

УДК: 621.771.294.04.001.76

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС С НОВОЙ СИСТЕМОЙ ЛЕГИРОВАНИЯ

БАБАЧЕНКО А.И.^{1*}, д. т. н.,
КОНОНЕНКО А.А.², к. т. н.,
КНЬШ А.В.³, к. т. н.,
ДЕМЕНТЬЕВА Ж.А.⁴,
ШПАК Е.А.⁵,
КЛИНОВАЯ О.Ф.⁶

¹ Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2869-3478

² Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Kononenko@inbox.ru; Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49005, Днепропетровск, Украина, ORCID: 0000-0001-7446-4105

³ Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5688-9417

⁴ Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8863-4558

⁵ Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-8741-5498

⁶ Отдел проблем деформационно-термической обработки конструкционных сталей, Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Днепропетровск, Украина, тел.+38(056)790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2566-3877

Аннотация. *Цель.* Сравнительные исследования механических свойств при различных температурах испытания сталей для железнодорожных колес различного химического состава. *Методика.* Выполнены испытания на растяжение при повышенных температурах по ГОСТ 9651, испытания на ударный изгиб при пониженных температурах выполнялись по ГОСТ 9454 образцов, отобранных из ободьев цельнокатаных железнодорожных колес из стали марки «2», «Т» и «К», производства ПАО «ИНТЕРПАЙП НТЗ». *Результаты.* Увеличение температуры испытаний на растяжение приводит к снижению прочности в различной степени в зависимости от химического состава сталей. Пластические свойства сталей при этом имеют иной характер зависимости. Наиболее чувствительным оказалось относительное сужение. Установлено, что при докритических температурах, пока не происходит изменение фазового состава, относительное сужение стали марки «К» значительно превосходит другие исследуемые стали и достигает до 90%. То есть в условиях локализации деформации новая марка характеризуется высокой стойкостью к разрушению и образованию трещин. Работа удара при пониженных температурах опытной марки «К» имеет уровень значений, близкий к марке «2» и значительно выше (в 2,5-3 раза) значений для марки «Т». *Научная новизна.* Установлены закономерности влияния температуры испытаний на механические свойства ободьев железнодорожных колес различного химического состава: показатели прочности, пластичности и вязкости стали. Установлено, что изменение механических свойств стали имеет различный характер при изменении температуры. *Практическая значимость.* Цельнокатаные железнодорожные колеса из стали марки «К» обладают высокой эксплуатационной надежностью, так как по комплексу показателей прочности и пластичности при повышенных температурах, работы удара при пониженных температурах она значительно превосходит имеющиеся аналоги.

Ключевые слова: цельнокатаные железнодорожные колеса, химический состав стали, испытания на растяжение, работа удара, температура испытаний.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВИПРОБУВАНЬ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ ДЛЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС З НОВОЮ СИСТЕМОЮ ЛЕГУВАННЯ

БАБАЧЕНКО О.І.^{1*}, д. т. н.,
КОНОНЕНКО Г.А.², к. т. н.,

КНИШ А.В.³, к. т. н.,
ДЕМЕНТЬЄВА Ж.А.⁴,
ШПАК О.А.⁵,
КЛИНОВА О.П.⁶

¹ Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2869-3478

² Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Kononenko@inbox.ru ; Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, 49005, Дніпропетровськ, Україна, ORCID: 0000-0001-7446-4105

³ Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-5688-9417

⁴ Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8863-4558

⁵ Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-8741-5498

⁶ Відділ проблем деформаційно-термічної обробки конструкційних сталей, Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, пл. Ак. Стародубова К.Ф., 1, 49050, Дніпропетровськ, Україна, тел. + 38 (056) 790-05-14, e-mail: A_Babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2566-3877

Анотація. Мета. Порівняльні дослідження механічних властивостей при різних температурах випробування сталей для залізничних коліс різного хімічного складу. **Методика.** Виконано випробування на розтяг при підвищених температурах за ГОСТ 9651, випробування на ударний вигин при знижених температурах виконувалися за ГОСТ 9454 зразків, відібраних з ободів суцільнокатаних залізничних коліс зі сталі марки «2», «Т» і «К», виробництва ПАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». **Результати.** Збільшення температури випробувань на розтяг призводить до зниження міцності в різній мірі залежно від хімічного складу сталей. Пластичні властивості сталей при цьому мають інший характер залежності. Найбільш чутливим виявилось відносно звуження. Встановлено, що при докритичних температурах, поки не відбувається зміна фазового складу, відносно звуження сталі марки «К» значно перевершує інші досліджувані сталі і сягає до 90%. Тобто в умовах локалізації деформації нова марка характеризується високою стійкістю до руйнування і утворення тріщин. Робота удару при знижених температурах дослідної марки «К» має рівень значень, близький до марки «2» і значно вище (в 2,5-3 рази) значень для марки «Т». **Наукова новизна.** Встановлено закономірності впливу температури випробувань на механічні властивості ободів залізничних коліс різного хімічного: показники міцності, пластичності і в'язкості сталі. Встановлено, що зміна механічних властивостей сталі має різний характер при зміні температури. **Практична значимість.** Суцільнокатані залізничні колеса зі сталі марки «К» мають високу експлуатаційну надійність, так як за комплексом показників міцності і пластичності при підвищених температурах, роботи удару при знижених температурах вона значно перевершує наявні аналоги.

Ключові слова: суцільнокатані залізничні колеса, хімічний склад сталі, випробування на розтяг, робота удару, температура випробувань.

INFLUENCE OF TEMPERATURE OF TEST ON THE MECHANICAL PROPERTIES FOR RAIL WHEEL STEEL WITH NEW SYSTEM OF ALLOYAGE

BABACHENKO A. I.^{1*}, *Doc. Sc. (Tech.)*
KONONENKO A. A.², *Cand. Sc. (Tech.)*
KNYSH A. V.³, *Cand. Sc. (Tech.)*
DEMENT'ЄVA Zh. A.⁴,
SHPAK E. A.⁵
KLINOVAYA O. F.⁶

¹Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21, +38 (056) 790-57-85, e-mail: a_babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-2869-3478

² Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnepropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21,

+38 (056) 790-57-85, e-mail: A_Kononenko@inbox.ru ; Department of Heat Treatment of Metals of the National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin avenue, 4, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine, ORCID: 0000-0001-7446-4105

³Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21, +38 (056) 790-57-85, e-mail: a_babachenko@mail.ru ORCID: 0000-0002-5688-9417

⁴Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21, +38 (056) 790-57-85, e-mail: a_babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0002-8863-4558

⁵Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21, +38 (056) 790-57-85, e-mail: a_babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-8741-5498

⁶Department of Deformation and Heat Treatment of Constructional Steels of Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine, Sq. Academician Starodubova, 1, 49050, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 790-05-21, +38 (056) 790-57-85, e-mail: a_babachenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2566-3877

Abstract. Purpose. Comparative studies of the mechanical properties of steels at different temperatures for testing of railway wheels of different chemical composition. **Methods.** Pull test at stretching by high temperatures at GOST 9651, test the percussion bend at low temperatures were made according at GOST 9454 **specimen** taken from the rims of solid-rolled railway wheels of steel "2", "T" and "K", manufacture of PJSC "Interpipe NTRP". **Results.** Increasing temperature pull test results in reduced strength in varying degrees depending on the chemical composition of the steels. Plastic properties of steels thus have a different character depending. The most sensitive was relatively narrowing. It is found that at subcritical temperatures until a change of phase composition, relative narrowing steel "C" is significantly superior to other investigated steel reaches 90%. That is, the strain localization under the new brand is characterized by high resistance to fracture and cracking. Employment impact at low temperatures experienced grade "K" has a level of a value close to the mark "2", and is significantly higher (by 2.5-3 times) values for the brand "T". **Originality.** The regularities of the influence of the test temperature on the mechanical properties of the rims of railway wheels of different chemical: indicators of strength, ductility and toughness of steel. It was found that the change in the mechanical properties of the steel has a different character when the temperature changes. **Practical value.** Solid-rolled railway wheels of steel "K" have a high operational reliability, since a range of indicators of strength and ductility at high temperatures, impact energy at low temperatures it is much superior to the existing analogues.

Keywords: solid-rolled railway wheel, the chemical composition of the steel, the tensile test, impact work temperature

Состояние вопроса

Современные тенденции развития грузового железнодорожного транспорта заключаются в повышении нагрузки на ось, что требует повышения прочности железнодорожных колес. Одновременно с этим необходимо обеспечивать высокую стойкость к образованию эксплуатационных дефектов на поверхности катания. Основными из них являются износ, выщербины и ползуны [1, 2].

Основываясь на результатах предварительных исследований, было установлено, что для обеспечения минимального износа железнодорожных колес, необходимо обеспечивать их твердость на уровне не ниже 320НВ [3, 4]. Была разработана и внедрена в производство марка стали для железнодорожных колес «Т». Позже столкнулись с проблемой повышения количества случаев выхода железнодорожных колес из эксплуатации по причине возникновения на поверхности катания дефектов термического происхождения. Согласно [5], для обеспечения высокой стойкости колес к образованию на поверхности катания выщербин, необходимо снижать склонность стали к образованию «белых слоев», возникающих при торможении, в результате последующего выкрашивания которых, образуются выщербины. В ходе выполнения исследований было показано, что повышение содержания углерода в стали для

железнодорожных колес оказывает отрицательное влияние на выщербинообразование [6-8].

Исходя из этих условий, для повышения эксплуатационной надежности и долговечности, была разработана марка стали для железнодорожных колес с новой системой легирования: повышенным содержанием кремния и марганца по сравнению со сталями, применяемыми для железнодорожных колес в Украине, при выполнении соотношений $0,8 \leq \frac{Si}{Mn} \leq 1,0$ и $1,6 \leq Si + Mn \leq 1,8$ [9-11]. Была произведена опытная партия железнодорожных колес и выполнен комплекс исследований по определению их свойств. Химический состав стали опытной партии колес приведен в таблице 1.

Таблица 1

Химический состав исследуемых сталей/ The chemical composition of the investigated steels

| Марка стали | Содержание элементов, % масс | | | | | |
|-------------|------------------------------|------|------|-------|-------|-------|
| | C | Mn | Si | P | S | V |
| марка «2» | 0,61 | 0,68 | 0,32 | 0,007 | 0,007 | - |
| марка «Т» | 0,66 | 0,73 | 0,33 | 0,008 | 0,007 | 0,085 |
| марка «К» | 0,58 | 0,85 | 0,97 | 0,009 | 0,004 | 0,083 |

Твердость колес марки «К» составила 337 НВ. В качестве сравнительных в работе исследовались железнодорожные колеса, применяемые на

железной дороге Украины: марки «2» и марки «Т», химический состав которых представлен в табл. 1. Твердость сравнительных колес марки «Т» составила 337 НВ, марки «2» – 298 НВ.

Результаты исследований и их обсуждение

С повышением температуры сопротивление пластической деформации металлов падает. Характер этого падения зависит от типа кристаллической решетки, температуры плавления металлов и структурных превращений, инициируемых температурой [12, 13]. В процессе эксплуатации железнодорожные колеса испытывают тепловое воздействие. При этом в локальных участках обода железнодорожного колеса температура может достигать значений выше критических (до 800 °С) [5]. В связи с этим необходимо установление закономерностей влияния повышенной температуры на показатели прочности и пластичности, поскольку они являются характеристиками надежности железнодорожных колес. Недостаточный уровень этих свойств при повышенных температурах может являться причиной выхода из эксплуатации колес. Испытания на растяжение при повышенных температурах проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 9651.

В результате анализа зависимостей, представленных на рис. 1 можно сделать вывод о том, что повышение температуры приводит к снижению прочности. Образцы из ободьев из стали марки «К» и «Т» имели близкие значения предела прочности при комнатной температуре, при повышении температуры испытаний сталь марки «Т» характеризуется более интенсивной потерей прочности по сравнению со сталью марки «К». С точки зрения эксплуатационной надежности железнодорожных колес, это свидетельствует о большей стойкости новой стали марки «К» к термическому воздействию, возникающему при торможении. Таким образом, стойкость против потери геометрии при эксплуатации (образование ползунов) у железнодорожных колес из стали марки «К» выше по сравнению с колесами из сталей, применяемых сегодня на железных дорогах Украины.

Пластические свойства сталей при повышенных температурах имеют иной характер зависимости. Относительное удлинение не значительно изменяется в зависимости от химического состава исследуемых сталей для железнодорожных колес. Более чувствительным оказалось относительное сужение, которое является наиболее правильным и точным показателем пластичности при большой величине деформаций, так как не зависит от длины образца и наилучшим образом характеризует область сосредоточенных деформаций. Установлено, что при докритических температурах, пока не происходит изменение фазового состава, пластичность стали марки «К» значительно

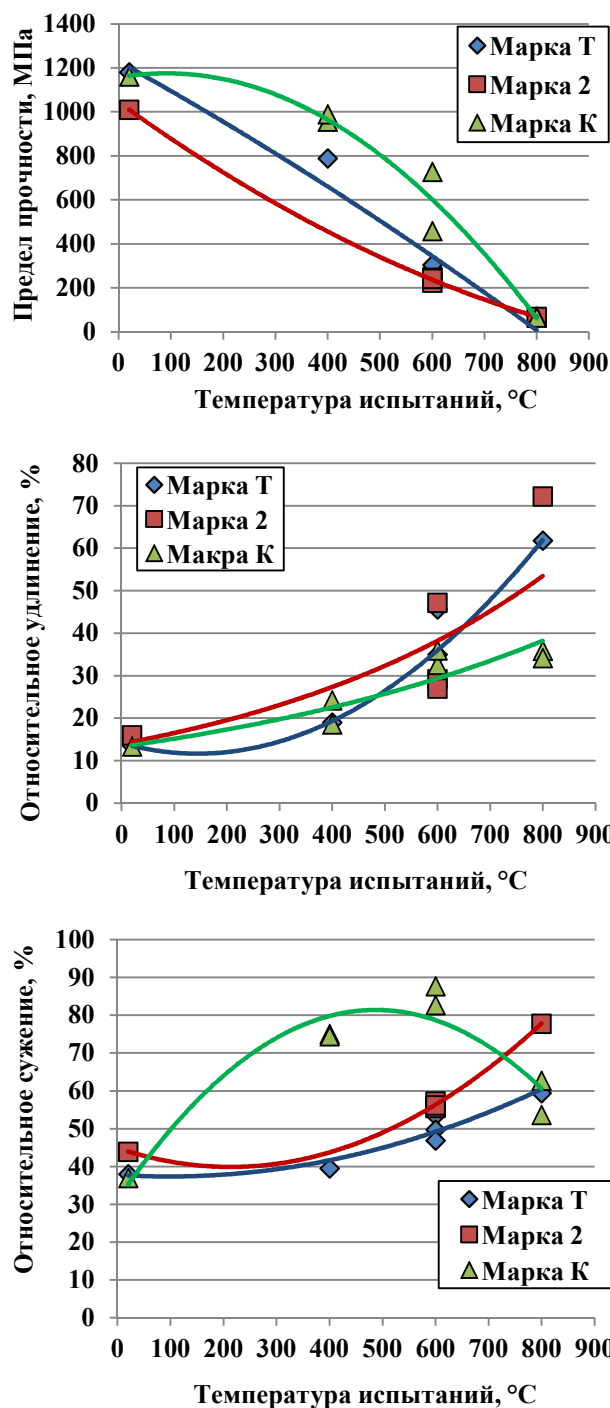


Рис.1 – Механические свойства при испытании на растяжение при комнатной и повышенной температурах/ The mechanical properties of a tensile test at room and elevated temperatures

превосходит другие исследуемые стали и достигает до 90%. То есть в условиях локализации деформации новая марка «К» характеризуется высокой стойкостью к разрушению, образованию трещин. При повышении температуры испытаний выше критической (A_3) происходит резкое снижение указанной характеристики, однако при этом ее значения находятся на уровне значений для марки «2». Ударная вязкость является одной из

основных характеристик надежности большинства конструкционных сталей, в том числе и применяемых для производства железнодорожных колес. Практически всеми зарубежными и международными стандартами на железнодорожные колеса предусмотрено проведение испытаний на ударный изгиб с определением работы удара образцов, вырезанных из обода колеса. Однако, для конструкционных материалов и изделий из них, работающих не только при положительных, но и при отрицательных температурах, знание работы удара, определенной при температуре +20, не может дать полной информации о запасе его эксплуатационной вязкости. Для этого необходимо проведение испытаний при пониженных температурах. Известно, что изменение температуры является одним из наиболее активных факторов, оказывающим влияние на переход металла из вязкого состояния в хрупкое, и, тем самым, повышающим опасность хрупкого разрушения.

Для обеспечения высокой надежности железнодорожных колес при эксплуатации в условиях низких температур, исследовали влияние отрицательных температур на работу удара. Испытывали образцы из ободьев железнодорожных колес различного химического состава с надрезом глубиной 5 мм и радиусом U-образного надреза 1 мм. Результаты испытаний представлены на рис. 2.

Установлено, что опытная марка «К» имеет уровень значений данной характеристики, близкий к марке «2» и значительно выше (в 2,5-3 раза) значений для марки «Т». Это свидетельствует о высоком уровне надежности железнодорожных колес из стали марки «К».

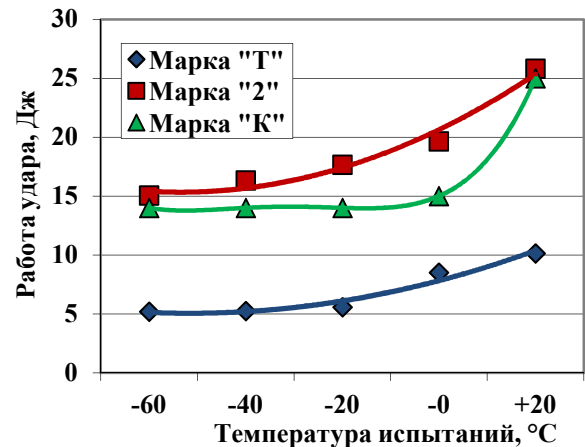


Рис. 2. Влияние температуры испытаний на работу удара сталей для железнодорожных колес различного химического состава/ Influence of test temperature at a blow job for railway wheels of different chemical composition

Выводы

По результатам проведенных исследований установлено влияние температуры испытаний на показатели прочности, пластичности и вязкости стали. Показано, что новая марка стали «К» с повышенным содержанием кремния и марганца, обладает высокой пластичностью и прочностью при повышенных температурах, а при отрицательных температурах опытная сталь обладает более высокой вязкостью по сравнению со сталями, применяемыми для железнодорожных колес в Украине, что свидетельствует о высоком уровне эксплуатационной надежности колес из стали марки «К».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Контактно-усталостное повреждение колес грузовых вагонов/ Труды ВНИИЖТ; под ред. С. М. Захарова.- М.: Интекст, 2004.- 160 с.
2. "Інструкція з формування, ремонту та утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм" 305-Ц Міністерство транспорту України, Державна адміністрація залізничного транспорту України, Укрзалізниця 2001 р.
3. Высокопрочная металлопродукция и эффективное ее использование на железнодорожном транспорте / И. Г. Узлов, К. И. Узлов, А. Д. Лашко [и др.] // Залізничний транспорт України. - 2003. - № 3. - С. 27-30.
4. И.Г. Узлов Высокопрочная металлопродукция для вагоностроения. Сб. ИЧМ № 13 (2006), С. 127-136.
5. М.О. Дружинін, В.І. Сухомлин, А.М. Нестеренко, А.В. Книш Особливості структури білих шарів на поверхні катання залізничних коліс // Металознавство та обробка металів. -№2. – 2008. – с.3-7.
6. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации / А.И. Бабаченко, А.А. Кононенко, Ж.А. Дементьева, П.Л.Литвиненко, А.В. Кныш // Залізничний транспорт України. - 2010. - № 5. - С. 35-38.
7. Бабаченко А.И. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации // А.И. Бабаченко // Материалы международной научно-практической конференции «Сучасний стан та проблеми взаємодії рухомого складу та колії «рейка-колесо 2010». – Одесса, 2010.
8. Исследование причин образования дефектов на поверхности катания высокопрочных колес в процессе эксплуатации и разработка рекомендаций по их уменьшению / А.И. Бабаченко, И.Г. Узлов, А.А. Кононенко, А.В. Книш // Материалы международного конгресса «16thInternational Wheelset Congress & Exhibition». – Кейптаун, 2010.
9. Пат. 101757 Україна, МПК C22C 38/46, C22C 38/02, C22C 38/04. Сталь для суцільнокатаних коліс / Бабаченко О. І., Книш А. В., Кузьмичов В. М., Литвиненко П. Л., Польський Г. М., Беседнов С. В., Рослік О. В.; замовник і патентовласник Інститут чорної металургії Національної академії наук України. – а 2011 15058; заявл. 19.12.2011; опубл. 25.04.2013, Бюл. № 8.

10. Концептуальные основы выбора химического состава стали для железнодорожных колес / А. И. Бабаченко, Д. Н. Тогобицкая, А. С. Козачок, Л. Н. Головко, А. А. Кононенко, А. В. Кныш // Металознавство та термічна обробка металів. – 2014. – № 4. – С. 34–48.
11. Оптимизация химического состава колесных марок сталей на основе параметров межатомного взаимодействия/ Д. Н. Тогобицкая, А. И. Бабаченко, А. С. Козачок, А. А. Кононенко, Л. А. Головко// Математическое моделирование. – 2014, №30.– С. 44-47.
12. Н.А. Шапошников Механические испытания металлов / Н.А. Шапошников – М.: Mashgiz, 1954. – 433 с.
13. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов / В.С. Золоторевский. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.

REFERENCES

1. S.M. Zaharov Kontaktno-ustalostnoe povregdenie koles grusovuh vagonov [The contact-fatigue damage wagons wheels]. Moscow, Intext, 2004. – 160 p.
2. "Instrukcia s formuvannia, remontu ta ytrumannia kolisnuh par tiagovogo ruhomogo skladu zaliznus Ukrainu kolii 1520 mm" [Instructions to build, repair and maintenance of traction bogies for rail transport Ukraine 1520 mm] 305-C Ministerstvo transporta Ukrainu, Dergavna administracia zaliznuhnogo transport Ukrainu, Ukrzaliznusia 2001.
3. Uzlov I.G., Uzlov K.I., Lashko A.D. Vusokoprochnaia metalloprodukzia I effektivnoe ee ispolzovanie na zheleznodorozhnom transporte [High-strength steel products and its effective use in rail transport] Zaliznuhny transport Ukrainu. 2003. – №3. – P. 27-30.
4. Uzlov I.G. Vusokoprochnaya metalloprodukzia dlia vagonostroenia [High-strength steel products for the car building] Coll. Iron and Steel Institute №13. – 2006. – P.127-136.
5. M.O. Druzhinin, V.I. Suhomlin, A.M. Nesterenko, A.V. Knush Osoblivosti struktury biluh shariv na poverhni katannia zaliznuhnyh kolis [Features of the structure of the surface layers of white skating railway wheels] // Metallurgy and metal processing. – №2. – 2008. – p. 3-7.
6. A.I. Babachenko, A.A. Kononenko, G.A. Dementieva, P.L. Litvinenko, A.V. Knush Issledovanie prichin obrasovania defektov na poverhnosti katania vusokoprochnuh kolis v prozesse ekspluatazii [Research the causes of defects on the surface of the high-rolling wheels during operation] // Rail Ukraine - 2010. - № 5. - P. 35-38.
7. Babachenko A.I. Issledovanie prichin obrasovania defektov na poverhnosti katania vusokoprochnuh kolis v prozesse ekspluatazii [Research the causes of defects on the surface of the high-rolling wheels during operation]/ Scientific-practical conference "Suchasnyj mill that problem vzaemodii Rukh warehouse that kolii" rake-wheel 2010 ". - Odessa, 2010.
8. A.I. Babachenko, I.G. Uzlov, A.A. Kononenko, A.V. Knush Issledovanie prichin obrasovania defektov na poverhnosti katania vusokoprochnuh kolis v prozesse ekspluatazii i rasabotka rekomendatsiy [Research the causes of defects on the surface of the high-rolling wheels in the operation and development of recommendations for their mitigation] / Proceedings of the International Congress «16th International Wheelset Congress & Exhibition». - Capetown, 2010.
9. Pat. UKRAINE 101757, IPC C22C 38/46, C22C 38/02, C22C 38/04. Stal dlia sutsilnokatanih kolis [Solid-rolled steel, for wheels]/ Babachenko A. I., Knish AV, Kuzmitchov VM, Litvinenko PL, Polsky GM, Besednov SV, Roslik O. B. ; Zamovnik i patentovlasnik Institut chornoj metalurgii Natsionalnoy Akademiy Nayk Ukrainu [Customer and patentee Iron and Steel Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine]. - 2011 and 15058; appl. 19.12.2011; publ. 04.25.2013, Bull. Number 8.
10. A.I. Babachenko, D.N. Togobitskaya, A.S. Kosachek, L.N. Golovko, A.A. Kononenko, A.V. Knush Kontseptualnii osnovu vubora himicheskogo sostava stali dla zheleznodorozhnyh kolis [The conceptual basis of chemical composition of the selection of steel for railway wheels]. Metallurgy and heat treatment of metals – 2014. – № 4. – P. 34–48.
11. D.N. Togobitskaya, A.I. Babachenko, A.S. Kosachek, A.A. Kononenko, L.N. Golovko Optimization of the chemical composition of wheel steels on the basis of the interatomic interaction parameters // Math modeling – 2014, №30.– С. 44-47
12. N.A. Shaposhnikov Mehanicheskie isputania metallov [Mechanical testing of metals] / M. Mashgiz, 1954. – 433 p.
13. Zolotarevskiy V.S. Mehanicheskie svoistna metallov [Mechanical properties of metals] / M. Metallurgia, 1983. – 352 p.

Статья рекомендована к публикации д-ром.техн.наук, В.А. Луценко (Украина); д-ром.техн.наук, проф. Л.Н. Дейнеко (Украина)