



Конструктивное решение и методика исследования нагруженности колёсных пар



Любовь СЛАДКОВА



Алексей НЕКЛЮДОВ

*Сладкова Любовь Александровна – Российский университет транспорта, Москва, Россия.
Неклюдов Алексей Николаевич – Российский университет транспорта, Москва, Россия.**

Колёсная пара относится к наиболее уязвимой части экипажа с точки зрения возникновения отказов. Как правило, это выявляется на этапе эксплуатации и зависит не только от вида применяемого материала, из которых изготовлены колесо и рельсы, но также и от технологии их изготовления и эксплуатации. Основные неисправности колёсных пар, характер и причина их появления рассмотрены с точки зрения эксплуатации железнодорожных составов.

Целью исследования являлся краткий анализ отказов колёсных пар, способов борьбы с ними, а также разработка подходов к принятию конструктивных решений.

В качестве темы для дискуссии авторы выдвигают тезис, что существующие способы восстановления колёс наплавкой менее перспективны по сравнению с представленным ими техническим решением, которым предлагается повысить надёжность колёсных пар на этапе проектирования путём внесения несущественных изменений в конструкцию колеса без изменения его геометрических характеристик и параметров. Учитывая причину и места, подвергающиеся наибольшему дефектам (гребни колёс и реборда), на колесо существующей конструкции в местах наиболее

вероятного возникновения дефекта напрессовывается обод (обруч), выполненный из материала, твёрдость которого соизмерима с твёрдостью рельса. Внутренняя поверхность обруча должна полностью повторять внешний контур колеса, контактирующий с ободом, что обеспечивает необходимую прочность соединения. Предлагаемое техническое решение позволит снизить напряжённо-деформированное состояние гребня колеса, являющегося основной причиной отказа.

Для оценки целесообразности предложения рекомендуется использовать методику расчёта суммарного напряжения, возникающего на поверхности контакта колеса и для этого воспользоваться классической теорией прочности.

Эту же методику предлагается использовать и для решения других задач, связанных с расчётом подходов к повышению ресурса колёсных пар.

Таким образом, основная идея проведённых исследований заключается в разработке цели, задач и основных направлений, связанных с принятием принципиально новых решений по повышению ресурса колёсных пар в процессе их эксплуатации и разработке для этого теоретических положений и научно-методологического аппарата.

Ключевые слова: транспорт, железная дорога, техническое решение, колёсная пара, колесо, экипаж, железнодорожный вагон, исследования, нагруженность, износ, отказ.

*Информация об авторах:

Сладкова Любовь Александровна – доктор технических наук, профессор кафедры наземных транспортно-технологических средств Российского университета транспорта, Москва, Россия, rich.cat2012@yandex.ru.

Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой путевых, строительных машин и робототехнических комплексов Российского университета транспорта, Москва, Россия, neklyudov.an@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 04.06.2019, принята к публикации 12.11.2019.

For the English text of the article please see p. 78.

ВВЕДЕНИЕ

Научный интерес к колёсной паре определён тем, что колёсная пара является одной из главных и ответственных частей вагона и относится к наиболее уязвимой части экипажа с точки зрения возникновения отказов при эксплуатации. Также не стоит сбрасывать со счетов, что её надёжность, как и любого изделия, закладывается на этапе проектирования.

Выявлено, что неисправностями колёсных пар, основные из которых приведены на рис. 1, являются прокат, ползуны, трещины, подрезы, выщербины и раковины на поверхности катания колёс, изнашивание гребня колеса и др., которые требуют замены колёс [1, с. 1; 2, с. 8; 3, с. 56]. Их появление связывают, как правило, с эксплуатацией техники.

Считается, что интенсивность изнашивания колёс и рельсов зависит от более чем 60 факторов [4, с. 7], часть которых входят в группу конструктивных.

Автор [4, с. 2] полагает, что по оценке экспертов, в России «в начале 80-х годов XX века срок службы бандажей колёсных пар локомотивов составлял 6–7 лет, а в 90-е годы он сократился уже до 2–3 лет. В 2010 г. ремонту с обточкой при восстановлении конфигурации их профиля подвергалось около 3 млн колёсных пар» [4, с. 1].

Основной причиной роста числа отказов колёсных пар является разность между твёрдостью колеса и рельса. В настоящее время твёрдость рельсов составляет 400–450 НВ, а твёрдость бандажей колёсных пар ТПС осталась на уровне 275–315 НВ, что предопределяет увеличение износа бандажей и рельсов. При переходе на тип рельсов Р65 (с Р50) износ колёсных пар увеличился более чем в два раза [4, с. 1; 5, с. 156; 6, с. 181], с преобладанием бокового износа (с преобладанием износа по боковой по-

верхности) [4, с. 12], что не может не сказаться на повышении интенсивности изнашивания колеса.

Данная проблема будет иметь неуклонную тенденцию к росту в результате увеличения скоростей передвижения железнодорожного транспорта [7, с. 13].

В России в определённый момент в эксплуатации находилось порядка 50 % колёсных пар грузовых вагонов с толщиной обода менее 40 мм, из них 50 % с толщиной менее 30 мм. Стандартами устанавливается средний срок службы колёс в пределах 12 лет [8, с. 17], однако фактически срок службы колёс существенно меньше.

Установлено, что в среднем при ремонте колёс по гребню методом механической обработки в стружку уходит 12–15 мм толщины обода с каждого колеса (см. рис. 2 [9, с. 48]), а при ремонте по термоконтактно-усталостным дефектам 5–7 мм и более [4, с. 1; 5, с. 156; 6, с. 181]. Учитывая, что в настоящее время колёсная пара интенсивно эксплуатируемого рабочего парка вагонов в год обтачивается по одному из дефектов не менее одного раза, то средний срок службы колёс составляет порядка 3–4 года [4, с. 32; 6, с. 181].

Более того, существующий способ восстановления гребней колёсных пар наплавкой является неэффективным с точки зрения расхода материалов и трудоёмкости технологического процесса. При восстановлении колёс наплавкой, после двухтрёх обточек, упрочнённый при термической обработке заводской слой срезается в стружку. В результате, весь остальной период службы колёсные пары интенсивнее изнашиваются и поражаются дефектами термоконтактно-усталостного происхождения [4, с. 32; 6, с. 181; 9, с. 48].

Очевиден тот факт, что увеличение объёмов перевозок неизбежно приводит

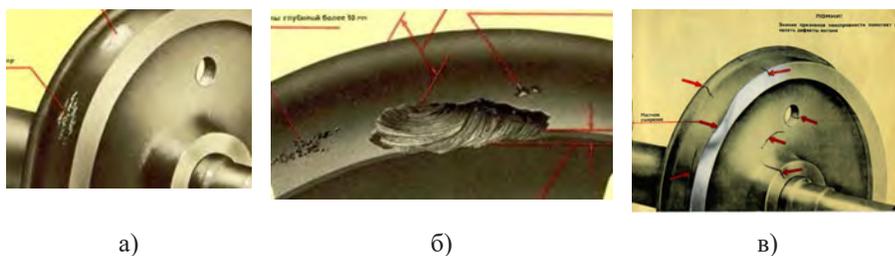


Рис. 1. Основные неисправности колеса колёсной пары: а – ползуны; б – выщербины; в – замятие [2].



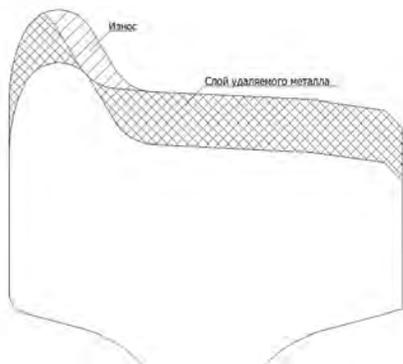


Рис. 2. Ремонт ЦКК методом механической обработки [9].

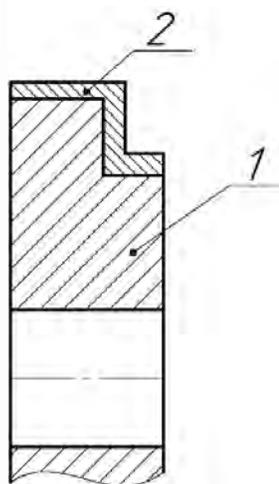


Рис. 3. Конструктивное решение колеса вагона.

к увеличению эксплуатационных затрат предприятиями железных дорог, в том числе российскими, на восстановительные и ремонтные работы колёсных пар [10, с. 11; 11, с. 4; 12, с. 13–14; 13, с. 21–22; 14, с. 24].

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ДИСКУССИИ

Нами предлагается повысить надёжность колёсных пар на этапе проектирования путём внесения несущественных изменений в конструкцию колеса без изменения его геометрических характеристик и параметров. Учитывая причины и места, подвергающиеся наибольшему дефектам (гребни колёс и реборда), на колесо 1 существующей конструкции (рис. 3) в местах наиболее вероятного возникновения дефекта (гребня) напрессовывается обод (обруч) 2, выполненный из материала, твёрдость которого соизмерима с твёрдо-

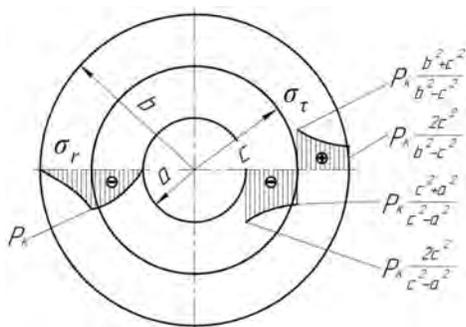


Рис. 4. Напряжённо-деформированное состояние колеса предлагаемой конструкции, использована базовая схема [15, рис. 314].

стью рельса. Внутренняя поверхность обруча должна полностью повторять внешний контур колеса, контактирующий с ободом, что обеспечивает необходимую прочность соединения.

Для оценки напряжений, возникающих на поверхности контакта колеса, воспользуемся классической теорией прочности [15, с. 287, рис. 314; 16, с. 356–358] (см. рис. 4).

На рис. 4 видно, что для обеспечения прочности необходимо, чтобы контактное напряжение между колесом и ободом соответствовало допускаемому напряжению натяга. Колесо в процессе эксплуатации будет испытывать, в совокупности, различные виды напряжённо-деформированного состояния.

Контактные напряжения, возникающие между колесом и рельсом, будут изменяться в зависимости от удалённости от точки контакта, они детально изучены в трудах [5, с. 46; 8, с. 17; 10, с. 11; 11, с. 4; 12, с. 13–14]. Кроме контактных напряжений, возникнут тангенциальные и радиальные напряжения в зависимости от усилий, передающихся с оси на ступицу колеса, которые в расчётах примем за давление p , приходящееся на единицу поверхности (см. рис. 4). Температурные напряжения, возникающие в конструкции, являются следствием контактных напряжений между колесом и рельсом. Сюда же можно добавить циклические напряжения, возникающие при перекачивании колеса по прямолинейной поверхности. Не следует исключать напряжения, возникающие в колесе, принимая его за быстровращающиеся диски.

Таким образом, суммарное напряжение, возникающее в колесе выбранной конструкции, определим как векторную сумму напряжений:

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5 + \sigma_6, \quad (1)$$

где σ_1 – контактные напряжения;

σ_2 – тангенциальные напряжения;

σ_3 – радиальные напряжения;

σ_4 – температурные напряжения;

σ_5 – циклические напряжения;

σ_6 – напряжения, возникающие при перемещении по стыкам рельсов.

В результате расчётов суммарное напряжение в колесе выбранной конструкции не будет отличаться в отрицательную сторону от колёс применяемой ныне конструкции, что позволяет продолжать исследования по доработке предложенной конструкции.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКИ УЧЁТА НАПРЯЖЕНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЫХ ЗАДАЧ

Учёт всех перечисленных видов напряжений и исследование их влияния на напряжённо-деформированное состояние колеса позволит:

- выявить физическую природу возникновения дефектов на поверхности колеса существующей конструкции;
- оценить параметры колеса существующей конструкции;
- оценить целесообразность изготовления колеса новой конструкции.

Кроме сказанного выше, глубокий анализ, проведённый по указанным направлениям, позволит:

- изучить кинетическую среду взаимодействия колеса с рельсом;
- разработать концепцию конструктивных и технологических изменений при изготовлении колёс;
- разработать методологию многофакторного анализа взаимодействия колеса с рельсом;
- осуществить моделирование кинетики технологических процессов при изготовлении колёсных пар;
- разработать формы и способы повышения срока службы колёс вагонов.

Дальнейшее исследование указанных направлений представляется превалярующим в выявлении физической природы изнашивания колёсных пар и позволит разработать технически грамотные и ре-

ализуемые на практике предложения по устранению причин изнашивания и созданию принципиально новых конструктивных решений и повысить срок службы изделия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дефекты и неисправности колёсных пар и буксового узла. [Электронный ресурс]: http://www.вагонник.рф/2018/01/blog-post_21.html. Доступ 04.06.2019.

2. Неисправности колёсных пар подвижного состава. [Электронный ресурс]: <https://poznayka.org/s62361t1.html>. Доступ 04.06.2019.

3. Коржин С. Н. Анализ и выбор технологических решений по повышению износостойкости гребней колёсных пар / Дис... канд. техн. наук. – М.: МГУПС (МИИТ), 2000. – 196 с.

4. Буйносов А. П. Методы повышения ресурса бандажей колёсных пар тягового подвижного состава / Автореф. дис... док. техн. наук. – Екатеринбург, УрГУПС, 2011. – 44 с.

5. Dumpala, R., Chandran, M., Rao, M. S. R. Engineering CVD diamond for machining and tribological applications. JOM, 2015, Vol. 67, No. 7, pp. 1565–1577. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1428-2>.

6. Pefiffer, H., Solf, W. Fortentwicklung des Fristensystems für die Instandhaltung elektrischer Triebfahrzeuge in den Wertatten des Betriebsmaschinen-dienstes des Deutschen Bundesbahn. Elektrische Bahnen, 1978, No. 7, pp. 171–186.

7. Sohst, D., Greschke, K. H. Wirtschaftliche Unterhaltung der elektrischen Lokomotiven im Bahnbetriebswerk. Eisenbahntechnische Praxis, 1979, No. 3, pp. 12–17.

8. ГОСТ. Колёсные подвижные пары железнодорожного подвижного состава. Методы определения показателей прочности. – М.: Межгосударственный стандарт, 2018. – 99 с.

9. Саврухин А. В., Киселёв С. Н., Неклюдов А. Н., Кузьмина Г. Д., Киселёв А. С. Компьютерная диагностика формирования структурного состава при закалке цельнокатаного колеса // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 6. – С. 45–49.

10. Воробьёв А. А., Сорокин П. Г. Исследования напряжённого состояния пятна контакта колеса и рельса. – СПб.: ПГУПС, 2017. – 17 с.

11. Сладковский А. В. Особенности контактного взаимодействия колёс и рельсов с различными профилями // Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2004. – № 8. – С. 4.

12. Тариков Г. П., Акулова Е. М. Определение напряжений под площадкой контакта в системе «рельс–колесо» // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. Машиностроение и машиноведение. – 2015. – № 3. – С. 10–18.

13. Epp, C. J., Fuller, R. N. The influence if suspension characteristics on wheel wear. Prepr. Pap. Conf. Railway Eng. Manag. Assets., 23–25 Sept. 1991, pp. 18–25.

14. Tulecki, A. Renewal of the external profile of the road wheel of wheel sets. Monogr. Techn. Univ., Cracow, 1988, No. 72, pp. 1–59.

15. Феодосьев В. И. Сопrotивление материалов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. – 416 с.

16. Любошиц М. И., Ицкович Г. М. Справочник по сопроtивлению материалов. – Минск: Вышэйш. Шк., 1969. – 464 с. ●

