

UDC 621.537.611

УСЛОВИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Свирид М.Н., Трофимов И.Л.

Описан механизм трения ферромагнитной пары материалов ШХ-15 по стали 3 в условиях возвратно-поступательных движений, с добавкой порошка донора Ni в моторное масло М10Г2к. Отмечено структурные изменения которые претерпевает ферромагнитный материал в магнитном поле и при трении.

Ключевые слова: трение, магнитное поле, моторное масло, ферромагнитная пара, порошок донор, детали, износ, ресурс.

1. Вступление

Гарантийная эксплуатация машин достигла миллионного уровня (ДВС до 1 млн км) в различных условиях с остановками и без, но многие её механизмы и их детали способны продолжать работать. Основой работоспособности являются детали, работающие в нагруженных узлах в режиме трения, их своевременное обслуживание значительно сказывается на ресурсе всей машины. Разрушение или износ контактной зоны проходит через образование несущего «третьего тела» толщина, которого, в прецизионных парах, составляет от 0,5 до 2 мкм. Для обеспечения работоспособности несущего «третьего тела» необходимо не только создавать условия образования совокупности механических и трибологических характеристик в местах соприкосновения, но и, как можно дольше, содержать их в рабочем состоянии, это возможно при подведении к площади трения донорских элементов восстановления с помощью направленного энергетического потока.

Одним из энергетических потоков есть, магнитное поле способное безконтактно управлять состоянием материала изменяя его свойства.

2. Анализ проблемы

Большое количество авторов предпринимают попытки обрабатывать инструментальные стали магнитным полем, для повышения их прочностных параметров [1,2].

Автор [3] обнаружил уменьшение износа стали 40Х после магнитной обработки, также отмечено о влиянии формы образца на условия и величину износа [4].

Достаточно активно представляются результаты трения в магнитном поле учёной группой Евдокимова В.Д. ими установлено, что в период фрикционной обработки поверхностей образуются белые слои. Применение электромагнитных полей в динамике трения не так однозначна, усталостная прочность несколько снижается, но использовании дополнительное воздействие магнитного поля приводит к дальнейшему увеличению долговечности пар трения качения. [5,6,7].

Таким образом, существующие работы подтверждают актуальность применения магнитных технологий для повышения работоспособности узлов трения.

3. Цель работы и задачи исследований

Целью работы являлось определить трибологические параметры ферромагнитных образцов на максимуме кривой Столетова при различных входных параметрах трения.

Задание исследований:

- 1) Определить условия изменения структуры ферромагнетиков при изменении магнитной восприимчивости.
- 2) Определить влияние направления магнитного поля на топографические изменения поверхности трения.

4. Методы экспериментальных исследований

Вблизи температуры Кюри (которая образуется при трении) увеличится магнитная восприимчивость, что увеличит деформационные параметры поверхности, а также внутренние условия намагничивания за счёт поворота доменов, что даёт возможность облегчить условия трения и увеличить износостойкость.

Гипотеза. Исходя из условий трения, в дискретно фрикционном контакте кроме объёмной $T_{об}$ и поверхностной $T_{пов}$ температур существует температура вспышки $T_{всп}$ время жизни которой исчисляется долями секунды ($10^{-3} - 10^{-9} с.$), она является точечным приращением температуры в фрикционном сопряжении на шероховатости поверхности.[8].

Таблица 1		
Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов		
Типичные значения	χ	χ'
<u>Fe</u>	~1100	~22000
<u>Ni</u>	~12	~80

Используя два образца, ШХ-15 – образец и сталь 3 – контр-тело, ферромагнитного происхождения на основе железа (табл 1) на которых при помещении в магнитное поле на машины трения получали магнитную проницаемость в различное по ходу испытаний время. Где видно, что при различной

напряжённости поля H сложная зависимость магнитной проницаемости (χ_a, χ_{max}) и у каждого материала своя по величине. а) Для определения точки χ . б) При этом необходимо учесть изменение температуры при трении достигающей точки Кюри каждого из материалов (а также и элементов состава материала), что влияет на изменение магнитных свойств материала (изменение ферро- на пара-магнитные). Магнитная проницаемость парамагнетиков ($\mu > 1$) незначительна, что определяет механизм трения в зонах вспышки температуры.

Таким образом, эксперимент необходимо поставить так, чтобы использовать максимальную восприимчивость материала.

Объектом научных исследований являлись процессы, проходящие на участке максимального действия кривой Столетова рис.1.

Предметом научных исследований были закономерности определяющие процессы, происходящие в зоне контакта поверхностей трения.

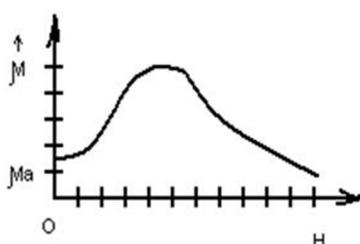


Рис 1. Кривая Столетова

5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Ферромагнетики обладают рядом характерных магнитных свойств таких, как сложная зависимость магнитной проницаемости от напряжённости магнитного поля H , впервые изученная А.Г. Столетовым и называемая кривой Столетова (рис.1). У ферромагнетиков магнитная восприимчивость с ростом температуры увеличивается, достигая резкого максимума вблизи точки Кюри (эффект Гопкинса). Эффект Гопкинса — одно из свойств ферромагнетиков, заключающееся в том, что при нагреве ферромагнетика до температуры, близкой к точке Кюри, его магнитная восприимчивость усиливается за счёт снижения трения ферромагнитных доменов в теле материала, при этом облегчается поворот ферромагнитных

доменов во внешнем магнитном поле. Добавка механической деформации в поверхностном слое определяют условия износа любой механической системы. Увеличение температуры выше точки Кюри магнитное поле «спадает» из-за потери ферромагнитных свойств. Но такой механизм существует только на точке соприкосновения, т.е. фактической площади контакта. Вокруг точки контакта материал обладает ферромагнитными свойствами и собирает вокруг неё ферромагнитные частички никеля, что почти на 10-15% увеличивает коэффициент трения по сравнению с трением без магнитного поля. Магнитные свойства ферромагнетиков обусловлены спиновыми магнитными моментами электронов. В кристаллах ферромагнетика между электронами соседних атомов возникают обменные силы, которые ориентируют спиновые магнитные моменты электронов параллельно, это определяет общий магнитный момент. Области величиной от 10^{-4} до 10^{-1} см располагаются параллельно друг другу, имеют размеры домена. При этом ферромагнетик и его поверхность намагничивается до насыщения I_s . При этом на температуре вспышки ферромагнетик становится парамагнетиком. Но определить выделяемое количество тепла при трении есть задача затруднительная, поэтому считается, что затраченная работа переходит в тепло. Интенсивность тепловыделения определяется $q = f p v$ (Дж/м²·с) [8] f -коэффициент трения, p -контактное давление, v -скорость скольжения.

Если ферромагнитный образец поместить в внешнее магнитное поле, он будет намагничиваться и притягивать к своей поверхности материал никель.

При соприкосновении с плоским доменом соизмеримым с пятном контакта основная масса донора, никеля, будет находиться вокруг точки ФПК.

В случае, если домен большего размера, в зону контакта будет втягиваться ферромагнетик, никель, что спровоцирует прокладку из сыпучего материала. На местах механического втирания появятся пятна покрытия из материала донора.

При возрастании напряжённости внешнего поля H магнитные моменты доменов начинают необратимо поворачиваться в направлении магнитного поля до совпадения с ним. Когда все собственные магнитные моменты электронов, участвующих в образовании ферромагнитного состояния, оказываются, ориентированы по направлению поля H , возникает техническое насыщение ферромагнетика. Поле H , в котором возникает состояние технического насыщения, называют полем насыщения H_s , а магнитную индукцию, соответствующую полю H_s , -индукцией насыщения B_s .

При дальнейшем увеличении внешнего поля H величина намагниченности I незначительно возрастает за счет парапроцесса, в результате которого увеличивается число электронов, участвующих в образовании ферромагнитного состояния.

Если довести ферромагнетик до состояния технического насыщения и начать уменьшать величину внешнего магнитного поля H до нуля, а затем, изменив направление напряжённости H на противоположное, увеличивать величину H до значения поля насыщения H_s , то будет происходить необратимое изменение намагниченности I образца и его магнитной индукции B . Этот процесс называют перемагничиванием ферромагнетика.

Таким образом, для повышения условий насыщения поверхности трения материалом донором необходимо иметь максимальную магнитную восприимчивость в соответствии с кривой Столетова.

С физической точки зрения, влияние температуры на магнитные свойства ферромагнетиков при нагревании уменьшается роль обменного взаимодействия, что приводит к постепенной тепловой дезориентации спиновых магнитных моментов и уменьшению спонтанной намагниченности. Выше некоторой температуры происходит распад доменной структуры, т.е. спонтанная намагниченность исчезает и ферромагнетик переходит в парамагнитное состояние. Температуру такого фазового перехода называют *магнитной точкой Кюри*. Вблизи точки Кюри наблюдается ряд особенностей и в изменении немагнитных свойств ферромагнетиков (удельного сопротивления, удельной теплоемкости, температурного коэффициента линейного расширения и др.).

Практический интерес представляет температурная зависимость магнитной проницаемости ферромагнетика. Характер этой зависимости неодинаков для магнитной проницаемости, измеренной в слабых и сильных полях.

На рисунке (1) начальной магнитной проницаемости μ_H наблюдается отчетливый максимум при температуре несколько ниже точки Кюри. В то же время температурная зависимость магнитной проницаемости, соответствующей сильным магнитным полям (области насыщения), качественно повторяет температурное изменение намагниченности насыщения.

Возрастание μ_H при повышении температуры обусловлено тем, что при нагревании ферромагнетика ослабевают силы, препятствующие смещению доменных границ и повороту магнитных моментов доменов.

Согласно закона Кюри- Вейса где χ - магнитная восприимчивость; постоянная Кюри, зависящая от вещества; абсолютная температура в кельвинах, температура Кюри, К.

Однако при температурах закон Кюри- Вейса выполняется, хотя в этом случае представляет температуру несколько больше действительной точки Кюри. Исходя из утверждений Чичинадзе температура в зоне контакта ФПК значительно превышает температурную точку Кюри. Постоянная Кюри - числовая характеристика определенного вещества, которая связывает с температурой.

Экспериментальные исследования построены таким образом, чтобы отразить параметры внедрения (переноса) в поверхность трения материала донора, для чего необходимо обеспечить максимальную восприимчивость, как материалом, так и легирующих элементов действия магнитного поля. Для этого с учётом повышенной температуры в процессе трения поверхностей [9] нужно создать такие условия исследования, при которых основной материал оставался бы ферромагнетиком (табл.1), а донор изменил, магнитные свойства на парамагнитные $Ni_\chi = 80$. В таком случае никель будет притягиваться к стали с образованием покрытия.

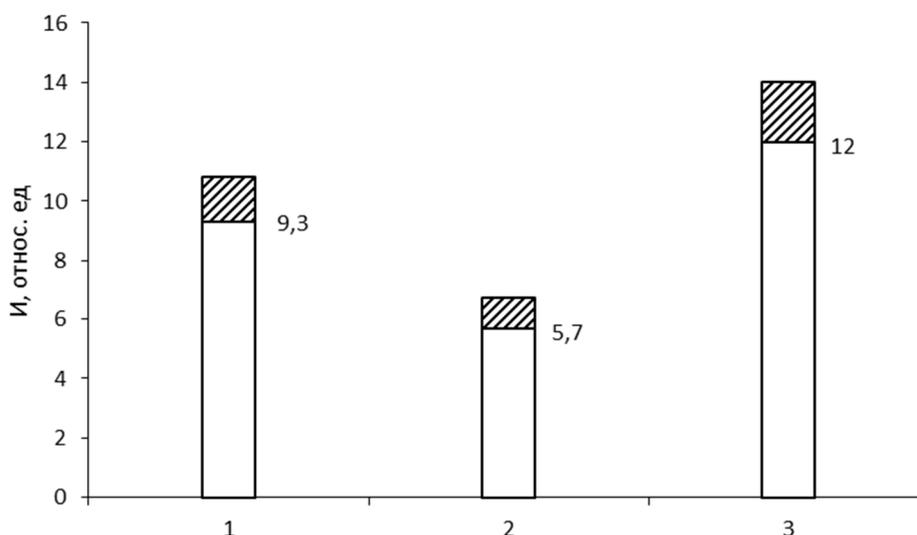


Рис 2. Гистограмма износа стали ШХ-15 по стали 3 в среде моторного масла М10Г2к с добавкой порошка никеля, фракцией до 50 мкм: 1 – направление магнитного поля от образца, 2 - направление магнитного поля в сторону образца, 3 – без магнитного поля

Исследования проводились по три образца на каждую точку по 60 часов каждый, в выпрямленном магнитном поле с различными направлениями в сторону образца и от него. Как видно из гистограммы (позиция 2) при направлении магнитного поля в образец продукты износа и донор притягивались к образцу (ШХ-15) поэтому износ образца меньше чем в случае (1).

Следует отметить, что показания износа между образцам в позиции (1 соответствующей направлению магнитного поля от образца в контртело) и (2 в направлении

магнитного поля в образце) соотносится как числа Золотого сечения $1,618/0,618$. Исходя из этого дальнейшие результаты будут уточняться. При исследовании без магнитного поля с добавками того же порошка износ несколько больше. Чтобы порошок никеля не расталкивался, по краям дорожки каждые 30 минут включали магнитное поле на 2 сек., что собирало никель в зону трения.

6. Выводы

В статье описан механизм трения ферромагнитной пары материалов ШХ-15 по стали 3 в условиях возвратно-поступательных движений, с добавкой порошка донора Ni в моторное масло М10Г2к.

Научная новизна строится на изменении структурной восприимчивости материала под действием магнитного поля и физических изменений в деформации материала под действием магнитного насыщения и механической деформации в результате трения, а также от результатов повышения температуры выше критической точки у каждого материала.

Практическое применение состоит в том, что в процессе наработки, представляется возможность управлять процессом восстановления поверхности методом нанесения покрытия непосредственно на места изношенной детали.

Используемая литература

1. Белый, В.А. Трибология. Исследования и предложения: Опыт США и стран СНГ / Под ред. В. А. Белого, К. С. Лудемы, К. Н. Мышкина. – М.: Нью-Йорк, 1993. – 175 с.

2. Белый, А.В. Структура и методы формирования износостойких поверхностных слоев / А. В. Белый, Г. Д. Карпенко, К. Н. Мышкин. – М.: Машиностроение, 1991. – 45с.

3. Диков А.Г., Зелинский В.В., Борисова Е.А. Влияние магнитного поля на износ рельсовой стали // Современные наукоемкие технологии. – 2013. – № 8-1. – С. 98-99.

4. Диков А.Г., Борисова Е.А., Зелинский В.В. Исследование влияния магнитного поля на трение и износ // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 6. – С. 73-74.

5. Макаренко А. С., Евдокимов В. Д. К вопросу выбора методики комбинированного фрикционно-магнитного упрочнения сталей // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - Одеса: Диол-Принт, 2004. – № 4. – С. 45-51.

6. Макаренко А. С., Евдокимов В. Д. Влияние электромагнитного поля, проходящего через зону фрикционного контакта, на износ при высокоскоростном трении // Проблемы техники: Научно-виробничий журнал. - Одеса: Диол-Принт, 2005. – № 1. – С. 77-84.

7. Евдокимов В. Д. Повышение износостойкости деталей машин фрикционно-магнитным методом : Моногр. / В. Д. Евдокимов, Л. В. Кошарская; Одес. гос. мор. ун-т. - О. : Диол Принт, 2005. - 196 с. - Библиогр.: с. 183-193 - рус.

8. Мышкин Н.К., Петроковец М.И. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические положения трибологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 368 с.

9. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Учебник под общ. ред. А.В. Чичинадзе – М.: Машиностроение, 2001. – 345с.

References

1. Beluy, V.A. Tribology. Researches and suggestions: Experience of the USA and countries of the CIS [Tribologiya. Isledovaniya I predlozheniya: Opit USA I stran SNG] / Under red. V. A. Beluy, to G. D. Ludemy, K. N. Myshkina. – М.: New York, 1993. – 175 p.

2. Beluy, A.V. Structure and methods of forming of wearproof superficial layers [Struktyra I metodu formirovaniya iznosostoykih poverhnostnih sloev] / A. V. Beluy, G. D. Karpenko, K. N. Myshkin. – М.: Engineer, 1991. – 45 p.

3. Dikov A.G., Zelinsky V.V., Borisova E.A. Influence of the magnetic field on the wear of rail steel [Vliyanie magnitnogo polya na iznos relsovoy stali] // Modern high technology. 2013. – № 8-1. – С. 98-99.

4. Dikov A.G., Borisova E.A., Zelinsky V.V. Investigation of the influence of the magnetic field on friction and wear [Issledovaniye vliyaniya magnitnogo polya na treniye i iznos]. Progress in modern natural science. - 2012. - No. 6. - P. 73-74.

5. Makarenko A.S., Evdokim V.D. On the choice of the technique of combined friction-magnetic hardening of steels [Voprosu vybora metodiki kombinirovannogo friktsionno-magnitnogo uprochneniya staley] // Problems of technology: The science-production journal. - Odessa: Diol-Print, 2004. - No. 4. - P. 45-51.

6. Makarenko A.S., Evdokim V.D. Influence of the electromagnetic field passing through the frictional contact zone on wear during high-speed friction [Vliyaniye elektromagnitnogo polya, prokhodyashchego cherez zonu friktsionnogo kontakta, na iznos pri vysokoskorostnom trenii] // Problems of technology: The Science and Vibration Journal. - Odesa: Diol-Print, 2005. - No. 1. - P. 77-84.

7. Evdokimov V.D. Increase of wear resistance of machine parts by frictional-magnetic method [Povysheniye iznosostoykosti detaley mashin friktsionno-magnitnym metodom]: Monogr. / VD Evdokimov, L. V. Kosharskaya; Odessa. State. Mor. Un-t. - O.: Diol Print, 2005. - 196 c. - Bibliography: p. 183-193 - Rus.

8. Myshkin N.K., Petrokovets M.I. Friction, lubrication, wear. Physical principles and technical provisions of tribology [Treniye, smazka, iznos. Fizicheskiye osnovy i tekhnicheskiye polozheniya tribologii]. - M.: FIZMATLIT, 2007. - 368 p.

9. Chichinadze A.V. Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication) [Osnovy tribologii (treniye, iznos, smazka)] / Textbook under total. Ed. A.V. Chichinadze - M.: Mechanical Engineering, 2001. - 345p.

Об авторах:

СВИРИД Михаил Николаевич – кандидат технических наук, доцент. Научные интересы: – трибология, материаловедение.

ТРОФИМОВ Игорь Леонидович, кандидат технических наук, доцент. Научные интересы: – трибология, химмотология, экология.

Svyryd Mikhail Nicolayevich
PhD, Associate Professor
Department of aircraft designs
National Aviation University
Komarov str., 1, Kyiv, Ukraine, 03058
E-mail: svirid_mn@ukr.net
Contact tel.: 097 -725- 38 -79

Taking about the presence of printing works in national databases – 45
Taking about the presence of printing works in international databases – 12
ID ORCID: 0000-0003-1300-0192

Trofimov Igor
PhD, Associate Professor
Department of ecology
National aviation university
Prospectus Komarova str., 1, Kyiv, Ukraine, 03058
E-mail: troffi@ukr.net
Contact tel.: +38(097)238-28-89

Taking about the presence of printing works in national databases – 24
Taking about the presence of printing works in international databases – 6
ID ORCID: 0000-0001-5539-1166