

УДК 621.891

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, Д. Ю. ЖУРАВЛЕВ¹, Н. В. КАШУБА²,
В. С. ВИТВИЦЬКИЙ¹, В. М. ЧУФУС¹

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

²Надвоньянский колледж при Киевском национальном транспортном университете, Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УРОВНИ КОНТАКТОВ ПРИ ФРИКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

В материалах статьи приведены типы контактов микровыступов металлополимерных и полупроводниковых материалов. Последние модифицированы в виде таблеток в рабочую поверхность полимерных накладок. Проиллюстрированы энергетические уровни микроконтактов пар трения.

Ключевые слова: пара трения, микровыступы контактов, энергетические уровни, полимерные и полупроводниковые материалы.

Введение. Крагельский И.В. сформулировал и ввел в рассмотрение в трибологию три последовательных и взаимосвязанных процесса трения, а именно: фрикционное взаимодействие микровыступов поверхностей, изменение поверхностных и приповерхностных слоев в результате взаимодействия и разрушение поверхностей вследствие двух предыдущих этапов. Все три этапа трения происходят в следующих полях: механическом, электрическом, тепловом, химическом и электромагнитном. Движущей силой в указанных полях является локальный потенциал с его градиентами, оцениваемых в том или ином процессе, явлении и эффекте в продольном и поперечном направлении в металлическом, фрикционном элементе. Что касается токов омывающей среды, то в них учитывается поперечный температурный градиент (определяется отношением C_p/C_v , т. е. отношением теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме).

Состояние проблемы. Адгезия в значительной мере определяет силу трения между контактирующими поверхностями. Велика также роль адгезионного взаимодействия в явлении фрикционного переноса материала с одной поверхности трения на другую. Так, при трении металлов по полимеру, как правило, наблюдается перенос полимерного материала на поверхность металла. При фрикционном переносе у полимеров в результате молекулярного взаимодействия происходит отделение тонких поверхностных частиц (пленки, фрагменты молекул и т.п.) и перенос их на более активные участки поверхности контртела. С повышением адгезионной способности материала, т.е. при переходе от неполярных к полярным полимерам, интенсивность переноса возрастает, однако благодаря сохранению способности к самосмазыванию устойчивость к износу сохраняется. В результате при установившемся режиме трения фактически имеет место трение полимера по полимеру. Нечто подобное происходит при взаимодействии на воздухе металла и графита. На поверхности металла в процессе трения формируется пленка переноса и фактически имеет место трение полимерных поверхностей.

Влиянию мощности трения на энергонагруженность пар трения дисковоколодочного тормоза посвящена работа [1]. В последней приведены точные решения тепловой задачи трения с использованием формулы Дюгамеля и известное аналитическое решение одноизмеренной краевой задачи теплопроводности

для двух полуограниченных тел при постоянной мощности трения на поверхностях контактов микровыступов. Одинаково, в работе не было учтено, что темп изменения скорости скольжения пар трения намного меньше, нежели темп изменения удельных нагрузок в парах трения. Кроме того, не указан тип контактов для одного из которых определялась энергонагруженность микровыступов пар трения тормоза.

Постановка задачи. В данном докладе рассмотрены следующие вопросы применительно к данной проблеме:

- энергетические уровни контактов микровыступов пар трения:
- нейтрального;
- блокирующего;
- омического.

Цель работы – обосновать наличие нейтрального, блокирующего и омического контактов при фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения и оценить их энергетические уровни.

Энергетические уровни контактов микровыступов пар трения. В полимерных накладках, составленных из неоднородных материалов, существуют аморфные и кристаллические фазы, возникает захват иного рода – на межфазных границах. Накапливание зарядов на границах обусловлено разницей в проводимостях рассматриваемых фаз (эффект Максвелла – Вагнера) [2; 3]. При электризации такого материала носители будут собираться вблизи данной межфазной границы или наоборот, уходить с нее в зависимости от того, какой из двух токов проводимости больше: притекающий к границе зарядов или уходящий от нее. Различия в локальных токах проводимости приводят также к диссипации зарядов при последующем проведении термостимулированного разряда, так как в этом случае токи текут уже в противоположном направлении.

Для процессов нейтрализации зарядов немаловажную роль играют также свойства рабочей поверхности металлического фрикционного элемента. Взаимосвязь между энергетическими уровнями определяется посредством фрикционного контактного взаимодействия микровыступов пар трения [4].

В таблице на рис. 1, условно показано различие между нейтральным, омическим и блокирующим контактами.

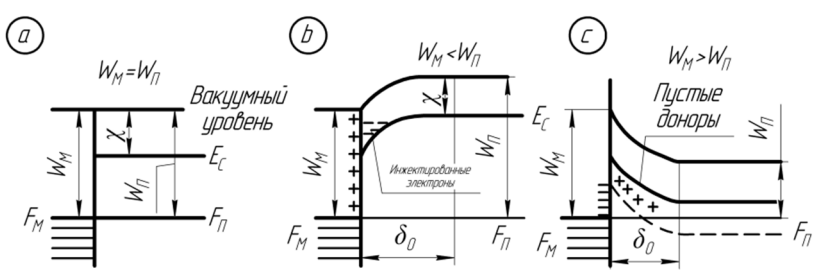
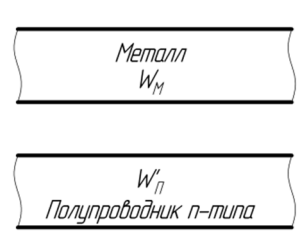
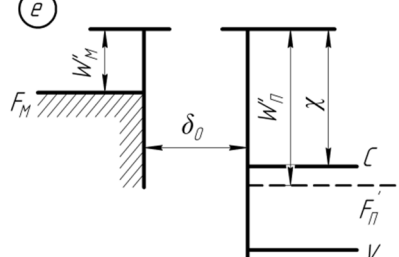
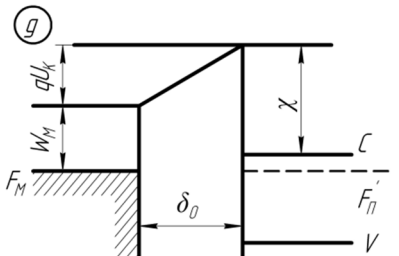
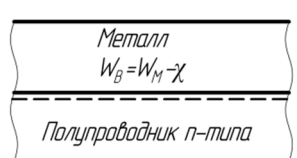
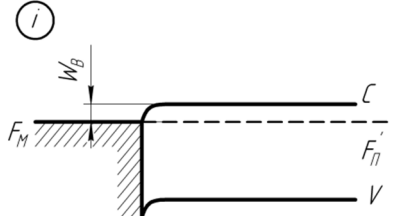
Рассмотрим случаи возникновения нейтральных контактов на микровыступах металлополимерных пар трения согласно таблице, рис. 1, а.

Нейтральный контакт.

Первый случай относится к поверхностным температурам полимерной накладки, которые имеют величины ниже допустимой для ее материалов. Согласно таблице рис. 1 работа выхода электронов и ионов из металлического и неметаллического фрикционных элементов равна между собой. Большую прибавку к работе выхода ионов из поверхностного слоя накладки дает средство к электрону. Последнее является способностью некоторых атомов и молекул присоединять добавочный электрон и превращаться в положительные ионы. Мерой сродства к электрону служит выделяющаяся при этом энергия. Целенаправленная переориентация электронов в ионы позволяет тем самым за счет данного эффекта достичь равенства работ выхода частиц.

Таблица

Энергетические диаграммы при фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения «металл - полимер» (a, b, c) и «металл - полупроводник» (d) с n-типом проводимости

Название контактов	Нейтральный	Традиционный Блокирующий	Омический
<p>Контакты микровыступов пар трения «металл - полупроводник» разделены (d) подсоединены к электрической цепи (f) фрикционно взаимодействуют (h)</p>	<p>С полупроводниковым материалом</p> 		
	<p>Работа выхода электронов и ионов (a, b, c, d, g, i)</p> 		
	<p>Выпрямляющий</p>  		

Условные обозначения: χ – электронное сродство; F_M, F_n, F'_n – уровни Ферми: металла, полимера, полупроводника; E_c – энергия образующейся емкости конденсатора (C); δ_0 – расстояние между микровыступами; U_k – контактная разность потенциалов; q – заряд электрона; W_B – работа выхода электронов и ионов с выпрямляющего контакта; V – напряжение поля

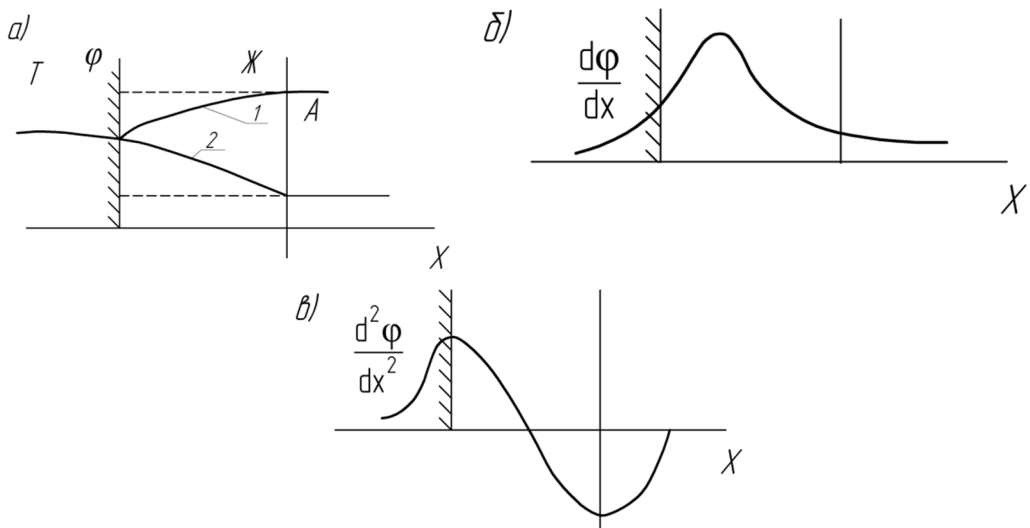


Рис. 1. Зависимость электрокинетического потенциала φ (а), напряженности поля $E = d\varphi/dx$ (б) и плотности зарядов $\rho = d^2\varphi/dx^2$ (в) от координаты X : A – граница неподвижной части двойного электрического слоя; $Ж$ – жидкость; T – твердое тело; кривые 2 и 1 – соответственно, до допустимой температуры материалов поверхностного слоя накладки и выше

Второй случай. При достижении рабочей поверхностью полимерной накладки температуры выше допустимой для ее материалов происходит выгорание с поверхностных и приповерхностных слоев связующих компонентов, что ведет к образованию жидкостных островков на поверхности накладки. При контакте рабочей поверхности металлического фрикционного элемента с жидкостью наблюдаются явления перехода ионов из металла в жидкость (рис. 1 а, кривая 1).

Кроме химического механизма электрических явлений в контакте металла и жидкости возможен и другой механизм – электризация поверхностей металла и жидкости при движении последней, т.к. слой жидкости, перемещаясь, уносит с собой ионный заряд. Расчеты показывают, что значительное накопление зарядов при движении жидкости происходит при удельном ее сопротивлении выше 10^9 Ом·см. Считается, что при этом на поверхности металла, соприкасающейся с жидкостью, образуется двойной электрический слой. Поверхность металла в результате потерь или захвата ионов приобретает некоторый химический потенциал, и по ней распределяется некоторый заряд. Противоположный по знаку заряд находится в жидкости. Распределение зарядов в жидкости может характеризоваться потенциалом φ , который меняется с расстоянием от поверхности в соответствии с электростатическими силами и распределением Больцмана (рис. 1, а).

Аналитическое выражение для расчета величины потенциала φ получаем решением уравнения Пуассона в предположении о существовании экранирующего двойного слоя.

Металл входит в раствор в виде либо положительных ионов, либо комплексных отрицательных ионов, если он взаимодействует с раствором жидкости. При этом поверхность металла приобретает некоторый специфический потенциал, устанавливающий равновесие между процессом выделения и осажде-

ния ионов. Этот потенциал зависит как от природы металла, так и от концентрации ионов в жидкости. При некотором значении кислотности (рН) металл не посылает в раствор ионы, а наоборот, принимает их из раствора, приобретая заряд до наступления электрического равновесия.

Как известно, металлы располагаются в электрохимический ряд по отношению к положительному иону водорода H^+ . При погружении в жидкость двух различных металлов каждый из них имеет определенный потенциал по отношению к жидкости. При контакте металлов возникает электрический ток до тех пор, пока в растворе не будут исчерпаны все ионы металлов или все ионы раствора. Электрические токи могут протекать и между различными точками одной металлической поверхности, если она заряжена и неоднородна.

Блокирующий контакт. Поведение микровыступов полимерной накладки в сильной степени зависит от материала микровыступов металлического фрикционного элемента. Обычно пятна контактов последних микровыступов, покрытые пленками, при слабых и промежуточных напряженностях поля являются блокирующими контактами (см. табл. 1, рис. в). Такой контакт препятствует передаче носителей заряда от электрода внутрь поверхностного и приповерхностного слоя полимерной накладки, в то же время сам он может принимать носители из указанных слоев.

В диэлектрике с блокирующими контактами, вообще не содержащем носителей заряда, протекание стационарного тока, очевидно, невозможно. Если же в диэлектрике имеются носители обоих знаков, причем с сильно отличающимися значениями их подвижности, то вблизи пятен контактов микровыступов металлического фрикционного элемента, знак которого совпадает со знаком более подвижных носителей, образуется барьер Шоттки. Возникающая в этих условиях поляризация пятен контактов микровыступов накладки обусловлена как раз наличием электродов. Эта ситуация довольно легко объясняется в том предельном случае, когда отсутствует подвижность у носителей какой-то одной полярности (например, электронов) и не происходит дальнейшей генерации свободных носителей. Приложенное поле в этом случае удаляет положительные носители от пятен контактов микровыступов накладки (анодов), (расположенного, скажем, при $x = 0$).

Так как этот электрод не в состоянии передавать материалам положительные заряды, вблизи него в слое толщиной s_s между плоскостями $x = 0$ и $x = s_s$ образуется облако отрицательного пространственного заряда с плотностью ρ . После того как слой пространственного заряда будет полностью сформирован, напряжение V , первоначально падавшее по всей толщине металлического микровыступа, теперь станет приложенным к слоям толщиной s_s . В результате ток обратится в нуль. Протяженность слоя определяется формулой $s_s = \sqrt{2\varepsilon V / \rho}$ и не зависит от приложенного электрического поля.

Например, при плотности неподвижных (захваченных) носителей $\rho = 110^4$ Кл/см, $\varepsilon = 2 \cdot 10^{-13}$ Ф/см и $V = 1,0$ толщина слоя s_s составляет $1,25 \cdot 10^{-3}$ см. Итак, использование блокирующих контактов препятствует полному удалению подвижных носителей из диэлектрика, причем вне зависимости от значения их подвижности.

Наличие непроводящей прослойки конечной толщины между диэлектриком и электродом может вызвать образование барьерной поляризации. Правда, молекулярные размеры образующегося двойного слоя положительных и отрицательных носителей не позволяют обнаружить его в обычных внешних измерениях, например, компенсационных зарядов на электроде. Кроме того, образование двойного электрического слоя не дает блокирующего эффекта.

Таким образом, если контакты заблокированы, нейтрализация должна протекать внутри металлического элемента трения независимо от вида контакта (является он инжектирующим электроны или блокирующим). Это зависит лишь от того, какая из работ выхода электронов или ионов больше: металлического или полимерного фрикционного элемента. Если работа выхода из первого элемента больше, чем со второго, образуется блокирующий барьер. Наличие последнего позволяет изучать методом термостимулированного разряда полуизоляторы и полупроводники, которым свойственны большие токи проводимости. Блокирующие контакты действуют противоположным образом: они препятствуют как инъекции, так и нейтрализации зарядов.

Омический контакт. Наиболее часто в металлополимерных парах трения применительно к двухслойным («металл – полимер») структурам тормозных устройств встречается омический (инжектирующий) контакт (см. табл. 1, рис. с).

На рис. 2 приведена зонная диаграмма контакта «металл - электропроводящий полимер». Особенностью этой диаграммы является наличие узкой электропроводящей зоны в середине щели полимера. Согласно одной из гипотез, именно подобная узкая зона может отвечать за транспортные свойства тонких диэлектрических пленок. Изменения положения уровня Ферми металла в области его фазового перехода относительно узкой зоны в полимере изменяет условия инъекции из металла в полимер электронов и ионов и тем самым характеризует изменение проводимости системы в целом.

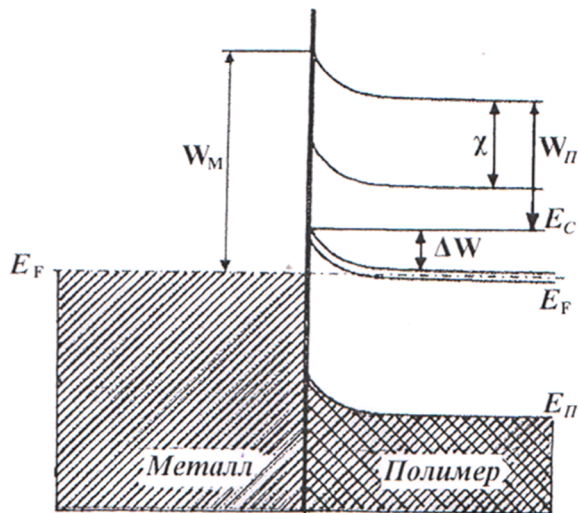


Рис. 2. Энергетическая диаграмма пары трения «металл – полимер»: E_F , F_V – энергетические уровни: металла (Ферми); полимера; W_M ; $W_П$ – работы выхода: электронов их металла; ионов и электронов из полимера; χ – средство к электрону

На рис. 3 представлена модель энергетических зон в системе «металл – полимер» стимулированной импульсными нормальными усилиями инъекции носителей тока из металла в зону проводимости полимера. Согласно этой модели сжатие полимера вызывает распад поверхностных состояний, играющих роль акцепторов электронов. Не исключено также, что из-за увеличения поляризуемости одновременно происходит понижение дна зоны проводимости полимера. В результате при некотором значении $N=N_C$ структура энергетических зон вблизи границы раздела «металл – полимер» оказывается благоприятной для инъекции носителей, хотя при $N < N_C$ этот процесс либо вообще не реализуется, либо имеет крайне низкую эффективность.

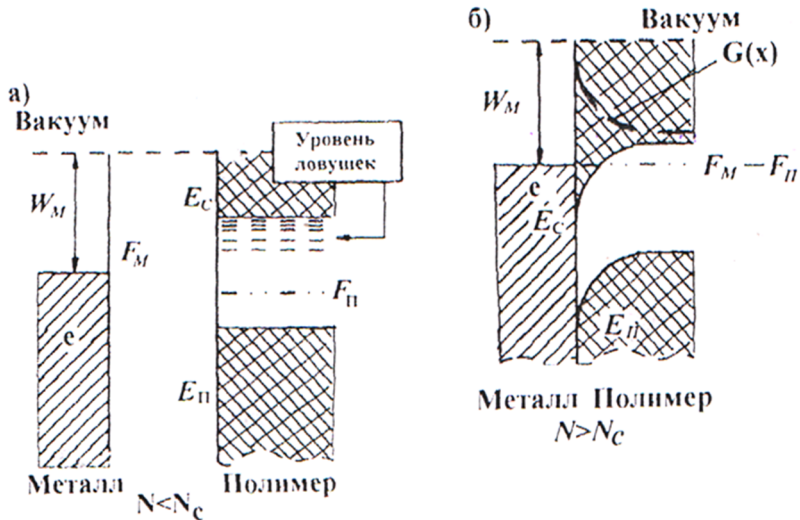


Рис. 3. Качественная картина энергетических зон в системе «металл - полимер» при импульсных нормальных усилиях, действующих на полимерную пленку: *а* – $N < N_C$; *б* – $N > N_C$; E_C , E_V – энергии зон: дна проводимости и валентного потолка полимера; F_M и $F_П$ – уровни Ферми и полимера; W_M – работа выхода электрона из металла; штриховая кривая $G(x)$ – распределение инжектированных электронов в полимерной пленке

При уменьшении толщины полимерной пленки может возникнуть ситуация, когда заряды, сосредоточенные вблизи противоположных границ рассматриваемого контакта, начнут взаимодействовать между собой, приводя к искажению формы потенциального барьера. Наибольшей толщиной пленки, при которой начинается взаимодействие граничных зарядов, может считаться удвоенная величина такого параметра контакта, как глубина проникновения поверхностного заряда. Взаимодействие приповерхностных зарядов может привести к тому, что в середине барьера начнет формироваться локальный минимум, который в принципе может привести к пересечению кривой, описывающей огибающую потенциального барьера с уровнем Ферми.

При таком гипотетическом варианте в середине барьера на уровне Ферми могут возникнуть новые электронные состояния, которые увеличивают его проницаемость для электронов. Если научиться управлять такими состояниями, то фактически это будет означать создание принципиально нового электронного гибридного наноструктурированного металлополимерного материала.

При этом весомую важность приобретает вопрос управления системой «металл 1 - полимер - металл 2» путем переключений в полимерной пленке эффекта индуцирования зарядов, при которых области изменения электропроводности в ней пространственно разделены. (рис. 3). Для исследования были выбраны переключения в системе за счет изменения граничных условий в трехслойной структуре «металл - полимер - металл», что привело к плавлению одного из электродов [3]. В результате чего происходит перераспределение поверхностного заряда в приконтактной области полимера вследствие резкого изменения эффективной работы выхода электронов металла вблизи критической температуры. Таким образом, переход полимера в высокопроводящее состояние вызван изменением положения уровня Ферми металла (эффективной работы выхода электронов) в точке фазового перехода. Аналогичного результата можно достичь, если между металлом, претерпевающим фазовый переход, и полимерной пленкой поместить другой металл, стабильный в заданном интервале температур. В такой ситуации все структурно-механические изменения (изменение агрегатного состояния, стрикционные явления и т.п.) в первом металле могут быть подавлены с помощью второго металла, т. е. путем технологического решения.

Необходимо отметить еще одну важную особенность омического (инжектирующего) контакта на микровыступах металлического элемента, поведение которого напоминает нагревный катод, уже в отсутствие поля на поверхности, может спонтанно инжектировать носители внутрь поверхностного слоя полимерной накладки. Возникающее перед электродом облако пространственного заряда в конце концов полностью запирает эмиссию с электрода, если, конечно, облако не рассасывается действием приложенного поля. Граничные условия на инжектирующем электроде сводятся к $E(0, t) = 0$ и плотности зарядов $\rho(0) = \pm\infty$, причем полярность определяется знаком инжектируемых носителей.

Энергетические уровни омического контакта фрикционного взаимодействия микровыступов пар трения тормозных устройств оказывает влияние на флуктуацию их динамического коэффициента трения.

На рис. 4 приведена схема двух типов флуктуации динамического коэффициента трения в режиме избирательного переноса при внезапном изложении и снятии дополнительной нагрузки ΔP . После снятия нагрузки возросший динамический коэффициент трения снижается, причем переходит через границу равновесного состояния (предельного цикла) и снова подходит к этой границе.

В случае если контакты заблокированы, нейтрализация должна протекать внутри металлического элемента трения независимо от типа контакта (является он инжектирующим электроны или блокирующим). Это зависит лишь от того, какая из работ выхода электронов или ионов больше: металлического или полимерного фрикционного элемента. Если работа выхода из первого элемента больше, чем со второго образуется блокирующий барьер. Наличие последнего позволяет изучать методом термостимулированного разряда полупроводников, которым свойственны большие токи проводимости. Блокирующие контакты действуют противоположным образом: они препятствуют как инъекции, так и нейтрализации зарядов.

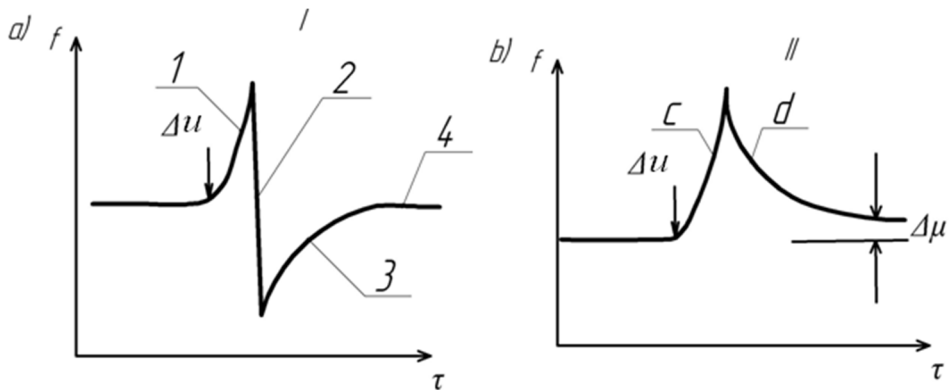


Рис. 4. Закономерности изменения динамического коэффициента трения μ (флуктуация) по времени τ при внезапном нагружении и снятии нагрузки: *I* – на неспадающей ветви: 1 – упрочнение и десорбция; 2 – избирательное растворение и разупрочнение; 3 – восстановление равновесной концентрации вакансий; 4 – установившейся режим; *II* – на восходящей ветви: *c* – упрочнение и десорбция; *d* – релаксация и адсорбция; Δu – изменение энергии процесса

В случае, когда работа выхода электронов и ионов полупроводника W_p больше работы выхода из металла W_M (табл., рис. *d, e*), тогда при соединении проводом металла и полупроводника *n*-типа, электроны переходят из металла в полупроводник (табл., рис. *f*). В результате чего, после установления термодинамического равновесия, между ними образуется электростатическое поле E_K направленное к поверхности полупроводника, и возникает контактная разность потенциалов U_K как это показано на энергетической диаграмме (табл., рис. *g*). Электрическое поле между металлом и полупроводником создается недостающими электронами на поверхности металла и избыточными электронами на поверхности полупроводника.

При уменьшении толщины δ слоя заряда, естественно, поверхностная плотность избыточных зарядов на поверхностях увеличивается, а также и увеличивается напряженность электрического поля в зазоре. При уменьшении толщины зазора до порядка межатомных расстояний, т.е. при непосредственном контакте металла и полупроводника, поверхностный атомный слой металла и полупроводника образует единую квантомеханическую систему (табл., рис. *h*) и на границе раздела для свободных электронов потенциальный барьер практически не образуется (табл., рис. *i*).

Таким образом, контакт металла с полупроводником *n*-типа имеет потенциальный барьер, т.е. обладает выпрямляющими свойствами, если $W_M > W'_s$ и - омическими, если $W_M \leq W'_s$.

В случае, когда металл контактируется с цинком *p*-типа, контакт «металл – полупроводник» имеет выпрямляющие свойства, если $W_M < W'_s$, и - омические, если $W_M \geq W'_s$ (рис., *a, b, c*).

Следует отметить что если контакт металла с полупроводником *n*-типа и *p*-типа имеет соответствующие высоты барьера Φ_{Bn} и Φ_{Bp} , тогда их сумма становится равной ширине запрещенной зоны этого полупроводника Φ_D .

В действительности реальные контакты микровыступов пар трения «металл - полимер» и «металл - полупроводник» состоят из совокупности параллельно соединенных и электрически взаимодействующих микроконтактов, работающих в режимах микротермогенераторов и микротермохолодильников [1, 3, 4] с различными высотами потенциального барьера. В результате этого, в приповерхностном слое полупроводника наряду с основным электрическим полем контактной разности потенциалов контактирующих пятен микровыступов пары трения «металл - полупроводник», возникает и дополнительное электрическое поле (поле пятен) контактной разности потенциалов ($\sim < 1$ эВ) электрически взаимодействующих микроконтактов с различными локальными высотами барьера. В то же время, дополнительное электрическое поле (поле пятен) образуется в приконтактной области полупроводника реальных микроконтактов ограниченной площадью пятен микровыступов также и из-за возникновения контактной разности потенциалов между контактной поверхностью, имеющей высоту барьера порядка 1,0 эВ, и примыкающими к ней свободными боковыми поверхностями микровыступов металла и полупроводника, имеющими работы выхода электронов и ионов около 4,0 - 6,0 эВ. Следовательно, они участвуют как в формировании потенциального барьера, так и в процессах токопрохождения в реальных контактах и «металл - полупроводник».

Выводы. Таким образом, произведена оценка энергетических уровней различных типов контактов микровыступов пар трения и проиллюстрировано их влияние на общую энергонагруженность.

Список литературы

1. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. Ю. Журавлев [и др.]. – Киев – Краснодар: Изд-во «Плай», 2015. – 371 с.
2. Топчевска К. Вплив потужності тертя на температуру під час гальмування. / К. Топчевська // Фіз-хім. механіка матеріалів. -2017. – №2. – С. 96 – 101.
3. Лурье С. Прогноз механических и динамических свойств материалов с микро- и наноструктурой на основе градиентов теории сред / С. Лурье // Электронный журнал Труды ИПРИМ РАН. – М., 2009. – 46 с.
4. Диплом №482 на научное открытие «Явление массопереноса продуктов трения в металлополимерных парах» от 27.02.2015 г. Авторы А. Х. Джанахметов, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. Ю. Журавлев. Международ. акад. авторов научн. откр. и изобрет. – Экспертиза заявки на открытие №А-618 от 18.12.2014 г.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2018

*О. І. ВОЛЬЧЕНКО, Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ, М. В. КАШУБА, В. С. ВИТВИЦЬКИЙ,
В. М. ЧУФУС*

ЕНЕРГЕТИЧНІ РІВНІ КОНТАКТІВ ПРИ ФРИКЦІЙНІЙ ВЗАЄМОДІЇ МЕТАЛО-ПОЛІМЕРНИХ ТА НАПІВПРОВІДНИКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

У матеріалах статті наведені типи контактів мікроступів металополімерних та напівпровідникових матеріалів. Останні модифіковані у вигляді таблеток в робочу поверхню полімерних накладок. Прілюстровані енергетичні рівні мікроконтактів пар тертя.

Ключові слова: пара тертя, мікроступи контактів, енергетичні рівні, полімерні і напівпровідникові матеріали.

Вольченко Александр Иванович – докт. техн. наук, профессор кафедры технической механики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.

Журавлев Дмитрий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры технической механики 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 E-mail: dmytro.2103@ukr.net.

Кашуба Николай Васильевич – канд. техн. наук, преподаватель Надворнянского колледжа при Киевском национальном транспортном университете.

Витвицкий Василий Степанович – аспирант кафедры технической механики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: vytvyttskyi.v.s@gmail.com.

Чуфус Василий Михайлович - аспирант кафедры технической механики, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, тел.: +38 0342 72 71 47, E-mail: mechmach@nung.edu.ua.

*O. I. VOLCHENKO, D. Yu. ZHURAVLOV, M. V. KASHUBA, V. S. VYTVYTSKIJ,
V. M. CHUFUS*

ENERGY LEVELS OF CONTACTS IN THE FRICTIONAL INTERACTION OF METAL-POLYMER AND SEMICONDUCTOR MATERIALS

The materials of the article show the types of contacts of microprotrusions of metal-polymer and semiconductor materials. The latter are modified in the form of tablets into the working surface of the polymer linings. Energy levels of microcontacts of friction pairs are illustrated. In the polymer lining, composed of inhomogeneous materials, there are amorphous and crystalline phases, there is a capture of a different kind - at the interfaces. When such a material is electrified, carriers will collect near this interphase boundary or vice versa, leave it, depending on which of the two conduction currents is greater: flowing to the charge boundary or leaving it. Differences in local conduction currents also lead to charge dissipation during the subsequent conduction of a thermally stimulated discharge, since in this case the currents flow in the opposite direction. A large increase in the work function of ions from the surface layer of the lining gives affinity to the electron. Purposeful reorientation of electrons to ions thus makes it possible to achieve equality of particle work due to this effect. When the working surface of the polymer lining reaches a temperature higher than permissible for its materials, burnout in the surface and subsurface layers of bonding components, which leads to the formation of liquid islands on the surface of the lining. It is believed that at the same time on the surface of the metal in contact with the liquid, a double electric layer is formed. The surface of the metal as a result of loss or trapping of ions acquires some chemical potential, and a certain charge is distributed over it. The opposite sign of the charge is in the liquid. In this case, the surface of the metal acquires some specific potential, establishing an equilibrium between the process of separation and deposition of ions. This potential depends on both the nature of the metal and the concentration of ions in the liquid. The polarization of the contact spots of the microprotrusions of the lining arising under these conditions is caused precisely by the presence of electrodes. This situation is rather easily explained in the limiting case when there is no mobility in carriers of any one polarity (for example, electrons) and there is no further generation of free carriers. With a decrease in the thickness of the polymer film, a situation may arise when the charges concentrated near the opposite boundaries of the contact in question begin to interact with each other, leading to a distortion of the potential barrier shape. The greatest thickness of the film, at which the interaction of boundary charges begins, can be considered the double value of such a contact parameter as the depth of penetration of the surface charge. The interaction of near-surface charges can cause a local minimum to form in the middle of the barrier, which in principle can lead to the intersection of the curve describing the envelope of the potential barrier with the Fermi level. Thus, the energy levels of various types of contacts of microprotrusions of friction pairs were estimated and their effect on the total energy load was illustrated.

Keywords: friction pair, contact microprotrusions, energy levels, polymer and semiconductor materials.

References

1. Trybologiya / O. I. Volchenko, M. V. Kindrachuk, Д. Yu. Zhuravlev [i dr.]. – Kiev – Krasnodar: Izd-vo «Plaj», 2015. – 371 s.
2. Topchevska K. Vplyv potuzhnosti tertya na temperaturu pid chas gal'muvannya. / K. Topchevska // *Phizi-khim. mekhanika materialiv.* – 2017. – №2. – S. 96 – 101.
3. Lur'e S. Progzov mekhanicheskikh i dinamicheskikh svoystv materialov s mikro- i nanostrukturoj na osnove gradiyentov teorii sred / S. Lur'e // *Elektronnyj zhurnal Trudy IPRIM RAN.* – M., 2009. – 46 s.
4. Diplom №482 na nauchnoye otkrytiye «Yavleniye massoperenoca productov treniya v metallopolimernykh parakh» ot 27.02.2015 g. Avtorov A. Kh. Dzhanakhmedov, O. I. Volchenko, N. O. Volchenko, D. Yu. Zhuravlev. *Mezhdunarod. akad. avtorov nauchn. nauchn. otkr. i izobret.* – Ekspertiza zayavki na otkrytiye №A-618 ot 18.12.2014 g.