

Д.А. Вольченко, В.С. Скрипник, В.С. Витвицкий

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

**НАНОТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПАРАХ ТРЕНИЯ
ЛЕНТОЧНО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ**

В материалах статьи проиллюстрированы нанотрибологические процессы в парах трения ленточно-колодочных тормозов. Уделено внимание состоянию поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза и представлены результаты исследований усовершенствованных пар трения. Показана природа водородного износа металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки и предложен путь его подавления.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, пары трения, обод шкива, нанотрибологические процессы, поверхностные и приповерхностные слои, энергонагруженность.

Д.А. Вольченко, В.С. Скрипник, В.С. Витвицкий

Ивано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

**НАНОТРИБОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В ПАРАХ ТЕРТЯ
СТРІЧКОВО-КОЛОДКОВИХ ГАЛЬМ**

У матеріалах статті проілюстровані нанотрибологічні процеси в парах тертя стрічково-колодкових гальм. Прیدілено увагу стану поверхневих і приповерхневих шарів металополімерних пар тертя гальма і наведені результати досліджень удосконалених пар тертя. Показана природа водневого зношування металополімерних пар тертя стрічково-колодкового гальма бурової лебідки і запропонований шлях його придушення.

Ключові слова: стрічково-колодкове гальмо, пари тертя, обід шківів, нанотрибологічні процеси, поверхневі і приповерхневі шари, енергонавантаженисть.

D. Volchenko, V. Skrypnyk, V. Vitvitskiy

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

**NANOTRIBOLOGICAL PROCESSES IN THE FRICTION PAIRS
OF THE BAND-BLOCK BRAKES**

In frictional interaction of microprotrusions of the friction pairs of band-block brakes in the modes of high sliding speeds and unit loads are generating electrical currents and accumulating thermal currents, and are increasing surface temperatures and its gradients. At temperatures above 400 °C from the surface layers of the friction pad occurs burning of the binder, i.e. the formaldehyde resin, contributing the emergence of a corrosion water-containing environment, which creates conditions for the emergence of the tribocracking, accompanied by the release of free hydrogen. Free hydrogen, entering into engagement with the surface and subsurface layers of materials (silicon, sulfur, white phosphorus, titanium, iron, etc.) of the friction pairs forms hydrides.

In addition, the surface layers of the microprotrusions of the friction pairs are exposed to the mechanism of electron-thermal polarization in which there is a sharp jump of the temperature gradient across the thickness of the surface layer. All this contributes to a considerable enhancement of the effect of hydrogen wear, leading to increased wear of the surface layer of the friction material of the friction pairs of the band-block brake of the drawworks.

We've illustrated nanotribological processes in the friction pairs of band-block brakes. We've considered the following questions in relation to this issue: the status of surface and subsurface layers of the metal-polymer friction pairs of the brake and presented the research results. We've shown the nature of hydrogen wear of metal-polymer friction pairs of the band-block brakes of the drawworks and proposed the way of its suppression.

Keywords: band-block brakes, friction pairs, pulley rim, nanotribological processes, the surface and subsurface layers, energy loading.

Состояние проблемы. При фрикционном взаимодействии микровыступов пар трения ленточно-колодочного тормоза в режиме высоких скоростей скольжения и удельных нагрузок происходит генерирование электрических токов и аккумуляция тепловых токов, и как следствие, увеличение поверхностных температур и их градиентов. При температуре выше 400°C из поверхностных слоев фрикционной накладки происходит выгорание связующего компонента, т.е. формальдегидной смолы, способствующее возникновению коррозионной водосодержащей среды, которая создает условия для возникновения трибоккрекина, сопровождающегося выделением свободного водорода. Последний, вступая во взаимодействие с поверхностными и подповерхностными слоями материалов (кремнием, серой, белым фосфором, титаном, железом и др.) пар трения образуют гидриды. Кроме того, поверхностные слои микровыступов пар трения подвержены механизму электронно-ионной тепловой поляризации при которой наблюдается резкий скачок температурного градиента по толщине поверхностного слоя. Все это способствует значительному усилению действия водородного эффекта, что ведет к повышенному износу

поверхностных слоев фрикционных материалов пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки [1].

Кроме того, в зону терморекинга поверхности полимерных материалов не попадают одновременно, что способствует их переполаризации за счет различной диэлектрической проницаемости поверхностных слоев; эти воздействия блокируют или ослабляют адсорбцию ионов водорода на рабочие поверхности и в приповерхностные слои пар трения тормоза [2].

Интенсивность водородного изнашивания обусловлена следующими процессами, эффектами и явлениями, происходящими в зоне трения: интенсивным выделением водорода из полимерной накладки в результате возникновения трибокрекинга, обеспечивающего непрерывное поступление водорода в поверхностный слой стального обода шкива; адсорбцией водорода на поверхностях металлополимерных пар трения; диффузией водорода в деформированный поверхностный слой обода шкива, темп которой определяется градиентами напряжений; деформированием и эффектом накопления водорода; особым видом разрушения поверхности, обусловленным одновременным развитием большого количества зародышей микротрещин по всей зоне контакта [3].

Состояние поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза. Состояние поверхностных и приповерхностных слоев металлополимерных пар трения тормоза зависит от материалов и структуры компонентов, входящих в их состав. В табл. 1 приведены характеристики сталей тормозных шкивов с указанием их компонентов, которые со свободным водородом образуют гидриды (последний вертикальный столбик).

Таблица 1

Характеристики сталей тормозных шкивов

Химические элементы содержащиеся в сталях		Валентность		Преобладающий тип собственной проводимости		Формула гидрида
35ХНЛ (I)	35 ХМЛ (II)	I	II	I	II	
Si (2,20-0,42)	Si (0,2-0,4)	4		полупроводник		SiH ₄
Cu (до 0,3)	—	1, 2	—	n	—	—
Mn (0,4-0,9)	Mn (0,4-0,9)	2, 3, 4, 5, 6, 7		n		—
Ni (0,7-0,9)	—	2	—	n	—	—
P (до 0,04)	P (до 0,04)	3		n		PH ₃
Cr (0,5-0,8)	Cr (0,8-1,1)	3, 6		p		—
S (до 0,04)	S (до 0,04)	2, 4, 6		диэлектрик		H ₂ S
—	C (0,3-0,4)	—	2, 4	—	диэлектрик	—
—	Mo (0,2-0,3)	—	6	—	p	—
Fe (36,62-97,82)	Fe (97,82-98,02)	1, 3		n		FeH, FeH ₃

Химический состав стали 35ХНЛ следующий: кремний (Si) - (0,20 - 0,42)%; медь (Cu) не более 0,30%; марганец (Mn) - (0,40 - 0,90)%; никель (Ni) - (0,70 - 0,90)%; фосфор (P) не более - 0,04%; хром (Cr) - (0,50 - 0,80)%; сера (S) не более - 0,040%. Приведем краткую характеристику подчеркнутых элементов, которым свойственно образовывать гидриды с водородом (H).

Кремний (Si) - твердое вещество, в котором каждый атом кремния связан с четырьмя соседними атомами кремния, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга (в вершинах правильного тетраэдра). Такое расположение атомов приводит к образованию трехмерной структуры и поэтому эти твердые соединения называется сетчатыми. Твердое вещество с такой структурой характеризуется как высокой температурой плавления, так и кипения.

Остальные два элемента образуют молекулярные твердые вещества. Атомы белого фосфора и серы прочно связаны в небольшие молекулы (они имеют формулы P₄ и S₈), но притяжение между молекулами незначительно. Изменение свойств в указанных элементах не носит простого характера, так как их молекулы построены весьма различно.

Перечисленные выше химические элементы образуют гидриды, которые представляют собой молекулярные газообразные соединения. Они имеют формулы SiH₄, PH₃ и H₂S, соответственно, которые указывают на число атомов водорода на атом элемента в молекуле гидрида. Начиная с кремния, образование молекулярных соединений указывает на то, что элементы принимают электронную конфигурацию последующего инертного газа (аргона, являющегося последним элементом третьего периода периодической таблицы) путем образования обобщенных электронных пар с атомами водорода.

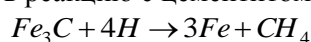
В табл. 2 представлен химический состав материалов фрикционных накладок из ретинакса ФК-24А.

Таблица 2

Химический состав материалов фрикционных накладок из ретинакса ФК-24А

Полимерный материал	Содержание элементов, %				
	Ретинакс ФК-24А	Фенолформальдегидная смола	Асбест	Сульфат бария	Латунь
	15	40	35	6	2/2

В результате процессов термо- и механодеструкции, каталитических и электрохимических реакций разложения, а также активации физико-химических поверхностных слоев полимерного материала в процессе трения выделяется молекулярный водород H_2 , атомарный водород H и ионный водород H^+ . Молекулярный водород (H_2) в сложных физико-химических процессах, стимулируемых генерируемой теплотой трения, также распадается на атомы и ионы, адсорбируясь на активированных трением поверхностях. Механизм воздействия накопленного водорода основан на диффузии атомного водорода в дефектах структуры и его накопления в них. При температуре трения 400...600°C водород вступает в реакцию с цементитом железа



Образующийся метан и молекулярный водород (H_2) постепенно, в очередных потоках диффузии, вызываемых циклами трения, сжимаются под значительным удельным давлением. Накапливающийся газ под влиянием упругих и пластических деформации поверхностных слоев пар трения дополнительно сжимается и находится под очень большим давлением, стимулируя образование и распространение трещин [4].

Результаты исследований. Испытания серийных и новых пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок У2-5-5 при естественном и вынужденном их охлаждении при спуске в скважину на глубину 4108,0м колонны бурильных труб. Последняя набиралась из 102 свечей, из которых 6 свечей УБТ (утяжеленные бурильные трубы), а остальные свечи ЛБТ (легкие) с общим весом 962,23 кН. При этом температура окружающей среды была 20,2°C, а давление – 0,0942 МПа.

Результаты испытаний серийных пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок У2-5-5 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Трибоэлектрические и эксплуатационные параметры усовершенствованного ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5

Фрикционная пара	Знак заряда		Эксплуатационные параметры:					
	+	-	сила трения, $F_T^* = (S_n - S_c)$, кН	динамический коэффициент трения, f	температурные градиенты		тормозной момент, M_T , кНм	Энергетическая интенсивность изнашивания накладок, I , мкг/Джк
плотность элемента		поверхностные, t_n , °C/мм			объемные, t_v , °C/мм			
Два химически одинаковые элементы	большая		маленькая					
ФК-24А – сталь 35ХНЛ	полимер	металл	259,6	0,38	40,0-60,0	6,0-15,0	188,2	2,5
ФК-24А – ФК-24А	полимер с одинаковой диэлектрической проницаемостью		200,98	0,3	4,5-8,5	2,0-3,0	159,44	1,35
Сталь 35ХНЛ – сталь 35ХНЛ	металл с одинаковой твердостью		102,5	0,15	80,0-100,0	15,0-20,0	74,3	0,3
Результаты экспериментальных исследований усовершенствованных пар трения			265,0	0,4	30,0-50,0	4,5-13,0	195,0	1,95

*Примечание: S_n , S_c – натяжение набегающей и сбегающей ветви тормозной ленты.

Результаты промышленных испытаний показывают (см. табл. 3), что при сохранении ряда основных технических характеристик аналога, предлагаемые пары трения позволяют снизить величину энергетической интенсивности износа накладок в $2,5/1,35=1,85$ и $2,5/0,3=8,33$ раза при заданных режимах нагружения пар трения тормоза. Последние оказывают влияние на разность потенциалов, развивающуюся между микровыступами приведенных пар трения тормоза (см. табл. 4).

Наибольшая разность потенциалов наблюдалась в паре трения «ФК-24А – ФК-24А» (0,74 мВ), а наименьшая в паре трения «сталь 35ХНЛ – сталь 35ХНЛ» (0,27 мВ). Исходя из этого, предлагаем для подавления водородного износа металлополимерных пар трения тормоза в зоне их фрикционного

Таблица 4

Разность потенциалов между микровыступами пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки У2-5-5

Пары трения	ФК-24А – сталь 35ХНЛ	ФК-24А – ФК-24А + фторопласт-4	Сталь 35ХНЛ – сталь 35ХНЛ
Разность потенциалов, ΔV , мВ	0,47	0,74	0,27

взаимодействия «полимер – металл» и «полимер – полимер» (введением в тормозной шкив полимерных накладок) создают положительно заряженное электрическое поле с разностью потенциалов от 0,27 до 0,74 мВ, и кроме того, в зону термокрекинга поверхности полимерных накладок не попадают одновременно, что способствует их переполаризации за счет разной диэлектрической проницаемости поверхностных слоев. Эти воздействия блокируют или ослабляют адсорбцию ионов водорода на рабочие поверхности и в приповерхностные слои пар трения тормоза.

Выводы. Таким образом, показана природа водородного износа металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза буровой лебедки и предложен путь его подавления.

Литература

1. Ленточно-колодочные тормозные устройства. Монография (научное издание) в 2 т. Т.2 / Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко, Д.Ю. Журавлев и др. - Кубанский государственный технологический университет. – Краснодар, Ивано-Франковск, 2013. - 441с.
2. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Д. А. Вольченко [и др.]. – Киев – Краснодар: Изд-во «Плай», 2015. – 371с.
3. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под. общ. редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575с.
4. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А. Х. Джанахмедов, Д. А. Вольченко, Д. Ю. Журавлев [и др.]. – Баку: Апостроф, 2016. – 312с.

Стаття надійшла до редакції 14.05.2016