

УДК 666.762.81:621.83.059.1

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК
АВТОМОБИЛЕЙ**

Даниил Александрович Хрусталеv¹

студент

Надежда Александровна Кабакова²

контролер

Павел Николаевич Кузнецов¹

кандидат технических наук, доцент

PaNK-77@mail.ru

¹Мичуринский государственный аграрный университет

²АО «МЗП»

Мичуринск, Россия

Аннотация. В данной статье рассмотрены классификация тормозных колодок, состав фрикционных материалов, их трибологические свойства, виды дефектов колодок в процессе эксплуатации, способы их изготовления и исследований, а также анализ результатов тестов, проведенных независимыми компаниями.

Ключевые слова: трибологические свойства, материалы, методы, свойства, тормозные колодки, автомобиль.

Введение. Тормозные колодки – основной «элемент тормозной системы автомобиля. В конструкции тормозной колодки выделяют корпус и фрикционную накладку. В процессе эксплуатации автомобиля фрикционная накладка изнашивается» [1], в результате чего необходимо вовремя производить замену колодок.

Тормозные колодки классифицируются по типу конструкции тормозов:

1. Барабанные
2. Дисковые

По расположению:

1. Передние
2. Задние

По наличию датчиков износа:

1. Без датчиков износа
2. С датчиком износа
3. С механическим сигнализатором износа

Тормозные колодки делятся по типу материала, из которого они изготовлены. Всего есть четыре группы используемых материалов: органические, полуметаллические, с низкометаллической органикой и керамические.

Органические колодки «изготавливаются из углеродосодержащих материалов без стали. Такие колодки обеспечивают плавное и тихое торможение, при этом их нагрузка на тормозной диск минимальна. Из минусов выделяют более быстрый износ по сравнению с металлическими вариантами и пыление» [2].

Полуметаллические колодки «наполовину изготавливаются из тонкой стальной стружки. Они износостойкие при перегреве и повышенной влажности. Но такие колодки подвержены влиянию низких температур, которые способствуют быстрому изнашиванию тормозного диска.

Низкометаллические колодки в основном состоят из органики с 20-30% примесью стали. Колодки с низким содержанием металла меньше портят тормозной диск, однако сильнее шумят при торможении.

Керамические колодки являются наиболее дорогими, так как изготавливаются из металла и керамики или фарфора. Такие колодки встречаются на премиальных или спортивных автомобилях и отличаются более долгим сроком службы, меньшей нагрузкой на тормозной диск и стабильной работой при перегревах.

Рассмотрим частоту замены колодок. В нормальной ситуации тормозные колодки должны стираться значительно быстрее тормозных дисков. На автомобилях, выпущенных до 2000 года ресурс тормозных дисков рассчитан на сотни тысяч километров. На автомобилях, выпущенных после 2010 года заводской ресурс тормозных дисков редко превышает 100000 км. Но как бы там ни было тормозная колодка должна стираться в несколько раз быстрее тормозных дисков. Передних тормозных колодок в городском цикле хватает примерно на 30000 км, задних на 60000 км» [2].

Фрикционные материалы тормозных колодок в своем составе содержат:

Связующее вещество – исходя из названия, это вещество связывает различные вещества фрикционной накладки воедино. В качестве связующего вещества используется: фенольные смолы, различные сорта каучуков. Наполнители и модификаторы.

Наполнители - вещества, образующие основную массу фрикционной накладки, и выполняют функции абразива т.е. обеспечивают необходимую силу трения и способствуют очищению трущихся поверхностей. Модификаторы – вещества, придающие фрикционной накладке определенные свойства.

Сульфит бария – наполнитель, обладающий высокой температурой плавления и низкой стоимостью.

Оксид магния – обеспечивает необходимый коэффициент трения.

Графит – обладает смазывающими свойствами, препятствует избыточному трению и предотвращает возникновение шумов при торможении.

Дисульфид молибдена – обладает схожими с графитом свойствами, но меньшим по сравнению с ним пылеобразованием.

Трисульфид сурьмы - обладает смазывающими свойствами, препятствует возгоранию фрикционной накладки при перегреве.

Титанат калия – волокнистое вещество с высокой механической прочностью и жаростойкостью. Волокна.

Минеральная вата – жаростойкий материал.

Металлы – обеспечивают высокую теплопроводность материала фрикционной накладки для профилактики перегрева рабочих поверхностей колодки. Часто используется сталь, медь, бронза.

Кевларовые волокна – обеспечивают механическую прочность и жаростойкость фрикционной накладки.

В ряде случаев встречается неравномерный износ фрикционных накладок колодок (рисунок 1). На внутренней колодке, которая менее доступна для осмотра, износ может быть выражен сильнее, чем на наружной колодке. Износ может быть неравномерным и на одной колодке (рисунок 2), например, когда на одном полюсе колодки толщина фрикционной накладки составляет 5мм, а на противоположном полюсе – 1мм.



Рисунок 1 - Неравномерный износ фрикционной накладки на разных полюсах колодки [1]

Необходимо проверить тормозные колодки на предмет разрушения фрикционных накладок в виде растрескивания, отделения накладки от корпуса колодки (рисунок 3). При толщине фрикционного материала 4 мм и менее необходимо производить замену колодок для дисковых тормозов. Замену барабанных колодок следует производить при толщине фрикционной накладки 2 мм и менее [1].



Рисунок 2 - Неравномерный износ фрикционной накладки на разных полюсах колодки. Толщины на одном полюсе - 0 мм, на противоположном - 2мм. Износ фрикционной накладки до металла [1]



Рисунок 3 - Скол половины фрикционной накладки тормозной колодки [1]

По оценкам экспертов, около 80% всего российского импорта автозапчастей приходится на страны Юго-Восточной Азии, 15% поступает из Индии и Турции и на оставшиеся 5% приходится доля импорта из Америки и стран Европы, Японии.

По статистике, около 90% автомобильных комплектующих произведенных в странах Юго-Восточной Азии и привезенных в Россию, не соответствует требованиям и нормам надежности установленными ГОСТ Р 50507-93 Группа Л65 [3]. Тормозные колодки не обладают необходимыми

фрикционными свойствами, не обеспечивают требований безопасности движения. Однако они дешевы и быстро находят покупателя.

Некачественный фрикционный материал, прежде всего, может проявить себя в виде сильного биения или вибрации, возникающей на высокой скорости. Такое явление называется «горячей вибрацией» и связано с перегревом тормозных дисков. Материал накладок должен обеспечивать хорошую теплопроводность и отводить тепло от поверхности тормозного диска, не допуская его перегрева и коробления.

При нагреве колодок до 250...260 °С, а именно такие температуры в зоне торможения при движении на крутых спусках, тормозной коэффициент в хороших колодках снижается на 15...20%, что не представляет опасности для автомобиля, тогда как в некачественных колодках этот коэффициент снижается на 40%, что может привести к летальному исходу владельца автомобиля и его пассажиров во время критической ситуации торможения.

Всем колодкам свойственно выделять газ при интенсивной эксплуатации, т. е. при высокой температуре из органических смол, входящих в состав фрикционной смеси. Но если заводские оригинальные колодки подвержены такому явлению лишь в короткий период в начале эксплуатации, то подделка может находиться в таких условиях весь срок своей службы. Ко всему прочему, известны многочисленные случаи, когда накладки на некачественных колодках попросту отклеивались во время движения, и тогда минимальным ущербом становился выход из строя тормозного цилиндра и потеря тормозной жидкости.

Поверхность тормозных накладок должна быть однородного цвета со следами в виде эллипсных разводов, которые образуются после заключительной заводской шлифовки. Накладки могут быть серого, зеленого, черного и даже синего цвета в зависимости от состава фрикционной смеси. На поверхности накладок для дисковых передних тормозов должны равномерно располагаться вкрапления из стружки цветного металла. Эти составляющие во фрикционных смесях обеспечивают дополнительный теплоотвод в случае экстремального торможения. Ведущие производители наносят на колодку на

расстоянии от контактной области суппорта номер партии и дату производства изделий.

В работах [1, 3] приведены результаты исследования триботехнических характеристик фрикционной пары на основе тормозного диска из керамоматричного композита (КМК) и тормозной колодки из металломатричного композита. В частности, на рисунке 4 показаны зависимости коэффициента трения от давления и относительной скорости, в том числе в сравнении с фрикционной парой серый чугун – металлокерамика. Видно, что пара КМК – металлокерамика обеспечивает значительно более стабильный коэффициент трения в исследованном диапазоне давлений и скоростей.

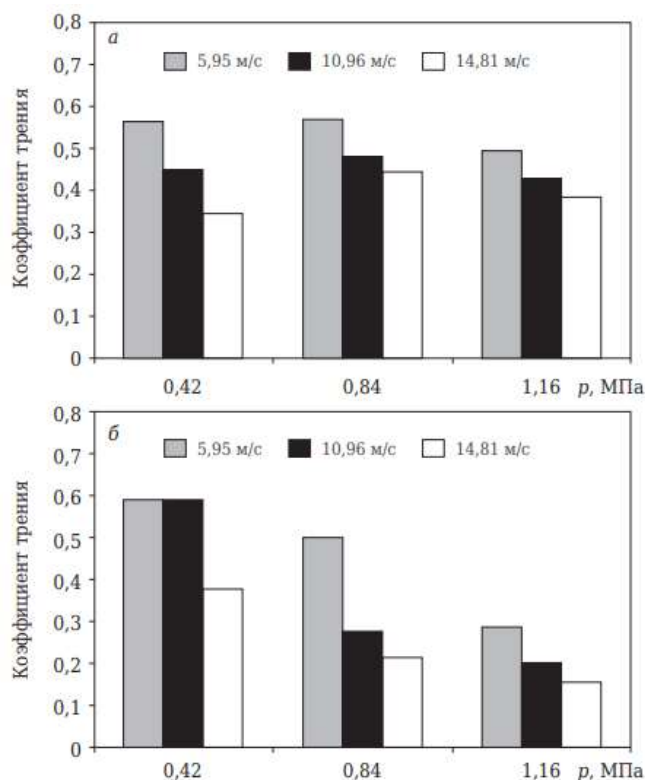


Рисунок 4 - Средний коэффициент трения в зависимости от давления p и относительной скорости для фрикционных пар: а - КМК – металлокерамика; б - серый чугун – металлокерамика [1]

В работе К. Krnel, Z. Stadler, T. Kosmac [5] для пары трения тормозной диск из КМК – тормозная колодка из металлокерамики на основе железа также были получены высокие показатели коэффициента трения и низкие значения

износа тормозного диска в широком диапазоне эксплуатационных температур по сравнению со стальным прототипом (рисунок 5).

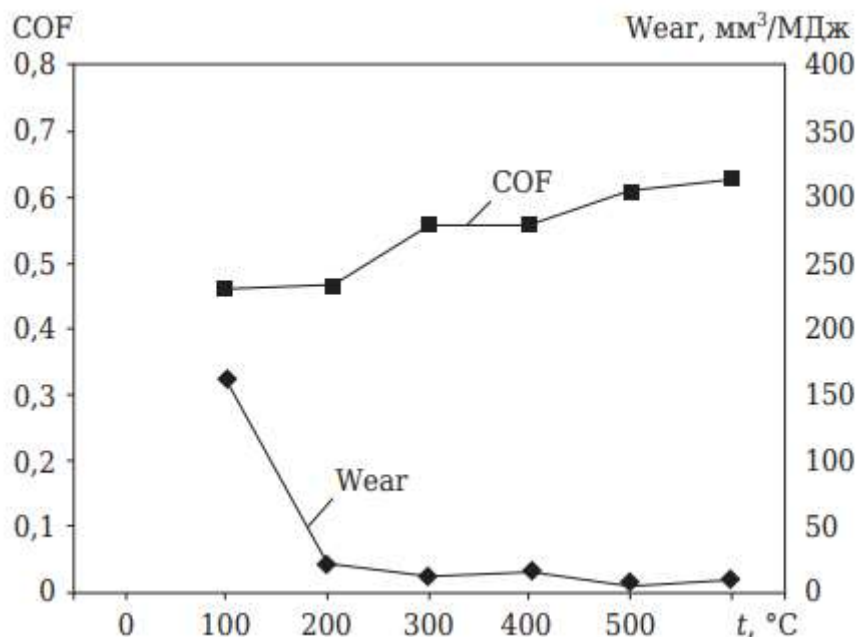


Рисунок 5 - Зависимости коэффициента трения COF и объемного износа Wear от температуры t поверхности трения для фрикционной пары КМК – металлокерамика [1]

В работах В. И. Кулика, А. С. Нилова, С. Е. Дёмина [6] приведены результаты определения триботехнических характеристик (коэффициент трения в зависимости от скорости и средний износ контртела) для образцов из КМК в паре с контртелом из фрикционной металлокерамики типа ФЖ-11 и композиции на основе порошков железа и керамической добавки нитрида алюминия (разработка ИПМ, Беларусь). Для сравнения были проведены испытания традиционной фрикционной пары чугун – ФЖ-11, а также пары КМК и металлокерамики на медной основе типа ФМ (рисунок 6).

Установлено, что использование фрикционной пары КМК – ФЖ-11 позволяет увеличить коэффициент трения почти в 2 раза по сравнению с традиционной парой чугун – ФЖ-11 и в 3 раза по сравнению с парой КМК – ФМ при сохранении того же уровня износа контртела.

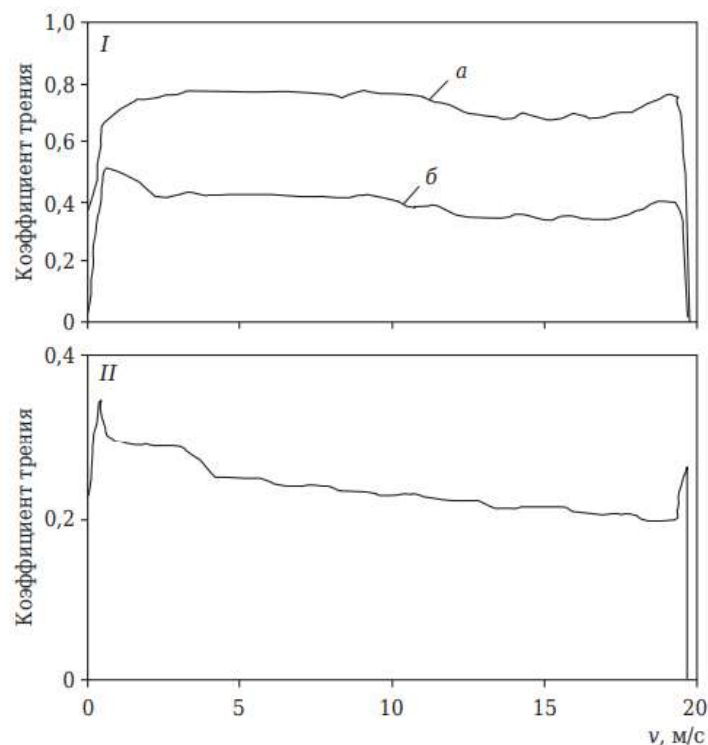


Рисунок 6 - Кривые зависимостей коэффициента трения от скорости v для различных пар трения: I - пары трения с ФЖ-11 (а - КМК – ФЖ-11, б - чугун – ФЖ-11); II - пара трения КМК – ФМ [1]

В таблице 1 «приведены результаты триботехнических испытаний на машине трения МТ-3 тормозного диска из КМК с двумя типами металлокерамических колодок на основе железа с добавлением соответственно порошков карбида кремния и нитрида алюминия» [6].

Таблица 1

Результаты триботехнических испытаний различных пар трения

Пара трения		Коэффициент трения		Износ (палец), мг/км		Износ (диск), мг/км	
диск	палец	I ^{*1}	II ^{*2}	I	II	I	II
КМК	Fe, C, AlN	0,38	0,41	1,49	1,58	0,06	0,63
	Fe, C, AlN	0,9	0,95	1,24	2,79	0,57	2,1

I^{*1} Испытание при давлении 0,42 Мпа.

II^{*2} Испытание при давлении 0,51 Мпа.

Полученные результаты показывают, что «применение более твердых порошков (SiC) в составе металлокерамических колодок способствует повышению коэффициента трения, однако при этом отмечается существенно больший износ как контртела, так и самого тормозного диска из КМК. Такое

различное поведение материала контртела, по-видимому, связано с разными механизмами разрушения твердых включений при фрикционном нагружении. В процессе износа твердые керамические добавки выходят на трущуюся поверхность и вступают в контакт с компонентами КМК» [1].

Заключение. Таким образом, тормозные колодки, изготовленные в странах Юго-Восточной Азии и привезенных в Россию, не соответствует требованиям ГОСТ Р 50507-93 Группа Л65, они не обладают необходимыми фрикционными свойствами. А при их выборе, как следует из проведенного анализа современных фрикционных материалов, применяемых для изготовления тормозных колодок, наиболее перспективными являются композиции с керамической матрицей и металлокерамика на основе железа.

Список литературы:

1. Нилов А.С., Кулик В.И., Гаршин А.П. Анализ фрикционных материалов и технологий изготовления тормозных колодок для высоконагруженных тормозных систем с дисками из керамического композиционного материала. Новые огнеупоры. 2015. (7):57-68.
2. Тормозные колодки: общие сведения. Какие бывают, советы по замене тормозных колодок. URL: <https://stars-auto.com/tormoznye-kolodki.html/> (дата обращения: 21.02.2023).
3. ГОСТ Р 50507-93 - Изделия фрикционные тормозные. Общие технические требования (2013) // Госстандарт России. Москва: Стандартинформ.
4. Исследование триботехнических характеристик композиционных материалов с карбидкремниевой матрицей / В. И. Кулик, А. С. Нилов, А.П. Гаршин [и др.] // Новые огнеупоры. 2012. № 8. С.45–56.
5. Krnel K., Stadler Z., Kosmac T. Carbon/Carbon–Silicon-Carbide dualmatrix composites for brake discs // Materials and manufacturing processes. 2008. Vol. 23. P. 587–590.

6. Кулик В. И., Нилов А. С., Дёмин С. Е. Трибологические исследования фрикционной пары «карбидокремниевый композиционный материал – спеченные порошковые материалы на основе металлокерамики» // 10-я междунар. науч.-техн. конф.: «Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка». г. Минск. Беларусь. 12–14 сентября 2012. Минск: Беларуская наука. 2012. С. 85–92.

UDC 666.762.81:621.83.059.1

**MODERN MATERIALS AND METHODS FOR STUDYING THE
TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF CAR BRAKE PADS**

Daniil A. Khrustalev¹

student

Nadezhda A. Kabakova²

controller

Pavel N. Kuznetsov¹

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

PaNK-77@mail.ru

¹Michurinsk State Agrarian University

²АО "МЗР"

Michurinsk, Russia

Abstract. This article discusses the classification of brake pads, the composition of friction materials, their tribological properties, types of pad defects during operation, methods for their manufacture and research, as well as an analysis of the results of tests conducted by independent companies.

Key words: tribological properties, materials, methods, properties, brake pads, car.

Статья поступила в редакцию 30.03.2023; одобрена после рецензирования 30.05.2022; принята к публикации 30.06.2023.

The article was submitted 30.03.2023; approved after reviewing 30.05.2022; accepted for publication 30.06.2023.