

Усталостные повреждения рельсов

На рельсовом транспорте эксплуатирующая компания должна принимать все меры, чтобы вовремя распознавать различные повреждения пути и подвижного состава и таким образом гарантировать надежную перевозку пассажиров и грузов в течение срока службы транспортной системы. Исследования показали, что одной из основных причин сходов подвижного состава и прочих тяжелых аварий на подземных и наземных рельсовых линиях являются усталостные повреждения рельсов, приводящие к их излому. Чтобы предотвратить возникновение таких повреждений, необходимо уяснить причинные связи этого явления.

Ситуация на метрополитене Вены

Венский метрополитен, общая протяженность линий которого составляет 68,9 км, в течение 20 ч работы ежедневно перевозит около 2 млн пассажиров; поезда движутся с интервалом 2,5–10 мин. Это соответствует пропуску примерно 212 поездов/сут в одном направлении.

Срок службы обычных рельсов составляет 2–50 лет и зависит главным образом от износа, возникающего при качении колеса по рельсу. Износ определяется в основном нагрузкой от оси на рельс, геометрией колес подвижного состава, интервалами между поездами и геометрией пути. Рельсы новых марок (R350HT) отличаются значительно меньшим износом в кривых малого радиуса, благодаря чему срок службы увеличился в 2 раза. Однако повышение износостойкости рельсов привело к возникновению дефектов, обусловленных контактной усталостью при качении, что в свою очередь уменьшает срок службы.

В последние годы число изломов рельсов на линиях венского метрополитена возросло настолько, что в 2007 г. были начаты интенсивные

научные исследования, направленные на выяснение причин их возникновения. В исследованиях совместно с персоналом метрополитена принимали участие эксперты в области технологии верхнего строения пути и динамики подвижного состава и пути, а также изготовители рельсов, специалисты, испытывающие материалы и изучающие механизмы повреждений и изломов.

Так, на поверхности катания рельсов, уложенных всего несколько месяцев назад, в некоторых местах были обнаружены достаточно большие трещины, а в некоторых случаях зафиксированы сколы. Такие дефекты, как правило, приводят к хрупкому разрушению рельсов.

Эффективный срок службы рельсов метрополитена составляет примерно 30 лет (на венской линии U1). В ходе исследований было установлено, что для рельсов с закаленной головкой в кривых малого радиуса он может сократиться до нескольких месяцев. Приводящие к этому дефекты рельсов возникают не только на венском метрополитене, но и на других линиях рельсового городского транспорта. Они наблюдаются перед въездом на станции, где подвижной состав

притормаживает, а также на наружном рельсе в кривых, которые он проходит с постоянной скоростью. Известны случаи аналогичных изломов на магистральных линиях в зонах, где поезда разгоняются.

На венском метрополитене применен облегченный железнодорожный путь с износостойкими рельсами HSH, имеющими закаленную головку. Колеса подвижного состава создают небольшую нагрузку на рельс. Головка рельса при этом деформируется слабо, однако в результате качения колес происходит постепенное разрушение ее материала.

Регистрация дефектов рельсов на сети венского метрополитена

В специальной литературе классифицированы все известные дефекты рельсов. В основном различают выкрашивания, сетки трещин на поверхности катания, сколы и др.

Повреждения нового типа, обнаруженные при проверке рельсов на венском метрополитене, пока еще не рассматривались в специальной литературе. В кривых на поверхности катания наружных рельсов типа R350HT с закаленной головкой впервые были выявлены дефекты в виде полосок, расположенных поперек поверхности катания. Вероятно, они наблюдаются на рельсах метрополитенов и других европейских городов. Такие дефекты встречаются преимущественно в кривых, но возникают и на прямых участках пути. Они обладают высоким потенциалом разрушения рельса и проявляются в виде оптически распознаваемых белых линий, возникающих почти исключительно на наружном рельсе.

В этом отношении заметна разница между рельсами обычным R260 и R350HT с закаленной головкой, уложенными с наружной стороны кривой. Менее износостойкий рельс R260 имеет зеркальную поверхность катания с хорошо

различным износом рабочей грани. Любая трещина, возникшая в этой зоне, устраняется за счет интенсивного износа.

На поврежденной поверхности катания наружного рельса R350HT были обнаружены квазипараллельные белые линии, приводящие затем к локальным выкрашиваниям. Шлифование зон расположения белых линий показало, что под каждой из них имеется поверхностная трещина. В некоторых случаях концентрация локальных выкрашиваний приводила к образованию глубоких и широких трещин.

Микрофотографическое исследование изломов

Механизм образования выкрашиваний в виде полосок удалось понять с помощью микрофотографического исследования.

Различные поврежденные фрагменты рельсов подвергали испытаниям без разрушения и с разрушением образца в лаборатории Технического университета Вены (TVFA). Исходный материал имел микроструктуру, в которой перлитные зерна распределены по границам ферритного зерна. Ферритный материал обладает повышенной вязкостью, это обеспечивает более высокую степень пластической деформации.

После исследования исходного материала головки рельса R350HT из поврежденного слоя поверхности катания такого же рельса были вырезаны три образца, расположенные параллельно друг другу на расстоянии 10 мм в продольном направлении. Из них приготовили шлифы, которые затем исследовали под микроскопом. На микропанорамных снимках всех трех образцов обнаружилось большое число столбчатых фрагментов длиной от 5 до 10 мм и сечением от 1×1 до 2×2 мм, образовавшихся в результате растрескивания материала.

Тщательное исследование физических процессов позволило определить этапы развития дефектов данного типа.

Образование поверхностных трещин на поверхности катания и значительная пластическая деформация, а также рост коротких трещин обусловлены следующим:

- в связи с хрупкостью и высокой твердостью рельса R350HT с закаленной головкой возникают вертикальные или наклонные микротрещины у ее граней;
- в результате ослабления связей в области граней головки рельса при действии больших вертикальных и тангенциальных сил в зоне контакта (особенно при боковом смещении колесной пары в кривых) появляются большие пластические деформации;
- в процессе постоянного качения изменяется направление изначальных трещин у кромок головки. Зерна приобретают клинообразный вид, причем острие клина направлено в сторону движения колеса. Цементит в приповерхностном слое зачастую скапливается в направлении действия касательной силы сдвига — наклонно вверх;
- тонкие слои перлита претерпевают пластическую деформацию и даже разрушаются; образование трещин и изломов происходит вследствие скалывания и излома пластинок цементита.

Разрушения материала под поверхностью вследствие воздействия касательных напряжений при качении в результате протекания ряда рассмотренных далее процессов:

- при качении критическим по контактной усталости является слой, находящийся в непосредственной близости от грани головки (на расстоянии примерно 1–2 мм). Катящиеся колеса под нагрузкой от подвижного состава создают на глубине 2–5 мм под поверхностью катания меняющееся распределение максимальных напряжений сдвига. Происходит циклическое нагружение

материала до наступления его усталости. По статистическим данным, повреждение в рельсе распространяется до глубины, на которой вдоль рельса действуют максимальные касательные напряжения;

- тангенциальная срезающая сила в продольном направлении и соответствующая шероховатость поверхности приводят к тому, что максимум напряжения среза перемещается по направлению к поверхности;
- на шероховатой поверхности максимальная сила действует на минимальные по площади области в зоне контакта, образуемые шероховатостями, так что максимум напряжений сдвига может переместиться ближе к поверхности даже в том случае, если отсутствует касательная сила;
- повторяющиеся процессы качения создают в близком к поверхности слое циклические касательные напряжения сдвига, которые приводят к прогрессирующему разрушению материала головки рельса в направлении максимального напряжения сдвига (вдоль рельса). В таком поврежденном слое содержится большое количество разрушенных по границам зерен, что в итоге приводит к образованию под действием касательных напряжений тонкой сетки микротрещин. При критическом числе прокатываний колес и воздействий нагрузки микротрещины сливаются, в результате чего образуется макротрещина, идущая параллельно поверхности.

Образование полосок. Короткие поверхностные трещины растут быстрее всего в центральной области поверхности катания. По обоим ее краям они увеличиваются медленно. Достигнув глубины, на которой находятся повреждения, обусловленные силой сдвига, поверхностные трещины сливаются с дефектами, возникшими по границам зерен, или с локальными хрупкими микроразрушениями. При этом образуется угловая трещина, которая может соединяться с другими, в том числе и проходящими вдоль грани головки.

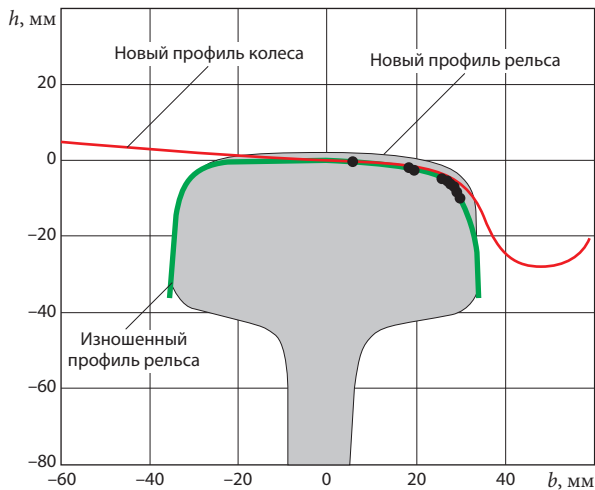


Рис. 1. Возможный контакт нового колеса с изношенным профилем рельса:
 h — высота; b — ширина

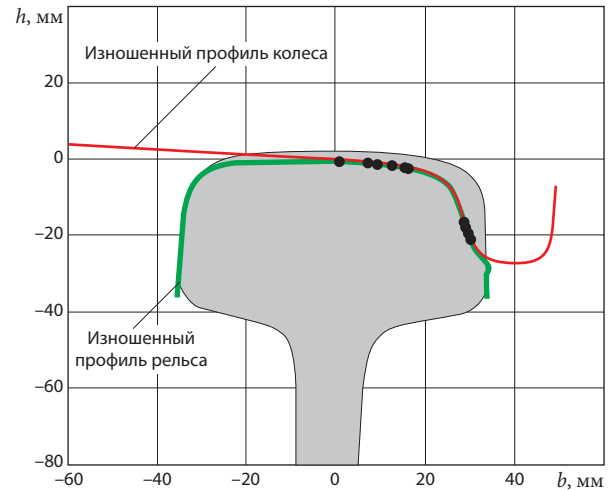


Рис. 2. Контакт изношенного колеса с изношенным рельсом: обозначение позиций, как на рис. 1

Сколы. Многократное приложение касательной силы (как при проскользывании, так и в результате действия момента трения при набегании гребня на рельс) в области контакта колесо — рельс и связанная с этим пластическая деформация, вызванная изгибными и крутильными нагрузками, приводят к образованию в средней зоне поверхности катания рельса так называемого пластического соединения образовавшихся полосок, обусловленного переходом материала в зоне, где действуют повышенные напряжения, в состояние текучести. У обеих граней отслоение поверхностного слоя прекращается, полоски остаются в напряженном состоянии, но пластическое соединение может развиваться дальше. Объединение или взаимодействие растущих трещин в краевых зонах с поврежденными слоями приводит к образованию системы трещин, которая имеет относительно сложную структуру и может привести к отслоениям металла.

Серии коротких поверхностных трещин одновременно развиваются квазипараллельно, причем все они ориентированы в направлении ослабленной области и формируют угловую трещину. Центральная часть угловой

трещины соединяется с соседней, проходящей у грани головки рельса, в результате чего образуется структура полосок со столбчатыми элементами. Статистика показала, что длина полосок определяется числом проходов колеса. При этом концы полосок претерпевают значительные деформации. Если сила среза достаточно высока, данные полоски, получившие пластические соединения посередине и на краях, отслаиваются.

Проблемы контакта колеса с рельсом и варианты соприкосновения

Устойчивость движения жесткой колесной пары в колее зависит от постоянно изменяющихся поперечных сил. При этом геометрия поверхностей катания рельсов и колес существенно влияет на ходовые качества подвижного состава. Качение с минимальным проскальзыванием (а значит, с малым износом), прежде всего в кривых, требует, чтобы диаметры колес на оси по возможности были одинаковыми.

Характер соприкосновения нового колеса с изношенным рельсом показан на рис. 1 (касание по рабочей грани головки и средней части поверхности катания рельса). Сконцентрированный в средней

части износ, вызываемый силами трения, изменяет форму профилей как рельса, так и колеса.

На рис. 2 показан контакт при прогрессирующем износе по рабочей грани или в средней части поверхности катания. На колесе это вызвало значительный износ гребня бандажа в результате набегания колесной пары с образованием подреза. Зоны контакта на поверхности катания становятся шире и могут выходить за пределы середины рельса при качении колеса с вогнутой поверхностью катания.

Контакт качения и действующие силы

Контакт между колесом и рельсом осуществляется через качение, а протекающие при этом на поверхности соприкосновения физические процессы имеют решающее значение для ходовых свойств рельсового подвижного состава.

Если раньше наибольший интерес вызывали трение и износ, то в последнее время все больше внимания уделяется изломам рельсов, особенно с износостойкой закаленной головкой. Предрасположенность к образованию трещин у таких рельсов значительно возросла. Трение, пластическая

деформация, износ и образование трещин на поверхности катания рельсов влияют на ходовые свойства и срок службы подвижного состава, а также на длительность эксплуатации рельсов. Что касается контакта качения, то кривая зависимости между силой сцепления и проскальзыванием полностью отражает динамику скольжения, включая колебательные процессы при проскальзывании.

Положение, размер и взаимозависимости зон контакта дают информацию о силах, передающихся от колеса к рельсу. Полученный вектор силы при контакте качения можно разложить на три составляющие: нормальную силу N , силу продольного сдвига Q_x и силу поперечного сдвига Q_y . Последняя уменьшается с уменьшением радиуса кривой.

Если колесо набегает на рельс, тогда на поверхность рабочей грани воздействует дополнительный момент, который индуцирует линейное поле касательных напряжений при кручении. При этом имеет место продольное, поперечное и вращательное проскальзывание. Возникающие в головке рельсов на глубине 3–4 мм напряжения сдвига при равномерном движении,

ускорении и замедлении на прямолинейном участке и в кривой в среднем составляют 200 Н/мм². Эти напряжения сдвига, действующие на глубине, имеют большое значение для характеристики механизма разрушения рельса. Относительное положение вектора силы сцепления может меняться не только в зависимости от нагрузки или кривизны пути, но и при изменении геометрии колеса и рельса в результате износа. С точки зрения механики разрушения нельзя вести расчеты, заменяя многоточечную передачу сил в контакте эквивалентной силой, прикладываемой в одной точке.

Напряжения и спектр нагрузок рельса

На рельсы метрополитена совместно действуют нагрузки, вызывающие механические, температурные и остаточные напряжения. При этом проблему взаимодействия колеса и рельса лучше подразделить на две следующие:

- общая проблема напряжений, когда рельс подвергается комплексу нагрузок — механических (изгиб под действием осевых нагрузок и обусловленный положением рельса

в пути), температурных (сварочные, рабочие и др.) и остаточных (охлаждение, выправка пути);

- локальная проблема напряжений, когда исследуются локальные нормальные напряжения, а также напряжения сдвига, возникающие при качении в непосредственной близости от места контакта. В частности, чередование напряжений сдвига, возникающих под поверхностью на небольшой глубине с увеличением числа проходов колеса, приводит к усталости материала под поверхностью катания.

Известно, что максимальные растягивающие напряжения на поверхности катания рельса, возникающие при изгибе в процессе его укладки и качении, не появляются одновременно с контактными напряжениями качения. Согласно рис. 3, рельс претерпевает циклический изгиб между каждыми двумя проходами колес, т. е. вдоль поверхности катания возникают растягивающие напряжения. Остаточные напряжения, полученные в результате выправки концов только что выпущенных прокатным цехом рельсов, могут достигать непосредственно под поверхностью катания величины, равной 100–200 Н/мм². Аналогичные температурные напряжения возникают в свободно лежащих рельсах, а также в сварных бесстыковых плетях.

В процессе качения вертикальные нормальные напряжения во многих случаях локально превышают предел текучести, что приводит к образованию пластичных областей в пределах поверхности катания рельса, причем после снятия нагрузки остаются значительные упругие собственные напряжения сжатия.

Общая проблема напряжений в контакте качения

Отправной точкой теоретических расчетов для контакта качения является теория линейно-упругого балластного основания при

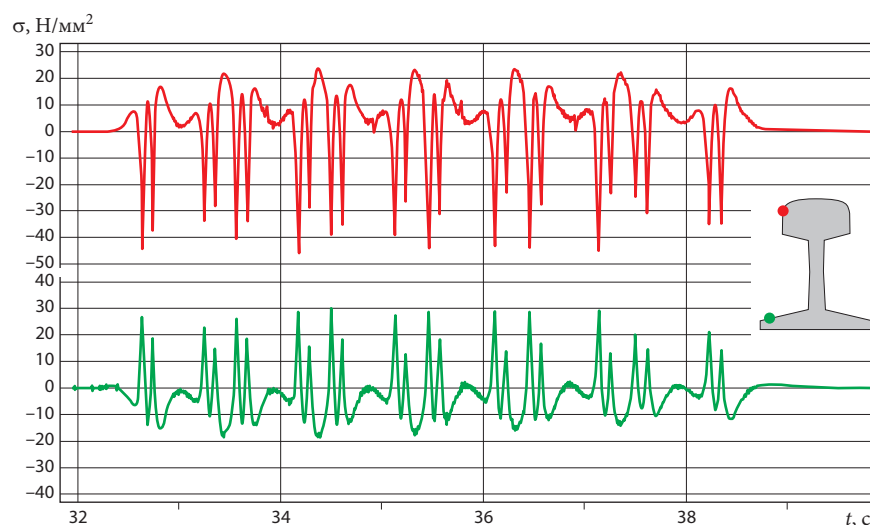


Рис. 3. Кривые изменения напряжений, рассчитанных на базе измеренных величин растяжения при прохождении шестивагонного поезда метрополитена на линии U3 Вены. Растяжения измерялись на головке и подошве рельса:
 σ — напряжения; t — время

прохождении отдельного колеса или колесной пары, которой укомплектована одна тележка или две, следующие друг за другом. Под колесной парой путь или соответственно рельс прогибается, но после прокатывания колес рельсошпальная решетка пытается приподняться в исходное положение. При этом на поверхности катания рельсов возникают изгибающие моменты, эпюра которых содержит два максимума растяжения ($M_{\max z}$) и один, находящийся между ними, максимум сжатия ($M_{\max D}$), причем максимум сжатия в целом выше максимума растяжения.

Процессы, происходящие при прокатывании одной или двух следующих друг за другом тележек, несколько сложнее, так как отдельные прогибы от действия колесных пар будут накладываться. В этом случае получается комбинированное распределение максимумов растяжения и сжатия. На рис. 3 показана кривая напряжений при прохождении поезда с 24 осями. Первая тележка дает три максимума растяжения с восходящими амплитудами (положительная часть красной кривой), в то время как пары тележек двух следующих друг за другом вагонов производят не шесть, а только пять максимумов растяжения, из которых самое большое — среднее. Таким образом, две проходящие друг за другом тележки дают в итоге более высокие растягивающие напряжения при изгибе по сравнению с отдельной тележкой.

При проходе состава из шести вагонов получается 31 максимум. Через каждые 5 мин над точкой измерения проходит один поезд, в течение часа — 11, а за 20 ч работы пройдут 220 поездов, которые создадут 6820 максимумов напряжений растяжения. За год число максимумов составит 2489 300.

С другой стороны, при проходе одной тележки образуется два максимума сжатия. Для шестивагонного поезда в сутки получается

$440 \cdot 6 = 2640$ максимумов сжатия, а в год — 963 600.

Относительно правильное распределение напряжений, показанное на рис. 3, может значительно измениться, если в результате некорректной укладки рельсов составляющие статического растяжения будут накладываться на динамические составляющие (например, в Вене при укладке пути на плитном основании имели место факты оседания и скручивания отдельных плит). На основе кривой распределения растягивающих напряжений, снятой при «идеальном качении» (т. е. на участке с правильной укладкой рельсов), можно с помощью соответствующих инструментальных средств определить изменения в положении рельса, исходя из снятой реальной кривой напряжений растяжения.

Геометрия поверхности рельса, шероховатость и касательные напряжения

В ходе рассмотрения проблемы усталости при качении колеса по рельсу различают физические процессы на микро-, макро- и промежуточном уровнях.

На макроуровне используется классическая механика контакта для гладких поверхностей и вытекающие из этого законы трения, а также решается проблема контакта качения.

На среднем уровне формулируются механические уравнения (законы сохранения импульса, момента количества движения и энергии) и взаимосвязи между силами сцепления и проскальзываниями на основе номинальной площади контакта, номинальных напряжений и температурной характеристики.

На микроуровне учитываются микрошероховатости (в диапазоне длины волн от 1 до 100 мкм) и реальные поверхности неровностей, напряжения и температурные характеристики, а также предельные условия. Кроме того, определяются

зависящие от состояния контактирующих поверхностей коэффициенты трения.

Согласно классической теории контактирующие при качении поверхности в идеале принимаются гладкими, и поэтому с помощью трехмерной зоны контакта можно получить параболическое распределение нагрузки с максимумом в середине. При исследовании склонности к образованию трещин на поверхности катания рельсов необходимо проблему контакта рассматривать с учетом шероховатости, так как поверхность катания рельса, выпущенного из прокатного цеха, характеризуется геометрией с определенным распределением шероховатостей и впадин между ними.

В процессе качения шероховатые поверхности колеса и рельса оказывают взаимное давление, кроме того, происходит процесс, аналогичный зубчатому зацеплению. При этом оба контактирующих элемента подвергаются упругопластической деформации, причем локальные деформации могут быть значительными. Высокие локальные силы давления, действующие на верхушки неровностей, превышают предел текучести и при снятии нагрузки приводят к возникновению растягивающих остаточных напряжений. Поскольку контакт неровностей, сопровождающийся расходом энергии, длится кратковременно, то удельное энерговыделение становится достаточно высоким. При этом локально температура достигает предела аустенитно-мартенситного превращения, что приводит к повышению хрупкости материала. Шероховатость поверхности рельса, таким образом, оказывает решающее влияние на срок его службы, ибо возрастает возможность зарождения поверхностных трещин.

Величина и распределение шероховатостей зависят от глубины максимальных локальных касательных напряжений, которая на очень гладкой поверхности рельсов

составляет примерно треть длины пятна контакта. Количество возможных вариантов возникновения коротких поверхностных трещин очень велико, если высота шероховатостей или размер зерна достаточно малы. При увеличении шероховатости количество неровностей не увеличивается, но они становятся крупнее. В соответствии с этим уменьшается количество мест зарождения трещин, однако вероятность возникновения трещин возрастает, так как увеличивается предрасположенность к концентрации напряжений в надрезе. Если колесо вращается в режимах увеличения скорости или торможения, тогда в зоне контакта возникают дополнительные касательные силы и напряжения, на которые накладывается распределение касательных напряжений, возникающих в результате действия нормальной силы. В этом случае общий максимум распределения касательных напряжений сдвигается ближе к поверхности, причем коэффициент трения может быть относительно высоким.

Приработка и накопление пластических деформаций

На рис. 4 показано изменение напряжений в процессе качения в различных зонах головки рельса и

для разных марок стали в зависимости от удлинения, определяемого пределом текучести и ударной вязкостью материала. Абсолютная упругость материала рельса при контакте качения не встречается даже на начальном этапе (рис. 4, а), так как уже при первом проходе колеса сразу же происходит пластическая деформация шероховатостей в зоне контакта. Последующие процессы качения приводят к пластическому гистерезису. Если после определенного числа прокатываний характеристика материала в результате деформационного упрочнения (наклепа) идет по прямой линии на диаграмме «напряжения — деформации» и больше не доходит до порога дальнейших пластических деформаций (процесс качения происходит упруго), то говорят о приработке поверхностей (рис. 4, б).

Если характеристика материала идет по пластическому гистерезису (рис. 4, в), то тогда говорят о пластической приработке. Это происходит при каждом прохождении колеса по поверхности катания из-за больших напряжений сжатия в зоне контакта. Поскольку материал не может смещаться при наличии бокового препятствия в виде гребня, то пластическая деформация ограничивается поверхностью катания и прилегающими к ней зонами.

Поскольку при каждом прокатывании происходит дальнейшая пластическая деформация (особенно при набегании гребня на рабочую грань головки рельса), тогда говорят о накоплении пластических деформаций (рис. 4, г). В последнем случае петля гистерезиса на диаграмме движется без ограничения к еще большим пластическим деформациям.

Накопление деформаций встречается у более мягких рельсов, например R260, а приработка обычно характерна для рельсов с закаленной головкой типа R350НТ.

Усталостные дефекты рельсов наземных линий

После того как на сети железных дорог Австрии (ÖBB) были введены в эксплуатацию электровозы трехфазного тока, развивающие высокую скорость и большую силу тяги, увеличилось количество усталостных дефектов на головке рельса, которые образуются вследствие высоких напряжений в зоне контакта. Такие дефекты наблюдаются на линиях с высокой нагрузкой, особенно на двухпутных с бетонными шпалами, там, где радиус кривой меньше 3000 м или имеется продольный уклон, а также на участках разгона. Силы поверхностного трения, действующие в поперечном и продольном направлениях, приводят к истиранию верхнего слоя материала на рабочей грани головки рельса и образованию трещин. На однопутных участках такие дефекты наблюдаются значительно реже.

Если колесо вступает в контакт с рельсом на краю рабочей грани, то вследствие малой поверхности касания в зоне контакта под действием высокой вертикальной нагрузки возникает большая сила трения, вызывающая значительный износ рельса. В кривой радиусом менее 300 м это приводит к уменьшению срока службы рельсов; усталостные дефекты здесь встречаются редко,

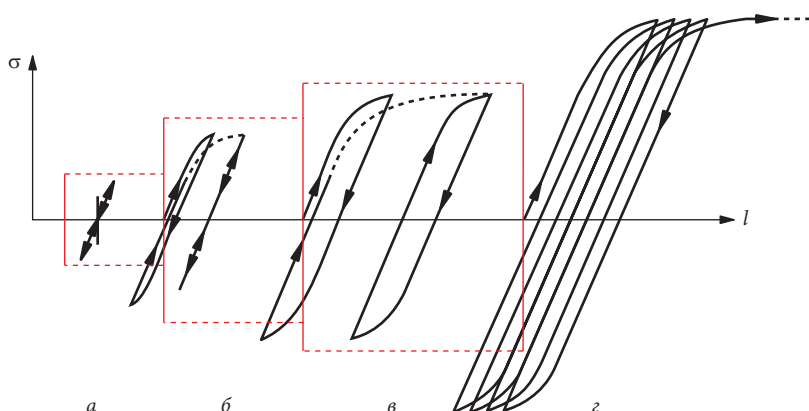


Рис. 4. Изменение напряжений на различных стадиях нагружения рельса в контакте качения в зависимости от удлинения:

σ — напряжения; l — удлинение; а — упругая деформация; б — упругая приработка; в — пластическая приработка; г — накопление пластических деформаций

так как при высокой степени износа рельс заменяют.

В кривых радиусом от 300 до 600 м рельсы служат дольше, при этом успевают проявиться многочисленные усталостные дефекты. Продольное боксование колес, которое происходит в кривых, приводит к сдвигу материала против направления движения. Точка соприкосновения колеса и рельса перемещается к рабочей грани головки рельса, что ведет к образованию усталостных дефектов в зоне контакта, которые, развиваясь, могут вызвать внезапное разрушение рельса. В рельсах на прямом отрезке пути это возможно только после длительного действия такой нагрузки и в комбинации с нагрузкой от качения.

Указанные усталостные дефекты наблюдаются и на стрелочных переводах, чаще в кривых, в основном на внутренней грани головки контррельса. Они возникают также на отрезках, где часто происходит боксование колес. При движении со скоростью выше 120 км/ч процесс их образования ускоряется. В кривых увеличенное проскальзывание тяговых колесных пар способствует появлению усталостных повреждений; то же самое происходит в местах сварки рельсов.

Глубина усталостной трещины растет по мере того, как увеличивается время эксплуатации рельсов. Это ведет к выкрашиванию рабочей грани головки рельса и образованию продольных трещин, в результате чего возникает опасность излома рельса. Таким образом, необходимо контролировать рельсы, выявляя такие дефекты, в том числе и на примыкающих линиях. Выкрашивание и микротрещины рельсов, кроме того, увеличивают уровень шума, создаваемый проходящим поездом.

Если усталостные повреждения на поверхности катания еще не видны, возможна их идентификация по специфическим признакам, таким,

как образование чешуек или наличие пластической деформации головки рельса. Вихретоковый метод позволяет выявлять усталостные повреждения на глубине около 2,7 мм, метод ультразвуковой дефектоскопии — на глубине до 7 мм. Учитывая глубину трещины, принимают необходимые меры — снижают скорость до 60 км/ч, удаляют выявленные повреждения не более чем через 8 недель, проводят шлифование или усиливают визуальный контроль.

Главная задача профилактических мер — поддержание эксплуатационной безопасности и долгосрочное планирование технического обслуживания. Ультразвуковую проверку рельсов с объездом на поезде проводят один раз в год для выявления в рельсах раковин и трещин, дополнительные проверки — 4 раза в год вручную с помощью ультразвукового аппарата. Небольшие усталостные дефекты в начальной стадии глубиной до 2 мм и сужение колеи можно устранять путем шлифования рельсов или репрофилирования (около 0,4 мм за один проход). При крупных усталостных повреждениях необходимо заменять рельс.

В последние годы стремятся снизить затраты на содержание железнодорожного пути, используя новые разработки, позволяющие уменьшить частоту появления усталостных дефектов. Применяют смазочные установки для рельсов и гребня бандажа, которые могут располагаться на тяговом подвижном составе, вагоне с кабиной управления, а также на вагоне сопровождения поездов системы RoLa (перевозка по железной дороге автопоездов и автоприцепов). При этом уменьшается истирание рельса, поскольку снижается сила трения. Большое значение имеет также использование защиты от боксования.

При твердой головке рельса уменьшаются боковой износ, размер трещин и их глубина. Все более широкое использование рельсов с упрочненной головкой вызвало необходимость создания бандажа повышенной твердости, поскольку увеличились расходы на содержание подвижного состава. После начала использования в 2002 г. рельсов с выпуклым профилем в сильно загруженных кривых (радиус от 600 м) зона контакта колеса и рельса сместилась ближе к середине головки рельса, благодаря чему значительно реже стали появляться усталостные дефекты. Асимметричное шлифование рельса не дало требуемых результатов.

Пока еще не использованы все имеющиеся возможности для уменьшения усталостных дефектов. Часто вследствие неточного взвешивания или при неправильных данных в накладной оказывается, что реальная нагрузка на колеса грузовых вагонов превышает допустимую, а это также приводит к возникновению указанных дефектов. Необходимо, чтобы ошибка взвешивания была менее 3% и обеспечивалась достоверность данных, указанных в накладной.

Наконец, и инфраструктура может внести свой вклад в снижение числа усталостных дефектов. Так, линии с высокой частотой движения поездов должны иметь оптимальную разбивку на блок-участки. В процессе эксплуатации необходима надежная связь поездного диспетчера с машинистами. Это привело бы к улучшению организации эксплуатационного процесса и уменьшению износа. Следует также избегать чрезмерного разгона поезда после прохождения основных сигналов.

По материалам компаний Wiener Linien (www.wienerlinien.at), ÖBB (www.oebb.at), Технического университета Вены TVFA (www.tvfa.tuwien.ac.at).