

УДК 629.413-592.112

UDC 629.413-592.112

05.00.00. Технические науки

Technical Sciences and Engineering

ЭНЕРГОНАГРУЖЕННОСТЬ ДИСКОВ В ПАРАХ ТРЕНИЯ «ДИСК-КОЛОДКА» ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ (часть первая)

ENERGY-LOADING OF DISKS IN “DISC-PAD” FRICTION PAIRS OF BRAKING DEVICES IN VEHICLES (part one)

Красин Петр Сергеевич
аспирант

Krasin Petr Sergeevich
postgraduate student

Вольченко Николай Александрович
к.т.н., доцент
Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, Россия

Volchenko Nikolay Aleksandrovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

Журавлев Дмитрий Юрьевич
к.т.н., доцент

Zhuravlev Dmitry Yurievich
Cand.Tech.Sci., associate professor

Захара Игорь Ярославович
к.т.н., доцент
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

Zahara Igor Yaroslavovich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

В материалах статьи оценена энергонагруженность дисково-колодочных тормозов автобуса А172 по результатам предварительных этапов испытаний типа I и II согласно регламентируемым нормам ЕЭК ООН и установлены закономерности протекания теплообменных процессов при взаимодействии поверхностей сплошных и самовентилируемых тормозных дисков со скоростными токами омывающего воздуха

We've illustrated assessment of energy-loading of disk-pad brakes of the bus A172 in the preliminary stages of tests type I and II according to regulated standards of UNECE and we've established regularities of heat exchange processes in the interaction surfaces of solid and self-ventilated brake discs with high-speed currents of washing air

Ключевые слова: ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫЙ ТОРМОЗ, СПЛОШНОЙ И САМОВЕНТИЛИРУЕМЫЙ ТОРМОЗНОЙ ДИСК, ИСПЫТАНИЯ ТИПА I И II, КОНВЕКТИВНЫЙ И РАДИАЦИОННЫЙ ТЕПЛООБМЕН, НАГРЕВАЕМАЯ И ОХЛАЖДАЕМАЯ ПОВЕРХНОСТИ

Keywords: DISC-PADS BRAKES, SOLID AND SELF-VENTILATED BRAKE DISCS, TYPE TEST I AND II, CONVECTIVE AND RADIOACTIVE HEAT TRANSFER, HEATING AND COOLING SURFACES

Введение. Наличие высоких температур и температурных градиентов на поверхностях металлического и неметаллического фрикционных элементов, а также по их толщине в тяжело нагруженных фрикционных узлах дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств приводит к изменению износо-фрикционных свойств материалов их пар трения. В них происходят структурные превращения, интенсифицируются процессы теплообмена, износа и разрушения

поверхностных слоев элементов трения. Процессы износа и разрушения касаются материалов пары трения. Их интенсивность обусловлена контактным взаимодействием, сопровождаемым совместным действием поверхностной температуры и температурного градиента, вызывающих значительные термические напряжения в материалах фрикционных элементов тормозных устройств, особенно в тормозных дисках.

Состояние проблемы. Электротермомеханическое трение, реализуемое дисково-колодочным тормозным механизмом автотранспортного средства, может быть как непродолжительным (единичное торможение), так и продолжительным и длительным (циклическое и длительное торможение). От продолжительности процесса трения зависит величина генерируемых на поверхности трения токов, количество возникающей теплоты и глубина проникновения тепловых волн по толщине тормозного диска. Исходя из вышеизложенного, к рассмотрению предлагается импульсный и длительный подвод теплоты к элементам пары трения «диск – накладки колодок». Остановимся кратко на анализе опубликованного ранее материала, касающегося нового подхода к тепловой динамике трения фрикционных узлов тормозных устройств, в частности, составляющих генерируемых токов в парах трения тормозных устройств [1]. Генерируемые токи напрямую зависят от теплового состояния поверхностных слоев фрикционных накладок, которое может быть до допустимой температуры и превышать ее для их материалов. Поверхностные слои фрикционных накладок, являющиеся своего рода анодом, принимают непосредственное участие в процессах теплообмена по схеме «приповерхностные слои фрикционных накладок - приповерхностные слои тормозного диска». Остальная часть толщины накладок выполняет функции мощного теплоизолятора. Тормозной диск и с фланцем является мощным аккумулятором тепловой энергии. При этом необходимо иметь в виду, что он выполняет функции катода. Физико-

химическое состояние поверхностных слоев диска зависит не только от их температуры, но и от градиента температур по поверхности и по толщине тормозного диска.

В [2] предложен метод расчета температур в области контакта элементов пар трения дисково-колодочных тормозов подъемно-транспортных машин. Однако здесь не были учтены генерируемые электрические токи на пятнах контактов микровыступов пар трения тормоза, которые влияют на его энергонагруженность.

Постановка задачи. В материалах статей рассмотрены следующие вопросы:

- влияние типа испытаний на энергонагруженность пар трения дисково-колодочного тормоза автотранспортного средства;
- интенсивность теплообменных процессов с поверхностями тормозных дисков различных типов (часть первая);
- объемные и поверхностные температурные градиенты тормозных дисков;
- особенности конструирования тормозных дисков (часть вторая).

Цель работы. Оценить энергонагруженность тормозных дисков различных типов с учетом коэффициентов взаимного перекрытия пар трения тормоза и установить закономерности изменения их эксплуатационных параметров.

Влияние типа испытаний на энергонагруженность пар трения дисково-колодочного тормоза автотранспортного средства. Удельная энергоемкость металлических фрикционных элементов (тормозных шкивов, барабанов и дисков) существенно уменьшается при снижении их массы. По данным проф. М.П. Александрова удельная энергоемкость дисково-колодочных тормозов подъемно-транспортных машин с циклическим режимом работы (при равных условиях эксплуатации) выше удельной энергоемкости колодочных тормозов в четыре раза, конусных –

в шесть раз, дисковых – в десять раз. Все вышеизложенное подтверждается графическими зависимостями момента инерции металлического элемента трения колодочных (1) и дисково-колодочных (2) тормозов от его диаметра и момента трения (рис. 1 а, б).

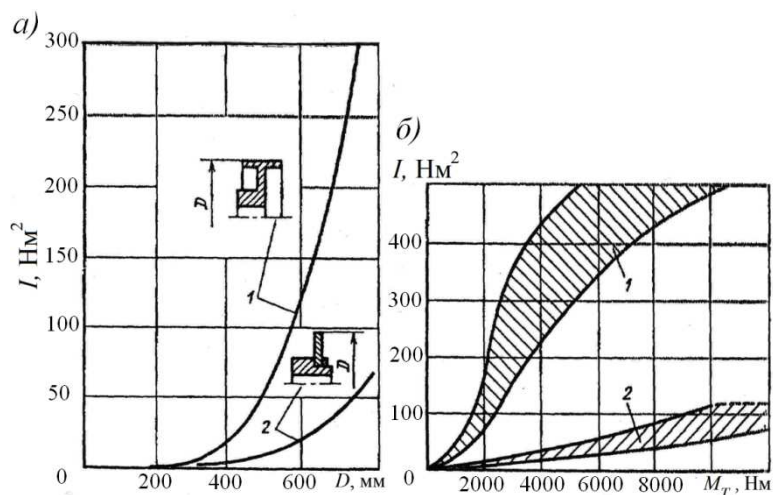


Рисунок 1 а, б – Зависимость момента инерции контртел колодочных (1) и дисково-колодочных (2) тормозных устройств от: а – внешнего диаметра D ; б – тормозного момента

Все вышеизложенное в одинаковой мере относится и к фрикционным накладкам. Кроме того, следует заметить, что некоторые присутствующие факторы (как, например, термостабилизационное и метастабильное состояние, соответственно, тормозного диска и рабочей поверхности фрикционной накладки), влияющие на энергонагруженность фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств, остаются вне поля зрения исследователей.

Дисково-колодочный тормозной механизм состоит из вращающегося сплошного диска 1, к которому с обеих сторон при помощи привода (на рис. 2 не показан) прижимаются неподвижные колодки 2 с фрикционными накладками. Последние расположены внутри суппорта 3, закрепленного на кронштейне цапфы (на рис. 2 не показана).

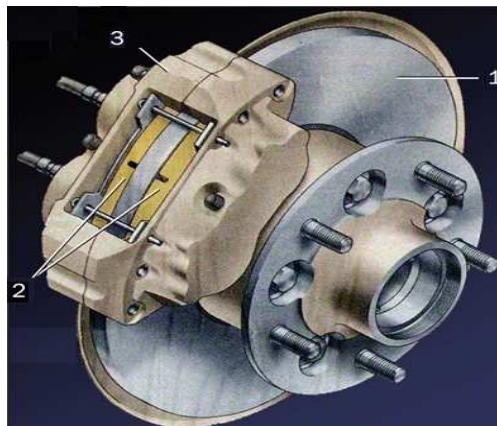


Рисунок 2 – Дисково-колодочный тормоз: 1 – вращающийся сплошной тормозной диск; 2 – неподвижные колодки с фрикционными накладками; 3 – суппорт

На процессы механического, электрического, теплового и химического характера, протекающие на фрикционном контакте, существенное влияние оказывает геометрия микровыступов взаимодействующих поверхностей, которые в реальности отличаются от идеальной поверхности. Это приводит к тому, что при сближении рабочих поверхностей пар трения под внешней нагрузкой взаимодействие происходит на пятнах контактов микровыступов (дискретный фрикционный контакт) с большими удельными нагрузками, генерируемыми электрическими токами и интенсивным тепловыделением. Особенно это касается циклического (тип I) и длительного (тип II) испытаний дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств [3].

Циклический режим характеризуется наличием периодически повторяемых процессов торможения и пауз в работе тормоза. Период охлаждения (пауза) относительно невелик, и температура поверхности трения не успевает снизиться до температуры окружающей среды. Поэтому каждое последующее торможение начинается при температуре значительно превышающей начальную температуру предыдущего торможения. По мере увеличения перепада между температурой рабочих

элементов тормоза и температурой окружающей среды увеличивается количество теплоты, отводимой в окружающую среду, и рост температуры поверхности трения замедляется. После некоторого числа торможений количество теплоты, отводимой в окружающую среду, становится равным количеству теплоты, образующейся при торможении. Создается некоторое условное тепловое равновесие, при котором температура, возникающая на поверхности трения, к концу каждого торможения будет иметь одно и то же значение (условная установившаяся температура). В этом режиме работают тормоза подъемно-транспортных машин, а также автотранспортных средств при движении в городских условиях и т.п.

Длительный режим. В тормозах, работающих в этом режиме, период торможения настолько велик, что температура поверхности трения достигает некоторого значения установившейся температуры и длительное время удерживается на этом уровне.

В таком режиме работают некоторые спускные тормоза грузоподъемных машин, тормоза буровых и геологических лебедок, тормоза автотранспортных средств на длительных спусках и т.п. Такие режимы нагревания пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств используют при их испытаниях при оценке эффективности.

Указанные режимы являются систематизированными, и в них темп нагревания поверхностей трения тормоза на два порядка выше, чем темп их вынужденного охлаждения [4].

Критериями оценки эффективности дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств в нагретом состоянии являются испытания типа I и II в соответствии с Правилами 13 ЕЭК ООН (Европейской Экономической Комиссии при Организации Объединенных Наций). Согласно этому документу предварительные этапы испытаний I и II проводятся, соответственно, методами последовательных и длительных

торможений, в конце которых реализуются экстренные торможения автотранспортного средства до полной остановки (основной этап). Поэтому значительный интерес представляет сопоставление температурных режимов пар трения дисково-колодочных тормозов при проведении предварительных этапов испытаний типа I и II.

Энергии, воспринимаемые парами трения дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств на предварительных этапах испытаний I и II, составляют:

$$E' = 20G_a(V_H^2 - V_K^2)/2 \cdot 3,6^2 = 2083G_a, \text{ Дж (1)} \quad E'' = G_a g S [i - (f + \gamma'_t)] = 2354G_a, \text{ Дж (2)}$$

где G_a - масса автотранспортного средства; V_H , V_K - регламентируемые скорости, соответственно в начале и конце торможения; g - ускорение свободного падения, м/с²; i - величина уклона дороги ($i=0,06$); S - протяженность спуска, (6 км); f - коэффициент сопротивления качению; γ'_t - удельная тормозная сила, создаваемая тормозом-замедлителем ($f + \gamma'_t = 0,02$).

Из анализа полученных величин энергий согласно зависимостям (1) и (2) следует, что общая энергонагруженность пар трения дисково-колодочных тормозов на предварительном этапе испытаний II приблизительно на 12 % выше, чем при испытаниях I, несмотря на то, что условия теплоотвода лучше при длительном подводе теплоты к тормозному диску. При циклическом нагружении тормоза (испытания типа I) имеет место импульсный подвод теплоты к тормозному диску.

Теплообменные процессы с поверхностями тормозных дисков различных типов. Одной из важных проблем является обеспечение необходимой энергоемкости тормозных дисков при условии, что фрикционные накладки колодок выдерживают тепловую нагрузку лишь до допустимой температуры. Поэтому необходимо тормозные диски конструировать таким образом, чтобы они интенсивно рассеивали кинетическую энергию автотранспортного средства при длительных и

апериодических циклических торможениях, не допуская превышения допустимой температуры для материалов фрикционных накладок трибосопряжения [5]. Как показали последующие исследования энергонагруженности тормозных дисков, спроектированных без учета указанных требований, ими недоиспользованы значительные резервы теплорассеивающей способности.

При разработке новых конструкций самовентилируемых тормозных дисков решаются следующие задачи:

- обеспечение интенсивного теплоотвода от поверхностей трения;
- создание автоматически регулируемой системы вынужденного охлаждения, расположенной в теле тормозного диска, в зависимости от его угловой скорости.

Применение развитой поверхности теплообмена в виде ребер, выступов и других элементов внутри тормозного диска позволит его рабочим поверхностям воспринимать большие тепловые удельные нагрузки без превышения допустимой температуры для материалов фрикционных накладок (см. рис. 3 *а, б, в*).

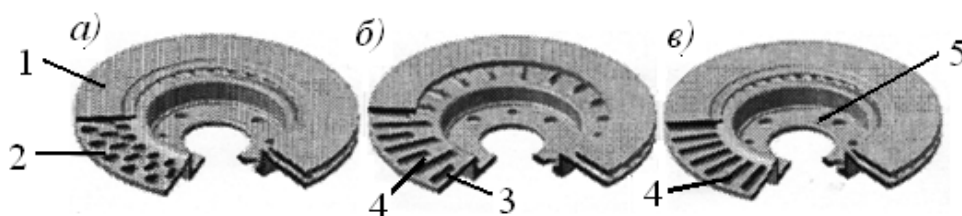


Рисунок 3 *а, б, в* – Конструктивные варианты самовентилируемых тормозных дисков с поясом трения 1, фланцем 5 и с радиальными чередующимися: выступами 2 с зазором (*а*); полуребрами 3 и ребрами 4 (*б*); ребрами 4 (*в*)

На рис. 4 *а, б, в* проиллюстрированы: самовентилируемый тормозной диск с накладкой (*а*) и их конструктивные параметры; фрикционное

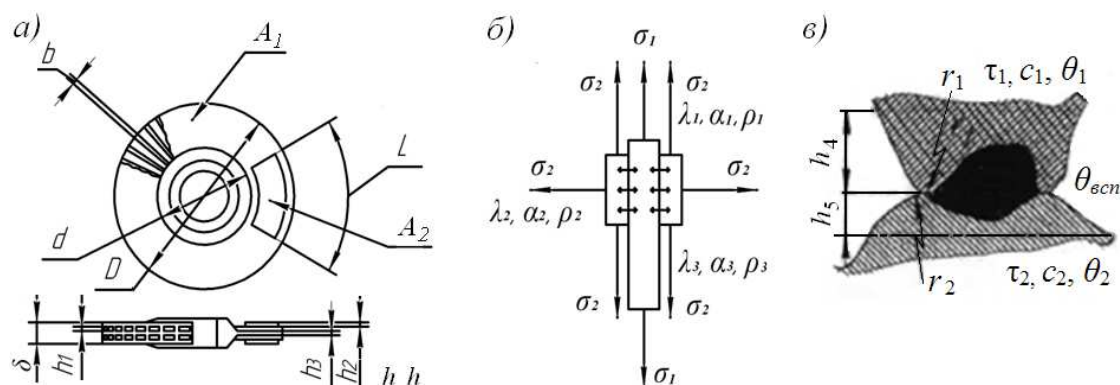


Рисунок 4 а, б, в – Самовентилируемый тормозной диск с накладкой (а) и их конструктивные параметры; фрикционное взаимодействие пары «диск – накладка колодки» (б) с теплофизическими параметрами; пятно контакта на микровыступах пары трения (в)

взаимодействие пары «диск - накладка колодки» (б) с теплофизическими параметрами; пятно контакта на микровыступах пары трения (в).

На рис. 4 а, б, в использованы следующие обозначения: d , D – внутренний и наружный диаметры тормозного диска; A_1 , A_2 – площади элементов пары: диска; фрикционной накладки; δ , h_3 , b и h_2 – толщины: тормозного диска и его стенки; перегородки между ребрами диска; ребра и фрикционной накладки; h_1 - высота ребра; σ , λ , a – коэффициенты: теплоотдачи; теплопроводности; температуропроводности; c – теплоемкость; ρ – плотность; $h_{4,5}$ – высота микронеровности; $r_{1,2}$ – радиус микронеровности; $\theta_{всп}$, $\theta_{1,2}$ – температуры: вспышки; поверхностные; $\tau_{1,2}$ – напряжения среза микронеровностей.

В теплообмене принимают участие: рабочие и нерабочие поверхности тормозного диска, нерабочие поверхности фрикционной накладки и тормозной колодки. При этом кольцевой пояс трения диска, взаимодействующий с фрикционной накладкой колодки, имеет полированную поверхность, а остальные поверхности сплошного диска являются матовыми.

Аккумулятором тепловой энергии в данном виде тормоза является тормозной диск, который распределяет ее к периферии от его пояса трения, к центру - фланцу диска и через крепежные болты - к суппорту балки переднего моста автотранспортного средства посредством кондуктивного теплообмена.

Фрикционные накладки колодок являются своего рода теплоизолятором между поясом трения диска и собственно тормозной колодкой. При этом не перекрытые накладками поверхности сплошного диска омываются скоростными токами воздуха при движении автотранспортного средства. В самовентилируемом тормозном диске (см. рис. 4 *а, б*) процессы нагревания и вынужденного охлаждения происходят несколько иначе, чем в сплошном тормозном диске. Во-первых, теплота генерируемая на поясе трения самовентилируемого тормозного диска, расходуется на нагревание его тонких рабочих и нерабочих поверхностей вместе с радиальными чередующимися выступами с зазором, полурёбрами – рёбрами и рёбрами (см. рис. 3 *а, б, в*). Перечисленные элементы с развитыми поверхностями теплообмена омываются скоростными токами воздуха. В процессе длительного нагревания пояса трения самовентилируемого диска за счет вынужденного охлаждения создается температурный градиент по толщине его боковых стенок, который к концу торможения заметно снижается из-за прогрева боковой стенки. Во-вторых, аккумулируемая теплота в поясе трения распространяется к периферии и к центру от него в те части нагруженной поверхности самовентилируемого тормозного диска, которые интенсивно вынужденно охлаждаются, что ведет к увеличению поверхностного температурного градиента.

Выводы. Таким образом, по результатам предварительных этапов испытаний типа I и II дисково-колодочных тормозов автобуса А172 оценена энергоемкость их пар трения и установлены закономерности

теплообмена поверхностей (нагреваемых и охлаждаемых) со скоростными токами омывающего воздуха сплошных и самовентилируемых дисков.

Список литературы

1. Фрикционное взаимодействие в электрических и тепловых полях металлополимерных пар трения / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Э.С. Пирвердиев [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии. – Баку. – 2014. - №6(2). – С.30-54.
2. Носко А.П. Метод расчета температур в области контакта элементов пар трения тормозных устройств подъемно-транспортных машин: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04 и 05.02.04 / Носко Алексей Павлович. – М., 2010. – 135с.
3. ГОСТ Р 41.13-2007 (Правила №13 ЕЭК ООН). Единообразные предписания, касающиеся транспортных средств категорий М, N и O в отношении торможения. – М.: Стандартформ, 2009. – 170с.
4. 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.
5. Кита Я. Влияние отверстий в тормозных дисках на охлаждение тормозов / Я. Кита // Sumitomo Electr. Rev. – 1986. - № 93. – S. 88-92. – (Пер. с япон.).

References

1. Frikcionnoe vzaimodejstvie v jelektricheskix i teplovyx poljah metallopolimernyx par trenija / A.H. Dzhanahmedov, A.I. Vol'chenko, Je.S. Pirverdiev [i dr.] // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii. – Baku. – 2014. - №6(2). – S.30-54.
2. Nosko A.P. Metod rascheta temperatur v oblasti kontakta jelementov par trenija tormoznyx ustrojstv pod#emno-transportnyx mashin: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.05.04 i 05.02.04 / Nosko Aleksej Pavlovich. – M., 2010. – 135s.
3. GOST R 41.13-2007 (Pravila №13 EJeK OON). Edinoobraznye predpisanija, kasajushhiesja transportnyx sredstv kategorij M, N i O v otnoshenii tormozhenija. – M.: Standartform, 2009. – 170s.
4. Tempy nagrevanija metallopolimernyx par trenija pri impul'snom i dlitel'nom podvode teploty v lentочно-kolodochnom tormoze / A.H. Dzhanahmedov, A.I. Vol'chenko, D.A. Vol'chenko, N.A. Vol'chenko, N.M. Stebeleckaja // Nauchno-tehn. zhurnal. – Kiev: NAU. - №2(61). – 2013. – S.20-30.
5. Kita Ja. Vlijanie otverstij v tormoznyx diskah na ohlazhdenie tormozov / Ja. Kita // Sumitomo Electr. Rev. – 1986. - № 93. – S. 88-92. – (Per. s japon.).