

УДК 621.941.02

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-63-70

Совершенствование технологии расточки отверстия ступицы колеса грузового вагона

Д. Ю. Белан, кандидат технических наук, доцент, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия

К. В. Аверков, кандидат технических наук, доцент, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Омск, Россия

Д. С. Макашин, кандидат технических наук, Омский государственный университет путей сообщения, Омск, Россия

Рассматривается технологический процесс механической обработки отверстия ступицы колеса грузового вагона. Ненадежная посадка колеса на ось является одной из основных причин схода подвижного состава. Надежность посадки зависит от нескольких факторов: величины натяга, качества сопрягаемых поверхностей, механических свойств материала.

Представлены требования, предъявляемые в России и за рубежом к величине шероховатости сопрягаемых поверхностей, обеспечиваемой механической обработкой. На основе взятых на производстве и рекомендуемых в справочной литературе данных о подаче, скорости и глубине резания проведен ряд опытов согласно некомпозиционному плану второго порядка Бокса – Бенкина для исследования трехкомпонентной системы с варьированием режимов в определенных пределах. По результатам экспериментов качество поверхности повысилось при увеличении скорости резания до 350 м/мин.

Эксперименты, проведенные по матрице планирования, позволили получить математическую модель зависимости шероховатости от скорости, глубины и подачи резания с уровнями значимости коэффициентов (r) меньше 0,04 и коэффициентом детерминации 0,97, то есть 97 % колебаний изучаемого показателя описывается полученной моделью. В результате анализа построены графики изменения шероховатости. Выявлено, что наиболее сильное влияние на шероховатость поверхности оказывает скорость подачи.

Вторым по степени влияния фактором является скорость резания. Показано, что с увеличением скорости резания время контакта режущего инструмента и материала уменьшается, что снижает влияние вибраций на качество поверхности. Глубина резания показывает наименьшее влияние на шероховатость поверхности. С увеличением глубины резания от 0,5 до 1 мм шероховатость несколько ухудшается, и дальнейшее увеличение не оказывает существенного влияния на качество поверхности.

Полученные результаты могут быть использованы для подбора режима резания при выполнении операции расточки отверстия ступицы на предприятиях железнодорожной отрасли, а также на предприятиях, занимающихся механической обработкой отверстий.

Ключевые слова: посадка, усилие, шероховатость, расточка, инструмент, станок, режимы резания.

Введение

Безопасность движения локомотива непосредственно зависит от надежности посадки колеса на ось [1–3]. Сдвиг колеса по окружности или по длине подступичной части оси может привести к серьезной аварии, в том числе к сходу. Колесные пары со смещением не допускаются к эксплуатации. Значение шероховатости сопрягаемых поверхностей имеет большое значение для передачи крутящего момента, поэтому оно строго регламентировано.

Согласно ГОСТ 4835–2013 «Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия» шероховатость поверхности отверстия ступицы при скорости движения $V_k \leq 160$ км/ч должна составлять $Ra \leq 5,0$ мкм. При этом фак-

тическая шероховатость при изготовлении ступицы может составлять $5,0 \text{ мкм} \leq Ra \leq 8,0 \text{ мкм}$ при условии соблюдения требований к конечным усилиям запрессовки.

Также ГОСТ 4835–2013 «Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия» регламентирует погрешности формы отверстия ступицы:

- допуск непостоянства диаметра в поперечном сечении (допуск круглости) 0,05 мм;
- допуск непостоянства диаметра в продольном сечении (конусообразность) 0,1 мм при условии расположения большего диаметра отверстия с внутренней стороны ступицы.

Аналогичный параметр шероховатости отверстия ступицы в странах Европы и США составляет $0,8 \text{ мкм} \leq Ra \leq 3,2 \text{ мкм}$. За рубежом

и в России также различаются технологии формирования колесных пар. В России установка колеса на ось выполняется методом запрессовки на специальных гидравлических прессах. В странах Европы и США используется метод запрессовки и метод горячей посадки [4, 5]. Метод горячей посадки считается более прогрессивным, поскольку не приводит к возникновению задиров и изменению шероховатости в процессе выполнения сборки. Однако метод горячей посадки требует специального оборудования; кроме того, термическое воздействие на детали колесной пары может привести к изменению механических свойств материала.

Используемая в нашей стране технология предусматривает тщательную обработку сопрягаемых поверхностей с соблюдением требований по овальности, волнистости и шероховатости. Перед запрессовкой выполняется тщательная очистка отверстия ступицы и покрытие его слоем натуральной олифы. Значение натяга колес и ступиц дисков должно быть в пределах 0,1...0,25 мм [6–9]. Усилие запрессовки колес должно составлять 370...550 кН на каждые 100 мм диаметра подступичной части оси. Запрессовка производится при нормальной температуре со скоростью не более 2 мм/с.

Таблица 1. Химический состав колесных сталей

Table 1. Chemical composition of wheel steels

Марка стали	Твердость по Бринеллю, HB	C, %	Mn, %	Si, %	V, %	S, %	P, %	Cr, %	Ni, %	Cu %
1	220...248	0,44...0,52	0,80...1,20	0,40...0,65	0,08...0,15	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
2	248...255	0,55...0,63	0,50...0,90	0,22...0,45	≤ 0,10	≤ 0,025	≤ 0,03	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
T	255...320	0,62...0,70	0,50...1,00	0,22...0,65	≤ 0,15	0,005...0,025	≤ 0,03	≤ 0,40	≤ 0,30	≤ 0,30
Л	280...320	0,48...0,54	0,80...1,20	0,45...0,65	0,08...0,15	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25

Данные стали относятся к среднеуглеродистым низколегированным сталям, обладающим удовлетворительной обрабатываемостью.

Качество поверхности отверстия ступицы в основном определяется инструментом и режимами механической обработки. Расточка отверстий ступиц может выполняться как на токарно-карусельных станках (модели КС12, КС112, 1401М, 1516, КС412) резцами стандартных конструкций, оснащенные неперетачиваемыми твердосплавными пластинами, так и на более современных расточных станках (модель КРС2791М-Н1), работающих специальными расточными головками. Причем второй способ является более прогрессивным, так как обеспечивает лучшее качество поверхности и высокую производительность.

На надежность соединения колеса с осью непосредственно влияет точность обработки посадочных поверхностей и сам процесс запрессовки.

Цель исследования – разработка математической модели зависимости шероховатости поверхности от режима резания, позволяющей усовершенствовать технологию расточки отверстия ступицы колеса грузового вагона.

Основные сведения о технологии расточки

Перед запрессовкой выполняется расточка отверстия ступицы колеса. Согласно ГОСТ 4835–2013 «Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия» для колес, предназначенных для движения со скоростью до 160 км/ч, конечное усилие запрессовки на каждые 100 мм диаметра подступичной части оси должны быть 382,6...569,0 кН при шероховатости поверхности отверстия ступицы колеса Ra 5 мкм.

Таким образом, при диаметре подступичной части оси 235 мм усилие запрессовки должно составлять 899,1...1337,2 кН.

Для изготовления отечественных колес используются специальные марки сталей, химический состав которых приведен в таблице 1 [6].

Основные характеристики используемого при экспериментах станка КРС2791М-Н1 показаны в таблице 2.

Шпиндель станка установлен в прецизионных роликовых подшипниках. Механизм радиальной подачи расположен внутри шпинделя. Радиальная подача осуществляется поворотом инструментального шпинделя, расположенного внутри основного шпинделя, относительно оси вращения. Обработка выполняется высокопроизводительным инструментом с неперетачиваемыми поворотными пластинами, изготовленными из твердого сплава.

На рисунке 1 показана конструкция специального инструмента – расточной головки, используемой на станке КРС2791М-Н1. Особенностью конструкции этого инструмента является

несимметричное расположение режущих элементов и совместное применение сменных многогранных пластин (СМП) для черновой и чистовой обработки [7]. Такая конструкция лучше подходит для обработки в системе отверстия, при которой диаметр расточенного отверстия ступицы является базой для выбора диаметра шейки оси [8]. При обработке расточным рез-

цом державка резца деформируется из-за одностороннего воздействия силы резания, что не позволяет обеспечить стабильность размеров отверстия [9–11]. Для подобной операции лучше подходит мерный инструмент, в котором действие сил резания от двух режущих элементов скомпенсировано частично или полностью [12–17].

Таблица 2. Характеристики станка КРС2791М-Н1

Table 2. Characteristics of the KRS2791M-N1 machine

Параметр	Значение
Диаметры обрабатываемых колес по кругу катания, мм	860...964
Диаметры обрабатываемых отверстий, мм:	
1-й диапазон	182...198
2-й диапазон	204 ... 218
Длина ступицы колеса, мм	190+10, 195+10
Величина осевого перемещения ползуна, мм	300
Величины перемещений радиальных смещений инструмента, мм	±16
Частота вращения шпинделя, мин	150...540
Мощность электродвигателя привода шпинделя, кВт	30
Скорости осевой подачи ползуна, мм/мин	1...7000
Скорости радиальной подачи инструмента, мм/мин	0,25...250
Дискретность отсчета перемещений осевых ползуна, мм	0,01
Погрешность растачиваемого размера, мм	0,01
Расчетное время обработки с автоматической загрузкой заготовки T , шт./мин	7
Масса, кг	7500
Габаритные размеры станка, мм	2700 × 2000 × 2000

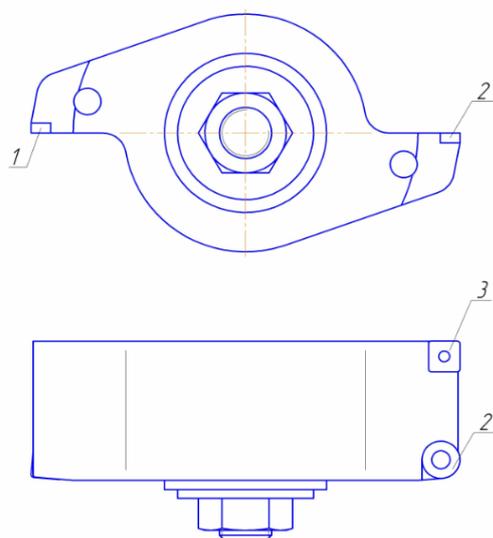


Рис. 1. Расточная головка станка КРС2791М-Н1: 1 – СМП для черновой обработки; 2 – СМП для чистовой обработки; 3 – СМП для обработки внешней галтели

Fig. 1. The boring head of the machine KRS2791M-N1: 1 - indexable insert for roughing; 2 - indexable insert for finishing; 3 - indexable insert for processing external galtel

Так как обе пластины, выполняющие черновую и чистовую обработку (исключая пластину для обработки галтели), работают при одних и тех же режимах резания, повышение точности

и качества чистовой обработки достигается исключительно за счет изменения геометрии пластины 2. Конструкция расточной головки не симметрична и не сбалансирована, однако это не имеет большого значения, так как максимальная частота вращения на данном станке составляет 540 об/мин. Круглая чашечная пластина предназначена для чистовой обработки и позволяет обеспечить лучшую шероховатость, чем призматическая.

Станок КРС2791М-Н1 обладает высокой жесткостью, что позволяет обеспечить высокие показатели точности: допуск радиального биения растачиваемого отверстия до $\pm 0,005$ мм, отклонение от круглости – не более 0,01 мм, отклонение от цилиндричности – не более 0,01.

В качестве пластины для черновой обработки в данном инструменте используется пластина SNMM 1506 24-MR (квадратная СМП с негативной геометрией с длиной стороны 15,8 мм) для чистовой обработки – пластина RCMT 1606 00-МО (круглая чашечная пластина диаметром 16 мм).

Описание экспериментов и результаты

На станке была проведена серия опытов для колес из стали марки 2. Для определения средней шероховатости поверхности использовался пор-

тативный профилометр марки Mitutoyo SJ-210. Радиус наконечника профилометра – 2 мм, угол наклона – 60° , измерительная сила – 0,75 мН, скорость сканирования – 0,5 мм/с, погрешность измерений по паспорту $\pm 2\%$.

Измерения шероховатости обработанных поверхностей проводились в направлении подачи режущего инструмента и повторялись три раза при комнатной температуре. Повторные измерения шероховатости показали разницу около 2...4 %.

Для обеспечения требуемых значений шероховатости поверхности отверстия необходимо оптимизировать режимы резания при расточке. С учетом рекомендуемых значений режимов был проведен ряд опытов с варьированием режимов в определенных пределах [18]. Результаты опытов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Средние значения параметров шероховатости при различных режимах резания
Table 3. Average values of roughness parameters at different cutting modes

№	Глубина резания, мм	Подача, мм/об	Скорость резания, м/мин	Шероховатость, Ra, мкм		
				1	2	3
1	0,5	0,1	184	1,036	0,951	1,011
2	0,5	0,2	258	1,351	1,461	1,512
3	0,5	0,3	322	2,252	2,331	2,243
4	1,0	0,1	258	0,627	0,700	0,703
5	1,0	0,2	322	1,638	1,494	1,414
6	1,0	0,3	184	2,891	2,894	2,884
7	1,5	0,1	322	0,720	0,794	0,803
8	1,5	0,2	184	1,281	1,154	1,319
9	1,5	0,3	258	2,966	2,887	2,914

Графический анализ результатов экспериментов приведен на рисунке 2, а–с.

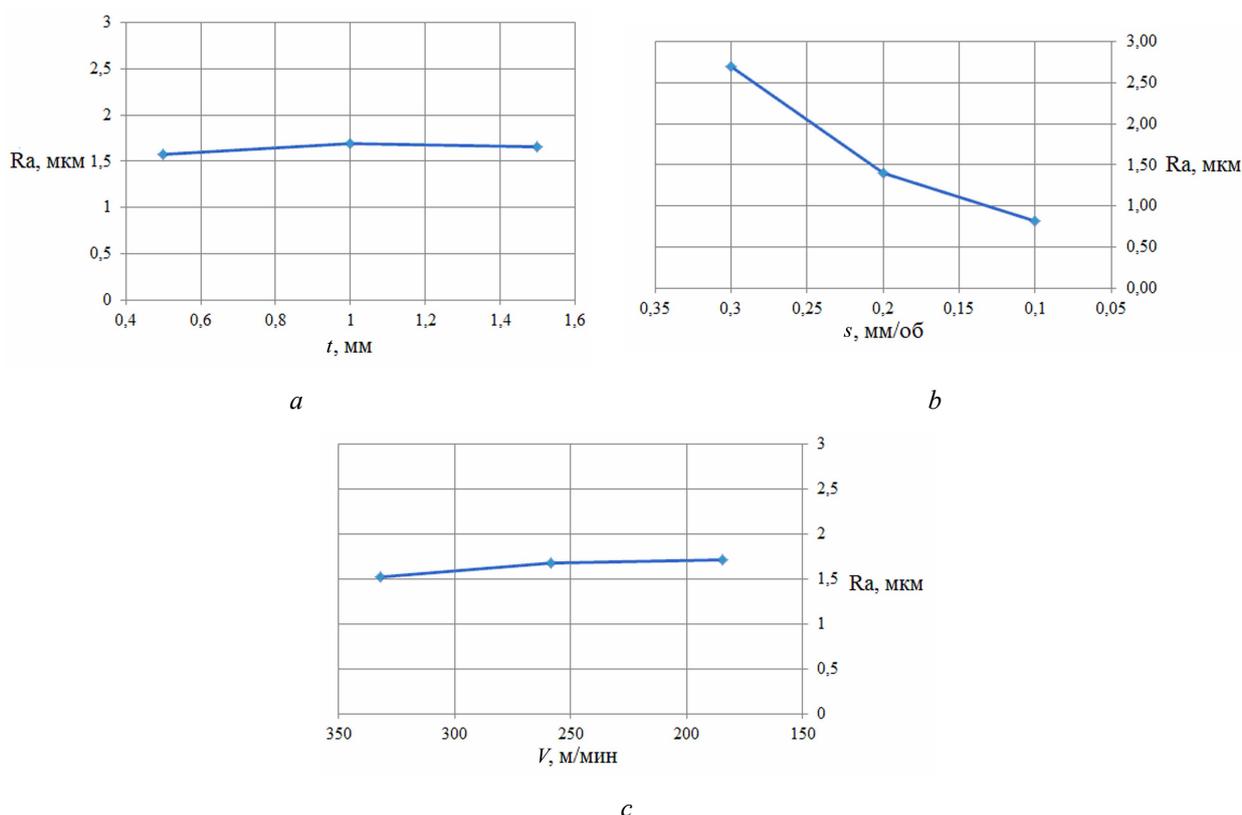


Рис. 2. Влияние значения режимов резания на шероховатость при расточке отверстия ступицы:
а – глубина резания; б – подача; с – скорость резания

Fig. 2. The effect of the value of cutting modes on the roughness when boring the hub hole:
a - cutting depth; b - feed; c - cutting speed

Анализ показывает, что наибольшее влияние на шероховатость оказывает величина подачи. Вторым по степени влияния фактором является скорость резания. По результатам экспериментов качество поверхности несколько повысилось при увеличении скорости резания до 320 м/мин.

С увеличением скорости резания время контакта режущего инструмента и материала уменьшается, что снижает влияние вибраций на качество поверхности. Это наглядно демонстрирует график на рисунке 2, б. Вместе с тем следует отметить, что возникновение нароста

при обработке сталей данной группы происходит при более высоких скоростях, следовательно, можно ожидать дальнейшего ухудшения шероховатости при увеличении скорости резания.

Глубина резания показывает наименьшее влияние на шероховатость поверхности. С увеличением глубины резания от 0,5 до 1 мм шероховатость несколько ухудшилась, и дальнейшее увеличение не оказывает существенного влияния на качество поверхности.

Изменение шероховатости поверхности в зависимости от глубины резания связано с мощностью станка (берется из его паспорта) и механическими свойствами режущего инструмента. Если станок имеет необходимую мощность,

чтобы обеспечить заданную глубину резания, а режущий инструмент обладает достаточной жесткостью, в этом случае не будет изменений значений шероховатости поверхности с увеличением глубины резания.

С учетом рекомендуемых значений режимов резания [19] был проведен ряд опытов согласно некомпозиционному плану второго порядка Бокса – Бенкина для исследования трехкомпонентной системы с варьированием режимов в определенных пределах [20].

Уровни и интервалы варьирования представлены в таблице 4.

Матрица планирования для приведенных значения приведена в таблице 5.

Таблица 4. Уровни и интервалы варьирования факторов

Table 4. Levels and intervals of variation of factors

Факторы	Кодированное обозначение x_i	Интервалы варьирования I_i	Уровни факторов	
			-1	0
Глубина резания t , мм	x_1	0,5	0,5	1,0
Подача s , мм/об	x_2	0,1	0,1	0,2
Скорость резания v , м/мин	x_3	74	184	258

Таблица 5. Матрица планирования

Table 5. Planning Matrix

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1^2	x_2^2	x_3^2	y
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	2,62
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	0,72
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	2,54
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	0,65
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,63
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	1,58
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	1,77
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	1,5
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	1,69
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,66
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	2,49
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	2,68
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	0,59
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	0,78
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,61

По результатам проведенных опытов и после отсеивания согласно критерию Стьюдента незначущих коэффициентов было получено следующее уравнение регрессии:

$$Ra = 3,07125 + 0,03875t + 0,94875s - 0,095V_{рез} + 0,0025ts - 0,01207t^2 - 0,01207s^2 - 0,00975V_{рез}^2.$$

Анализ результатов исследования

Анализ показывает, что требуемые значения шероховатости обеспечиваются при всех режимах обработки. Однако это не снижает актуальности полученной модели, поскольку она позволяет лучше понять механизм формирования

шероховатости при расточке. Кроме того, модель может быть полезной при выборе режимов резания для обработки других подобных деталей, например, деталей арматуры крупных трубопроводов или перспективных моделей высокоскоростного подвижного состава, в которых требования по шероховатости поверхности отверстия ступицы будут значительно выше.

Эксперименты, проведенные по матрице планирования, позволили получить математическую модель зависимости Ra от t , s и $V_{рез}$ с уровнями значимости коэффициентов p меньше 0,04 и коэффициентом детерминации 0,97, т. е. 97 % колебаний изучаемого показателя опи-

сывается полученной моделью. Из полученной зависимости видно, что сильнее на шероховатость получаемой поверхности влияет подача, менее сильно – глубина резания и меньше всего из перечисленного – скорость резания.

Выводы

Показано исследование обработки точением колесных сталей. Получены коэффициенты регрессии математической модели с высокими уровнями значимости – выше 95 %.

Предложенная математическая модель может быть использована для обеспечения требуемой шероховатости отверстия ступицы при подборе режимов резания. Полученные результаты будут полезны для предприятий железнодорожного транспорта, а также для любых предприятий, занимающихся механической обработкой отверстий.

Библиографические ссылки

1. Смольянинов А. В., Кармацкий В. Ф., Волков Д. В. О жизненном цикле колесной пары грузового вагона // *Инновационный транспорт*. 2022. № 2 (44). С. 35–41. DOI: 10.20291/2311-164X-2022-2-35-41.
2. Шурэнцэцэг Б., Т्योंков В. В. Увеличение ресурса колесных пар при деповском ремонте в ВЧД-2 Улан-Баторской железной дороги // *Транспортная инфраструктура сибирского региона*. 2018. Т. 2. С. 402–406.
3. Синтез конструктивных решений на основе демпфирования в пределах внутренней кинематики грузовых вагонов / В. В. Т्योंков, Н. П. Рычков, В. С. Бузунова, А. В. Ромашов // *Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами*. 2021. № 3 (11). С. 9–16. DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).9-16.
4. Сенько В. И., Чернин И. Л., Чернин Р. И. Совершенствование технологии формирования-расформирования колесных пар железнодорожных вагонов // *Актуальные вопросы машиноведения*. 2017. Т. 4. С. 84–87.
5. Контроль натяга бандажа на ободе колесного центра у сформированных колесных пар электровозов / А. П. Буйносков, К. А. Стаценко, Е. А. Гузенкова, А. П. Пахомов // *Инновационный транспорт*. 2018. № 1 (27). С. 59–62.
6. Yu Qing Liu, Zai Gang Chen, Kai Yun Wang, Wan Ming Zhai (2022) Evolution of surface wear of bearings of traction motors in the vibration environment of a locomotive during operation. *Science China Technological Sciences*, 2022, 65, 920-931.
7. Сюй Л., Чжай В. Анализ динамики железнодорожно-путевой связи: системные пространственные вариации по геометрии, физике и механике // *Железнодорожная инженерия*. 2020. Т. 28. С. 36–53.
8. Оптимизация производственной стратегии, условий механической обработки радиального рабочего колеса / Ф. И. Стратояннис [и др.] // *Станки*. 2019. Т. 8, № 1. С. 10–16.
9. Оценка прочности соединений элементов колесных пар с гарантированным натягом / И. Л. Чернин, А. В. Путято, М. С. Застольский, О. В. Путято // *Исследования и инновации. Механика*. 2017. № 9. С. 197–204.
10. Глазунов Д. В. Способы снижения износа колесных пар подвижного состава // *Известия Уральского государственного горного университета*. 2019. № 2 (54). С. 107–114.
11. Киселев Е. С., Благовский О. В. Управление формированием остаточных напряжений при изготовлении ответственных деталей : монография. Санкт-Петербург : Лань, 2020. 140 с.
12. Лебедев В. А., Белозеров М. А. Применение вибрационной стабилизирующей обработки для повышения качества деталей летательных аппаратов // *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2020. Т. 7, № 3-4. С. 39–43.
13. Воробьев А. А., Жуков Д. А., Соболев А. А. К вопросу о технологии повторного использования отработанного режущего инструмента для обработки колес железнодорожного подвижного состава // *Новые материалы и технологии в машиностроении*. 2018. № 28. С. 14–23.
14. Полушкина Д. Ю. Анализ факторов влияющих на точность механической обработки на станках с ЧПУ в условиях ГПМ // *Студенческая наука для развития информационного общества : сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции*, Ставрополь, 26–28 декабря 2017 г. Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2018. Т. 2. С. 243–249.
15. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю. Роль скорости резания и радиуса округления режущего клина в эффективности тонкой механической обработки труднообрабатываемых материалов // *Станкоинструмент*. 2020. № 1-2. С. 66–79.
16. Влияние вылета резца и глубины резания при токарной обработке на качество поверхностного слоя деталей машин / Д. Г. Алленов, К. Б. Дейнова, С. В. Соломатин, О. И. Лазаренко // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования*. 2020. Т. 21, № 2. С. 105–112.
17. Стельмаков В. А. Алгоритмы оценки точности диаметрального размера и относительного расположения оси при различных методах и стратегиях обработки отверстий // *Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования / под общ. ред. Г. Ю. Гуляева*. Пенза : Наука и Просвещение, 2018. С. 162–172.
18. Ракунов Ю. П., Абрамов В. В., Ракунов А. Ю. Номаграммы выбора подач и скоростей резания исходя из требуемой шероховатости обработки и износа унифицированных резцов // *Школа науки*. 2019. № 11 (22). С. 7–12.
19. Оптимизация режимов резания при точении с применением граничного метода условной оптимизации / А. С. Данилова, Е. А. Леденева, И. И. Рим-

ская, К. В. Чуев // Образование. Наука. Производство : материалы XII Международного молодежного форума, Белгород, 01–20 октября 2020 г. Белгород : Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2020. С. 1221–1226.

20. Вожжов А. А., Гречко В. А., Рябченко А. И. Обоснование объема исследовательской выборки в задачах прогнозирования параметров точности и качества изделия // Главный механик. 2020. № 6 (202). С. 18–22.

References

1. Smolyaninov A.V., Karmatsky V.F., Volkov D.V. (2022) [On the life cycle of a freight car wheelset]. *Innovacionnyj transport*, 2022, no. 2 (44), pp. 35-41 (in Russ.). DOI: 10.20291/2311-164X-2022-2-35-41.

2. Shurentseteg B., Tyunkov V.V. (2018) [Increasing the resource of wheel sets during depot repairs in the high-speed railway-2 of the Ulaanbaatar railway]. *Transportnaja infrastruktura sibirskogo regiona*, 2018, vol. 2, pp. 402-406 (in Russ.).

3. Tyunkov V.V., Rychkov N.P., Buzunova V.S., Romashov A.V. (2021) [Synthesis of constructive solutions based on damping within the limits of the internal kinematics of freight cars]. *Informacionnye tehnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami*, 2021, no. 3 (11), pp. 9-16 (in Russ.). DOI: 10.26731/2658-3704.2021.3(11).9-16.

4. Senko V.I., Chernin I.L., Chernin R.I. (2017) [Improving the technology of forming and disbanding wheel pairs of railway cars]. *Aktual'nye voprosy mashinovedeniya*, 2017, vol. 4, pp. 84-87 (in Russ.).

5. Buinosov A.P., Statsenko K.A., Guzenkova E.A., Pakhomov A.P. (2018) [Control of the tightness of the tire on the rim of the wheel center of the formed wheel pairs of electric locomotives]. *Innovacionnyj transport*, 2018, no. 1 (27), pp. 59-62 (in Russ.).

6. Yu Qing Liu, Zai Gang Chen, Kai Yun Wang, Wan Ming Zhai (2022) Evolution of surface wear of bearings of traction motors in the vibration environment of a locomotive during operation. *Science China Technological Sciences*, 2022, 65, 920-931.

7. Xu L., Zhai V. (2020) [Analysis of the dynamics of railway communication: systemic spatial variations in geometry, physics and mechanics]. *Zheleznodorozhnaja inzheneriya*, 2020, vol. 28, pp. 36-53 (in Russ.).

8. Stratoyannis F.I. (2019) [Optimization of the production strategy, conditions for mechanical processing of the radial impeller]. *Stanki*, 2019, vol. 8, no. 1, pp. 10-16 (in Russ.).

9. Chernin I.L., Putyato A.V., Zastolsky M.S., Putyato O.V. (2017) [Evaluation of the strength of connections of elements of wheel sets with guaranteed tightness]. *Issledovaniya i innovacii. Mehanika*, 2017, no. 9, pp. 197-204 (in Russ.).

10. Glazunov D.V. (2019) [Ways to reduce the wear of wheelsets of rolling stock]. *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 2019, no. 2 (54), pp. 107-114 (in Russ.).

11. Kiselev E.S. Blagovskiy O.V. (2020) *Upravlenie formirovaniem ostatochnyh naprjazhenij pri izgotovlenii*

otvetstvennyh detalej [Management of the formation of residual stresses in the manufacture of critical parts]. St. Petersburg, Lan' Publ., 140 p. (in Russ.).

12. Lebedev V.A., Belozerov M.A. (2020) [Application of vibration stabilizing treatment to improve the quality of aircraft parts]. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii*, 2020, vol. 7, no. 3-4, pp. 39-43 (in Russ.).

13. Vorobyov A.A., Zhukov D.A., Sobolev A.A. On the technology of reuse of used cutting tools for processing wheels of railway rolling stock // *New materials and technologies in mechanical engineering*. 2018. No. 28. P. 14–23.

14. Polushkina D.Yu. Analysis of factors affecting the accuracy of machining on CNC machines in the conditions of GPM // *Student science for the development of the information society: collection of materials of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference*, Stavropol, December 26–28, 2017 Stavropol: North Caucasian Federal University, 2018, vol. 2, pp. 243–249.

15. Rakunov Yu.P., Abramov V.V., Rakunov A.Yu. [The role of cutting speed and rounding radius of the cutting wedge in the efficiency of fine machining of hard-to-cut materials]. *Stankoinstrument*, 2020, no. 1-2, pp. 66–79.

16. Allenov D.G., Deinova K.B., Solomatin S.V., Lazarenko O.I. (2020) [Influence of tool overhang and depth of cut during turning on the quality of the surface layer of machine parts]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*, 2020, vol. 21, no. 2, pp. 105-112 (in Russ.).

17. Stelmakov V.A. (2018) *Algoritmy ocenki tochnosti diametral'nogo razmera i odnositel'nogo raspolozheniya osi pri razlichnyh metodah i strategijah obrabotki otverstij* [Algorithms for estimating the accuracy of the diametrical size and relative position of the axis with various methods and strategies for processing holes]. In: *Fundamental'nye osnovy innovacionnogo razvitiya nauki i obrazovaniya* [Fundamental bases of innovative development of science and education]. Penza, Science and Education Publ., pp. 162-172 (in Russ.).

18. Rakunov Yu.P., Abramov V.V., Rakunov A.Yu. (2019) [Nomograms for the choice of feeds and cutting speeds based on the required roughness and wear of standardized cutters]. *Shkola nauki*, 2019, no. 11 (22), pp. 7-12 (in Russ.).

19. Danilova A.S., Ledeneva E.A., Rimskaya I.I., Chuev K.V. (2020) *Optimizacija rezhimov rezaniya pri tochenii s primeneniem granichnogo metoda uslovnoj optimizacii* [Optimization of cutting conditions in turning using the boundary method of conditional optimization]: *Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo : materialy XII Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma, Belgorod, 01–20 oktjabrja 2020 g.* [XII International Youth Forum "Education. Science. Production", Belgorod, October 01-20, 2020]. Belgorod, Belgorod State Technological University V. G. Shukhova Publ., pp. 1221-1226 (in Russ.).

20. Vozhzhov A.A., Grechko V.A., Ryabchenko A.I. (2020) [Justification of the research sample size in problems of predicting product accuracy and quality parameters]. *Glavnyj mehanik*, 2020, no. 6 (202), pp. 18-22 (in Russ.).

Hole Boring Technology Improvement of the Freight Car Wheel Hub

D.Yu. Belan, PhD in Engineering, Associate Professor, Omsk State Transport University, Omsk, Russia

K.V. Averkov, PhD in Engineering, Associate Professor, Omsk State Transport University, Omsk, Russia

D.S. Makashin, PhD in Engineering, Omsk State Transport University, Omsk, Russia

The technological process of machining the wheel hub hole of a freight car is considered. Unreliable wheel and axle fit is one of the main reasons of rolling stock derailment. The reliability of the fit depends on several factors: interference, quality of the mating surfaces, the mechanical properties of the material. The roughness of the hole surface plays a very important role. In many ways, it determines the compressing force and fatigue strength, the roughness value should be within certain limits, which are strictly regulated by Russian National Standard GOST 4835-2013.

The article describes in detail the requirements imposed in Russia and abroad to the amount of roughness of the mating surfaces provided by machining. The analysis of the chemical composition and mechanical properties of wheel steels of grades 1, 2, T and L. The article also discusses the technological process and equipment for boring holes in the wheel hub. The foreign experience of using boring technologies is analyzed. The arrangement of the cutting plates in the design of the boring head applied for boring the hub hole is considered. The application of round and prismatic carbide plates used in tools is also considered. The types of metal-cutting machines used are indicated. The main emphasis in the article is on ensuring the required roughness of Russian National Standard GOST 4835-2013 due to cutting modes that are optimal from the point of view of ensuring surface quality. Based on the production data and recommended in the reference literature on feed, speed and depth of cutting values, a full factorial experiment was carried out to determine the effect of each cutting mode on the roughness parameter. As a result of the analysis, diagrams of roughness changes were plotted and intervals of feed values, speed and cutting depth were established, ensuring minimal roughness of the machined surface. It was also found that the feed rate has the strongest effect on the surface roughness.

The results obtained can be used when performing the operation of boring the hub hole at the enterprises of the railway industry.

Keywords: fit, force, roughness, boring, tool, machine, cutting modes.

Получено 30.01.2023

Образец цитирования

Белан Д. Ю., Аверков К. В., Макашин Д. С. Совершенствование технологии расточки отверстия ступицы колеса грузового вагона // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 1. С. 63–70. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-63-70.

For Citation

*Belan D.Y., Averkov K.V., Makashin D.S. (2023) [Hole Boring Technology Improvement of the Freight Car Wheel Hub]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 1, pp. 63-70 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-1-63-70.*