

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 691.891

doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-41-48

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УВЕЛИЧЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОЛЕС ПАССАЖИРСКОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

Дмитрий Геннадьевич Евсеев^{1✉}, Владимир Павлович Бирюков², Юрий Михайлович Куликов³, Антон Алексеевич Якубовский⁴

^{1,3} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

^{2,4} Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия

¹ evseev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0020-1297>

² laser-52@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9278-6925>

³ kulikov.yu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1998-2211>

⁴ anton.at444@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9721-2525>

Аннотация

Выполнен обзор отцепов пассажирских вагонов по причине износовых повреждений поверхности катания колесной пары в 2022 году. Установлено, что наиболее типичным повреждением является выщербина. Анализ методов восстановления профиля катания колес показал, что в качестве перспективного может быть применен метод колесофрезерной обработки торцевой фрезой. Для оценки эффективности метода проведены сравнительные металлографические и трибологические исследования образцов колес, подвергнутых точению и фрезерной обработке. По результатам иссле-

дования установлено что при обработке образцов колесной стали методом торцевого фрезерования, их износостойкость на 22% выше, по сравнению образцами, обработанными методом точения, интенсивность изнашивания образцов рельсовой стали ниже в паре трения с фрезерованными образцами, чем с точеными образцами за счет снижения коэффициента трения фрезерованных образцов.

Ключевые слова: колесо, пассажирский вагон, износ, фрезерование, срок службы, обработка, транспорт.

Ссылка для цитирования:

Евсеев Д.Г. Технологические методы увеличения долговечности колес пассажирского железнодорожного вагона / Д.Г. Евсеев, В.П. Бирюков, М.Ю. Куликов, А.А. Якубовский // Транспортное машиностроение. – 2024. – №3. – С. 41-48. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-41-48.

Original article

Open Access Article

TECHNOLOGIES FOR INCREASING THE DURABILITY OF PASSENGER CAR WHEELS

Dmitry Gennadievich Evseev^{1✉}, Vladimir Pavlovich Biryukov², Yury Mikhailovich Kulikov³, Anton Alekseevich Yakubovskiy⁴

^{1,3} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

^{2,4} Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹ evseev@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0020-1297>

² laser-52@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9278-6925>

³ kulikov.yu@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1998-2211>

⁴ anton.at444@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9721-2525>

Abstract

The cut of passenger cars due to wear damage to the rolling surface of the wheelset in 2022 is considered. It is found out that the most typical damage is a shelled tread. An analysis of the methods for restoring the rolling profile of wheels showed that the wheel milling with an end mill can be used as a promising one. To assess the effectiveness of the method, metallographic and tribological studies of wheel samples subjected to turning and milling are compared. Accord-

ing to the study results, it is found that when machining samples of wheel steel by end milling, their wear resistance is 22% higher, compared with samples machined by turning, the wear rate of samples of rail steel is lower in a friction pair with milled samples than with turned samples due to a decrease in the friction factor of milling samples.

Keywords: wheel, passenger car, wear, milling, service life, machining, transport.

Reference for citing:

Evseev DG, Biryukov VP, Kulikov MYu, Yakubovsky AA. Technologies for increasing the durability of passenger car wheels. Transport Engineering. 2024;3:41-48. doi: 10.30987/2782-5957-2024-3-41-48.

Введение

Железнодорожный транспорт играет значительную роль в перевозке грузов и пассажиров во всем мире. Колесные пары являются одним из наиболее важных элементов в безопасности и эффективности работы поездов, поэтому повышение долговечности колес имеет прямое влияние на надежность и эффективность всей системы.

Состояние колесных пар подвижного состава в эксплуатации во многом опреде-

ляет безопасность железнодорожных перевозок. При этом большое влияние на плавность и допустимую скорость движения вагонов оказывает точность и качество механической обработки, используемой при их ремонте.

В данной статье предлагается использовать метод торцевого фрезерования вместо традиционной колесотокарной обработки.

Виды износа

В соответствии с руководящим документом по ремонту колесных пар с буксовыми узлами пассажирских вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм [1] выделяются следующие виды износа поверхности катания колесной пары: круговой наплыв (раздав), выщербина, кольцевая выработка, навар, неравномерный прокат, ползун, тонкий обод, уширение обода, равномерный прокат.

Данный вид восстановления является одним из самых распространенных видов обслуживания железнодорожного подвижного состава, в том числе пассажирских вагонов. Так за 2022 год всего было отцеплено 10903 вагона по различным эксплуатационным дефектам.

Кроме того, наблюдаются износы гребня цельнокатаного колеса, которые образуются вследствие интенсивного взаимодействия с головкой рельса. Этот процесс интенсифицируется при ненормальной работе колесной пары, вызываемой

неправильной установкой колесной пары в тележке, значительной разницей диаметров кругов катания колес одной колесной пары, несимметричной посадкой колес на ось, а также из-за сужения рельсовой колеи. Во всех случаях колесная пара перекашивается в рельсовой колее и увеличивается частота наката гребня на боковую грань головки рельса.

Различают три вида износов гребней: равномерный износ, вертикальный подрез, остроконечный накат, тонкий гребень.

Наиболее часто встречающимся видом износа поверхности катания колесной пары пассажирского вагона является выщербина, представляющая собой местное разрушение в виде выкрашивания металла.

Изношенные в процессе эксплуатации поверхности катания колесной пары исправляются путем их механической обработки со снятием дефектного изношенного слоя.

The number of uncoupling wagons for operational defects

2022			
1 квартал		3 квартал	
Круговой наплыв (раздав)	294	Круговой наплыв (раздав)	447
Выщербина	1520	Выщербина	1118
Кольцевая выработка	36	Кольцевая выработка	25
Навар	89	Навар	68
Неравномерный прокат	27	Неравномерный прокат	16
Ползун	92	Ползун	69
Тонкий обод	36	Тонкий обод	24
Уширение обода	66	Уширение обода	132
Остроконечный накат	216	Остроконечный накат	290
Равномерный прокат	690	Равномерный прокат	234
Тонкий гребень	140	Тонкий гребень	143
<i>Итого</i>	3206	<i>Итого</i>	2566
2 квартал		4 квартал	
Круговой наплыв (раздав)	385	Круговой наплыв (раздав)	244
Выщербина	921	Выщербина	1419
Кольцевая выработка	30	Кольцевая выработка	51
Навар	33	Навар	102
Неравномерный прокат	21	Неравномерный прокат	32
Ползун	39	Ползун	159
Тонкий обод	30	Тонкий обод	30
Уширение обода	159	Уширение обода	101
Остроконечный накат	197	Остроконечный накат	219
Равномерный прокат	374	Равномерный прокат	266
Тонкий гребень	130	Тонкий гребень	189
<i>Итого</i>	2319	<i>Итого</i>	2812
Общее количество 10903			

Методы восстановления профиля катания колес

Среди методов формообразования поверхности катания широкое распространение получила колесотокарная обработка. Данным методом формообразования подвергаются 100% колесных пар пассажирских вагонов и 70% колесных пар локомотивного парка. Но несмотря на широкое распространение данный вид обработки имеет ряд существенных недостатков, такие как:

– данный метод формообразования имеет низкую производительность (45...60 м/мин). Указанные показатели связаны с несбалансированностью колесных пар и нестационарностью процесса

резания, вследствие колебаний сечения срезаемого слоя;

– в связи с необходимостью снятия больших припусков, снижается жизненный цикл колесной пары вагона;

– низкая стойкость режущего инструмента без применения износостойких покрытий, что существенно увеличивает себестоимость ремонта колесной пары вагона;

– снятие материала с большими глубинами резания и подачами вызывает нагрев поверхностного слоя (до температур 850...1000 °С), что негативно сказывается на внутренних напряжениях и уста-

лостной прочности поверхности катания колесной пары вагона

– при обточке колесной пары данным методом возникает сливная стружка, которая ставит проблемы её удаления, а также её утилизации.

Также, для ремонта колесных пар электроподвижного состава применяется колесофрезерная обработка фасонными фрезами. Однако, колесофрезерная обработка фасонными фрезами имеет ряд недостатков.

Торцевое фрезерование колесных пар

Для увеличения эффективности колесообрабатывающей обработки предлагается использовать метод колесофрезерной обработки торцевой фрезой.

По сравнению с традиционным точением данный метод имеет ряд преимуществ, заключающихся в более высокой производительности и отсутствии сливного стружкообразования [2].

При торцевом фрезеровании возрастает число возможных обработок за счет уменьшения глубины резания по кругу катания и пробег колесной пары на 1 мм проката за счет сохранения наклепанного слоя, в результате чего общий срок службы колесной пары увеличивается приблизительно в 3 раза [2]. В прошлом веке помимо традиционной колесотокарной обработки предлагалось использовать и колесофрезерную обработку. Однако, в связи с несовершенством технологий и станочного оборудования того времени, а также в связи с невозможностью обрабатывать весь профиль поверхности катания колесной пары, данный метод не нашел широкого распространения в сфере ремонта.

К основным достоинствам фрезерной обработки относятся:

– по сравнению с колесотокарной обработкой, фрезерная обработка обладает

Материалы и методы

Для экспериментов использовали образцы колесной стали марки 2 изготовленные в виде втулок с пазами рис. 1 для передачи крутящего момента с обработкой их торцевой поверхности точением и фрезерованием. Металлографические исследования выполняли с применением опти-

Так, например, количество режущих пластин на данных фрезях составляет 124 штуки. Замена каждой из них, при выходе из строя, увеличивает вспомогательное время для обработки 1 колесной пары, что нивелирует, возможность обтачивать колесные пары без выкатки. Однако, данная обработка используется только для обработки профилей катания колес моторвагонов, электровагонов и локомотивов.

повышенной стойкостью инструмента, за счет длины режущей кромки при одновременном резании сразу несколькими зубьями фрезы.

– низкая теплонапряженность процесса по сравнению с колесотокарной обработкой.

– использование более дешевых твердосплавных материалов группы ТК, по сравнению с традиционной обработкой колесных пар. Это связано с возможностью использовать встречное фрезерование для уменьшения динамических ударных воздействий на режущую кромку, что более благоприятно для режущего инструмента.

В настоящее время, в связи с развитием станкостроения и повсеместным использованием станков с ЧПУ, возможно применить метод торцевого фрезерования для обработки поверхности катания колесных пар вагонов.

Однако данный метод позволяет вести обработку только при небольших глубинах резания (1,0...1,5 мм) что соизмеримо с предельной толщиной допустимого дефектного слоя у пассажирских железнодорожных вагонов.

ческой системы МС 1000, микротвердомера ПМТ-3 с нагрузкой 0,98 Н. Микрошлифы изготавливали по стандартной методике, для травления использовали 3 % водный раствор азотной кислоты.

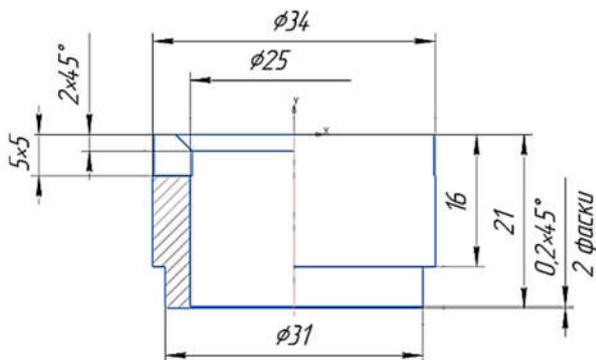


Рис. 1 Образцы колесной стали марки 2
Fig. 1 Samples of wheel steel grade 2

Проводились исследования по измерению износостойкости поверхностей образцов стали, используемой для изготовления железнодорожных колес. Триботехнические испытания выполняли по схеме «широкая сторона прямоугольного контрообразца (рельсовая сталь $20 \times 12 \times 70$ мм) – кольцевая поверхность образца втулки из колесной стали» при давлении $0,76$ МПа. На рис. 2 представлена схема испытаний, содержащая контрообразец 1 установленный в ложемент 3 и закрепленный винтами 4, который фиксировался неподвижно штифтами 7 в предметном столике 6 машины трения. Образец 2 устанавливался в оправку 5 и удерживался от поворота штифтами 8. Затем образец 2 с оправкой устанавливался на образец 1 и хвостовик оправки 3 крепится в патрон шпинделя машины трения (на схеме не показан).

Величину линейного изнашивания Δh определяли по методике, изложенной в [5]. В качестве смазочного материала использовали специальную железнодорожную полужидкостную смазку «ПУМА». Интенсивность изнашивания J определяли по формуле:

$$J = \Delta h / L, \quad (1)$$

где Δh – величина линейного износа, мкм; L – путь трения, мкм;

$$L = \pi n t, \quad (2)$$

где $L = d_{\text{ср}} \pi 10^3 = 28 \cdot 3,14 \cdot 10^3 = 87,92 \cdot 10^3$ – длина окружности втулки, мкм; n – частота вра-

щения шпинделя машины трения, мин^{-1} ; $d_{\text{ср}} = (d_{\text{н}} + d_{\text{вн}}) / 2$ – средний диаметр образца втулки; t – время, мин.

$\Delta h = h - h_1 = \text{ctg}(\alpha/2)(b_0 - b_1)$, (3) где h – начальная глубина лунки, мкм; h_1 – глубина изношенной лунки, мкм; b_0 – начальная ширина лунки, мкм; b_1 – ширина изношенной лунки, мкм; α – угол между поверхностями стенок лунки.

Расчеты коэффициентов трения проводили по формуле:

$$f = F_{\text{м. тр.}} R_{\text{шт.}} / P R_{\text{ср. обр.}}, \quad (4)$$

где $F_{\text{м. тр.}}$ – нагрузка на датчик момента трения, Н; $R_{\text{шт.}}$ – расстояние до центра штифта от оси, м; P – нагрузка на образец, Н; $R_{\text{ср. обр.}}$ – средний радиус образца втулки, м.

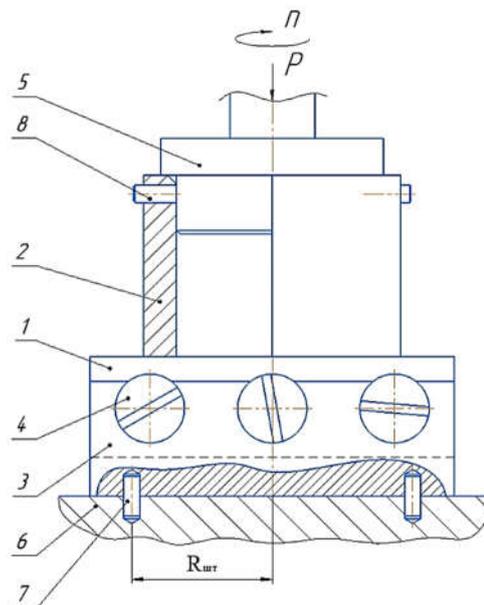


Рис. 2 Схема триботехнических испытаний образцов

Fig. 2 Scheme of tribotechnical testing of samples

Нагрузку на датчик момента трения определяли с помощью тарировочного графика. Для этого показания датчика в мВ переводили в ньютоны Н. Затем по известной нагрузке на образец P (Н) и среднему радиусу образца вычисляли коэффициенты трения.

Толщина слоя с измельченной и пластически деформированной структурой значительно выше для образцов после фрезерования, чем после точения.

Результаты испытаний

Микроструктуры поперечных шлифов образцов представлены на рис. 3 при увеличении 100 крат после фрезерования (рис. 3а) и точения (рис. 3б) колесной ста-

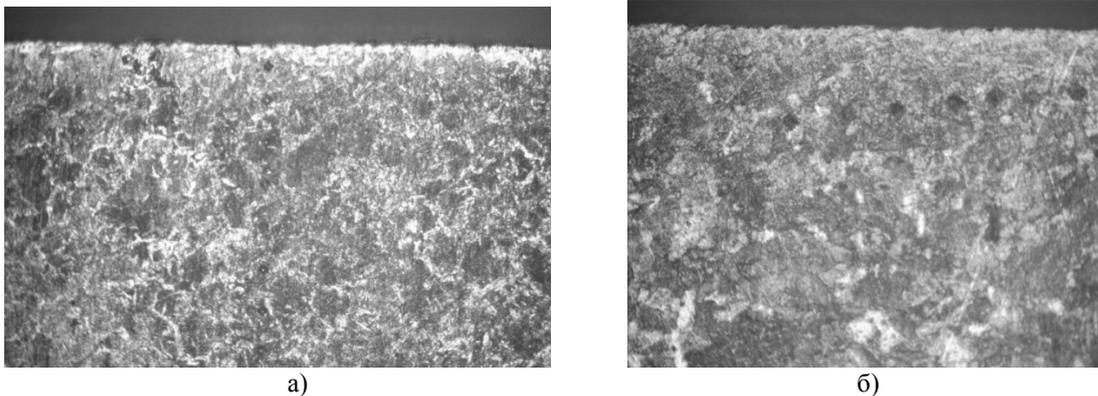


Рис. 3. Микроструктуры модифицированных слоев колесной стали: а – после фрезерования, б – после точения
Fig. 3. Microstructures of modified layers of wheel steel: a – after milling, b – after turning

Результаты средних значений микро- твердости в модифицированных слоях представлены на рис. 4. Для образцов,

прошедших фрезерование она составила 2600 МПа, а поле точения 2200 МПа.

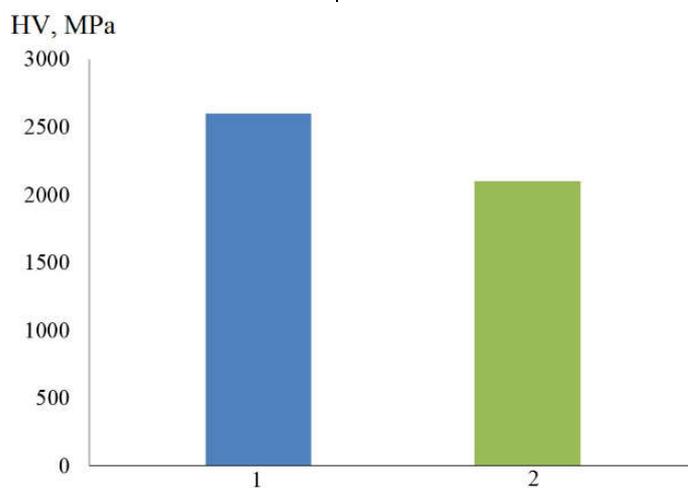


Рис. 4. Средние значения микротвердости модифицированных слоев колесной стали: 1 – после фрезерования, 2 – после точения

Fig. 4. Average values of microhardness of modified layers of wheel steel: 1 – after milling, 2 – after turning

На рис. 5 представлены графики показаний усилия прижима образца и тензодатчика моменты трения в мВ. Для фрезерованного образца (рис. 2а) показания дат-

чика момента трения значительно ниже, чем для образца прошедшего токарную обработку (рис. 2б).

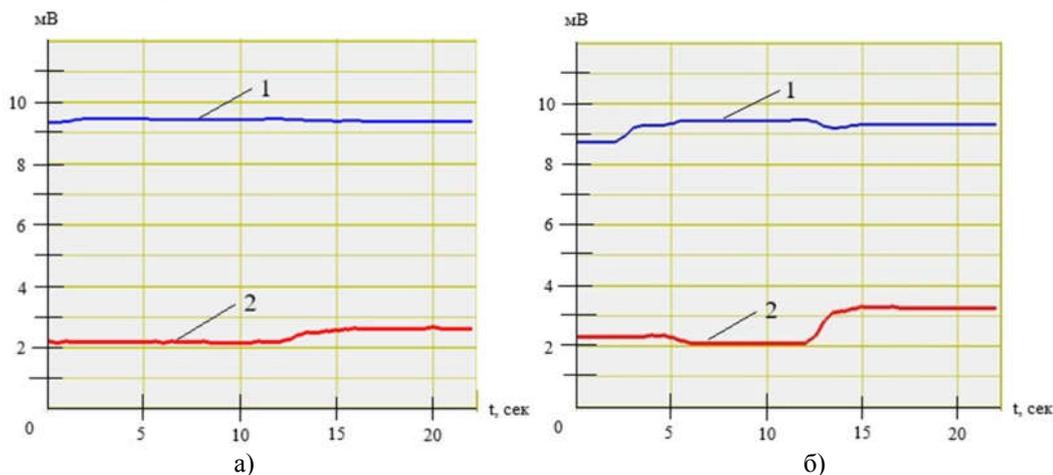


Рис. 5. Графики показаний датчиков усилия прижима (1) момента трения (2): а – фрезерование, б – точение
Fig. 5. Graphs of the readings of the clamping force sensors (1) of the friction moment (2): a - milling, b – turning

Рассчитанные значения коэффициентов трения для фрезерованных и точеных образцов составили 0,1...0,12 и 0,14...0,16 соответственно.

На рис. 6 представлены диаграммы интенсивности изнашивания образцов ко-

лесной стали после фрезерования и точения в сравнении с интенсивностью изнашивания рельсовой стали. Износостойкость образцов после фрезерования значительно выше, чем при точении.

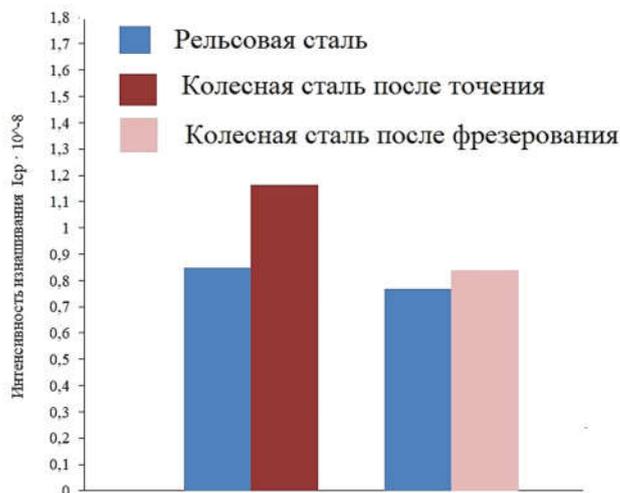


Рис. 6 Интенсивности изнашивания образцов колесной стали поле фрезерования и точения в паре с рельсовой сталью

Fig. 6 Wear rates of wheel steel samples milling and turning field paired with rail steel

Выводы

По результатам проведенных испытаний установлено, что при обработке образцов колесной стали методом торцевого фрезерования, их износостойкость на 22 % выше, по сравнению образцами, обработанными методом точения. При этом интенсивность изнашивания образцов рель-

совой стали ниже в паре трения с фрезерованными образцами, чем с точеными образцами.

Коэффициенты трения фрезерованных образцов имели значения 0,1...0,12, в то время как точеные образцы показали коэффициенты трения 0,14...0,16.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017 Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 мм. // Утв. СПЖТ / Протокол №67 от 19 октября 2017. 242 с.
2. Шишкин А.А., Шпика Н.К. Переоборудование колесотокарных станков в колесофрезерные // Сб. науч. тр. / РостИИТ. 1967. Вып. 58. С.18-22.
3. ГОСТ 11018-2011 Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия. Стандартинформ. – 2012. – 27 с.

4. Нечепуренко Н.П. Восстановление профилей железнодорожных колесных пар высокопроизводительным методом фрезерования с использованием торцовых фрез / Н.П. Нечепуренко: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.00.00. - Ростов-на-Дону, 1967. - 293 с.
5. Патент № 2683600 Российская Федерация, МПК G01N 3/56 (2006.01). Способ измерения износа металлических материалов и покрытий: № 2018118990: заявл. 23.05.2018: опубл. 29.03.2019 / Бирюков В.П., Гудушаури Э. Г., Фишков А. А.; заявитель ИМАШ РАН. – 5 с.

REFERENCES

1. RD VNIIZHT 05.27.2011-2017 Guidance document on the repair and maintenance of wheelsets with axle boxes of freight cars of mainline railways with 1520 mm gauge. 2017 Oct 19.

2. Shishkin AA, Shpika NK. Conversion of wheel turning machines into wheel milling machines. Collection of Scientific Papers; RostIIT: 1967;58:18-22.

- GOST 11018-2011 Wheel pairs of traction rolling stock of railways with 1520 mm gauge. General technical conditions. Moscow: Standartinform, 2012.
- Nechepurenko NP. Restoration of railway wheelset profiles by high-performance milling method using

end mills [dissertation]. [Rostov-on-Don (RF)]: 1967.

- Biryukov VP, Gudushauri EG, Fishkov AA. RF Patent for invention No. 2683600 МПК G01N 3/56 (2006.01). Method for measuring the wear of metal materials and coatings: No. 2018118990. 2019 March 29.

Информация об авторах:

Евсеев Дмитрий Геннадьевич – доктор технических наук, Российский университет транспорта (МИИТ), Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация, Институт транспортной техники и систем управления: тел.: +7(985)769-60-78. E-mail: evseevdg@gmail.com.

Бирюков Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). Малый Харитоньевский переулок, д. 4, Москва, 101000, Российская Федерация; тел. +7(903)776-02-81.

Evseev Dmitry Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Russian University of Transport (MIIT). 22, Novosushevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation, Institute of Transport Engineering and Control Systems; phone: +7(985)769-60-78. E-mail: evseevdg@gmail.com.

Biryukov Vladimir Pavlovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 4, Kharitonyevsky Lane, Moscow, 101000, Russian Federation; phone: +7(903)776-02-81.

Куликов Юрий Михайлович – аспирант, Российский университет транспорта (МИИТ). Новосущевская ул. 22, ст. 1, Москва, 127055, Российская Федерация; тел. +7(964)786-95-44.

Якубовский Антон Алексеевич – младший научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН), Малый Харитоньевский переулок, д.4, Москва, 101000, Российская Федерация, аспирант Российского университета транспорта (МИИТ); тел. +7(953)972-42-35.

Kulikov Yury Mikhailovich – Postgraduate Student, Russian University of Transport (MIIT). 22, Novosushevskaya Str., 1, Moscow, 127055, Russian Federation; phone: +7(964)786-95-44.

Yakubovsky Anton Alekseevich – Junior Researcher, Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, 4, Kharitonyevsky Lane, Moscow, 101000, Russian Federation, Postgraduate Student of the Russian University of Transport (MIIT); phone: +7(953)972-42-35.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 30.11.2023; одобрена после рецензирования 18.12.2023; принята к публикации 27.02.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 30.11.2023; approved after review on 18.12.2023; accepted for publication on 27.02.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.