

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 М10Г2к. Показано изменение трибологических характеристик пары Ст45 по латуни во времени.

Ключевые слова: импульс магнитной индукции, продукты трения, оловянистые плёнки, масло М10Г2к.

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.);
- инициировании 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 χ 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 χ_{Zn} изменяется от $1,9 \cdot 10^{-4}$ (при 293^0K) до $1,7 \cdot 10^{-7}$ ($4,2^0K$) 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 768^0C), 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 отобразались 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. Напрявлення МП S/N вказує, що силові лінії проходять через робочий зразок (РО), нормально перетинають 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 впливом МП знаходилися ферромагнетик сталь, парамагнетик олово і латунь (складена з діамагнетиків 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 імпульса магнітної індукції до 0,2 Тл.

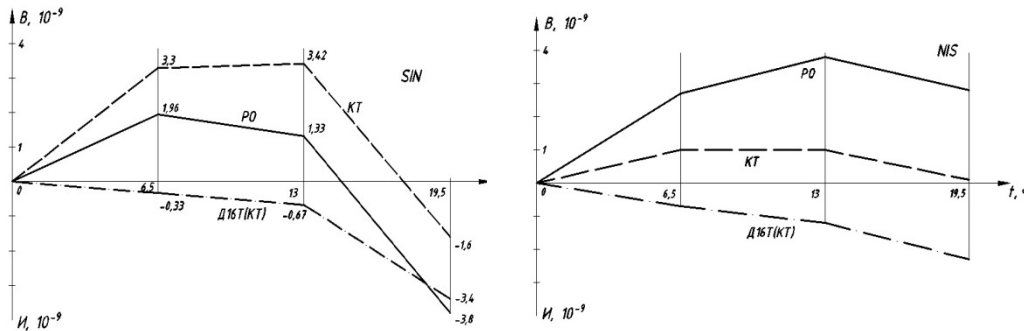


Рис. 1. Трибологічні параметри пари сталі 45(М) по ЛС59-1 в М10Г2к при нароботці 8,5 км, нормальна навантаження 3,5 МПа, відносна швидкість переміщення в центрі контр-тела 0,12 м/с, величина імпульса магнітної індукції до 0,2 Тл. (результати знаходячися вище «0» визначають доданку в масі і розмірах на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

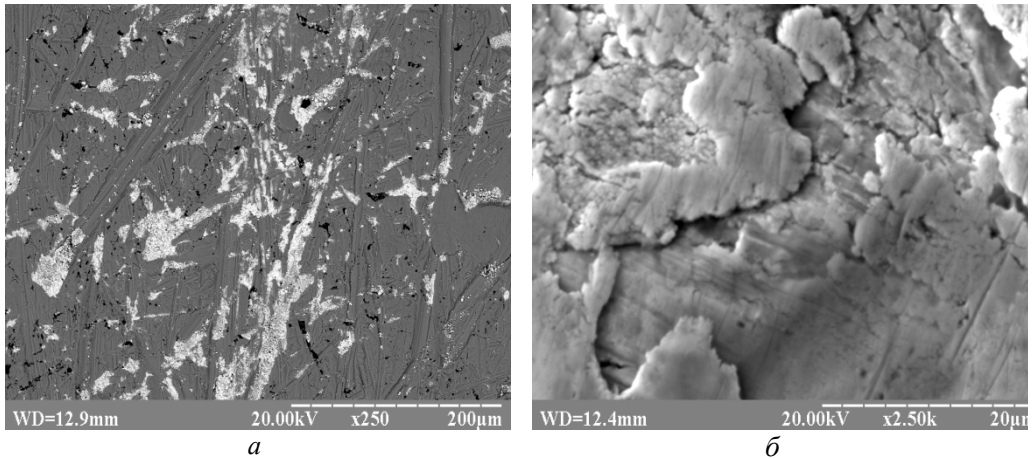
Фізичні процеси відновлення, в час тертя базуються на:

- напрямленому впливі МП на парамагнітні, продукти износа і модифікатори масла, які втягуються між площинами тертя залишаючись там до механічного втирання в поверхню;

- «осіданні» найменших частинок (менше 1 мкм) на зони енергетичної нестабільності поверхню, оголені в процесі тертя до рівня «мостиків зварки».

Результати досліджень пари сталь 45 – латунь ЛС59-1, показані на (рис. 1). Аналіз якого дозволяє передбачити, що відбувається динамічне рівновагу нароботки і руйнування, захисних олов'янистих плінок образуючихся з модифікатора масла.

Ці висновки підтверджуються дослідженням топографії поверхню тертя рис. 2.



а

б

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.

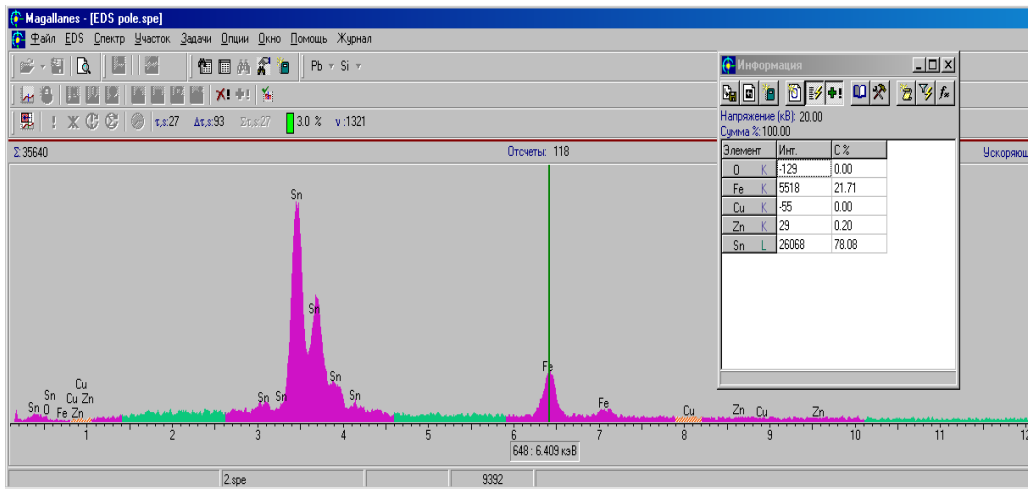


Рис. 3. Химический анализ поверхности трения образца стали 45

Плёнки вторичных структур полученные в процессе трения состоят из 78% олова и 22% железа, имеют характерную чешуйчатую структуру которая улучшается пластичностью олова. Исследование трибопары образец 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 пленки 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 S_n , 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 C_{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 M10Г2к. Зафіксовані зміни трибологічних характеристик пари Ст45 по латуні в часі.

Ключові слова: імпульс магнітної індукції, продукти тертя, олов'яністі плівки, олива M10Г2к.

*M. M. SVYRYD, G. A. VOLOSOVYCH, A. E. YAKOBCHUK, 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.