

УДК 621.891

А. И. ВОЛЬЧЕНКО¹, Н. А. ВОЛЬЧЕНКО², Д. Ю. ЖУРАВЛЕВ¹,
М. Я. ДЖАВАДОВ³, А. В. ВОЗНЫЙ¹, П. С. КРАСИН²

¹Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

²Кубанский государственный технологический университет, Россия

³Государственная нефтяная компания, Азербайджанская республика

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗНОС И РАЗРУШЕНИЕ ОБОДОВ ТОРМОЗНЫХ ШКИВОВ БУРОВЫХ ЛЕБЕДОК (часть вторая)

Проиллюстрированы экспериментальные (лабораторные и промышленные) исследования энергонагруженности и разрушения ободов тормозных шкивов в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок.

Ключевые слова: ленточно-колодочный тормоз, шкив с ободом, процессы нагревания и вынужденного охлаждения, электрические и тепловые токи, электротермомеханическое трение и износ, зарождение и развитие трещин, сжимающие, растягивающие и остаточные напряжения, импульсные нормальные усилия.

Введение. В первой части публикации рассмотрены следующие вопросы: механизм изнашивания микровыступов металлополимерных пар трения и образование микротрещин на рабочей поверхности обода тормозного шкива; формирование напряженного состояния и аналитическое определение остаточных напряжений в ободке тормозного шкива; влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на напряженное состояние обода шкива; поверхностное разрушение при электротермомеханическом трении металлополимерных пар.

Однако, до настоящего времени нет четкой гипотезы о зарождении и развитии трещин на рабочей поверхности ободов тормозных шкивов металлополимерных пар трения ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок. Это вызвано тем, что зарождение и развитие трещин должно базироваться на энергетических уровнях поверхностного и подповерхностного слоев ободов шкивов, которые прошиваются импульсными нормальными силами [1, 2], электрическими и тепловыми токами [3, 4], вызывающие, как поверхностные так и объемные напряжения. Одним из основных недостатков ободов тормозных шкивов является накопление остаточных термических напряжений между фрикционным взаимодействием пар трения, что накладывает отрицательный отпечаток на состояние обода.

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

- оценка энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза в промышленных условиях;
- циркуляция тепловых токов в тормозном шкиве;
- природа зарождения и развития трещин на рабочей поверхности обода шкива;
- оценка термонапряженного состояния обода шкива в лабораторных условиях;
- определение напряжений сопротивления трещинообразования и износ рабочих поверхностей ободов шкивов.

Цель работы: обосновать на микроуровне процессы зарождения и развития трещин на рабочей поверхности обода тормозного шкива, исходя из его сложного напряженного состояния.

Оценка энергонагруженности металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза в промышленных условиях. В целях определения тепловых режимов работы и оценки возникающих при этом напряжений были проведены измерения температур элементов шкива из стали 35ХНЛ в процессе бурения скважины на буровой установке БЛ У2-5-5. Для замера температуры рабочей поверхности обода шкива и его крепежного выступа использовали переносной бесконтактный термометр фирмы «Балтех», который подводился к точкам измерения через 3,0-5,0 с после остановки шкива. Для измерения температуры рабочей поверхности обода шкива под фрикционными накладками в момент торможения использовались скользящие термопары, встроенные во фрикционные накладки. Измерение температур проводилось как при спуске, так и при подъеме инструмента. Одновременно с этим регистрировалась трибоЭДС пар трения усовершенствованного фрикционного узла. Для сравнения были замерены термоЭДС нагревания рабочей поверхности обода шкива в серийных и усовершенствованных узлах трения.

Усовершенствованный фрикционный узел был разработан при условии, что соотношение $S_n/S_c = 2,5-3,5$ (где S_n/S_c – натяжение набегающей и сбегающей ветви тормозной ленты) [5].

По окончании спуска инструмента измерялись температуры остывания шкива.

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что при подъеме инструмента ободы шкивов имеют объемные температуры в 2-3 раза меньше, чем при спуске. Температура в месте контакта пары «накладка-шкив» при фрикционном взаимодействии колебалась от 100 до 1000 °С и зависит от многих факторов: коэффициента взаимного перекрытия, равномерности распределения удельных нагрузок, времени торможения, качества поверхностей пятен контактов микровыступов пар трения и т.д. Полное остывание шкива с максимальной объемной температуры нагревания при температуре скоростных токов омывающего воздуха +10...+20 °С происходит за 4,0 ч, выравнивание температуры по полированной и матовой поверхностям шкива в процессе естественного остывания – за 1,5...2,0 ч.

Закономерности изменения температуры обода шкива и его крепежного выступа от количества спущенных свечей в серийном и в усовершенствованном фрикционном узле ленточно-колодочного тормоза БЛ У2-5-5 представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, а, б максимальная температура на рабочей поверхности обода шкива, измеренная спустя 3,0-5,0 с после его остановки, достигалась после спуска 30-ти свечей и составила 195 °С, температура же на крепежном выступе обода шкива в этот момент – 80 °С. После 30-й свечи максимальная объемная температура подповерхностного слоя обода шкива начала снижаться до 140,0 °С (после спуска 60-ой свечи), а крепежного выступа оставалась стабильной и достигла 85 °С. Этот факт свидетельствует о том, что наступило тепловое насыщение крепежного выступа обода шкива. Как следует из рис. 1, в, г, после 30-ой свечи максимальная температура составила 180,0°С и снизилась до 130,0°С (после спуска 60-ой свечи), а крепежный выступ обода шкива имел, соответственно, 75,0°С и 80,0°С, т.е. его насыщенное тепловое состояние оставалось. В целом, в усовершенствованном фрикционном узле достигнуто снижение объемной температуры подповерхностных слоев обода шкива по сравнению с серийным фрикционным узлом на 17,5 %. Что касается крепежного выступа обода шкива, то имеем меньшее снижение температуры, которое достигало 5,0 %. Снижение объемных

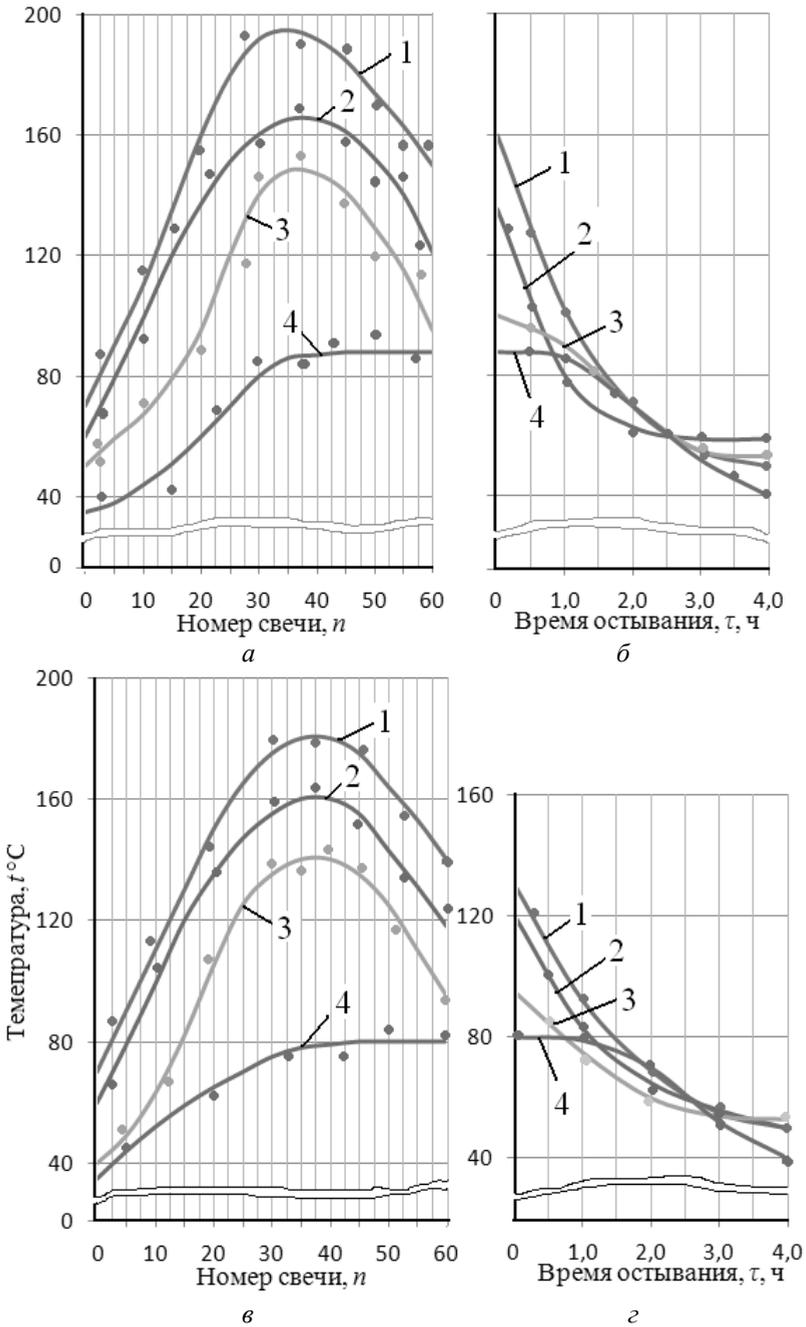


Рис. 1. Закономерности изменения объемной температуры обода шкива (кривые 1, 2 – в средней части рабочей и наружной поверхностей; кривая 3 – на рабочей поверхности над крепежным выступом; кривая 4 – в средней части с внутренней стороны крепежного выступа), от количества спускаемых свечей (а, в) и снижения температуры шкива при естественном охлаждении от времени (б, г) в серийных (а, б) и в усовершенствованных (в, г) фрикционных узлах тормоза

температур обода тормозного шкива в усовершенствованном фрикционном узле достигнуто за счет квазивыравнивания удельных нагрузок между его парами трения.

Циркуляция тепловых токов в тормозном шкиве. Для визуализации процессов распространения теплоты при электротермомеханическом трении в металлополимерных парах трения ленточно-колодочного тормоза с целью ее прохождения по толщине обода шкива и его крепежного выступа использована модель конечно-элементного моделирования в среде Ansys Workbench. Для этого разработали эскиз и модель поперечного сечения тормозного шкива с различным расположением крепежного выступа по ширине его обода. Исследования проводились для толщин обода и его крепежного выступа $\delta = 20,0$ мм. Тормозной шкив изготовлен из литейной стали 35ХНЛ.

После завершения подготовки модели обода тормозного шкива ее рабочую поверхность нагрузили тепловым потоком, вызывающим поверхностную температуру $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, равную допустимой температуре для материалов фрикционной накладки при коэффициенте теплоотдачи от матовых поверхностей шкива равному $11,0\text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ и температуре окружающей среды $22,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. В результате получили распределение тепловых потоков (рис. 2, *а*) и объемных температур (рис. 2, *б*)

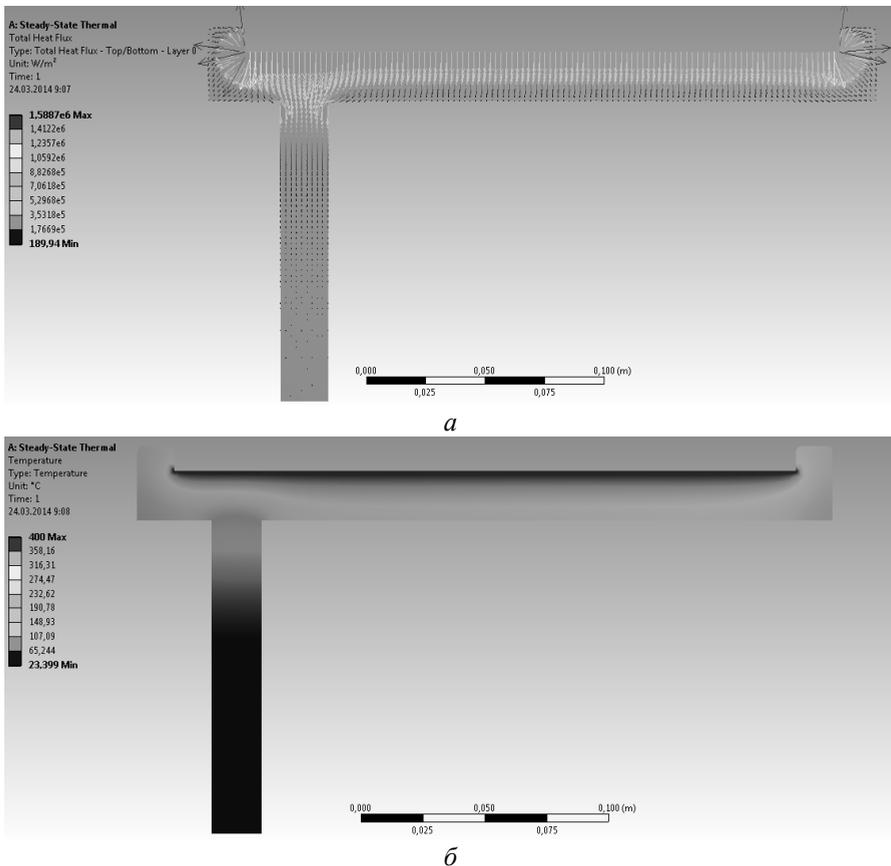


Рис. 2. Распределение тепловых токов в обode тормозного шкива (*а*) и термограммы его элементов (*б*)

по толщине обода шкива и крепежного выступа. Последний расположен на краю обода. При этом левая сторона обода является защемленной, а правая сторона – свободной, что свидетельствует о максимальных величинах удельных нагрузок на левой стороне обода шкива, уменьшающихся к его правой стороне. Что каса-

ется тепловых токов, формирующихся в ободе над крепежным выступом и в боковых объемах обода, являются ускоренными и носят характер основных для нагревания крепежного выступа. Основные тепловые токи являются тормозящими, поскольку дополнительные токи, идущие от остальной части обода шкива затрачиваются на ее нагревание. При этом необходимо учитывать тот факт, что интенсивность теплообмена от полированной рабочей поверхности обода шкива намного выше, нежели от его боковых и внутренней поверхностей при условии что рассматриваются одинаковые поверхности теплообмена.

Согласно рис. 2, б произошел прогрев обода шкива, который способствовал заметному уменьшению температурного градиента по его толщине. При этом резко уменьшается интенсивность конвективного теплообмена, а увеличивается кондуктивный теплообмен от обода шкива к крепежному выступу.

В процессе электротермомеханического трения при импульсной и длительной передаче теплоты от слоя к слою обода шкива существенную роль играет их термическое сопротивление. Чем больше расстояние от рабочей поверхности обода шкива к его середине, тем больше внутреннее термическое сопротивление из-за ослабления теплового тока, прошивающего толщину очередного слоя обода.

Знание энергонагруженности ободов тормозных шкивов и тепловых токов, циркулирующих в них, позволяет перейти к рассмотрению природы зарождения и развития трещин на рабочих поверхностях ободов шкивов.

Природа зарождения и развития трещин на рабочей поверхности обода шкива. При механическом и тепловом нагружении рабочей поверхности обода тормозного шкива процесс разрушения включает обычно три стадии инициирования трещины, ее стабильный рост при возрастающей или постоянной нагрузке и нестабильное распределение трещины (согласно теории Гриффитса). Однако не во всех материалах реализуются все три стадии разрушения [6].

Радиальные макротрещины по месту своего зарождения можно разделить на два типа: центральные, то есть начинающие свое развитие на рабочей поверхности обода шкива над крепежным выступом и краевые в местах сопряжения обода шкива с ребрами (рис. 3, а, б). Судя по имеющимся данным наиболее вероятно разрушение рабочей поверхности обода по центральной трещине, находящейся над крепежными выступами 5 (очаги I и IV). В своем развитии по поверхности трения обода шкива центральная трещина проходит ускоренную фазу (очаги I и IV), а краевые трещины – замедленную фазу (очаги II, V и III, VI). Вглубь материала обода шкива центральная трещина продвигается эллиптическим фронтом на величину поверхностного и подповерхностного слоев, исходя из того на какую глубину проникают тепловые токи длительного и импульсного характера при электротермомеханическом трении микровыступов металлополимерных пар. Образование центральной трещины из краевой происходит, как правило, если одновременно с последней образуется центральная трещина, которая затем соединяется с краевой. В большинстве случаев это происходит на заземленных краях ободов шкивов (очаги I-II и IV-V). Чаще всего развитие краевых трещин происходит замедленно или вообще прекращается задолго до доминирования центральной трещины. Испытания показали, что на рабочей поверхности обода шкива может зародиться и развиваться несколько крупных трещин, но только по одной из них происходит воссоединение с краевой (см. рис. 4).

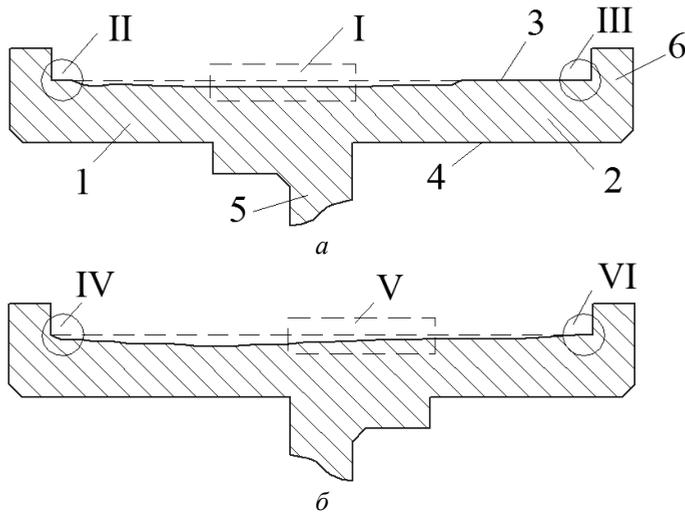


Рис. 3. Износы рабочих поверхностей левого (а) и правого (б) ободов тормозных шкивов в зависимости от стороны защемления их краев и очаги возникновения максимальных термических напряжений: 1, 2 – защемленный и свободный край обода; 3, 4 – рабочая и нерабочая поверхности обода; 5 – крепежный выступ; б – реборды; очаги: I, IV – над крепежными выступами; II, V и III, VI – у защемленных и свободных краев ободов

Механизм разрушения фрикционной поверхности ободов тормозных шкивов, состоящих из трех стадий, может быть представлен в следующем виде.

Разрушение начинается с образования сетки микротрещин (см. рис. 4 правый угол) под воздействием импульсных нормальных сил и тепловых токов, пульсирующих знакопеременных термонапряжений в тонком поверхностном слое обода шкива. Одновременно со знакопеременными термическими напряжениями в поверхностном слое действуют знакопеременные касательные напряжения от сил трения, которые способствуют развитию этих трещин в направлении перпендикулярном действию сил трения, то есть в радиальном направлении.

В дальнейшем, после разупрочнения поверхностного слоя обода шкива амплитуда знакопеременных термических напряжений в нем должна резко уменьшиться, так как образовавшиеся мелкие термические трещины служат термокомпенсационными зазорами. Иницирующие фрикционно-контактную усталость силы трения действуют только по поверхности трения обода шкива. Ответственными за дальнейший рост трещин следует считать (от нуля до некоторого максимума) тангенциальные растягивающие напряжения в основном материале обода шкива, направление действия которых нормально к траектории развития трещин от фрикционно-термической усталости его поверхностного слоя.



Рис. 4. Рост трещин на рабочей поверхности левого обода шкива лебедки У2-5-5 (контора бурения «Карадагнефть», Азербайджанской республики) при глубине скважины 42400 м

Приняв эту гипотезу, можно объяснить причину разрушения рабочих поверхностей ободов шкивов при повышении начальной скорости торможения: чем выше начальная скорость, тем интенсивнее возрастают термические тангенциальные напряжения, и тем быстрее развиваются центральные трещины. Большую роль в этом процессе играет общее напряженно-деформированное состояние обода шкива, а особенно неравномерный прогрев его слоев.

Оценка термонапряженного состояния обода шкива в лабораторных условиях. Оценим величины термонапряжений, возникающих в ободке тормозного шкива, являющихся результатом особенностей его тепловой нагруженности.

Согласно энергетической теории прочности, максимальное эквивалентное напряжение, возникающее в ободке шкива в месте соединения его с крепежным выступом, определяем по зависимости вида

$$\sigma_0 = 2,269\Delta t, \quad (1)$$

где Δt – разность объемных температур между ободком шкива и его крепежным выступом.

Обработка статистических данных по разрезке краев трех новых ободков тормозных шкивов показала, что они сходились на 1,0-2,0 мм, т.е. имело место действие в них сжимающих напряжений. После разрезки 12-ти отработанных шкивов их края расходились на 40,0-50,0 мм. Следовательно, значительные остаточные растягивающие напряжения в ободке тормозного шкива образовались только в процессах фрикционного взаимодействия пар трения тормоза при их нагревании и вынужденном охлаждении при спуско-подъемных операциях.

Проанализируем величины остаточных растягивающих напряжений в отработанном шкиве, считая его состоящим из колец толщиной δ_1 и δ_2 при условии, что в ободах с толщинами $\delta_1 > \delta_2$ (рис. 5, а, б) крепежный выступ расположен на расстоянии $1,5\delta_1$ от торца левой реборды. Как видно из рис. 5, а, максимальные остаточные напряжения в ободах шкивов составляют примерно $38,0 \cdot 10^6$ Па. На рис. 5, б показано распределение остаточных напряжений в ободах тормозных шкивов буровых лебедок У2-5-5. Сравнение рис. 5, а и 5, б показало, что с уменьшением толщины обода шкива δ_2 на 25,0 % остаточные напряжения снижаются примерно на 31,0 %. При уменьшении толщины шкива δ_1 до толщины δ_2 остаточные напряжения настолько уменьшаются, что не способствуют возникновению на его рабочей поверхности крупных трещин. Подстановка экспериментальных данных в формулы работы [7] показала, что максимальные сжимающие напряжения на контактной поверхности обода превышали $30,0 \cdot 10^7$ Па.

Как видно из табл. 1, сжимающие напряжения в ободке тормозного шкива создаются, в основном, за счет напряжений от значительного температурного градиента на поверхностях обода, составляющего более 74,0 % суммарных напряжений, а также от расположения крепежного выступа на середине обода (см. рис. 5, в). Из табл. 1 и формул [7] следует, что такие сжимающие напряжения в шкиве σ_1 могли образоваться при перепаде температур свыше $38,5$ °С; перепад температур ниже $22,5$ °С не приводит к образованию остаточных напряжений.

В процессе остывания элементов тормозного шкива после спуска инструмента вследствие различной интенсивности теплоотдачи от полированной и матовых его поверхностей происходит перераспределение токов тепловых потоков, в результате чего возникают температурные градиенты обратного знака по толщине слоев обода из-за их подпитки тепловыми потоками, идущими от крепежного выступа, а также вследствие деструкционных процессов, происходящих в

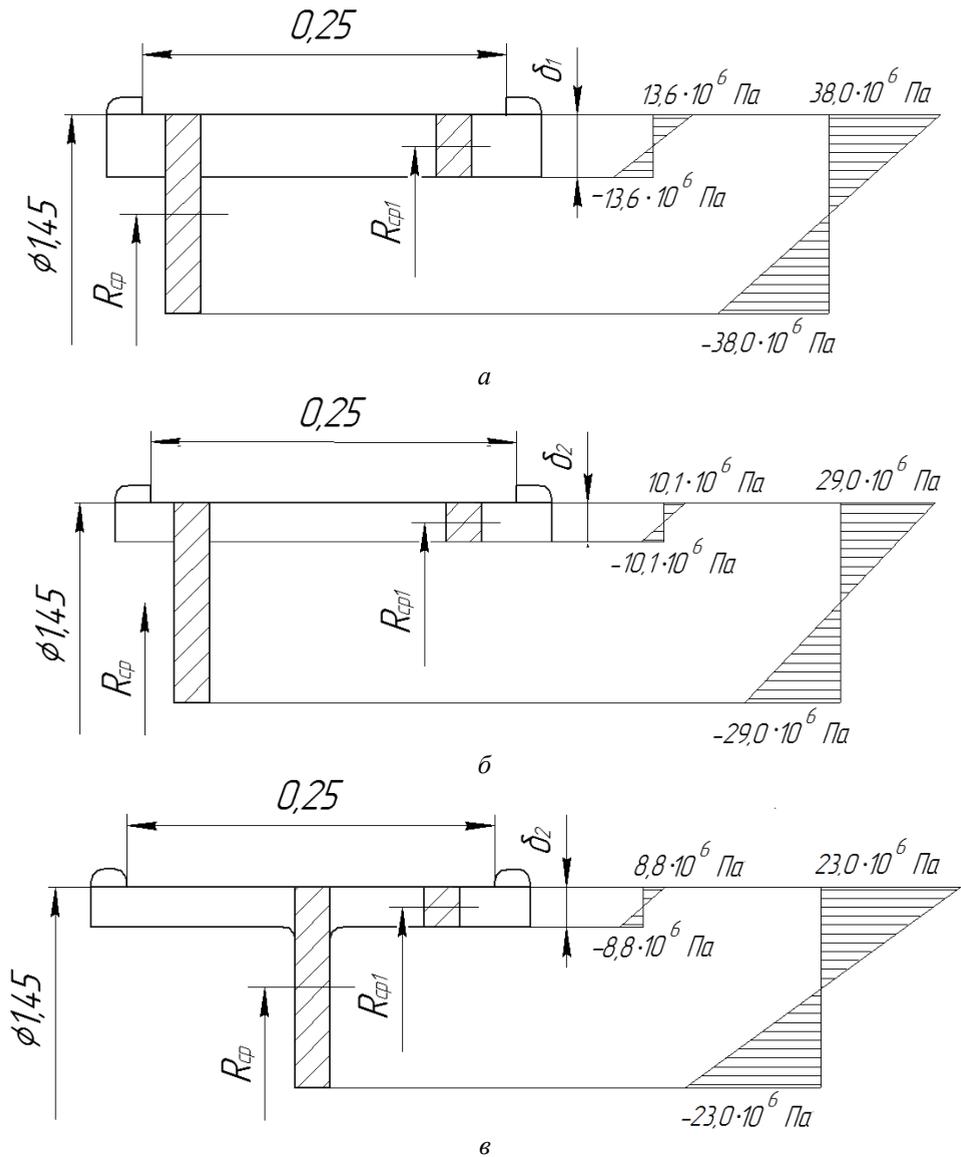


Рис. 5. Распределение остаточных напряжений в кольце единичной ширины проектируемых тормозных шкивов буровых лебедок установки У2-5-5 при условии: а, б – в ободах с толщинами $\delta_1 > \delta_2$ при расположении крепежного выступа на расстоянии $1,5\delta_1$ от торца левой реборды; в – в ободах при расположении крепежного выступа на его середине

Таблица 1

Составляющие величин сжимающих напряжений обода

Названия составляющих напряжений и их обозначение		Значение напряжений, МПа
Механическое напряжение, σ_m		18,2
Термические напряжения обода шкива от температурных градиентов	на поверхности, σ_1	233,0
	по толщине, σ_2	56,0
Максимальные напряжения, σ_{max}		307,0

поверхностных и подповерхностных слоях фрикционной накладки, которые вынужденно охлаждаются рабочей поверхностью обода шкива [8]. В этом случае поверхностная температура последнего и становится меньше температуры слоев обода (см. рис. 5, а, в). Напряжения на поверхности обода тормозного шкива при этом совпадают с остаточными напряжениями. Величину их определяем по зависимости

$$\sigma_1 = \frac{E\alpha(t_2 - t_1)}{2(1 - \mu)}, \quad (2)$$

где E – модуль Юнга; α – коэффициент линейного расширения материала обода шкива; t_1 , t_2 – температура соответственно подповерхностного слоя обода тормозного шкива и его рабочей поверхности; μ – коэффициент Пуассона.

Для исследуемой конструкции тормозного шкива даже при самых неблагоприятных условиях, т.е. при работе на серийных парах трения на всем протяжении спуска инструмента до забоя, эти напряжения составили менее 5 % остаточных растягивающих напряжений. Температурный градиент обратного знака при этом составлял 10 °С. При работе обода шкива в составе усовершенствованного узла трения температурный градиент обратного знака не возникал, в связи с тем, что поверхностная температура материалов фрикционных накладок не достигала допустимой, а следовательно, не возникали в ободке шкива и дополнительные растягивающие напряжения. Исследованиями температурных режимов ободов шкивов с усовершенствованными фрикционными узлами показало, что указанные напряжения составляют примерно 6,5 %.

Полученные данные дают возможность определить максимальное эквивалентное напряжение, возникающее в ободке шкива от сопряжения с ним крепежного выступа в результате действия температурного градиента по их толщине, используя зависимость (1). В данном случае при торможении для обода шкива градиент температуры по отношению к крепежному выступу составляет 65,0°С, а расчетное напряжение при этом достигает $\sigma_0 = 147,5$ МПа.

Следовательно, температурные напряжения в ободке шкива могут достигать регламентированных величин особенно зимой, когда поверхностный температурный градиент большой. Неоднократное приложение импульсных нормальных сил, электрических и тепловых токов приводит к появлению в теле обода шкива остаточных напряжений. В тормозных шкивах при эксплуатации возникает усадка, образующая на центрирующей поверхности усилие, вызывающее растягивающее напряжения. Этим и объясняется тот факт, что отработанные шкивы из сталей всех марок, при условии отсутствия в них трещин, при демонтаже приходилось разрезать автогенном, при этом концы в места реза расходились на 40-50 мм.

Таким образом, суммарные напряжения, действующие в ободке шкива в результате приложенной удельной нагрузки, температурных градиентов и остаточных упругих деформаций, велики и при неблагоприятном сочетании могут приводить к разрушению его рабочей поверхности.

Так как в процессе эксплуатации на рабочей поверхности обода шкива зарождаются термически усталостные трещины, впоследствии развивающиеся в поверхностных и подповерхностных слоях обода шкива, поэтому он работает при наличии сетки трещин на рабочей поверхности. Исходя из этого целесообразно изучить характеристики металла из которого изготовлены шкивы, состояние ободов которых зависит от динамической, электрической и тепловой нагру-

женности их рабочих поверхностей, и как следствие, сопутствующих им стадий зарождения и развития трещин.

Определение напряжений сопротивления трещинообразованию и износ рабочих поверхностей ободов шкивов. Сопротивление материала тепловому импульсу понимается как стойкость материала в условиях мгновенной генерации электрических и тепловых токов. Проблема сопротивления тепловому импульсу, действующему на подповерхностный слой материалов обода шкива, и термическими напряжениями сводится к определению максимальных тепловых напряжений, обусловленных температурным полем материалов. При тепловом импульсе термические напряжения возникают под действием переменных температурных градиентов, которые носят поверхностный и глубинный характер; при этом важное значение приобретает темп нагревания подповерхностных слоев обода шкива, находящихся под его рабочей поверхностью, посредством тепловых импульсов.

Решающим фактором в зарождении и развитии трещин на рабочей поверхности ободов является отношение сопротивления трещинообразованию (σ_c) к максимальному тепловому напряжению (σ_{max})

$$S = \sigma_c / \sigma_{max}, \quad (3)$$

где S – величина сопротивления тепловому удару, если $S > 1,0$ поверхностный и подповерхностный слой материала обода шкива не разрушается.

На рис. 6 проиллюстрирована зависимость напряжений сопротивления трещинообразованию (σ_c) от объемной температуры обода шкива ($t_{об}$) и величины сопротивления тепловому удару (S). В интервале объемных температур от 50,0 до 200,0 °C обода шкива суммарные остаточные термические напряжения изменяются от 100,8 до 299,0 МПа и при $S = 1,0$ они равны напряжениям сопротивления трещинообразованию (σ_c). При $S = 0,2-0,8$ напряжения сопротивления трещинообразованию изменяются от 20,2 до 239,2 МПа, которые будут способствовать зарождению и развитию микротрещин на рабочей поверхности обода шкива.

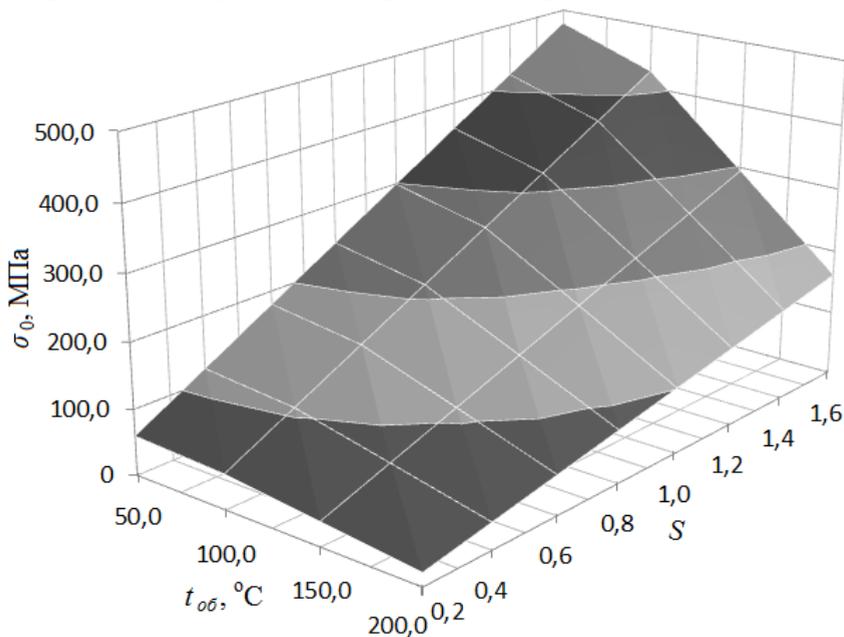


Рис. 6. Зависимость напряжений сопротивления трещинообразованию (σ_c) от объемной температуры обода шкива ($t_{об}$) и величины сопротивления тепловому удару (S)

На рис. 7 проілюстровані зноси робочих поверхностей левих (*a*, *з*) і правих (*б*, *в*) ободів тормозних шківів, існуючих заземлений і вільний край. Останнє обставина і грає визначальну роль в зносі робочої поверхні обода шківів. Зноси робочих поверхностей левих (рис. 7, *a*, *з*) ободів тормозних шківів представлені на початковій стадії прироботки до них фрикційних накладок, про що свідчить мінімальна величина зносу робочої поверхні обода шківів. На рис. 7, *з* показаний максимальний знос робочої поверхні обода шківів, існуючого сітку тріщин різних розмірів на його ободі. Такий тормозний шків підлягає вибраковці. Знос робочих поверхностей правих (рис. 7, *б*, *в*) ободів тормозних шківів представлений в процесі їх експлуатації. Велика величина зносу робочих поверхностей ободів шківів спостерігалася з боку їх вільного краю тому що фрикційні накладки мали перекося на набегаючій гілці тормозної стрічки. Робочі поверхності ободів тормозних шківів мали сітку тріщин з допустимими їх розмірами.

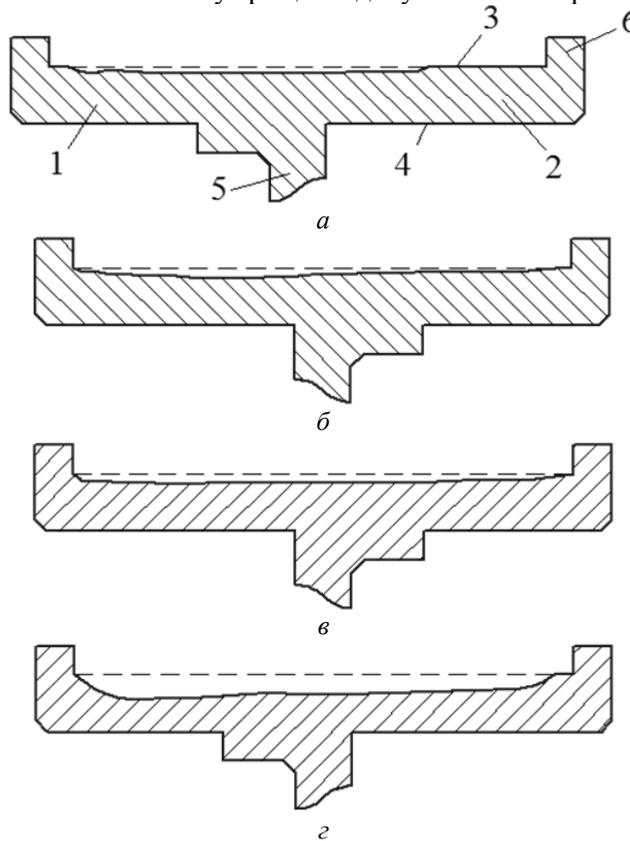


Рис. 7. Зноси робочих поверхностей левих (*a*, *з*) і правих (*б*, *в*) ободів тормозних шківів в залежності від сторони заземлення їх країв (обозначення елементів шківів приведено на рис. 3)

Ісходя з вищеизложеного, підвищення робітоспособності ободів шківів ленточно-колодочного тормоза бурової лебідки досягається за счет:

– зниження остаточних термічних напружень в ободі шківів, як путем зменшення поверхневих допустимих температур для матеріалів фрикційної накладки для запобігання виникнення деструктивних процесів і сітки тріщин на робочих поверхностях ободів шківів;

– снижения металлоемкости ободов тормозных шкивов путем: уменьшения их толщины; выполнение разборными или их устранением с процесса электро-термомеханического трения.

Вывод. Таким образом, показана энергонагруженность металлополимерных пар трения ленточно-колодочного тормоза, оценены максимальные сжимающие напряжения действующие на рабочую поверхность обода шкива, раскрыта природа зарождения и развития трещин в его поверхностном и подповерхностном слое при росте локальной энергетической нагруженности пятен контактов микровыступов, что позволяет прогнозировать работоспособность металлополимерных пар трения тормоза.

Список литературы

1. 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.
2. Джанахмедов А. Х. Нефтяная трибология / А. Х. Джанахмедов – Баку: Элм, 2003. – 326 с.
3. 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. – С.20-30.
4. Джанахмедов А. Х. Физико-стохастическое трибомоделирование / А. Х. Джанахмедов. – Баку: Элм, 1988. – 152с.
5. Пат. 2513964 С2 РФ F16D 49/08. Ленточно-колодочный тормоз буровой лебедки с многопарными узлами трения. Вольченко А. И., Вольченко Н. А., Криштопа С. И., Возный А. В.; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковск. национал. техн. ун-т нефти и газа. - № 2012116739/11; заявл.24.04.2012. опубл.20.04.2014, Бюл.№11. – 12с.
6. Промышленные полимерные композиционные материалы / Под общ. ред. М. Ричардсона. – М.: Химия, 1980. – 472с.
7. Электромеханический износ и разрушение ободов тормозных шкивов буровых лебедок (часть первая) / Д. А. Вольченко, Н. А. Вольченко, Э. А. Джанахмедов и др.// Научно-техн. журнал. – Киев.: НАУ. – №2 (63). – 2014. – С. 30 - 50.
8. 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 05.09.2012 г.

*О. І. ВОЛЬЧЕНКО, М. О. ВОЛЬЧЕНКО, Д. Ю. ЖУРАВЛЬОВ, М. Я. ДЖАВАДОВ,
А. В. ВОЗНИЙ, П. С. КРАСИН*

ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ ЗНОС І РУЙНУВАННЯ ОБОДІВ ГАЛЬМІВНИХ ШКІВІВ БУРОВИХ ЛЕБІДОК (частина друга)

Проілюстровані експериментальні (лабораторні та промислові) дослідження енергонавантаженості і руйнування ободів гальмівних шківів в металополімерних парах тертя стрічково-колодкових гальм бурових лебідок.

Ключові слова: стрічково-колодке гальмо, шків з ободом, процеси нагрівання і вимушеного охолодження, електричні та теплові струми, електротермомеханічне тертя і знос, зародження і розвиток тріщин, стискаючі, розтягуючі і залишкові напруження, імпульсні нормальні зусилля.

*О. І. VOLCHENKO, М. О. VOLCHENKO, D. Y. ZHURAVLEV, M. Y. DZHAVADOV,
A. V. VOZNYI, P. S. KRASIN*

ELECTRO-MECHANICAL WEAR AND DESTRUCTION OF RIM OF BRAKE PULLEYS OF DRAW-WORKS (part two)

We've illustrated the experimental (laboratory and industrial) research energyloading and destruction of rims of brake pulleys in metal-polymer friction pairs of band-block brakes of drawworks. Objective: justify the formation and development of cracks on the working surface of the rim of brake pulley at the micro level, based on its complex stress state. We have considered the following questions: evaluation of energy loading of metal-polymer friction pairs of band-block brake in an industrial environment; circulation of thermal currents in the brake pulley; nature of origin and development of cracks on the working surface of the rim of a pulley; evaluation of thermal stress state of pulley of rim in the laboratory conditions and determination of stress cracking resistance and wear of the working surfaces of the rims of pulleys.

Keywords: band-block brake, pulley and rim, process heating and forced cooling, electrical and thermal currents electric-thermal-mechanical friction and wear, occurrence and development of cracks, compressive, tensile and residual stresses, pulse normal forces.

Вольченко Александр Иванович – д-р техн. наук, профессор кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина.

Вольченко Николай Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия.

Журавлев Дмитрий Юрьевич – канд. техн. наук, доцент кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина.

Джавадов Максим Ягуб оглы – генеральный директор промышленной компании «АСНАФ», член-корреспондент Азербайджанской инженерной академии, г. Баку, Азербайджан.

Возний Андрей Владимирович – аспирант кафедры механики машин, Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, Украина, anarkil@i.ua.

Красин Петр Сергеевич – аспирант кафедры материаловедения и автосервиса, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия.