

УДК 621.891

В. Я. МАЛЫК

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

ФИЗИКО-ТЕРМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ ПРИ ФРИКЦИОННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗАХ (часть первая)

Физико-термические явления при фрикционном взаимодействии в ленточно-колодочных тормозах рассмотрены применительно к: химическому потенциалу, термической деструкции, температуре вспышки и тепловому пробую.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, металлополимерная накладка, поверхностный и подповерхностный слой, химический потенциал, температуры: деструкции и вспышки; тепловой пробой пленок.

Введение. Фрикционные пары ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки относятся к открытым термодинамическим системам. Указанная система обменивается энергией и газообразным веществам со скоростными токами компонентов омывающей среды, изменяя при этом состав и свойства поверхностных и подповерхностных слоев металлополимерных пар трения. Все это и определяет прочность и защитную способность возникающих вторичных структур на взаимодействующих поверхностях трения в результате совместного действия механических, электрических, тепловых, магнитных и химических процессов. Последние являются, в основном, внутренними в связи с диссипацией механической энергии в тепловую. Закономерность указанного преобразования определяется свойствами и структурами трибоматериалов, характером нагружения и скоростными токами компонентов омывающей среды.

Одним из условий надежной работы фрикционных узлов тормоза является ограничение действующих поверхностных температур при максимально реализуемом тормозном моменте. При аperiодическом режиме работы тормоза во время пауз их пары трения не успевают охладиться до температуры, которая была перед началом торможения, т.е. темп нагревания в десятки раз превышает темп охлаждения. Поэтому в тормозных устройствах подъемно-транспортного оборудования, а также транспортных средств, пары трения должны быть энергоемкими, способными не допускать развития на поверхности трения температур, выше допустимых для данных фрикционных материалов полимерной накладки.

Однако до сего времени в многочисленных работах [1 – 10 и др.] отсутствует четкое представление о тепловом равновесии между скоростными токами компонентов омывающей среды и энергоемкими поверхностями элементов фрикционных узлов тормоза. Наиболее слабым звеном последних является полимерная накладка, поверхностные и подповерхностные слои которой претерпевают фазовые переходы первого и второго рода, вызывающие их термическую деструкцию [1; 6]. Температура вспышки при фрикционном взаимодействии, как контактно-импульсный электротермомеханический процесс, существенно влияет на износ-фрикционные свойства металлополимерных пар трения [2; 7; 9]. На износ рабочих поверхностей накладок существенное влияние оказывает тепловой пробой их пленок, являющихся вторичными структурами первого и второго рода [4; 6].

Энергетические поля при электротермомеханическом трении в металлополимерных парах ленточно-колодочного тормоза. Известно, что пластмас-

сы являются прогрессивными материалами для фрикционных накладок ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки и позволяют снизить их вес, повысить технико-экономические показатели, а в ряде случаев увеличить срок службы металлополимерных пар трения. При этом важно заметить, что полимерные накладки являются хорошими фрикционными материалами, обладающими высокой износостойкостью, особенно при режимах сухого и граничного электротермомеханического трения.

Однако диапазон использования полимерных накладок еще сравнительно ограничен и не отвечает увеличивающимся скоростям спуска колонны бурильных труб в скважину, поскольку на их поверхностях генерируются электрические и тепловые токи, способствующие возникновению температур на рабочих поверхностях накладок выше допустимых для их материалов, что существенно снижает эффективность действия металлополимерных пар трения тормоза при электротермомеханическом трении.

Одна из причин этого – отсутствие обоснованных методов оценки комплексного воздействия в зоне трения динамических, электрических, электромагнитных, тепловых и химических полей на износо-фрикционные свойства и закономерности электротермомеханического воздействия пятен контактов микровыступов металлополимерных пар трения тормоза с учетом закономерностей изменения физико-химических свойств их поверхностных и подповерхностных слоев от температур (поверхностных, вспышки и объемной) и температурных градиентов (на поверхности и по толщине фрикционных элементах) при раздельном влиянии каждого из вышеперечисленных полей.

Исследование по определению влияния температур и их градиентов на физико-механические свойства полимерных материалов металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки позволяет наметить практические мероприятия по повышению надежности их узлов при электротермомеханическом трении.

При взаимодействии шероховатых поверхностей, т.е. микровыступов металлополимерных пар трения, соприкосновение их осуществляется лишь в отдельных точках, являющихся пятнами контактов, которые находятся во фрикционном взаимодействии непродолжительное время, порядка $10^{-7} - 10^{-8}$ и носят импульсный характер. На единичных пятнах контактов генерируются электрические и тепловые токи, способствующие аккумулярованию тепловой энергии на их площадях взаимодействия. На начальной стадии электротермомеханического трения подвод энергии носит импульсный характер, а в дальнейшем с увеличением площадей пятен контактов микровыступов приобретает характер длительного подвода энергии. Импульсный подвод энергии к поверхностным и подповерхностным слоям металлополимерных пар способствует неравномерному распределению энергии на поверхностях фрикционного взаимодействия, что и вызывает формирование поверхностного градиента температур, который с увеличением энергонагруженности поверхностей увеличивается. При попадании металлического фрикционного элемента в стабилизационную зону происходит квазивыравнивание поверхностных и по толщине температурных градиентов. В то же время поверхностные слои полимерной накладки претерпевает термодеструкционные изменения фазовыми переходами первого и второго рода, энергетически подпитывая рабочую поверхность металлического фрикционного элемента за счет интенсивной инверсии тепловых токов.

При электротермомеханическом трении величины температурных градиентов на поверхности и по толщине элементов фрикционных узлов являются функциями не только поверхностных температур, но и температур между их слоями, зависящими от коэффициентов температуро- и теплопроводности их материалов, коэффициентов теплоотдачи от поверхностей элементов трения. При этом немаловажную роль в процессах аккумуляции и рассеивания теплоты отводится особенностям конструкции пар трения тормоза.

Последние определяют интенсивность вынужденного охлаждения поверхностей пар трения как при взаимодействии со скоростными токами омывающего воздуха, так и компонентами газовых сред, возникающими в межконтактном зазоре.

Перечисленные теплофизические параметры существенно влияют на величины коэффициентов распределения тепловых потоков между парами трения. При этом весь металлический фрикционный элемент является аккумулятором энергии, а вся полимерная накладка как изолятор явно недогружена энергией. Поэтому исследователи и ставят перед собой задачу увеличить до 20 % прием энергии всей накладкой от общего количества генерируемой. В настоящее время поверхностные и подповерхностные слои накладки принимают всего 5–7 % энергии.

Поэтому при рассмотрении тепловой задачи применительно к металлополимерным парам трения необходимо оперировать не только принципом суперпозиции «нагревание–охлаждение» их поверхностей, но и величинами коэффициентов распределения тепловых потоков между трущимися сопряжениями.

Химический потенциал в открытых термодинамических системах металлополимерных пар трения. Установим взаимную связь между трибосистемой, которой являются фрикционные узлы тормоза и их термодинамическим состоянием. Трибосистема выступает в роли открытой системы, в которой число электронов и ионов изменяется. Напомним, что в термодинамике условием равновесия между открытыми системами является не только равенство температур, но и равенство химических потенциалов μ . Химический потенциал – интенсивная величина, которая определяется следующим образом:

$$\mu = \left(\frac{\partial A}{\partial (N)} \right)_{TV}, \quad (1)$$

где ∂A – полный дифференциал свободной энергии

$$dA = -SdT - PdV + \mu d(N);$$

(N) – наблюдаемое число электронов и ионов; T, P, V – температура, давление, объем; S – энтропия.

Четыре наиболее общеупотребимых термодинамических потенциалов E, H, A, G (E – энергия подсистем; H – гамильтониан (полная энергия системы) $H(q_i, p_i)$, где q_i – обобщенная координата; p_i – обобщенные импульсы; G – свободная энтальпия) соответствуют описанию подсистемы в переменных $(S, V, \langle N \rangle)$, $(S, P, \langle N \rangle)$, $(T, V, \langle N \rangle)$ и $(T, P, \langle N \rangle)$. Воспользуемся описанием в котором экстенсивная переменная $\langle N \rangle$ заменяется сопряженной с ней интенсивной переменной μ . Для построения термодинамического потенциала в переменных (T, V, μ) можно поступать так же, как при выводе, скажем, свободной энтальпии (энергии Гиббса) $G(T, P, \langle N \rangle)$ из свободной энергии $A(T, V, \langle N \rangle)$, т.е. воспользоваться «преобразованием Лежандра».

Рассмотрим фрикционные пары ленточно-колодочного тормоза как трибосистему с ее составляющими – подсистемами. Остановимся на каждой из подси-

стем. Первой подсистемой является внешняя поверхность обода тормозного шкива, омываемая скоростными токами охлаждающего воздуха. Второй подсистемой является внутренняя поверхность обода тормозного шкива, взаимодействующая со скоростными токами компонентов омывающей среды. В качестве третьей подсистемы выступает поверхностный и подповерхностный слой полимерной накладки, взаимодействующие со скоростными токами компонентов омывающей среды. Четвертой подсистемой является взаимодействие тормозного шкива с его крепежным выступом.

Рассмотрим теплонагруженность металлополимерных пар трения при температурах ниже и выше допустимой для материалов фрикционной накладки.

До температуры ниже допустимой для материала накладок пар трения тормоза преобладает, в основном, вынужденный конвективный теплообмен от поверхностей металлического фрикционного элемента. После превышения допустимой температуры для материала накладок пар трения тормоза уже преобладает лучистый теплообмен (перенос теплоты осуществляется электромагнитными волнами). В это время происходит выгорание связующих компонентов из приповерхностных слоев накладок. Идущая термохимическая реакция с точки зрения энергетики является слабой, так как она носит эндотермический характер. Согласно электронно-ионной теории о двойном электрическом слое в это время формируются два двойных электрических слоя. Первый – на полированной поверхности металлического фрикционного элемента и рабочих поверхностях накладок. Второй охватывает рабочие поверхности фрикционных накладок (которые не взаимодействуют с полированной поверхностью металлического фрикционного элемента) и нижний уровень их приповерхностного слоя. В то же время на контактных поверхностях пар трения происходит непрерывное образование «жестких» и «мягких» окисных пленок, частично экранируемых взаимным массопереносом, и являющимися соединительными мостиками термоэлементов в микротермобатареях. При этом зарождается тепловое равновесие между металлическими фрикционными элементами и его боковой стенкой или крепежным выступом из-за перераспределения теплоты между ними на основе темпов нагревания.

Однако при этом необходимо учитывать условие теплового равновесия, которое требует, как известно, наряду с постоянством температуры также и постоянства вдоль среды суммы $\mu + U$, где μ – химический потенциал частиц, а U – их энергии во внешнем электрическом поле. В данном случае речь идет о равновесии по отношению к электронам, так что под μ надо понимать их химический потенциал, а $U = -e\varphi$, где φ – потенциал электрического поля. Соответственно этому, электрический ток j_1 и диссипативный поток энергии q' обращаются одновременно в ноль лишь при условиях $\mathcal{G}_1 = const$, $\mu - e\varphi = const$, т.е. при $\nabla \mathcal{G}_1 = 0$, $\nabla \mu + eE = 0$. Выражение для j_1 и q' записывают в виде следующих соотношений, удовлетворяющих указанному условию:

$$E + \frac{1}{e} \nabla \mu = \frac{1}{\sigma} j_1 + \alpha \nabla \mathcal{G}_1, \quad (2) \quad q' = q - \left(\varphi - \frac{\mu}{e} \right) j_1 = \alpha \mathcal{G}_1 j_1 - \chi \nabla \mathcal{G}_1, \quad (3)$$

где σ – электрическая проводимость среды; χ – коэффициент теплопроводности; α – термоэлектрический коэффициент; соотношение между коэффициентами $\nabla \mathcal{G}_1$ в (2) и j_1 в (3) – следствие принципа Онсагера. Величина $(\varphi - \mu/e)j_1$, вычтенная из полного потока энергии, представляет собой плотность конвективного потока энергии.

Последнюю и необходимо учитывать при оценке термостабилизационного состояния металлического фрикционного элемента в тормозных устройствах.

Указанное стабилизационное тепловое состояние ободов поддерживается возникновением в элементарных объемах приповерхностных слоев фрикционных элементов множества микротермобатарей, создающих внешние и внутренние электрические поля с различными двойными электрическими слоями, и работающими в режимах микротермоэлектрогенераторов и микротермоэлектрохолодильников, а при преобладании внутреннего электрического поля происходит инверсия токов от приповерхностного слоя барабана в приповерхностные слои накладок.

Температура начала интенсивной термической деструкции полимерных фрикционных накладок. Известно, что наиболее часто термостойкость оценивается с помощью термогравиметрического анализа полимерных материалов. Термогравиметрические кривые проиллюстрированы на рис. 1 показана зависимость константы скорости процесса термодеструкции от температуры [6].

Температуру начала интенсивной термодеструкции T_d определяют по пересечению касательных к двум ветвям термогравиметрической кривой. Из рис. 1, б следует, что при некоторой характерной температуре наблюдается катастрофическое увеличение константы скорости, и как следствие, начинается интенсивная термическая деструкция. Последняя протекает в весьма узком интервале температур и поэтому температура термической деструкции выбирается внутри данного интервала. Известно, что указанная температура несколько зависит от темпа нагревания в условиях термогравиметрического анализа и от скоростных токов компонентов омывающей среды, в которой происходит нагревание поверхностей пятен контакта полимерной накладки.

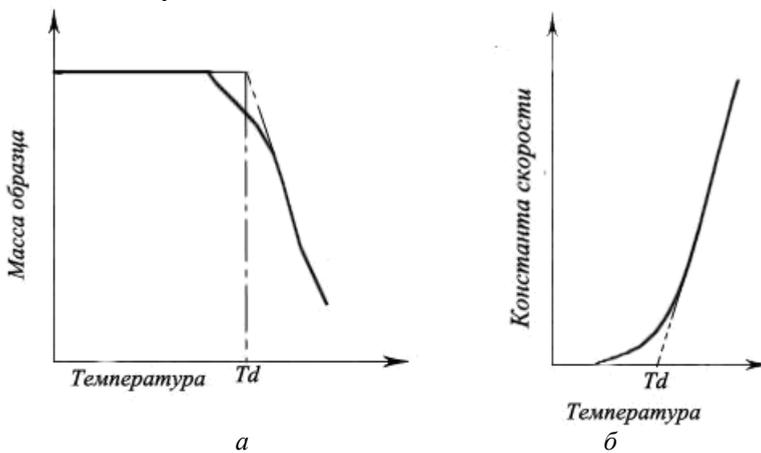


Рис. 1. Схематическое изображение: а – термогравиметрической кривой полимера; б – зависимости константы скорости процесса термодеструкции от температуры

Обычно процесс деструкции рассматривается как кинетический эффект. Последний играет существенную роль за конечный промежуток времени при переходе электронов, образующих валентные связи, из устойчивого состояния в неустойчивое.

Известно, что в процессе деструкции происходит диссипация химических связей. Если представить повторяющееся звено полимеров в виде набора ангармонических осцилляторов, образованных термодеструкции, как допустимую температуру, при которой происходит потеря устойчивости ангармонического осциллятора. При этом с термодинамической точки зрения указанное явление пред-

ставляет собой температуру фазового перехода первого рода, и следовательно, рассматривать термодеструкцию как фазовый переход. Это явление отличается от фазового перехода в простых термодинамических системах, для которых характерна обратимость фаз. Последняя в данном случае отсутствует, так как из продуктов деструкции нельзя вновь получить полимер вынужденным охлаждением поверхности накладок.

По данным А.М. Джанахмедова и А.И. Вольченко термодеструкция материалов поверхности фрикционной накладки ФК-24А наступает при температуре 390°C. Что касается химического состава фрикционных материалов для накладок, то они высветлены в работе [4; 9].

Температура вспышки при фрикционном взаимодействии как контактно-импульсный процесс. Процессу трения металлополимерных пар в ленточно-колодочном тормозе, как электротермомеханическому фрикционному взаимодействию, кроме изнашивания сопутствуют другие сложные физико-химические процессы при содействии скоростных токов компонентов омывающих сред, которые интенсифицируются за счет генерирования электрической и тепловой энергии. При этом происходит диссипация электрической энергии в тепловую, аккумулируемую в подповерхностных слоях металлополимерных пар трения. Суммирование составляющих генерируемых токов на фрикционном контакте применимо до тех пор, пока сохраняется дискретность контакта и фактическая площадь контактирования мала по сравнению с номинальной ($A_r \ll A_n$).

Таким образом, для генерирования электроимпульса на пятнах контактов микровыступов необходимо чтобы природа контакта была дискретной и при определенной его площади имел место трибоэффект. Последний и является одной из оставляющих зарождения температуры вспышки на пятне контакта микровыступов. Дефекты поверхностей и неоднородность физической структуры оказывает существенное влияние на микросвойства пятен контактов микровыступов, происходящих в масштабах их контурных площадок. Подход к температуре вспышки при фрикционном взаимодействии как к контактно-импульсному процессу вызывает значительные трудности, поскольку существующие модели теории теплопередач носят детерминированный характер.

Контактно-импульсный процесс зарождения и развития температуры вспышки имеет случайный характер и его можно представить в трех аспектах, а именно:

- в статической стабильности максимальной величины температурной вспышки;
- в природе динамики процесса вспышки;
- в динамике распространения теплоты в зоне вспышки.

Явление ползучести материалов контурной площадки со статистически стабильной скоростью V_r задает необходимое условие в отношении математического ожидания [9] для максимальной температуры на волне определенной кривизны $m(t_c) = const$. При этом в детерминированных моделях можно принять для равновесной температуры на волне $t_c = const$ с учетом химического потенциала скоростных токов омывающей среды.

Стабильность процессов на волне предопределяется закономерностями нагружения пятен контактов микровыступов и как следствие, равновесность температуры на волне t_c , обусловленное предельным состоянием пластической деформируемостью материала пятен контактов. Поэтому в очаге вспышки следует принимать для моделей:

статической – $m(t_g^M) = const$;

детерминированной – $t_g^M = const$.

Для пятен касания с равновесной геометрией из сверхпластического материала, величина диссипированной на пятне контакта энергии составляет:

$$\Delta E_m = K_E \Delta t_g^M = const,$$

где K_E – постоянная для пары трения, зависящая от удельной нагрузки.

Температурное поле в зоне вспышки с выбранной системой координат для пятен контактов по данным И. В. Крагельского запишется следующим образом:

$$\Delta t = \frac{\xi \Delta E_m^*}{K(\pi \alpha \tau)^n} e^{-r^2/4\alpha\tau}, \quad (4)$$

где α – коэффициент температуропроводности; r – расстояние от вспышки; τ – время (остальных параметров расшифровка приведена ниже).

В безразмерной форме зависимость (4) имеет вид

$$\Delta t_g = \frac{\Delta t_g}{\Delta t_g^M} = \left[\frac{\pi}{3} K_\phi \frac{\Delta l^3}{(\pi d t)^n} \right] e^{-r^2/4\alpha\tau}, \quad (5)$$

В зависимости (5) пятно моделируется сферой малых размеров с радиусом равным $\sim K_\phi \Delta l$.

Коэффициент ξ учитывает неравномерность распределения удельных нагрузок по поверхности пятна контакта; в центре контурной площадки $\xi > 1,0$, на ее границе $\xi \rightarrow 0$. Параметры K и n являются статистическими и характеризуют свойства пары, связанные с контактно-импульсным взаимодействием ее микровыступов, а также с наличием дефектов структуры поверхностей, на которых происходит вспышка. Диапазон изменения этих параметров для реальных площадок контактов микровыступов задается из следующих соображений. Если вспышка (соударение на пятне) происходит в зоне контакта вдали от дефектов, то $K = 8,0$, $n = 1,5$; для вспышки, окружающей по периметру глубокой трещиной, $K = 2,0$, $n = 0,5$.

Из анализа структуры зависимостей (4 и 5) следует, что при электротермомеханическом трении реальных пятен контактов микровыступов (с эффектом электроимпульсов и с дефектами структуры) их теплонагруженность выше и более неравномерная, чем это следует из уравнения теплопередачи для модели пространства – континуума. Предварительный эффект электроимпульсов и дефекты структуры являются дополнительными факторами, ужесточающими энергонагруженность пары.

Параметр ΔE_m отражает интенсивность вспышки усиленной эффектом электроимпульсов на пятнах контактов микровыступов при их фрикционном взаимодействии. В контакте при электротермомеханическом трении участвуют два элемента – тело и контртело, влияние физических свойств, которых учитывается коэффициентом a , а влияние дефектов структуры – коэффициентом K . Величина ΔE_m для каждого из элементов пары определяется из решения задачи о «теплораспределении» в паре [10].

Тепловой пробой пленок полимерных накладок. При фрикционном взаимодействии микровыступов металлополимерных пар трения возникает переменное электрическое поле, которое вместе с трибоэффектом способствует разогреву поверхностных и подповерхностных слоев полимерной накладки. Возникающие при электротермомеханическом трении переменные напряжения способствуют

интенсификации нагревания поверхностных и подповерхностных слоев полимерной накладке, которое пропорционально диэлектрическим потерям. Вследствие нагревания указанных слоев накладки растет их проводимость, а, таким образом, поверхностный слой, имеющий переменную толщину, разогревается при дальнейших торможениях до тех пор, пока в минимальных по площади поперечных сечениях не произойдет пробой тепловым током. Развитие теплового пробоя зависит также от теплоотводящей способности поверхностей полимерных слоев накладок.

Часть электрической энергии, генерируемой в единице объема материалов поверхностного слоя накладки, расходуется на повышение теплосодержания, другая часть энергии в виде теплоты распространяется с помощью эффекта теплопроводности:

$$\sigma E^2 = c_V \left(\frac{dT}{d\tau} \right) - \operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T), \quad (6)$$

где σ – электропроводность материалов слоя накладки при переменном токе; c_V – теплоемкость единицы объема; dT/dt – темп изменения температуры во времени; λ – коэффициент теплопроводности.

Получить общее решение указанного уравнения невозможно, поскольку σ , c_V , λ являются функциями температуры. Приближенное численное решение показывает, что температура выше всегда на пятнах контактов микровыступов металлополимерных пар трения, нежели у их оснований, и при этом температура растет от торможения к торможению, что резко снижает электрическую прочность слоя или пленки до возникновения пробоя (если раньше не произойдет плавления или химической деструкции). Чем больше толщина слоя накладки или образовавшейся на ней пленки и чем больше площадь поверхности слоя накладки, тем хуже теплоотвод, поэтому при тепловом пробое имеет место четкая зависимость электрической прочности от толщины, которая снижается с увеличением толщины. Поэтому, когда в справочной литературе приводятся значения электрической прочности, необходимо указывать и толщину слоя накладки или ее пленки, на которых она определялась, а также вид импульсного тока – постоянный или переменный.

Тепловой пробой наиболее часто происходит при повышенной температуре и высоких частотах колебаний микровыступов металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза.

Вывод. Таким образом, проиллюстрированы физико-химические явления при электротермомеханическом трении в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза и показана их взаимосвязь в едином энергетическом поле.

Список литературы

1. Лучейкин Г.А. Методы исследования электрических свойств полимеров / Г.А. Лучейкин. – М.: Химия, 1988. – 160 с.
2. Колесников В.И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах / В.И. Колесников. – М.: Наука, 2003. – 279 с.
3. 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. госуниверситет. технолог. ун-ет. – Краснодар – Ивано-Франковск, 2013. – 441 с.
4. Крагельский И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1986. – 480 с.

5. Джанахмедов А.Х. Темпы нагревания металлополимерных пар трения при импульсном и длительном подводе теплоты трения в ленточно-колодочном тормозе [А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Д.А. Вольченко и др.] // Проблемы трения и износа: научн. – техн. сб. – К.: НАУ, 2013. Вып. 2(61). С. 20 – 28.
6. Аскадский А.А. Химическое строение и физические свойства полимеров / А.А. Аскадский, Ю.И. Матвеев. – М.: Химия, 1983. – 248 с.
7. Фрикционные узлы / [А.А. Петрик, Н.А. Вольченко, П.Ю. Пургал, Д.А. Вольченко] Монография (научное издание). В 2-х томах. Том 1. Кубанск. государств. технолог. ун-т (Россия). – Краснодар, 2003. – 220 с.
8. Градиентные полимерные материалы / [А.А. Аскадский, Л.М. Голенева, К.А. Бычко и др.] Рос. хим. ж. (Журнал. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева), 2001, т.XLV, №3. – С. 123 – 129.
9. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
10. 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.

Стаття надійшла до редакції 25.03.2014

В. Я. МАЛИК

ФИЗИКО-ТЕРМИЧНІ ЯВИЩА ПРИ ФРИКЦІЙНІЙ ВЗАЄМОДІЇ В СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМАХ (частина перша)

Фізико-термічні явища при фрикційній взаємодії у стрічково-колодкових гальмах розглянуті стосовно до: хімічного потенціалу, термічної деструкції, температури спалаху та теплового пробою.

Ключові слова: стрічково-колодкове гальмо, металлополімерна накладка, поверхневий та підповерхневий шар, хімічний потенціал, температури деструкції та спалаху, тепловий пробій плівок.

V. J. MALIK

PHYSICO-THERMAL PHENOMENA IN FRICTIONAL INTERACTION IN BAND-BLOCK BRAKES (part one)

Physical and thermal phenomena in friction interaction in band-shoe brakes are considered being applied to chemical potential, thermal degradation, flashpoint and thermal breakdown

Key words: band-shoe brake, metal-polymer strap, surface and subsurface layers, chemical potential, temperatures of degradation and flash, thermal breakdown of the membrane.

Малик Володимир Якович – канд. техн. наук, доцент кафедри нафтогазового обладнання Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.