

УДК 621.7-4

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ И ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ В СИСТЕМЕ «ТОРМОЗНАЯ КОЛОДКА – КОЛЕСО – РЕЛЬС»

© 2012 А.В. Шакина¹, С.В. Биленко², В.С. Фадеев³, О.В. Штанов¹¹ Комсомольский-на-Амуре филиал ООО «НТЦ Информационные Технологии»² Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет³ ООО «НТЦ Информационные Технологии», г. Москва

Поступила в редакцию 03.12.2012

Рассмотрены механизмы изнашивания элементов системы «тормозная колодка – колесо – рельс». Приведены результаты исследований изнашивания рельсов, вагонных и локомотивных колес, чугунной и композиционной тормозных колодок. Предложен способ снижения износа в системе «тормозная колодка – колесо – рельс» посредством применения металлокерамической тормозной колодки.

Ключевые слова: система «тормозная колодка – колесо – рельс», контактно-усталостный механизм, изнашивание, поверхностный слой, металлокерамическая тормозная колодка

С ростом интенсивности грузоперевозок в 1990-2000 гг., выразившемся в увеличении их числа и повышении нагрузок на ось вагона до 25-35 тс, железные дороги России столкнулись с повышенным износом в системе «колесо – рельс». Это износ колес по поверхности катания (прокат), подрез и утонение гребней колес; вертикальный и боковой износ головок рельсов. Предложены различные способы борьбы с износом: от лубрикации до новой конструкции тележек. По мнению авторов статьи эффективные меры для снижения износа могут быть предложены после изучения изнашивания расширенной системы «тормозная колодка – колесо – рельс».

Цель работы: разработка способа предотвращения изнашивания элементов системы «тормозная колодка – колесо – рельс» посредством применения металлокерамической тормозной колодки.

Изнашивание рельсов. Прежде, чем говорить о борьбе с износом в системе «тормозная колодка – колесо – рельс», необходимо изучить, каким образом происходит изнашивание каждого элемента данной системы. Осуществленные авторами исследования разрушения поверхностного слоя рельсов (посредством металлографии, электронной микроскопии, рентгеноструктурного анализа (РСА)), подробно описаны в статье [1]. Ниже кратко изложены основные выводы.

1. Поверхностный слой рельсов имеет ярко выраженную зону пластической деформации, глубина которой в среднем не превышает 200 мкм. Зона пластической деформации состоит, как правило, из двух частей: зоны полосчатости и

переходной, которая составляет 10-50% от общей глубины зоны пластической деформации и состоит из зерен, деформированных в 6-15 раз относительно равноосного состояния.

2. Трещины в поверхностном слое рельсов, вызывающие отслаивание участков материала, развиваются в зоне полосчатости практически параллельно поверхности рельса, вдоль деформированных слоев, и имеют усталостную природу. Их росту способствуют дефекты в виде волосовин, активно образующиеся в этой зоне в результате многократного деформирования микрообъемов материала поверхностного слоя. Толщина отслаивающихся участков материала невелика (10-30 мкм), т.к. энергия, затрачиваемая на развитие трещин вдоль границ слоев с накопленными дефектами, меньше, чем энергия, необходимая для развития трещины в глубину от поверхности, где концентрация дефектов меньше. Росту трещин способствуют растягивающие напряжения, обнаруженные с помощью РСА.

3. Превалирующим видом изнашивания поверхности рельсов (на примере Дальневосточной железной дороги) является усталостное изнашивание. Однако в зоне выкружки рельса при взаимодействии с поверхностью колеса преобладают процессы схватывания, т.е. большую роль играет молекулярная составляющая изнашивания.

Изнашивание колес. Основное внимание в процессе изучения изнашивания локомотивных и вагонных колес было уделено состоянию их поверхностного слоя. По результатам исследований сделаны следующие выводы.

1. Структуры поверхностного слоя бандажей локомотивных и цельнокатаных вагонных колес, в целом, идентичны. Разница состоит в глубине зоны деформации: для локомотивного бандажа – до 0,3 мм, для вагонного колеса – до 1 мм.

2. Структура поверхностного слоя поверхности катания колес аналогична структуре поверхности рельса: поверхностный слой состоит из двух зон – зоны полосчатости и области деформированных зерен (переходной зоны). Зона полосчатости состоит из слоев толщиной около 1 мкм и насыщена

Шакина Антонина Владимировна, инженер-исследователь. E-mail: antoninakom@rambler.ru

Биленко Сергей Владимирович, доктор технических наук, преподаватель кафедры «Технология машиностроения». E-mail: s.bilenko@knastu.ru

Фадеев Валерий Сергеевич, доктор технических наук, исполнительный директор. E-mail: infotech.mos@gmail.com

Штанов Олег Викторович, кандидат технических наук, директор. E-mail: infotech.kms@gmail.com

дефектами (рис. 1). В этой зоне, а также на границе ее раздела с переходной зоной часто присутствуют трещины, которые являются причиной отслаивания небольших участков материала.

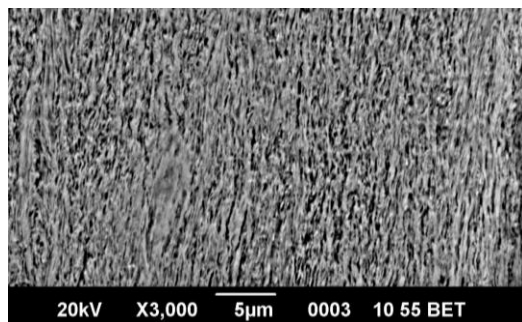


Рис. 1. Дефекты в поверхностном слое колеса

3. Характер разрушения поверхностного слоя гребней колес различен: в верхней и средней части гребня его поверхность имеет следы адгезионных вырывов, свидетельствующих о схватывании с материалом боковой поверхности рельса (рис. 2). В нижней части гребня присутствует текстурированный слой, аналогичный по структуре поверхности катания колеса, но меньшей глубины (10-50 мкм).

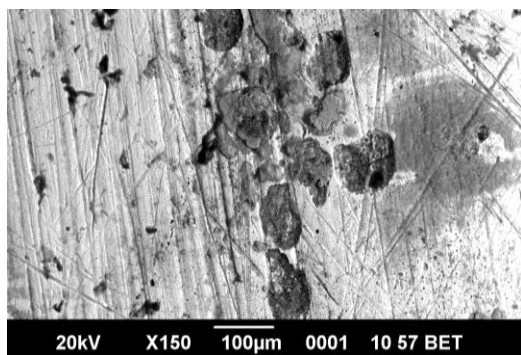


Рис. 2. Поверхность средней части гребня колеса: адгезионные вырывы

4. Разрушение поверхности катания бандажей локомотивных и цельнокатанных вагонных колес происходит по усталостному механизму, а разрушение большей части поверхности гребня – в результате процессов схватывания.

Изнашивание тормозных колодок. В настоящее время в России используется два основных типа тормозных колодок: чугунные (вагонные и локомотивные) и композиционные (на полимерном связующем). Ниже приведены результаты исследования изнашивания чугунной вагонной колодки по ОСТ 32.194-2002 и композиционной колодки из материала ТИИР-300. Структура чугунной колодки состоит из перлита (96%), фосфидной эвтектики в виде разорванной сетки и незначительного количества феррита (4%). Включения графита имеют пластинчатую форму. Пластинки графита, находясь близко к поверхности колодки, работают как трещины в металлической основе чугуна, образуя концентраторы напряжений, по которым и происходит выкрашивание материала тормозной колодки (рис. 3).

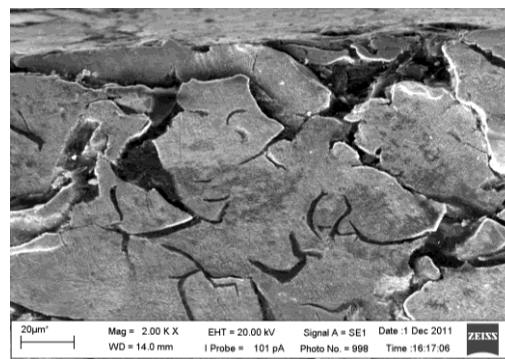


Рис. 3. Выкрашивание материала чугунной колодки по пластинкам графита

Вторая причина разрушения чугунной тормозной колодки, отмеченная, в частности, в статье [2] – процессы схватывания с поверхностью катания колеса. На рис. 4 показаны вырывы на рабочей поверхности чугунной колодки, возникающие, вероятно, в результате такого явления.

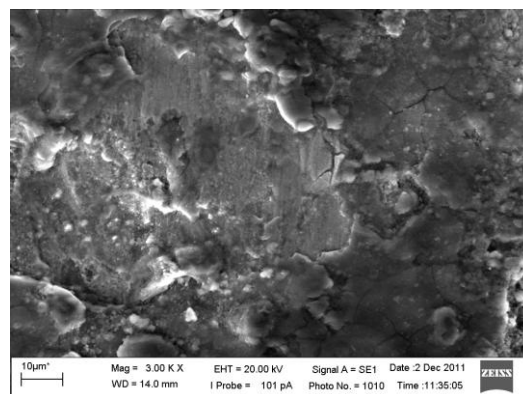


Рис. 4. Повреждения рабочей поверхности чугунной тормозной колодки в результате схватывания с поверхностью катания колеса

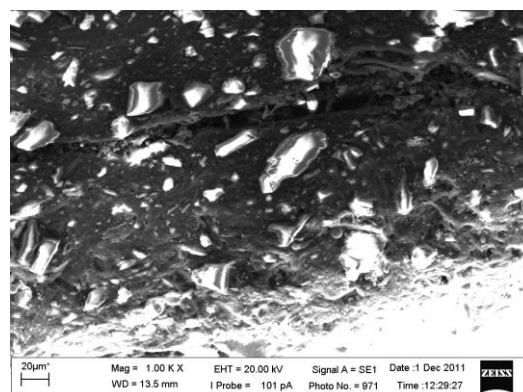


Рис. 5. Трещина в полимерном связующем материала ТИИР-300

Разрушение рабочей поверхности композиционной тормозной колодки из материала ТИИР-300 происходит, во-первых, вследствие растрескивания полимерного связующего (рис. 5) в результате предположительно термических напряжений, причем в качестве дополнительных концентраторов напряжения могут выступать кристаллы барита.

Вторая причина изнашивания – абразивно-окислительные процессы при торможении [2].

Обобщение результатов исследований.

Анализ механизмов изнашивания в системе «тормозная колодка – колесо – рельс» показал наличие нескольких взаимовлияющих процессов разрушения ее элементов. Из-за концентраторов напряжения в виде графитовых пластинок и активного схватывания с поверхностью катания колеса разрушается чугунная тормозная колодка. Одновременно повреждается поверхность катания колеса. Колодка, изготовленная из полимерного композита, подвержена изнашиванию вследствие растрескивания связующего и абразивно-окислительных процессов, происходящих в зоне трения. При этом из-за ее низкой теплопроводности происходит перегрев поверхности катания колеса, способствуя образованию выщербин.

Исходная некруглость колес, усугубляемая повышенными осевыми нагрузками, приводит к тому, что в зоне взаимодействия «колесо – рельс» трение качения заменяется качением с проскальзыванием. Это интенсифицирует процесс усталости в поверхностном слое, как колес, так и головок рельсов. Усталостные трещины, развиваясь в поверхностном слое, вызывают отслаивание материала.

При движении состава в кривых участках пути происходит скольжение гребня колеса по боковой поверхности головки рельса. Под нагрузкой порядка 2,5 ГПа [3] и при малых скоростях скольжения (0,4-0,7 м/с) [4] происходит усиление молекулярного взаимодействия, и, как следствие, появление адгезионных вырывов на поверхности гребней колес.

Свою лепту в процесс изнашивания вносят попадающие из внешней среды абразивные частицы, например, песок, а также продукты износа колодки. Заметим, что подача песка под колеса для повышения коэффициента сцепления увеличивается не только при появлении на рельсах наледи, но и при загрязнении их смазкой и т.п. Такие загрязнения, как правило, содержащие ПАВ, намазываются на колесо, попадают в микротрещины, и, реализуя эффект Ребиндера [5], интенсифицируют износ.

Предотвращение изнашивания. Из описанных процессов ясно, что для снижения износа в системе «тормозная колодка – колесо – рельс» необходимо:

1. Устранить концентраторы напряжения в металлической тормозной колодке.
2. Повысить термостойкость и теплопроводность композиционной (полимерной) тормозной колодки.
3. Добиться периодического очищения поверхностного слоя колес от участков материала, отслаивающихся вследствие усталостных трещин, чтобы не пропустить такие трещины вглубь, а также своевременно очищать поверхность колес от загрязнений.

Реализация этих шагов возможна посредством тормозной колодки, выполненной из металлокерамики, обладающей следующими преимуществами.

1. В ней отсутствуют концентраторы напряжения, подобные узким полостям, сформированным в чугунной колодке пластинками графита.
2. Изготовленная на железо- и / или медьсодержащей основе, такая колодка обладает хорошей теплопроводностью.
3. Сочетая в конструкции одной колодки элементы из металлокерамики с разной степенью абразивности можно добиться своевременного очищения поверхности катания колеса от загрязнений и отслаивающихся участков материала, при сохранении износостойкости самой колодки.

Выводы: в настоящее время ООО «НТЦ Информационные Технологии» осуществляет разработку композиционной металлокерамической тормозной колодки для снижения износа в системе «тормозная колодка – колесо – рельс».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Shakina, A.V.* The research of the wear mechanisms in the "wheel – rail" system / *A.V. Shakina, V.S. Fadeev, O.V. Shtanov* // Modern materials and technologies 2011: Internat. Russian-Chinese Symp. Proceedings. – Khabarovsk: Pacific National University, 2011. P. 211-216.
2. *Асташкевич, Б.М.* Исследование эксплуатационных дефектов фрикционного сопряжения тормозной колодки с колесом вагона / *Б.М. Асташкевич, С.Г. Иванов, И.Н. Воронин* и др. // Вестник ВНИИЖТ. 2004. № 4. С. 37-41.
3. *Абдурашитов, А.Ю.* Рельс с улучшенным профилем // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 2. С. 5-10.
4. *Марков, Д.П.* Задир боковых поверхностей рельсов и гребней колес // Вестник ВНИИЖТ. 2004. № 4. С. 53-57.
5. *Лужнов, Ю.М.* Нанотрибология сцепления колес с рельсами. Реальность и возможности. – М.: Интекст, 2009. 176 с.

RESEARCH OF WEAR AND ITS PREVENTION IN "BRAKE SHOE – WHEEL – RAIL" SYSTEM

© 2012 A.V. Shakina¹, S.V. Bilenko², V.S. Fadeev³, O.V. Shtanov¹

¹ Komsomolsk-on-Amur branch of JSC "Scientific and Technological Centre Information Technologies"

² Komsomolsk-on-Amur State Technical University

³ JSC "Scientific and Technological Centre Information Technologies", Moscow

The wear mechanisms of elements "brake shoe – wheel – rail" system are considered. Results of researches the wear of rails, carriage and locomotive wheels, pig-iron and composite brake shoes are given. The way of wear reduce in "brake shoe – wheel – rail" system by means of application the ceramic-metal brake shoe is offered.

Key words: "brake shoe – wheel – rail" system, contact and fatigue mechanism, wear, surface layer, ceramic-metal brake shoe

Antonina Shakina, Engineer-researcher. E-mail: antoninakom@rambler.ru; Sergey Bilenko, Doctor of Technical Sciences, Lecturer at the Department "Machine Building Technology". E-mail: s.bilenko@knastu.ru; Valetiy Fadeev, Doctor of Technical Sciences, Chief Executive. E-mail: infotech.mos@gmail.com; Oleg Shtanov, Candidate of Technical Sciences, Director. E-mail: infotech.kms@gmail.com