

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 вторая)

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

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

Кашуба Николай Васильевич
к.т.н., доцент
Надворнянский колледж Национального транспортного университета, Украина

Kashuba Nikolai Vasilyevich
Cand.Tech.Sci., associate professor
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

Стадник Олег Богданович
аспирант
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Украина

Stadnyk Oleg Bogdanovich
postgraduate student
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

В материалах статьи рассмотрены: закономерности изменения объемных и поверхностных температурных градиентов сплошных и самовентилируемых тормозных дисков и проиллюстрировано их влияние на основные эксплуатационные параметры пар трения дисково-колодочного тормоза автобуса А 172; взаимосвязь теплофизических параметров полированных и матовых поверхностей с площадями тормозных дисков различных типов. Определено влияние типа испытаний на энергонагруженность пар трения дисково-колодочного тормоза автотранспортного средства. Установлена интенсивность теплообменных процессов с поверхностями тормозных дисков различных типов. Показано что это ведет к увеличению поверхностного температурного градиента. Объемные и поверхностные температурные градиенты тормозных дисков определялись с привлечением гипотезы суммирования температур на поверхности при учете генерируемых электрических токов. Установлено, что именно в приповерхностном слое рабочей поверхности сплошного тормозного диска при его импульсном нагревании под воздействием температуры вспышки зарождаются трещины, обусловленные термической усталостью материала диска. Рассмотрены особенности конструирования тормозных дисков. На основании расчетно-экспериментальных данных, установлена взаимосвязь между излучательной способностью матовых и полированной поверхностей и их

In the materials of the article we mention the regularities of changes in the volume and surface solid temperature gradients and self-ventilated brake discs and illustrate their impact on the main operating parameters of the friction pairs of disk-to-pad brakes of the A 172 bus; the relationship between thermo-physical parameters of polished and matte surfaces with areas of brake discs of various types. The influence of the type of tests on the pairs of loaded with energy friction disk and pad brakes of the vehicle. We have set the intensity of heat exchange processes from the surfaces of the brake discs of various types. It is shown that this leads to increased surface temperature gradient. The volume and the surface temperature gradients of the brake discs were determined with the involvement of the hypothesis of summation of temperatures on the surface when you post the generated electric currents. It was found that in the surface layer of the working surface of a solid brake disc at its pulse heating under the influence of the temperature of the flash nucleate cracks due to the thermal fatigue of the material of the disk. The features of the design of the brake discs were considered as well. On the basis of the calculation and the experimental data we have shown a correlation between the emissivity of brushed and polished surfaces and their areas in the disk-to-pad brakes when using solid and self-ventilated discs

площадями в дисково-колодочном тормозе при использовании в нем сплошных и самовентилируемых дисков

Ключевые слова: ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫЙ ТОРМОЗ, СПЛОШНОЙ И САМОВЕНТИЛИРУЕМЫЙ ТОРМОЗНОЙ ДИСК, ФРИКЦИОННАЯ НАКЛАДКА, ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА, ИСПЫТАНИЯ ТИПА I И II, ТЕПЛООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Keywords: DISC-PADS BRAKES, SOLID AND SELF-VENTILATED BRAKE DISCS, TYPE TEST I AND II, FRICTION LININGS, BRAKE PADS, HEAT TRANSFER PROCESSES

Введение. Для повышения энергоемкости дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств создаются и внедряются новые фрикционные материалы и усовершенствуются методы расчета тормозных дисков с точки зрения их динамической и тепловой нагруженности. Высокие значения поверхностной и объемной температуры и возникающих температурных градиентов в тормозных дисках существенно влияют на износ-фрикционные свойства пар трения дисково-колодочного тормоза. Особенностью последнего является низкий коэффициент взаимного перекрытия пар трения, который составляет $K_{\text{вз}}=0,1\dots 0,2$.

Состояние проблемы. Пары трения дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств при эксплуатации должны обеспечивать высокий и стабильный тормозной момент, сохранять необходимые износ-фрикционные свойства материалов трибосопряжения и не допускать их перегрева. В связи с этими требованиями проектирование, изготовление и испытания дисково-колодочных тормозов должны проводиться с учетом преобладающих условий их эксплуатации.

При этом необходимо обратить внимание не только на поверхностные температуры и градиенты тормозного диска, но и на объемные градиенты, возникающие по его толщине.

Интенсивное тепловыделение на поверхностях пар трения дисково-колодочного тормоза приводит к неравномерному нагреванию диска из-за незначительного коэффициента взаимного перекрытия. Наличие вентилируемых каналов в его теле интенсифицирует процессы

конвективного и радиационного теплообмена со скоростными токами окружающей среды. Особенностью самовентилируемых тормозных дисков является то, что резкие изменения толщины в зонах ребер, полуребер, выступов и каналов приводят к необратимым тепловым деформациям и образованию эксплуатационной макроволнистости поверхности трения диска. Применение самовентилируемых дисков способствует увеличению развитой поверхности теплообмена. В связи с этим возникла задача установления закономерностей изменения теплофизических параметров охлаждаемых и нагреваемых поверхностей сплошного и самовентилируемого тормозных дисков. До настоящего времени этот вопрос не рассматривался [1, 2].

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 коэффициента взаимного перекрытия пар трения дисково-колодочного тормоза и установить закономерности изменения их эксплуатационных параметров.

Объемные и поверхностные температурные градиенты тормозных дисков. Величины тепловых токов на пятнах контактов микровыступов пар трения дисково-колодочного тормоза определялись с привлечением гипотезы суммирования температур на поверхности при учете генерируемых электрических токов:

$$\theta_{\text{общ}} = \theta_{\text{П}} + \Delta\theta_{\text{П}}, \quad (1)$$

где $\theta_{\text{П}}$ – поверхностная температура от трения и контактного сопротивления, вызванная генерируемыми токами на пятнах контактов микровыступов, а также фрикционной составляющей; $\Delta\theta_{\text{П}}$ – прирост поверхностной температуры от температуры вспышки, вызванной разрядными токами между микровыступами.

В теле металлического фрикционного элемента формируется объемная температура θ_1 , вызванная действием первых двух составляющих температур, а также джоулевой теплоты. Температура θ_1 определяется из условия действия двух источников теплоты (электрического и фрикционного) в зоне трения:

$$\theta_{\text{П}} = \frac{0,942q_0\alpha_{\text{ТПП}}}{\lambda} \sqrt{\frac{a_1 d_{\text{ср}}}{\pi V}}, \quad (2)$$

где $q_0 = \frac{1}{A_r} \left[I^2 \left(\frac{\rho\sqrt{HB}}{\sqrt{\pi N}} + \frac{\sigma_k HB}{N} \right) + f NV \right]$ – тепловой поток на контактной

поверхности с учетом электрической и фрикционной составляющей, Вт/м²; A_r – фактическая площадь касания, мм²; I – генерируемый ток в парах трения, А; ρ – удельное сопротивление контактных материалов, (Ом·мм²)/м; HB – твердость по Бринеллю контактных материалов, МПа; N – импульсное нормальное усилие, действующее в зоне контакта материалов, Н; σ_k – удельное сопротивление пленок на контакте, (Ом·мм²)/м; f – динамический коэффициент трения; V – скорость скольжения, м/с; $\alpha_{\text{ТПП}}$ – коэффициент распределения теплового потока; λ – приведенный коэффициент теплопроводности материалов пар трения, Вт/(м·°С); $d_{\text{ср}}$ – средний диаметр пятна контакта, определяемый с учетом шероховатости реальной поверхности трения, мм.

Температуру вспышки $\theta_{\text{всп}}$ определяют по зависимости вида:

$$\theta_{всп} = \frac{\sqrt{2} + 1}{\sqrt{2}} \frac{f N d_{cp}}{A_r \lambda \left[4 + (\pi Pe)^{\frac{1}{2}} \right]}, \quad (3)$$

где $Pe = Vd_{cp}/a_1$ - критерий Пекле; a_1 - приведенный коэффициент теплопроводности материалов пар трения, м/с².

Объемная температура θ_V металлического фрикционного элемента определяется из условия равенства тепловых потоков на контактной поверхности с учетом фрикционной и электрической составляющей. Поверхностная температура с учетом электрической составляющей определяется по зависимости вида:

$$\theta_{II} = \frac{4I^2 \rho}{\pi^2 d_{cp}^3 a_1 10^2}.$$

По представленным выше зависимостям определяют температуры, по значению которых оцениваются энергетические уровни поверхностных и подповерхностных слоев элементов трибосопряжения.

Установлено, что именно в приповерхностном слое рабочей поверхности сплошного тормозного диска при его импульсном нагревании под воздействием температуры вспышки $\theta_{всп}$ зарождаются трещины, обусловленные термической усталостью материала диска. Дальнейшее развитие эти трещины получают в результате остывания поверхностного слоя и возникновения температурного градиента от $\theta_{всп}$, когда термические напряжения в приповерхностном слое рабочей поверхности сплошного тормозного диска в конце циклических торможений достигают больших значений и проходят почти через максимум. При повышении температуры изменяется характер перемещения структурных составляющих материала, снижается прочность границ зерен и увеличивается скорость окисления.

Температура вспышки может мгновенно достичь нескольких сот градусов, такой скачок температуры обуславливает пластическое состояние материала сплошного тормозного диска, при котором

сопротивление трению падает. Поскольку длительность фрикционного взаимодействия на пятнах фактического контакта составляет $10^{-3} \dots 10^{-6}$ с, то важное значение имеют не свойства статической прочности поверхностного слоя материала пары трения, а свойства усталостной прочности, если учесть, что кристаллическая решетка твердого тела реагирует на любые воздействия через $10^{-5} \dots 10^{-8}$ с. Перестройка поверхностного слоя под действием внешних тепловых нагрузок происходит именно в процессе формирования температурного поля, и к моменту достижения установившейся температуры поверхностный слой уже находится под действием тех или иных остаточных напряжений сжатия.

При длительном подводе теплоты к рабочей поверхности сплошного тормозного диска на глубину нагревания его слоев существенное влияние оказывает вынужденное охлаждение скоростными токами омывающего воздуха при движении автотранспортного средства. При одинаковых параметрах теплового источника глубина прогрева поверхностного слоя диска до заданной температуры при вынужденном охлаждении всегда меньше, чем без охлаждения. Наличие теплоотдачи увеличивает темп вынужденного охлаждения поверхности, но по мере удаления от нее его влияние снижается. Это особенно важно для дисково-колодочных тормозов, работающих в циклическом режиме.

Известно, что приложенные удельные нагрузки к парам трения дисково-колодочного тормоза и генерируемые электрические токи на пятнах контакта микровыступов их поверхностей трения, а также аккумулируемая теплота в поверхностных слоях, вызывают напряжения межатомных связей, которые в связи с гетерогенностью большинства твердых тел могут носить локальный характер. Именно на пятнах касания микровыступов происходят локальные перенапряжения, интенсивней идет термофлуктуационный процесс разрыва межатомных связей, что приводит

к разрушению твердого тела. Согласно кинетической концепции прочности тепловое движение атомов, характеристикой которого является температура, играет существенную роль в разрушении поверхности тормозного диска.

Компьютерное моделирование предварительного этапа испытаний типа I дисково-колодочного тормоза состоит из 20-ти циклов с интервалом между торможениями 45,0 с, отвечающих принципам суперпозиции «нагревание – вынужденное охлаждение». На границе трибоспоряжения (в зоне контакта) задавались расчетные значения средней плотности теплового потока $Q_C = 2 \cdot 10^6$ Вт/м². Моделирование предварительного этапа испытаний типа I заключалось в реализации трех этапов:

- первый - нагревание трибосопряжения;
- остывание тормозного диска;
- остывание фрикционных накладок в сборе с колодками.

Аналогичным образом производилось моделирование предварительного этапа испытаний типа II.

Особенностью моделирования самовентилируемых дисков являлось то, что на стенках вентилируемых каналов задавались граничные условия третьего рода, т.е. коэффициенты теплоотдачи (40...50) Вт/(м²·°С) [см. рис. 1 а, б].

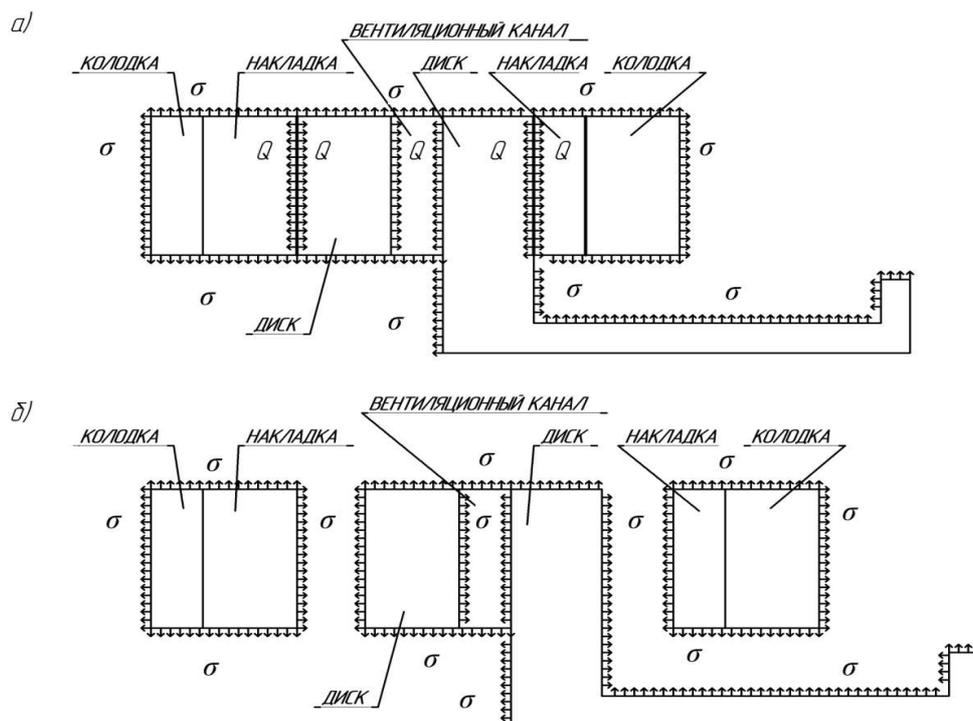


Рисунок 1 а, б – Схемы нагрева (а) и вынужденного охлаждения (б) пар трения самовентилируемого диска во время торможений и между ними при циклических испытаниях; Q – количество теплоты, генерируемое на поверхностях пары «диск – накладки колодок»

Перед компьютерным моделированием оценивалась энергонагруженность сплошных тормозных дисков различной толщины для двух конструктивных вариантов, т.е. без фланца и с ним (см. рис. 2).

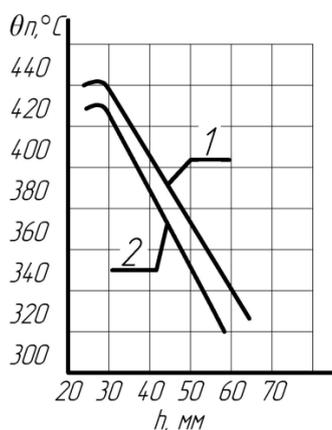


Рисунок 2 – Закономерности изменения поверхностных температур в дисково-колодочном тормозе автобуса А-172 в конце испытаний типа II в зависимости от толщины сплошных дисков без учета фланца (1) и с фланцем (2)

Это позволило оценить интенсивность кондуктивного теплоотвода от собственно тела тормозного диска к его фланцевой части. Количество теплоты, отводимое от тела сплошного тормозного диска в его фланцевую часть, составило 8...10 % при принудительном этапе испытаний типа II.

Из рис. 3 видно, что тормоза с самовентилируемыми дисками попадают в зону термостабилизации уже после 10...12 циклов торможений, а сплошные диски – в конце испытаний. Кроме того, самовентилируемые диски тормоза имеют температуру на 8...11 % ниже, чем сплошные диски тормозов в конце предварительного этапа испытаний типа I. Самовентилируемые дисковые тормоза автобуса А-172 имеют достаточную энергоемкость при испытаниях типа I, поскольку температура в них не превышает допустимую температуру для материала фрикционной накладки.

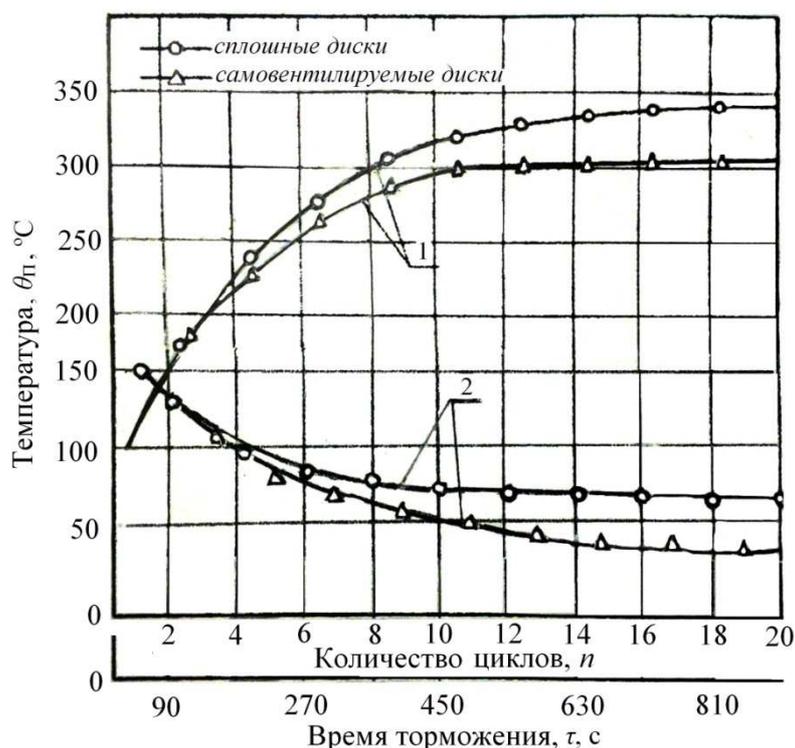


Рисунок 3 – Закономерности изменения поверхностных температур при нагревании (1) пар трения дисково-колодочных тормозов автобуса А-172 при испытаниях типа I и вынужденном охлаждении (2) их поверхностей во времени

На рис. 4 показана динамика изменения максимальных поверхностных температур пар трения передних дисково-колодочных

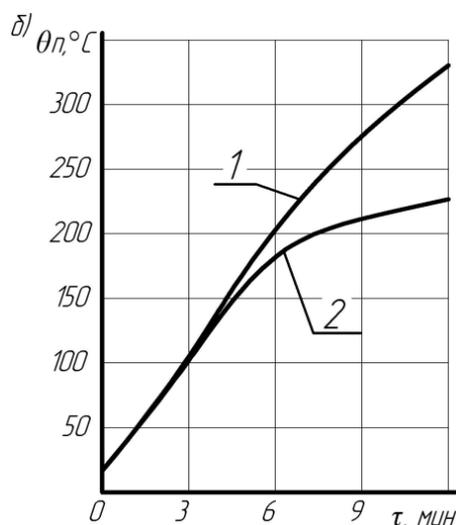


Рисунок 4 – Закономерности изменения поверхностных температур в дисково-колодочном тормозе автобуса А-172, оборудованного сплошным 1 и самовентилируемым 2 тормозным диском при испытаниях типа II

тормозов автобуса А-172 со сплошными и самовентилируемыми дисками во время предварительного этапа испытаний типа II, полученных компьютерным моделированием.

Анализ данных (см. рис. 4) показывают, что температурные режимы дисково-колодочных тормозов, оборудованных сплошными и самовентилируемыми дисками до 150 °С на предварительном этапе испытаний типа II практически не отличаются. Температура сплошного диска в тормозе продолжает повышаться до 330 °С (кривая 1), что связано с его металлоемкостью. Это привело к снижению эффективности тормоза в связи с превышением допустимой температуры для поверхностных слоев материалов фрикционных накладок. В самовентилируемом тормозном диске при температуре 220 °С заканчивается прогрев его боковых стенок при одновременном вынужденном охлаждении их нерабочих поверхностей, что способствует термостабилизации боковых стенок диска. При этом эффективность тормоза отвечает нормативной, поскольку

поверхностная температура ниже допустимой для материалов фрикционных накладок.

Особенности конструирования тормозных дисков. Одним из важнейших конструктивных параметров дисково-колодочного тормоза является коэффициент взаимного перекрытия, характеризующийся отношением площадей трения элементов контактирующей пары «диск – накладки колодок». Дисково-колодочный тормоз имеет низкий коэффициент взаимного перекрытия ($k_{вз}=0,1...0,2$), что создает хорошие условия для вынужденного охлаждения. Это особенно важно для автотранспортных средств, работающих в городских условиях с частыми остановками.

Рассмотрим температурные градиенты, развивающиеся на поверхностях и в теле тормозных дисков различных типов (см. табл. 1).

Таблица 1 – Тормозные диски различных типов с развивающимися в них температурными градиентами

Тормозные диски					
сплошные в:			самовентилируемые в:		
начале		конце	начале	конце	
При подводе теплоты	торможения				
	с развивающимися температурными градиентами:				
	объемными		поверхностными	объемными	поверхностными
	I*	$\frac{\partial \theta}{\partial \delta} \geq 5,0 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{мм}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial l} \geq 20,0 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{см}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial \delta} \geq 2,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{мм}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial l} \geq 10,0 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{см}}$
	II	$\frac{\partial \theta}{\partial \delta} \geq 2,5 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{мм}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial l} \geq 10,0 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{см}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial \delta} \geq 1,25 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{мм}}$	$\frac{\partial \theta}{\partial l} \geq 5,0 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{см}}$

Примечание: I, II – импульсный и длительный подвод теплоты к телу тормозного диска при условии, что в парах трения достигнута поверхностная температура $\theta_{л} = 100^{\circ}\text{C}$

Проанализируем поверхностные и объемные температурные градиенты сплошных и самовентилируемых тормозных дисков в процессе предварительных этапов испытаний типа I и II дисково-колодочных тормозов автобуса А 172. При первом типе испытаний имел место импульсный подвод теплоты к парам трения при взаимодействии

микровыступов поверхностей трибосопряжения, при втором типе испытаний – длительный подвод теплоты. Условием возникновения температурных градиентов в тормозном диске любого типа является соблюдение неравенства $\Delta\theta_{\text{п}} > \Delta\theta_{\text{в}}$ (приращение поверхностной и объемной температуры). При несоблюдении данного неравенства возможна инверсия тепловых потоков от тела тормозного диска к его рабочим поверхностям [3]. Из табл. 1 следует, что поверхностные температурные градиенты всегда больше объемных температурных градиентов в тормозных дисках различных типов. Особенно это заметно при импульсном подводе теплоты к парам трения тормоза. Импульсный подвод теплоты к поверхностям самовентилируемого тормозного диска из-за его переменного поперечного сечения вызывает локальный прогрев пояса трения, что ведет к образованию на его поверхности микротрещин. Последние вызваны аperiodическими циклами «нагревание (сжатие) – охлаждение (расширение)» поверхностных и подповерхностных слоев с обеих сторон тормозного диска. Кроме того, импульсный подвод теплоты является термоударом, способствующим стабилизации термомеханических свойств рабочих поверхностей фрикционных накладок тормозных колодок.

На реальных физических моделях в эксплуатационных и стендовых условиях изучали температурное поле при электротермомеханическом трении пары «СЧ-15 – ФК24А» с соблюдением условия $\Delta\theta_{\text{п}} > \Delta\theta_{\text{в}}$ [4]. Испытания проводили на серийном и модельном дисково-колодочном тормозе. В результате исследований влияния коэффициента взаимного перекрытия $k_{\text{вз}}$ на параметры процесса трения, из которых выделено импульсное нормальное усилие N , в зависимости от термосостояния диска было установлено (рис. 5 а, б, в, г, д, е):

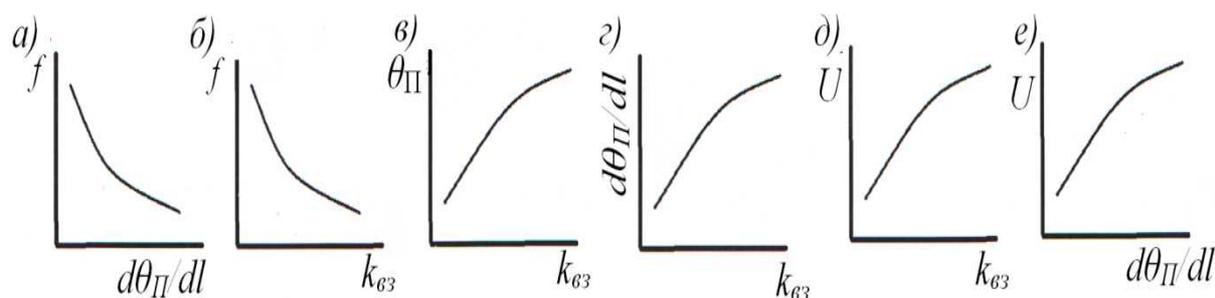


Рисунок 5 а, б, в, г, д, е – Общие влияния коэффициента взаимного перекрытия $k_{вз}$ (б, в, д) и температурного градиента по длине поверхности $(\partial\theta_{II}/\partial l)$ [а, е] на динамический коэффициент трения f (а, б), интенсивность изнашивания U (д, е) и среднюю температуру поверхностей трения θ_n (в), а также коэффициента взаимного перекрытия $k_{вз}$ на температурный градиент по длине поверхности $(\partial\theta_n/\partial l)$ (г)

- уменьшение $k_{вз}$ приводит к снижению средней поверхностной θ_n и объемной θ_v температуры и уменьшению их градиентов $\frac{\partial\theta_{II}}{\partial l}$ и $\frac{\partial\theta_v}{\partial\delta}$;

увеличение $k_{вз}$ способствует возрастанию $\frac{\partial\theta_{II}}{\partial l}$ и $\frac{\partial\theta_v}{\partial\delta}$;

- снижение $k_{вз}$ вызывает увеличение динамического коэффициента трения; динамический коэффициент трения повышается в связи уменьшением $\frac{\partial\theta_{II}}{\partial l}$; $\frac{\partial\theta_v}{\partial\delta}$;

- увеличение $k_{вз}$ и $\frac{\partial\theta_{II}}{\partial l}$; $\frac{\partial\theta_v}{\partial\delta}$ способствует возрастанию интенсивности износа U .

Для фрикционных пар дисково-колодочного тормоза (в стендовых условиях) уменьшение $k_{вз}$ при работе трения $W_T = \text{const}$ способствует увеличению износа только при условии, когда функции $f=f(k_{вз}, \frac{\partial\theta_v}{\partial\delta})$ и

$U=U(k_{вз}, \frac{\partial\theta_{II}}{\partial l})$ от параметра $k_{вз}$ изменяются интенсивнее, чем от $\frac{\partial\theta_{II}}{\partial l}$ и $\frac{\partial\theta_{V}}{\partial\delta}$:

$$\frac{\partial f(k_{вз}, N, \partial\theta_{V} / \partial\delta)}{\partial k_{вз}} > \frac{\partial f(k_{вз}, N, \partial\theta_{V} / \partial\delta)}{\partial\theta_{II} / \partial l}; \tag{4}$$

$$\frac{\partial U(k_{вз}, N, \partial\theta_{V} / \partial\delta)}{\partial k_{вз}} > \frac{\partial U(k_{вз}, N, \partial\theta_{V} / \partial\delta)}{\partial\theta_{II} / \partial l}. \tag{5}$$

При поверхностных температурах металлических сплошного и самовентилируемого тормозных дисков, изготовленных из различных материалов, превышающих 150...200 °С, интенсивность вынужденного конвективного теплообмена резко падает, но возрастает теплообмен лучеиспусканием. Согласно закону Стефана-Больцмана коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием равен:

$$\alpha_{л} = \frac{C_{л} \left[\left(\frac{\theta_{H}}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta_{B}}{100} \right)^4 \right]}{\theta_{H} - \theta_{B}}, \tag{6}$$

где θ_{H} – температура нагревания поверхностей сплошного и самовентилируемого тормозных дисков, К; θ_{B} – температура окружающей среды, К; $C_{л}$ – коэффициент излучения, Вт/(м²·К⁴).

Обод тормозного шкива (ленточно-колодочного тормоза) и обод тормозного барабана (барабанно-колодочного тормоза) при проектом расчете разбивается на n -ое количество дисков. Выбор конструктивных параметров последних необходимо производить, исходя из их энергонагруженности. При этом немаловажную роль играет величина отношения площадей поверхностей охлаждаемых к нагреваемой.

Расчеты, выполненные по зависимости (6), позволили получить графические зависимости, устанавливающие связь между поверхностной температурой (θ_{II} , °С), коэффициентами теплоотдачи лучеиспусканием (σ ,

Вт/(м²·°C)) и отношением конструктивных параметров (d/A , м⁻¹) [см. рис. 6 а, б].

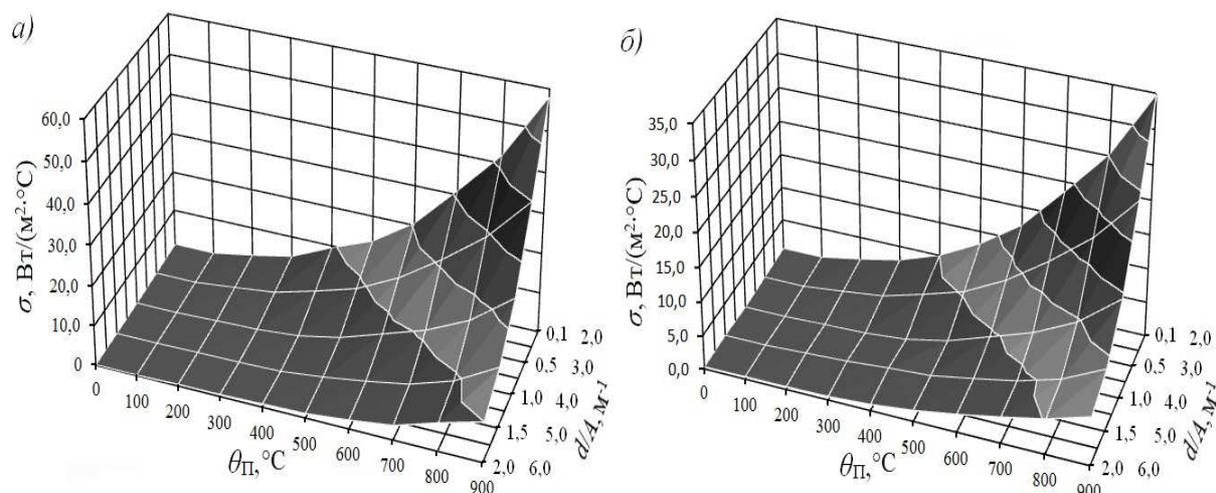


Рисунок 6 а, б – Зависимость коэффициентов теплоотдачи (σ) лучеиспусканием матовых (а) и полированных (б) поверхностей металлических фрикционных элементов от температуры нагревания ($\theta_{\text{П}}$) при различных значениях отношения диаметров поверхности трения ленточно- и барабанно-колодочных и тормозных дисков дисково-колодочных тормозов к площадям поверхностей (d/A), соответственно, первый и второй ряд цифр на правой шкале

Необходимо отметить, что коэффициенты излучения матовой и полированной поверхностей для чугуна (тормозные диски и барабаны) и стали (тормозные шкивы) имеют разные значения. По величине отношения коэффициентов излучения матовой поверхности к полированной, которая должна быть равна отношению площадей этих поверхностей, можно судить о наступлении их установившегося теплового состояния. В виде соотношений получаем:

для дисково-колодочного тормоза (тормозные диски изготовлены из

$$\text{чугуна) при } C_{\text{ЛМ}}/C_{\text{ЛП}} = 3,748/1,134 = 3,3$$

сплошной диск

$$\frac{A_{\text{охл}}}{A_{\text{нагр}}} = \frac{0,105}{0,03} = 3,5;$$

самовентилируемый диск

$$\frac{\sqrt[3]{A_{\text{охл}}}}{A_{\text{нагр}}} = \frac{\sqrt[3]{0,45}}{0,03} = 3,71.$$

В данном случае рассматриваются площади поверхностей теплообмена сплошного и самовентилируемого дисков тормоза, смонтированных на балке переднего моста автобуса А-172. Процентное расхождение между полученными величинами отношений для различных типов тормозных дисков составляет: для первого случая – 6,0 %, для второго – 12,3 %, что является хорошим результатом для подобных расчетов.

Таким образом, на основании расчетно-экспериментальных данных установлена взаимосвязь между излучательной способностью матовых и полированной поверхностей и их площадями в дисково-колодочном тормозе при использовании в нем сплошных и самовентилируемых дисков.

Выводы. На основании предварительных этапов испытаний типа I и II дисково-колодочных тормозов автобуса А 172 оценена энергоемкость их пар трения, что позволило:

– установить закономерности изменения интенсивности теплообменных процессов нагреваемых и охлаждаемых поверхностей сплошных и самовентилируемых дисков со скоростными токами омывающего воздуха;

– выявить закономерности изменения объемных и поверхностных температурных градиентов тормозных дисков различных типов и показать их влияние на основные эксплуатационные параметры пар трения тормоза;

– обосновать взаимосвязь теплофизических параметров полированных и матовых поверхностей с величинами их площадей для сплошных и самовентилируемых тормозных дисков.

Список литературы

1. Тепловой расчет автомобильных дисковых тормозов на типовых режимах испытаний: монография / Г.С. Гудз, М.В. Глобчак, О.Л. Коляса, Я.П. Яворский. – Львов: Лига – Пресс, 2007. – 128с. – (укр).
2. Гудз Г.С. Новый подход к моделированию температурных режимов автомобильных вентилируемых дисков тормозов при циклических торможениях / Г.С.

Гудз, И.Я. Захара, О.Г. Тарапон // Сб. науч. тр. Ин-та проблем моделирования в энергетике НАНУ им. Г.Е. Пухова: Моделирование и информ. технологии. – Киев, 2009. – Вып. 51. – С. 37-42. – (укр.).

3. Колесников В.И. Теплофизические процессы в металлополимерных трибосистемах / В.И. Колесников. – М.: Наука, 2003. – 279 с.

4. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575с.

5. Криштопа С.И. Моделирование энергонагруженности металлополимерных пар трения барабанно-колодочного тормоза в едином поле взаимодействия // Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, 2013. – №4 – С. 85-91. Режим доступа: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE13_1/V_E.IT_2013-4.pdf#6

6. Красин П.С., Вольченко Н.А. Саморегулирование и регулирование внутренних и внешних параметров в металлополимерных парах трения ленточно-колодочных тормозов (часть 1) // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №05(106). – IDA [article ID]: 1091505056. – Режим доступа: <http://www.ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/106.pdf>

References

1. Teplovoj raschet avtomobil'nyh diskovyh tormozov na tipovyh rezhimah ispytaniy: monografija / G.S. Gudz, M.V. Globchak, O.L. Koljasa, Ja.P. Javorskij. – L'vov: Liga – Press, 2007. – 128s. – (ukr.).

2. Gudz G.S. Novyj podhod k modelirovaniju temperaturnyh rezhimov avtomobil'nyh ventiliruemyyh diskov tormozov pri ciklicheskih tormozhenijah / G.S. Gudz, I.Ja. Zahara, O.G. Tarapon // Sb. nauch. tr. In-ta problem modelirovanija v jenergetike NANU im. G.E. Puhova: Modelirovanie i inform. tehnologii. – Kiev, 2009. – Vyp. 51. – S. 37-42. – (ukr.).

3. Kolesnikov V.I. Telpofizicheskie processy v metallopolimernyyh tribosistemah / V.I. Kolesnikov. – M.: Nauka, 2003. – 279 s.

4. Trenie, iznos i smazka (tribologija i tribotehnika) / Pod obshh. redakciej A.V. Chichinadze. – M.: Mashinostroenie, 2003. – 575s.

5. Krishtopa S.I. Modelirovanie jenergonagruzhenosti metallopolimernyyh par trenija barabanno-kolodochnogo tormoza v edinom pole vzaimodejstvija // Avtomobil' i elektronika. Suchasni tehnologii, 2013. – №4 – S. 85-91. Rezhim dostupa: http://www.khadi.kharkov.ua/fileadmin/P_SIS/AE13_1/V_E.IT_2013-4.pdf#6

6. Krasin P.S., Vol'chenko N.A. Samoregulirovanie i regulirovanie vnutrennih i vneshnih parametrov v metallopolimernyyh parah trenija lentочно-kolodochnyyh tormozov (chast' 1) // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (Nauchnyj zhurnal KubGAU) [Jelektronnyj resurs]. – Krasnodar: KubGAU, 2014. – №05(106). – IDA [article ID]: 1091505056. – Rezhim dostupa: <http://www.ej.kubagro.ru/2014/07/pdf/106.pdf>