

УДК 621.891

Д. А. ВОЛЬЧЕНКО

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАРАХ ТРЕНИЯ ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК

В данной статье приведено определение полей, возникающих в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза и проиллюстрированы их комбинации в открытых термодинамических системах при дискретном контакте.

Ключевые слова: *фрикционное взаимодействие, пары трения, поля: механическое, электрическое, магнитное, тепловое и химическое; комбинация полей, ленточно-колодочный тормоз, эксплуатационные параметры.*

Введение. Контактно-импульсное взаимодействие микровыступов металлополимерных пар трения при фрикционном взаимодействии сопровождается их соударениями. В результате пластической деформации микровыступов на контакте одновременно генерируются электрический и тепловой токи, и как следствие, возникает нестационарный тепловой поток, который вызывает неравномерное температурное поле в соударяющейся паре. Импульсное нагревание поверхностных слоев пар трения носит циклический характер.

Все это в присутствии импульсных контактных нормальных усилий способствует дроблению вторичных структур и в конечном счете разрушает металлический рабочий слой, и как следствие, снижает его прочность.

Элементарный участок фактического касания, образовавшийся при одновременном действии импульсных нормальных и тангенциальных нагрузок, сопровождаемых импульсными электрическими и тепловыми токами, и не полностью исчезающий при снятии импульсных удельных нагрузок, называют фрикционной связью.

Анализ используемых моделей и различного рода гипотез, предложенных плеядой советских (Б.И. Костецким, И.В. Крагельским, А.В. Чичинадзе и др.) [1, 2, 3], зарубежных (М. Ричардсоном, Р. Крока, А.Х. Джанахмедовым и др.) [4, 5] и отечественных (А.И. Вольченко, М.В. Киндрачуком, О.В. Дыхой и др.) [6, 7, 8] ученых позволили сформулировать в зависимости от энергонагруженности поверхностных и приповерхностных слоев металлического фрикционного элемента и фрикционной накладки (ниже и выше допустимой температуры для ее материалов) и рассмотреть три последовательные и взаимосвязанные стадии процесса трения, а именно:

- импульсное взаимодействие микровыступов поверхностей с генерированием электрических и тепловых токов с учетом влияния линий токов скоростного поля омывающих сред;

- при различных энергетических уровнях поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения зарождаются, развиваются и совершенствуются процессы и явления в строгой последовательности и с соблюдением переходных процессов, принципов суперпозиции и с возникновением побочных эффектов и при этом закономерности изменения 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;

– разрушение микровыступов за счет электротермического сопротивления дискретных контактов с различной энергетической активностью микроконденсаторов и термобатарей с мгновенным их переключением при изменении площадей пятен контактов микровыступов и градиента механических свойств, а также темпов проникновения взаимодействующих между собой импульсов электрического и теплового токов, способствующих интенсивному износу микровыступов при переполяризации их пятен контактов, ведущей к дестабилизации динамического коэффициента трения металлополимерных пар трения.

Из вышеизложенного следует, что в протекании процессов, явлений и эффектов в металлополимерных парах трения тормозных устройств первостепенную роль играют энергетические поля.

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

- поля, возникающие при фрикционном взаимодействии металлополимерных пар трения;
- комбинации полей в открытых термодинамических системах металлополимерных пар трения с учетом дискретности контактирования;
- определение эксплуатационных параметров в ленточно-колодочных тормозах буровых лебедок.

Цель работы: привести определение полей применительно к металлополимерным парам трения и проиллюстрировать их взаимосвязь.

Поля, возникающие при фрикционном взаимодействии металлополимерных пар трения. Поля механических свойств материалов пятен контактов микровыступов металлополимерных пар трения отличны от механических свойств сплошных масс материалов потому, что, во-первых, поверхностные и подповерхностные слои элементов трибосопряжения по своей структуре отличны от основной массы материалов и, во-вторых, поверхности трущихся пар всегда покрыты пленками вторичных структур, которые удерживаются интенсивными полями молекулярного притяжения. Эти пленки под воздействием молекулярных сил меняют свою структуру и приобретают квазикристаллическое строение. Таким образом, касание на пятнах контактов микровыступов происходит пленками вторичных структур.

Для изучения механических свойств материалов на пятнах контактов микровыступов пар трения пользуются общими закономерностями, характеризующими их под воздействием импульсных удельных нагрузок. При рассмотрении микровыступов имеем:

$$\ddot{F} + a\dot{F} + bF = q\ddot{\delta} + a_1\dot{\delta} + b_1\delta, \quad (1)$$

где F – сила статического трения на пороге скольжения; δ – предварительное смещение – тангенциальная деформация, предшествующая относительно скольжению микровыступов пары трения; $\ddot{F}$, $\dot{F}$, $\ddot{\delta}$, $\dot{\delta}$ – соответствующие производные по времени; a , b , q , a_1 , b_1 – параметры, характеризующие механические свойства микровыступов пятен контактов.

Исследования механических свойств статического контакта по силе трения и предварительного смещения является наиболее целесообразным, так как они

являются результатом комплекса процессов, протекающих в контакте. Сила трения и предварительное смещение зависят от: нагрузки; электрических и тепловых токов; фактической площади контакта; пленок вторичных структур и т.п.

При исследовании механических свойств динамического контакта микровысупов металлополимерных пар трения тормозных устройств необходимо рассматривать: деформации, напряжения, твердость, податливость стыков и другие параметры.

Энергетическое поле является частной формой проявления (наряду с магнитным полем) электромагнитного поля, определяющая действие на электрический заряд (со стороны поля), не зависящей от скорости движения заряда.

Магнитное поле – поле, которое действует на подвижные электрические заряды формируемые в поверхностных слоях металлополимерных пар трения, со свойственным ему магнитным моментом.

Порождение электромагнитного поля переменным магнитным полем и магнитного поля переменным электрическим приводит к тому, что электрические и магнитные поля не существуют, независимо друг от друга. Компоненты векторов, характеризующих электромагнитное поле, образуются согласно относительности теории, единую физическую величину – тензор электромагнитного поля, элементы которого преобразуются при переходе от одной инерционной системы отсчета к другой в соответствии с Лоренцевскими преобразованиями [9].

Температурное поле – совокупность значений температуры во всех точках поверхностей фрикционного взаимодействия узлов трения в данный момент времени. Различают нестационарное температурное поле (изменяется во времени) и стационарное.

Тепловое поле – совокупность значений температур объемов металлополимерных пар трения в данный момент времени при наличии в них температурных градиентов по слоям элементов трения.

Химическое поле – превращения в поверхностных и подповерхностных слоях металлополимерных пар трения, что сопровождаются изменением их состава и строения.

Структурная схема воздействия полей на изменение энергетических уровней рабочих слоев фрикционных узлов при электротермомеханическом трении показана на рис.1.

Однако в чистом виде перечисленные поля не существуют, а взаимодействуют в комбинации. При этом во всех комбинациях полей присутствует поле механических свойств материалов пар трения фрикционных узлов. Из комбинационных схем необходимо отметить взаимосвязь линий токов полей: механического с тепловым, электрического с тепловым, электромагнитного с магнитным, химического с тепловым и другие сочетания.

Комбинации полей в открытых термодинамических системах металлополимерных пар трения с учетом дискретности контактирования. Фрикционные узлы тормоза являются трибосистемой, состояние которой зависит от ее термодинамических параметров. Трибосистема выступает в роли открытой системы в материалах которой число электронов и ионов является переменным. Количественная и качественная сторона электронов и ионов формирует энергетические уровни поверхностных и подповерхностных слоев металлополимерных пар трения с их полями. Последние могут быть «сильными» и «слабыми» и исчезать как на короткий так и длительный промежуток времени, и появляться снова, но уже с другими функциями.



Рис. 1. Структурная схема воздействия совокупности полей на изменение энергетических уровней рабочих слоев фрикционных узлов при электротермомеханическом трении

Расчетная модель оценки температуры в зоне фрикционного контакта должна учитывать не только дискретный характер контакта, вызывающий импульсные электрические и тепловые токи, поверхностный и объемный нагрев материалов микровыступов при их электротермомеханическом трении, но и природу их зарождения, развития и прекращения действия. Максимальную температуру представим в виде $t_{\max} = t_{\text{всп}} + t_o + t_v + t_{cp}$, где $t_{\text{всп}}$ – температура вспышки; t_o , t_v – температуры: начальная и объемная перед очередным фрикционным взаимодей-

ствием; t_{cp} – средняя температура поверхности трения. При этом суммирование составляющих генерируемых токов [9] на фрикционном контакте применимо до тех пор, пока сохраняется дискретность контакта и фактическая площадь (A_a) контактирования мала по сравнению с номинальной (A_r) ($A_r \ll A_a$).

Сила тока, генерируемая на микровыступах металлополимерных пар трения, определяется по зависимости [10]

$$I = \sqrt{\frac{t_{\max} \alpha_T I_K}{R_K \rho}}, \quad (2)$$

где $t_{\max}$ – максимальная температура на пятне контакта микровыступов, °C; α_T – коэффициент внешней теплоотдачи, Вт/(м²·°C); R_K – термическое сопротивление контакта, °C/Вт; ρ – удельное электрическое сопротивление, (Ом·мм²)/м; I_K – длина контакта, мм.

В работе [9] показано, что генерируемый в цепи за счет трибо-ЭДС ток I_ϕ будет алгебраической суммой токов:

$$I_\phi = I_{CK} + I_M + I_D + I_T + I_P, \quad (3)$$

где I_{CK} , I_M , I_D , I_T , I_P – токи, возникающие за счет: электризации скольжения и контакта; движения заряженных частиц фрикционного массопереноса; сорбционно-десорбционных процессов в приповерхностных слоях контакта; термического, обратного заряда, возникающего при разрушении фрикционного контакта (импульсный ток).

Расхождение между величинами токов, полученными по зависимости (2) (с учетом $t_{\max}$) и экспериментальным путем (зависимость (3)) составляет 25 – 30%.

Таким образом, для генерирования электроимпульса на пятнах контактов микровыступов необходимо чтобы природа контакта была дискретной. Кроме того, необходимо помнить, что с увеличением площади фрикционного взаимодействия увеличивается электризация их поверхностей. При этом трибоэлектричество возникает за счет перехода электронов из приповерхностного слоя металлического фрикционного элемента в приповерхностный слой фрикционных накладок.

Неравномерная нагруженность боковых поверхностей микровыступов металлополимерных пар трения фрикционных узлов требует постановки и решения контактной задачи взаимодействия в смешанном решении [11]. Для построения алгоритма системы интегральных уравнений, заданный в каждой из зон отрыва, нагруженного и ненагруженного контакта, границы между которыми сначала неизвестны, используется представление по осевой координате в каждый момент времени контактных удельных нагрузок и функции, пропорциональные электрическим и тепловым токам на поверхностях взаимодействия, отрезками ряда полиномов Лагерра, а также методы начальной колокации и последовательного уточнения контактных условий.

Зазор между микровыступами, т.е. их боковые поверхности, с высокой $h_{\phi\phi}$ необходимо рассматривать как химический реактор, на стенках которых протекают гетерогенные химические реакции с образованием окисных пленок. При этом необходимо пользоваться соотношением $z / h_{\phi\phi}$ (относительная координата в направлении нормали к потокам токов омывающей среды и компонентов выгорающих элементов с подповерхностного слоя полимерной накладки).

В табл. 1 приведены зависимости (4) – (8), предложенные А. В. Чичинадзе [3],

для оценки эффективности фрикционных узлов тормозных устройств.

Таблица 1

Расчетные зависимости для оценки эффективности фрикционных узлов тормозных устройств

Название оценочного параметра	Расчетная зависимость
Удельная энергоемкость металлических элементов трения	$E = F_{TP} / \Delta t;$ (4) $A_{TP} = f p A \vartheta.$
Эффективность фрикционных узлов тормозных устройств:	
коэффициент стабильности	$\alpha_{cm} = \frac{M_{cp}}{M_{max}} = \frac{f_{cp}}{f_{max}};$ (5)
коэффициент колебания тормозного момента	$\gamma = \frac{M_{min}}{M_{max}} = \frac{f_{min}}{f_{max}};$ (6)
коэффициент эффективности торможения	$\beta_{эф} = \alpha_{cm} / \tau_{T_i}^2;$ (7)
коэффициент приведенной эффективности торможения	$H_{эф} = \frac{n \cdot \alpha_{cm}}{\Delta g_i \cdot \tau_{T_i}}.$ (8)

В приведенных зависимостях в табл.1 применены следующие условные обозначения: A_{TP} – работа трения; f – динамический коэффициент трения скольжения; p – удельные нагрузки в паре трения; ϑ – скорость скольжения в паре трения; M_{min}, M_{cp}, M_{max} – тормозные моменты: минимальный, средний и максимальный; f_{min}, f_{cp}, f_{max} – динамические коэффициенты трения: минимальный, средний и максимальный; τ_{T_i} – время i -го торможения; n – количество циклических торможений; Δg_i – массовый износ рабочих поверхностей после i -го торможения.

Однако, представленные зависимости (4) – (8) не учитывают взаимодействие энергетических полей в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок, которое не должно влиять на строгую последовательность протекания процессов, связанных с их эксплуатационными параметрами.

Определение эксплуатационных параметров в ленточно-колодочных тормозах буровых лебедок. В ленточно-колодочных тормозах буровой лебедки при квазилинейном или полиномиальном законе изменения частоты вращения тормозного шкива от установившегося значения до нуля при спуске загруженного элеватора определение его эксплуатационных параметров, сведенных в первую группу, выполняют в следующей последовательности:

- оценивают режим вращения тормозного шкива;
определяют:
- время торможения;
- натяжение набегающей ветви тормозной ленты;
- максимальные и минимальные удельные нагрузки в парах трения;
- тормозной момент, который развивают фрикционные узлы;
- коэффициент запаса тормозного момента;
- энергоемкость фрикционных узлов;
- коэффициент полезного действия тормоза.

Значение эксплуатационных параметров, которые включены во вторую группу, определяют в следующей последовательности:

- коэффициент запаса прочности для сечения тормозной ленты;
- деформации тормозной ленты при размещении на дуге ее охвата фрикционных накладок с переменным и постоянным шагом;
- оценивают общую деформацию элементов тормозной системы, радиальные деформации накладки;

Определение эксплуатационных параметров, составляющих третью группу, выполняют в следующей последовательности:

- теплота, температуры и ее распределение по толщине и рабочей поверхности обода шкива при квазилинейной или полиномиальной закономерностях изменения удельных нагрузок во фрикционных узлах тормоза;
- темпы нагревания и охлаждения элементов пар трения;
- оценка скоростных токов омывающего воздуха и компонентов омывающей среды;
- интенсивность тепловыделения от полированной и матовой поверхностей шкива;
- коэффициенты распределения тепловых потоков между парами трения тормоза.

Вычисление проводят при квазилинейных или полиномиальных законах изменения: частоты вращения тормозного шкива от установившегося значения до нуля; деформаций тормозной ленты и количества генерируемой, аккумулированной и рассеиваемой теплоты от фрикционных узлов при спуске элеватора.

Закономерность износа рабочих поверхностей фрикционных накладок (четвертая группа) аналогична закономерности изменения удельных нагрузок в парах трения тормоза.

Выводы. Таким образом, проиллюстрировано взаимодействие энергетических полей в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок и показаны их комбинации.

Список литературы

1. Поверхностная прочность материалов при трении / Под. общ. редакц. Б. И. Костецкого. – К.: Техника, 1976. – 296с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.
3. Трение, износ и смазка / Под. общ. редакцией А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 576с.
4. Контактно-импульсное взаимодействие материалов типа «металл-металл» и «полимер-полимер» в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, С. И. Крыштопа, Д. Ю. Журавлев, Н. М. Стебелецкая // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2013. – №5(2). – С.29 – 41.
5. Темпы нагревания металлополимерных пар трения при импульсном и длительном подводе теплоты в ленточно-колодочном тормозе / А. Х. Джанахмедов, А. И. Вольченко, Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко, Н. М. Стебелецкая// Научно-техн. журнал. – Киев: НАУ. – №2(61). – 2013. – С20 – 30.
6. Диплом №444 на открытие «Явление тепловой стабилизации в металлополимерных парах трения» от 18.01.2013г. авторов А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко. – М.: Международ. академ. авторов научн. открыт. и изобрет. – Экспертиза заявки на открытие № А – 558 от 05.09.2012г.
7. Ленточно-колодочные тормозные устройства. Монография в 2 т. Т.1 / [А. А. Петрик, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, В. Я. Малык, П. А. Поляков]; под общ. ред. А. А. Петрика. – Краснодар: Из-во Кубанск. государств. технолог. ун-та, 2009. – 276 с.
8. Ленточно-колодочные тормозные устройства. Монография (научное издание) в 2 т. Т.2 / [Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко, С. И. Крыштопа, Д. Ю. Журавлев,

А. В. Возный]. – Кубанск. госуниверсит. технолог. ун-т. – Краснодар – Ивано-Франковск, 2013. – 441 с.

9. Вольченко Д.А. Научные основы управления износ-фрикционными свойствами металлополимерных пар трения тормозов для предотвращения термостабилизационного явления: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.04 / Вольченко Дмитрий Александрович. – Киев, 2012. – 424с. – На укр. яз.

10. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия / И.Г. Горячева – М.: Наука, 2001. – 478 с.

11. Краснюк П.П. Термоупругие задачи для двухслойных систем с нестационарным фрикционным теплообразованием: дисс. ... канд. физико-математ. Наук: 01.02.04 / Краснюк Петр Петрович. – Киев, 1999. – 296с. – На укр. яз.

Стаття надійшла до редакції 01.07.2014

Д. О. ВОЛЬЧЕНКО

ВЗАЄМОДІЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОЛІВ У МЕТАЛОПОЛІМЕРНИЙ ПАРАХ ТЕРТЯ СТІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ БУРОВИХ ЛЕБІДОК

У даній статті наведено визначення полів, що виникають в металлополімерних парах тертя стрічково-колодкового гальма і проілюстровані їх комбінації у відкритих термодинамічних системах при дискретному контакті.

Ключові слова: фрикційне взаємодія, пари тертя, поля: механічне, електричне, магнітне, теплове і хімічне; комбінація полів, стрічково-колодкового гальма, експлуатаційні параметри.

D. O. VOLCHENKO

INTERACTION OF ENERGY FIELDS IN METALL-POLYMER FRICTION PAIRS OF BAND-BLOCK BRAKES OF DRAWWORKS

We've illustrated the definition of fields arising in metal-polymer friction pairs of band-block brake and combinations thereof in open thermodynamic systems at discrete contact. We have considered the following questions: fields arising from the frictional interaction of metal-polymer friction pairs; combination of fields in open thermodynamic systems of metal-polymer friction pair considering contacting discreteness; determination of operational parameters in band-block brakes of drawworks.

Keywords: frictional interaction, friction pair, fields: mechanical, electrical, magnetic, thermal and chemical; combination of fields, band-block brake, operation parameters.

Вольченко Дмитрий Александрович – д-р техн. наук, профессор кафедри разработки нефтяных и газовых месторождений, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская, 15, г. Ивано-Франковск, Украина, 76019, E-mail: vol21@ukr.net.