



**POLITECHNIKA  
RZESZOWSKA**  
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA

**POLITECHNIKA RZESZOWSKA**  
**im. Ignacego Łukasiewicza**

**SYSTEMY I ŚRODKI  
TRANSPORTU SAMOCHODOWEGO**

---

**BADANIA, KONSTRUKCJA  
I TECHNOLOGIA**

---

**WYBRANE ZAGADNIENIA**

Monografia nr **8**  
Seria: **TRANSPORT**  
pod redakcją naukową  
**KAZIMIERZA LEJDY**

**RZESZÓW 2017**

**RECENZENT:** prof. dr hab. inż. Marek IDZIOR

### **KOMITET NAUKOWY**

prof. dr hab. inż. Сергей БОЙЧЕНКО  
prof. dr hab. inż. Marek BRZEŻAŃSKI  
prof. dr hab. inż. Grzegorz BUDZIK  
prof. dr hab. inż. Микола ДМИТРИЧЕНКО  
prof. dr hab. inż. Юрий ГУТАРЕВИЧ  
prof. dr hab. inż. Marek IDZIOR  
prof. dr hab. inż. Микола КУЛИК  
prof. dr hab. inż. Kazimierz LEJDA  
prof. dr hab. inż. Tadeusz MARKOWSKI  
prof. dr hab. inż. Василь МАТЕЙЧИК  
prof. dr hab. inż. Jerzy MERKISZ  
prof. dr hab. inż. Mariusz OLEKSY  
prof. dr hab. inż. Marek ORKISZ  
prof. dr hab. inż. Jarosław SĘP  
prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ  
prof. dr hab. inż. Krzysztof WISŁOCKI  
prof. dr hab. inż. Władysław ZIELECKI

### **ZESPÓŁ REDAKCYJNY**

Krzysztof BALAWENDER  
Mirosław JAKUBOWSKI  
Artur JAWORSKI  
Dariusz KONIECZNY  
Hubert KUSZEWSKI  
Kazimierz LEJDA – Przewodniczący  
Krzysztof LEW  
Maksymilian MĄDZIEL  
Sylwia SIEDLECKA  
Adam USTRZYCKI  
Paweł WOŚ

© Copyright by Politechnika Rzeszowska

ISBN 978-83-7934-159-7

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej  
al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

Ark. wyd. 7,45. Ark. druk. 8,25.

Oddano do druku w lipcu 2017 r. Wydrukowano we wrześniu 2017 r.  
Drukarnia Oficyny Wydawniczej, al. Powstańców Warszawy 12, Pola 2, 35-959 Rzeszów  
Zam. Nr 94/17

8.	BADANIA WPŁYWU WIATRU NA DYNAMIKĘ RUCHU POJAZDU CZŁONOWEGO.....	61
	<b>JAWORSKI Artur, PIETRUCHA Michał</b>	
9.	OPTIMIZATION OF THE IMPACT MASSES AND PARTICLE DYNAMIC VIBRATION ABSORBERS IN THE FREQUENCY RANGE .....	75
	<b>KERNYTSKYI Ivan, HORBAY Orest, DIVEYEV Bohdan, BOYARCHUK Vitaliy, KOPYTKO Marta</b>	
10.	АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ТА ФОРМУВАННЯ СУЧАСНОГО ТИПАЖУ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	85
	<b>КРАЙНИК Любомир, ГРУБЕЛЬ Михайло</b>	
11.	ПНЕВМОРЕСОРНА ПІДВІСКА АВТОБУСІВ ЯК ЗАСІБ ПОКРАЩЕННЯ КОМФОРТНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ПОГАНИХ ДОРІГ .....	91
	<b>ПАСІКА В'ячеслав, БЛИК Андрій</b>	
12.	ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ НА ДЕТАЛЯХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	95
	<b>POSVIATENKO Eduard, MELNYK Olga</b>	
13.	INFLUENCE OF ACTIVATION OF WHEELS OF SEMITRAILER ON HAULING-SPEED PROPERTIES OF ARTICULATED TRUCK .....	99
	<b>SAKHNO Volodymyr, POLYAKOV Viktor, TIMKOV Oleksii, SHARAI Svitlana, LYSENKO Oleksii</b>	
14.	ДОСЛІДЖЕННЯ МАНЕВРНОСТІ ГІБРИДНОГО АВТОПОЇЗДА ЗА КОМБІНОВАНОГО СПОСОБУ УПРАВЛІННЯ НАПІВПРИЧЕПОМ НА МОДЕЛІ.....	107
	<b>САХНО Володимир, ЯЩЕНКО Дмитро, ТІМКОВ Олексій, КОРПАЧ Олексій, БОСЕНКО Володимир, ЛИСЕНКО Олександр</b>	
15.	OCENA INSTALACJI ELEKTRYCZNEJ PROTOTYPOWEGO POJAZDU FIAT CC ELECTRIC GREEN CAR Z WYKORZYSTANIEM KAMERY TERMOWIZYJNEJ.....	117
	<b>SIWIEC Dominika, WOJEWODA Pawel</b>	
16.	УСЛОВИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.....	123
	<b>СВИРИД Михаил, ТРОФИМОВ Игорь</b>	
	WYKAZ AUTORÓW .....	131

## **16. УСЛОВИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ФЕРРОМАГНИТНОЙ ПАРЫ ТРЕНИЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

**СВИРИД Михаил, ТРОФИМОВ Игорь**

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

### **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 нагружённых 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 потоком есть, магнитное поле способное безконтактно управлять состоянием материала изменяя его свойства.

### **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.

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

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

Задание исследований:

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

## 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.

Таблица 1

Магнитная проницаемость ферромагнитных материалов		
Типичные значения	$\chi$	$\chi'$
Fe	~1100	~22000
Ni	~12	~80

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

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 ( $\chi_a; \chi_{max}$ ) и у каждого материала своя по величине. а) Для определения точки  $\chi$ . 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 парамагнитные). 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.

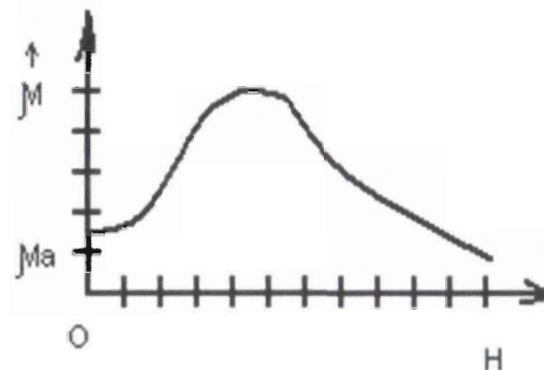


Рис 1. Кривая Столетова

## 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 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. Область 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  $q = f \cdot v$  (Дж/м<sup>2</sup>·с) [8]  $f$  - коэффициент трения,  $p$  - контактное давление,  $v$  - скорость скольжения.

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

При соприкосновении 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 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 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 изменений магнитных 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  $\mu H$  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  $\mu H$  при повышении температуры обусловлено тем, что при нагревании ферромагнетика ослабевают силы, препятствующие смещению доменных границ и повороту магнитных моментов доменов.

Согласно закону Кюри-Вейса где  $\chi = C / (T - T_c)$ ;  $\chi$  - магнитная восприимчивость;  $C$  - постоянная Кюри, зависящая от вещества;  $T$  - абсолютная температура в кельвинах,  $T_c$  - температура Кюри, К.

Однако при температурах  $T \gg T_c$  закон Кюри-Вейса выполняется, хотя в этом случае  $T_c$  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 ( $C$ ) определенного вещества, которая связывает температурой.  $C = \mu_0 \cdot n$  ( $\mu_0 / 3k_B$ ).

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 повышенных температуры в процессе трения поверхностей нужно создать такие условия исследования, при которых основной материал оставался бы ферромагнетиком (табл.1), а донор изменил магнитные свойства на парамагнитные  $Ni_{\text{max}} = 80$ . В таком случае никель будет притягиваться к стали с образованием покрытия.

Исследования проводились по три образца 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 образцами в позиции (1) соответствующей направлению магнитного поля от образца в контртело) и (2) в направлении магнитного поля в образец) соотносятся 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.

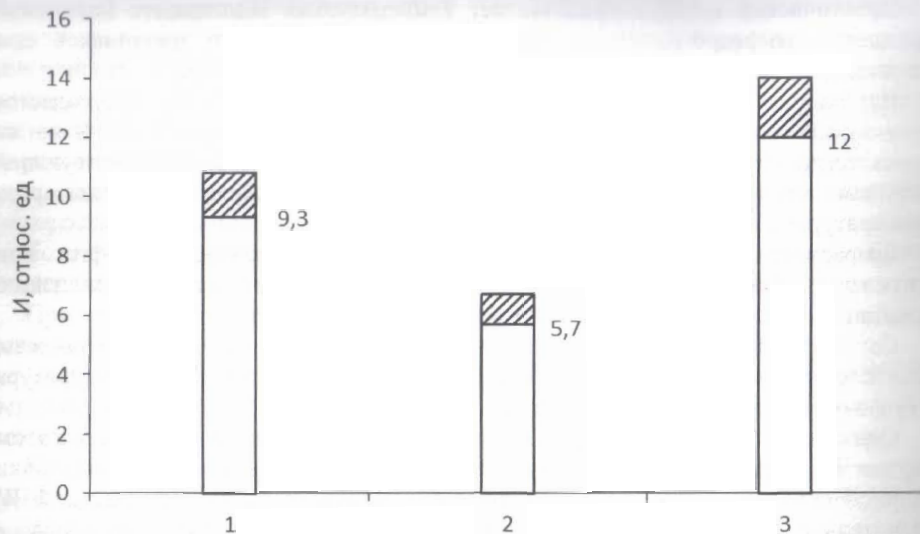


Рис 2. Гистограмма износа стали ШХ-15 по стали 3 в среде моторного масла М10Г2к с добавкой порошка никеля, фракцией до 50 мкм: 1 – направление магнитного поля от образца, 2 - направление магнитного поля в сторону образца, 3 – без магнитного поля

## 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.

## 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 Проблемитехніки: Науково-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 Проблеми техніки: Науково-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. :ДиолПринт, 2005. - 196 с. - Библиогр.: с. 183-193 - рус.

## OPERATING CONDITIONS FOR FERROMAGNETIC FRICTION COUPLES IN A MAGNETIC FIELD

### Summary

The mechanism of friction of a ferromagnetic pair of materials SHKh-15 for steel 3 under conditions of reciprocating motion is described, with the addition of Ni powder in the M10G2 engine oil. A structural change is observed which undergoes a ferromagnetic material in a magnetic field and in friction.