

УДК 625.143.3

А.А. Николаенко, П.А. Третьяк, А.В. Быстров

Повреждения и отказы рельсов на Западно-Сибирской железной дороге

В статье рассмотрены вопросы, касающиеся причин повреждения и отказов рельсов на сети железных дорог. В современных условиях контактно-усталостные повреждения и износ рельсов в наружной нити кривых являются важнейшей проблемой путевого хозяйства. При анализе изменения структуры дефектов рельсов были обнаружены многообразные факторы, влияющие на их отказы. К таким факторам относятся: укладка современных конструкций верхнего строения при капитальных ремонтах пути; повышение нагрузки от колесной пары на рельсы (повышение осевой нагрузки); увеличение массы и длины поезда; изменение скоростей движения в кривых без соответствующего уменьшения возвышения наружного рельса; увеличение числа неровностей на колесах подвижного состава в виде выщербин, ползунов и наваров в результате снижения качества ремонта подвижного состава; рост дефицита трудовых ресурсов в текущем содержании пути. В статье рассмотрены эксплуатационные и конструктивные факторы, влияющие на повреждения рельсов. Предложены мероприятия по эффективному предупреждению отказов пути из-за контактно-усталостных повреждений, проводимые в пределах сети железных дорог, а именно увеличение подуклонки наружных рельсовых плетей в кривых и шлифовка рабочего закругления головки новых рельсовых нитей.

Ключевые слова: *контактно-усталостные повреждения, разуклонка рельсов, износ, безотказность, сжимающие напряжения.*

Чтобы грамотно управлять отказами пути, обусловленными контактно-усталостными повреждениями рельсов, необходимо знать причины появления таких повреждений и влияние на указанные причины эксплуатационных и конструктивных факторов.

Значительную часть ежегодных затрат составляет стоимость укладываемых в путь новых рельсов для замены поврежденных при эксплуатации [1]. Несмотря на то что по основному показателю лежащие в главном пути рельсы являются самыми прочными в мире по сопротивлению изгибу, по остальным показателям надежности они существенно хуже, чем рельсы на дорогах других стан.

Поскольку контактно-усталостные повреждения и износ рельсов в наружной нити кривых – важнейшая проблема путевого хо-

зяйства, научный анализ причин увеличения силового взаимодействия (контактирования) колес с рельсами является основой повышения их безотказности [2].

Несмотря на большое количество работ по данной проблематике, причины указанных отказов пока не имеют строгого научного толкования. Например, нет ответа на вопрос: почему основные контактно-усталостные повреждения (дефекты 21 и 11) рельсовых плетей зарождаются только в узкой зоне рабочего закругления головки рельса (рис. 1), где возникают в основном сжимающие напряжения при проходе поезда и при укладке рельсовых плетей [3].

За последние годы на железных дорогах произошли существенные изменения структуры дефектов рельсов, обуславливающих их отказы (таблица).

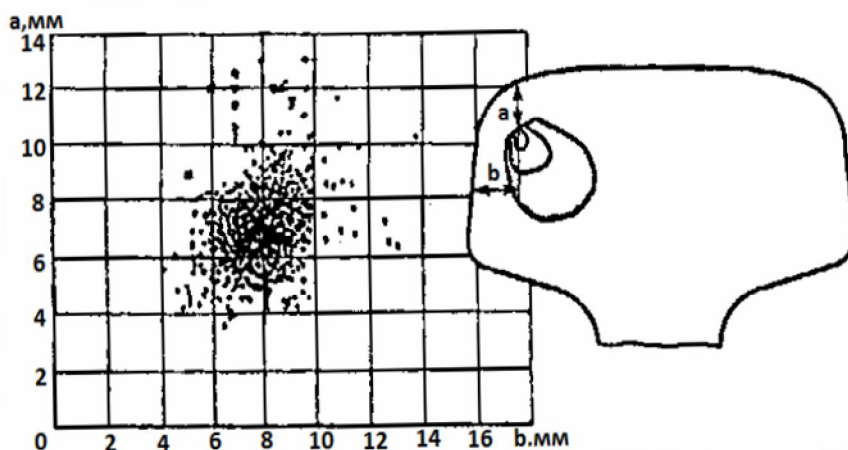


Рис. 1. Координаты места зарождения контактно-усталостных повреждений рельса

Структура дефектов рельсов (отказов) по годам на Западно-Сибирской железной дороге, %

Вид повреждения рельсов	1990	1995	2000	2005	2006	2007	2008	2009
Выкрашивание металла	19,4	29,5	44,3	58,6	71,2	85,3	94,3	98,7
Поперечные трещины в головке	22,1	11,8	16,2	15,6	14,1	13,7	12,7	11,4
Продольные трещины в головке	5,8	7,8	6,0	5,4	3,9	4,2	5,9	6,2

Анализ изменения структуры дефектов показывает многообразие факторов, влияющих на отказы рельсов. С одной стороны, это изменение прочности и надежности пути за счет укладки при капитальных ремонтах более надежных конструкций верхнего строения пути, а с другой – усложнение условий эксплуатации вследствие повышения нагрузки от колесной пары на рельсы, увеличения массы и длины поездов, изменения скоростей движения в кривых без соответствующего уменьшения возвышения наружного рельса, увеличения числа неровностей на колесах в виде выщербин, ползунов и наваров, а также роста дефицита трудовых ресурсов в текущем содержании пути [4].

Увеличение доли контактно-усталостных повреждений рельсов характерно и для большинства зарубежных железных дорог.

Этому явлению есть две причины:

1) сокращение количества отказов по изгибным напряжениям вследствие увеличения изгибной жесткости рельсов и увеличения жесткости рельсового основания;

2) нарастание контактных напряжений из-за повышения осевых нагрузок, скоростей движения и жесткости пути.

Контактно-усталостные трещины являются основными причинами одиночного выхода рельсов и уменьшения срока их службы между сплошными сменами.

Необходимые вес рельса, его очертание, качество рельсовой стали и особенности его изготовления находятся между собой в тесной взаимосвязи и прямо зависят от нагрузок на оси, скоростей движения и грузонапряженности линии, на которой он будет лежать. Чем больше колесные нагрузки и скорости движения (т.е. чем больше колесные динамические воздействия, чем выше грузонапряженность линии и чем чаще нагрузки прикладываются к рельсам), тем при прочих равных условиях должны быть больше моменты инерции и сопротивления рельсов,

износостойкость и вязкость рельсового металла, его сопротивляемость общим и местным динамическим напряжениям [5].

На скорость накопления трещин влияет прочность рельсовой стали и условия эксплуатации рельсов, которые характеризуются величиной и количеством контактных напряжений колеса на рельс [6]. Эти напряжения прежде всего зависят от величины колесной нагрузки, но при прочих равных условиях они в значительной мере определяются продольной и поперечной кривизной поверхности катания колес, а также условиями контактирования колес с рельсами.

Другими словами, на контактно-усталостные повреждения рельсов влияет большое количество факторов эксплуатации. Представляет интерес роль таких факторов, как динамическая разуклонка рельсов при прохождении подвижного состава и вызванное этим накопление остаточных напряжений в верхней части головки, а также неизбежное продольное проскальзывание в кривых всех колес из-за различия протяжения контактного пути по наружной и внутренней рельсовой нити вследствие жесткой насадки колес на оси.

Рельсы под колесами движущегося экипажа отклоняются от проектного положения к наружной стороне колеи, т.е. происходит динамическая разуклонка [7].

Экспериментально установлено, что на прямых участках (при отсутствии торможения) рельсы разуклоняются от нормального положения на меньший угол, чем в кривых. Причем кручение рельсов под колесами происходит при действии только вертикальных сил.

В процессе эксплуатации постепенно накапливаются зазоры между шпалой и балластом в подрельсовых зонах и под концами шпал. Вследствие более жесткой связи рельса с железобетонными шпалами, чем с деревянными, динамическая разуклонка рельсов на участках с такими шпалами меньше. Следует отметить, что после выправки пути машина-

ми ВПР (уплотняет балласт только под концами шпал) возможна даже динамическая переуклонка шпал и рельсов под колесами. Но в процессе эксплуатации форма изгиба шпал постепенно изменяется, стремясь к конечной, при которой шпалы под рельсами и рельсы при проходе колес разуклоняются.

При динамической разуклонке рельсов контакт приходится на рабочую выкружку вместо средней части поверхности головки. А это зона зарождения усталостных трещин. При этом уменьшается площадь контакта, что обуславливает увеличение контактных повреждений.

Наличие пластических деформаций металла в верхней части головки рельса в зоне контакта с колесами общепризнано. В 1980 г. в США проводились исследования изменений твердости металла в верхней части головки рельсов. Пропущенный тоннаж изъятых из пути рельсов составил 7 000 млн т брутто груза. В результате было установлено, что зона пластических деформаций распространяется на глубину 6–8 мм от поверхности катания [8].

Подобные эксперименты были проведены на кольце ВНИИЖТа. Установлено, что после пропуска 110–150 млн т брутто груза по типовым незакаленным рельсам типа Р65 при среднем значении $P_{ст} = 23$ т/ось твердость металла на глубине 3 мм от поверхности катания (в рабочей зоне выкружки) увеличивается до двух раз и постепенно снижается до первоначальной величины только на глубине 15 мм [9].

В процессе эксплуатации новых рельсов сначала происходит приработка, во время которой система «колесо – рельс» аккумулирует пластические деформации сжатия из-за многократно действующей нагрузки, обеспечивая постепенный переход от пластического поведения металла у поверхности головки к упругому. Эта аккумуляция берет начало с укладки новых рельсов и постепенно затухает в процессе увеличения тоннажа наработки. Перестройка системы происходит за счет изменения механических свойств материалов и микрогеометрических характеристик их поверхностей. В результате указанной приработки системы из-за наклепа рельсов может наступить такая ситуация, при которой пла-

стических деформаций в зоне контакта вообще не происходит, если величина контактных напряжений не превышает первоначальный предел текучести рельсового металла на 70 %. Если же указанное превышение несколько больше, то в нормальном по отношению к поверхности катания головки направлении не наблюдаются пластические деформации, и внешне контакт выглядит вполне упругим. Однако под поверхностью контакта на некоторой глубине развиваются ощутимые деформации пластического сдвига. Схема цикла нагружения и сдвиговой деформации микрообъема металла головки рельса, находящегося на некоторой глубине под поверхностью качения, показана на рис. 2.

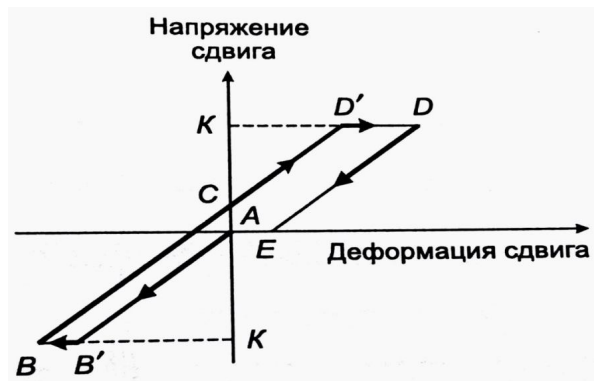


Рис. 2. Схема возникновения необратимого сдвига в направлении качения в приповерхностных слоях металла головки рельса

Наиболее распространенным контактно-усталостным повреждением головки рельсов является внутренняя усталостная трещина. Она возникает внутри головки в зоне рабочего закругления, развивается параллельно ей вдоль рельсов, постепенно расширяясь, и выходит на боковую грань головки. Скорость развития трещины невелика – 0,3–0,7 мм/млн т брутто. Поэтому рельсы после появления таких трещин до изъятия из пути пропускают 150–300 млн т брутто.

Появление и развитие ВПР существенно зависит от фактической подуклонки рельса и формы контактирующих поверхностей колеса и рельса. В процессе эксплуатации статическая подуклонка постепенно изменяется за счет неравномерного износа деревянных шпал под наружными и внутренними концами подкладок. В крутых кривых (особенно на тормозных участках) происходит более ин-

тенсивный износ древесины подкладок под их наружными концами, чем под внутренними. Подуклонка постепенно изменяется от 1 : 20 до 1 : 12. Обусловлено это ростом бокового воздействия колес на головку наружного рельса и тем, что в России костыльные подкладки имеют меньшую площадь, чем на зарубежных дорогах, площади их опирания расположены равномерно. На дорогах Канады, США, Японии и других стран наружный конец подкладок больше. Статическая подуклонка рельсов на участках с железобетонными шпалами более стабильна.

Главный критерий оптимизации конструкции пути в кривых – это равенство срока службы рельсов внутренней и наружной нити кривых, а не равенство вертикальных воздействий колес на внутренний и наружный рельс [10].

Для практической реализации идеи перераспределения мест контактирования колес с рельсами из зоны рабочего закругления головки в среднюю часть поверхности катания существуют определенные путевые мероприятия:

1) увеличение подуклонки наружных рельсовых плетей в кривых до 1 : 12 вследствие применения клинчатых подрельсовых прокладок;

2) шлифовка рабочего закругления головки новых рельсовых нитей в наружных нитях кривых с целью выведения места контакта с колесами из этой зоны в среднюю часть поверхности катания головки.

Такая профильная шлифовка производится рельсошлифовальными поездами на новых рельсовых плетях после укладки их в путь, а в дальнейшем возобновляется по мере их «закатывания» или износа. Кроме того, эти мероприятия позволят быстро получить наибольший эффект, что скажется на изменении формы и интенсивности среднесетевого проката колес [5]. Но необходимо знать, что чрезмерное повышение выпуклости головки на всем протяжении рельсовых нитей будет иметь и отрицательные последствия. Так, ранее было доказано, что эксплуатируемые рельсы с радиусом кривизны в средней части головки с увеличенной поверхностью показали повышенное усталостное выкрашивание металла в средней части поверхности катания головки.

Все это убедительно доказывает возможность эффективного предупреждения отказов пути из-за контактно-усталостных повреждений.

Библиографический список

1. Дементьев В.П. Железнодорожные рельсы для Сибири. Иркутск: ИрГУПС, 2010. 319 с.
2. Сосновский А.А. Механика износоусталостного повреждения. Гомель: БелГУТ, 2007. 434 с.
3. Лысюк В.С. Повреждения рельсов и их диагностика. М.: Академкнига, 2006. 638 с.
4. Проблемы железнодорожного транспорта: Сб. тр. ученых и аспирантов / НИИ железнодорожного транспорта; Под ред. Г.В. Гогричиани. М.: Интекст, 2011. 223 с.
5. Гура Г.С. Механика и трибология движения колесной пары в рельсовой колее. М.: УМЦ по образованию на железнодорожном транспорте, 2013. 527 с.
6. Каменский В.Б. Направления совершенствования системы ведения путевого хозяйства. М.: Академкнига, 2006. 392 с.
7. Грищенко В.А. Расчеты, устройство и содержание бесстыкового пути. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2007. 207 с.
8. Самме Г.В. Фрикционное взаимодействие колесных пар локомотива с рельсами. М., 2005. 78 с.
9. Повышение эффективности и надежности работы рельсов: Сб. науч. тр. / Под ред. А.Ю. Абдурашитова. М.: Интекст, 2011. 126 с.
10. Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием / ИрГУПС. Красноярск, 2005. 632 с.

A.A. Nikolayenko, P.A. Tretiak, A.V. Bystrov

Damages and failures of rails on the West-Siberian railway

Abstract. The issues concerning the causes of damages and failures of rails on the West Siberian railway are discussed. In modern conditions contact and fatigue damages and exhaustion of rails in the external thread of curves is the most significant problem of track facilities maintaining. The analysis of changes in the structure of

rails defects revealed the diverse factors influencing the rails failures: laying of modern constructions of the track structure during heavy track resurfacing; increase in the wheelpair load on the rails (increase of axial loading); increase in weight and length of the train; changes of movement speed in curves without the corresponding reduction of the vertical setting of rail; increase in the number of wheels unevennesses in the form of voids, flat spots and weld-on deposit as a result of quality deviation of the rolling stock repairs; increasing shortage of labour for the railway maintenance. The operational and constructional factors influencing the damages of rails are considered in the paper. The measures of effective prevention of the railway failures caused by contact fatigue damages on the West Siberian railway, namely an increase in canting of external rail lengths in curves and polishing of a working curve of a head of new rail threads are suggested.

Key words: *contact-fatigue damages; rails sloping; rails exhaustion; non-failure operation; compression stresses.*

Николаенко Анатолий Арсентьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство», заслуженный работник транспорта РФ.

Третьяк Павел Анатольевич – начальник Службы пути Западно-Сибирской железной дороги.

Быстров Антон Викторович – преподаватель кафедры «Путь и путевое хозяйство» СГУПС.
E-mail: bystrovanton@ya.ru