових видань України, затвердженого постановою ВАК України (№ 1-05/3 від 08.07.09 р.) та наказом Міністерства освіти і науки України (№ 793 від 04.07.2014).

Журнал включений до міжнародних науково-метричних баз  
РІНЦ (Російський Індекс Наукового Цитування), EBSCO, WorldCat, Google Scholar

Рекомендовано до друку вченою радою НАУ (протокол № 8 від 24 вересня 2014 року).

### Адреса редакції:

03680, Київ, пр-т Космонавта Комарова, 1, НАУ.

Тел./ факс (044) 406-77-73,

<http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/PTZ>

e-mail: [ptznau@ukr.net](mailto:ptznau@ukr.net)

© Національний авіаційний університет, 2014

УДК 621.537.611

М. Н. СВИРИД, Г. А. ВОЛОСОВИЧ, А. Е. ЯКОБЧУК, А. Ф. КОЛОМИЕЦ,  
А. О. ПЛОТНИКОВ

*Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

### ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ТРИБОЛОГИЮ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ТРЕНИЯ

*В статье рассматриваются процессы влияния импульсного магнитного поля (ИМП) на свойства поверхностей трения. Проведены исследования магнитного поля частотой 50 Гц со скважностью импульса 6,25 Гц при участии модификатора Sn в M10Г2к. Показано изменение трибологических характеристик пары Ст45 по латуни во времени.*

**Ключевые слова:** импульс магнитной индукции, продукты трения, оловянистые плёнки, масло M10Г2к.

**Вступление.** При эксплуатации современной тяжёлой техники увеличиваются нагрузки на эксплуатанта, что вызывает необходимость проектировать механизмы управления с использованием гидравлических устройств (усилителей). Применяемые гидравлические насосы, различных типов подвержены износу. Например, износ рабочих шестерён шестеренчатого насоса на 10 мкм и более является недопустимым. Ресурс любого механизма в первую очередь зависит от своевременного и качественного технического обслуживания, текущего и капитального ремонтов. Поэтому сроки службы (ресурс) машины определяется системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР), который разрабатывается на стадии проектирования машины, на основе информации об условиях эксплуатации и возможных методах восстановления. Известно, что до 80 – 90% выхода из строя машины, происходит по причине износа, что вызывает необходимость разрабатывать новые методы восстановления. Бесспорно, приоритетными будут те методы восстановления, которые позволяют восстанавливать изношенные детали механизма без его демонтажа. Одно из направлений такого восстановления базируется на использовании рабочих сред с наложенным магнитным полем. При этом изменяются свойства рабочей среды (вязкость, пластичность, упругость) а также тепло- электропроводность и магнитная проницаемость, что дает возможность управлять гидродинамическими, тепло-массообменными, электро- и магнитными характеристиками рабочих сред.

**Постановка задачи.** Резкое изменение механических свойств рабочих сред под воздействием магнитных полей называют магнитнореологическим эффектом. В процессе исследований этого эффекта установлено, что магнитные поля (МП) с индукцией 1 – 10 Тл могут вызывать в диамагнитных кристаллах и полимерах долговременные остаточные изменения их пластических свойств. Работа [1] объясняет, это влиянием МП на кинетику и выход спин-зависимых реакций в подсистеме парамагнитных структурных дефектов, которые влияют на подвижность дислокаций.

Пластичность – одно из свойств металлов, влияющее на процессы трения и изнашивания, и определяет механизмы разрушения. Влияние МП на пластичность таких металлов как Cu, Al, Ag, отмечено в работе [2]. Механизм магнитопластического эффекта (МПЭ) заключается в смещении краевых дислокаций кристаллов помещенных в электромагнитное поле, с индукцией до 1 Тл [3]. В металлах наблюдаются перемещения дислокаций и изменение микротвердости, это и позволяет управлять пластическими свойствами металлов в процессе их деформирования.

Экспериментально установлено, что импульсное МП уменьшает микротвердость металлов, а постоянное МП, не влияет на микротвердость. Причиной изменения микротвердости, может быть движение дислокаций, что сказывается на магнито-пластическом эффекте [4]. Установлено также, что МП оказывает влияние на перемещение дислокаций и их границ, что может привести к ускоренному массопереносу по дислокационному или дислокационно-диффузионному механизму. Этот эффект наблюдается в переменном МП и отсутствует в постоянном МП [5]. А также при наложении импульсного МП происходит перемагничивание образца, вследствие чего изменяется период доменной структуры [6]. Таким образом, доменные структуры активно взаимодействуют с дислокациями, имеют магнитоупругий характер, что приводит к массопереносу, особенно при повышенных температурах.

То есть, МПЭ может быть использован при:

- управлении пластическими свойствами материалов в процессе их деформирования (штамповка,ковка и др.);
- иницировании релаксаций внутренних механических напряжений;
- создании новых методов исследования пластической деформации на электронно спиновом уровне [7].

Изменение внутреннего состояния материала в МП зависит от его свойств. Магнитная восприимчивость – величина, характеризующая способность вещества намагничиваться. Вектор намагниченности материала, т.е. магнитный момент единицы объема вещества связан с вектором напряженности [H] однородного магнитного поля соотношением:

$$M = M_0 + cH, \quad (1)$$

где  $M_0$  – намагниченность в отсутствии поля,  $c$  – макроскопическая магнитная восприимчивость.

Учитывая, что магнитная восприимчивость  $\chi$  прямолинейно связана с относительной магнитной проницаемостью  $\mu = 1 + 4\pi\chi$  для диа- и парамагнетиков ( $\chi = -1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-6}$ ), например  $\chi_{Cu/mol} = -5,41 \cdot 10^{-6}$ . Магнитная восприимчивость имеет различные знаки в зависимости от свойств металлов, что определяет направление перемещения металла относительно направления магнитных линий в контактной зоне трения. Известно, что магнитная проницаемость цинка  $\chi_{Zn}$  изменяется от  $1,9 \cdot 10^{-4}$  (при  $293^{\circ}K$ ) до  $1,7 \cdot 10^{-7}$  ( $4,2^{\circ}K$ ) с изменением температуры.

Таким образом целью работы являлось, исследование влияния импульсного МП на возможность восстановления рабочих параметров прецизионных пар трения.

Для этого необходимо реализовать следующие задачи:

- исследовать влияние МП на материалы участвующие в процессах трения;
- изучить механизм осаждения модификаторов и продуктов износа на восстанавливаемую поверхность трения.

**Методика и техника эксперимента.** Идея восстановления основана, на принудительном осаждении модификаторов и продуктов износа на изнашиваемую поверхность направленным магнитным полем.

Из диаграммы железо-углерод видно, что ферромагнетик при температуре (выше точки Кюри  $768^{\circ}C$ ), образующейся при трении, провоцирует изменение ферромагнитных свойств железа на парамагнитные, с магнитной проницаемостью до  $\mu \approx 1,1$ . При этой температуре в процессе трения образуются частицы парамагнетика, вызывающие изменение магнитных свойств модификаторов и продуктов износа участвующих в процессе миграции их на изнашиваемую поверхность. То есть, в объекте научных исследований отображались процессы проходящие под дейст-

вием МП в поверхневих шарах магнетиків, образуючих пари тертя. Предметом наукових досліджень стало виявлення закономірностей, які впливають на переміщення продуктів износа різного хімічного складу з робочої середовища на поверхню тертя. Дослідження проводилося з використанням пари тертя конструкційної сталі 45 (ферромагнетик), закаленої на мартенсит по сплаву ЛС59-1 (діамагнетик) в робочій середовищі – масло М10Г2к. Для прискорення впливу парамагнетика на процеси тертя і изнашивания в масло додавали експериментальний модифікуючий порошок олова (Sn – фракція до 5 мкм). Моделювання порошком олова дає можливість пояснити переміщення парамагнетика в область максимальної густоти магнітних силових ліній. Направлення МП S/N вказує, що силові лінії проходять через робочий зразок (РО), нормально пересікають зону тертя, в напрямку контртела (КТ). Процес створення імпульса здійснювали електронним вимикачем з частотою 6,25 Гц, несуча частота МП складала 50 Гц і направлена в одну сторону, за рахунок чого магнітна індукція змінювалася від «0 Тл» до «0,2 Тл». При цьому, в зоні тертя під дією МП знаходилися ферромагнетик сталь, парамагнетик олово і латунь (складена з діаманетиків міді і цинку). Трибологічні параметри вузла тертя, представлені на рис. 1, визначалися нормальною навантаженням 3,5 МПа, відносною швидкістю переміщення в центрі контртела 0,12 м/с, величиною імпульсу магнітної індукції до 0,2 Тл.

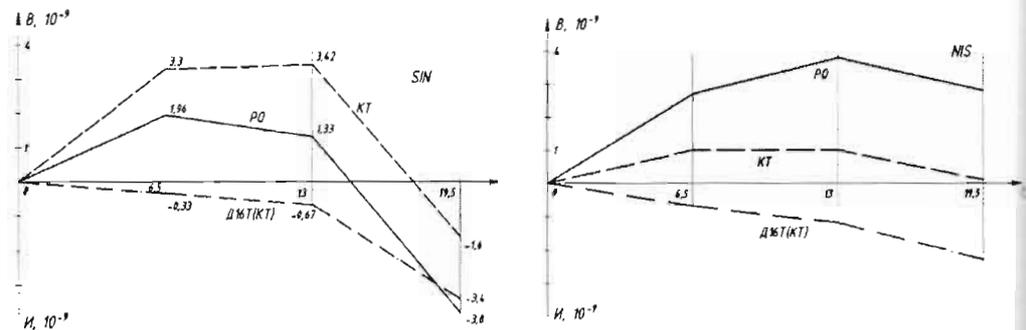


Рис. 1. Трибологічні параметри пари сталі 45(М) по ЛС59-1 в М10Г2к при наработці 8,5 км, нормальна навантаження 3,5 МПа, відносна швидкість переміщення в центрі контр-тела 0,12 м/с, величина імпульсу магнітної індукції до 0,2 Тл. (результати знаходячися вище «0» визначають доданку в масі і розмірах на РО і КТ. Дані, нижче осі характеризують умови износа)

Фізическі процеси відновлення, во время тертя ґрунтовані на:

– направленим діянні МП на парамагнітні, продукти износа і модифікатори масла, які втягуються між площинами тертя і залишаються там до механічного втирання в поверхні;

– «осіданні» мельчайших частиц (менше 1 мкм) на зони енергетическої нестабільності поверхні, оголені в процесі тертя до рівня «мостиків сварки».

Результати досліджень пари сталь 45 – латунь ЛС59-1, показані на (рис. 1). Аналіз якого дозволяє передположити, що відбувається динамічне рівносіє наработки і руйнування, захисних оловянистых плінок образуючихся з модифікатора масла.

Ці розсудження підтверджуються дослідженням топографії поверхні тертя рис. 2.

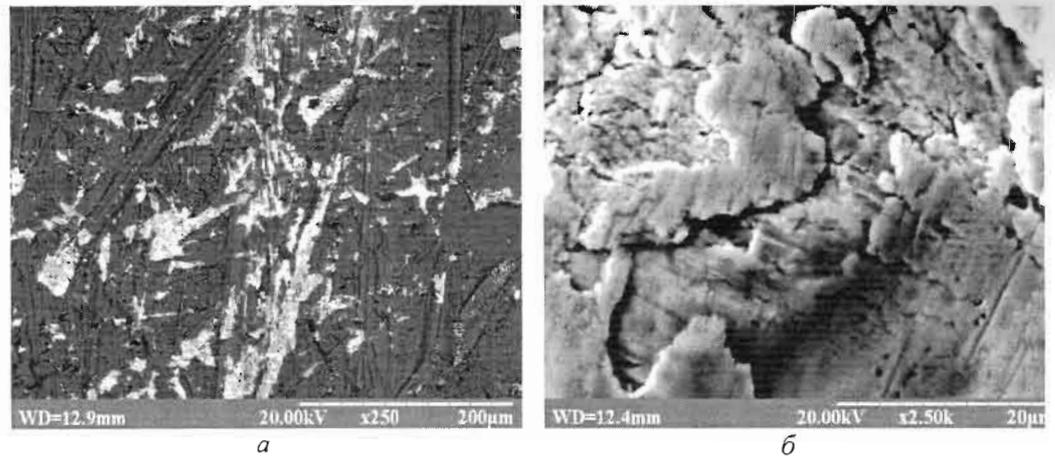


Рис. 2. Характер размещения парамагнитного модификатора на поверхность трения стали 45 силой магнитного поля. *а* – характер размещения олова по поверхности трения, *б* – образование чешуйчатой структуры на поверхности трения

Олово на рабочей поверхности располагается неравномерно рис.2. *а*, затем происходит образование конгломератов чешуйчатой структуры рис.2. *б* с последующим их разрушением и образованием новых, что и подтверждает данные эксперимента рис.1.

В результате получаем защитные плёнки толщиной до 3,5 мкм которые участвуют в процессе восстановления, коэффициент трения составляет 0,003. Для подтверждения полученных результатов выполнен химический анализ рис. 3.

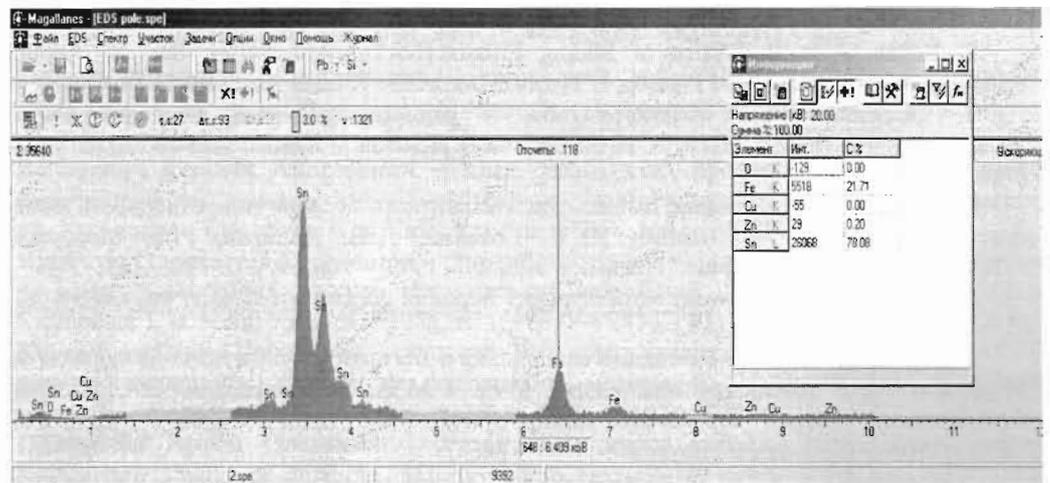


Рис. 3. Химический анализ поверхности трения образца стали 45

Плёнки вторичных структур полученные в процессе трения состоят из 78% олова и 22% железа, имеют характерную чешуйчатую структуру которая улучшается пластичностью олова. Исследование трибопары образца сталь 45 (закалённого на мартенсит) по алюминиевому сплаву Д16Т (парамагнетик) по схеме палец- плоскость в условиях возвратно-поступательного движения, на указанных выше режимах, показали, что упрочнение поверхности сплава с изменением микротвёрдости от  $H_{\mu(20)} = 701$  до  $H_{\mu(20)} = 731$ . Изменение износа на протяжении времени алюминиевого сплава показала условия убывания мате-

риала (рис.1.) с поверхности и некоторое его упрочнение в зоне наработки. Таким образом, сохранение парамагнитного материала наблюдается в зоне пары трения Ст45 по Д16Т.

Новизна предложенной технологии заключается в импульсном воздействии наложенного МП на модифицированные масла и продукты износа, что изменяет магнитную восприимчивость системы. Модифицирующие материалы масел обладают энергетическим потенциалом, который взаимодействуют с энергетическим потенциалом дефектов поверхностей трения, наращивая при этом защитные плёнки, устраняя образовавшиеся зазоры. Необходимо учитывать, что плёнки образуются на обеих сопряжённых поверхностях.

Практическое применение технологии заключается в возможности восстановления поверхностей трения прецизионных пар, с износами порядка 5 мкм, не разбирая механизм.

**Выводы.** Экспериментально установлен механизм влияния импульсного МП на модификаторы смазочных масел и продуктов износа трущихся пар.

1. Показано, что при S/N направлении импульсного МП на модификатор Sn, им покрывается  $\approx 40\%$  поверхности РО, что обеспечивает возможность восстановления.

2. Перемещение модификатора (парамагнетика) и продуктов износа трущихся пар подчиняется физическим свойствам материалов в направленном импульсном МП.

#### Список литературы

1. Чичинадзе А. В. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А. В. Чичинадзе, Э. М. Берлинер, Э. Д. Браун. – М.: Машиностроение, 2003. С. 56-70.
2. Reiter G et al. Physics of Sliding Friction (NATO ASI Series. Ser. E, Applied Sciences) Vol. 311 (Eds B N J Persson, E Tosatti) (Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1996) p. 119.
3. Сальников Ю. И. Магнето-химия и радиоспектроскопия координационных соединений / Ю. И. Сальников, А. Н. Глебов, Ф. В. Девятков // Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. С 4-33.
4. Осипьян Ю. А. Влияние импульсного магнитного поля на микротвердость монокристаллов  $S_{60}$  / Ю. А. Осипьян Ю. И. Головин, Д. В. Лопатин, Р. Б. Моргунов, Р. К. Николаев, С. З. Шмурак // Письма в ЖЕТФ. – 1999. – том 69. – С. 110 – 113.
5. Борок Б. А. Порошковая металлургия / Борок Б. А., Ольхов И. И. // уч. для вузов, - М.:Металлургиздат, 1948. С.62-65.
6. Вержаковская М. А. Влияние импульсного магнитного поля низкой частоты на диффузию Al и плотность дислокаций в Fe / М. А. Вержаковская, С. С. Петров, А. В. Покоев // Вісник Черкаського національного університету. – 2007. – Вип. 117. Серія «Фізико-математичні науки». – С. 81 – 86.
7. Моргунов Р. Б. Спин - зависимые реакции между дефектами структуры и их влияние на пластичность кристаллов в магнитном поле / Р. Б. Моргунов // Вестник РФФИ. – 2003. – №2. – С.21-25.

*М. М. СВИРИД, Г. А. ВОЛОСОВИЧ, А. Є. ЯКОБЧУК, Г. Ф. КОЛОМІЄЦЬ,  
А. О. ПЛОТНИКОВ*

### **ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ТРИБОЛОГІЮ ЗВОРОТНЬО-ПОСТУПАЛЬНОГО ТЕРТЯ**

В статті розкриваються процеси впливу імпульсного магнітного поля на властивості поверхонь тертя. Наведені дослідження магнітного поля частотою 50 Гц зі скважністю імпульсу 6,25 Гц при участі модифікатора Sn в M10G2к. Зафіксовані зміни трибологічних характеристик пари Ст45 по латуні в часі.

**Ключові слова:** імпульс магнітної індукції, продукти тертя, олов'яністі плівки, олива M10G2к.

*M. M. SVYRYD, G. A. VOLOSOVYCH, A. E. YAKOVCHUK, H. F. KOLOMIETS,  
A. O. PLOTNIKOV*

### **EFFECT OF PULSED MAGNETIC FIELD ON TRIBOLOGY OF THE RECIPROCATING FRICTION**

The article considered the processes of pulsed magnetic field force to 0.2 T on the properties of the friction surfaces. Studies on the influence of the magnetic field portion 50 Hz with pulse duty factor of 6.25 Hz for oil M10G2K modified powder with a paramagnetic metal tin. The changing of the tribological behavior of a pair of ST45 in brass either aluminum alloy according of time. The studied influence of magnetic field on materials with different magnetic properties. It is established that there is a threshold of dynamic equilibrium of destruction and restoration, protective tin films during friction.

**Keywords:** pulse magnetic induction, wear products, tin films, oil M10G2K.

**Свирид Михайло Миколайович** – канд. техн. наук., доцент кафедри технології виробництва та ремонту авіаційної техніки, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 406 72 30.

**Волосович Георгій Андрійович** – канд. техн. наук., професор кафедри технології виробництва та ремонту авіаційної техніки, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 245 73 95.

**Якобчук Олександр Євгенович** – старший викладач кафедри технології виробництва та ремонту авіаційної техніки, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058, тел.: +38 044 245 73 95.

**Коломієць Ганна Федорівна** – студентка 6-го курсу кафедри хімії і хімічної технології, хімічна технологія палива та вуглецевих матеріалів, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.

**Плотніков Артем Олегович** – студент 6-го курсу кафедри гідрогазових систем факультету літальних апаратів, Національний авіаційний університет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058.