



Бояркин Евгений Витальевич родился в 1970 г. После окончания в 1996 г. Сибирской государственной горно-металлургической академии г. Новокузнецка по специальности «Физика металлов» поступил в аспирантуру Сибирской государственной академии путей сообщения на специальность 05.02.11 – методы контроля и диагностика в машиностроении. В 1999 г. получил аспирантский грант Министерства путей сообщения РФ. В 2000 г. защитил кандидатскую диссертацию.

С 2001 г. занимает должность доцента на кафедре «Электротехника, диагностика и сертификация». В 1998 г. прошел обучение и сертифицировался на второй уровень по акустическим и магнитным методам неразрушающего контроля объектов железнодорожного транспорта, в 2005 г. сертифицирован на третий уровень по акустическому методу неразрушающего контроля.

УДК 629.4.027.4:620.19

Е.В. БОЯРКИН

АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЯ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье представлены результаты анализа разрушения цельнокатаных колес грузового вагона в эксплуатации, установлены причины и основные механизмы разрушения, определены мероприятия, позволяющие предотвратить или уменьшить частоту возникновения аварийных ситуаций в дальнейшем.

За последние годы динамические силы взаимодействия между колесом и рельсом существенно возросли. Как показывает анализ эксплуатации подвижного состава, основной причиной этого является увеличение жесткости пути. Увеличение жесткости привело к росту числа дефектов, возникающих на поверхности рельсов и колес. У поездов, которые обращаются на участках пути с железобетонными шпалами, колеса значительно чаще бракуют из-за дефектов поверхности катания колес, чем у поездов, колеса которых обращаются на участках с деревянными шпалами. Жесткость железобетонной шпалы по сравнению с деревянной в 2 раза больше, а зимой она возрастает еще в 2 раза.

Дополнительной причиной образования дефектов поверхности катания являются взаимодействия колодки и поверхности катания колеса при торможении и влияние высокой температуры, возникающей при торможении, особенно в зоне перехода обода к диску. Температура в зоне обода и диска по мере уменьшения толщины обода значительно увеличивается. А вследствие уменьшения толщины обода радиальные напряжения в диске с внутренней стороны колеса к зоне перехода к ободу растут.

Одним из наиболее распространенных дефектов, приводящих к излому цельнокатаного колеса с последующим сходом поезда, является трещина в диске колеса. При этом практически во всех случаях толщина обода не превышает 40 мм или имеет предельно допустимую величину. Во всех случаях образование трещины сопровождается повреждением поверхности катания вблизи очагов зарождения трещины, таких как местное уширение обода, ползун, выщербины, неравномерный прокат.

Цельнокатаное колесо с трещиной, обнаруженное на ст. Татарская, на поверхности катания над трещиной имело неравномерность проката 3 мм, местное уширение обода (дефект № 25) длиной 250 мм и ползун размерами 90×20 мм с трещинами по обоим краям области (рис. 1).

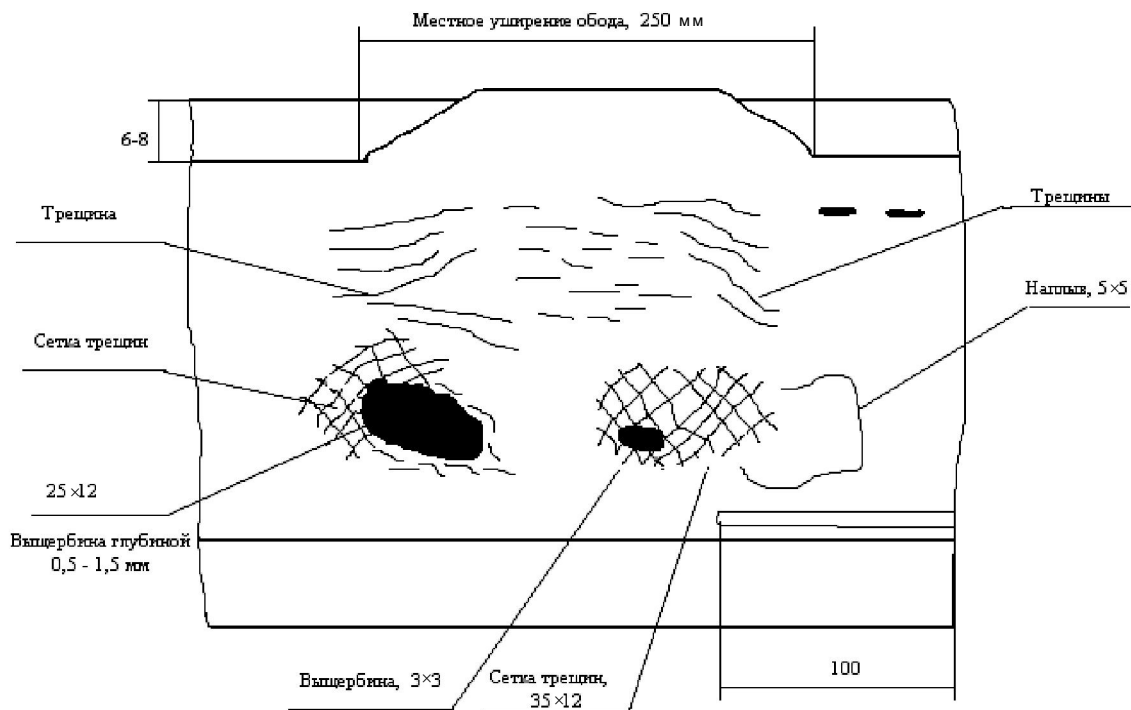


Рис. 1. Повреждения поверхности катания колеса

Анализ поверхности разрушения диска показал, что излом усталостный, имеет четыре основных очага зарождения, начинающихся на внутренней поверхности диска. Излом усталостного разрушения по развитию трещины можно отнести к многоциклового.

Трещина имеет характерные усталостные линии серповидной формы, идущие от очагов зарождения. Зона долома отсутствует. В момент обнаружения трещина остановилась с обеих сторон обода колеса, что способствовало замедлению ее развития. Дальнейшая эксплуатация привела бы к интенсивному развитию трещины и разрушению колеса (образованию дефекта типа 35.3).

Анализ излома колесной пары на ст. Черкасов камень показал, что трещина также развивалась с внутренней поверхности диска от пяти очагов зарождения симметрично в обе стороны по длине обода (рис. 2).

Поверхность зоны усталостного разрушения значительно наклепана и имеет характерные макролинии серпообразной формы. Структуру излома усталостного разрушения по развитию трещины можно отнести к многоциклового разрушению. Зона образования усталостной трещины находится в средней части диска на расстоянии 150 мм от поверхности катания. Внешних повреждений поверхности диска в районе очагов зарождения усталостной трещины, которые могли стать причиной ее образования, не обнаружено.

На поверхности катания колеса имеется ползун протяженностью 80 мм и выбоины до 8 мм напротив места зарождения разрушения, удары о рельс на

ползуне и выщербине при движении колеса привели к возникновению высоких динамических циклических нагрузок в диске колеса и способствовали возникновению и развитию трещины.

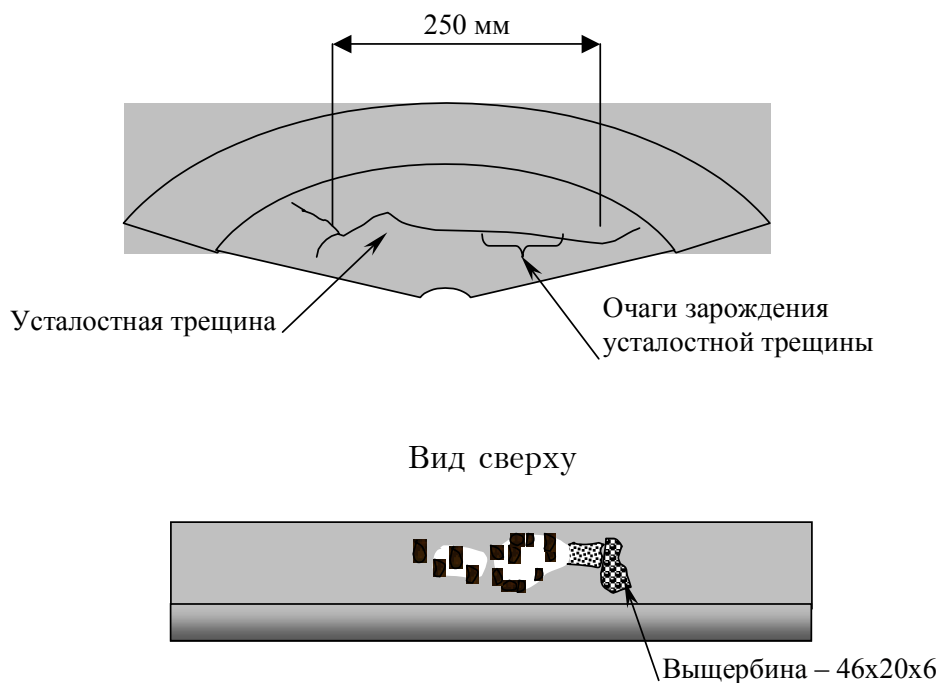


Рис. 2. Схема расположения усталостной трещины и дефектов поверхности катания колеса

Несвоевременное выявление усталостной или развивающейся трещины в диске цельнокатаного колеса при полном или обыкновенном освидетельствовании, а также на пунктах технического обслуживания вагонов в конечном итоге приводит к разрушению колеса и выводу вагонов из эксплуатации (рис. 3).

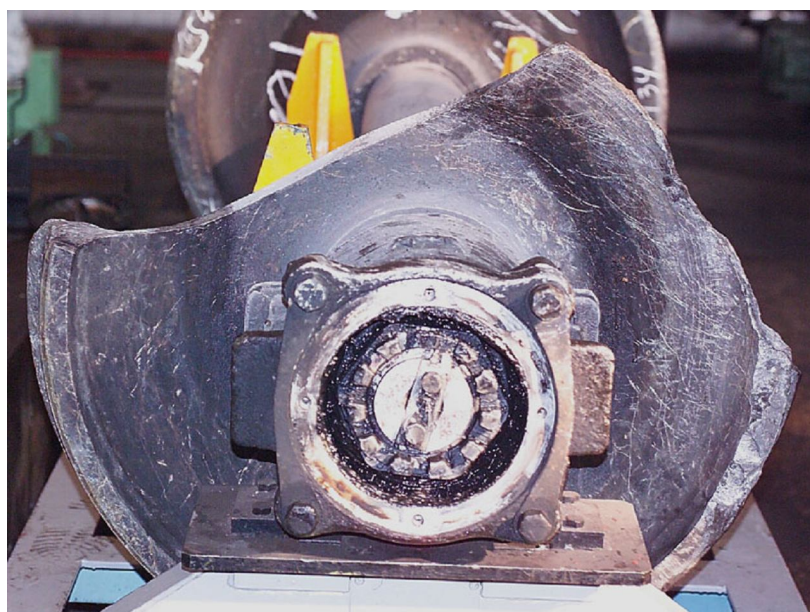


Рис. 3. Внешний вид разрушения колеса

Микроструктурный анализ материала дисков большинства разрушенных цельнокатаных колес показал следующее:

- Содержание неметаллических включений в очаге зарождения усталостной трещины и в основном металле диска не превышает норм, указанных в ГОСТ 1778–70, хотя в некоторых случаях имеется повышенное содержание точечных оксидных включений — второй балл по ГОСТ 1778–70, метод Ш1, вместо первого. Повышенное содержание точечных включений способствует повышенной хрупкости материала колеса, но не может быть причиной зарождения трещины.

- Структура основного материала диска, в том числе и в очаге зарождения усталостной трещины, представляет собой феррито-перлитную смесь в соотношении 35 : 65 по ГОСТ 8233–56.

- Во всех случаях имеется незначительная полосчатость феррито-перлитной структуры, обусловленная технологией производства — балл 1...2 по ГОСТ 5640–68.

- В первичном очаге дефектов металлургического происхождения не обнаружено.

Металлографическое исследование структуры поверхности катания обода колеса над усталостными трещинами показало следующее:

- В районе выщербин микроструктура поверхности катания представляет собой пластически деформированную в направлении внешней стороны феррито-перлитную структуру с продольными и поперечными ветвящимися трещинами. Пластическая деформация зерен перпендикулярна направлению качения, что свидетельствует о наличии изгибающего момента в направлении внешнего края и, следовательно, о возникновении растягивающих напряжений на внутренней стороне диска колеса.

- В области ползунов микроструктура поверхности катания закаленная аустенито-трооститная глубиной до 1 мм с одиночными поперечными трещинами, идущими с поверхности и меняющими свое направление на границе закаленный слой — основной металл. Течение металла в направлении качения не обнаружено. Причиной изменения профиля поверхности катания колеса является абразивный износ поверхности, сопровождающийся нагревом до высоких температур.

- Микроструктура металла в области местного уширения обода имеет ярко выраженную пластически деформированную структуру в направлении внешней кромки.

Помимо типичных дефектов, указанных в Инструкции по ремонту и освидетельствованию колесных пар грузового вагона ЦВ 3429, встречается разрушение цельнокатаного колеса, связанное с отколом, срезом наружной части обода колеса. Анализ разрушения обода колеса показал наличие двух основных механизмов.

Первый механизм связан с недостаточной прочностью материала колеса. В эксплуатацию допущено колесо, материал которого по химическому составу близок к стали Ст 3, в то время как колесная сталь должна соответствовать марке, близкой к стали 60Г или стали 50 в зависимости от назначения.

В процессе эксплуатации происходит интенсивный износ обода до 24 мм, под действием высоких эксплуатационных нагрузок происходит поверхностный откол у наружной грани обода в районе клейма по 26-му дефекту (рис. 4).

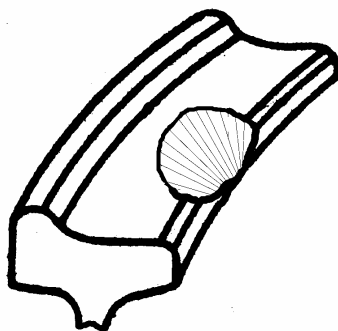


Рис. 4. Поверхностный откол у наружной грани обода

Последующее смещение линии контакта дефектного колеса в область откола (рис. 5) привело к интенсивному пластическому деформированию наружной части обода (рис. 6).

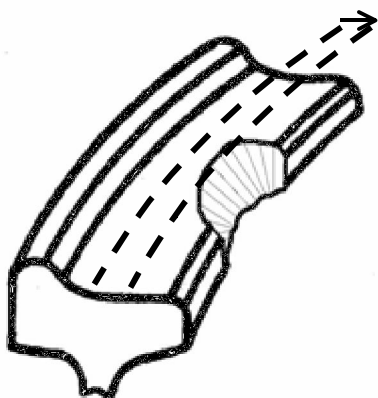


Рис. 5. Смещение линии контакта колеса

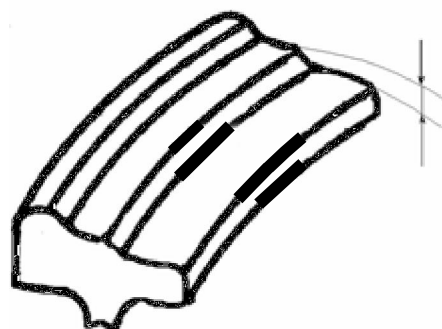


Рис. 6. Смятие наружной части обода

В результате действия консольно-динамических циклических нагрузок на наружную часть обода при движении поезда последовательно происходил срез с радиальным смещением к ступице колеса и отколами участков наружной части обода (рис. 7), срез обода одновременно сопровождается интенсивным изнашиванием поверхности катания.

Второй механизм связан с особенностью эксплуатации вагонов для перевозки щебня, думпкаров. В процессе эксплуатации при торможении на поверхности катания цельнокатаного колеса образуется хрупкий закаленный слой, который в дальнейшем выкрашивается вдоль образующей, зона выкрашивания составила 1100 мм. Одновременно развивается усталостная трещина глубиной до 10...12 мм (рис. 8).

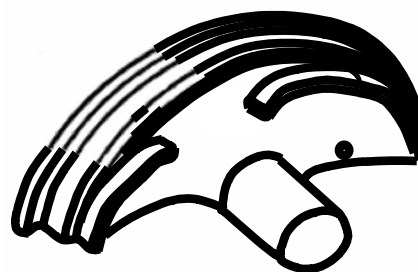


Рис. 7. Разрушение обода



Рис. 8. Выкрашивание поверхности бандажа вдоль образующей

Выкрашиванию поверхности способствует также попадание щебня из вагона на колесо при движении. Об этом свидетельствует наличие точечных повреждений на поверхности катания (рис. 9).

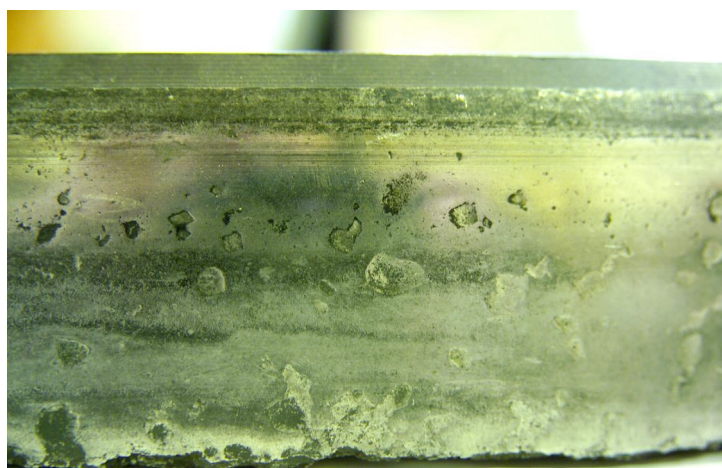


Рис. 9. Точечные повреждения поверхности катания обода

В результате действия консольно-динамических циклических нагрузок развивается малоцикловая трещина, выходящая в приободную зону диска (рис. 10).

Когда длина трещины достигает примерно 1200 мм, происходит разрушение колеса (рис. 11), сопровождаемое изломом обода.

Отсутствие наклепа на поверхности излома и характерных для усталостного разрушения линий (рис. 12) свидетельствует об относительно быстром развитии трещины.

Еще одной из причин разрушения дисков колес является образование на геометрическом концентраторе (водильное отверстие) усталостных трещин, причем их величина может быть незначительной — 10...15 мм (рис. 13). После достижения критического размера трещины, вследствие действия высоких напряжений в приободной зоне диска происходит повторно статический излом колеса (несколько оборотов колеса) с выходом трещины на поверхность катания колеса с одной стороны (рис. 14).

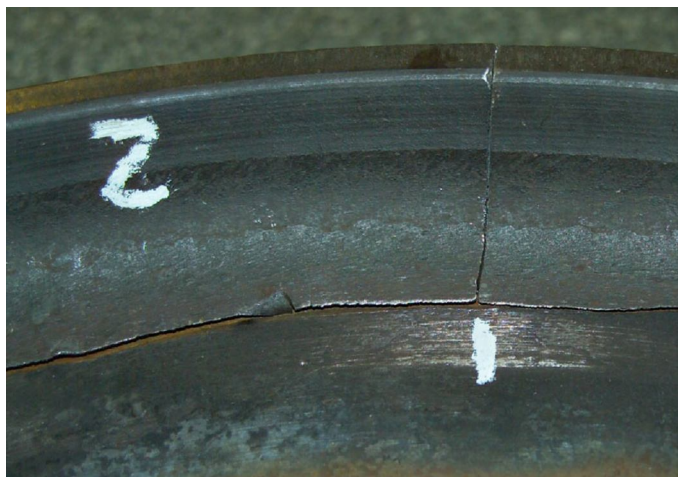


Рис. 10. Выход трещины в приободную зону



Рис. 11. Разрушение цельнокатаного колеса



Рис. 12. Поверхность излома обода

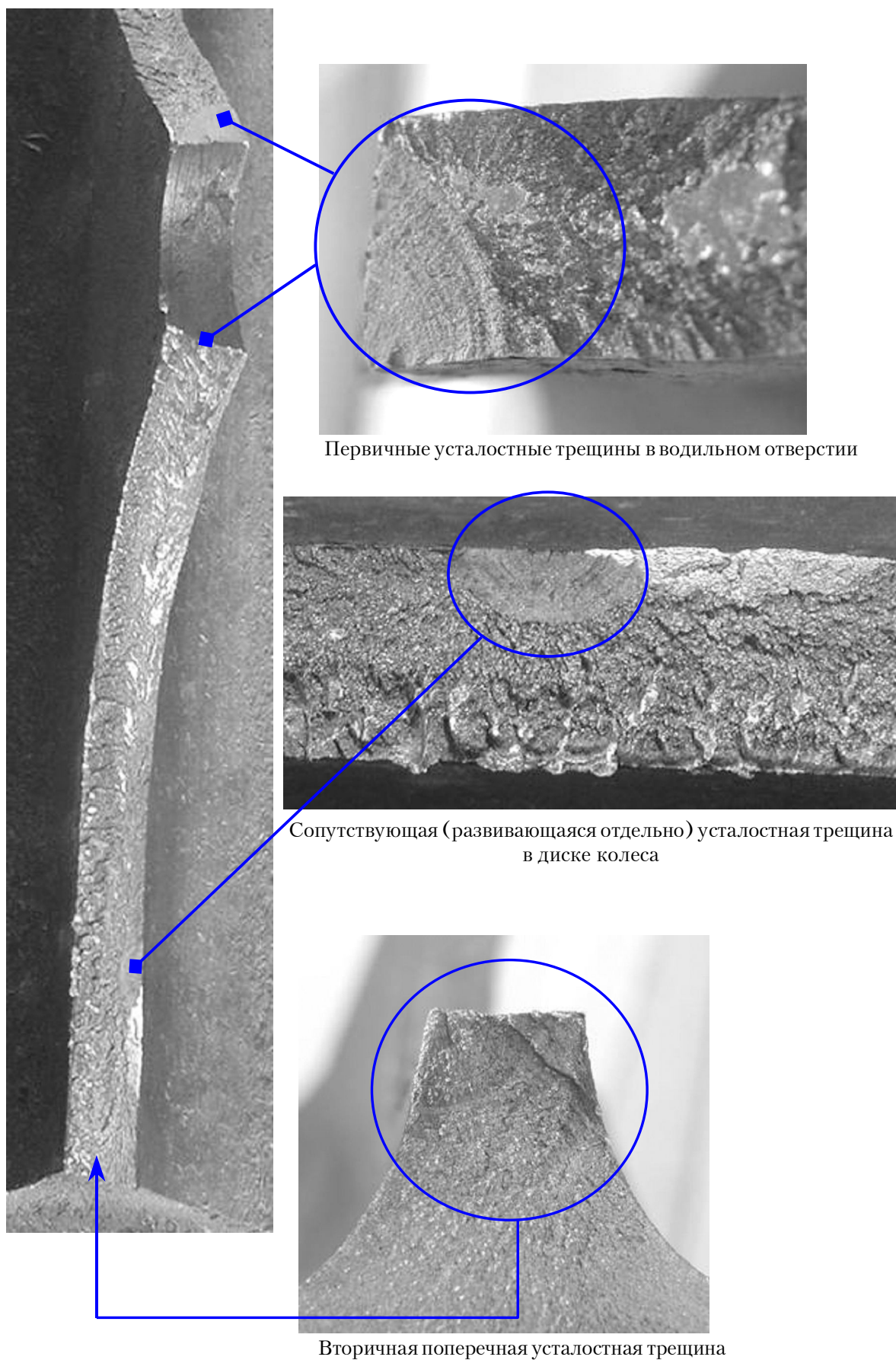


Рис. 13. Первичная и вторичные усталостные трещины в диске колеса

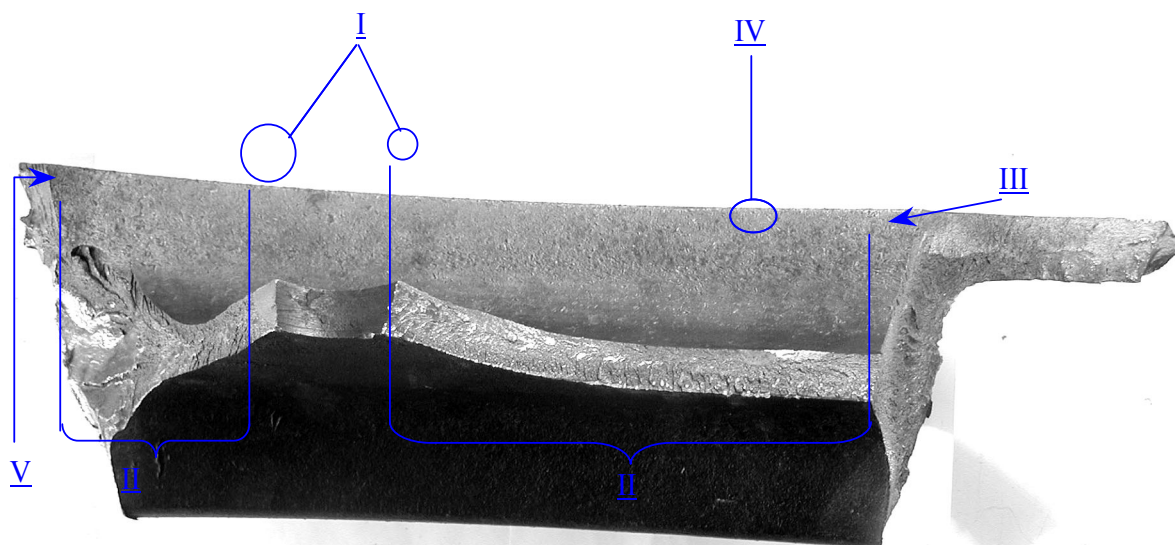


Рис. 14. Фрагменты изломанного колеса:

I — очаги зарождения усталостной трещины; II — статический излом колеса; III — вторичная поперечная усталостная трещина; IV — сопутствующая (развивающаяся отдельно) усталостная трещина; V — выход трещины на поверхность катания (при статическом изломе)

Зарождение и относительно быстрое развитие усталостной трещины произошло из-за наличия геометрического концентратора (водильного отверстия) и высоких напряжений в приободной зоне диска колеса, возникших из-за нарушения профиля поверхности катания и геометрических размеров колес. Смещение центра катания в сторону гребня правого колеса с образованием несимметричного износа поверхности катания (рис. 15) привело к перераспределению нагрузки на правое колесо и изменению в нем напряженно-деформированного состояния в приободной зоне диска.

Как показывает практика для колес с тонким ободом, кроме основной трещины встречаются сопутствующие, отдельно развивающиеся усталостные трещины, расположенные в основном на внешней поверхности диска колеса (см. рис. 13).

Анализируя причины разрушения цельнокатаных колес, можно сделать вывод, что во всех рассмотренных случаях зарождение и развитие усталостной трещины сопровождается повреждением поверхности катания колеса. Развитие трещины происходит из-за наличия высоких эксплуатационных нагрузок, возникающих вследствие взаимодействия поврежденной поверхности колеса с рельсом.

По этой причине при поступлении в ремонт колесных пар с тонким ободом, толщиной менее 50...40 мм и наличием на поверхности повреждений, необходимо применение метода неразрушающего контроля, позволяющего выявлять в диске колеса усталостные трещины размером 5...10 мм. К сожалению, существующие штатные методики неразрушающего контроля не обеспечивают надежного выявления данных трещин. Так, вихретоковым методом не контролируется приободная зона (зона перехода обода в диск), технология контроля обеспечивает выявление трещин длиной более 15 мм. Ультразвуковой контроль также обеспечивает выявление трещин, эквивалентных или больших искусственному отражателю длиной 15 мм.

а)



б)



Рис. 15. Износ поверхности катания колес:
а — левого; б — правого

Одним из перспективных методов, позволяющих выявлять развивающиеся дефекты в диске цельнокатаного колеса в любом его сечении при освидетельствовании колесной пары на ремонтных предприятиях ОАО «РЖД», является акустико-эмиссионный метод, основанный на регистрации волн акустической эмиссии от развивающейся трещины при нагружении колесной пары.