

УДК 621.891

А. Х. ДЖАНАХМЕДОВ¹, А. И. ВОЛЬЧЕНКО², Д. А. ВОЛЬЧЕНКО²,
Н. А. ВОЛЬЧЕНКО³, Н. М. СТЕБЕЛЕЦКАЯ⁴

¹Национальная академия авиации, Азербайджан

²Ивано-Франковський національний технічний університет нафти і газу, Україна

³Кубанский государственный технологический университет, Россия

⁴Национальный авиационный университет, Украина

ТЕМПЫ НАГРЕВАНИЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ПАР ТРЕНИЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ И ДЛИТЕЛЬНОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛОТЫ В ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНОМ ТОРМОЗЕ

Показана взаимосвязь темпов нагревания металлического и полимерного элементов трения в ленточно-колодочном тормозе с градиентами температуры по их поверхностям и по глубине материалов при импульсном и длительном режимах подвода теплоты.

Ключевые слова: металлополимерные пары трения, ленточно-колодочный тормоз, поверхностный и приповерхностный слой, импульсное и длительное подведение теплоты, темп нагревания, градиенты температуры по поверхности и глубине фрикционных элементов.

Введение. При трении металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза одни шероховатые микровыступы скользят по другим, при этом касание между ними осуществляется лишь в отдельных точках, которые находятся в контакте весьма непродолжительное время – 10^{-7} – 10^{-8} с [1]. За это время на истинных пятнах касания появляются импульсные вспышки как электрических, так и тепловых токов. В контактирующих телах теплота, генерируемая на истинных пятнах контакта увеличивается за счет импульсных электрических токов, перетекающих вглубь тела, снижая градиент температуры по его толщине и поднимая при этом каждого из тел объемную температуру и тем самым их поверхностные градиенты. При этом в каждое из тел направляется различное количество теплоты, исходя из их энергоемкости, пропорционально коэффициенту распределения тепловых потоков $\alpha_{т.п}$ [2; 3; 4].

Состояние проблемы. Величина поверхностной температуры зависит не только от числа спускоподъемных операций, выполняемых ленточно-колодочным тормозом буровой лебедки, но и от физико-химических свойств приповерхностных слоев их металлополимерных пар трения. Установлено, что в начале спуска бурового инструмента генерируемая электрическая энергия, наряду с тепловой на поверхностях пар трения тормоза затрачивается на прогрев обода шкива. При этом прирост температуры в ободу шкива является минимальным, но зато в дальнейшем он возрастает за счет увеличения времени торможения и слабой вынужденной теплоотдачи от матовой поверхности шкива в окружающую среду. Причиной этого является увеличение работы торможения и полного прогрева обода шкива в процессе спуска колонны буровых труб в скважину.

В конце спуска колонны буровых труб механическая, электрическая и тепловая нагрузка возрастает и увеличивается время торможения, ведущие к трещинообразованию на поверхности обода шкива и разрушению поверхностного слоя материалов фрикционных накладок. При этом механическая нагрузка (нормальные силы, удельные нагрузки, динамический коэффициент трения, тормоз-

ной момент) не в такой степени влияют на энергетические уровни поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза по сравнению с многократной импульсной и длительной тепловой нагрузкой. В таких условиях важную роль приобретает проблема управления тепловыделением в парах трения ленточно-колодочного тормоза.

Оптимальное управление процессом тепловыделения при взаимодействии металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза. Управление процессом тепловыделения при взаимодействии металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза необходимо по следующим соображениям:

- ограничить количество теплоты, генерируемое ободом шкива, с целью уменьшения термических напряжений;
- снизить поверхностную температуру полимерной накладки ниже допустимой для ее материалов с целью предупреждения выгорания в них связующих компонентов;
- обеспечить работу фрикционных узлов с приемлемой энергонагруженностью с целью повышения износо-фрикционных свойств их приповерхностных слоев;
- установить взаимосвязь между темпом нагревания рабочей поверхности обода шкива и градиентом температуры как по его поверхности, так и по толщине.

Составим дифференциальное уравнение баланса теплоты (Q) при торможении фрикционными узлами ленточно-колодочного тормоза за время $d\tau$:

$$Qd\tau = cmd\Delta t + A_2\alpha_n\Delta t d\tau_1, \quad (1)$$

где c , m – теплоемкость материала и масса обода тормозного шкива; Δt – градиент температуры на поверхностях взаимодействия; A_2 – поверхность взаимодействия микровыступов полимерной накладки; α_n – коэффициент распределения теплоты, воспринимаемой приповерхностным слоем полимерной накладки.

Приращение темпа нагревания обода шкива составляет:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = \frac{1}{cm}(Q - A_2\alpha_n\Delta t). \quad (2)$$

С другой стороны генерируемая теплота при торможении идет на нагревание обода тормозного шкива и рассеивается от его полированной и матовой поверхности (A_1), баланс которого можно записать в виде:

$$Q - A_2\alpha_n\Delta t = A_1\lambda \frac{\partial \Delta t}{\partial r}, \quad (3)$$

где λ – коэффициент теплопроводности материала обода шкива; r – координата по радиусу обода шкива.

Правая часть уравнения теплового баланса (3) представляет собой теплоту, идущую в материал обода шкива на увеличение объемных температур при каждом торможении. Для предотвращения растрескивания поверхности обода шкива следует установить максимальную величину градиента температуры, величина которого также зависит от темпа нагревания обода шкива.

Таким образом, темп нагревания обода шкива является основным параметром как с точки зрения его нагревания, так и возникновения больших термических напряжений (в уравнение входит градиент температуры), которыми следует управлять при процессе торможения.

Для ободов тормозов, работающих в повторно-кратковременном режиме, необходимо знать максимальную величину Q , из-за которой возникают трещины на рабочих поверхностях ободов.

Полная работа торможения состоит из суммы работ поступательно и вращательно движущихся узлов ленточно-колодочного тормоза.

Считая, что во время торможения вся работа превращается в теплоту можно составить уравнение теплового баланса:

$$W \Rightarrow Q; \quad Q = \frac{mc\Delta t}{1 - \alpha_n}. \quad (4)$$

Составим уравнение управляемого объекта, принимая в качестве управляющего параметра $b \frac{\partial t}{\partial r}$; учитывая (4) в (3), получим [1]:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = \frac{A_n \lambda}{cm} \cdot \frac{\partial \Delta t}{\partial r} = b \frac{\partial \Delta t}{\partial r} = U(r, z_T, t), \quad (5)$$

где $b = \frac{A_n \lambda}{cm}$; z_T – координата по ширине обода шкива.

Вначале необходимо решить дифференциальное уравнение теплопроводности для цилиндрического диска обода шкива, находящегося в его средней части как наиболее энергонагруженного

$$\frac{\partial \Delta \vartheta}{\partial \tau} = a \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Delta t}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Delta t}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \Delta t}{\partial z_T^2} \right); \quad (6)$$

с начальным

$$\Delta t(r, z_T, 0) = 0 \quad (7)$$

и граничным (при $r = R$)

$$A_1 \lambda \frac{\partial \Delta t}{\partial r} + A_2 \alpha_n \Delta t = Q \quad (8)$$

условиями, которые учитывают процесс тепловыделения при торможении; где α – коэффициент температуропроводности материала обода шкива; r – текущий радиус обода шкива; R – радиус наружной поверхности шкива; $\frac{\partial \Delta t}{\partial r}$ – градиент температуры по радиусу.

Условия (7) и (8) необходимы и достаточны для решения дифференциального уравнения (6) с использованием обобщенного параметра.

Переходя к обобщенному параметру $x = \frac{r^2 + z_T^2}{d\tau}$ дифференциальное уравнение (6) представляем в следующем виде:

$$4x \frac{d^2 \Delta t}{dx^2} + (6 + x) \frac{d\Delta t}{dx} = 0. \quad (9)$$

Решение уравнения (9) имеет вид:

$$\frac{d\Delta t}{dx} = C_1 e^{-\frac{1}{4}x} x^{-\frac{3}{2}}; \quad dt = C_1 \int e^{-\frac{1}{4}x} x^{-\frac{3}{2}} dx + C_2, \quad (10)$$

где C_1, C_2 – постоянные дифференцирования.

Таким образом, использование обобщенного параметра позволяет вместо четырех граничных и одного начального условий использовать лишь два граничных условия, согласно (7) и (8), которая представляется в виде:

$$1. \Delta t(\infty) = 0;$$

$$2. C_1 \left[\frac{2R^2}{R^2 + z_T^2} \cdot \frac{e^{-\frac{1}{4}x_0}}{\sqrt{x_0}} - kBi \int_{x_0}^{\infty} e^{-\frac{x}{4}} x^{-\frac{3}{2}} dx \right] = \frac{QR}{A_1 \lambda}, \quad (11)$$

где $kBi = A_2 \alpha_n \tau / A_1 \lambda$; Bi – критерий Био; $k = A_2 / A_1$.

Из второго условия (10) определяем C_2 :

$$C_2 = -C_1 \left(\int_x^{\infty} e^{-\frac{x}{4x} - \frac{3}{2} dx} \right)_{x=\infty}; \quad (12)$$

подставляя второе уравнение (11), получаем:

$$C_1 = \frac{\frac{QR}{A_1 \lambda}}{\frac{2R^2}{R^2 + z_T^2} \cdot \frac{e^{-\frac{1}{4}x_0}}{\sqrt{x_0}} - kBi \int_{x_0}^{\infty} e^{-\frac{x}{4x} - \frac{3}{2} dx}}, \quad (13)$$

где $x_0 = \frac{R^2 + z_T^2}{d\tau}$.

Несобственный интеграл в выражениях (11, 12 и 13) можно представить в виде

$$\int_{x_0}^{\infty} e^{-\frac{x}{4x} - \frac{3}{2} dx} = \frac{2e^{-\frac{x}{4}}}{\sqrt{x}} - \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{\pi}} \cdot 2 \int_{\frac{\sqrt{x}}{2}}^{\infty} e^{-z^2} dz = \frac{2e^{-\frac{x}{4}}}{\sqrt{x}} - \sqrt{\pi} \operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{x}}{2} \right), \quad (14)$$

в котором последний член является интегралом вероятности Гаусса, имеющий вид

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{\sqrt{x}}{2}}^{\infty} e^{-z^2} dz = \operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{x}}{2} \right). \quad (15)$$

Для больших значений аргумента функцию (15) раскладываем в ряд и при этом с достаточной точностью ограничиваемся только двумя членами ряда:

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\sqrt{x_0}}{2} \right) = 2 \frac{e^{-\frac{x}{4}}}{\sqrt{\pi x_0}} \left(1 - \frac{2}{x_0} \right). \quad (16)$$

Учитывая (16) в выражении (13) и то, что $R^2 \gg z_T^2$ можно упростить постоянную C_1 и представить ее в виде:

$$C_1 = \frac{QR}{2A_1 \lambda} \cdot \frac{\sqrt{x_0} e^{-\frac{1}{4}x_0}}{\frac{R^2}{R^2 + z_T^2} + \frac{2kBi}{x_0}} \approx \frac{QR}{2A_1 \lambda} \cdot \frac{x_0 \sqrt{x_0} e^{-\frac{1}{4}x_0}}{x_0 + 2kBi}. \quad (17)$$

Подставляя (17) в (11) и после некоторых преобразований можно пролучить уравнение для управляющей функции:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = \frac{A_1 \lambda}{cm} \cdot \frac{\partial \Delta t}{\partial r} = \frac{QrR}{cm(R^2 + z_T^2 + 2kBi \cdot d\tau)}. \quad (18)$$

Однако, в зависимости (18) необходимо ввести величину δ , т.е. толщину поверхностного и приповерхностного слоев фрикционных элементов для более точной их оценки нагретости. Для этого воспользуемся подстановкой $a = \lambda/(c\rho)$ (где ρ – плотность фрикционных материалов) и $V = A_1 \delta$ (где V – объем фрикционного материала). В результате подстановок и преобразований получаем:

$$\frac{d\Delta t}{d\tau} = \frac{a_{uu}}{b_{uu}} \cdot \frac{\partial \Delta t}{\partial b_{uu}} = \frac{QrR}{cm(R^2 + z_T^2 + 2kBi \cdot d\tau)}. \quad (19)$$

Проведем анализ зависимости (18) по параметрам. Увеличение рабочей (полированной) площади обода шкива способствует росту его металлоемкости, и

как следствие, момента инерции. Увеличение коэффициента теплопроводности, а в месте с ним и температуропроводности материалов обода шкива вызывает быстрый прогрев по его толщине, и как следствие, уменьшение температурного градиента. Если обозначить постоянное слагаемое $\frac{A_i \lambda}{c t} = b$, то установим связь

между темпом нагревания ($\frac{d\Delta t}{d\tau}$) и градиентом температуры ($\frac{\partial \Delta t}{\partial b_{и}}$), имеющим место на рабочей поверхности обода шкива.

Что касается зависимости (19), то здесь несколько иная картина. Значение закономерности изменения коэффициента температуропроводности материалов обода шкива от температуры, а также времени проникновения теплоты в слой обода шкива позволяет более точно, нежели в первом случае, определять отношение ($a_{и}/b_{и}$). При этом используется зависимость, предложенная А.В. Чичинадзе, вида $b_{и.эф} = 1,73\sqrt{a_{и}\tau}$ (для обода шкива) и $b_{н.эф} = 1,73\sqrt{a_{н}\tau}$ (для полимерной накладки) для определения эффективной глубины проникновения теплоты в тело обода и накладки при длительном и импульсном режимах.

Проникновение теплоты в тело обода шкива и фрикционной накладки при длительном и импульсном режимах их нагружения. Результаты расчетов по вышеприведенным зависимостям с учетом изменения коэффициентов температуропроводности при температурах 150; 300 и 450°C позволили произвести анализ полученных данных при импульсном и длительном режимах подведения теплоты, которые свидетельствуют о следующем:

импульсном (обод шкива)

– при изменении $a_{и}$ в пределах $(0,87-1,08)10^{-5}$, м²/с – глубина проникновения теплоты колебалась от 0,051 мм до 0,22 мм, т.е. прогретым был приповерхностный слой обода шкива;

длительном (обод шкива)

– при изменении $a_{и}$ в пределах $(0,87-1,08)10^{-5}$, м²/с глубина проникновения теплоты колебалась от 5,1 мм до 22,02 мм, – т.е. была прогрета полностью толщина обода шкива;

импульсном (накладка)

– при изменении $a_{н}$ в пределах $(0,2-0,6)10^{-6}$, м²/с глубина проникновения теплоты составила от 0,008 мм до 0,052 мм, т.е. прогретым был поверхностный слой накладки;

длительном (накладка)

– при изменении $a_{н}$ в пределах $(0,2-0,6)10^{-6}$, м²/с глубина проникновения теплоты составила от 0,77 мм до 5,19 мм, т.е. прогретым был рабочий слой накладки.

При расчетах время изменялось следующим образом: при подведении теплоты: импульсном – от 0,0001 с до 0,0015 с; длительном – от 1,0с до 14,0с.

Таким образом, энергонагруженность обода тормозного шкива таковая, что эффективная глубина проникновения тепловых токов заведомо больше его номинальной толщины при длительном тепловом режиме нагрузки.

Взаимосвязь темпов нагревания с возникающими градиентами температуры на поверхностях взаимодействия и по толщине металлополимерных пар трения. Остановимся на результатах расчетов по зависимостям (18) и (19) темпов нагревания обода шкива и фрикционной накладки в процессе торможения при

импульсном и длительном режимах тепловой нагрузки их поверхностей и при проникновении теплоты вглубь фрикционных материалов элементов трения.

Доказано, что при импульсном и длительном режимах подвода теплоты в зону контактирования металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза темп нагревания вызывает изменение поверхностных тепловых градиентов следующим образом:

обод тормозного шкива (рис. 1, а)

– поверхностные тепловые градиенты при разности температур (10–50°C) по всей ширине обода изменялись от 0,417 до 2,083 °C/см, в то же время темп нагревания его поверхности составлял от 0,357 до 2,217 °C/с в связи с тем, что теплофизические параметры ($\lambda_{ш}$, $c_{ш}$) материалов обода оставались квазистабильными;

фрикционной накладке (рис. 1, б)

– поверхностные тепловые градиенты при разнице температур (10–50°C) по всей ширине фрикционной накладки изменялись от 0,435 до 2,174°C/см в то же время темп нагревания ее поверхности достигал от 0,026 до 0,044°C/с при существенном изменении λ_n и нахождении поверхностного слоя накладки в метастабильном

состоянии; при этом закономерность вида $\frac{d\Delta t}{d\tau} = f\left(\frac{\partial\Delta t}{\partial l_n}\right)$ имеет волновой характер.

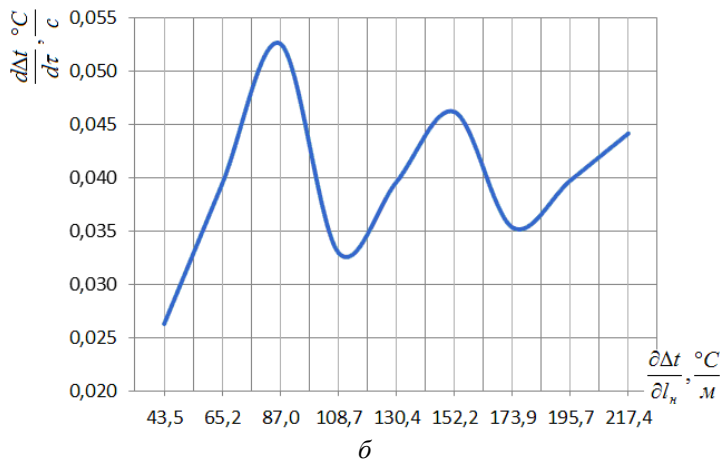
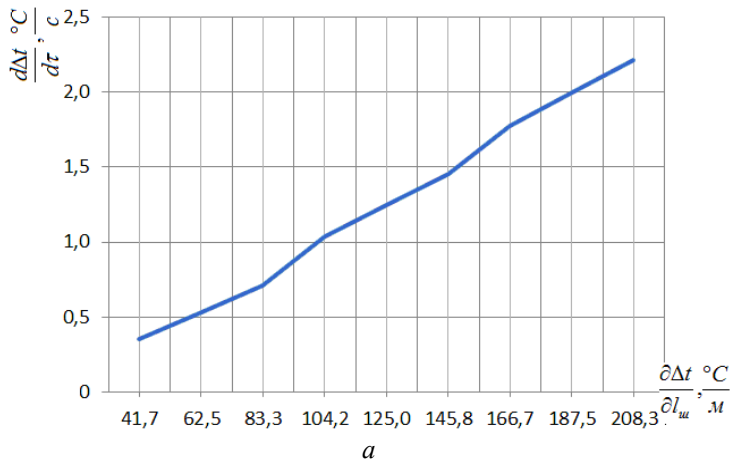


Рис. 1. Закономерности изменения темпа нагревания ($d\Delta t / d\tau$) обода тормозного шкива (а) и фрикционной накладки (б) от поверхностного градиента температуры ($\partial\Delta t / \partial l_{ш}$) и ($\partial\Delta t / \partial l_n$) и

Доказано, що при імпульсному і довготривалому режимах підведення теплоти в зону контактування металополімерних пар тертя ленточно-колодочного тормоза темп нагрівання її поверхностей викликає зміну теплових градієнтів по їх товщині наступним чином:

обода тормозного шків (рис. 2, а, б)

– при імпульсному режимі підведення теплоти за час $(0,2-1,4) \cdot 10^{-4}$ с при різниці температур $(10-50^\circ\text{C})$ і зміні $a_{ш}$ від $8,7 \cdot 10^{-6}$ до $1,08 \cdot 10^{-5}$ м²/с теплові градієнти були рівні $(1,4 \cdot 10^3 - 2,4 \cdot 10^3$ °C/см), в той час як темп нагрівання змінювався від $16,706 \cdot 10^3$ до $11,933 \cdot 10^3$ °C/с, т.е. він зменшувався з збільшенням часу дії теплового імпульсу; при цьому темп нагрівання обода шків є однаковим по величині з темпом нагрівання фрикційної накладку в тому випадку, коли контакт мав дискретний характер, т.е. взаємодіяли микровиступи поверхностей пар тертя;

фрикційної накладку (рис. 2, в, з)

– при імпульсному режимі підведення теплоти за час $(0,2-1,4) \cdot 10^{-4}$ с при різниці температур $(10-50^\circ\text{C})$ і зміні a_n від 6,0 до $2,0 \cdot 10^{-7}$ м²/с теплові градієнти були рівні $(5,3 \cdot 10^3 - 1,7 \cdot 10^4$ °C/см), в той час як темп нагрівання змінювався від $16,706 \cdot 10^3$ до $11,933 \cdot 10^3$ °C/с, т.е. він зменшувався з збільшенням часу дії імпульсного теплового потоку;

– при довготривалому режимі підведення теплоти за час $(2,0-14,0)$ с при різниці температур $(10-50^\circ\text{C})$ і зміні a_n від 6,0 до $2,0 \cdot 10^{-7}$ м²/с теплові градієнти були рівні $(53,0-170,0$ °C/см), в той час як темп нагрівання змінювався від 1,67 до 1,19 °C/с, т.е. він залишався майже квазістабільним, незважаючи на те, що час дії теплового потоку збільшилося в 7,0 раз;

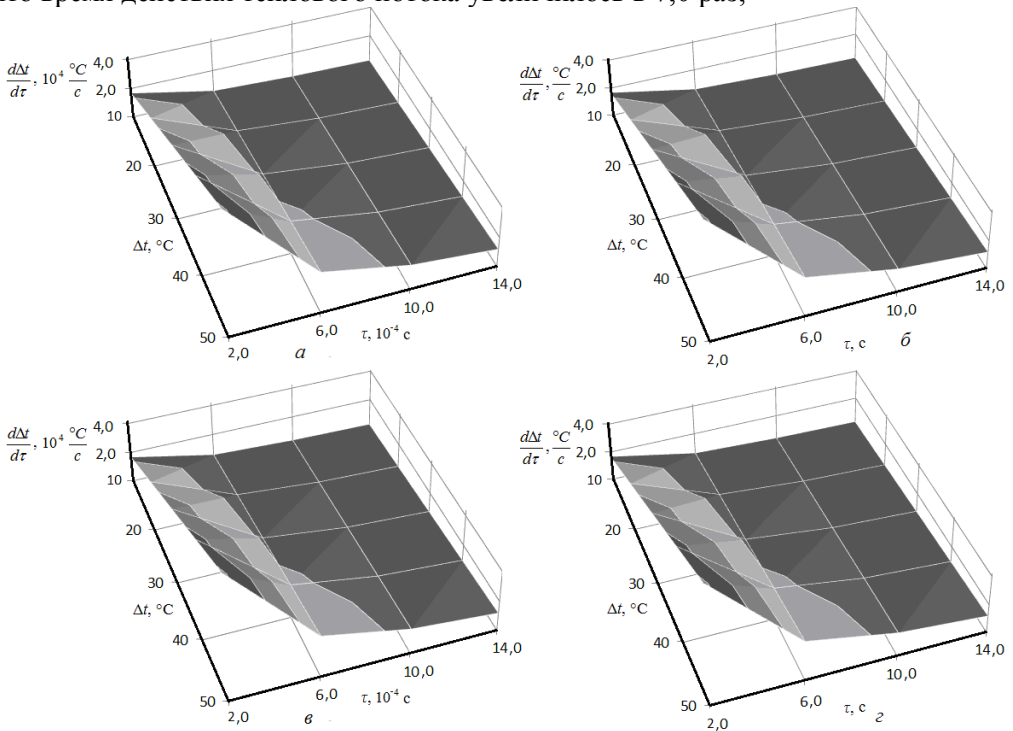


Рис. 2. Закономерності зміни темпа нагрівання ($d\Delta t / d\tau$) матеріалів обода шків (а, б) і фрикційної накладку (в, з) від різниці температур (Δt) і часу (τ) підведення теплоти на режимах: а, в – імпульсному [$\tau = (2,0-14,0) \cdot 10^{-4}$, с]; б, з – довготривалому [$\tau = (2,0-14,0)$, с]

– при длительном режиме подведения теплоты за время (2,0–14,0) с при разнице температур (10–50°C) и изменении $a_{ш}$ от $8,7 \cdot 10^{-6}$ до $1,08 \cdot 10^{-5}$ м²/с тепловые градиенты были равны (13,87 до 23,5 °C/см), в то время как темп нагревания изменялся от 1,67 до 1,19 °C/с и становился почти квазистабильным.

Выводы. Таким образом, установлены закономерности изменения темпа нагревания обода тормозного шкива и фрикционной накладке при импульсном и длительном режимах подведения теплоты в зону контактирования пар трения ленточно-колодочного тормоза от изменения температур по их поверхностям и толщине от температурных градиентов, которые возникают в элементах. При этом показано и проиллюстрировано, что:

– не принимая во внимание то, что теплофизические параметры материалов обода шкива и фрикционной накладке существенно отличаются, но их поверхностные градиенты изменяются, соответственно, от 0,417 до 2,083 °C/см и от 0,435 до 2,174 °C/см, что подтверждает наличие одинаковой температуры в зоне контактирования пар трения; при этом темп нагревания был разным и составил, соответственно (0,357–2,217) °C/с и (0,026–0,044) °C/с; при этом закономерности вида $d\Delta t / d\tau = f(\partial\Delta t / \partial l_u)$ и $d\Delta t / d\tau = f(\partial\Delta t / \partial l_n)$ имеют разный графический характер: ломаную линию и синусоиды с разными амплитудами и периодами;

– через разные теплофизические свойства материалов обода шкива и фрикционной накладке наблюдалось существенное отличие между тепловыми градиентами по их толщине, соответственно, $(1,4–2,4)10^3$ °C/см и (13,87–23,5) °C/см; при этом темпы нагревания достигли, соответственно, $(16,706–11,933)10^3$ °C/с и (1,67–1,19) °C/с, а их соотношение равнялось отношению минимального к минимальному и максимального к максимальному времени действия длительного и импульсного режима подведения теплоты до металлополимерных пар трения, т.е. $2,0/20,0 \cdot 10^{-4} = 14,0/14,0 \cdot 10^{-4} = 10^4$.

Список литературы

1. Джанахмедов А.Х. Нефтяная трибология / А.Х. Джанахмедов – Баку: Элм, 2003. – 326 с.
2. Вольченко О.І. Темпи нагрівання та охолодження ободів металевих фрикційних елементів гальмівних пристроїв / О.І. Вольченко, Д.О. Вольченко, І.О. Бекіш, Н.М. Стебелецька // Науковий вісник ІФНТУНГ: зб. наук. пр. – Івано-Франківськ, 2011. – №1(27). – С.44–48.
3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.
4. Александров М.П. Грузоподъемные машины / М.П. Александров. – М.: Высшая школа, 2000. – 550 с.

*А. Х. ДЖАНАХМЕДОВ, А. І. ВОЛЬЧЕНКО, Д. О. ВОЛЬЧЕНКО, Н. О. ВОЛЬЧЕНКО,
Н. М. СТЕБЕЛЕЦЬКА*

ТЕМПІ НАГРІВАННЯ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНИХ ПАРА ТЕРТЯ ПРИ ІМПУЛЬСНОМУ І ТРИВАЛОМУ ПІДВЕДЕННІ ТЕПЛОТИ В СТРИЧКОВО-КОЛОДКОВОМУ ГАЛЬМІ

Показаний взаємозв'язок темпів нагрівання металевого і полімерного елементів тертя в стрічково-колодковому гальмі з градієнтами температури по їх поверхнях і по глибині матеріалів при імпульсному і тривалому режимах підведення теплоти.

Ключові слова: металополімерні пари тертя, стрічково-колодкове гальмо, поверхневий і приповерхневий шар, імпульсне і тривале підведення теплоти, темп нагрівання, градієнти температури по поверхні і глибині фрикційних елементів

*A. H. DZHANAHMEDOV, A. I. VOLCHENKO, D. A. VOLCHENKO, N. A. VOLCHENKO,
N. M. STEBELETSKAYA*

THE RATE OF HEATING OF METAL-POLYMER FRICTION PAIRS UNDER PULSE AND CONTINUOUS MODE OPERATION OF THE HEAT IN BAND-BLOCK BRAKE

We've illustrated the interconnection of the rate of heating of the metal and polymer friction elements in the band-block brakes with temperature gradients on their surfaces and depth of materials under pulsed and continuous mode operation of the heat.

Keywords: metal-polymer friction pairs, band-block brake, surface and near-surface layer, pulse and continuous mode operation of the heat, rate of heating, temperature gradients on surfaces and depth of friction materials

Джанахмедов Ахад Хамідович – академік, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства Азербайджанської національної академії авіації.

Вольченко Олександр Іванович – д-р техн. наук, професор кафедри механіки машин Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

Вольченко Дмитро Олександрович – д-р техн. наук, доцент кафедри розробки нафтових та газових родовищ.

Вольченко Микола Олександрович – канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства та автосервісу Кубанського державного технологічного університету.

Стебелецька Наталія Михайлівна – здобувач кафедри машинознавства Національного авіаційного університету.