

УДК 656.032

ВОРОНИН С.В., к.т.н., доцент,
КОРОСТЕЛЁВ Е.Н., аспирант (УкрГАЖТ)

Анализ существующих способов уменьшения бокового износа рельсов в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути

Проведён анализ существующих методов уменьшения воздействия подвижного состава на боковую поверхность рельсов в кривых участках пути и, как следствие, способов уменьшения бокового износа в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути.

Ключевые слова: боковой износ, поверхность катания, конформный контакт, смазывание, шлифование.

Введение

В настоящее время исследования в области снижения бокового износа рельсов при воздействии на путь подвижного состава остаются актуальными для железнодорожного транспорта. Несмотря на большое число работ в этой области [1-16], проблема бокового износа, на данный момент, является недостаточно изученной.

Железнодорожный путь является наиболее дорогостоящей составляющей железнодорожной инфраструктуры. От его состояния зависят: скорость движения, безопасность, бесперебойность, надёжность и своевременность перевозочного процесса. Перерывы в движении, связанные с ремонтными работами, ограничение скоростей движения по состоянию пути наносят значительный экономический ущерб железнодорожным предприятиям.

Одним из перспективных направлений в усовершенствовании работ железнодорожного транспорта, в настоящее время, является повышение надёжности элементов пути и ходовых частей подвижного состава при одновременном снижении эксплуатационных расходов за счёт внедрения ресурсосберегающих технологий [10]. Такие технологии должны быть направлены, в частности, на снижение интенсивности износа рельсов и колёс подвижного состава.

Анализ последних исследований и публикаций

Анализ последних исследований и публикаций показал, что вопросом снижения бокового износа рельсов и колёс подвижного состава с середины XX века занимались многие отечественные и зарубежные учёные: В.М. Богданов, М.Ф. Вериго, А.Ф. Золотарский, Н.И. Карпушенко, К.Л. Комаров, Ю.Н. Ликратов, Е.Н. Лысыков, А.А. Скорик, А.П. Татуревич, М.А. Фришман., Н.П. Щапов, В.Ф. Яковлев и др. [1-16].

Фундаментальные значения в изучении причин бокового износа рельсов в кривых имеют работы С.М. Андриевского, Г.М. Шагунянца и Л.П. Мелентьева [1-3].

Проблемы взаимодействия колеса и рельса, а также методы уменьшения бокового износа рельсов в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути достаточно подробно рассмотрены в материалах конференции Международной ассоциации тяжеловесного движения [19].

Цель исследований

Цель данной работы заключается в выборе и обосновании наиболее перспективных способов уменьшения бокового износа рельсов в кривых участках пути.

Основной материал

Общий анализ работ по уменьшению бокового износа рельсов и гребней колёс в кривых

Первое систематическое исследование проблемы износа гребней колёс и рельсов было выполнено С.М. Андриевским [1], который из всех существующих мероприятий по уменьшению бокового износа выделяет два основных: смазывание гребней колёс или боковой поверхности головок рельсов и тщательное содержание пути.

В этой связи некоторые исследователи утверждают, что снижения интенсивности бокового износа можно добиться за счёт изменения стандартного профиля поверхности бандажа и увеличения конусности поверхности катания колёс. Однако, как справедливо указывал профессор М.Ф. Вериго в [5], эффективность таких мер для снижения интенсивности износа колёс будет не велика, особенно в кривых малого радиуса, так как любой начальный профиль после его износа всего на 1-2 мм уже обретает новую конфигурацию.

© С.В. Воронин, Е.Н. Коростелёв, 2014

Кроме того, высказывалось предположение, что увеличение интенсивности бокового износа рельсов и гребней колес связано с уменьшением ширины рельсовой колеи от 1524 мм до 1520 мм. Однако, как указывал профессор М.А. Фришман [11], для кривых радиуса менее 299 м это изменение нормы практически не влияет на ширину колеи.

В результате экспериментов большинство ученых пришли к выводу, что проблему износа рельсов, помимо конструктивных методов, можно решить путем смазывания контактирующих поверхностей рельсов и гребней колес.

На отечественных железных дорогах опытное применение смазки началось еще в 50-е годы. Однако не для всех условий эксплуатации удавалось подобрать эффективную смазку и надежную технологию нанесения ее на контактирующие поверхности рельсов и гребней колес.

Значительного снижения сил взаимодействия колес подвижного состава с рельсовой колеей, а, следовательно, и износа контактирующих поверхностей, можно добиться за счет комбинации смазывания контактирующих поверхностей, подбора оптимальных режимов смазки, сочетания смазывания контактирующих поверхностей со шлифованием рельсов.

Смазывание рельсов и гребней колес

Смазывание рельсов и гребней колес (лубликация) – не новая технология. Много лет назад паровозы оснащались гребнесмазывателями (лубликаторами), и в течение длительного времени применяются путевые рельсосмазыватели (путевые лубликаторы).

Смазывание снижает долю режима проскальзывания и связанные с ним силы крипа между гребнем и рабочей выкружкой рельса, уменьшает тенденцию к пластическому течению материала и, естественно, вредное воздействие тангенциальных сил

и усталостные эффекты.

Из мирового опыта [19] можно сделать вывод о том, что:

- лучшие результаты получаются при использовании консистентных (загущенных), а не жидких смазочных материалов;

- при применении напольных рельсосмазывателей загрязняются непосредственно прилегающие к ним участки рельсов, что создает проблемы со сцеплением локомотивов. Кроме того, смазывание рельсов утрачивает эффективность на расстоянии более 100 м от рельсосмазывателя, а также требуется длительное время, чтобы распределить смазочный материал по поверхности рельсов после шлифования;

- смазывание гребней колес может быть эффективным только при поддержке со стороны персонала локомотивной службы, который обычно с подозрением относится к лишним объектам внимания при обслуживании локомотивов;

- смазывание рельсов с помощью перемещающихся по пути рельсосмазывателей, является оптимальным техническим решением. В этом случае смазочный материал наносится равномерно по всему рельсу, который требует смазки. Смазывание можно выполнять немедленно после шлифования. Недостаток этого способа заключается в том, что он требует выделения особых ниток графика для пропуска транспортного средства с рельсосмазывающим устройством.

На ряде железных дорог разработан метод оценки эффективности смазывания контактирующих поверхностей на основе визуального контроля состояния поверхностей рельсов с применением специальной экспертной таблицы (табл. 1). После использования трибометра в течение некоторого времени можно с достаточной точностью делать оценку коэффициента трения по результатам визуального осмотра [13, 14].

Таблица 1

Экспертная таблица эффективности смазывания

Наблюдаемое состояние боковой поверхности головки рельса	Оценка коэффициента трения
Грубая, со следами вырывов от схватывания	Около 0,6
Грубая, изборожденная	0,45 - 0,6
Гладкая, блестящая, несмазанная	0,35 - 0,45
Гладкая, со следами смазочного материала на 10 - 40 % поверхности	0,30 - 0,35
Гладкая, на 40 - 60 % покрытая смазочным материалом	0,25 - 0,30
Гладкая, на 60 - 90 % покрытая смазочным материалом	0,20 - 0,25
На 100 % покрытая тонким слоем смазочного материала	0,15 - 0,20
На 100 % покрытая толстым слоем смазочного материала темного цвета	Менее 0,15

Для получения максимального положительного эффекта от смазывания гребней колес и рельсов необходимо:

- создать хорошо структурированную программу управления системой смазывания;
- разработать показатели смазывания для конкретных участков пути;
- разработать нормы рационального смазывания боковой поверхности головки рельса и гребня колеса с учетом радиуса кривых и их числа;
- обеспечивать минимальный уровень смазки, при котором поверхность зоны выкружки головки рельса остается гладкой;
- избегать излишнего смазывания, особенно в начале кривых, подъемов и спусков;
- выбирать подходящий смазочный материал с учетом температурного диапазона, имеющего место на данной железной дороге. Обеспечить унификацию смазочных материалов, используемых в данном

районе;

- выбирать оптимальный режим смазывания, обеспечивающий экономию топлива, энергии и снижение износа колес, рельсов и в то же время устраняющий негативные эффекты смазывания;

- технологии смазывания и шлифования рельсов должны рассматриваться совместно, для чего следует разработать общую для этих технологий программу, базирующуюся на системном подходе.

Главным критерием эффективности смазывания является интенсивность изнашивания рельсов и колес, а также потери на трение. Например, на Российских железных дорогах разработаны предельно допустимые нормы интенсивности изнашивания гребней колес локомотивов в мм на 10^4 км пробега локомотива и боковых поверхностей головок рельсов в мм на 1 млн. т брутто пропущенной поездной нагрузки в зависимости от кривизны пути (табл. 2) [12].

Таблица 2

Предельно-допустимые показатели интенсивности изнашивания боковой поверхности головок рельсов и гребней колес

Показатель	Интенсивность изнашивания в зависимости от радиуса кривых K и степени кривизны пути
Интенсивность изнашивания боковой поверхности головки рельса, мм/1 млн. т	Не более 0,66 при $K < 300$ м; не более 0,05 при $K = 301 - 500$ м; не более 0,04 при $K = 501 - 1000$ м; не более 0,025 при $K > 1000$ м
Интенсивность изнашивания гребней колес локомотивов, мм/ 10^4 км пробега	Не более 0,40 при $K < 650$ м; доля кривых 10 - 15 %; не более 0,50 для горных районов

Следует отметить также, что излишняя смазка может дать дополнительное снижение расхода топлива и энергии за счет увеличения контактно-

усталостных повреждений и ухудшения вписывания тележек в кривые, ведущих к росту боковых сил (рис. 1) [15].

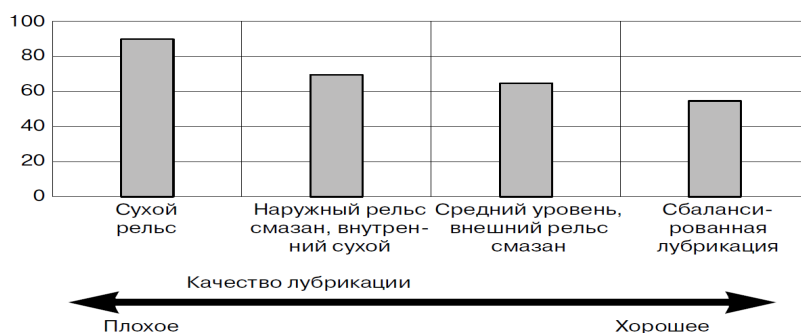


Рис. 1. Влияние качества смазывания на боковые силы, действующие в кривой радиусом 160 м

Шлифование рельсов

Как уже было отмечено выше, технологии смазывания контактирующих поверхностей в комплексе со шлифованием рельсов оказывают высокий положительный эффект на уменьшение сил

трения между гребнем колеса и боковой поверхностью головки рельса.

Ниже рассмотрим шлифование рельсов, как действие, направленное на уменьшение сил трения в паре трения «колесо-рельс».

Железные дороги с установившейся практикой шлифования рельсов обычно уделяют особое внимание профилактическому шлифованию для исправления поперечного профиля в целях улучшения геометрии контакта колеса и рельса [18].

Существует три возможных случая, которые должны учитываться при рассмотрении гребневого контакта: двухточечный, одноточечный и конформный контакты (рис. 2).

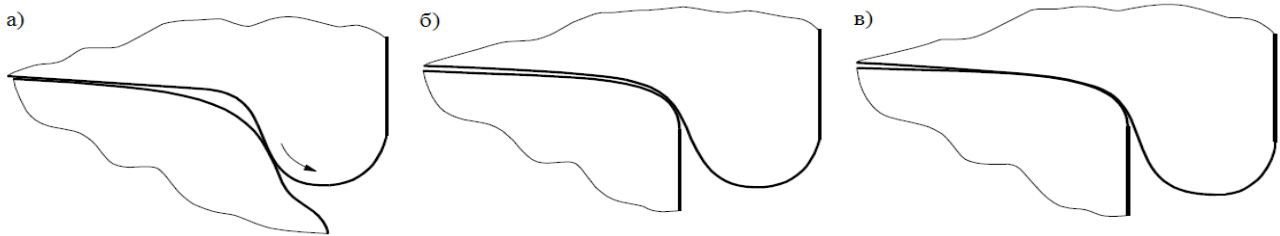


Рис. 2. Три основные формы гребневого контакта:
а) двухточечный контакт; б) одноточечный контакт; в) конформный контакт

Конформность профилей изношенных колеса и рельса снижает контактные напряжения. Высокие контактные напряжения являются причиной пластических деформаций и контактной усталости металла на поверхности катания, выражающейся в виде отслоений, выкрашивания металла и наклонных параллельных трещин на рабочей выкружке головки рельса.

Если профиль колеса в области гребня конформен профилю рельса, имеет место большая площадь контакта и наименьшие контактные напряжения, а также создаются оптимальные условия для сохранения смазочной пленки. Это одно из главных преимуществ конформного контакта, поскольку смазывание контактирующих поверхностей сразу снижает интенсивность износа гребня и рабочей грани рельса. Опыт ранее проводимых исследований показывает, что интенсивность изнашивания гребня снижается в 6 раз по сравнению с условиями, когда смазывание контактирующих поверхностей не производится [16].

Другая цель профилирования поперечного сечения головки рельса заключается в улучшении вписывания экипажей в кривые. Применяя профильное шлифование, можно управлять местоположением

контакта колеса и рельса. При сосредоточении шлифовки на наружном крае головки наружного рельса и внутреннем крае головки внутреннего рельса контакт колеса с рельсом смещается из точки А в точку В (рис. 3). В результате этого наружное колесо стремится к качению по внутреннему краю наружной рельсовой нити, а внутреннее – по наружному краю внутренней рельсовой нити. Из-за разницы в радиусах кругов катания колес ось принудительно ориентируется в колее по колесу меньшего радиуса катания, т. е. по внутреннему. Это производит эффект ограниченной самоустановки колесной пары в кривых радиусом 875-700 м. Необходимо отметить, что рабочая выкружка наружного рельса также несколько сглажена с целью недопущения контакта с галтелью у основания гребня колеса. Это позволяет устранить поверхностные трещины на рабочей грани рельса и снизить контактные напряжения. Путем шлифования можно получить радиус кривизны поверхности катания головки рельса несколько меньший, чем радиус кривизны поверхности катания изношенного колеса с прокатом, и тем самым контролировать местоположение полосы контакта.

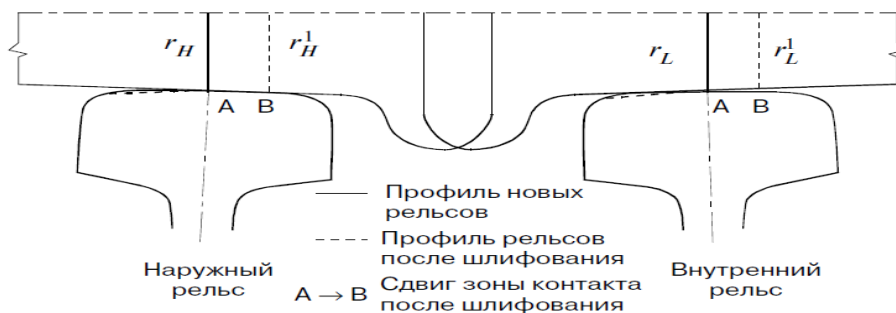


Рис. 3. Схема асимметричного профильного шлифования рельсов для смещения зон контакта наружного и внутреннего рельса внутрь кривой

Цели обеспечения конформного контакта колеса и рельса – минимизация эксцентриситета приложения нагрузок и передача реакции от колесной нагрузки через шейку рельса – могут вступать в противоречие друг с другом. Решение о выборе зависит от того, что нуждается в первоочередной регулировке – контактная усталость рельса или износ колеса и рельса.

Трещины усталостного происхождения на поверхности рельсов наиболее интенсивно развиваются при попадании в них воды и в меньшей степени при загрязнении смесью воды и смазки. С другой стороны, смазывание рельсов значительно снижает напряжения от рамных усилий при контакте колеса и рельса и поэтому уменьшает число циклов контактного нагружения, которые способствуют поверхностной усталости рельса. По этой причине профилактическое шлифование, при котором удаляются поверхностные трещины, в сочетании со смазыванием контактирующих поверхностей может существенно увеличить срок службы рельсов. И наоборот, нанесение смазки на поврежденные рельсы может увеличить темп роста трещин.

Это связано с эффектом П.А. Ребиндера, когда молекулы масла под действием внешних нагрузок проникают вглубь микротрещин и оказывают расклинивающее действие [17].

Несмотря на полученные ранее положительные эффекты от рельсошлифования в сочетании со смазыванием контактирующих поверхностей до сих пор остаются малоизученными следующие вопросы:

- выбор оптимальной шероховатости при шлифовании;
- подбор смазочного материала и, главным образом, подбор соответствующих присадок, которые будут обеспечивать минимальную степень изнашивания и силу бокового трения;
- разработка эффективного способа нанесения смазочного материала на отшлифованную поверхность.

Выводы

1. Силы трения оказывают большое влияние на интенсивность бокового износа в паре трения «колесо-рельс» в кривых участках пути. Для уменьшения бокового износа рельсов применяются эксплуатационные, конструктивные и трибологические методы. Рациональным решением данного вопроса являются трибологические методы уменьшения бокового износа, которые направлены на уменьшение трения между колесом и боковой поверхностью рельса. Основными трибологическими методами является смазывание рельсов и гребней колёс, а также профильное шлифование рельсов.

2. Смазка рельсов значительно снижает напряжения от рамных сил при контакте колеса и

рельса и поэтому увеличивает число циклов нагружения до появления поверхностной усталости слоёв металла, которые принимают участие во фрикционном контакте.

3. Несмотря на широкое внедрение антифрикционных смазок на сети дорог эффект часто оказывается значительно меньше ожидаемого. Это связано с тем, что нанесение смазки на поврежденные рельсы может увеличить темп роста трещин, как следствие – усталостный износ поверхности. Для решения этой проблемы перед внедрением смазывания контактирующих поверхностей необходимо производить шлифование поверхности катания рельсов. Такое шлифование, называемое профилактическим, на сегодняшний день выполняется лишь с точки зрения обеспечения конформности контакта «колесо-рельс». При этом параметры микронеровностей профиля шлифованной поверхности не получили достаточной обоснованности с точки зрения трения и износа.

4. Кроме того профилактическое шлифование, при котором удаляются поверхностные трещины, в сочетании со смазыванием рельсов может существенно увеличить срок службы рельсов. Внедрение смазки рельсов в сочетании с усовершенствованными методами рельсошлифования имеет большое значение для успешного выполнения программы по ресурсосбережению на железнодорожном транспорте.

Литература

1. Андриевский С.М. Боковой износ рельсов в кривых [Текст]: Сб. научн. тр. Всесоюз. научн. исслед. ин-т. ж.-д. трансп. / С.М. Андриевский – М.: Трансжелдориздат, 1961. Вып. 207. 128 с.
2. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. [Текст] / Г.М. Шахунянц – М.: Транспорт, 1987. 479 с.
3. Мелентьев Л.П. Влияние формы головки рельса на интенсивность развития бокового износа и дефект 82 [Текст] // Исследование рельсов тяжелых типов: Сб. научн. тр. Всесоюз. научн. исслед. ин-т. ж.-д. трансп. / Л.П. Мелентьев – М.: Трансжелдориздат, 1961. Вып. 220. С. 123-143.
4. Богданов В.М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельсов [Текст] // Железнодорожный транспорт / В.М. Богданов 1992. Вып. 12. С. 30-34.
5. Вериго М. Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес [Текст]: ПТКБ ЦП МПС / М. Ф. Вериго – М.: 1997. 207 с.
6. Золотарский А.Ф. Износ и срок службы рельсов [Текст] // Вопросы исследования работы рельсов: Сб. научн. тр. / А.Ф. Золотарский М.: Трансжелдориздат, 1946. С. 4-87.

7. Козийчук П.Г. Износ рельсов в кривых в связи с возвышением наружного рельса и уширения колеи [Текст]: Транспорт / П.Г. Козийчук – К.: Ин-т инж. ж.д. трансп. 1934. Вып. 5. С. 7-67.
 8. Комаров К.Л., Карпущенко Н.И. Износ рельсов и колес подвижного состава [Текст] / К.Л. Комаров – Новосибирск.: СГАПС, 1997. 153 с.
 9. Крысанов Л.Г., Джанполадова Л.А. Работа рельсов в кривых в различных эксплуатационных условиях [Текст] // Скорости движения поездов в кривых: Сб. науч. тр. / Л.Г. Крысанов – М.: Транспорт, 1988. С. 72-80.
 10. Лысыков Е.Н. Повышение ресурса технических систем железнодорожного транспорта путём использования нанотехнологий [Текст] // Залізничний транспорт України / Е.Н. Лысыков, А.А. Скорик – К.: 2010. Вип. 4. С. 60-61.
 11. Фришман М.А. Как работает путь под поездами [Текст] / М.А. Фришман – М.: Транспорт, 1964. 132 с.
 12. Barteneva L. I. Lubrication of Rails and Wheels on Russian Railways. Proceedings of ІННА.99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface [Text] / L. I. Barteneva, V. Tutin, V. Kartsev, D. Veniaminov, V. Nikitin – Moscow, 1999. V. 1, p. 205.
 13. Zakharov S. Wheel Flange [Text] // Rail Head Simulation: Wear / Zakharov S., Komarovskiy I., Zharov I. V. 215, 1998. p. 18-24.
 14. Thelen G. A Parametric Study of the Lubrication Transport Mechanism at the Rail/Wheel Interface [Text] // Proceedings of the Conference «Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems» / G. Thelen, M. Lovette – Edited by J. Kalousec, Canada, 1996.
 15. Reiff R. System Approach to Best Practices for Wheel/Rail Friction Control [Text] // Proceedings of ІННА'99 STS-Conference on Wheel/Rail Interface / R. Reiff, D. Gregger – Moscow, 1999. V. 1, p. 323-330.
 16. Tournay H. M. Rail/wheel interaction: Multi disciplinary practices developed in South Africa [Text] // Conference on Railway Engineering / H. M. Tournay, J. L. Giani – Melbourne, October 1995,.
 17. Горюнов Ю.В. Эффект Ребиндера [Текст] / Ю.В. Горюнов, Н.В. Перцов, Б.Д. Сумм – М.: Наука, 1966. 128 с.
 18. Шехватов О.О. Положення про комплексну систему шліфування рейок у колії [Текст] / О.О. Шехватов, В.Г. Вігольберг, Д.О. Потапов, А.О. Махота – К.: Імпрес, 2006. – 45 с.
 19. Харрис У. Дж. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: Вопросы взаимодействия колеса и рельса [Текст] / Пер. с англ. У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландарен, Х. Торне, В. Эберсен. – М.: Интеест, 2002. 408 с.
- Воронін С.В., Коростельов Є.М. Аналіз існуючих способів зменшення бокового зносу рейок в парі тертя «колесо-рейка» в кривих ділянках колії.** Проведений аналіз існуючих методів зменшення впливу рухомого складу на бокову поверхню рейок в кривих ділянках колії і, як наслідок, способів зменшення бокового зносу в парі тертя "колесо-рейка" в кривих ділянках колії.
Ключові слова: боковий знос, поверхня катання, конформний контакт, змазування, шліфування.
-
- Voronin S.V., Korostelyov J.M. The analysis of existing methods of horizontal wear reduction in "wheel-rail" friction pair on curved tracks.** The analysis of the existing methods of the reduction of rolling stock influence on the side face of rails on curved tracks as well as the analysis of the methods of horizontal wear reduction in "wheel-rail" friction pair on curved tracks have been conducted.
Key words: horizontal wear, roll surface, conformal contact, lubrication, grinding.

Рецензент д.т.н., профессор Ремарчук Н.П. (УкрГАЖТ)

Поступила 25.03.2014г