

УДК 629.413-592.112

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, Н. А. ВОЛЬЧЕНКО², В. Я. МАЛЫК¹, Д. Ю. ЖУРАВЛЕВ¹,
П. С. КРАСИН²

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

²Кубанский государственный технологический университет, Россия

ВЛИЯНИЕ ДВОЙНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЛОЕВ В ПАРЕ ТРЕНИЯ «МЕТАЛЛ – ЭЛЕКТРОЛИТ - ПОЛИМЕР» НА ЕЕ ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ (ЧАСТЬ ВТОРАЯ)

В материалах статьи проиллюстрирована оценка энергонагруженности металлического фрикционного элемента в паре трения «металл – электролит - полимер» при образовании различных типов двойных электрических слоев с выделением его термостабилизационного состояния.

Ключевые слова: тормозное устройство, пара трения, фазовая граница, «металл - электролит», двойной электрический слой, окислительные и восстановительные процессы, термостабилизационное состояние металлического элемента.

Введение. В первой части материалов статьи рассмотрено: природа возникновения двойного электрического слоя при электротермомеханическом трении; строение двойного электрического слоя на границе «металл – электролит» при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения и его математическое описание; классический подход к скачку потенциала в паре трения (фазы «металл – электролит») фрикционных узлов и его влияние на термостабилизационное состояние металлического элемента.

Состояние проблемы. Быстротечность процессов окисления и восстановления рабочих поверхностей пар трения при их электротермомеханическом фрикционном взаимодействии накладывает отпечаток на все остальные дополнительные процессы, которые в дальнейшем ведут к термостабилизационному и установившемуся состоянию металлического фрикционного элемента.

В зависимости от вида тормозного устройства, в которых металлический фрикционный элемент имеет различную металлоемкость, и изменяется интервал их температур, термостабилизационное состояние задних тормозных барабанов грузовых автотранспортных средств КраЗ-250 (шасси АОРС-60) характеризуется температурами (275,0 – 325,0) °С в течении (4,0 – 6,0) мин, что существенно сказывается на эффективности действия, особенно в горных условиях эксплуатации. Что касается установившейся температуры указанного выше тормозного барабана, то она существенного влияния на эффективность действия пар трения тормоза не оказывает, поскольку происходит при температурах (220 - 390) °С, т.е. ниже допустимых для материалов фрикционных накладок.

Постановка задачи. В данной публикации рассмотрены следующие вопросы применительно к решаемой проблеме:

- окислительно-восстановительные процессы в паре трения «металл – электролит» при фрикционном взаимодействии;
- строение двойного электрического слоя на границе фаз «металл – электролит» при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения;

– подход, с позиций электротермомеханического трения, к скачку потенциала в паре трения (фазы «металл - электролит») фрикционных узлов и его влияние на состояние металлического элемента;

– влияние термостабилизационного состояния металлического фрикционного элемента на внутренние и внешние параметры пар трения тормозных устройств.

Цель работы – развить углубленный подход к оценке термостабилизационного состояния металлического фрикционного элемента в паре трения «металл – электролит – накладка» за счет образования различного типа двойных электрических слоев при их электротермомеханическом взаимодействии.

Окислительно-восстановительные процессы в паре трения «металл – электролит» при фрикционном взаимодействии. Механизм возникновения скачка потенциала на границе «металл – электролит» за счет окисления и восстановления самого металла, которым является рабочая поверхность фрикционного элемента, может быть представлен следующим образом. Находящиеся на рабочей поверхности металлического фрикционного элемента катионы имеют в среднем запас потенциальной энергии, отвечающие точке 1 на рис. 1. Перемещение катиона в энергетическом поле влево, т. е. вдавливание его в металл рабочей поверхности трения или сближения с соседними катионами его кристаллической решетки, требует большой работы на преодоление сил отталкивания, что выражается восходящей энергетической кривой $1 - 1'$. Перемещение катиона вправо, т. е. отрыв его от рабочей поверхности фрикционного металлического элемента при электротермомеханическом трении с переходом в вакуум, образовавшегося в результате взаимодействия площадок пятен контакта микровыступов требует большой работы (кривая $1 - 1'$) соответствующей энергии испарения $U_{ис}$, которая принудительно снижает энергонагруженность рабочей поверхности металлического фрикционного элемента (кривая $1' - 2$).

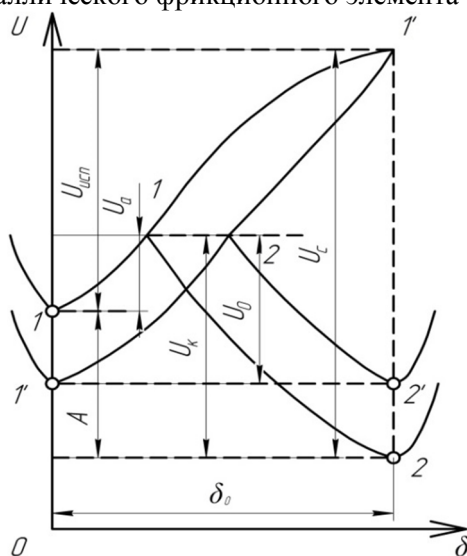


Рис. 1. Схема изменения энергии при испарении катионов металлической рабочей поверхности электролита при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения: 1 – момент контактирования металла с электролитом 1-2;

1'-2' прямые установления равновесия в трибосопряжении

При таком энергетическом подходе от верхнего к нижнему уровню происходит изменение температурного градиента по толщине металлического фрикционного элемента. Минимального значения температурный градиент достигает на нижнем энергетическом уровне, ускоряя тем самым установившееся энергетическое состояние металлического фрикционного элемента. При таком состоянии количество теплоты, которое генерируется на рабочей поверхности металлического фрикционного элемента при электротермомеханическом трении равно количеству теплоты, которое отводится от его наружной поверхности в окружающую среду.

В первой части материалов статьи было указано, что при фрикционном взаимодействии «металл – электролит» и «электролит – металл» протекают, соответственно, окислительный и восстановительный процессы.

Какой из указанных процессов преобладает при электротермомеханическом трении, определяется уровнем потенциальной энергии катионов в узлах кристаллической решетки металла U_1 и в электролите U_2 . Если $U_1 > U_2$, то $\bar{i} > \bar{i}'$, т. е. преобладает окислительный процесс – переход ионов металла в электролит, суммарная скорость которого равна

$$i_o = \bar{i} - \bar{i}' ; \quad (1)$$

если $U_2 > U_1$, то $\bar{i}' > \bar{i}$, т. е. преобладает восстановительный процесс – разряд ионов металла из электролита, суммарная скорость которого равна

$$i_b = \bar{i}' - \bar{i} . \quad (2)$$

Как и в первом, так и во втором случае имеют место энергетические уровни, направленные на их снижение путем охлаждения рабочей поверхности металлического фрикционного элемента за счет испарения электролита и отвода теплоты жидкому электролиту. Объясняется это тем, что не весь электролит сразу испаряется с рабочей поверхности полимерной накладки.

Когда энергетический уровень ионов на поверхности металла и в электролите становится одинаковым, т. е. $U'_1 = U'_2$ (что наступает обычно довольно быстро), устанавливается динамическое равновесие, при котором $U_a = U_k = U_0$ и скорости анодного и катодного процессов равны:

$$\bar{i} = \bar{i}' = i_0 , \quad (3)$$

где i_0 – плотность тока обмена, обусловленная постоянно протекающим обменом ионами между металлом и электролитом.

Подход с позиций электротермомеханического трения к скачку в паре трения (фазы «металл – электролит») фрикционных узлов тормозных устройств. Обратимся к первой части материалов статьи, в которой проиллюстрирован рис. 2.

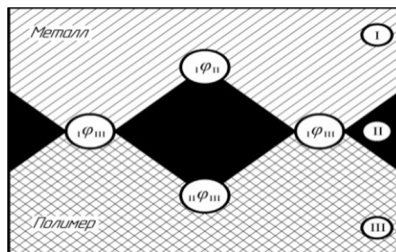


Рис. 2. Щелевая капиллярная прослойка из электролита на фазовых границах «металл (I) – электролит (II) – полимер (III)»

Согласно рис. 2, как правило, величины ${}_I\varphi_{III}$ и ${}_{II}\varphi_{III}$ таковы, что их алгебраическая сумма не равна противоположной контактной разности потенциалов φ_{II} . Другими словами, имеем короткозамкнутый гальванический микроэлемент, что создает потенциальную возможность для протекания на его электродах окислительно-восстановительных реакций. Электродвижущая сила элемента

$$\xi_g = {}_I\varphi_{III} - {}_{II}\varphi_{III} - {}_I\varphi_{II}. \quad (4)$$

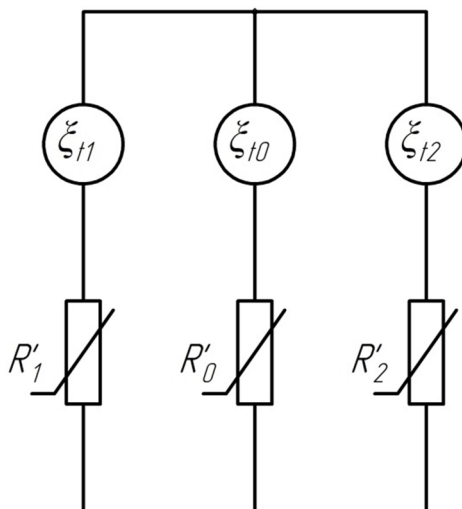


Рис. 3. Электрическая схема без емкостей на границах фазового раздела «металл - электролит – полимер»

При относительном скольжении металлической поверхности наряду с гальваноЭДС будет действовать и термоэлектродвижущая сила (рис. 2), оказывающая, по-видимому, влияние на скорость электродных реакций, межфазовое (поверхностное) натяжение и т. д.

С. Н. Постников в свое время подчеркивал, что в схеме на рис. 3 не показаны электрические емкости, которые имеют поверхности раздела между пятнами контактов трибосопряжения и электролитом (двойные электрические слои) их сопротивления утечки, емкость между двумя электродами. Все это было учтено И. М. Мельниченко при разработке уточненной эквивалентной схемы фрикционного контакта применительно к случаю трения в условиях избирательного износа и массопереноса.

При одинаковом электрохимическом поведении металла по всей поверхности и наличия контактирующих островков ЭДС гальваноэлемента

$$\xi_g = \xi^0 + \frac{RT}{F} \ln \frac{a_2^{1/n_2}}{a_1^{1/n_1}}. \quad (5)$$

Усредненная величина ξ_g определяется как разность электродных потенциалов с учетом неоднородности их процессов на смежных участках поверхностей. О значениях этой величины можно судить по справочной литературе [1].

На формирование электрических трибосистем существенную роль оказывают материалы фрикционной пары, а именно: химические элементы, входящие в состав материалов, их валентность и преобладающий тип собственной проводимости (табл. 1), а также знак заряда электричества элементов пары трения, определяющий закономерности трибоэлектричества (табл. 2).

Таблица 1

Характеристики сплавов

Химические элементы, содержащиеся в сплаве	Валентность	Преобладающий тип собственной проводимости
C	2, 4	Диэлектрик
Al	3	<i>n</i>
St	4	полупроводник
Ti	2, 3, 4	<i>n</i>
V	5	<i>n</i>
Cr	3, 6	<i>p</i>
Mn	2, 3, 4, 6, 7	<i>n</i>
Fe	2, 3	<i>n</i>
Nt	2	<i>n</i>
Cu	1, 2	<i>n</i>
Mo	6	<i>p</i>
W	6	<i>p</i>

Таблица 2

Некоторые закономерности трибоэлектричества

Фрикционная пара	Знак заряда	
	+	-
Два химически одинаковых тела	плотность тела	
	большая	меньшая
Диэлектрик – мелкие частицы (пыль) из этого же диэлектрика	диэлектрик	мелкие частицы
Диэлектрик-диэлектрик	Диэлектрик с диэлектрической проницаемостью:	
	большей	меньшей
	Диэлектрик с твердостью:	
	большей	меньшей
Металл-металл	Металл с твердостью:	
	меньшей	большей
Металл-диэлектрик	диэлектрик	металл
Тип проводимости		
Металл-полупроводник	n-p или p-n	
Полупроводник-полупроводник	n-p-n или p-n-p	

В случае одновременного действия гальвано ЭДС ξ_g и термо ЭДС ξ_t , когда появление термоэлемента означает переход гальванозлемента в режим короткого замыкания, отвечает эквивалентная схема трехфазной трибосистеме в виде рис. 4.

Емкость C_p отражает способность пятен контактов микровыступов в связи с увеличением их площадей поверхностей для накопления электрических зарядов, когда в полости фрикционного конденсатора присутствует третья фаза. Электродвижущая сила ξ_f (разность потенциалов $\phi_a - \phi_b$ при $R_0' \rightarrow \infty$) является своего рода интегральным параметром, характеризующим те условия, в которых

протекает процесс электротермомеханического трения. Ее регистрация с помощью безинерционной аппаратуры ($У$ – усилитель, $КК$ – компьютерный комплекс) позволяет, в частности, получить информацию о состоянии тонких пленок на контактных площадках микровыступов.

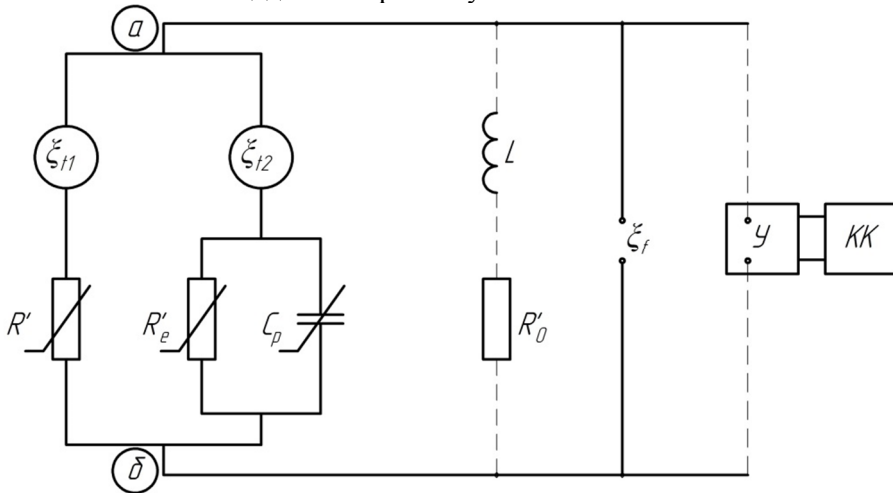


Рис. 4. Электрическая схема фрикционного взаимодействия в парах трения «металл – электролит»

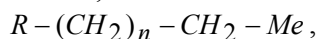
Кроме упомянутых источников ЭДС, особая роль при трении принадлежит своеобразному униполярному генератору (кондуктор индуктивности L с сопротивлением R'_0), который превращается в трибосопряжение, если один из ее элементов окажется в намагниченном состоянии (металлический фрикционный элемент). Причиной естественного намагничивания тел могут быть магнитные поля окружающих ферромагнетиков, появившиеся из-за насыщенности деталей и узлов электрооборудованием; поля, связанные с замкнутыми термоэлектрическими контурами; упругомагнитный эффект, гиромагнитный эффект (при очень быстром вращении); магнитное поле земли и т. д.

Отличительным признаком ЭДС электромагнитной индукции ξ_f , в данном случае по сравнению с ξ_f , ξ_a и ξ_g является, во первых, то, что сам факт ее существования не зависит от наличия непосредственного контакта тел или присутствия жидкой фазы, и, во-вторых, то, что наводится она в массе одного из трущихся тел, движущегося по отношению к намагниченному контртелу – источнику неоднородного поля. Поэтому в схеме на рис. 4 источник ξ_f нельзя подключать параллельно источникам ξ_i и ξ_g , тогда как с источником ξ_g , например, так поступать можно.

В случае если в обобщенной принципиальной электрической схеме трехфазной трибосистемы $R'_e=0$ и $R'_0=0$, она будет однофазной, отвечающей работе полимерной накладке в диапазоне поверхностных температур ниже допустимой для ее фрикционных материалов.

Параллельное изучение механохимических и трибозлектрических явлений при скольжении металлического фрикционного элемента по полимерной накладке позволит обосновать природу образования полимерных пленок на поверхности металла, и наоборот, переноса металла на поверхность полимерной

накладки. Механохимические эффекты сводятся к разрыву углерод-углеродных и других химических связей в тех местах полимерных цепей, где энергия связи достаточно велика, крекингу цепочечных макромолекул с появлением аномально высокой концентрации свободных радикалов и вступлению этих радикалов в различные химические реакции, в том числе в прямые реакции с окисленной и ювенальной поверхностью металла на участках ее обнажения при электротермомеханическом трении и износе, по схеме:



или через образование промежуточного перекисного радикала $R - CH_3 - O - O -$ в результате присоединения кислорода. При этом большое значение имеют термодиффузионные акты начального распада перенапряженных молекул полимера, вызывающих появление в его прослойках первых свободных радикалов. Такие акты играют роль как бы «спускового механизма» и приводит к быстрому распаду множества других полимерных молекул, что «высвобождает большое количество сосредоточенной в них упругой механической энергии». Выделение последней (в виде теплоты) способствует полимеризации осколков макромолекул, которая может пойти по пути образования вторичных структур, заметно отличающихся по своим физическим свойствам.

Установившемуся режиму трения в системе «металл - полимер» соответствует, по-видимому, некоторое динамическое равновесие скоростей распада и образования полимеров (сополимеров), на которое степень электризации и ее знак оказывают самое непосредственное влияние. Действительно, скольжение металла по накладке сопровождается существенным нарушением электронной плотности в каждой точке фрикционного контакта микровыступов. Переход зарядов через границу раздела может происходить как в том, так и в другом направлении; в зависимости от этого полимер заряжается либо положительно, либо отрицательно по отношению к сопряженному с ней металлическому телу. Поэтому и принято условно делить полимеры на электроположительные и электроотрицательные, подкачка, например, электронов к поверхности раздела со стороны органического соединения вполне возможна благодаря перемещению электронов вдоль цепи макромолекул по линии ковалентных связей и переходам между соседними длинноцепочечными молекулами. Что касается подпитки свободными электронами приповерхностного слоя металла, то она зависит от электроемкости металлического фрикционного элемента и может происходить бесконечно долго, если последний соединен с таким практически «бездонным» резервуаром электрических зарядов, как скажем, Земля. Приобретение поверхностью диэлектрика потенциала в несколько тысяч вольт свидетельствует о существовании между обкладками фрикционного конденсатора «рабочая поверхность металлического фрикционного элемента – рабочая поверхность полимерной наклейки», а также между их микровыступами очень сильного электрического поля активизирующего эрозионные и диффузионные процессы и, что самое главное, вызывающего выравнивание, а также перенос электронов металла на электроотрицательный полимер или, наоборот, электроположительных продуктов термомеханодеструкции полимера на металлическую поверхность с образованием на ней защитной пленки. Прочность этой пленки зависит от реакционной способности атомов углерода с ненасыщенными валентными связями и в какой-то мере, если учесть обратимое восстановление гомогенных цепей и появление новых гетерогенных молекул, - от адгезионной активности функциональ-

ных групп полимерных материалов. При этом поверхность полимерной накладки никогда не возвращается в свое первоначальное структурное состояние.

Кинетика механохимических и трибоэлектрических явлений отражается на поведении динамического коэффициента трения, определяющего порядок сил, противодействующих скольжению и прилагаемых к металлополимерной трибо-системе. Некоторым изложенным выше представлениям послужила небольшая серия открытий, главными моментами которых является следующее:

- при термическом сопротивлении контакта металлополимерных пар трения и аккумулировании теплоты в зоне температур выше допустимой для материалов поверхностных и приповерхностных слоев в зоне трения возникает множество микротермобатарей с различной энергетической активностью, способствующих инверсии тепловых потоков от полимера к металлу и возникновению устойчивой тепловой стабилизации при минимальном температурном градиенте по толщине металлического фрикционного элемента [2];

- возникающее при трении электротермическое сопротивление дискретных контактов с различной энергетической активностью микро-конденсаторов и -термобатарей с мгновенным их переключением при изменении площадей пятен контакта микровыступов и градиента механических свойств, а также темпа проникновения взаимодействующих между собой импульсов электрического и теплового токов определяют интенсивность износа микровыступов при переполаризации, ведущей к дестабилизации динамического коэффициента трения металлополимерных пар трения [3];

- при различных энергетических уровнях поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения стадии процесса электротермомеханического трения зарождаются, развиваются и совершаются в определенной последовательности эффекты с особыми переходными процессами, принципами суперпозиции и возникновением побочных эффектов, при этом изменение линий токов динамического, электрического, магнитного, теплового и химического полей во взаимодействии с линиями токов скоростного поля омывающих сред подчиняются волновой природе со сдвигом по фазе [4];

- образовавшиеся под действием возникающего при трении электротермического взрыва продукты, попадая в зазоры между микровыступами пар трения, способствуют генерированию объемного электрического заряда и возникновению электротерморазряда, приводящему к пробою слоя оставшихся продуктов и их массопереносу на рабочую поверхность металлического фрикционного элемента пары трения [5].

Выводы. Таким образом, проиллюстрирован углубленный подход к оценке термостабилизационного состояния металлического элемента в паре трения «металл-электролит» за счет двойных электрических слоев, способствующих возникновению плотностей тока различного направления.

Список литературы

1. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Н. А. Вольченко [и др.] - Киев - Краснодар. - Изд-во "Плай", 2015 - 371 с.
2. Диплом №444 на научное открытие "Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения" от 18.01.2013 г. авторов А. И. Вольченко, М. В. Киндрачука,

Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко. - М.: Международ. акад. авторов научн. открыт. и изобрет. - Экспертиза заявки на открытие № А-588 от 05.09.2012 г.

3. Диплом №462 на научное открытие "Закономерность изменения износотфрикционных характеристик поверхностных слоев металлополимерных пар трения при их контактно-импульсном взаимодействии" от 28.12.2013 г. авторов А. М. Пашаева, А. Х. Джанахмедова, А. И. Вольченко и др. - М.: Международ. акад. авторов научн. открыт. и изобрет. - Экспертиза заявки на открытие № А-588 от 07.09.2013 г.

4. Диплом №476 на научное открытие "Закономерность реализации процесса электротермомеханического трения в рабочих слоях металлополимерных пар трения" от 17.10.2014 г. авторов А. Х. Джанахмедова, А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко и др. - М.: Международ. акад. авторов научн. открыт. и изобрет. - Экспертиза заявки на открытие № А-609 от 26.04.2014 г.

5. Диплом №482 на научное открытие "Явление массопереноса продуктов трения в металлополимерных парах" от 27.02.2015 г. авторов А. Х. Джанахмедова, А. И. Вольченко, Э. А. Джанахмедов и др. - М.: Международ. акад. авторов научн. открыт. и изобрет. - Экспертиза заявки на открытие № А-618 от 18.12.2014 г.

Стаття надійшла до редакції 15.02.2018

*О. І. ВОЛЬЧЕНО, М. О. ВОЛЬЧЕНКО, В. Я. МАЛИК, Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ,
П. С. КРАСІН*

ВПЛИВ ПОДВІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ ШАРІВ У ПАРІ ТЕРТЯ «МЕТАЛ – ЕЛЕКТРОЛІТ - ПОЛІМЕР» НА ЇЇ ЕНЕРГОНАВАНТАЖЕНІСТЬ (ЧАСТИНА ДРУГА)

У матеріалах статті проілюстрована оцінка енергонавантажності металевого фрикційного елемента у парі тертя «метал - електроліт - полімер» при утворенні різних типів подвійних електричних шарів з виділенням його термостабілізаційного стану.

Ключові слова: гальмівний пристрій, пара тертя, фазова границя, «метал - електроліт», подвійний електричний шар, окислювальні та відновлювальні процеси, термостабілізаційний стан металевого елемента.

Вольченко Александр Иванович – доктор техн. наук, профессор кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 41, E-mail: mehmach@nuing.edu.ua.

Вольченко Николай Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, ул. Красная, 135, г. Краснодар, Россия, 350004, тел.: +7861 255 99 26, E-mail: volchenko.nik@yandex.ru.

Малык Владимир Якович - канд. техн. наук, доцент кафедры нефтегазового оборудования, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина.

Журавлев Дмитрий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47; моб. 050-950-04-18; email: udav2103@mail.ru.

Красин Павел Сергеевич – аспирант кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, ул. Красная, 135, г. Краснодар, Россия, 350004, тел.: +7861 255 99 26.

A. I. VOLCHENKO, N. A. VOLCHENKO, V. Ya. MALYK, D. Yu. ZHURAVLOV,
P. S. KRASIN

THE INFLUENCE OF DOUBLE ELECTRICAL LAYERS IN THE "METAL-ELECTROLYTE-POLYMER" FRICTION PAIR ON ITS ENERGY-LOADING (PART TWO)

The materials of the article illustrate the estimation of the energy loading of a metal friction element in a "metal-electrolyte-polymer" friction pair while forming various types of double electrical layers with the release of its thermal stabilization state. The rapidity of the processes of oxidation and reduction of the working surfaces of friction pairs during their electrothermo-mechanical frictional interaction leaves an imprint on all other additional processes that subsequently lead to the thermostabilizing and steady state of the metal friction element. Depending on the type of a brake device, the metal friction element has a different metal consumption and the temperature range varies. In addition, it is shown that the materials of the friction pair play an important role in the formation of electric tribosystems, namely: chemical elements that make up the materials, their valence, and the predominant type of intrinsic conductivity, as well as the sign of the electric charge of the friction pair elements that determines the laws of triboelectricity. Thus, an in-depth approach to the evaluation of the thermal stabilization state of a metal element in a "metal-electrolyte" friction pair is shown due to double electric layers that promote the emergence of current densities of different directions.

Keywords: braking device, friction pair, phase boundary, "metal-electrolyte", double electric layer, oxidation and reduction processes, thermostabilization state of a metal element

References

1. Tribologiya / A. I. Volchenko. M. V. Kindrachuk. N. A. Volchenko [i dr.] - Kiyev - Krasnodar. - Izd-vo "Play". 2015 - 371 s.
2. Diplom №444 na nauchnoye otkrytiye "Yavleniye teplovoy stabilizatsii v metallopolimernykh parakh treniya" ot 18.01.2013 g. avtorov A. I. Volchenko. M. V. Kindrachuka. D. A. Volchenko. N. A. Volchenko. - M.: Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. otkryt. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytiye № A-588 ot 05.09.2012 g.
3. Diplom №462 na nauchnoye otkrytiye "Zakonomernost izmeneniya iznosofriktsionnykh kharakteristik poverkhnostnykh sloyev metallopolimernykh par treniya pri ikh kontaktno-impulsnom vzaimodeystvii" ot 28.12.2013 g. avtorov A. M. Pashayeva. A. Kh. Dzhanakmedova. A. I. Volchenko i dr. - M.: Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. otkryt. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytiye № A-588 ot 07.09.2013 g.
4. Diplom №476 na nauchnoye otkrytiye "Zakonomernost realizatsii protsessa elektrotermomekhanicheskogo treniya v rabochikh sloyakh metallopolimernykh par treniya" ot 17.10.2014 g. avtorov A. Kh. Dzhanakmedova. A. I. Volchenko. D. A. Volchenko i dr. - M.: Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. otkryt. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytiye № A-609 ot 26.04.2014 g.
5. Diplom №482 na nauchnoye otkrytiye "Yavleniye massoperenosa produktov treniya v metallopolimernykh parakh" ot 27.02.2015 g. avtorov A. Kh. Dzhanakmedova. A. I. Volchenko. E. A. Dzhanakmedov i dr. - M.: Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. otkryt. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytiye № A-618 ot 18.12.2014 g.