

сцепления оказывает влияние повышение общей потенциальной энергии поверхности (наклеп). В поверхностях, подвергнутых дробеструйной обработке, запас поглощенной энергии будет больше, чем при лезвийной.

Таким образом, при подготовке поверхности основы для газотермического напыления с целью получения прочного соединения основы с покрытием необходимо учитывать перечисленные закономерности, а прочность сцепления покрытий достигает максимальных значений при $R_z / d = 0,75$, где d – диаметр напыляемой частицы. Наиболее высокая прочность сцепления отмечена при напылении порошком фракции 80–100 мкм [2].

Литература

1. Теория и практика нанесения защитных покрытий / П. А. Витязь, В. С. Ивашко, А. Ф. Ильюшенко [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 1998. – 583 с.
2. Исследование адгезии покрытий, полученных высокоскоростным газопламенным напылением / В. А. Клименов, Ж. Г. Ковалевская, К. В. Зайцев, А. И. Толмачев // Известия Томского политехнического университета. – 2007. – Т. 310, № 3. – С. 57–61.
3. Процко, В. Ю. Анализ методов подготовки поверхности детали для нанесения покрытия напылением / В. Ю. Процко, Д. Л. Стасенко // МИТРО 2023 – Машиностроение. Инновации. Технологии. Робототехника : тез. докл. науч.-техн. конф. студентов и молодых ученых, Гомель, 6 дек. 2023 г. / Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – Гомель, 2023. – С. 78.

УДК 621.838:621.891

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЗОВ МИКРОАВТОБУСОВ

П. Е. Родзевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Проведены расчеты приращений температур на поверхности трения тормозов микроавтобусов различных марок и моделей при экстренном однократном торможении.

Ключевые слова: тормоз, фрикционное тепловыделение, приращения температур, тепловые потоки.

COMPARATIVE ANALYSIS AND EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF MINIBUS BRAKES

P. E. Radzevich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Calculations were carried out of the temperature increase on the surface of the brakes of minibuses of various brands and models during a single emergency braking.

Keywords: brakes, frictional heat generation, temperature increase, heat flows.

В настоящее время микроавтобусы используются для перевозки пассажиров и грузов на городских, пригородных и междугородных маршрутах. Безопасность пассажиров и других участников движения во многом зависит от исправности, эффективности работы и надежности основных агрегатов, механизмов и систем, в том числе тормозной системы. При проектировании тормозов микроавтобусов должны учитываться не только стабильность тормозного момента и высокая износостойкость

62 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

пары трения, но и допустимый тепловой режим работы тормоза, исключая аварийную ситуацию из-за перегрева фрикционной пары трения.

На микроавтобусах устанавливаются дисково-колодочные тормоза со сплошным (ДКС) и вентилируемым (ДКВ) дисками, а также барабанные (Б) тормоза. Тормоза каждого типа имеют сходную конструкцию, однако отличаются разными геометрическими параметрами. В связи с необходимостью замены асбестовых фрикционных материалов на новые безасбестовые композиты представляет интерес оценить эффективность тормозов микроавтобусов, исходя из их теплового режима работы.

Цель работы – проведение сравнительного анализа тепловой нагруженности тормозов микроавтобусов различных марок и моделей, а также оценка их эффективности.

Постановка задачи. Основной величиной при сравнительном анализе конструкций тормозов является среднее приращение температур в зоне контакта «фрикционная накладка–контртело (диск, барабан)». Расчет ведется для случая экстренного торможения микроавтобуса полной массы на горизонтальном участке сухой асфальтированной дороги с максимально разрешенной скоростью движения (90 км/ч) без учета теплоотдачи в окружающую среду. В расчетах нагрузка считалась равномерно распределенной на переднюю и заднюю оси. Торможение – равнозамедленное, без проскальзывания. Материалы фрикционных накладок и дисков (барабанов) принимались одинаковыми для всех тормозов микроавтобусов со следующими показателями теплопроводности, теплоемкости, плотности и температуропроводности соответственно:

– накладка: безасбестовый композит (ТУ ВУ 400084698.163-2005):

$$\lambda_1 = 0,96 \text{ Вт/мК}; c_1 = 1200 \text{ Дж/кгК}; \rho_1 = 2000 \text{ кг/м}^3; a_1 = 2,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с};$$

– диски (барабаны):

$$\lambda_2 = 30 \text{ Вт/мК}; c_2 = 540 \text{ Дж/кгК}; \rho_2 = 7300 \text{ кг/м}^3; a_2 = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Краткие технические характеристики микроавтобусов приведены в таблице.

Краткие технические характеристики микроавтобусов

Марка микроавтобуса	Полная масса, кг	Передние тормоза			Задние тормоза		
		Тип	Размеры диска, мм	Площадь накладки, см ²	Тип	Размеры диска (барабана), мм	Площадь накладки, см ²
Citroen Jumper	3400	ДКВ	$D = 280,$ $h_2 = 8$	90	Б	$D = 254,$ $h_2 = 6$	165
Iveco Daily-Grinta	3050	ДКС	$D = 267,$ $2h_2 = 14$	78	Б	$D = 254,$ $h_2 = 6$	250
Mercedes Benz Sprinter	3500	ДКВ	$D = 276,$ $h_2 = 7$	101	ДКС	$D = 272,$ $2h_2 = 16$	45
Ford Transit	3400	ДКВ	$D = 270,$ $h_2 = 7$	65	Б	$D = 260,$ $h_2 = 6$	200
Volkswagen Transporter	2900	ДКВ	$D = 285,$ $h_2 = 8$	70	ДКС	$D = 280,$ $2h_2 = 6$	50
ГАЗ-32213 «Газель»	3450	ДКВ	$D = 280,$ $h_2 = 7$	45	Б	$D = 280,$ $h_2 = 6$	135

Теоретическая часть. Определение приращения температур проводили по методике, приведенной в работах [1–5]. Считая торможение равнозамедленным, полное время торможения t_T , а также тормозной путь S_T с учетом начальной скорости торможения машины v_0 и коэффициента сцепления φ , определяются по формулам:

$$t_T = \frac{2S_T}{v_0}; \quad S_T = \frac{v_0^2}{2g\varphi}.$$

Кинетическая энергия микроавтобуса полной массой m , а также кинетическая энергия, поглощаемая одной фрикционной парой, определяются выражениями:

$$W = \frac{mv_0^2}{2}; \quad W_1 = \frac{W}{8}.$$

Средняя и начальная интенсивности фрикционного тепловыделения соответственно на поверхности трения фрикционная накладки-контртело с учетом номинальной площади контакта накладки A_{a_1} вычисляется по формулам:

$$q_{cp} = \frac{W_1}{A_{a_1} t_T}; \quad q_0 = 2q_{cp} = \frac{mv_0^3}{16A_{a_1} S_T}.$$

Средние приращения температур на поверхности трения определяли уравнением [1]:

$$\Delta\vartheta_2 = \vartheta_2(0, Fo_2) - \vartheta_0 = \frac{(1 - \alpha_T) q_0 K_{\text{вз}} h_2}{\lambda_2} \Theta_2'(0, Fo_2) - \frac{(1 - \alpha_T) q_0 K_{\text{вз}} h_2^3}{t_T \lambda_2 a_2} \Theta_2''(0, Fo_2),$$

где $\Theta_2'(0, Fo_2)$, $\Theta_2''(0, Fo_2)$ – безразмерные комплексы, зависящие от числа Фурье Fo_2 ; h_2 – толщина контртела (барабана или полудиска), м; α_T – коэффициент распределения тепловых потоков:

$$\alpha_T = \frac{K_{\text{вз}} \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1}}{K_{\text{вз}} \sqrt{\lambda_1 c_1 \rho_1} + \sqrt{\lambda_2 c_2 \rho_2}},$$

здесь $K_{\text{вз}} = \frac{A_{a_1}}{A_{a_2}}$ – коэффициент взаимного перекрытия трущихся пар с номинальной площадью контакта A_{a_2} контртела.

Результаты расчетов. Результаты расчетов тепловой нагруженности передних и задних тормозов микроавтобусов представлены на рис. 1.

Приведенные зависимости демонстрируют следующее:

– передние тормоза (рис. 1, а) – наиболее теплонагруженными являются тормоза микроавтобусов Ford Transit, в которых приращение температур составляет 195 К, и тормоза для микроавтобуса ГАЗ-32213 – приращение температур – 192 К. Это обусловлено значительной полной массой машин. Наименее теплонагруженные – тормоза микроавтобуса Volkswagen Transporter, в которых приращение температуры составляет 126 К;

64 Секция 1. Современные технологии проектирования в машиностроении

– задние тормоза (рис. 1, б) – наибольшие приращения температур наблюдаются в тормозах микроавтобуса ГАЗ-32213. Средние приращения температур достигают 310 К. Это связано с неудовлетворительным выбором геометрических параметров барабанного тормоза, в частности, площади фрикционной накладки. В то же время наиболее благоприятными по тепловому режиму работы являются дисково-колодочные тормоза микроавтобуса Volkswagen Transporter, в которых приращения температур – 157 К.

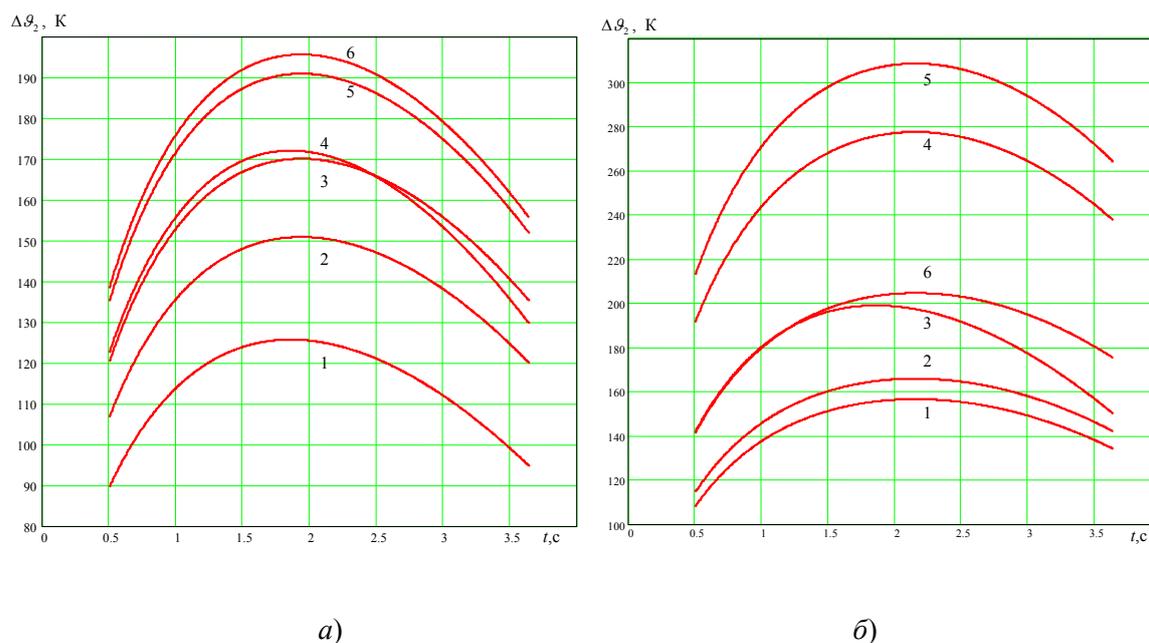


Рис. 1. Зависимости приращений температур в передних (а) и задних (б) тормозах микроавтобусов от времени торможения:
1 – Volkswagen Transporter; 2 – Iveco Daily-Grinta;
3 – Mercedes-Benz Sprinter; 4 – Citroen Jumper;
5 – ГАЗ-32213; 6 – Ford Transit

Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что при экстренном торможении наименее теплонагруженными являются дисково-колодочные тормоза по сравнению с барабанными. Барабанный тормоз – тормоз закрытого типа, теплоотдача в окружающую среду затруднена и при многократных торможениях (притормаживаниях) температура накладок будет стремиться к критическим, при которых происходит деструкция полимерных связующих, используемых в фрикционных материалах, снижение износостойкости пар трения. Применение дисково-колодочных тормозов на микроавтобусах позволит обеспечить оптимальный тепловой режим работы пар трения, повысить надежность тормозной системы, что является существенным фактором в повышении безопасности движения.

Литература

1. Балакин, В. А. Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАН Беларуси, 1999. – 220 с.
2. Балакин, В. А. Сравнительный анализ тепловой нагруженности тормозов легковых автомобилей / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко, П. Е. Родзевич // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 4. – С. 408–413.

3. Балакин, В. А. Тепловая нагруженность тормозов с учетом сил инерции / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко, П. Е. Родзевич // Трение и износ. – 2000. – Т. 21, № 6. – С. 585–592.
4. Сравнительный анализ тепловой нагруженности тормозов грузовых автомобилей / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко, П. Е. Родзевич, Ю. В. Лысенко // Трение и износ. – 2001. – Т. 22, № 2. – С. 123–126.
5. Родзевич, П. Е. Сравнительный анализ тепловой нагруженности тормозов автобусов / П. Е. Родзевич, В. А. Балакин, В. П. Сергиенко // Трение и износ. – 2003. – Т. 24, № 4. – С. 413–417.

УДК 669.71.535.241

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ВЕЩЕСТВЕ ПРИ НАГРЕВЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ПУЧКОМ

П. С. Шаповалов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Найдено путем дифференцирования эллиптического уравнения теплопроводности аналитическое распределение температуры в веществе при нагреве лазерного осесимметричного гауссова пучка произвольного профиля. Представлено распределение температуры обычного гауссова и кольцевого гауссова пучка.

Ключевые слова: уравнение теплопроводности, нагрев лазерным пучком, распределение температуры, круговой гауссов пучок.

TEMPERATURE DISTRIBUTION FUNCTION IN MATTER DURING AXISYMMETRIC LASER BEAM HEATING

P. S. Shapovalov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

By differentiating the elliptic heat conduction equation, the analytical temperature distribution in matter during heating of an axisymmetric gaussian laser beam of arbitrary profile is found. The temperature distributions of the ordinary gaussian and annular gaussian beam are presented.

Keywords: heat conduction equation, laser beam heating, temperature distribution, circular gaussian beam.

В промышленном производстве широко применяются лазеры для различных технологических процессов. Лазеры находят применение для резки материалов, лазерной сварки, термообработки и наплавки [1]. Лазеры, в первую очередь, используются в промышленности в тех процессах, которые неосуществимы с помощью других способов, и там, где применение лазера обеспечивает большую эффективность работы и производительность труда.

Для лучшей оптимизации использования лазеров в технологии нагрева и плавления вещества необходимо знать точное распределение температур в использованном материале в зависимости от распределения интенсивности света в поперечном сечении лазерного пучка. Важнейшей физической характеристикой процесса нагрева при воздействии лазерного излучения является распределение температурного поля в материале. Если распределение температуры в веществе известно для разных типов лазерных пучков, то это позволяет выбрать наиболее оптимальные и эффективные технологические режимы обработки материалов.