

# УПРОЧНЕНИЕ ФРИКЦИОННОГО КЛИНА ВАГОННОЙ ТЕЛЕЖКИ

*В.Г. ЩУКИН, канд. физ.-мат. наук*

*В.В. МАРУСИН, доктор физ.-мат. наук, профессор  
(ИТПМ СО РАН, г. Новосибирск)*

Поступила 11 марта 2015

Рецензирование 11 апреля 2015

Принята к печати 4 мая 2015

**Марусин В.В.** – 630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 4/1,  
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича СО РАН,  
e-mail: marusin@itam.nsc.ru

Разработан технологический процесс упрочнения клина вагонной тележки, изготовленного из серого чугуна марки СЧ18, с помощью высокоэнергетической индукционной обработки. Источником энергии служит высокочастотный генератор ВЧГ 5-60/0,066 мощностью 60 кВт. Процесс упрочнения включает в себя индукционный нагрев вертикальной поверхности клина и последующую закалку при полной водяной завесе зоны нагрева. Толщина упрочненного слоя с твердостью выше 57 HRC достигает 3,5 мм. По разработанной технологии произведена опытная партия изделий, которая успешно прошла ходовые ресурсные испытания на испытательном полигоне железнодорожного транспорта в г. Щербинка. В ходе испытаний при нормативном пробеге не менее 500 тыс. км фактический пробег составил более 1 млн км. При этом допускаемые величины износа фрикционных клиньев не превышены, а коэффициент относительного трения фрикционных гасителей колебаний соответствует нормативу.

**Ключевые слова:** высокоэнергетический индукционный нагрев, клин вагонной тележки, упрочнение.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-2-17-23

## Введение

Фрикционный клин узла гашения колебаний тележки грузового вагона является важнейшим элементом конструкции, от работоспособности которого зависит длительность безремонтной эксплуатации подвижного состава [1]. Исследования, направленные на совершенствование тележек грузовых вагонов и их компонентов, являются актуальными и вытекают из первоочередных задач, стоящих перед железнодорожным транспортом. Базовая конструкция этих узлов практически остается неизменной в течение последних десятилетий [2, 3]. Задача повышения износостойкости рабочей поверхности фрикционного носителя колебаний (клина) тележек вагонов является актуальной и обеспечивает резкое повышение ресурса работы вагона в целом.

Основное внимание исследователей направлено на разработку новых материалов путем оптимизации химического состава, улучшение фи-

зико-механических и трибологических свойств, совершенствование конструкции, а также прогнозирование работы фрикционного клина узла гашения колебаний в различных условиях эксплуатации [4].

Неудовлетворительная эксплуатационная стойкость рабочих поверхностей фрикционных клиньев, изготовленных из серых чугунов (марок СЧ18, СЧ25, СЧ35), связана в первую очередь с их недостаточной твердостью. В связи с этим внимание специалистов направлено на несколько путей решения задачи повышения эксплуатационной стойкости.

1. Изготовление всего клина из материалов с повышенной твердостью.

2. Упрочнение рабочих поверхностей клина.

3. Комбинированные методы, объединяющие способы п. 1 и 2.

Так, рядом авторов предлагается замена основного материала клина на высокопрочные чугуны с шаровидным графитом (ВЧ60, ВЧ70 и

др. [5, 6]) либо на легированный никелем и молибденом чугун марки ЧМН-35М [7–9]. Наиболее широко известны технологии изготовления клиньев из высокопрочных чугунов с шаровидным графитом (ВЧ60, ВЧ70 и др.). Технология их производства включает в себя стадии изотермической заковки в соляном растворе и последующее охлаждение в щелочных растворах, что приводит к удорожанию клиньев в 5–7 раз. К тому же процесс заковки в расплаве селитры небезопасен и вреден для здоровья.

В последнее время разработана технология объемно-поверхностной заковки рабочих поверхностей фрикционного клина, изготовленных как из серых чугунов СЧ25, СЧ35, так и легированной стали 20ГЛ [9, 10]. Технология состоит из нагрева клина в объемных печах с последующим охлаждением стенок клина потоком воды и обеспечивает за один цикл нагрева и охлаждения упрочнение вертикальной и наклонной фрикционных поверхностей. Отсутствие газовых атмосфер и масла делает процесс упрочнения экологически чистым в отличие от традиционных технологий, включая и изотермическую заковку. Недостатками данных технологий являются многостадийность процессов, высокая себестоимость высокопрочных чугунов и энергоемкость процессов как изотермической, так и объемно-поверхностной заковки.

Поэтому перспективным выглядит переход к упрочнению только поверхностного слоя рабочих поверхностей клина, изготовленного из традиционных материалов [11, 12]. Так, в [12] отмечается значительное повышение износа клиньев, изготовленных из СЧ25 и ВЧ60 после их плазменной заковки. Недостатки как плазменной, так и лазерной заковки связаны с ограничениями на глубину прогрева материала и неравномерностью прогрева по глубине. Этим недостаткам лишены методы индукционного упрочнения, при которых энерговыделение происходит в объеме скин-слоя металла (сплава).

Цель данной работы – отработка технологического процесса упрочнения вертикальной поверхности клина методом одностадийной высокоэнергетической индукционной заковки (ВИЗ) на твердость не менее 55 HRC и на глубину не менее 3 мм. Специфика и особенности ВИЗ рассмотрены в [13]. Клин изготовлен из серого чугуна марки СЧ18 ГОСТ 1412–85, размеры

упрочняемой поверхности – 190×178 мм. Чертеж клина представлен на рис. 1.

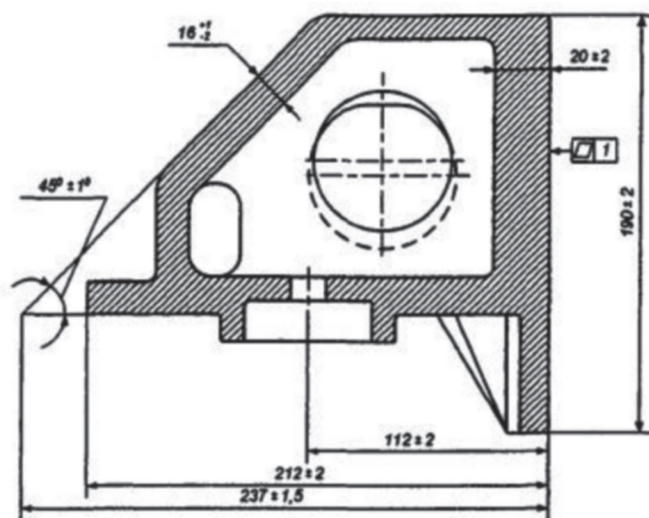


Рис. 1. Схема фрикционного клина (чертеж М1698.00.002)

## 1. Методика экспериментального исследования

Для реализации процесса использовалось следующее оборудование.

1. Высокочастотный генератор ВЧГ 5-60/0,066, имеющий мощность до 60 кВт и рабочую частоту 66 кГц.

2. Индуктор для заковки, изготовленный в виде петли из медной трубки наружным диаметром 10 мм, толщина стенки 1 мм (рис. 2). На верхней трубке индуктора по образующей припаян медный брусок сечением 5×5 мм и длиной 90 мм (длина рабочей зоны индуктора), здесь же закреплен плотный ряд ферритовых концентраторов энергии электромагнитного поля. Последние изготавливаются из ферритовых колец толщиной 5 мм с внутренним диаметром каждого кольца 10 мм и наружным диаметром 20 мм, тип ферритов – М3000 НМ-А128. На нижней трубке индуктора расположен ряд отверстий для создания водяной плоской струи и охлаждения закаленной зоны клина. Рабочее положение трубок индуктора – в вертикальной плоскости, упрочняемая поверхность клина перемещается относительно рабочей зоны индуктора (зоны нагрева) снизу вверх. Индуктор охлаждается проточной водой, жестко закреплен на выходных клеммах высокочастотного (ВЧ) генератора под болт для исключения вибраций, ведущих к появлению разбросов значений твердости закаленного слоя.

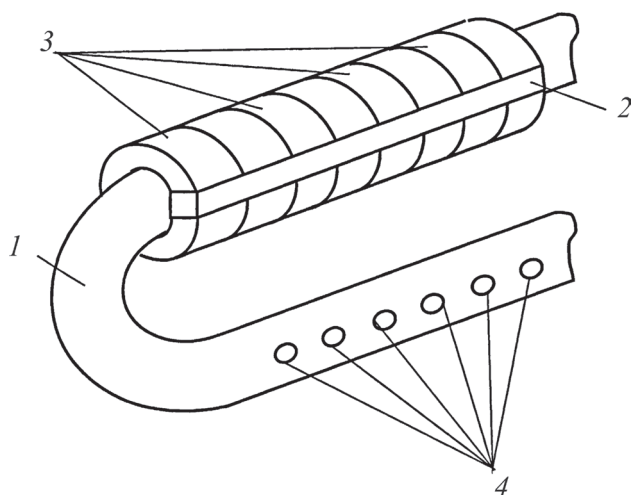


Рис. 2. Схема индуктора:

1 – медная трубка; 2 – медный брусок; 3 – набор ферритовых колец; 4 – отверстия для подачи струй водоохлаждающего агента

3. Манипулятор для вертикального закрепления клина и его перемещения с заданной скоростью, имеющий основные блоки: узел закрепления клина на специальном столе, привод для вертикального перемещения стола, устройство для сбора отработанной воды и ее слива в оборотный водяной контур цеха.

## 2. Результаты и обсуждение

При отработке технологического процесса упрочнения был разработан и испытан ряд различных конструкций индукторов, отличающихся длиной рабочей зоны и сечением медного бруска. Опыты показали, что при использовании индуктора с удвоенной длиной рабочей зоны 180 мм закалка рабочей поверхности клина за один проход неосуществима из-за недостаточной удельной мощности даже при максимальной мощности ВЧ-генератора 60 кВт.

Вследствие этого был разработан двухпроходный процесс ВИЗ рабочей поверхности клина. При его отработке был оптимизирован ряд базовых параметров процесса – удельная мощность процесса ВИЗ, скорость протяжки клина, зазор «индуктор – поверхность клина». Отработка процесса проводилась следующим образом: клин фиксировался на манипуляторе, производился нагрев и закалка рабочей поверхности клина при заданном режиме обработки.

Фотография манипулятора вместе с закрепленным на столе клином и индуктором пред-

ставлена на рис. 3. Ясно видно яркое свечение в зазоре «индуктор – упрочняемая поверхность клина» по всей длине рабочей зоны индуктора. Затем проводилась резка клина с гидроабразивом, изготовление нормальных шлифов, их шлифовка и алмазная доводка, травление и измерение глубины упрочненного слоя и его твердости. Приборы для измерения твердости – калиброванные микротвердомер ПМТ-3 и твердомер «Супер-Роквелл».

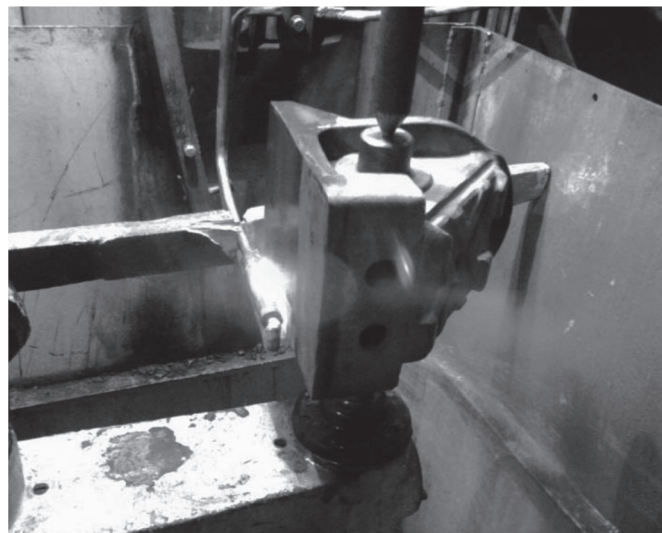


Рис. 3. Фотография процесса закалки клина

При отработке технологического процесса были выявлены две основные проблемы.

1. Образование на упрочняемой поверхности обезуглероженного слоя глубиной до 1 мм.

2. Опасность подплава поверхности клина при нагреве вследствие существенного сдвига критических температур при очень высоких скоростях нагрева.

Первая проблема была решена путем оптимизации времени нагрева каждого участка упрочняемой поверхности таким образом, чтобы при этом прошло диффузионное выравнивание углерода в закаленном слое. Вторая проблема была решена путем оптимизации удельной мощности и выбора режима закалки при полной водяной завесе зоны нагрева.

Оптимальные режимы закалки и соответствующие характеристики закаленного слоя приведены в таблице.

По отработанной технологии [14] была произведена опытная партия изделий, которая успешно прошла ходовые ресурсные испытания на полигоне в г. Щербинка. В ходе испытаний



### Режимы закалки и характеристики закаленного слоя

Оптимальные режимы закалки		Характеристики закаленного слоя	
Выходная мощность, кВт	55	Твердость закаленного слоя (по 10 измерениям)	57...60 HRC
Удельная мощность, кВт/см <sup>2</sup>	8...10	Толщина закаленного слоя, мм	3...3,5
Скорость перемещения рабочей поверхности клина, мм/с	5...6	Структура закаленного слоя	Мартенсит закалки («белый слой»)
Зазор между индуктором и поверхностью клина, мм	1...1,5		
Рабочая длина зоны закалки, мм	90		

при нормативном пробеге не менее 500 тыс. км фактический пробег составил более 1 млн км. При этом допускаемые величины износа фрикционных клиньев не превышены, а коэффициент относительного трения фрикционных гасителей колебаний соответствует нормативу.

В России и в мире выпускаются промышленные ВЧ-генераторы для технологических целей со следующими разрешенными рабочими частотами: 0,066; 0,440; 1,76; 5,28; 13,5; 27 и 40 МГц [15] и мощностью 30, 60, 100, 160 и 250 кВт. Для создания промышленной установки оптимален ВЧ-генератор типа ВЧГ-Х-160/0,066 с запасом по мощности (где Х = 5...9 – выпускаемые пригодные модификации этого типа ВЧ-генераторов). Следует особо подчеркнуть, что для оптимального согласования сопротивлений выходного контура генератора и индуктора в каждом случае необходима доработка генератора.

Расход охлаждающей воды при работе ВЧ-генератора достаточно велик – от 2 до 3 м<sup>3</sup>/ч, поэтому целесообразен собственный контур оборотной воды. Принципиальная схема такого контура приводится в технической документации к каждому ВЧ-генератору. Манипулятор для промышленной установки должен быть автоматизирован для высокой надежности и воспроизводимости процесса обработки. Длительность процесса собственно упрочнения рабочей поверхности клина при мощности ВЧ-генератора 160 кВт в один проход лежит в интервале от 30 до 35 с, что много меньше межоперационного времени, расходуемого на съём клина с манипулятора и последующую установку на манипулятор и юстировку следующего клина. Требуется механизация этих межоперационных операций. Она позволит затрачивать на обработку одного клина не более одной минуты (полное опера-

ционное время), вследствие чего производительность процесса закалки может составить 60 деталей/ч. Необходимая рабочая площадь для одной промышленной установки с учетом подсобных стеллажей для доставки партий исходных деталей и промежуточного складирования упрочненных клиньев, а также требований техники безопасности – не более 30 м<sup>2</sup>. Стоимость оборудования для промышленной установки определяется в основном ценой высокочастотного генератора.

### Выводы

Разработан одностадийный технологический процесс упрочнения рабочей поверхности фрикционного гасителя колебаний (клина) вагонной тележки, обеспечивающий глубину упрочненного слоя не менее 3 мм при твердости более 57 HRC. Клин изготовлен из обычного серого чугуна марки СЧ18. Испытания партии клиньев в производственных условиях показали соответствие качества изделий нормативам.

### Список литературы

1. Габеев А.В. Исследование прочности различных модификаций фрикционных клиньев тележки грузового вагона // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4–2. – С. 44–49.
2. Brenner H., Bartalini L., Antunes A. Numerical investigation on the friction wedge damper dynamics – a comparative study [Electronic resource] // Proceedings of 20th International Congress Mechanical Engineering (COBEM 2009), November 15–20, 2009. – Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, 2009. – URL: <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2009/pdf/COB09-2008.pdf> (accessed: 11.03.2015).
3. Hawthorne V.T. Recent improvements to three-piece trucks // Proceedings of the 1996 ASME/IEEE

Joint Railroad Conference, Oakbrook, Illinois, 30 April–2 May 1996. – Piscataway, New Jersey: IEEE, 1996. – P. 151–161. – doi: 10.1109/RRCON.1996.507974.

4. *Габец А.В.* Разработка состава и технологии получения специального модифицированного чугуна повышенной эксплуатационной стойкости для фрикционных узлов подвижного состава железнодорожного транспорта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2014. – 27 с.

5. *Великанов А.В., Борщ Б.В.* Фрикционные клинья из высокопрочного чугуна // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 2. – С. 18–22.

6. Технология производства, качество и работоспособность закаленных фрикционных клиньев из высокопрочного чугуна / А.В. Великанов, Б.В. Борщ, В.М. Федин, А.И. Борщ, Б.И. Юрьева // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – № 5. – С. 19–24.

7. Совершенствование материала для фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона / А.В. Габец, А.В. Сухов, М.В. Сапетов, Г.А. Филиппов // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2014. – № 1. – С. 91–97.

8. Повышение износостойкости фрикционных деталей из серого чугуна / Б.В. Борщ, А.В. Габец, А.В. Сухов, Г.А. Филиппов // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 66–68.

9. *Федин В.М., Борщ А.И., Мухамадиев Ф.* Обоснование применения в качестве конструкционного материала чугуна или стали для фрикционных клиньев тележки грузового вагона // Вектор транспорта: научно-практический альманах. – М.: НП ОЖДПС, 2014. – № 2. – С. 62–65.

10. Упрочнение фрикционного клина из серого чугуна объемно-поверхностной закалкой / А.Ф. Бондаренко, А.А. Гореньков, В.М. Федин, А.И. Борщ // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 3. – С. 40–42.

11. *Спирidonов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л.* Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / под ред. В.Н. Чанина. – Минск: Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.

12. *Коротков В.А.* Поверхностная плазменная закалка / Уральский федеральный университет, Нижнетагильский технологический институт (филиал). – Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2012. – 64 с. – ISBN 978-5-9544-0060-1.

13. Высокоэнергетические процессы обработки материалов / О.П. Солоненко, А.П. Алхимов, В.В. Марусин, Х.М. Рахмьянов, А.М. Оришич, Р.А. Салимов, В.Г. Щукин, В.Ф. Косарев. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 2000. – 425 с. – (Низкотемпературная плазма; т. 18). – ISBN 5-02-031528-1.

14. Патент Российская Федерация 2428487. Способ поверхностной закалки чугуна и индуктор для его осуществления, МПК<sup>8</sup> С 21 D 1/10, С 21 D 1/42, Н 05 В 6/36, С 21 D 5/00 / В.В. Марусин, П.П. Степус, А.В. Краев, С.И. Пашарин. – № 2010103091/02; заявл. 29.01.2010; опубл. 10.09.2011, Бюл. № 25. – 6 с.

15. *Головин Г.Ф., Замятнин М.М.* Высокочастотная термическая обработка: вопросы металловедения и технологии. – 3-е изд., перераб и доп. – Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1990. – 239 с.

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 2(67), April – June 2015, Pages 17–23

### The hardening of friction wedge of freight car bogie

**Shchukin V.G.**, Ph.D. (Physics and Mathematics), Principal Engineer, e-mail: schukin\_vg@ngs.ru

**Marusin V.V.**, D.Sc. (Physics and Mathematics), Professor, Principal Engineer, e-mail: marusin@itam.nsc.ru

Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, 4/1 Institutskaya str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

#### Abstract

The technological process of hardening of the wedge of freight car bogie made of gray cast iron SCH18, using high-induction treatment is developed. Source of energy is presented by a high-frequency generator HFG 5-60/0.066 60 kW. Hardening process included heating of the vertical surface of the wedge and the subsequent quenching at full water screen of the heating zone. The thickness of the hardened layer with a hardness of 57 HRC is above 3.5 mm. According to the developed technology a pilot batch of products, which was successfully running endurance tests on the proof ground of rail transport in Scherbinka city, is produced. During the test a distance run was more than

1 million km while the standard run is not less than 500 thousand km. In this case, the allowable amount of wear of the friction wedges is not increased, and the coefficient of relative friction of the friction oscillation damper answered to the specifications.

### Keywords:

High-energy induction heating, friction wedge of freight car bogie, hardening

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-2-17-23

### References

1. Gabets A.V. Issledovanie prochnosti razlichnykh modifikatsii friktsionnykh klin'ev telezhki gruzovogo vagona [Study of strength various modifications friction wedges freight car bogie]. *Polzunovskii vestnik – Polzunov Bulletin*, 2013, no. 4–2, pp. 44–49.
2. Brenner H., Bartolini L., Antunes A. Numerical investigation on the friction wedge damper dynamics – a comparative study. Proceedings of 20th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2009). Gramado, Rio Grande do Sul, Brasil, November 15–20, 2009. Available at: <http://www.abcm.org.br/anais/cobem/2009/pdf/COB09-2008.pdf> (accessed 11.03.2015)
3. Hawthorne V.T. Recent Improvements to three-piece trucks. Proceedings of the 1996 ASME/IEEE Joint Railroad Conference, Oakbrook, Illinois, 30 April – 2 May 1996. Piscataway, New Jersey, IEEE, 1996, pp. 151–161. doi: 10.1109/RRCON.1996.507974
4. Gabets A.V. *Razrabotka sostava i tekhnologii polucheniya spetsial'nogo modifitsirovannogo chuguna povyshennoi ekspluatatsionnoi stoikosti dlya friktsionnykh uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta*. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Development of composition and technology of special modified iron for increased operational stability of the friction units of railway vehicles. Author's abstract of PhD eng. sci. diss.]. Moscow, 2014. 27 p.
5. Velikanov A.V., Borshch B.V. Friktsionnye klin'ya iz vysokoprochnogo chuguna [Friction wedges of high-strength cast iron]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta – Vestnik of the All-Russia Railway Research Institute*, 2007, no. 2, pp. 18–22.
6. Velikanov A.V., Borshch B.V., Fedin V.M., Borts A.I., Yur'eva B.I. Tekhnologiya proizvodstva, kachestvo i rabotosposobnost' zakalennykh friktsionnykh klin'ev iz vysokoprochnogo chuguna [Production technology, quality and serviceability of hardened friction wedges of high-strength cast iron]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta – Vestnik of the All-Russia Railway Research Institute*, 2007, no. 5, pp. 19–24.
7. Gabets A.V., Sukhov A.V., Sapetov M.V., Filippov G.A. Sovershenstvovanie materiala dlya friktsionnogo klina uzla gasheniya kolebaniy telezhki gruzovogo vagona [Improvement of material for the friction wedge of damping assembly of freight-car trucks]. *Problemy chernoi metallurgii i materialovedeniya – Problems of ferrous metallurgy and materials science*, 2014, no. 1, pp. 91–97.
8. Borshch B.V., Gabets A.V., Sukhov A.V., Filippov G.A. Povyshenie iznosostoikosti friktsionnykh detalei iz serogo chuguna [Increasing the wear resistance of friction grey cast iron components]. *Stal' – Steel in Translation*, 2014, no. 1, pp. 66–68. (In Russian)
9. Fedin V.M., Borts A.I., Mukhamadshoev F. [Rationale for use as a structural material of iron or steel for friction wedges freight car bogie]. *Nauchno-prakticheskii al'manakh «Vektor transporta»* [Scientific and practical almanac “Vector of transport”]. Moscow, NP OZhdPS Publ., 2014, no. 2, pp. 62–65.
10. Bondarenko A.F., Goren'kov A.A., Fedin V.M., Borts A.I. Uprochnenie friktsionnogo klina iz serogo chuguna ob'emno-poverkhnostnoi zakalkoi [Strengthening gray iron friction wedge with bulk-surface hardening]. *Vestnik nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta – Vestnik of the Railway Research Institute*, 2010, no. 3, pp. 40–42.
11. Spiridonov V.V., Kobyakov O.S., Kupriyanov I.L. *Plazmennye i lazernye metody uprochneniya detalei mashin* [Plasma and laser methods of hardening of machine parts]. Minsk, Vysheisha shkola Publ., 1988. 155 p.
12. Korotkov V.A. *Poverkhnostnaya plazmennaya zakalka* [The surface plasma hardening]. Nizhnii Tagil, NTI UrFU Publ., 2012. 64 p. ISBN 978-5-9544-0060-1
13. Solonenko O.P., Alkhimov A.P., Marusin V.V., Rakhimyanov Kh.M., Orishich A.M., Salimov R.A., Shchukin V.G., Kosarev V.F. *Vysokoenergeticheskie protsessy obrabotki materialov. Nizkotemperaturnaya plazma*. T. 18 [High



energy processes in machining of materials. Low-temperature plasma. Vol. 18]. Novosibirsk, Siberian Publishing House Russian Academy of Sciences "Nauka", 2000. 425 p. ISBN 5-02-031528-1

14. Marusin V.V., Stepus P.P., Kraev A.V., Pasharin S.I. *Sposob poverkhnostnoi zakalki chuguna i induktor dlya ego osushchestvleniya* [Procedure for iron surface quenching and inductor for its implementation]. Patent RF, no. 2428487, 2011.

15. Golovin G.F., Zamyatnin M.M. *Vysokochastotnaya termicheskaya obrabotka. Voprosy metallovedeniya i tekhnologii* [High-frequency heat treatment. Problems of Metallurgy and Technology]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1990. 239 p.

Received 11 March 2015

Revised 11 April 2015

Accepted 4 May 2015