

УДК 62–597.3:629.4.592

Э. И. ГАЛАЙ, П. К. РУДОВ, Е. Э. ГАЛАЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТОРМОЗНЫЕ КОЛОДКИ СО ВСТАВКАМИ ИЗ СПЕЦИАЛЬНОГО ЧУГУНА

Рассматриваются некоторые вопросы, связанные с работоспособностью тормозных композиционных колодок со вставкой из чугуна. Приведены коэффициенты трения композиционной части колодки и чугунной вставки, рассчитанные для диапазона скоростей, и удельная тормозная сила при экстренном торможении, показывающая, что чугунная вставка не оказывает существенного влияния на величину тормозной силы.

Ключевые слова: торможение, композиционная колодка, чугунная вставка, нажатие, тормозная сила, коэффициент трения.

Возможность управления свойствами фрикционной пары трения «тормозная колодка – колесо» является важной характеристикой тормозной системы. Исследования диапазона критических значений силовых параметров фрикционного узла производится по функциональной зависимости силы нажатия тормозных колодок, в том числе и с разными составляющими, от скорости, допускаемой по сцеплению. Эта проблема многовариантна, её решение связано с поиском наиболее рациональной композиции иногда при учете взаимоисключающих случайных факторов. Здесь следует оценить эффективность использования сцепления колеса и рельса, поскольку она зависит от величины тормозной силы, ограничиваемой по условиям сцепления. Особенно важным это является для грузовых вагонов, где в настоящее время практически невозможно в процессе торможения реализовать изменение силы нажатия тормозных колодок при изменении коэффициента сцепления.

При одностороннем нажатии и включении воздухораспределителя на режим «Груженный» сила нажатия композиционных колодок $K = 23...25$ кН, расчетная длина тормозного пути со скорости 90 км/ч составляет 800 м, а при двухстороннем нажатии $K = 16$ кН и тормозной путь 600 м. Фактически тормозной путь со скорости 90 км/ч превышает 1000 м, поскольку воздухораспределители грузовых вагонов, как правило, работают на режиме «Средний».

В последние годы широкое распространение получили работы по дальнейшему исследованию процессов торможения железнодорожного подвижного состава, посвященные фрикционным элементам дисковых и колодочных тормозов [1, 2]. Рассматривается влияние внешних факторов на пару трения, исследуются физико-химические процессы фрикционного контакта. Сделаны выводы о трении, когда в контакте образуется так называемое

«третье тело», обладающее особыми свойствами, иными, нежели колодка и поверхность колеса. В частности, процесс трения описывается с учетом физико-химико-механических свойств материалов, рельефа контактирующих поверхностей и эксплуатационных характеристик самого процесса [3].

Отметим следующие особенности работы тормозных колодок при остановочном торможении: трение в процессе повышения давления в тормозных цилиндрах в начале торможения при сравнительно низкой температуре трущейся пары и повышение коэффициента трения при дальнейшем постепенном снижении скорости и постоянной силе нажатия, когда коэффициент трения нелинейно изменяется (как правило, возрастает) с уменьшением скорости и интенсивности тепловыделения (плотности теплового потока). Предельные значения температур фрикционной пары зависят от ряда факторов, кроме максимальной скорости, уклона пути, температуры окружающего воздуха, количества колодок на колесо (одно- или двухстороннее нажатие), характера износа фрикционной пары. При торможении с высоких скоростей температура на поверхности трения контактирующих пар может достигать 800–850 °С, а объемная температура обода колеса – 250 °С при чугунных и 300 °С при композиционных колодках [4].

Геометрические параметры фрикционного элемента трущейся пары определяются его конфигурацией. Форма и размеры тормозных колодок играют существенную роль в формировании основных характеристик тормоза. Оптимальные размеры и очертания поверхности макро-объема колодки из разных материалов, из которых она komponуется, зависят от требуемой мощности тормоза. Длина зоны трения применяемых на Белорусской железной дороге композиционных колодок составляет 350 мм (по хорде).

Конструкция фрикционного элемента имеет большое значение для создания оптимального теплового режима в узле трения. Распределение тепловых потоков, а следовательно, температуры нагрева колеса и колодки, зависит от характеристики трущегося материала [5]. Здесь интерес представляет тормозная колодка из композиционного материала, не содержащего асбестового волокна, в которой имеется вставка из чугуна. Каким образом изменяется коэффициент трения композиционной колодки в зависимости от скорости и силы нажатия, как сочетается износ композиционной составляющей и чугунной вставки, учитывая их взаимодействие с поверхностью круга катания колесной пары?

Колодки «Фритекс Контакт®» полуметаллические безасбестовые имеют сеточно-проволочный каркас и вставку из специального чугуна с шаровидным графитом. В составе композиции около 50% массы колодки составляет железный порошок, стальное волокно каркаса и чугунная вставка шириной 20 мм (рисунок 1). Масса колодки 4,5 кг, а масса серийной колодки ТИИР-300 около 3,4 кг. Длина зоны трения фрикционной части новой колодки 350 мм, а изношенной – 400 мм. Ширина колодки – 80 мм, радиус поверхно-

сти трения, равный 530 мм, и площадь трения меняются в зависимости от износа и диаметра колеса, как и у серийных колодок. В частности, у новой колодки площадь трения композиции $S_k = 255 \text{ см}^2$, по мере износа возрастает до 290 см^2 , а площадь чугунной вставки 16 см^2 .

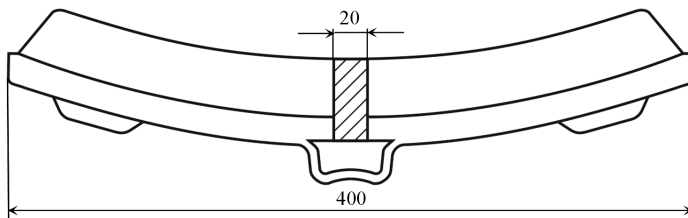


Рисунок 1 – Композиционная колодка со вставкой из стального чугуна

Ширина колодки выбрана из конструктивных соображений в зависимости от очертаний поверхности трения. При этом не учитывался фактор изменения диаметра колес при обточке по мере их износа при плановых ремонтах от $D_{\max} = 957 \text{ мм}$ до $D_{\min} = 854 \text{ мм}$ [6].

Коэффициент трения φ_k показывает соотношение между тормозной силой и силой нажатия фрикционного элемента на контртело. Его величина зависит от материала трущихся тел, давления в контакте, скорости трения, наличия влаги или смазки между ними. Весьма сложно количественно оценить влияние большинства случайных факторов на значения φ_k . Они отличаются при разных силах нажатия K и разных скоростях торможения v , так как от этого зависит температура нагрева фрикционного элемента и контртела (обода колеса) в зоне их контакта. Поэтому используемые для тормозных расчетов формулы $\varphi_k(v, K)$ носят эмпирический характер. Известно, что коэффициент трения зависит от площади трения, поэтому можно исследовать его зависимость от удельной силы нажатия p , что более объективно, чем зависимость от силы K , поскольку площадь трения S элементов колодки может быть разной по мере износа

$$p = \frac{K}{S}. \quad (1)$$

Необходимость нейтрализовать или уменьшить вредное влияние тепла, выделившегося в зоне трения при торможении, особенно с высоких скоростей, требует решения важной проблемы при выборе материала для тормозных колодок – обеспечение термостойкости и интенсивности теплоотвода из зоны фрикционного контакта [7]. Применение композиционных колодок ТИИР-303, ТИИР-308 на электропоездах в моторвагонном депо Минск-Северный показало непригодность таких колодок при частых торможениях из-за повышенного нагрева в условиях перепада температур во внешней среде. Торможение грузовых поездов происходит в десятки раз реже, чем пригородных, по-

этому колодки успевают остыть, и их температура перед началом торможения оказывается практически равной температуре окружающей среды.

Коэффициент трения композиционной части тормозной колодки $\varphi_{\text{кк}}(v)$ возрастает от 0,2 до 0,25 при снижении скорости от 160 км/ч до остановки и силе нажатия $K = 10\text{--}20$ кН, в то время как у чугунной вставки коэффициент трения $\varphi_{\text{кч}}(v)$ при данной силе нажатия возрастает от 0,1 до 0,3. Приведенные значения коэффициента трения весьма приблизительны, но показывают, насколько велика разница в процессах трения между композицией и чугуном. Износостойкость композиционных материалов значительно выше, чем у чугуна.

Характер изменения коэффициента трения композиции примерно такой же, как изменение коэффициента скольжения колеса по рельсу в нормальных условиях, поэтому не требуется регулирование силы нажатия в процессе торможения.

Стремление увеличить эффективность тормозов ограничивается проблемой выбора критических параметров силовой части. Это касается оценки диапазона допустимой величины силы нажатия тормозных колодок, которая зависит от триботехнических характеристик фрикционного материала. Следует отметить особенность развития тормозной силы одиночного вагона – время нарастания величины давления в тормозном цилиндре с момента приведения тормозов в действие до 95 % максимального значения должно составлять не более 15 с. Полное время торможения со скорости 90 км/ч грузового поезда составляет 50–90 с в зависимости от профиля пути и места нахождения вагона в составе [8].

Как известно, тормозная сила колодочных тормозов в соответствии с действующей методикой [9] определяется по наибольшему допустимому значению расчетного коэффициента тормозного нажатия $\vartheta(v)$, который зависит от скорости.

$$\vartheta(v) \leq \frac{\psi_{\text{к}}(v)}{\varphi_{\text{к}}(v)}, \quad (2)$$

где $\psi_{\text{к}}(v)$ – расчетный коэффициент сцепления колеса и рельса; $\varphi_{\text{к}}(v)$ – коэффициент трения колодки по колесу.

Очевидно, при наличии чугунной вставки в полукомпозиционной тормозной колодке коэффициент трения будет меняться по некоторой зависимости $\varphi_{\text{к}}(v)$, отличающейся и от $\varphi_{\text{кч}}(v)$ и $\varphi_{\text{кк}}(v)$. Определим ее для колодки «Фритекс Контакт®», учитывая, что при экстренном торможении удельная сила нажатия p (давление во фрикционном контакте) будет постоянной.

Сила нажатия тормозной колодки

$$K = p(S_{\text{к}} + S_{\text{ч}}), \quad (3)$$

где $S_{\text{к}}$, $S_{\text{ч}}$ – площадь композиционной и чугунной частей колодки соответственно, м².

В начале торможения, когда нагрев фрикционного узла незначителен, определение коэффициента трения комбинированных тормозных колодок производим, используя графики зависимости скорости или замедления от времени, полученные в результате остановочных торможений.

Коэффициент трения чугунных, композиционных или комбинированных колодок непосредственно зависит от величины давления p в контакте колодка-колесо, распределение которого по площади трения и величина в процессе торможения изменяются в зависимости от силы нажатия, площади фрикционного контакта, скорости трения, физико-химических и габаритных характеристик тормозной колодки. При этом для композиционных колодок из материала ГИИР-300

$$\varphi_{\text{кк}} = 0,44 \frac{0,1K + 20}{0,4K + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150}, \quad (4)$$

для чугунных колодок из серого чугуна с повышенным содержанием фосфора

$$\varphi_{\text{кч}} = 0,5 \frac{1,6K + 100}{5,2K + 100} \cdot \frac{v + 100}{2v + 100}. \quad (5)$$

В формулах (3)–(5) принято: K в кН, v – в км/ч.

Поскольку коэффициент трения зависит от силы нажатия колодок K , представим его связь с давлением

$$p = \frac{K}{S_{\text{к}} + S_{\text{ч}}}, \quad (6)$$

причем для композиционной и чугунной частей колодки соответственно

$$K_{\text{к}} = pS_{\text{к}}, \quad K_{\text{ч}} = pS_{\text{ч}}. \quad (7)$$

Параметры комбинированной колодки:

– площадь композиционной части $S_{\text{к}} = L_{\text{к}}b = 0,028 \text{ м}^2$, где рабочая длина колодки $L_{\text{к}} = 0,35 \text{ м}$, ширина колодки $b = 0,08 \text{ м}$;

– площадь чугунной вставки $S_{\text{ч}} = L_{\text{ч}}b = 0,0016 \text{ м}^2$, где $L_{\text{ч}} = 0,02 \text{ м}$;

– общая площадь фрикционной части колодки $S = S_{\text{к}} + S_{\text{ч}} = 0,0296 \text{ м}^2$.

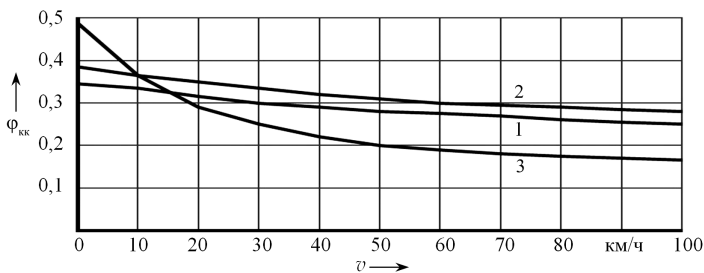
При силе нажатия колодки $K = 20 \text{ кН}$ и давлении в контакте $p = 676 \text{ кПа}$

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{кк}} &= 0,44 \frac{0,1pS_{\text{к}} + 20}{0,4pS_{\text{к}} + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150} = 0,44 \frac{0,1 \cdot 676 \cdot 0,028 + 20}{0,4 \cdot 676 \cdot 0,028 + 20} \varphi_{\text{к}}(v) = \\ &= 0,3494 \varphi_{\text{к}}(v); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{кч}} &= 0,5 \frac{1,6pS_{\text{ч}} + 100}{5,2pS_{\text{ч}} + 100} \cdot \frac{v + 100}{2v + 100} = 0,5 \frac{1,6 \cdot 676 \cdot 0,0016 + 100}{5,2 \cdot 676 \cdot 0,0016 + 100} \varphi_{\text{кч}}(v) = \\ &= 0,4816 \varphi_{\text{кч}}(v). \end{aligned}$$

При уменьшении силы нажатия, например, до $K_1 = 10 \text{ кН}$, соответственно изменяется давление во фрикционном контакте до $p = 338 \text{ кН/м}^2$ и коэффициенты трения до $\varphi_{\text{кк}}^{10} = 0,3875 \varphi_{\text{к}}(v)$ и $\varphi_{\text{кч}}^{10} = 0,4905 \varphi_{\text{ч}}(v)$.

Зависимости коэффициентов трения композиционной (ТИИР 300) и чугунной частей колодки от скорости движения представлены на рисунке 2.



1 – $\varphi_{кк}$ при $K = 10$ кН; 2 – $\varphi_{кк}$ при $K = 20$ кН; 3 – при $K = 20$ кН и вставке из чугуна с повышенным содержанием фосфора (1,0–1,5 %)

Рисунок 2 – Зависимость коэффициентов трения композиционной $\varphi_{кк}$ и чугунной $\varphi_{кч}$ частей колодки от скорости

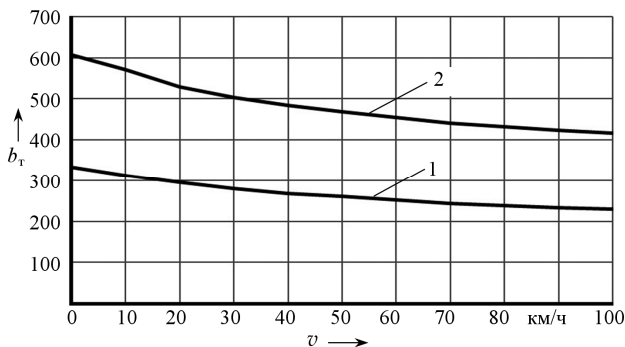
Рассмотрим удельную тормозную силу b_T , реализуемую при торможении комбинированными колодками, Н/т,

$$b_T = \frac{10^3 n p (S_k \varphi_{кк} + S_{ч} \varphi_{кч})}{q_0}, \quad (8)$$

где n – количество тормозных колодок на оси колесной пары, $n = 2$; q_0 – осевая нагрузка вагона, $q_0 = 23,5$ т/ось.

Для конкретного случая экстренного торможения вагона постоянными величинами будут количество тормозных колодок на оси, давление во фрикционном контакте и осевая нагрузка при постоянной силе нажатия колодки.

На рисунке 3 представлено изменение удельной тормозной силы b_T при экстренном торможении комбинированными колодками полногрузного вагона с осевой нагрузкой 23,5 т.



1 – при $K = 10$ кН; 2 – при $K = 20$ кН

Рисунок 3 – Удельная тормозная сила, реализуемая при экстренном торможении комбинированными тормозными колодками

Наличие чугунной вставки шириной 2 см не оказывает существенного влияния на величину тормозной силы, реализуемой комбинированной колодкой. Вставка из специального чугуна с графитом, который является смазкой, понижающей коэффициент трения, несколько снижает удельную тормозную силу, но восстанавливает поверхность катания колеса продуктами износа чугуна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные / Э. И. Галай [и др.] // Локомотив. – 2005. – № 6. – С. 34–35.

2 Design and Simulation of Rail Vehicles / M. Spiryagin [et al.]. – Boca Raton, FL : CRC Press, 2014. – 337 p.

3 **Мошков, А. А.** Разработка рациональной конструкции блока дискового тормоза для скоростных грузовых и высокоскоростных пассажирских вагонов : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / А. А. Мошков; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2014. – 179 с.

4 **Балакин, В. А.** Тепловые расчеты тормозов и узлов трения / В. А. Балакин, В. П. Сергиенко. – Гомель : ИММС НАНБ, 1999. – 220 с.

5 **Галай, Е. Э.** Влияние геометрических характеристик фрикционных элементов на изменение параметров торможения / Е. Э. Галай // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2013. – № 2 (27). – С. 9–11.

6 Новая тормозная колодка «ФРИТЕКС» – самая простая и надежная в мире / Л. А. Вуколов [и др.] // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2009. – № 3(19). – С. 28–30.

7 **Галай, Е. Э.** Нагрев колес грузовых вагонов при запуске тормоза / Е. Э. Галай // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4(44). – С. 130–135.

8 Оборудование пневматическое тормозное для подвижного состава железных дорог. Нормы безопасности. НБ ЖТ ЦТ-ЦЛ-ЦВ 01-98. М. : МПС России, 1998. – 108 с.

9 Типовой расчет тормоза грузовых и рефрижераторных вагонов. – М. : ВНИИЖТ, 1996. – 74 с.

E. I. HALAI, P. K. RUDAU, E. E. HALAI

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

COMPOSITE BRAKE PADS WITH SPECIAL CAST IRON INSERTS

Some issues related to the performance of brake composite pads with an insert of cast iron are considered in the article. There are presented the friction coefficients of the pad composite and the cast-iron insert calculated for the range of velocities; the specific braking force at emergency braking shows that the cast-iron insert does not significantly affect the braking force value.

Получено 21.11.2019