

УДК 629.413-592.112

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, Н. А. ВОЛЬЧЕНКО², Е. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ¹,
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 ПЕРВАЯ)

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. Энергонагруженность пятен контактов микровыступов пар трения тормозных устройств в значительной степени зависит от электрических, тепловых и химических полей, которые имеют различную природу до допустимой температуры и выше поверхностных слоев полимерной накладки. При этом на последние существенное влияние оказывают двойные электрические слои, которые формируются на границе фаз «металл – металл», «металл – полимер», «металл – полупроводник», «полупроводник – полупроводник», и «металл – электролит».

Состояние проблемы. Двойные электрические слои в парах трения при электротермомеханическом их фрикционном взаимодействии способствуют формированию микротермобатарей, работающих в режимах микротермоэлектрогенератора и микротермоэлектрохолодильника [1; 2; 3]. Генерируемый ток в цепи за счет трибоЭДС является алгебраической суммой его следующих составляющих:

$$I_a = I_{ск} + I_V + I_L + I_N + I_H,$$

где $I_{ск}$, I_V , I_L , I_N , I_H - токи, возникающие за счет: электризации скольжения и контакта; движение заряженных частиц фрикционного массопереноса; сорбционно-десорбционных процессов в приповерхностных слоях контакта; термический; обратного заряда, возникающего при разрушении фрикционного контакта (импульсный ток). Однако в данной работе не было в полном объеме рассмотрено:

- возникновение двойных электрических слоев одинаковых зарядов («ион - ион» и «электрон - электрон»);
- потенциал металла относительно электролита, состоящего из плотной и диффузной части двойного электрического слоя;
- специфическую адсорбцию ионов на поверхности металла;
- скачек потенциала в паре трения «металл - электролит» и возникающую при этом плотность тока;

– роль скачка потенциала в паре трения «металл – электролит» на термостабилизационное состояние металлического фрикционного элемента [4].

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

- природа возникновения двойного электрического слоя при электротермомеханическом трении;
- строение двойного электрического слоя на границе фаз «металл – электролит» при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения;
- классический и с позиций электротермомеханического трения подход к скачку потенциала в паре трения (фазы «металл – электролит») фрикционных узлов и его влияние на термостабилизационное состояние металлического элемента.

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.

Природа возникновения двойного электрического слоя при электротермомеханическом трении. При соприкосновении двух электропроводящих фаз при электротермомеханическом трении возникает разность электрических потенциалов, что связано с образованием двойного электрического слоя, т. е. несимметричного распределения заряженных частиц у границы раздела фаз. Последними выступают в парах трения тормозных устройств «металл – вакуум» (а), «металл (1) – металл (2)» (б), «металл – полимер» (в), «металл – собственный полупроводник» (г), «металл – полупроводник с примесью» (д), «собственный полупроводник – полупроводник с примесью» (е), «металл – электролит» (ж); «омывающая среда – металл», «металл – полимер – электролит – полимер» (з) [см. рис. 1].

Наибольший интерес представляет схема рис. 1, ж.

Рассмотрим акт взаимодействия пары трения «металл – полимер» в присутствии электропроводной жидкости, образовавшейся в связи с выгоранием связующих компонентов их поверхностных слоев полимерной наклейки. Участие электролита в качестве целевой капиллярной прослойки приводит к образованию скачков потенциала на границах «металл – электролит» (рис. 2). Более сложной является схема, представленная на рис. 1, з. Согласно последнего названия схемы «многослойный объект». В который входит «омывающая среда», взаимодействующая с наружной поверхностью нагретого металлического фрикционного элемента, создавая тем самым первый двойной электрический слой. Фрикционное взаимодействие внутренней (рабочей) поверхности металлического элемента с наружной поверхностью полимерной наклейки (до допустимой температуры выгорания связующих компонентов в ее поверхностных слоях) способствуют возникновению второго двойного электрического слоя (относится также к схеме рис. 1, в). Третий двойной электрический слой возникает в том случае, когда поверхностная температура становится выше допустимой и происходит фрикционное взаимодействие пары трения «металл – электролит – полимер», поскольку электролит занимает незначительную площадь (островками) на рабочей поверхности наклейки. В дальнейшем будут рассмотрены некоторые из схем строения двойного электрического слоя в элементах трения тормозных устройств, которые представляют практический интерес.

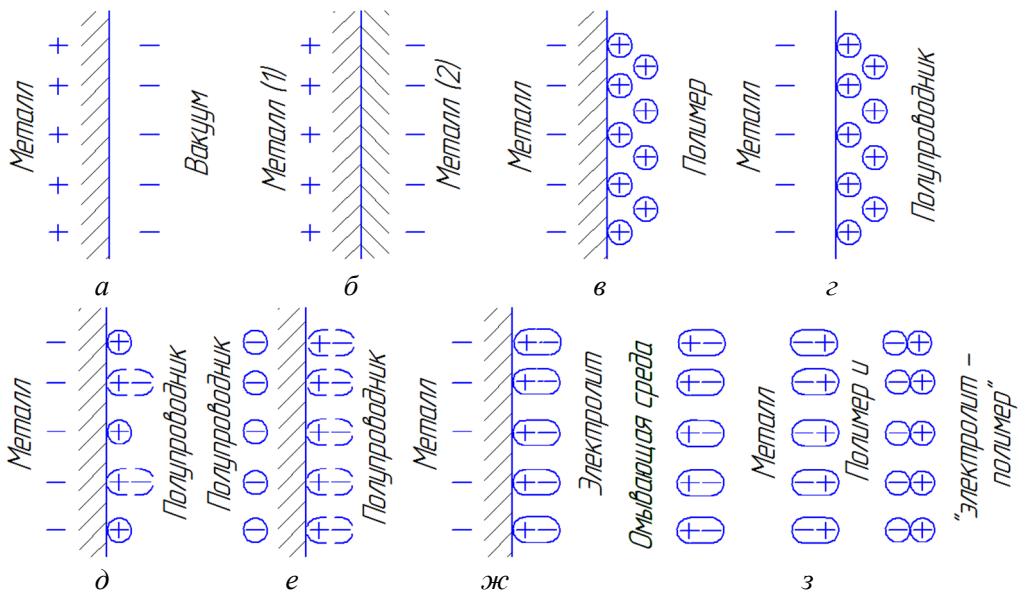


Рис. 1. Схема строения двойного электрического слоя в элементах трения тормозных устройств в пределах двух и больше фаз: *а* – эмиссия электронов из металла в вакуум; *б* – контактный потенциал второго рода (работа выхода электрона); переход электронов из одного металла в другой; *в* – контактный потенциал в паре трения; *г*, *д* – контактный потенциал в паре трения с собственным и с примесями полупроводником; *е* – контактный потенциал, возникающий между собственным и с примесями полупроводником; *ж* – контактный потенциал Вольта; переход катионов из металла в электролит или из электролита в металл; *з* – контактный потенциал в пар трения как в многослойном объекте.

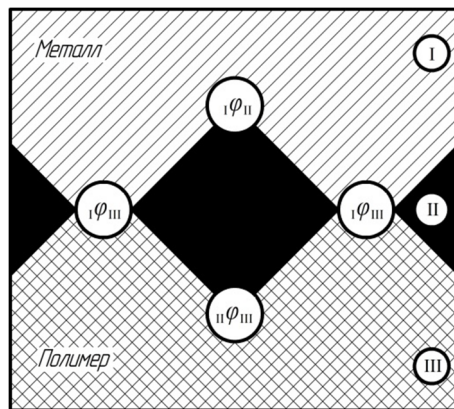


Рис. 2. Щелевая капиллярная прослойка из электролита на фазовых границах «металл (I) – электролит (II) – полимер (III)»

Строение двойного электрического слоя на границе «металл – электролит» при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения и его математическое описание. Строение двойного электрического слоя не имеет значения для величины обратимого электродного потенциала, которая определяется изменением изобарно-изотермического потенциала соответствующей электрохимической реакции. В то же время строение двойного электрического слоя играет важную роль в кинетике электрических процессов, в том числе и в кинетике обмена ионами в равновесных условиях, характеризуя ин-

тенсивность этого обмена (величину тока обмена i_n), и как следствие, в возникновении термостабилизационного состояния металлического фрикционного элемента.

По Г. Гельмгольцу, двойной электрический слой уподобляется плоскому конденсатору, одна из обкладок которого совпадает с плоскостью, проходящей через поверхностные заряды в металле, а другая – с плоскостью, соединяющей центры тяжести зарядов ионов, находящихся в электролите, но притянутых электростатическими силами к поверхности металла (рис. 3, а).

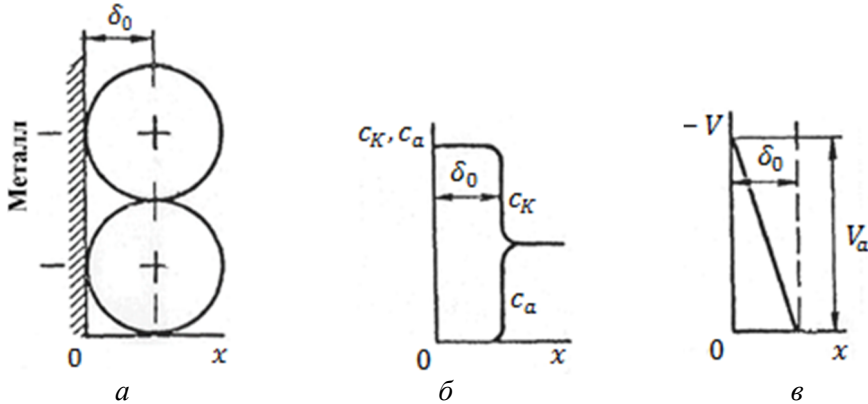


Рис. 3. Плотное строение двойного электрического слоя, представленного в виде плоского конденсатора (а) и составляющих изменения концентрации ионов (б) и потенциала металла (в)

Толщина двойного электрического слоя δ_0 (т. е. расстояние между обкладками конденсатора) принимается равной радиусу гидратированного иона $\delta_0 = r_{нг}$, т.е. порядка нескольких ангстрем. По закону электронейтральности, справедливому и для границы раздела, поверхностные заряды металла q_{Me} должны быть компенсированы зарядами q_p , притянутыми к поверхности металла ионами из электролита, т.е.

$$q_{Me} = -q_p, \quad (1)$$

где q_{Me} и q_p – удельные поверхностные заряды (или плотности заряда) со стороны металла и электролита.

Плотность заряда плоского конденсатора прямо пропорциональна скачку потенциала V_a , обусловленному ионным двойным электрическим слоем, т. е.

$$q_{Me} = CV_a, \quad (2)$$

где C – емкость двойного слоя; V_a – потенциал непосредственно у поверхности металла, отнесенный к потенциалу в середине электролита (условно принимаемому равным нулю), изменяющийся в пределах плотной части двойного слоя линейно (рис. 3, в). Емкость плоского конденсатора определяется по зависимости вида

$$C = \frac{q_{Me}}{V_a} = \frac{D}{4\pi\delta_0 \cdot 9 \cdot 10^5}, \text{ мкФ/см}^2, \quad (3)$$

где D – диэлектрическая постоянная среды, заполняющей пространство между обкладками конденсатора; в одном случае это электролит, а в другом – продукты износа полимерных накладок, которые заряжены отрицательно.

Вследствие теплового движения молекул электролита и ионов в результате электротермомеханического трения, а также взаимного отталкивания ионов с одинаковым зарядом часть ионов покидает, по О. Штерну, свое фиксированное положение у поверхности металла и распределяется в электролите относительно его поверхности по Ш. Гюи, диффузно – с убывающей при удалении от нее объемной плотностью заряда (рис. 4, а)

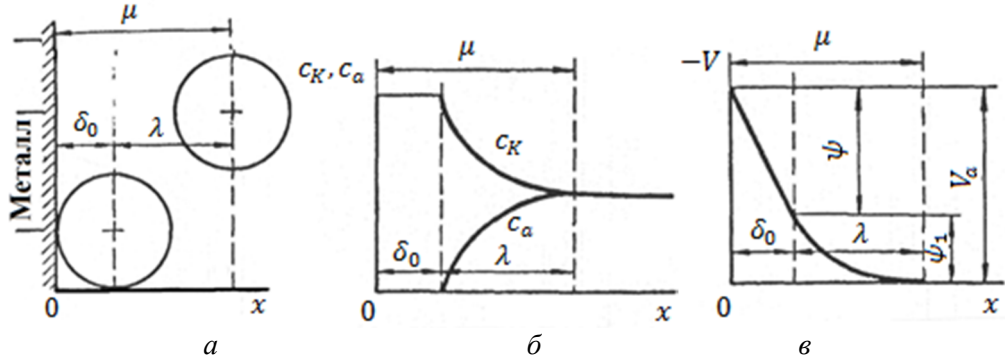


Рис.4. Диффузионное строение двойного электрического слоя с убывающей объемной плотностью заряда (а), и составляющих изменения концентрации ионов (б) и потенциала металла (в)

Толщина этой диффузной части двойного электрического слоя λ равна по данным А. Н. Фрумкина: в чистой воде – до 1 мкм, для не очень низких концентраций электролита – в $10^{-7} - 10^{-6}$ см, а в концентрированных электролитах – в десятки или единицы ангстрем.

Таким образом, потенциал металла относительно электролита V_a состоит из двух составляющих: ψ и ψ_1 – приходящуюся, соответственно, на плотную и диффузную часть двойного слоя толщиной δ_0 и λ (рис. 4, в), т. е.

$$V_a = \psi + \psi_1. \quad (4)$$

На рис. 3, б и 3, в приведены отвечающие этим моделям ионного двойного электрического слоя изменения концентрации ионов (c_a , c_k) с расстоянием x от поверхности металла.

Для крепких электролитов без существенной погрешности принимают $\lambda \approx 0$.

Теоретические исследования П. Й. В. Дебая и Э. А. А. Й. Гюккеля позволили получить для двойного электрического слоя

$$q_{Me} = C(V_a - \psi_1) = -\sqrt{\frac{DRT}{2\pi}} \sqrt{\sum_i \left[\exp\left(-\frac{n_i F \psi_1}{RT}\right) - 1 \right] c_i}, \quad (5)$$

где n_i и c_i – валентность и концентрация ионов сорта i ; R – газовая постоянная; T – температура на границе раздела фаз «металл - электролит»; $(\Phi_+ + \psi_1 n_k = F)$ и $(\Phi_- - \psi_1 n_a = F)$ – полное значение изменения потенциальной энергии при адсорбции для катионов и анионов, учитывающее и действие электрического поля; Φ_+ и Φ_- – значение адсорбционных потенциалов для катионов и анионов, соответственно, не зависящих от электрического поля (значения изменения потенци-

альной энергии при переносе 1 моля вещества из середины электролита на поверхность при $\psi_1 = 0$).

В дальнейшем О. Штерн предложил учитывать специфическую адсорбцию ионов на поверхности металла. Поэтому в электролитах, содержащих поверхностно активные ионы, их число в плотной (гельмгольцевой) части двойного слоя может быть не эквивалентно заряду поверхности металла, а превосходить его на некоторую величину, зависящую от свойств ионов и заряда металла, т. е.

$$q_{Me} = C(V_a - \psi_1) = -(q_{n1} + q_{n2}); \quad (6)$$

для одновалентного электролита [5]

$$q_{n1} = 2Fc\delta_0 \left[\exp\left(-\frac{\Phi_+ + \psi_1 F}{RT}\right) - \exp\left(-\frac{\Phi_- - \psi_1 F}{RT}\right) \right]; \quad (7)$$

$$q_{n2} = +\sqrt{\frac{DRTc}{2\pi}} \left[\exp\left(-\frac{\psi_1}{2RT}\right) - \exp\left(\frac{\psi_1 F}{2RT}\right) \right], \quad (8)$$

Дальнейшее развитие теории строения двойного электрического слоя было дано в работах А. Н. Фрумкина и его школы, Т. Грэма и др. Согласно Т. Грэму, в плоской (гельмгольцевой) части двойного слоя имеется внутренняя плоскость электрических центров специфически адсорбируемых ионов (по Т. Грэму – только анионов), которые могут подойти на более близкие расстояния $\delta_{адс}$, с соответствующим этой плоскости потенциалом $\psi_{адс}$ (рис. 5).

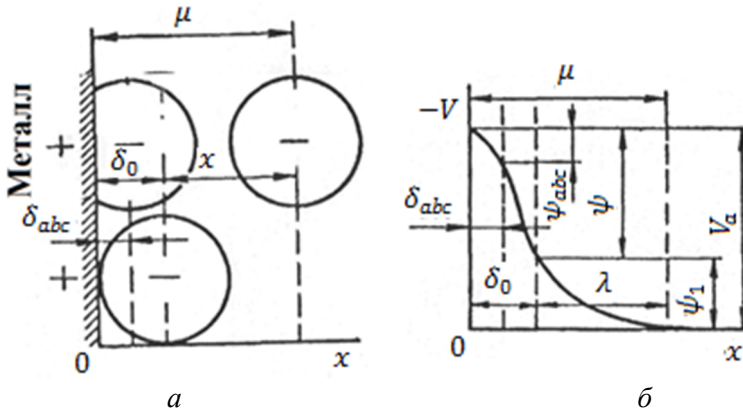


Рис. 5. Строение двойного электрического слоя (а) при специфической адсорбции анионов (б)

Для термодинамического равновесия представляет интерес, суммарный скачок потенциала на границе «металл – электролит», т. е. V_a , а также остальные скачки потенциалов, алгебраическая сумма которых равна обратимой э. д. с. цепи $E_{обр}$.

Многие электрохимические процессы протекают на электродах при необратимых (неравновесных) потенциалах, для чего необходимо прохождение заряженных частиц (ионов) через двойной электрический слой. Ионы при этом испытывают влияние электрического поля двойного слоя с его градиентом в плоской части ψ/δ_0 , зависящее от строения этого слоя и изменяющее энергию акти-

вазии электрохимического процесса. Таким образом, в кинетике электрохимических процессов необходим учет строения двойного электрического слоя.

Классический подход к скачку потенциала в паре трения (фазы «металл – электролит») фрикционных узлов и его влияние на термостабилизационное состояние металлического элемента. Механизм возникновения скачка потенциала на границе «металл – электролит» за счет окисления и восстановления самого металла, которым является рабочая поверхность фрикционного элемента, находящегося на поверхности полимерной накладке (см. рис. 1, ж) может быть представлен следующим образом. Находящиеся на рабочей поверхности металлического фрикционного элемента катионы имеют в среднем запас потенциальной энергии, отвечающей точке 1 на рис. 6. 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 элемента при электротермомеханическом трении с переходом в вакуум, требует настолько большой работы (кривая $1 - 1'$) соответствующей энергии испарения U_u , поскольку при поверхностной температуре ниже допустимой для материалов полимерной накладки этот процесс практически не имеет места.

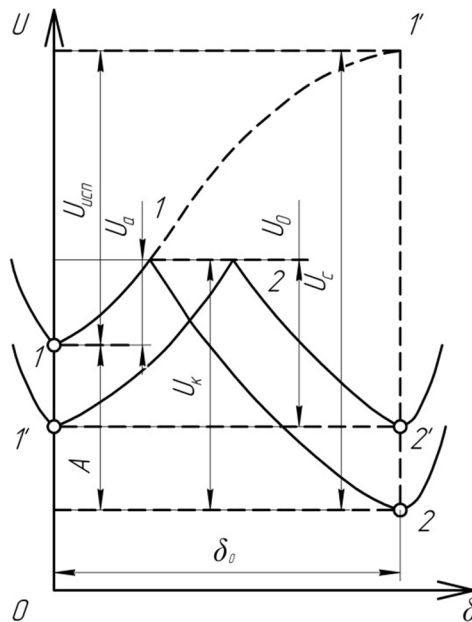


Рис. 6. Схема изменения энергии при испарении катиона металла в вакуум и при переходе в электролит при электротермомеханическом фрикционном взаимодействии пар трения: 1 – момент контактирования металла с электролитом; 2 – момент установления равновесия в трибосопряжении

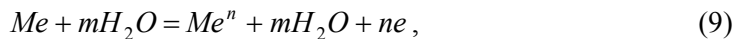
Полярные молекулы электролита – сольвента (например, воды), соответственно, ориентируясь около поверхностных катионов металла (рис. 6), облегчают переход катионов в электролит с освобождением энергии сольватации так

как уровень сольватированного иона ниже, чем катиона в вакууме, на величину U_c , так что энергия катионов, находящихся в электролите на ближайшем возможном расстоянии δ_0 от рабочей поверхности металлического фрикционного элемента, отвечает точке 2 на рис. 6. Восходящие влево и вправо энергетические кривые сольватированного иона отвечают, соответственно, отрыву катиона от сольватирующих его молекул электролита и сближению катиона с молекулами электролита на расстояния, меньше, чем в самопроизвольно образованном сольватном комплексе.

Для перехода в электролит поверхностный катион металла должен преодолеть лишь энергетический барьер (рис. 6. кривая 1'-2), причем $U_a \ll U_c$, т. е. этот процесс является более вероятным. Разность уровней потенциальных энергий в точках 1 и 2, равная A , отвечает работе процесса перехода 1-го иона металла в электролит. Для перехода из электролита в металл находящийся в электролите сольватированный катион должен преодолеть энергетический барьер U_k (рис. 6, кривая 2-1), причем $U_k > U_a$, т. е. этот процесс (катодный) является менее вероятным, чем первый (анодный).

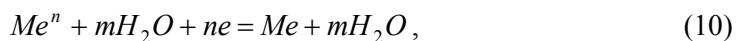
Таким образом, если при взаимодействии металла с электролитом фазовую границу пересекают только ионы металла, то, по данным исследований А. Н. Фрумкина и его школы, протекают два сопряженных процесса:

– переход указанных ионов из металла в электролит с образованием сольватированных ионов (окислительный или анодный процесс):



где Me – металл; m – число атомов металла в молекуле окисла; ne – количество образующихся ионов и электронов; при этом скорость этого процесса, измеряемая числом ионов, переходящих из фазы в фазу через единицу площади поверхности фрикционного взаимодействия в единицу времени, выражается через возникающую плотность тока \vec{i} ;

– разряд этих ионов из электролита с выделением их на поверхности металла в виде нейтральных атомов, входящих в состав кристаллической решетки металла (восстановительный или катодный процесс);



скорость которого также может быть выражена через соответствующую плотность тока \vec{i} .

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 $\vec{i} > \vec{i}$, т. е. преобладает анодный процесс – переход ионов металла в электролит (см. рис. 7), суммарная скорость которого равна

$$i_a = \vec{i} - \vec{i}; \quad (11)$$

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

При $U_1 > U_2$ (см. рис. 6) переход части катионов в электролит сопровождается снижением средней потенциальной энергии поверхностных катионов (точ-

ка I перемещается вниз), появлением на металлической поверхности избыточных отрицательных зарядов и повышением энергетического барьера U_a .

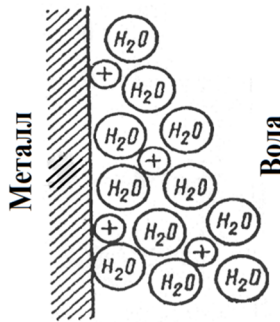


Рис. 7. Модель пограничного слоя «металл – электролит» при возникновении скачка потенциала на этой границе

$$i_k = \bar{i} - \bar{i}' \quad (12)$$

Повышением концентрации ионов у поверхности металла сопровождается ростом запаса их энергии (точка 2 перемещается вверх), приобретением электролитом избыточного положительного заряда и снижением энергетического барьера U_k . Таким образом, образующийся двойной электрический слой затрудняет протекание прямого процесса и облегчает протекание обратного процесса.

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:

$$\bar{i}' = \bar{i} = i_0, \quad (13)$$

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

По достижении равновесия изменения массы металла $\Delta m = 0$, т. е. растворения рабочей поверхности металлического фрикционного элемента не происходит.

Во второй части материалов статьи будет показано каким путем достигается тормозстабилизационное состояние металлического фрикционного элемента в зоне температур выше допустимой для поверхностного слоя полимерной накладки.

Выводы. Таким образом, проиллюстрирован классический подход к процессам двойного электрического слоя в паре "металл - электролит - полимер" без учета сложного теплообмена, которому подвержен металлический фрикционный элемент тормозных устройств.

Список литературы

1. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Н. А. Вольченко [и др.] - Киев - Краснодар. - Изд-во «Плай», 2015. - 371 с.
2. Патент 2459986 С2 РФ F16D 65/82, F16D 51/10. Способ определения составляющих электрических токов в парах трения «полимер – металл» барабанно-колодочного тормоза при их нагревании в стендовых условиях (варианты). / А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, И. В. Бачук, А. Н. Горбей, П. А. Поляков; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. у-т нефти и газа. - №2010107170/11; заявл. 26.02.2010; опубл. 27.08.2012, Бюл. №25. - 14 с.

3. Патент 2462628 С2 РФ F16D 65/82, F16D 51/10. Способ определения направленных составляющих электрических токов в парах трения «полимер-металл» барабанно-колодочного тормоза при их нагревании в стендовых условиях / А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, И. В. Бачук, А. Н. Горбей, П. А. Поляков; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. у-т нефти и газа. - №2010115528/11; заявл. 19.04.2010; опубл. 27.10.2011, Бюл. №30. - 27 с.

4. 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.

5. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов / Н. П. Жук. - М.: Metallurgia, 1976. - 475 с.

Стаття надійшла до редакції 07.10.2017

*О. І. ВОЛЬЧЕНКО, М. О. ВОЛЬЧЕНКО, С. Ю. АНДРЕЙЧИКОВ,
Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ, П. С. КРАСІН*

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

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@nung.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.

Андрейчиков Евгений Юрьевич – подполковник военной кафедры, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Коновальца, 25а, г. Ивано-Франковск, Украина, тел.: +38 0342 50 25 06, E-mail: kvp@nung.edu.ua

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, E-mail: dmytro.2103@ukr.net.

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, E. Yu. ANDREJCHIKOV,
D. Yu. ZHURAVLOV, P. S. KRASIN*

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

The materials of the article illustrate the estimation of the energy loading of a metal friction element in the metal-electrolyte-polymer friction pair while forming various types of double electrical layers with the release of its thermal stabilization state. The energy loading of the contact spots of the microprotrusions of the friction pairs of braking devices depends to a large extent on the electrical, thermal and chemical fields that are of a different nature to an allowable temperature and are above the surface layers of the polymer patch. The latter is significantly influenced by double electrical layers that are formed at the boundaries of the phases «metal-metal», «metal-polymer», «metal-semiconductor», «semiconductor-semiconductor» and «metal-electrolyte». When two electrically conducting phases come into contact with electrothermomechanical friction, a difference in electrical potentials arises, which is due to the formation of a double electric layer, that is an asymmetric distribution of charged particles near the phase boundary. The structure of the double electric layer does not matter for the magnitude of the reversible electrode potential, which is determined by the variation of the isobaric-isothermal potential of the corresponding electrochemical reaction. At the same time, the structure of the double electric layer plays an important role in the kinetics of electrical processes, including the kinetics of the ion exchange under equilibrium conditions, characterizing the intensity of this exchange, and as a consequence, in the occurrence of the thermal stabilization state of the metallic friction element. Thus, the classical approach to the processes of the double electric layer in a «metal-electrolyte-polymer» pair is illustrated, without taking into account the complex heat exchange to which the metal friction element of the braking devices is exposed.

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.] - Kiev - Krasnodar. - Izd-vo "Play», 2015. - 371 s.
2. Patent 2459986 S2 RF F16D 65/82, F16D 51/10. Sposob opredeleniya sostavlyayuschih elektricheskikh tokov v parah treniya «polimer – metal» barabanno-kolodochnogo tormoza pri ih nagrevanii v stendoviyih usloviyah (varianti). / A. I. Volchenko, N. A. Volchenko, D. A. Volchenko, I. V. Bachuk, A. N. Gorbey, P. A. Polyakov; zayavitel i pa-tentoobladatel Ivano-Frankovsk. natsional. tehn. u-t nefti i gaza. - #2010107170/11; zayavl. 26.02.2010; opubl. 27.08.2012, Byul. #25. - 14 s.
3. Patent 2462628 S2 RF F16D 65/82, F16D 51/10. Sposob opredeleniya napravle-niy sostavlyayuschih elektricheskikh tokov v parah treniya «polimer-metall» barabanno-kolodochnogo tormoza pri ih nagrevanii v stendoviyih usloviyah / A. I. Volchenko, N. A. Volchenko, D. A. Volchenko, I. V. Bachuk, A. N. Gorbey, P. A. Polyakov; zayavitel i pa-tentoobladatel Ivano-Frankovsk. natsional. tehn. u-t nefti i gaza. - #2010115528/11; zayavl. 19.04.2010; opubl. 27.10.2011, Byul. #30. - 27 s.
4. Diplom #444 na nauchnoe otkrytie «Yavlenie teplovoy stabilizatsii v metallo-polimernyih parah treniya» ot 18.01.2013 g. avtorov A. I. Volchenko, M. V. Kindrachuka, D. A. Volchenko, N. A. Volchenko. - M.: Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. otkryit. i izobret. - Ekspertiza zayavki na otkrytie # A-588 ot 05.09.2012 g.
5. Zhuk N. P. Kurs teorii korrozii i zaschityi metallov / N. P. Zhuk. - M.: Metallur-giya, 1976. - 475 s.