

УДК 669 – 1: 625.143.3

Д-р техн. наук, проф. Е. А. ШУР, кандидаты технических наук А. И. БОРЦ, А. В. СУХОВ,
А. Ю. АБДУРАШИТОВ, инженеры Л. В. БАЗАНОВА, К. Л. ЗАГРАНИЧЕК

Эволюция повреждаемости рельсов дефектами контактной усталости

Аннотация. Рассмотрены вопросы и современное состояние повреждаемости рельсов в эксплуатации. Показано, что основным видом повреждаемости рельсов, обуславливающим их изъятие из пути в объеме свыше 50% общего количества изымаемых рельсов, являются дефекты контактно-усталостного характера по кодам 10, 11, 17, 21 в соответствии с действующим каталогом дефектов рельсов.

Исследован характер зарождения и развития дефектов контактной усталости рельсов в настоящее время. Показано, что основной причиной их образования является уже не низкая чистота стали по неметаллическим включениям и наличие строчек хрупко разрушенных неметаллических включений в виде алюмосиликатов и других сложных окислов, а разрушение поверхностного слоя металла головки рельса под воздействием циклической пластической деформации. На примере рельсов категории Т1 по ГОСТ Р 51685 – 2000, эксплуатировавшихся на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ», определены основные этапы разрушения металла головки рельса и исследованы процессы, протекающие на различных этапах. Установлено, что на этапах разрушения металла головки рельса происходит образование наклепанного слоя с микроструктурой волокнисто-деформированного перлита; образование трещин при деформации уже наклепанного упрочненного слоя с волокнисто-деформированной микроструктурой и пониженным на четверть временным сопротивлением и в 4 раза относительным удлинением; развитие трещин и образование небольших выкрашиваний (питтингов) с их последующим развитием до образования выкрашиваний металла глубиной до 4,0 мм, а также образование продольных трещин глубиной до 6 – 10 мм с последующим поворотом и развитием поперечных усталостных трещин. Для исследованных рельсов получена зависимость глубины выкрашиваний от пропущенного тоннажа.

Предложено периодичность и режимы профилактического шлифования рельсов в пути определять не только на основании интенсивности развития неровностей, но и на основе закономерностей углубления поверхностных трещин и выкрашиваний при увеличении наработки рельсов в данных условиях эксплуатации. Для определения глубины поверхностных трещин необходимо создавать специальную дефектоскопную аппаратуру.

Ключевые слова: межремонтный эксплуатационный ресурс; контактно-усталостные дефекты; циклическая пластическая деформация; волокнисто-деформированный перлит; наклеп; углубление трещин; питтинг

Ренессанс железнодорожного транспорта во всем мире, и в частности в России, связанный с развитием высокоскоростного пассажирского и тяжеловесного грузового движения, определяет новый уровень технических требований к железнодорожным рельсам. Эти требования сводятся к обеспечению безопасности движения по рельсам и повышению их ресурса. В частности, стратегическим направлением развития

ОАО «РЖД» является повышение межремонтного эксплуатационного ресурса рельсов в бесстыковом пути от 700 до 1100, а затем и до 1500 млн т брутто. При этом число дополнительных сплошных замен рельсов в кривых участках пути по наружным нитям при наличии лубрикации в зависимости от радиуса кривой и категории рельсов составляет от одной до трех.

Для выбора научно обоснованных путей для достижения этих целей необходимо глубокое понимание природы, механизмов и особенностей различных видов разрушений рельсов в эксплуатации, и в первую очередь контактной усталости и износа [1 – 5].

Ранжирование степени влияния различных факторов на сопротивление рельсов различного вида разрушениям (в первую очередь контактно-усталостным) должно позволить выбрать главное направление повышения их качества и соответственно продления их срока службы. При этом соответствующие мероприятия могут проводиться как на металлургических комбинатах при производстве рельсов, так и в процессе их эксплуатации на железных дорогах.

Основными видами повреждений рельсов в эксплуатации являются дефекты контактно-усталостного характера, к которым относятся: выкрашивания металла на рабочей выкружке и поверхности катания головки рельса; множественные параллельные трещины на рабочей выкружке головки рельса; внешние и внутренние продольные трещины контактной усталости и, наконец, развивающиеся от них поперечные усталостные трещины.

Контактно-усталостные дефекты занимают лидирующее место в общем количестве изымаемых по дефектам рельсов. Статистика выхода рельсов по дефектам контактной усталости по данным форм ПО-4, включая дефекты по кодам 10, 11, 17, 21, 30Г по НТД/ЦП-93, показывает, что доля выхода по указанным дефектам в 2008 – 2014 гг. остается фактически неизменной и доходит до 70%. В период наиболее интенсивного бокового износа рельсов на рубеже 1990-х годов доля дефектов контактной усталости составляла около 50%.

Анализируя данные по изломам рельсов в эксплуатации под колесами поездов, необходимо отметить, что доля изломов по поперечным усталостным трещинам (дефекты 21), развивающимся от внутренних и внешних продольных трещин, источниками

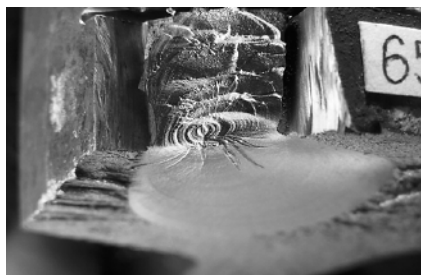


Рис. 1. Развитие поперечной усталостной трещины от внутренней продольной трещины с фокусом в виде строчки неметаллических включений

образования которых являются как строчки неметаллических включений, так и дефекты контактной усталости на рабочей выкружке и поверхности катания рельса, ежегодно составляет от 17 до 24% общего количества изломов. Кроме того, что эта цифра сама по себе достаточно велика, нужно иметь в виду, что поперечные усталостные трещины в головке при переходе в шейку часто поворачивают вдоль рельса и приводят к выколу части головки. Аварийная опасность подобных разрушений повышена, что делает борьбу с контактной усталостью рельсов еще более актуальной.

а) Электронное изображение 1

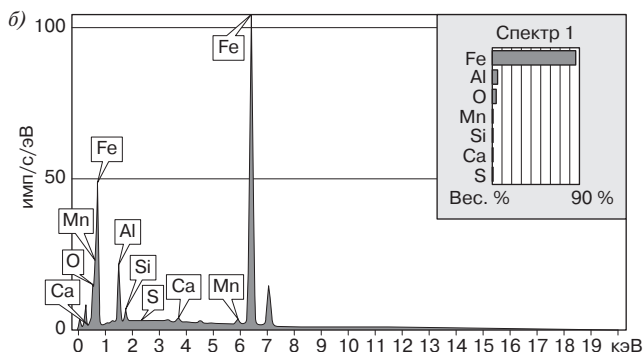
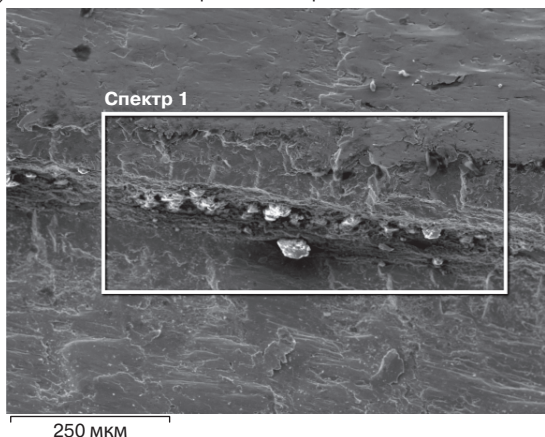


Рис. 2. Результаты анализа строчки неметаллических включений алюмосиликатов в рельсе (электронный микроскоп с приставкой для микроанализа Hitachi S 800):

а — изображение фокуса продольной внутренней трещины со скоплением неметаллических включений во вторичных электронах; б — результаты микролокального спектрального анализа фокуса трещины, выявившего повышенное содержание алюминия, кислорода, марганца и кремния

В последнее время на сети железных дорог как России, так и ведущих зарубежных стран происходит изменение причин зарождения и механизмов развития дефектов контактной усталости [2–7]. Если раньше поперечный излом с поперечной усталостной трещиной развивался от внутренней продольной трещины, очагом зарождения которой являлись строчки неметаллических включений в рельсовой стали (рис. 1, 2), то в настоящее время к описанному дефекту добавился дефект, имеющий другие причины образования. Под поверхностью катания рельса развивается внешняя (т.е. начинающаяся от поверхности) продольная трещина, приводящая к образованию поперечной трещины. Продольная трещина развивается от конической трещины на поверхности катания рельса, оставляя после выкрашивания металла вокруг как бы небольшой «островок» с сохранением поверхности катания (рис. 3).

Другой причиной образования внешней продольной трещины являются множественные параллельные трещины контактной усталости на рабочей выкружке головки рельса (рис. 4), возникающие в процессе циклической пластической деформации поверхностного слоя металла [3–7]. Такие повреждения возникают как на отечественных объемно-закаленных рельсах типа Р65 категории ОТ350 (Т1) с исходной твердостью 341–401 НВ, так и на рельсах категории ДТ350 зарубежного производства.

Причины образования такого дефекта объясняются перенаклепом и истощением пластичности металла в тонком (до 3–4 мм) поверхностном слое головки рельса. Основной причиной развития указанных процессов является циклическая пластическая деформация металла.

Начальной стадией развития таких дефектов является образование параллельной поверхности катания трещины, которая развивается от рабочей выкружки головки рельса вглубь головки (рис. 5). Глубина таких трещин может достигать 8 мм и более, поэтому при классификации их следует относить к коду 30Г.2 по НТД/ЦП-2–93, несмотря на то что неметаллические включения как источники образования трещин в этом случае отсутствуют.

Параллельные трещины на выкружке головки рельса могут разветвляться по направлению к поверхности рельса, приводя к образованию выкрашиваний, или переходить сначала в крупные продольные, затем в поперечные усталостные трещины с дальнейшим изломом рельса (рис. 5, а, б). То, что на рис. 4 кроме множественных наклонных параллельных трещин видны два темных участка на поверхности катания, может свидетельствовать о том, что от наклонных параллельных трещин начали расти две продольные трещины. В результате облегченного сплыва металла над продольными трещинами на поверхности катания образовались



Рис. 3. Развитие продольной трещины в головке рельса от поверхности катания: а — вид сверху на головку рельса после отделения части металла (стрелками указан фрагмент («островок») поверхности катания); б — вид снизу на отделившуюся часть головки



Рис. 4. Параллельные трещины контактной усталости на рабочей выкружке головки рельса и мелкие выкрашивания металла по ним

два понижения, где не происходит контакта колес с поверхностью катания. В результате эти участки на поверхности катания темнеют.

С целью изучения особенностей механизма деградации поверхностного слоя металла головки рельсов и развития поверхностных трещин в процессе эксплуатации проведены металлографические исследования деформированного поверхностного слоя металла головки рельсов типа Р65 категории Т1 после пропуска 480 млн т брутто в прямой. Результаты исследований приведены на рис. 6, а и б, 7.

Снимки получены на металлографических продольных и поперечных шлифах, изготовленных из головок рельсов с наклепанным поверхностным слоем, содержащим выкрашивания и множественные параллельные трещины контактной усталости, с использованием комплекса измерительного анализа изображений микроструктур материалов «VESTRA Imaging System».

Результаты металлографических исследований поверхностного слоя головки рельсов с трещинами и контактно-усталостными выкрашиваниями показывают, что в процессе циклической пластической деформации на первом этапе образуется наклепанный слой с

микроструктурой волокнисто-деформированного перлита. Вторым этапом деградации поверхностного слоя является образование трещин при деформации уже наклепанного упрочненного слоя с волокнисто-деформированной микроструктурой и пониженными характеристиками пластичности (см. рис. 7). Третий этап: развитие трещин, образование небольших выкрашиваний (питтингов) и последующее их развитие до образования выкрашиваний металла глубиной до 4,0 мм, образование крупных продольных трещин и переход их в поперечные.

По указанному механизму возможно развитие продольных подповерхностных трещин глубиной свыше 5–10 мм от поверхности катания. Далее такие трещины могут переходить в поперечные усталостные

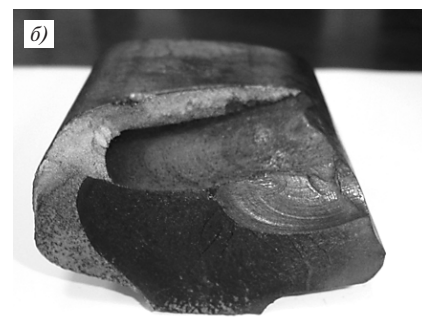
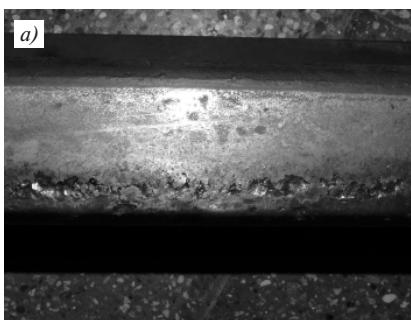


Рис. 5. Развитие продольных трещин с последующим образованием: а — выкрашиваний; б — поперечной трещины, образовавшейся от продольной, возникшей от параллельных трещин контактной усталости на выкружке головки



Рис. 6. Разновидности поверхностных трещин контактной усталости в головке объемно-закаленного рельса (продольные шлифы без травления, $\times 12$)

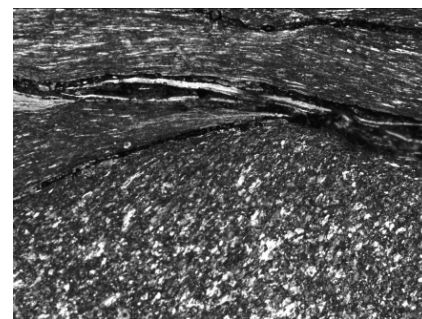


Рис. 7. Волокнисто-деформированная структура в зоне трещин в наклепанном поверхностном слое металла ($\times 200$)

Таблица 1

Механические свойства при растяжении металла головки рельса, изъятых после пропуска 478 млн т брутто

Зона вырезки образцов	Временное сопротивление, Н/мм ²	Предел текучести, Н/мм ²	Относительное удлинение δ_5 , %
10 мм от поверхности катания головки рельса	1305	910	15,0
Вплотную к поверхности катания головки рельса	1054	919	3,7

трещины и приводить к образованию поперечных изломов рельсов (см. рис. 5, б).

Контактно-усталостные повреждения возникают в результате постепенного накопления дефектов поверхностного, деградирующего в процессе эксплуатации слоя. Напряженно-деформированное состояние в контакте качения, способствующее образованию повреждений, может быть определено путем решения контактных задач [8].

Изменение физико-механических свойств поверхностного слоя металла головки рельсов иллюстрируют данные, приведенные в табл. 1. Механические свойства дефектного поверхностного слоя определяли при испытаниях на разрыв на испытательной машине «Schenck-100» плоских образцов толщиной 2 мм, вырезанных максимально близко к поверхности катания объемно-закаленных рельсов с пропущенным тоннажем 480 млн т брутто.

Анализ данных табл. 1 показывает, что из-за структурных изменений и образования трещин, вызванных циклической пластической деформацией, механические свойства поверхностного слоя металла головки рельса изменились. Временное сопротивление уменьшилось в 1,24 раза за счет микротрещин, снижающих

прочность на разрыв; относительное удлинение снизилось в 4,1 раза за счет исчерпания пластичности металла в результате перенаклепа.

При этом механические свойства рельсов, определенные на глубине 10 мм от поверхности катания головки рельсов, остались неизменными и соответствовали требованиям ГОСТ Р 51685–2000 для рельсов категории Т1.

Фактически для всех обнаруженных трещин контактной усталости характерны следующие стадии развития: образование и развитие от поверхности катания по движению под углом от 9° до 37° вглубь головки рельса; поворот и дальнейшее развитие в продольном направлении в плоскости, фактически параллельной поверхности катания; поворот и дальнейшее развитие вверх, в направлении поверхности катания, с образованием выкрашиваний металла или, напротив, развитие трещины вглубь головки с образованием поперечной усталостной трещины и дефекта по коду 21.1-2 в соответствии с НТД/ЦП-2-93.

В табл. 2 показаны глубины и длины трещин и выкрашиваний, а также приведенные скорости углубления и увеличения длины трещин, определенные для исследуемых объемно-закаленных рельсов, изъятых после пропуска 301,6, 398,3 и 478,6 млн т брутто. Данные параметры характеризуют кинетику развития трещин контактной усталости в рельсах. Исследуемые рельсы категории Т1 по ГОСТ Р 51685–2000 эксплуатировались во внутренней нити прямого участка пути Экспериментального кольца ОАО «ВНИИЖТ» и были изъятые после указанных наработок тоннажа по причине контроленепригодности, возникшей в результате образования поверхностных трещин и выкрашиваний металла [7].

Анализ данных табл. 2 показывает, что угол наклона трещин к поверхности катания головки рельса

Таблица 2

Характеристики кинетики развития трещин контактной усталости в рельсах партии шифра Т1-4

Тоннаж, млн т брутто	Угол наклона трещины к горизонтальной плоскости, град		Глубина выкрашиваний, мм		Глубина трещины от поверхности катания, мм		Длина трещин, мм		Приведенная скорость углубления трещин ($\times 10^{-4}$), мм/млн т брутто			Приведенная скорость роста трещин ($\times 10^{-4}$), мм/млн т брутто		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	средняя	min	max	средняя
301,6	10	36	0,48	2,12	0,04	1,06	0,20	3,12	1,43	34,98	14,65	6,7	103	42,4
398,3	9	37	0,90	2,37	0,09	0,98	0,12	3,92	2,33	24,6	22,46	3,01	98,41	33,19
478	11	32	2,14	4,01	1,05	1,52	3,88	5,82	22,00	31,8	27,11	81,17	121,75	97,31

Таблица 3

Величина съема металла при шлифовке с учетом износа по головке рельса

Периодичность шлифовки, млн т брутто	Величина съема металла при шлифовке с учетом износа по головке рельса, мм									
	в кривых радиусом								в прямых	
	$R = 300 \div 400$ м		$R = 401 \div 500$ м		$R = 501 \div 800$ м		$R > 800$ м		по рабочей грани	по вертикальной оси
	по рабочей грани	по вертикальной оси	по рабочей грани	по вертикальной оси	по рабочей грани	по вертикальной оси	по рабочей грани	по вертикальной оси		
100	5,00	2,00	4,00	1,50	3,00	1,00	1,50	1,00	1,50	1,00
50	2,50	1,00	2,00	0,75	1,50	0,50	0,75	0,50	0,75	0,50

фактически одинаков для всех исследуемых рельсов и не зависит от пропущенного тоннажа. Он определяется направлением поверхностных вытягивающих напряжений [8] и соответствующей однонаправленной циклической пластической деформацией в контакте колеса и рельса [9]. Последняя зависит от геометрии профилей колес и рельса, расположения зоны контакта колес и рельса, коэффициентов трения, величины проскальзывания в продольном и поперечном направлениях, скорости движения поездов и ряда других факторов.

Наибольшие значения глубин трещин и выкрашиваний характерны для рельса, изъятых после самой большой наработки тоннажа (478,6 млн т брутто), что очевидно подтверждает непрерывный рост отдельных трещин контактной усталости в процессе эксплуатации до достижения предельных значений. Эти предельные значения зависят от исходной твердости рельсов, увеличиваясь при ее понижении [5, 6]. Наибольшую опасность представляет возможность слияния отдельных небольших наклонных трещин и образования крупной продольной трещины, соизмеримой с шириной головки рельса, которая может изменить направление развития и привести к образованию поперечной усталостной трещины.

На основании полученных результатов металлографических исследований процессов деструкции наклепанного слоя металла головки объемно-закаленных рельсов была построена зависимость углубления выкрашиваний в головке рельса от пропущенного тоннажа (рис. 8). Судя по этой зависимости, глубина выкрашиваний, образовавшихся на рельсах после пропуска около 250 млн т груза брутто, линейно увеличивалась, достигнув после наработки 450–500 млн т максимального значения 4 мм. С увеличением наработки увеличивается и разброс глубины выкрашиваний.

Исследованию общих закономерностей развития процессов деструкции рельсовых стел в эксплуатации посвящены работы [9–12].

Действующими до 2014 г. техническими указаниями по шлифованию рельсов 2011 г. [13] предусмотрено, что шлифование предназначено в первую очередь для устранения волнообразного износа, седловин, пробок, механических повреждений, расплющивания, смятия, пластических деформаций головки, неровностей в сварных стыках, т. е. для восстановления, формирования и поддержания поперечного и продольного профилей головок рельсов. Поэтому основными контролируемыми параметрами до и после шлифования являлись результаты измерений очертания поперечного профиля головки рельсов с погрешностью по вертикали и горизонтали не более 0,05 мм, глубины неровностей с погрешностью не более 0,05 мм и длины неровностей, которые подразделяются на короткие, средние и длинные. Шлифование рельсов назначалось при превышении регламентированных средних

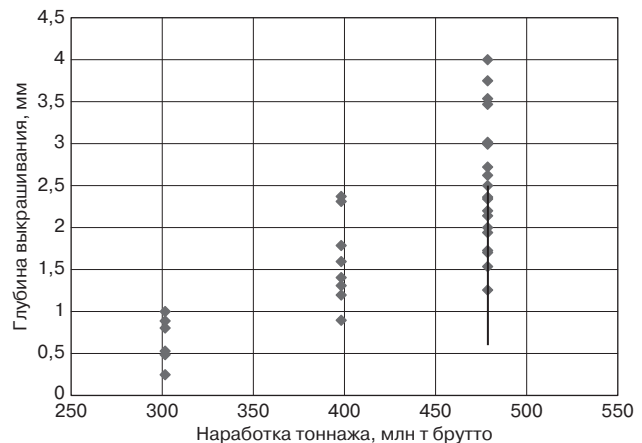


Рис. 8. Зависимость глубины выкрашиваний от пропущенного тоннажа

значений глубин неровностей в зависимости от скорости движения поездов. Критерии, которые должны быть достигнуты в результате шлифовки, были связаны с доведением до регламентируемых размеров неровностей на поверхности катания и восстановлением (или созданием) поперечного профиля головки под профиль нового рельса или максимально приближенный к профилю нового рельса.

В Изменения и дополнения 2014 г. [14] заложена прогрессивная периодичность проведения шлифования, равная 85 млн т брутто с уменьшением ее в 2 раза при увеличении скорости движения более 140 км/ч, а также впервые представлено требование: «...помимо устранения волнообразного износа, необходимо не допускать появления в головке рельсов дефектов контактно-усталостного происхождения. Для выполнения этого требования величина съема металла в совокупности с износом головки должна быть не менее значений, указанных в табл. 3».

Необходимо экспериментально проверить, будет ли такая периодичность достаточной для своевременного удаления поверхностных трещин. Также требуют проверки значения съема металла для различных условий эксплуатации рельсов. По результатам работы должны быть внесены требуемые корректировки в технические указания по шлифованию рельсов.

Современный характер повреждаемости рельсов дефектами контактной усталости требует изменения подходов к шлифованию и фрезерованию рельсов. Поскольку от мелких параллельных трещин на поверхности рельсов могут образовываться крупные продольные трещины, которые впоследствии переходят в поперечные, нельзя продолжать спокойно мириться с наличием этих мелких поверхностных трещин. При этом нужно учитывать то, что шлифованием может быть удален слой металла толщиной около 1 мм. Повторное шлифование должно назначаться при образовании новых поверхностных трещин в момент, когда глубина их не превышает 1 мм.

Данный подход может быть использован при назначении периодичности и режимов профилактического шлифования рельсов в пути.

Рассматривая практические решения описанной проблемы роста повреждаемости рельсов дефектами контактной усталости, не связанными с их металлургическим качеством, можно наметить следующие основные направления борьбы с явлением контактной усталости:

- развитие средств неразрушающего контроля (в первую очередь магнитных, вихретоковых), направленного на своевременное выявление поверхностного дефектного слоя, пораженного поверхностными трещинами в головке рельса, на самой ранней стадии их развития с определением глубины таких трещин;
- корректировка периодичности, интенсивности, а возможно, и технологии шлифования рельсов на основании показаний средств неразрушающего контроля с проведением шлифовок на ранних стадиях развития дефектов;
- проведение комплексных научно-исследовательских работ по достижению микроструктуры и физико-механических свойств в головке рельсов, препятствующих процессам наклепа и деструкции поверхностного слоя (разработка рельсов из бейнитной стали, рельсов с нанодисперсной микроструктурой).

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Основным видом повреждаемости рельсов в эксплуатации становятся дефекты контактно-усталостного характера, происхождение которых связано не с низкой чистотой стали по неметаллическим включениям, а с развитием процессов деструкции поверхностного слоя металла головки рельсов.

2. Деструкция поверхностного слоя металла головки рельсов протекает под воздействием циклической пластической деформации металла рельса в зоне контакта с колесом подвижного состава и состоит из следующих этапов:

- образование наклепанного слоя с микроструктурой волокнисто-деформированного перлита;
- образование трещин при деформации уже наклепанного упрочненного слоя с волокнисто-деформированной микроструктурой и пониженными характеристиками пластичности;
- развитие трещин, образование небольших выкрашиваний (питтингов) и последующее их развитие до образования выкрашиваний металла глубиной до 4,0 мм, а также образование продольных трещин глубиной до 8 мм и более с последующим поворотом и развитием поперечных усталостных трещин.

3. Для объемно-закаленных рельсов категории Т1, эксплуатировавшихся в прямом участке пути Экспериментального кольца ОАО «ВНИИЖТ», определены зависимости от пропущенного тоннажа глубин выкрашиваний и трещин, а также значения скорости их

развития. Аналогичные зависимости, полученные в различных условиях эксплуатации, в первую очередь по плану пути и грузонапряженности, могут быть использованы при назначении периодичности и режимов профилактического шлифования.

4. Определены основные направления практической реализации мер борьбы с повреждаемостью рельсов новыми видами дефектов контактной усталости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шур Е. А. Повреждения рельсов. М.: Интекст, 2012. 192 с.
2. Абдурашитов А. Ю. Совершенствование профиля рельсов // РСП Эксперт. 2014. № 10 (66). С. 21–24.
3. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ. / У. Харрис, С. М. Захаров [и др.]. М.: Интекст, 2002. 408 с.
4. Dembosky M. Rolling Contact Fatigue: the solution has emerged but the problem remains/ Permanent Way Institution. 2006. Vol. 124. № 2. P. 72.
5. Girsch G., Heyder R. Head-hardened rail put to the test. Railway Gazette International, 2004, No. 1, p. 42–44.
6. Heyder, R., Girsch, G. Testing of HSH® rails in high-speed tracks to minimize rail damage. Wear, 2005, No. 7–8. p. 1014–1021.
7. О некоторых причинах повреждаемости рельсов на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» / Е. А. Шур [и др.] // Железнодорожный транспорт на современном этапе: сб. трудов ОАО «ВНИИЖТ». М.: ВМГ-Принт, 2014. С. 259–267.
8. Куклин С. А. Контактные задачи при качении. Современные проблемы теории машин: материалы II Международной заочной научно-практической конференции / НОЦ «МС». Новокузнецк: Издательский центр СибГИУ, 2014. С. 33–40.
9. Деструкция рельсовых сталей в условиях тяжеловесного и высокоскоростного движения / Л. Р. Ботвина [и др.] // Интеллектуальные системы на транспорте: материалы Третьей международной научно-практической конференции «ИнтеллектТранс-2013», Санкт-Петербург, 3–5 апреля, 2013. С. 307–313.
10. Усталостное разрушение рельсовой стали после эксплуатации / Н. А. Махутов [и др.] // Сборник материалов V международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, ноябрь, 2013 г. М.: ИМЕТ РАН, 2014. С. 87–88.
11. Закономерности накопления повреждений в рельсовой стали в условиях контактной усталости / Л. Р. Ботвина [и др.] // Сборник материалов V международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». Москва, ноябрь, 2013 г. М.: ИМЕТ РАН, 2014. С. 11–12.
12. Кинетические закономерности развития поврежденности в рельсовых сталях / Н. А. Махутов [и др.] // Сборник материалов IV международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (ИнтеллектТранс-2014), 3–4 апреля 2014 года, Санкт-Петербург / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. А. Корниенко. СПб.: ПГУПС, 2014. С. 121–127.
13. Технические указания по шлифованию рельсов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22 февраля 2011 г. № 388 р.
14. Изменения и дополнения, которые вносятся в Технические указания по шлифованию рельсов: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2014 г. № 3174 р.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ШУР Евгений Авелевич,
главный научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10.
Тел.: (499) 260-44-06.
E-mail: shurea@mail.ru

БОРЦ Алексей Игоревич,
заведующий лабораторией, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.
Тел.: (499) 260-44-33.
E-mail: borts@list.ru

СУХОВ Алексей Владимирович,
заведующий отделением, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.
Тел.: (499) 260-43-90.
E-mail: sukhov.aleksei@vniizht.ru

АБДУРАШИТОВ Анатолий Юрьевич,
заведующий отделением, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.

Тел.: (499) 180-34-97.
E-mail: abdran@yandex.ru

БАЗАНОВА Людмила Викторовна,
заместитель заведующего лабораторией, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.
Тел.: (499) 260-44-00.
E-mail: lyudmila.83@mail.ru

ЗАГРАНИЧЕК Константин Львович,
младший научный сотрудник, ОАО «ВНИИЖТ».
129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д.10.
Тел.: (499) 260-44-37.
E-mail: zagranichек-jr@mail.ru

Evolution of the Contact-Fatigue Defects Caused Rail Failure Rate

Evgeniy A. Shur, Dr. of Technical Science, Professor, Head Research Worker, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604406. E-mail: shurea@mail.ru

Alexey I. Borts, Candidate of Technical Science, Chief of Laboratory, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604433. E-mail: borts@list.ru

Alexey V. Sukhov, Candidate of Technical Science, Head of Department for Transport Related Material Technology, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604390. E-mail: sukhov.aleksei@vniizht.ru

Anatoliy Yu. Abdurashitov, Candidate of Technical Science, Head of Department for Track Facilities, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 1803497.

Lyudmila V. Bazanova, Deputy Chief of Laboratory, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604400. E-mail: lyudmila.83@mail.ru

Konstantin L. Zagranichек, Junior Research Worker, JSC Railway Research Institute (JSC VNIIZhT). 10, 3rd Mytischinskaya str., 129626 Moscow, Russian Federation. Tel.: +7 (499) 2604437. E-mail: zagranichек-jr@mail.ru

Abstract. There is discussed current situation and problems of rail damageability in operation. It has been indicated that contact-fatigue defects coded as 10, 11, 17, 21 in the standing catalogue of rail defects represent the main type of rail defects responsible for over 50% of the total number of cases of rail withdrawal from the track.

There was studied character of emergence and development of the contact-fatigue rail defects at present day. Thus it was shown that surface layer destruction of the rail head metal affected by cyclic inelastic deformation (and not non-metallic impurities of steel or presence of brittle-fractured non-metallic inclusions, such as aluminum silicates or other multiple oxides) was mainly responsible for their emergence. Specification of main destruction stages of the rail head metal and investigation of various stage processes was carried out at the JSC VNIIZhT Experimental Loop through the example of the I Class rails T1 (GOST R 51685 – 2000). It was found that at various destruction stages of the rail head metal there take place: formation of the cold-worked layer with fibre-strained pearlite microstructure, reduced by a quarter instantaneous strength and four-times reduced percentage extension; flaw development and formation of small pittings with their further development into chippings with depth up to 4.0 mm; emergence of longitudinal flaws up to 6 – 10 mm in depth with their further turning and developing of lateral fatigue flaws.

For investigated rails there was obtained passed tonnage dependence of the chipping depth.

It is proposed to determine frequency and regimes of in-track preventive rail grinding not only on the basis of irregularities' development rate but also on the basis of surface flaw/chipping deepening law in terms of increase in the passed tonnage under specified operating conditions. Also there is noted the necessity of special-purpose flaw-detection equipment creation intended to determine the depth of surface flaws.

Keywords: working life between repairs; contact-fatigue defects; cyclic inelastic deformation; fibre-strained pearlite; cold deformation; flaw deepening; pitting corrosion

References

1. Shur E.A. *Povrezhdeniya rel'sov* [Rails damage]. Moscow, Intext Publ., 2012. 192 p.
2. Abdurashitov A. Yu. *Sovershenstvovanie profilya rel'sov* [Improving the rails profile]. RSP Ekspert, 2014, no. 10 (66), pp. 21 – 24.
3. Harris W.J., Ebersöhn W., Lundgren J., Tournay H., Zakharov S. *Guidelines to best practices for heavy haul railway operations (Wheel and rail issues)*. Virginia Beach, VA, International Heavy Haul Association Publ., 2002. 466 p. (Russ. ed.: Kharris U., Zakharov S.M. et. al. *Obobshchenie mirovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolea i rel'sa*. Moscow, Intext Publ., 2002. 408 p.).
4. Dembosky M. *Rolling contact fatigue: The solution has emerged but the problem remains*. The Permanent Way Institution, 2006, vol. 124, no. 2, p. 72.

5. Girsch G., Heyder R. *Head-hardened rail put to the test*. Railway Gazette International, 2004, no. 1, pp. 42 – 44.

6. Heyder R., Girsch G. *Testing of HSH® rails in high-speed tracks to minimize rail damage*. Wear, 2005, no. 7 – 8, pp. 1014 – 1021.

7. Shur E.A. et. al. *O nekotorykh prichinakh povrezhdaemosti rel'sov na Eksperimental'nom kol'tse OAO "VNIIZhT"* [Some causes of damage to the rails on the experimental VNIIZhT circle]. *Zheleznodorozhnyy transport na sovremennom etape. Zadachi i puti ikh resheniya*: Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZhT" [Rail transport at the present stage. Challenges and solutions: Coll. sci. works of JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute)]. Moscow, VMG Print Publ., 2014, pp. 259 – 267.

8. Kuklin S.A. *Kontaktnye zadachi pri kachenii* [Contact problems in rolling]. *Sovremennyye problemy teorii mashin*: Mat. II mezhdunar. zaoch. nauch.-prakt. konf. [Modern problems of the theory of machines: Proc. 2nd int. correspond. sci.-pract. conf.]. Novokuznetsk, Siberian State Ind. Univ. Publ., 2014, pp. 33 – 40.

9. Botvina L.R. et al. *Destruktsiya rel'sovykh staley v usloviyakh tyazhelovesnogo i vysokoskorostnogo dvizheniya* [Destruction of rail steels in heavy and high-speed conditions]. *Intellektual'nye sistemy na transporte*: Mat. III mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "IntellektTrans-2013" [Intelligent transport systems: Proc. 3rd int. sci.-pract. conf. "IntellektTrans-2013"]. St. Petersburg, April 3 – 5, 2013, pp. 307 – 313.

10. Makhutov N.A. et al. *Ustalostnoe razrushenie rel'sovoy stali posle ekspluatatsii* [Fatigue failure of rail steel after operation]. Sb. mat. V mezhdunar. konf. "Deformatsiya i razrushenie materialov i nanomaterialov" [Coll. pap. 5th int. conf. "Deformation and fracture of materials and nanomaterials"]. Moscow, November 2013, RAS Inst. of Metallurgy and Materials Science Publ., 2014, pp. 87 – 88.

11. Botvina L.R. et al. *Zakonomernosti nakopleniya povrezhdeniy v rel'sovoy stali v usloviyakh kontaktnoy ustalosti* [Patterns of damage accumulation in the rail steel under contact fatigue]. Sb. mat. V mezhdunar. konf. "Deformatsiya i razrushenie materialov i nanomaterialov" [Coll. pap. 5th int. conf. "Deformation and fracture of materials and nanomaterials"]. Moscow, November 2013, RAS Inst. of Metallurgy and Materials Science Publ., 2014, pp. 87 – 88.

12. Makhutov N.A. et al. *Kineticheskie zakonomernosti razvitiya povrezhdenosti v rel'sovykh stalyakh* [Kinetic regularities of damage development in the rail steel]. *Intellektual'nye sistemy na transporte*: Mat. IV mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "IntellektTrans-2014" [Intelligent transport systems: Proc. 4th int. sci.-pract. conf. "IntellektTrans-2014"]. St. Petersburg, April 3 – 4, 2014, Petersburg State Univ. of Railways Publ., pp. 121 – 127.

13. *Technical instructions for grinding rails*. Approved by the Order of JSC "Russian Railways" on February 22, 2011 № 388 r. (in Russ.).

14. *Amendments and additions to be introduced to technical instructions for grinding rails*, approved by the order of JSC "Russian Railways" on December 29, 2014 № 3174 p. (in Russ.).