

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 629.424.027.4:620.19

Г. ВАЙЧУНАС¹, Г. ГЕЛУМБИЦКАС¹, Л. П. ЛИНГАЙТИС^{1*}

^{1*}Фак. «Железнодорожный транспорт», Вильнюсский технический университет Гедиминаса, ул. Ж. Басанавичюса, 28, LT-03224, Вильнюс, Литва, тел. +37 (052) 74 48 05, эл. почта lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА КОЛЕС ТЕПЛОВОЗОВ ПРИ ОБНОВЛЕНИИ ПАРКА

Цель. Провести исследование и выяснить причины появления дефектов на поверхности катания колес грузовых тепловозов серии 2М62 и SIEMENS ER20CF. **Методика.** Путем сопоставления строений локомотивов и условий их эксплуатации найти методы решения этой проблемы. **Результаты.** В ходе изучения характера износа колес было установлено основное различие: на тепловозах 2М62 изнашивается гребень, а на тепловозах SIEMENS ER20CF – поверхность катания колес. После установки на 2М62 системы смазки гребней интенсивность их износа значительно уменьшилась. Новые грузовые тепловозы SIEMENS ER20CF уже оснащены такими системами, однако изнашивается поверхность катания. Как на локомотивах серии 2М62, так и на локомотивах серии SIEMENS ER20CF больше всего изнашивается профиль катания колес первой колесной пары. После достижения пробега в 170 тысяч километров поверхность катания колес некоторых колесных пар начинает крошиться. Возникло подозрение, что причиной такого крошения может быть недостаточная/избыточная твердость или неподходящий химический состав поверхности колеса. С целью подтвердить или опровергнуть это подозрение были выполнены: осмотровое исследование поверхности обода; исследование твердости металла колеса; анализ документов по изготовлению колес и сравнение их с полученными результатами измерения твердости колеса. **Практическая значимость.** Техническое состояние тепловозов является одной из основ надежности и безопасности движения подвижного состава, а уменьшение степени износа их колесных пар значительно сокращает эксплуатационные расходы железнодорожного транспорта. В результате исследований можно сделать такой вывод: нет оснований утверждать, что соотношение твердости колесо–рельс могло быть причиной выкрашивания поверхности колеса.

Ключевые слова: тепловоз; колесная пара; колесо; металл; твердость; износ

Введение

После распада Советского Союза на Литовских железных дорогах эксплуатировались грузовые тепловозы серии 2М62. При этом одной из наиболее типичных проблем был износ гребней колес из-за трения о рельсы при прохождении кривых. В связи с этим каждые 100–125 тысяч километров пробега нужно было исправлять профиль катания колеса путем его обточки. Отчасти эта проблема была решена за счет установки на тепловозах системы смазки гребней, что увеличило пробег колес между

обточками до 30 процентов (в зависимости от условий эксплуатации). По достижении тепловозами 2М62 30-летнего возраста их постепенно заменили на произведенные в Германии тепловозы SIEMENS серии ER20CF. На колесах некоторых из этих локомотивов после 170 тысяч километров пробега были обнаружены дефекты поверхности катания. Для установления причин их возникновения и были выполнены исследования.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Цель

Целью данной работы является выполнение исследований и выяснение причин появления дефектов на поверхности катания колес грузовых тепловозов серии 2М62 и SIEMENS ER20CF.

Методика

В ходе исследований сначала были сопоставлены строение и условия эксплуатации ранее использованных тепловозов 2М62 и новых локомотивов SIEMENS ER20CF (рис. 1).

На рис. 1 видно, что оба локомотива (изучалось по одной секции) являются шестиосными. Поэтому можно предположить, что нагрузка на колеса и их эксплуатация (учитывая ускорения, а также прохождение кривых) должны быть аналогичны. Дальнейшая цель исследования – сравнить особенности износа колес локомотивов 2М62 и SIEMENS ER20CF: характер износа, очередность износа (по очередности колесных пар на локомотиве), ресурс колеса. Изучив строение локомотивов, следует выяснить, являются ли дефекты колес типичными (рис. 2) или они уникальны.

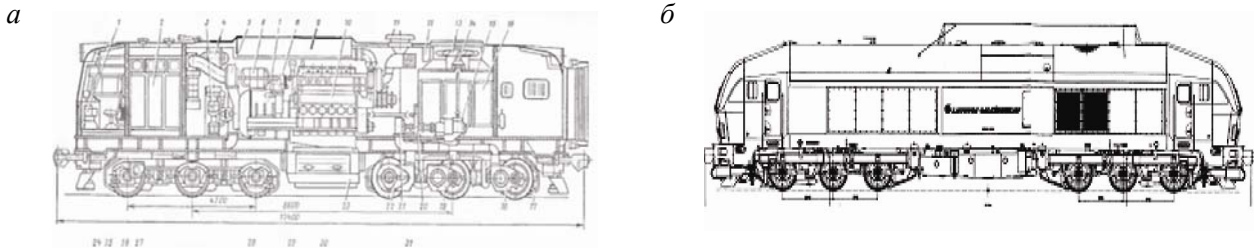


Рис. 1. Локомотивы серии 2М62 (а); SIEMENS ER20CF (б)

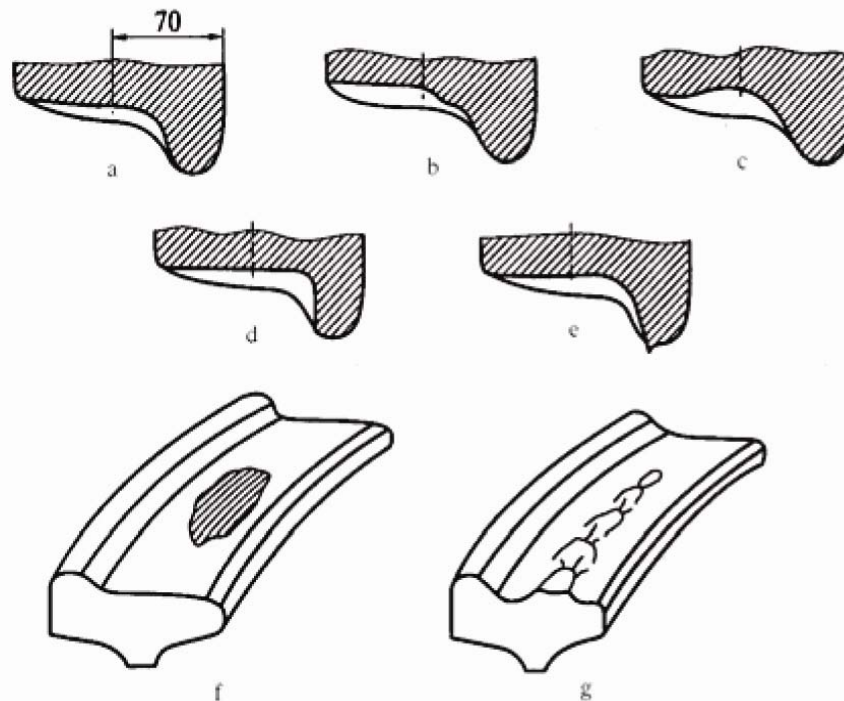


Рис. 2. Традиционные дефекты профиля колес:

a – равномерный износ; *b, c* – ступенчатый износ (из-за разницы диаметров колес); *d* – вертикальный износ гребня (из-за разницы диаметров колес, характерный в кривых участках); *e* – острый износ гребня (из-за трения о рельсы при прохождении кривых); *f* – ползун (из-за проскальзывания колеса); *g* – «навар» (из-за проскальзывания при торможении)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

В результате исследований характера износа колес локомотивов установлено основное различие: на 2М62 изнашивается гребень (см. рис. 2, е), а на локомотиве SIEMENS ER20CF – поверхность катания колеса (такой износ не был найден среди типичных). После установки на локомотивах 2М62 системы смазки гребней интенсивность их износа заметно уменьшилась (рис. 3).

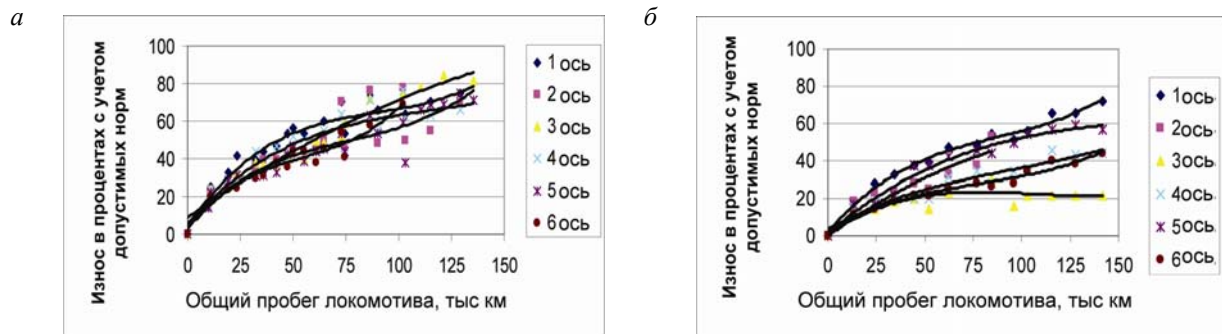


Рис. 3. Интенсивность износа колесных пар локомотива серии 2М62:
а – без смазки; б – со смазкой гребней колес

Сравнивая интенсивность износа колесных пар локомотивов 2М62 без смазки и со смазкой гребней их колес (см. рис. 3), видно, что при смазке не только уменьшается интенсивность износа, но и можно проследить зависимость износа от месторасположения колесной пары в локомотиве.

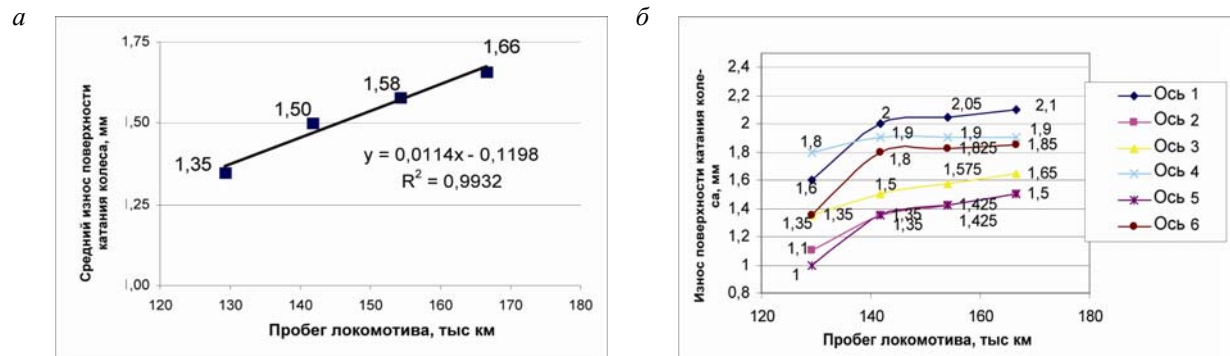


Рис. 4. Износ поверхности катания колеса локомотива SIEMENS серии ER20CF

Более всего изнашиваются гребни колес первой оси, а менее – третьей. Такая закономерность объясняется тем, что гребень колеса первой оси более всего нагружен эксцентрической силой при прохождении локомотивом кривых, а третьей – наименее. Заменив 2М62 на произведенные в Германии тепловозы SIEMENS серии ER20CF, проблема износа гребней колесных пар перестала быть столь

острой, поскольку на новых тепловозах имеются установленные на заводе системы смазки гребней колесных пар, помимо этого подвеска тепловоза собрана точнее и качественнее. Однако изнашивается поверхность катания. Интенсивность износа поверхности катания колеса локомотива SIEMENS ER20CF и его зависимость от месторасположения колесной пары в локомотиве показаны на рис. 4, а и б соот-

ветственно. Из него видно, что колесные пары локомотива SIEMENS ER20CF изнашиваются в таком порядке: 1, 4, 6, 3, 5, 2. Иначе говоря, как у 2М62, так и у SIEMENS ER20CF наиболее изнашивается профиль колес первой колесной пары. Однако после 170–200 тысяч километров пробега выяснилось, что не это является

самой большой проблемой колесных пар тепловоза SIEMENS ER20CF. По достижении указанного предела пробега тепловоза начинает крошиться поверхность катания некоторых его колесных пар (рис. 5).

На рис. 5 видно, что эксплуатировать колеса с такими дефектами невозможно. Обточив до 5 миллиметров металла, можно восстановить профиль поверхности колеса и эксплуатировать

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

его дальше. В связи с этим уменьшается диаметр катания колеса. Так как разница диаметра колес тепловоза регламентирована, то, обточив одно колесо после крошения, приходится обтачивать и другие (еще 11 колес). Таким образом, в сумме получают большие убытки ресурса колес, не говоря уже об убытках ресурса токарного станка, стачиваемого металла и рабочего времени работников.



Рис. 5. Дефекты поверхности колеса, возникающие после 170–200 тысяч километров пробега

Было предположено, что причинами крошения поверхности колеса могут являться неподходящая твердость колеса или его химический состав. С целью подтвердить или опровергнуть это предположение были выполнены: осмотрное исследование поверхности обода колеса; исследование твердости металла колеса; анализ документов по производству колес и сравнение их с полученными результатами измерения твердости колеса. Твердость (твердость Бринелля) поверхности катания колеса измерялась с использованием твердомера DinaMIC. Металлическая поверхность испытуемого колеса сточена до плоской поверхности. Твердость измерена в 8 зонах поверхности катания колеса (рис. 6).

Поверхность разделена на зоны для удобства измерения, результаты измерения представлены по расстоянию от внутреннего края колеса. Расстояние первой зоны от внутреннего края составляет 60 мм, второй – 70 и так каждые 10 мм. В каждой зоне с одинаковым интервалом выполнено по 5 измерений твердости. Для каждой зоны вычислено арифметическое

среднее. Обобщенные результаты измерений (изменение твердости поверхности колеса в зависимости от расстояния от внутреннего края) показаны на рис. 7.

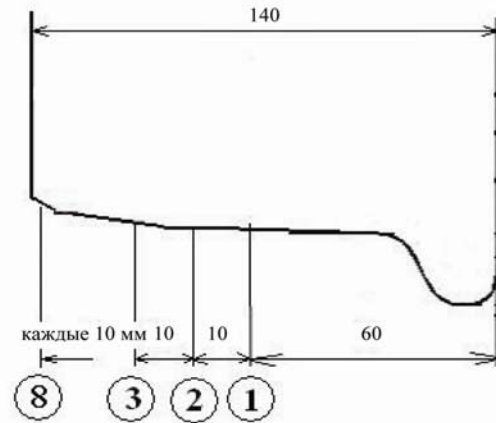


Рис. 6. Зоны измерения твердости поверхности катания колес

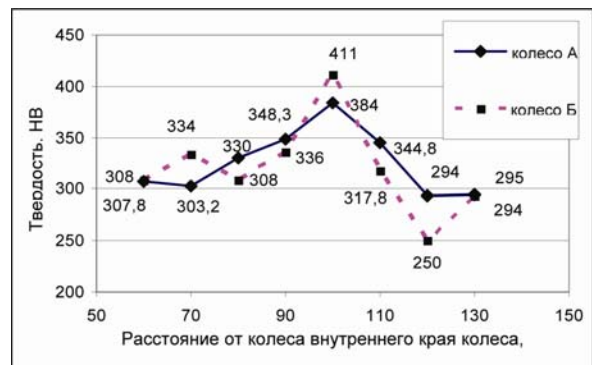


Рис. 7. Изменение твердости поверхности колеса в зависимости от расстояния от внутреннего края (согласно техническим паспортам тепловозов твердость поверхности их колес колеблется от 279 до 292 НВ, что удовлетворяет требованиям EN13262-2004)

В соответствии с ГОСТ 398-96 твердость, в зависимости от марки стали, должна быть 269–275 НВ. Анализируя рис. 5, замечаем, что наибольшая твердость изучаемого колеса (411 и 384 НВ) находится не в центре катания (расстояние от внутреннего края составляет 70 мм), а на 30 мм дальше. Зона повышенной твердости находится примерно на расстоянии 90...110 мм от внутреннего края колеса. Это соответствует зоне появления большинства трещин. Поэтому можно предположить, что трещины, вызвавшие выкрашивание, появились из-за повышения

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

твердості деформуємого металла.

Твердість бокової поверхні колеса вимірюється в 8 зонах (рис. 8). Результати вимірювання показані на рис. 9 і 10.

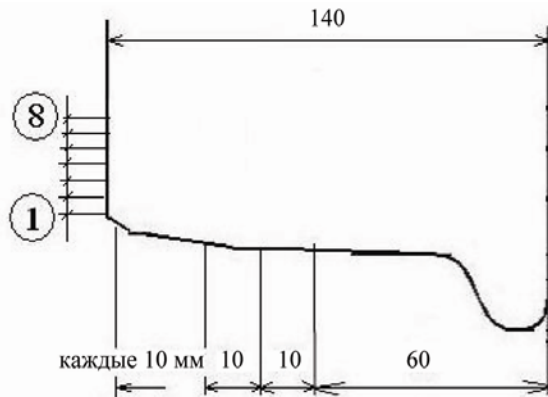


Рис. 8. Схема вимірювання твердості бокової поверхні колеса:
1, ..., 8 – зони вимірювання твердості

При порівнянні двох діаграм твердості на боковій поверхні колес видно, що, незважаючи на те, що вони різняться, у них є загальна черта: по мірі удалення від краю поверхні катання колеса твердість зменшується. Під поверхнею катання (на глибині від 5 до 25 мм) зменшення твердості становить в середньому 1,5 НВ/мм. Тем не менше, ніде твердість не буває нижче 255 НВ, значить, при виробстві колеса було дотримано вимоги по твердості стандарту EN13262-2004.

Після обточки поверхні катання колеса її твердість була виміряна знову. Твердість на поверхні катання колес (починаючи від центру – 70 мм і продвигаючись до зовнішньої сторони колеса) розподілена майже рівномірно, однак у зоні, де до обточки було збільшення твердості металу і тріщини (20–32 мм від центру катання), після обточки також спостерігається збільшення твердості до 50 НВ (рис. 11).

В документах регламентується така твердість металу колеса:

Технічний паспорт 286 і 284 НВ
ГОСТ 398-96, не менше 269–275 НВ
EN 13262-2004, не менше 255 НВ
Твердість головки рейса до 401 НВ

По виписці з технічного паспорта видно, що твердість металу колес тепловозів SIEMENS ER20CF коливається від 280 до 292 НВ (она відповідає вимогам стандарту EN 13262-2004 – не менше ніж 255 НВ), а твердість металу 2 досліджуваних колес колесної пари – 286 і 284 НВ. По ГОСТ 398-96 твердість, в залежності від марки сталі, повинна бути не менше ніж 269 і 275 НВ. Стандарти ГОСТ 398-96 і EN 13262-2004 регламентують тільки нижній межу твердості металу колеса. Формально твердість колеса задовольняє вимогам обох стандартів. По тому робити припущення, що (з точки зору твердості металу) колесо може бути не сумісним з рейсами, виготовленими по ГОСТам, немає підстав.



Рис. 9. Розподіл твердості на боковій поверхні колеса А

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

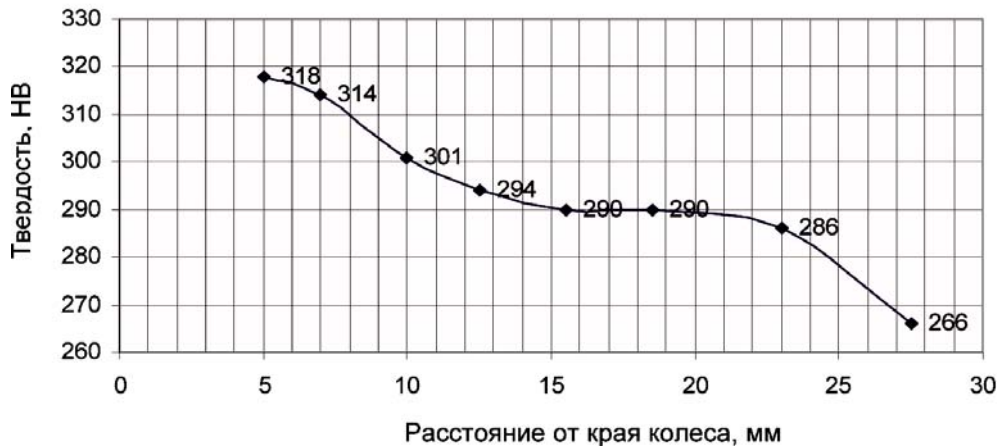


Рис. 10. Розподілення твердості на беговій поверхні колеса Б

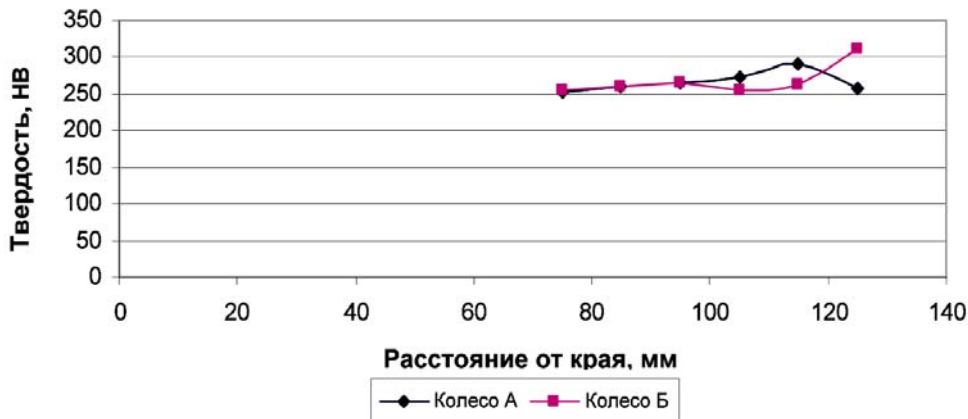


Рис. 11. Розподілення твердості на поверхні катання колес

Результати

Изучив характер износа колес, было установлено основное различие: на тепловозах 2М62 изнашивается гребень, а на тепловозах SIEMENS ER20CF – поверхность катания колес. После установки на 2М62 системы смазки гребней интенсивность их износа значительно уменьшилась. Новые грузовые тепловозы SIEMENS ER20CF уже оснащены такими системами смазки гребней колесных пар, однако изнашивается поверхность катания. Как на локомотивах серии 2М62, так и на локомотивах серии SIEMENS ER20CF больше всего изнашивается профиль катания колес первой колесной пары. После достижения пробега в 170 тысяч километров поверхность катания колес некоторых колесных пар начинает крошиться. Возникло подозрение, что причиной такого крошения может быть недостаточная/избыточная твердость или неподходящий

химический состав поверхности колеса. С целью подтвердить или опровергнуть это подозрение были выполнены: осмотрное исследование поверхности обода; исследование твердости металла колеса; анализ документов по изготовлению колес и сравнение их с полученными результатами измерения твердости колеса.

Практическая значимость

Техническое состояние тепловозов является одной из основ надежности и безопасности движения подвижного состава, а уменьшение степени износа их колесных пар значительно сокращает эксплуатационные расходы железнодорожного транспорта. Выполнив исследования, можно сделать такой вывод: нет оснований утверждать, что соотношение твердости колесо–рельс могло быть причиной выкрашивания поверхности колеса.

Выводы

1. В соответствии с техническими паспортами тепловозов SIEMENS ER20CF твердость металла их колес колеблется от 280 до 292 НВ (она соответствует требованиям EN 13262-2004 – не менее чем 255 НВ). По стандарту ГОСТ 398-96 твердость, в зависимости от марки стали, должна быть не менее чем 269–275 НВ. Следовательно, твердость металла колес удовлетворяет требованиям ГОСТ 398-96.

2. Стандарты ГОСТ 398-96 и EN 13262-2004 регламентируют только нижний предел твердости металла колеса. Формально твердость колеса удовлетворяет требованиям обоих стандартов. Поэтому делать предположение, что (с точки зрения твердости металла) колесо может быть не совместимо с рельсами, изготовленными по стандартам, нет основания.

3. Самые большие значения твердости поверхности катания изучаемых колес до обточки были соответственно 411 и 384 НВ, когда согласно техническим паспортами тепловозов твердость поверхности их колес колеблется от 280 до 300 НВ.

4. Наибольшая твердость изучаемого колеса находится не в центре катания, а на 30 мм дальше. Зона повышенной твердости совпадает с зоной возникновения большинства трещин.

5. По мере углубления от поверхности катания колеса твердость уменьшается. На глубине от 5 до 25 мм уменьшение твердости составляет в среднем 1,5 НВ/мм.

6. Твердость металла колеса нигде не бывает ниже 255 НВ, значит, при производстве колеса было соблюдено требование по твердости стандарта EN13262-2004.

7. Механизм износа колеса является следующим. Во время долгосрочной эксплуатации колес происходит накопление пластической деформации. Как известно, при пластической деформации в металле возрастает плотность дислокаций. Новые дислокации возникают из-за внутренних источников, наиболее известный из них источник Франка-Рида. Рост плотности дислокаций способствует постоянному увеличению твердости металла, которое сопровождается увеличением его хрупкости. Вследствие этого на поверхности колес в зоне максимальной твердости образуются микротрещины. При дальнейшей эксплуатации эти микротрещины становятся

ся макротрещинами. Далее происходит крошение металла. Этот факт был подтвержден визуальным осмотром и цветной дефектоскопией.

8. В результате выполненных исследований нет основания утверждать, что соотношение твердости колесо–рельс могло стать причиной крошения поверхности колеса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасов, А. М. Анализ влияния условий сцепления на фактор износа гребней колесных пар локомотивов / А. М. Афанасов, А. И. Кийко, С. В. Арпуль // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 71–74.
2. Вакуленко, Л. И. Оценка влияния содержания углерода в стали на формирование дефектов на поверхности катания железнодорожных колес / Л. И. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 226–229.
3. Грищенко, М. А. Причины виникнення дефектів на поверхні кочення залізничних коліс / М. А. Грищенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 27. – С. 223–225.
4. Грищенко, М. А. Систематизація дефектів залізничних коліс / М. А. Грищенко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2008. – Вип. 24. – С. 199–200.
5. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации / А. И. Бабаченко, П. Л. Литвиненко, А. В. Книш и др. // Залізн. трансп. України : науково-практ. журн. – 2010. – № 5. – С. 35–38.
6. Рухлов, И. В. Влияние повышения твердости колеса на количество дефектов на его поверхности катания и интенсивность износа гребня / И. В. Рухлов // Техническая механика. – 2011. – № 1. – С. 12–17.
7. Determining Major Factors Causing the Wear of Wheelset Tyres / G. Vaičiūnas, V. Gediminas, L. P. Lingaitis, Š. Mikaliūnas // Solid State Phenomena. – 2006. – Vol. 113. – P. 425–428.
8. Dukkipati, R. V. Independently rotating wheel systems for railway vehicles / R. V. Dukkipati, S. Narayanaswamy, M. O. M. Osman // Vehicle System Dynamics. – 1992. – Vol. 21, № 5. – P. 297–327.
9. Fang, L. An explanation of the relation between wear and material hardness in three-body abrasion / L. Fang, Q. D. Zhou // Wear. – 1991. – Vol. 151. – P. 313–321.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

10. Lingaitis, L. P. Research on railway traction rolling stocks tyres wear / L. P. Lingaitis, Š. Mikaliūnas, G. Vaičiūnas // *Mechatronic Systems and Materials MSM : proc. of International Conference (20–23 October 2005)*. – Vilnius : Technika, 2005. – 123 p.
11. Lingaitis, L. P. The analysis of wear intensity of lubricated and unlubricated locomotive wheel sets flanges / L. P. Lingaitis, Š. Mikaliūnas, G. Vaičiūnas // *Transport*. – 2004. – Vol. XIX, №. 1. – P. 32–36.
12. Lingaitis, L. P. The analysis of wear intensity of the locomotive wheel - sets / L. P. Lingaitis, Š. Mikaliūnas, G. Vaičiūnas // *Eksplotacija i niezawodność*. – 2004. – № 3. – P. 23–28.
13. Povilaitienė, I. Influence of Geometrical Parameters of Railway Gauge upon Rail Durability on Curves : summary of Doctoral Dissertation / Inesa Povilaitienė. – Vilnius : Technika, 2004. – 32 p.

Г. ВАЙЧУНАС¹, Г. ГЕЛУМБИЦКАС¹, Л. П. ЛИНГАЙТИС^{1*}

^{1*}Фак. «Залізничний транспорт», Вільнюський технічний університет Гедимінаса, вул. Ж. Басанавічюса, 28, LT-03224, Вільнюс, Литва, тел. +37 (052) 74 48 05, ел. пошта lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

ПРОБЛЕМИ ЗНОСУ КОЛІС ТЕПЛОВОЗІВ ПРИ ОНОВЛЕННІ ПАРКУ

Мета. Виконати дослідження та з'ясувати причини появи дефектів на поверхні катання коліс вантажних тепловозів серії 2М62 і SIEMENS ER20CF. **Методика.** Шляхом зіставлення будов локомотивів та умов їх експлуатації знайти методи вирішення цієї проблеми. **Результати.** У ході вивчення характеру зносу коліс було встановлено основну різницю: на тепловозах 2М62 зношується гребінь, а на тепловозах SIEMENS ER20CF – поверхня катання коліс. Після установки на 2М62 системи змащення гребенів інтенсивність їхнього зносу значно зменшилася. Нові вантажні тепловози SIEMENS ER20CF вже оснащені такими системами, однак зношується поверхня катання. Як на локомотивах серії 2М62, так і на локомотивах серії SIEMENS ER20CF найбільше зношується профіль катання коліс першої колісної пари. Після досягнення пробігу 170 тисяч кілометрів поверхня катання коліс деяких колісних пар починає кришитися. Виникла підозра, що причиною цього може бути недостатня/надлишкова твердість або невідповідний хімічний склад колеса. З метою підтвердити або спростувати цю підозру були виконані: оглядове дослідження поверхні обода; дослідження твердості металу колеса; аналіз документів з виготовлення коліс і порівняння їх з отриманими результатами вимірювання твердості колеса. **Практична значимість.** Технічний стан тепловозів є однією з основ надійності та безпеки руху рухомого складу, а зменшення ступеня зносу їх колісних пар значно скорочує експлуатаційні витрати залізничного транспорту. Виконавши дослідження, встановлено, що немає підстав стверджувати, що співвідношення твердості колесо–рейка могло бути причиною викришування поверхні колеса.

Ключові слова: тепловоз; колісна пара; колесо; метал; твердість; знос

G. VAYCHUNAS¹, G. GELUMBITSKAS¹, L. P. LINGAYTIS^{1*}

^{1*}Fac. «Railway Transport», Vilnius Gediminas Technical University, J. Basanavichyus Str., 28, LT-03224, Vilnius, Lithuania, tel. + 37 (052) 74 48 05, e-mail lionginas.liudvinavicius@vgtu.lt

PROBLEMS OF LOCOMOTIVE WHEEL WEAR IN FLEET REPLACEMENT

Purpose. To conduct a research and find out the causes of defects appearing on the wheel thread of freight locomotives 2M62 and SIEMENS ER20CF. **Methodology.** To find the ways to solve this problem comparing the locomotive designs and their operating conditions. **Findings.** After examining the nature of the wheel wear the main difference was found: in locomotives of the 2M62 line wears the wheel flange, and in the locomotives SIEMENS ER20CF – the tread surface. After installation on the 2M62 locomotive the lubrication system of flanges their wear rate significantly decreased. On the new freight locomotives SIEMENS ER20CF the flange lubrication systems of the wheel set have been already installed at the factory, however the wheel thread is wearing. As for locomotives 2M62, and on locomotives SIEMENS ER20CF most wear profile skating wheels of the first wheel set. On both locomotive lines the 2M62 and the SIEMENS ER20CF the tread profile of the first wheel set most of all is subject to the wear. After reaching the 170 000 km run, the tread surface of some wheels begins to crumble. There was a sus-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

picion that the reason for crumb formation of the wheel surface may be insufficient or excessive wheel hardness or its chemical composition. In order to confirm or deny this suspicion the following studies were conducted: the examination of the rim surface, the study of the wheel metal hardness and the document analysis of the wheel production and their comparison with the results of wheel hardness measurement. **Practical value.** The technical condition of locomotives is one of the bases of safety and reliability of the rolling stock. The reduction of the wheel wear significantly reduces the operating costs of railway transport. After study completion it was found that there was no evidence to suggest that the ratio of the wheel-rail hardness could be the cause of the wheel surface crumbling.

Keywords: locomotive; wheel set; wheel; metal; hardness; wear

REFERENCES

1. Afanasov A.M., Kiyko A.I., Arpul S.V. Analiz vliyaniya usloviy stsepleniya na faktor iznosa grebney kole-snykh par lokomotivov [Impact analysis of the cohesion conditions on the wear factor of s locomotive wheel flanges]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 71-74.
2. Vakulenko L.I., Nadezhdin Yu.L. Otsenka vliyaniya soderzhaniya ugleroda v stali na formirovaniye defektov na poverkhnosti kataniya zheleznodorozhnykh koles [Influence evaluation of the carbon content in the steel on the formation of the wheel thread defects]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 226-229.
3. Hryshchenko M.A. Prychyny vynyknennia defektiv na poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis [Causes of defect arising on the wheel thread]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 27, pp. 223-225.
4. Hryshchenko M.A. Systematyzatsiia defektiv zaliznychnykh kolis [Systematization of the wheel defects]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2008, issue 24, pp. 199-200.
5. Babachenko A.I., Litvinenko P.L., Knish A.V., Dementeva Zh.A., Khulin A.M., Shpak O.A. Issledovaniye prichin obrazovaniya defektov na poverkhnosti kataniya vysokoprochnykh koles v protsesse ekspluatatsii [Research of causes of defects arising on the tread surface of high-impact wheels during operation]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway Transport of Ukraine*, 2010, no. 5, pp. 35-38.
6. Rukhlov I.V. Vliyaniye povysheniya tverdosti koleasa na kolichestvo defektov na yego poverkhnosti kataniya i intensivnost iznosa grebnya [Impact of hardening of the wheel on the defects number on its tread and the flange wear rate]. *Tekhnicheskaya mekhanika – Technical Mechanics*, 2011, no. 1, pp. 12-17.
7. Vaičiūnas G., Gediminas V., Lingaitis L.P., Mikaliūnas Š. Determining Major Factors Causing the Wear of Wheelset Tyres. *Solid State Phenomena*, 2006, vol. 113, pp. 425-428
8. Dukkupati R.V., Narayanaswamy S., Osman M.O.M. Independently rotating wheel systems for railway vehicles. *Vehicle System Dynamics*, 1992, vol. 21, no. 5, pp. 297-327.
9. Fang L., Zhou Q.D. An explanation of the relation between wear and material hardness in three-body abrasion. *Wear*, 1991, vol. 151, pp. 313-321.
10. Lingaitis L.P., Mikaliūnas Š., Vaičiūnas G. Research on railway traction rolling stocks tyres wear. Proc. of Int. Conf. "Mechatronic Systems and Materials MSM". Vilnius, 2005, pp. 123.
11. Lingaitis L.P., Mikaliūnas Š., Vaičiūnas G. The analysis of wear intensity of lubricated and unlubricated locomotive wheel sets flanges. *Transport*, 2004, vol. XIX, no. 1, pp. 32-36.
12. Lingaitis L.P., Mikaliūnas Š., Vaičiūnas G. The analysis of wear intensity of the locomotive wheel – sets. *Eksploatacja i niezawodność*, 2004, no. 3, pp. 23-28.
13. Povilaitienė, I. Influence of Geometrical Parameters of Railway Gauge upon Rail Durability on Curves: summary of Doctoral Dissertation. Vilnius, Technika Publ., 2004. 32 p.

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. В. Л. Горбцом (Украина); д.т.н., проф. С. В. Мямлиным (Украина)

Поступила в редколлегию 08.04.2013.

Принята к печати 18.07.2013.