

3. При  $F_N = const$  параметры площадки контакта существенно различны в системах ролик-ролик и ролик-кольцо. В условиях расчета величины  $a, b, p_0$  уменьшаются примерно 2 раза. Это объясняется перераспределением (при переходе к системе ролик-кольцо) приложенной к ней контактной нагрузки ( $F_N$ ) на две составляющие (контактную  $F_c$  и изгибную  $F_b$ ).

Изложенные краткие результаты представляют, по нашему мнению, лишь введение в новую область исследований: контактные задачи для силовых систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989;
2. Пономарев С.Д. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1958;
3. Рвачев В.Л., Проценко В.С. Контактные задачи теории упругости для неклассических областей. – Киев: Наукова думка, 1977;
4. Саверин М.М. Контактная прочность материала в условиях одновременного действия нормальной и касательной нагрузки. – М.: Машгиз, 1946.;
5. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. – М.: Гостехиздат, 1949.;
6. Горячева И.Г., Добычин Н.М. Контактные задачи в трибологии. – М.: Машиностроение, 1988. –253 с.;
7. Сосновский Л.А. Основы трибофатики. – Гомель: БелГУТ, 2003. –Т.1. –246 с., – Т.2. –234 с.;
8. Износоусталостные повреждения и их прогнозирование (трибофатика). Научный редактор Сосновский Л.А./ Авт.: Л.А.Сосновский, В.Т. Трощенко, Н.А. Махутов, Гао Ван-Чжэн, А.В. Богданович, С.С. Щербаков. – Гомель, Киев, Москва, Ухань, 2001. –170 с.;
9. ГОСТ 30638–99. Трибофатика. Термины и определения (Межгосударственный стандарт). – Минск: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 17 с.;
10. Сосновский Л. А. Статистическая механика усталостного разрушения. – Минск: Наука и техника, 1987. – 288 с.

УДК 620.178.16; 620.178.3

Л.А. Сосновский<sup>1)</sup>, В.И. Матвеев<sup>1)</sup>, С.А. Тюрин<sup>2)</sup>, А.А. Кебиков<sup>1)</sup>, А.А. Сырокваш<sup>3)</sup>

### ВЛИЯНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛЕЙ

<sup>1)</sup>Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

<sup>2)</sup>Институт механики и надежности машин НАНБ  
Минск, Беларусь

<sup>3)</sup>Минский метрополитен  
Минск, Беларусь

Условия эксплуатации рельсов в метрополитенах и на магистральных железных дорогах в значительной мере отличаются друг от друга. Режимы ведения моторвагонных секций в метро требуют частых остановок. Кроме того, малые осевые нагрузки, короткие интервалы движения поездов и сравнительно высокая грузонапряженность в метрополитенах накладывают свои особенности на структуру зарождения и развития дефектов рельсов [1–3].

Целью исследования является оценка изменения механических свойств рельсовой стали нетермоупрочнённых рельсов типа Р50, используемых на путях Минского метрополитена.

Объектами для исследований служили отрезки рельсов:

а) вырезан из прямого участка, после эксплуатации, в течение которой пропущен нормативный тоннаж (300 млн. тонн брутто);

б) вырезан из кривого участка, после эксплуатации, в течение которой пропущен нормативный тоннаж (210 млн. тонн брутто);

в) вырезан из исходного рельса, до эксплуатации.

Исследовали свойства материала головки рельса – непосредственно на поверхности катания и вблизи нее.

Методами капиллярной и магнитопорошковой дефектоскопии установлено, что на дорожке катания дефекты, обычно выявляемые этими методами, отсутствуют.

Механические свойства поверхностного слоя изучали методом оценки твердости по Виккерсу (HV). Результаты статистических испытаний приведены на рисунках 1, 2. По данным рисунков 1 и 2 можно отметить следующие основные особенности распределения твердости на поверхности катания рельсов на прямых участках пути после пропуска нормативного тоннажа.

1. Обнаруживаются три (I, II, III) характерные зоны деформирования головки рельса на ее поверхности катания (см. рисунок 1).

В зоне I твердость достигает наибольших значений порядка 500...600 HV и (редко) более. Эта зона неравномерна по ширине головки катания и периодична по ее длине, другими словами, она – нестационарная. Поскольку твердость исходного материала не превышает 300 HV, то имеет место более чем двукратный рост твердости. Такое повышение твердости означает сильное упрочнение пластической деформацией тонкого поверхностного слоя. Но в результате большой остаточной деформации развиваются и процессы разупрочнения – она предвестник охрупчивания и разрушения материала. Понятно, что именно в зоне I следует ожидать в будущем образования ямок выкрашивания и интенсивного износа отслаиванием.

В зоне II твердость достигает значений порядка 450...460 HV и (редко) несколько выше; это примерно на 25% ниже, чем в зоне I. Это тоже зона интенсивного остаточного деформирования, но ясно, что здесь можно говорить больше об упрочнении, чем разупрочнении пластической деформацией.

В зоне III твердость не превышает значений 400 HV; но в среднем она составляет 340...350 HV, т.е. немногим больше (примерно на 15...20%) исходной твердости. Это, конечно, зона, где эксплуатационные повреждения в обозримом будущем не предвидятся.

Внутри зоны III обнаруживается зона IV, твердость в которой наименьшая. Это – почти «здоровая» область деформирования, свойства материала здесь изменились незначительно (и притом, безусловно, улучшились).

2. Если локальный предел выносливости до эксплуатации в среднем составляет  $\sigma_{-1} = 450$  МПа, то после эксплуатации он достигает значений порядка 550...620 МПа (см. рисунок 2). Это означает, что имеет место повышение сопротивления усталости на 30...40 и даже до 50%. Этот результат не является неожиданным, он известен в трибофатике [1]. Но применительно к рельсам остается пока не ясным ответ на вопрос: будет ли повышаться сопротивление усталости поверхностных слоев головки рельса и далее – при дальнейшей эксплуатации?

3. Важным является следующий факт: если твердость HV при переходе от зоны II к зоне I резко возрастает (см. рисунок 1), то сопротивление усталости в этих зонах,

напротив, примерно одинаковое (см. рисунок 2). Следовательно, твердость может расти, а предел выносливости – нет.

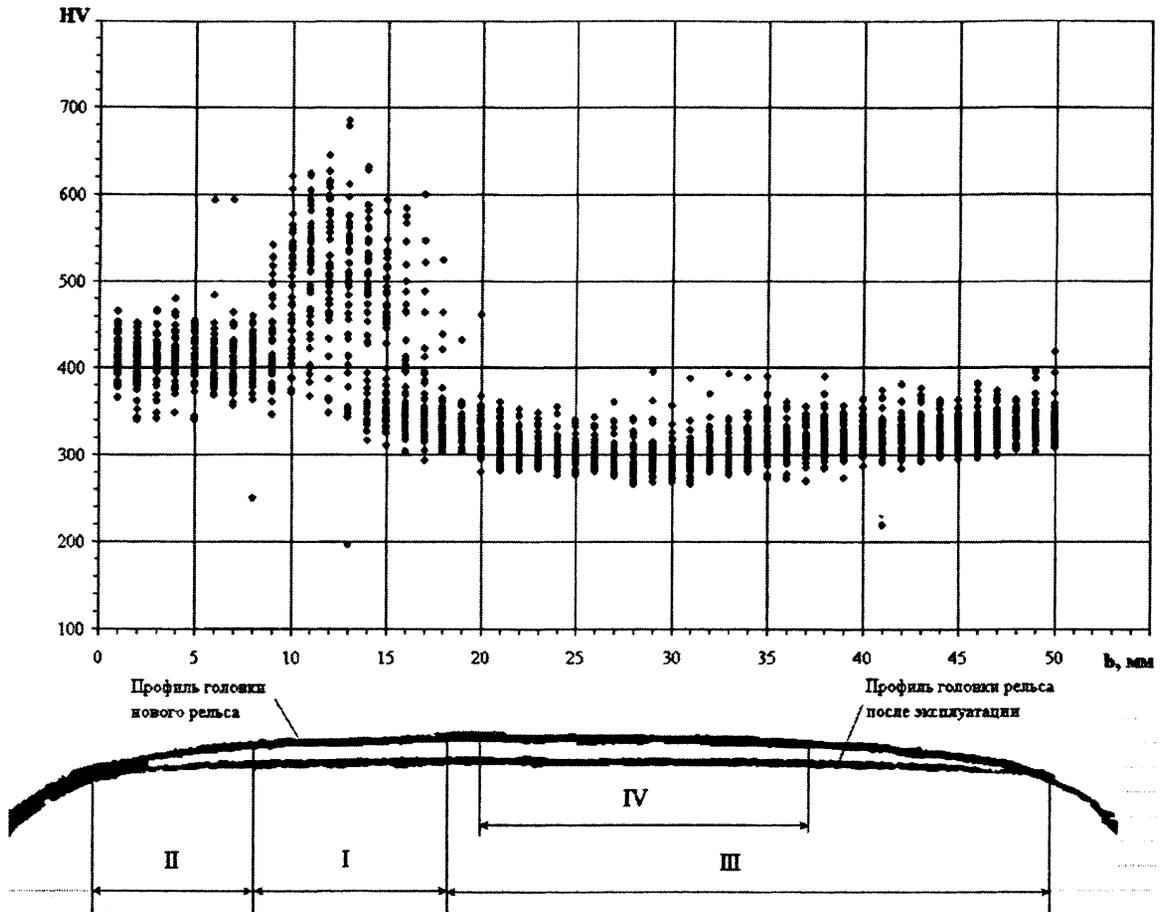


Рис. 1. Обобщенное распределение твердости по поверхности катания рельса после пропуска нормативного тоннажа (прямой участок пути)

По данным рисунка 3 можно отметить следующие основные особенности распределения твердости на поверхности катания и на боковой поверхности скольжения рельсов на кривых участках пути после пропуска нормативного тоннажа.

1. На дорожке катания твердость распределена практически равномерно и варьируется в интервале от  $HV = 300$  до  $HV = 400$ , т.е. на 100 единиц. Эксплуатация в течение нормативного срока привела к повышению твердости по сравнению с исходным рельсом примерно на 30 %.

2. На боковой поверхности скольжения закономерность иная: рассеяние твердости достигает 200 единиц, при этом наибольшая твердость (порядка  $HV = 400...500$ ) обнаруживается в зоне скольжения реборды. Эксплуатация в течение нормативного срока привела к повышению твердости по сравнению с исходным рельсом до 100 %.

3. Режим скольжения оказывается «тяжелее», чем режим качения с проскальзыванием – таково общее заключение.

Сравнивая рисунки 1 и 3, отметим, что на прямых участках повреждение материала более высокое, чем в кривых; это объясняется тем, что более интенсивный износ в кривых привел к соответствующему снятию повреждаемых слоев материала. Таким образом, работоспособность рельсов в кривых обеспечивается только несущей способностью оставшегося поперечного сечения в головке, тогда как работоспособность рельсов на прямых участках лимитируется уровнем эксплуатационной поврежденности.

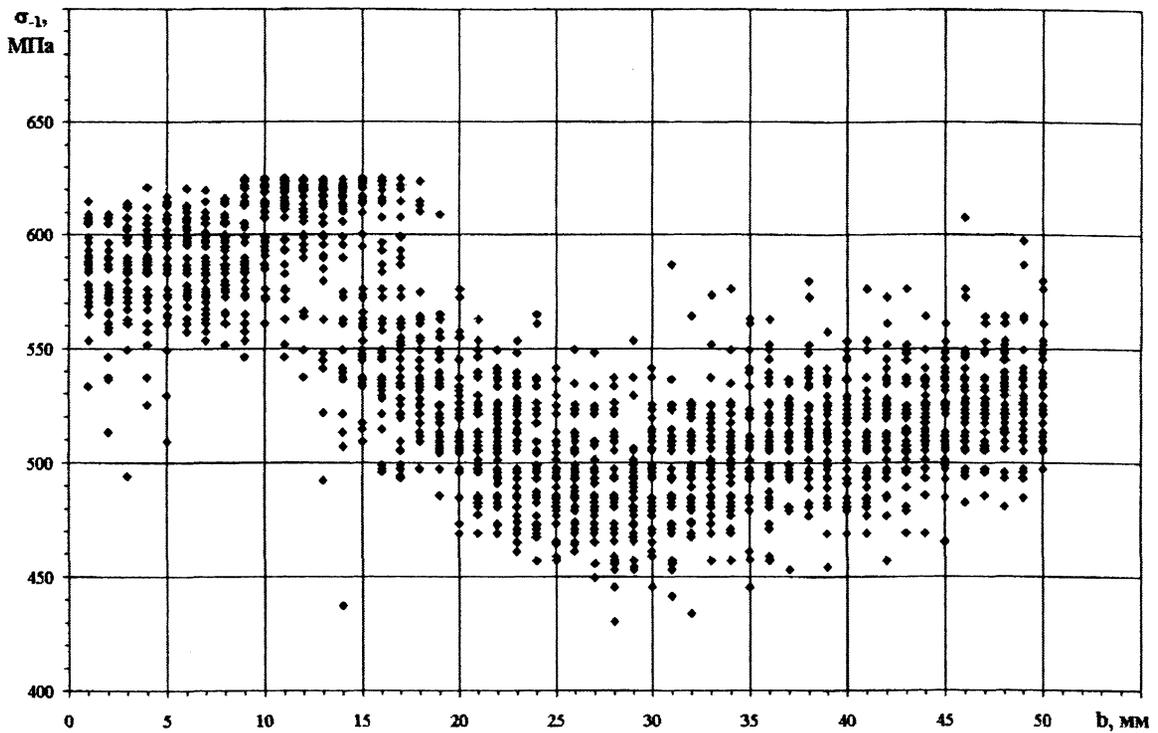


Рис. 2. Обобщенное распределение пределов выносливости по поверхности катания рельса

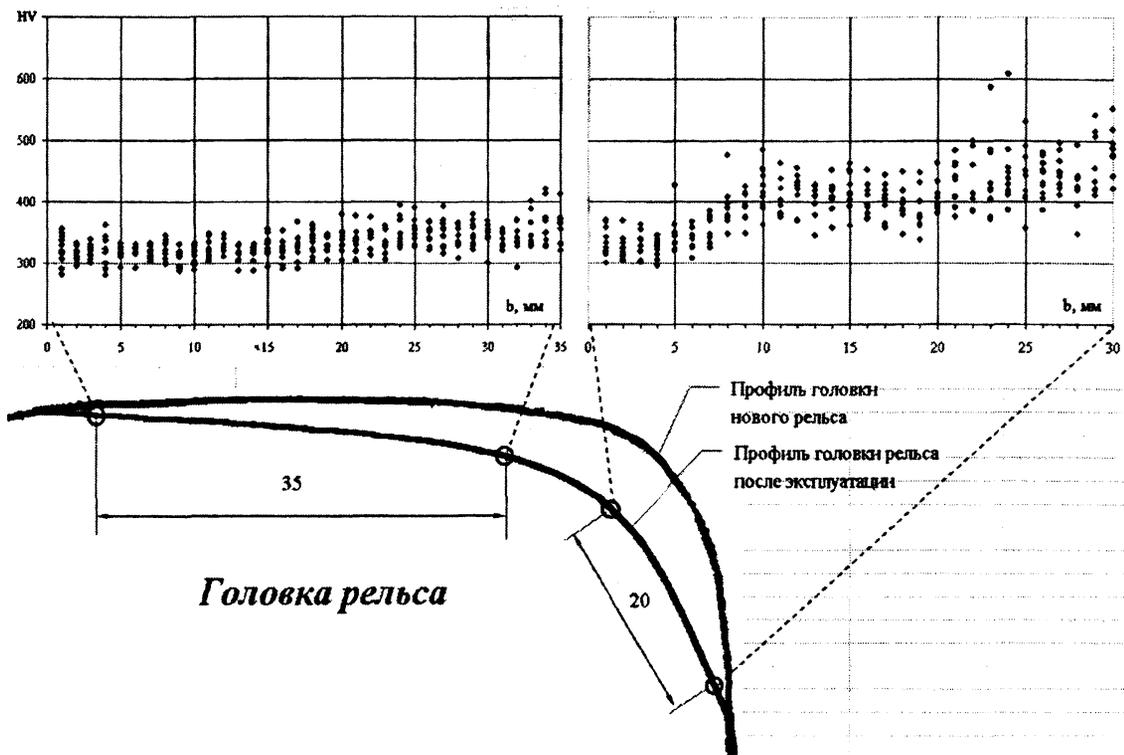


Рис. 3. Сопоставление распределений твердости на поверхности катания и на боковой поверхности скольжения рельса после пропускa нормативного тоннажа (кривой участок пути)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Путь и безопасность движения поездов. Под ред. В.Я. Шульги. –М.: Транспорт, 1994. 199 с.;
2. Проектирование железнодорожного пути. Под ред. Г.М. Шахунянца. – М.: Транспорт, 1972. –320 с.;
3. Лиманов А. Метрополитены. –М.: Транспорт, 1971. – 359 с.;
4. Сосновский Л.А. Основы трибофатики. –Гомель: БелГУТ, 2003. –Т.1. –246 с., –Т.2. –234 с.

УДК 620.178.16; 620.178.3

**В.В. Комиссаров**

**НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
КОНТАКНОЙ УСТАЛОСТИ МАТЕРИАЛОВ**

*Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь*

При эксплуатации зубчатых и червячных передач нередко случаи, когда через некоторое время после начала работы на рабочих поверхностях зубьев возникают трещины и образуются ямки выкрашивания (питтинги). Начавшееся выкрашивание может затем прекратиться, а образовавшиеся углубления в процессе дальнейшей работы передачи могут постепенно загладиться. В этом случае возникает «ограниченное» (местное) или «начальное» выкрашивание, не приносящее особого ущерба. Гораздо хуже, когда начавшееся выкрашивание прогрессирует до окончательного повреждения поверхностей зубьев и их износа в сравнительно короткий срок.

Передача, в которой началось прогрессирующее поверхностное разрушение зубьев, еще пригодна для передачи нагрузки, но из-за искажения профилей зубьев в зацеплении возникают, особенно у прямозубой передачи, большие добавочные динамические (ударные) усилия, увеличивающие скорость разрушения и усиливающие шум передачи. Масло при этом загрязняется частичками выкрошившегося металла, которые заклиниваются между зубьями, повреждая их поверхности и усиливая процесс изнашивания. Если к тому же и подшипники смазываются тем же маслом, что и зубчатые колеса, то повреждаются и подшипники.

Непрекращающееся выкрашивание поверхностей зубьев, усиленное истиранием частицами металла и неровными поверхностями зубьев, через более или менее продолжительный промежуток времени ведет к излому зуба [1]. Основным фактором, определяющим возникновение и развитие этих процессов является контактная усталость – процесс накопления повреждений и разрушения поверхностного слоя металла под действием повторно-переменных контактных напряжений при трении качения, сопровождающийся возникновением трещин, развитие которых приводит к износу отслаиванием и образованием ямок выкрашивания (питтингов).

Процесс контактной усталости во многом сходен с процессом усталости вообще (образование и постепенное развитие трещин, зависимость долговечности и предела выносливости от ряда факторов и т.д.), однако имеет и свои специфические черты. Они обусловлены тем, что в зоне контакта реализуется объемное напряженное состояние, имеют место резкие градиенты компонент напряжения, происходит локализация максимальных напряжений в небольших объемах металла. Это приводит, например, к резкому изменению степени и характера деформирования металла по мере удаления вглубь от поверхности. Если в поверхностном слое, особенно на вершинах микровыступов, наблюдается значительная пластическая деформация металла, то уже