

А. И. Вольченко, В. Я. Малык, И. О. Бекиш

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

НАНОТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПАРАХ ТРЕНИЯ БАРАБАННО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В материалах статьи проиллюстрированы нанотрибологические процессы в парах трения барабанно-колодочных тормозов автотранспортных средств. Уделено внимание состоянию поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза и методологии оценки энергонагруженности тормозных барабанов. Установлено термостабилизационное состояние ободов тормозных барабанов автотранспортных средств и предложен метод оценки их энергонагруженности.

Ключевые слова: барабанно-колодочный тормоз, пары трения, обод барабана, нанотрибологические процессы, энергонагруженность.

О. І. Вольченко, В. Я. Малик, І. О. Бекіш

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

НАНОТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПАРАХ ТЕРТЯ БАРАБАННО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У матеріалах статті проілюстровані нанотрибологічні процеси в парах тертя барабанно-колодкових гальм автотранспортних засобів. Прیدілено увагу стану поверхневих і приповерхневих шарів металлолімерних пар тертя гальма і методології оцінки енергонавантажності гальмівних барабанів. Встановлено термостабілізаційний стан ободів гальмівних барабанів автотранспортних засобів і запропонований метод оцінки їх енергонавантажності.

Ключові слова: барабанно-колодкове гальмо, пари тертя, обід барабана, нанотрибологічні процеси, енергонавантажність.

A.I. Volchenko, V.Y. Malyk V.Y., I.O. Bekish

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

NANOTRIBOLOGICAL PROCESSES IN THE FRICTION PAIRS OF THE DRUM BRAKES OF THE VEHICLES

Parameters of the processes, phenomena and effects of friction and wear, regulated by the theory of A.V. Chichinadze, characterized by the following indicators: the materials properties of the friction pair and the environment; micro and macro geometry of the contacting elements and the static coefficient of overlapping; modes of the friction loads, sliding speed, the initial surface and volume temperature and its gradient by the coordinate and by the time.

It is necessary to mention two phenomena accompanying the friction, that have the greatest impact on the performance to mobile interfaces in the units and devices, mechanisms and machines: wear of the contact details and the heat generation in the process of friction. However, previously it has not been paid attention to gradient theory of the mechanical, electrical and chemical fields, witch observed in metal-polymer friction pairs of the drum brake.

We've illustrated nano tribological processes in friction pairs of the drum brakes of the vehicles. We've considered the following questions in relation to this issue: the state of the surface and near-surface layers of metal-polymer friction brake; assessment of the methodology of energy loading of the brake drums. We've established the thermal stabilization state of rims of the brake drums of the vehicles and proposed a method for evaluating of their energy loading.

Keywords: drum brake, friction pairs, drum rim, nanotribological processes, energy loading.

Состояние проблемы. Параметры процессов, явлений и эффектов трения и износа, регламентируемые теорией А. В. Чичинадзе, характеризуются следующими показателями: свойствами материалов пары трения и окружающей среды; микро- и макрогеометрией контактирующих элементов и статическим коэффициентом взаимного перекрытия; режимами трения по нагрузкам, скорости скольжения, начальной, текущей поверхностной и объемной и поверхностной температурой и ее градиентом по координате и времени. Согласно работ [1, 2] из явлений, сопровождающих трение, необходимо отметить два, оказывающих наибольшее влияние на работоспособность подвижных сопряжений в узлах и устройствах агрегатов, механизмов и машин: изнашивание контактирующих деталей и выделение теплоты в процессе трения. Однако, в данных исследованиях не было уделено внимание градиентной теории механических, электрических и химических полей, наблюдаемых в металлополимерных парах трения барабанно-колодочного тормоза.

Как указывает А. В. Чичинадзе металлы имеют температуру теплового насыщения (табл. 1).

Таблиця 1

Температури теплового насыщения некоторых металлов

Материалы	Чугун	Сталь	Cu	Al	Cr	Na
$t_n, ^\circ\text{C}$	187,0	185,0	68,5	104,0	201,0	252,0

При этом в работе [2] отмечалось, что металлические и неметаллические фрикционные элементы тормозных устройств характеризуются коэффициентом теплового насыщения (см. табл. 2).

Данный коэффициент устанавливает связь между теплофизическими параметрами материала: коэффициентом теплопроводности (λ), теплоемкостью (c), и плотностью (ρ). Однако коэффициент теплового насыщения материала можно представить в другом виде, используя подстановку $cp = \lambda/(a)$.

В этом случае получаем $\lambda\sqrt{a}^{-1}$, где a – коэффициент температуропроводности материала.

Таблиця 2

Коэффициенты теплового насыщения металлических и неметаллических фрикционных элементов тормозных устройств

Материалы	стали:		чавуны:		ретинакс:	
	30ХГСА	65Г	ЧНМХ	серые	тип А	тип Б
Коэффициент теплового насыщения, $\sqrt{\lambda c \rho}, \text{H}\cdot\text{м}/(\text{м}^2\cdot\text{с}^{0,5}\cdot^\circ\text{C})$	121,0-122,0	128,0-109,0	136,0-141,0	130,0-142,0	131,0-145,0	

Однако, приведенные температуры теплового насыщения некоторых металлов не отвечают термостабилизационному тепловому состоянию обода тормозного барабана, поскольку не учитываются фазовые переходы первого и второго рода, происходящие в поверхностных и приповерхностных слоях полимерной накладки.

Состояние поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза. Прежде чем давать оценку состояния поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза остановимся на применяемых материалах для их изготовления.

Примерный химический состав металлических фрикционных элементов (тормозных барабанов) представлен в табл.3. Рассмотренные материалы для тормозных барабанов могут успешно использоваться для тормозных дисков автотранспортных средств.

Таблиця 3

Химический состав металлических фрикционных элементов

Металлический элемент трения	Химический элемент, вес. %									
	C	Cr	Cu	Mg	Mn	Ni	P	S	Si	Fe
Чугун	3,0-3,5	0,15	0,001	0,001	0,6-1,0	0,50	0,60	0,15	1,8-2,4	92,66
Сталь	0,42-0,5	0,25	0,25	-	0,5-0,8	0,25	0,04	0,4	0,17-0,37	97,89

Остановимся на химическом составе полимерных накладок, который представлен в табл. 4

Таблиця 4

Химический состав материалов фрикционных накладок (ФН)

ФН	Содержание элементов, %																	
	$C_{\text{своб}}$	S	Al	Cu	Fe	Si	Zn	Pb	Ni	Ti	Sb	Ba	Ca	K	Mn	Mg	Na	Sr
G	16,4	3,70	3,33	7,66	3,69	0,64	2,8	3,1	0,260	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	24,2	2,95	3,95	3,34	14,9	1,08	2,2	0,08	0,020	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	18,1	-	0,84	11,8	27,4	-	3,3	0,13	-	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
A	22,7	-	1,97	5,84	14,3	1,12	3,7	0,16	0,023	0,14	-	-	-	-	-	-	-	-
H	19,6	-	0,24	5,13	19,5	0,34	1,1	0,01	0,004	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
D	19,1	-	0,13	11,8	35,2	0,29	3,5	0,05	0,008	0,02	-	-	-	-	-	-	-	-
J	22,3	-	0,31	0,23	30,9	0,21	0,1	2,08	0,001	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
K	-	-	0,50	9,50	32,7	0,28	2,7	2,40	-	0,04	4,5	0,8	-	-	-	-	-	-
L	-	-	0,36	10,5	34,0	0,29	2,9	2,66	-	0,04	4,9	0,6	-	-	-	-	-	-
E	19,4	19,4	0,67	8,23	19,4	0,11	2,4	0,09	0,01	0,00	-	2,9	2,9	0,04	0,13	0,1	0,05	0,02
F	19,0	19,0	0,82	9,85	19,6	0,24	3,6	0,16	0,05	0,08	-	2,9	0,4	0,21	0,17	0,3	0,05	0,03

Материалы фрикционной накладки представляют собой композит, состоящий из фракций различной степени дисперсности и химического состава. В табл. 4 представлены материалы фрикционных накладок отечественных DАfmi, Trans Master (Украина) и зарубежных QH, Zucas, AP Zockheed, Eerodo (Великобритания); АТЕ, Bosch (Германия); Samko (Италия); Roulunds (Венгрия) и Полиэдр, ВАТИ, STS, ТИИР, ЕЗАТИ (Россия).

Все представленные материалы фрикционных накладок отличаются по твердости, прочности и упругости, по химическому и композитному составам, размеру и дисперсности структурных составляющих.

Связующим всех материалов фрикционных накладок является фенолформальдегидная смола (табл. 4). Во всех материалах фрикционных накладок основными твердыми включениями являются: стальная высежка, алюминиевая и латунная стружка (в материале накладки D – медная стружка), слюда.

Сопоставительный анализ компонентов, входящих в состав материалов тормозных барабанов и фрикционных накладок показывает, что большинство из них относится к полупроводниковым материалам. Кроме того, взаимодействие пар трения «чугун-полимер» в различных средах позволяет формировать на их поверхностях полупроводниковые пленки в зависимости от теплового состояния металлического и неметаллического фрикционного элемента [3].

В связи с тем, что материалы фрикционной накладки ведут себя по разному в интервале температур до допустимой и выше ее и при этом приповерхностные слои накладки могут находиться в твердом состоянии полностью и частично в жидком и газообразном состоянии. Исходя из этого выделим следующие типы поверхностей раздела: «металл-полимер»; «металл-полимер с жидкостью»; «металл-полимер с жидкостью и с газом»; «металл-газ-полимер». Воздействием на разделяющие слои в парах трения тормозных устройств являются: объемная и граничная вязкость; теплоемкость; химическая активность и при этом содержащие слои являются предметом особых исследований, так как благодаря им происходят процессы сорбции, десорбции и адсорбции.

Методология оценки энергонагруженности тормозных барабанов. Предотвращение возникновения и существования в течении длительного времени термостабилизационного состояния металлических фрикционных элементов трения, за который теряется эффективность торможения барабанно-колодочным тормозом объясняется неудачным выбором еще на стадии проектирования конструктивных параметров тормозных барабанов, а также эксплуатационных параметров, которые реализуются данными типами фрикционных узлов.

Условиями термостабилизации металлических элементов трения тормозных устройств являются: несоответствие толщины и ширины обода барабана толщине крепежного элемента, а также нерациональному их расположению по отношению к ободу барабана, что приведет к тепловому равновесию указанного металлического фрикционного элемента в зоне и выше допустимой температуры для материалов накладки; в основу конструирования тормозных барабанов должен быть заложен принцип согласно которого их массивный обод не препятствует свободному расширению нагретого участка менее массивного фланца, который стыкуется перпендикулярно к ободу барабана; почти полное отсутствие теплопередающих процессов через толщину обода металлического фрикционного элемента при минимальном градиенте температур из-за несоблюдения между отношением коэффициентов излучения матовой и полированных поверхностей и отношением матовых и полированных площадей поверхностей; достижение одинакового теплового состояния рабочими поверхностями всех фрикционных накладок узла трения; наличие ионизированной среды в межконтактном объеме пар трения; одновременное начало термохимической реакции связующих компонентов в приповерхностных слоях преимущественного большинства фрикционных накладок.

Часто в зону термостабилизационного состояния нападают ободы тормозных барабанов задних тормозных механизмов автотранспортных средств в связи с тем, что они спроектированы и рассчитаны с большим коэффициентом запаса прочности и имеют значительную энергоемкость через завышенный их вес.

По результатам выполненных исследований предложен следующий метод оценки тепловой нагруженности тормозных барабанов автотранспортных средств.

Сначала определяют зону возможной термостабилизации металлического элемента трения по величине допустимой температуры, значение которой приведено в технической характеристике материала накладок.

Далее расчет проводят в последовательности, представленной ниже.

1. Определяют площади полированной и матовых поверхностей тормозного барабана. Площади рассчитывают, используя следующее соотношения:

$$\frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_{II}} = \frac{A_O}{A_H}, \quad (1)$$

где ε_M , ε_{II} – коэффициенты излучения матовой (охлаждаемой) и полированной (рабочей) поверхностей металлического элемента трения; A_O , A_H – площади поверхностей охлаждения (преимущественно матовой) и нагревания (рабочей), м².

Анализ величин соотношений указанных площадей показал, что равенство (1) соблюдается не всегда, особенно в интервалах температур поверхности трения 100-150°C и 300-450°C. Именно в этих зонах наблюдается установившееся и стабилизационное тепловое состояние металлических элементов трения. Это объясняется различной интенсивностью радиационного теплообмена в зоне низких температур он незначителен, в зоне высоких – сильный.

2. Определяют температуры рабочих (полированных) поверхностей металлических элементов трения барабанно-колодочных тормозов. Расчет температур поверхностей трения производится по методике, приведенной в работе [3].

Далее по величине поверхностной температуры оценивают толщину приповерхностного слоя фрикционной накладки, в котором происходят адсорбционно-десорбционные процессы с активностью, влияющей на физико-химическое состояние межконтактной среды. В расчетах интенсивности теплопередающих процессов через многослойную конструкцию фрикционного узла при определении температур матовых поверхностей его металлических элементов трения поверхность межконтактной среды принимается за точку отсчета.

3. Определяют коэффициенты теплопередачи через элементы пар трения фрикционных узлов барабанно-колодочного тормоза. Расчет выполняют по методике, приведенной в работе [3], с учетом значений коэффициента теплоотдачи, толщины и физико-химического состояния приповерхностного слоя фрикционной накладки применительно к рассматриваемым тепловым режимам тормоза.

Анализ закономерности изменения во времени коэффициентов теплопередачи через элементы пары трения фрикционного узла в интервалах поверхностных температур до, выше и в зоне термостабилизации металлического элемента трения позволяет прогнозировать тепловое состояние всех элементов, принимающих участие в процессах трения, и определять коэффициенты распределения тепловых потоков между ними.

4. Определяют коэффициенты распределения тепловых потоков между поверхностями трения фрикционных узлов барабанно-колодочных тормозов. Значения коэффициентов рассчитывают по методике [3]. Эти зависимости справедливы для мощных барабанно-колодочных тормозов, металлические фрикционные элементы которых имеют большие площади поверхности теплообмена.

Результаты аналитико-экспериментальных исследований показали, что с целью обеспечения гарантированного уровня эксплуатационных параметров барабанно-колодочных тормозом выбор материалов его фрикционных пар необходимо производить с учетом коэффициентов распределения тепловых потоков между элементами трения.

Выводы. Таким образом, установлено термостабилизационное состояние ободов тормозных барабанов автотранспортных средств и предложен метод оценки их энергонагруженности.

Литература

1. Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А. А. Петрик, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко]. Монография (научное издание) В 2-х томах. Том 1. Кубанск. государств. технологич. ун-т (Россия). – Краснодар, 2006. – 264с.
2. Барабанно-колодочные тормозные устройства / [А. А. Петрик, А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, Д. А. Вольченко]. Монография (научное издание) В 2-х томах. Том 2. Кубанск. государств. технологич. ун-т (Россия). – Краснодар, 2007. – 173с.
3. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств / А. И. Вольченко, Н. А. Вольченко, А. В. Возный [и др.]. – Баку: Апостроф, 2016. – 253с.