

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

UDC 629.4.027.11-46

S. R. KOLESNYKOV^{1*}, M. R. ROMANIUKHA², I. YU. KEBAL³

^{1*}Planning and Design Technological Office, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257\$

²Planning and Design Technological Office, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail romaniuha.nikolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-9514-6365

³Planning and Design Technological Office, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 371 51 12, e-mail spyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

WHEELSET AXLE WITH THE CAVITY OF UNIFORM CROSS SECTION

Purpose. Due to operation in complex loading conditions, the rolling stock wheelsets should provide high reliability, since the train traffic safety largely depends on them. Design and technical condition of wheelsets affect the smoothness, intensity of forces generated by the interaction between the car and track, and the motion resistance. Specificity of the axle operation consists in the fact that it undergoes the bending stresses under loading. These stresses are unevenly distributed along the cross-sectional area, reaching the highest values in the outer fibers and the minimal values in the internal ones. This aspect sets the problem of replacement of the uniform cross section with the hollow cross section. The disadvantages of hollow axle design, which are used at the present time, should include a significant manufacturing complexity of the variable section cavity. The purpose is to develop a modernized design of the wheelset axle. **Methodology.** A construction of the hollow axle having an inner longitudinal cylindrical through hole of the constant diameter throughout its length was proposed. The item is made of steel seamless tube. The inner surface of the tube is treated by mechanical means to remove the voltage concentrations in the internal longitudinal cylindrical through hole, which has a constant diameter along the entire length of the axle. **Findings.** Application of this design will facilitate manufacturing of the hollow axle and the machining of the inner longitudinal through hole, while retaining all the use advantages of the hollow axle in the rolling stock wheel pairs. Another use advantage of the hollow axle of this design is the absence of partial heterogeneity of the metal, which is inevitably, occurs during the solid axles blanking. **Originality.** A new design of the wheelset hollow axle of railway rolling stock was proposed. **Practical value.** Introduction of the new design simplifying the manufacture and mechanical treatment of the inner cavity of the wheel pair axle will bring significant economic benefits. According to preliminary calculations, the use of the axle with the uniform cross section cavity will reduce the metal consumption by 100-110 kg.

Keywords: wheelset; solid axle of wheelset; hollow axle of wheelset; railway rolling stock; railway car, unsprung weight of car

Introduction

One of the most popular and large-capacity rail purposed metal products is the production of wheelsets for rolling stock.

The scale assessment of the global market for railway wheelsets made by All Russian Market Research Institute based on data for the production of cars (about 100 thousand per year) and their park (more than 4 million pieces), taking into ac-

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

count the needs in repair and modernization of the fleet, shows that each year about 1.500 thousand of wheelsets are produced worldwide. According to assessment of All Russian Market Research Institute based on the statistics of UN and UNECE, and data of national statistics in several countries [4], the total physical volume of production of these products in the world at the moment is about 1.5 million tons per year.

Due to operation in complex loading conditions, the wheelsets should provide high reliability [9, p. 3], since the train traffic safety largely depends on them. Therefore the special, high standardization requirements are imposed on them. They are regulated by the Rules of Technical Operation of the Railways, the Specifications on the inspection, repair and forming of car wheelsets and other regulations for the design, construction and maintenance.

The issues of the design, construction, manufacturing, quality control and maintenance of the wheelset axles abroad are clearly regulated by the European standardization documents. High-speed train traffic, increase in the number of passenger and freight transportations and other factors required the creation of new standards for the wheelsets of solid and hollow shafts of rolling stock too: 1) Railway applications – Wheelsets and bogies – Non powered axles – Design method; German version EN 13103:2009 + A2:2012; 2) Railway applications – Wheelsets and bogies – Powered axles – Design method; German version EN 13104:2009 + A2:2012; 3) Railway applications – Wheelsets and bogies – Axles – Product requirements; German version EN 13261:2009 + A1:2010, etc.

At the same time F. Murawa in his research emphasizes that the constant striving to increase the environmentally safe and cost-efficient railway transportations involves not only the strict adherence to technical standards, but also the opportunities for innovations and new solutions [13].

Design and technical condition of wheelsets affect the smoothness, intensity of forces generated by the interaction between the car and track, and the motion resistance. These issues are discussed by scientists and practitioners from different countries. Thus, M. Novosad, R. Fajkos, B. Reha and R. Reznicek [12], S. Myamlin, V. Horobets and A. Bondarev [6] in their articles emphasize the importance of testing for fatigue failure of the wheelset axle metal. S. Beretta, M. Carbonia and other researchers

[11], developing the given subject, research, corrosion-fatigue failure of steels. D. Dani-lov and A. Andreyev [2] study the stress-strain state of the car wheelset when driving on the straight and curved track sections, taking into account the impact of wind load by means of PC ANSYS. L. Lubenskaya [5] describes a method for increasing the performance properties of wheelset axles due to the hardening of their surface. At the same time, in spite of the number of studies on this issue, the problem of significant increase in performance properties of wheelset axles up to this day is still unresolved.

Purpose

The purpose of the work is to create a design of wheelset axle that will satisfy a number of basic requirements. The requirements are: 1) the availability of sufficient strength with minimum unsprung weight that is dictated by the need to reduce the empty weight of the rolling stock and reduce the direct impact on the rail track and the car elements during the passage of rail track irregularities; 2) provision (together with axle boxes) of the lesser resistance during the car moving and the greater resistance to the wear of elements undergoing the wear during operation.

Methodology

Specificity of the axle operation consists in the fact that it undergoes the bending stresses under loading. These stresses are unevenly distributed along the cross-sectional area, reaching the highest values in the outer fibers and the minimal values in the internal ones. This aspect sets the problem of replacement of the uniform cross section by the hollow cross section without notable increase in the overall dimension. But it should promote the weight reduction as compared to the axle of uniform cross section.

It was found that the endurance limit in all parts of the hollow axles is not lower and the sensitivity to stress concentration is lesser than that of the standard solid axles [1, p. 94]. The carrying capacity, which is estimated by the endurance limit product at the moment of the cross section resistance to the bending in the wheel seat of the hollow axle is 15% higher than this figure for the comparable solid axle.

Therefore the designs and technologies of the hollow axles manufacturing using the method of helical rolling [10] (Fig. 1) are developed.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

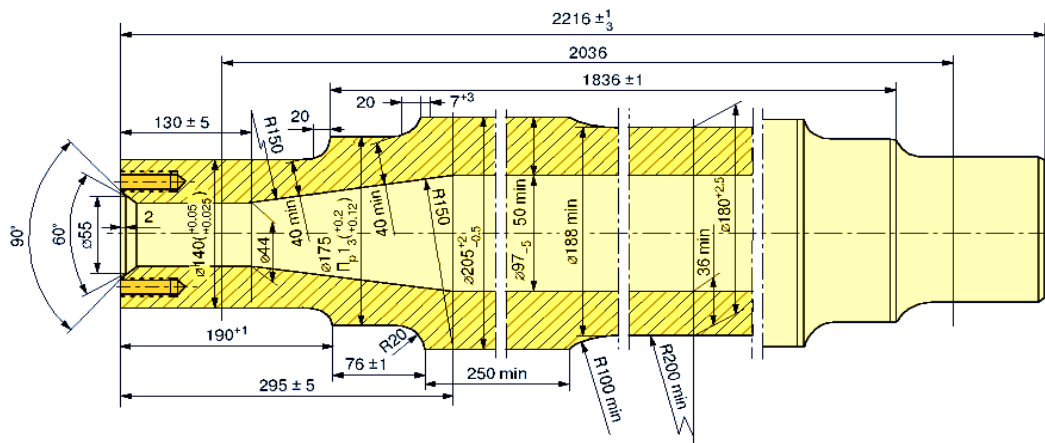


Fig. 1. Wheelset axle with a cavity of variable cross section

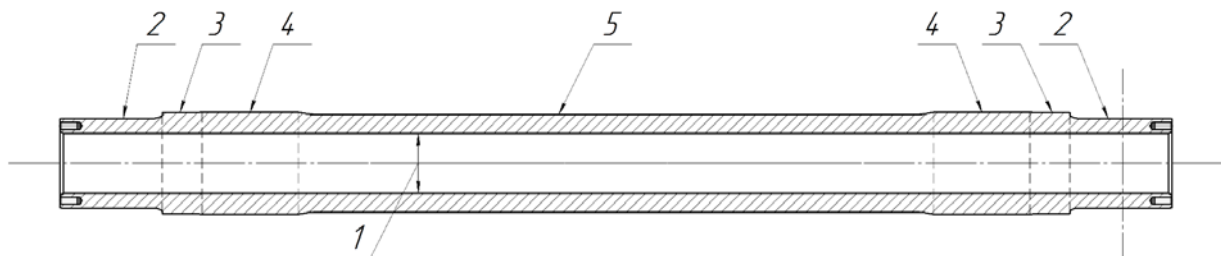


Fig. 2. Wheelset axle with a cavity of uniform cross section:

1 – inner longitudinal through cylindrical hole of constant diameter throughout the length of axle; 2 – neck of the hollow axle for bearings; 3 – prewheel seat; 4 – wheel seat; 5 – hollow axle body

Technical and economic advantages of the wheelsets with hollow axes are defined by the following parameters [3]:

- 1) decrease in the metal consumption;
- 2) reduction of the empty weight ratio and increase of the car capacity (without changing the load from the wheel on the rail);
- 3) cost reduction for the non-productive transportation of the empty weight of cars;
- 4) reduction of forces of the dynamic interaction of rolling stock and track due to the reduction of the unsprung weight of cars.

The disadvantages of such structure should include significant manufacturing complexity of the cavity of variable cross-section. Internal configuration of the designed hollow axle is a longitudinal cylindrical hole with the same diameter in the middle part and wheel seat. It radially passes into the hole in the form of truncated cones in the prewheel seat with smaller bases to the openings of axle necks.

In turn, the openings in the necks of hollow axle are also in the form of truncated cones. The larger bases of these cones are directed to the butt ends of the axle or the cylindrical ones in case the

necks forming in the black collar axle is made without a drawbar or mandrel. Smaller bases of the truncated cones of the wheel seat parts and the necks are mated together smoothly along the radius. Longitudinal holes in the necks at the butt are ended by the center holes with a protection cone. Through the holes all the internal surface of the blanks is descaled with the steel shot. As a result the surface layer from the inner side of the axle is somewhat strengthened due to work hardening.

Thus, the technical task, which would allow the efficient use of the hollow axes, is to develop the structure facilitating the manufacturing and machining of the inner cavity.

The specialists of Planning and Design Technological Office of the Rolling Stock, Track and the man-made structures of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan (Ukraine) have developed the hollow axle construction with internal longitudinal through cylindrical hole of the constant diameter throughout length (Fig. 2).

The item is made of steel seamless tube. The inner diameter of this tube should be a little

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

smaller than the diameter of inner longitudinal through cylindrical hole, when the outer diameter of the is somewhat larger than the diameter of wheel seat part. The outer surface of the tube is welded to the diameters equal to the diameters of necks for the bearings, prewheel seat, wheel seat and the hollow axle body. The inner surface of the tube is treated by mechanical means to remove the voltage concentrations in the internal longitudinal cylindrical through hole, which has a constant diameter along the entire length of the axle.

Another use advantage of the hollow axle of this design is the absence of partial heterogeneity of the metal, which is inevitably, occurs during the solid axles blanking [8]. Black collar solid axles are made of axle billet or directly from the steel ingots by forging, stamping, screw rolling or radial-rotational deformation [7]. With such production method the metal heterogeneity often leads to the radial runout, which is corrected by the labor-consuming balancing on the special stands. Applying the same all-rolled metal to produce the hollow axles eliminates this problem, when the manufacturing technology of the cavity with the same diameter throughout the length of the axle allows a conducting finishing cut of the surface with the exact accuracy that further improves the item balancing.

It should be also noted that due to the increase in the outer diameter of the axle neck, increases the inner diameter of the axle box bearings. Thus, to provide the necessary contact area for load transfer from the body car to the axle, the bearing width decreases. This prevents significant increase in weight and material costs for the axle box of the wheelset.

Findings

During the study the variants of wheelset axles were analyzed and the use advantages of the hollow axles were illustrated. The authors have developed the design of axle with the cavity of uniform cross-section, which would simplify the production of the item.

Originality and practical value

The authors have proved the need to improve the hollow axle of the wheelset and developed its new design. Production of wheelset axle with the cavity of uniform cross-section simplifies the hollow axles manufacturing. According to preliminary

calculations, the use of the axle with the cavity of uniform cross-section would reduce the metal consumption by 100-110 kg.

Conclusions

As a result of the study the authors have found that for a significant increase in performance properties of the wheelset axles is necessary:

1) Creation of the wheelset design, having sufficient strength with minimum unsprung weight in order to reduce the empty weight of rolling stock and to reduce the direct impact on the rail track and the car elements during the passage of the rail track irregularities;

2) Ensuring (together with the axle boxes) the lesser motion resistance and larger wear resistance of the elements undergoing the wear during operation;

3) Application of the construction proposed by the authors, simplifies the manufacturing of the hollow axle and the machining of the inner longitudinal through-hole, while retaining all the use advantages of the hollow axle in the wheelsets of the rolling stock.

LIST OF REFERENCE LINKS

1. Вагоны : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский и др. – Москва : Транспорт, 1980. – 439 с.
2. Данилов, Д. В. Исследование НДС колесной пары при прохождении криволинейных участков пути / Д. В. Данилов, А. Г. Андреев // Вісн. НТУ «ХПІ». – Х., 2013. – Вип. 58 (1031). – С. 63–70.
3. Длительные эксплуатационные испытания колесных пар с полыми осями / Л. М. Школьник, Н. И. Мартынов, В. В. Новиков и др. // Вестн. ВНИИЖТа. – 1980. – № 4. – С. 36–41.
4. Краткий обзор мирового рынка колесных пар и колес для вагонных тележек [Electronic resource]. – Access Mode: <http://ukrbascompany.at.ua/>. – Title from the screen. – Accessed : 02.06.2014.
5. Лубенская, Л. М. Повышение эксплуатационных свойств осей колесных пар за счет упрочнения их поверхности / Л. М. Лубенская, П. В. Колодяжный // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2011. – Вип. 38. – С. 41–46.
6. Мямлін, С. В. Порівняльна оцінка опору втомі матеріалу напівоброблених осей, виготовлених за прогресивними технологіями / С. В. Мямлін, В. Л. Горобець, О. М. Бондарев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 35–42.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

7. Оси черновые (заготовки профильные) для подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия: ГОСТ 30272-96 [Electronic resource]. – Введ. 01.01.1998 с изм. и доп. от 01.08.2003. – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 19 с. – Available at: <http://vsegost.com/Catalog/71/7181.shtml#7182>. – Title from the screen. – Accessed : 02.05.2014.
8. Расщупкин, В. П. Дефекты металла: учеб. пособие / В. П. Расщупкин, М. С. Корытов. – Омск : Изд-во СиБАДИ, 2006. – 36 с.
9. Харитонов, М. И. Изучение конструкции колесных пар, осей и колес / М. И. Харитонов, В. Н. Панкин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2009. – 25 с.
10. Целиков, А. И. Непрерывные процессы в металлургии и машиностроении [Electronic resource] // В мире науки. – 1983. – Вып. 12. – Available at: <http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/SCIAM/METAL/METAL.HTM>. – Title from the screen. – Accessed : 02.06.2014.
11. Crack Growth Studies in Railway Axles under Corrosion Fatigue: Full-scale Experiments and Model Validation / S. Beretta, M. Carbonia, A. Lo Contea [et al.] // Procedia Engineering. – 2011. – № 10. – P. 3650–3655. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.601.
12. Fatigue tests of railway axles / M. Novosad, R. Fajkoš, B. Reha, R. Reznicek // Procedia Engineering. – 2010. – Vol. 2. – Iss. 1. – P. 2259–2268. doi: 10.1016/j.proeng.2010.03.242.
13. Murawa, F. Axles – Requirements and realization [Radsatzwellen – Anforderungen und Verwirklichung] / F. Murawa // Materialpruefung/Materials Testing. – 2011. – Vol. 53. – Iss. 4. – P. 198–205.

С. Р. КОЛЕСНИКОВ^{1*}, Н. Р. РОМАНИУХА², И. Ю. КЕБАЛ³

^{1*}Проектно-конструкторское технологическое бюро, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257\$

²Проектно-конструкторское технологическое бюро, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта romaniuha.nikolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-9514-6365

³Проектно-конструкторское технологическое бюро, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, эл. почта sphyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

ОСЬ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ С ПОЛОСТЬЮ ПОСТОЯННОГО СЕЧЕНИЯ

Цель. Вследствие эксплуатации в сложных условиях нагружения колёсные пары подвижного состава железных дорог должны обеспечивать высокую надёжность, так как от них во многом зависит безопасность движения поездов. Конструкция и техническое состояние колёсных пар оказывают влияние на плавность хода, величину сил, возникающих при взаимодействии вагона и пути, и сопротивление движению. Специфика работы оси заключается в том, что при нагружении она испытывает изгибные напряжения, которые по площади поперечного сечения распределяются неравномерно, достигая наибольших значений в наружных и наименьших – во внутренних волокнах. Это обстоятельство ставит задачу замены сплошного сечения оси полым. К недостаткам конструкции полых осей, применяемых в настоящее время, следует отнести значительную сложность изготовления полости переменного сечения. Целью работы является создание модернизированной конструкции оси колесной пары. **Методика.** Предложена конструкция полой оси, имеющей внутреннее продольное сквозное отверстие цилиндрической формы постоянного диаметра по всей длине. Деталь изготавливается из стальной цельнокатаной трубы. Внутреннюю поверхность трубы обрабатывают механическим способом для снятия концентраций напряжений во внутреннем продольном сквозном отверстии цилиндрической формы, который имеет постоянный диаметр по всей длине оси. **Результаты.** Применение данной конструкции позволит упростить изготовление полой оси и механическую обработку внутреннего продольного сквозного отверстия, сохраняя при этом все преимущества применения полой оси в колесных парах подвижного состава. Еще одним преимуществом применения полой оси данной конструкции является отсутствие частичной неоднородности металла, неизменно возникающей при производстве заготовок сплошных осей. **Научная новизна.** Разработана новая конструкция полой оси колесной пары подвижного состава железных дорог. **Практическая значимость.** Внедрение новой конструкции, упрощающей изготовление и механическую обработку внутренней полости оси колесной пары, принесет значимый экономический эффект. Согласно предварительным расчетам применение оси 4 с полостью постоянного сечения позволит снизить расход металла на 100–110 кг.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Ключевые слова: колесная пара; сплошная ось колесной пары; полая ось колесной пары; подвижной состав железных дорог; железнодорожный вагон; неподрессоренная масса вагона

С. Р. КОЛЕСНИКОВ^{1*}, Н. Р. РОМАНИУХА², І. Ю. КЕБАЛ³

^{1*}Проектно-конструкторське технологічне бюро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта blaze777@inbox.ru, ORCID 0000-0002-0487-9257\$

²Проектно-конструкторське технологічне бюро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта romaniuha.nikolay@gmail.com, ORCID 0000-0002-9514-6365

³Проектно-конструкторське технологічне бюро, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 371 51 12, ел. пошта blaze spyhernter-08@mail.ru, ORCID 0000-0002-8408-8294

ВІСЬ КОЛІСНОЇ ПАРИ З ПОРОЖНИНОЮ ПОСТІЙНОГО ПЕРЕРІЗУ

Мета. Внаслідок експлуатації в складних умовах навантаження колісні пари рухомого складу залізниць повинні забезпечувати високу надійність, так як від них багато в чому залежить безпека руху поїздів. Конструкція та технічний стан колісних пар впливають на плавність ходу, величину сил, що виникають при взаємодії вагона та колії, а також опір руху. Специфіка роботи осі полягає в тому, що при навантаженні вона відчуває напруги вигинів, які за площею поперечного перерізу розподіляються нерівномірно, досягаючи найбільших значень у зовнішніх і найменших – у внутрішніх волокнах. Ця обставина ставить задачу заміни суцільного перерізу осі порожнистим. До недоліків конструкції порожнистих осей, вживаних у даний час, слід віднести значну складність виготовлення порожнини змінного перерізу. Метою роботи є створення модернізованої конструкції осі колісної пари. **Методика.** Запропоновано конструкцію порожнистої осі, що має внутрішній поздовжній наскрізний отвір циліндричної форми постійного діаметра по всій довжині. Деталь виготовляється зі сталеві суцільнокатані труби. Внутрішню поверхню труби обробляють механічним способом для зняття концентрацій напружень у внутрішньому поздовжньому наскрізному отворі циліндричної форми, який має постійний діаметр по всій довжині осі. **Результати.** Застосування даної конструкції дозволить спростити виготовлення порожнистої осі та механічну обробку внутрішнього поздовжнього наскрізного отвору, зберігаючи при цьому всі переваги застосування порожнистої осі в колісних парах рухомого складу. Ще однією перевагою застосування порожнистої осі даної конструкції є відсутність часткової неоднородності металу, що незмінно виникає при виробництві заготовок суцільних осей. **Наукова новизна.** Розроблено нову конструкцію порожнистої осі колісної пари рухомого складу залізниць. **Практична значимість.** Впровадження нової конструкції, що спрощує виготовлення та механічну обробку внутрішньої порожнини осі колісної пари, принесе значущий економічний ефект. Згідно з попередніми розрахунками застосування осі з порожниною постійного перетину дозволить знизити витрату металу на 100-110 кг.

Ключові слова: колісна пара; суцільна вісь колісної пари; порожниста вісь колісної пари; рухомий склад залізниць; залізничний вагон; безпружинна маса вагона

REFERENCES

1. Shadur L.A., Chelnokov I.I., Nikolskiy L.N. *Vagony* [Cars]. Moscow, Transport Publ., 1980. 439 p.
2. Danilov D.V., Andreyev A.G. Issledovaniye NDS kolesnoy pary pri prokhozhdenni krivolinyeynykh uchastkov puti [Research of the stress-strain state of wheelset when passing the curved track sections]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «Kharkivskiy politekhnichnyi instytut»* [Bulletin of National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institution»], 2013, issue 58 (1031), pp. 63-70.
3. Shkolnik L.M., Martynov N.I., Novikov V.V. Dlitelnyye ekspluatatsionnyye ispytaniya kolesnykh par s polymi osyami [Long time operation testes of the wheel sets with the hollow axles]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zheleznodorozhnogo transporta – Bulletin of All-Russian Research Institute of Railway Transport*, 1980, no. 4, pp. 36-41.
4. *Kratkiy obzor mirovogo rynka kolesnykh par i koles dlya vagonnykh telezhek* (Brief review of the world market of the wheels and wheelsets for car bogies). Available at: <http://ukrbascompany.at.ua/> (Accessed 02 June 2014).

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

5. Lubenskaya L.M., Kolodyazhnyy P.V. Povysheniye ekspluatatsionnykh svoystv osey kolesnykh par za schet uprochneniya ikh poverkhnosti [Improving the performance properties of wheelset axles due to hardening of their surface]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 41-46.
6. Miamlin S.V., Horobets V.L., Bondariyev O.M. Porivnialna otsinka oporu vtomi materialu napivobroblyenykh osei, vyhotovlenykh za prohresyvnymy tekhnolohiiamy [Comparative evaluation of resistance to the material fatigue of the semi processed axles made by advanced technologies]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2012, issue 41, pp. 35-42.
7. GOST 30272-96. Osi chernovyie (zagotovki profilnye) dlya podvizhnogo sostava zheleznykh dorog kolei 1520 mm. Tekhnicheskie usloviya [State Standard 30272-96. Draft axles (profile billets) for railway rolling stock with the track of 1520 mm. Specifications]. Moscow, IPK Izd-vo standartov Publ., 2003. 19 p.
8. Rasshchupkin V.P., Korytov M.S. Defekty metalla [Metal defects]. Omsk, Izd-vo SibADI Publ., 2006. 36 p.
9. Kharitonov M.I., Pankin V.N. Izucheniye konstruksii kolesnykh par, osey i koles [Study of the structure of wheel sets, axles and wheels]. Khabarovsk, Izd-vo DVGUPS Publ., 2009. 25 p.
10. Tselikov A.I. Nepreryvnyye protsessy v metallurgii i mashinostroyenii (Uninterrupted processes in metallurgy and mechanical engineering). *V mire nauki* (In the world of science), 1983, issue 12. Available at: <http://vivovoco.astronet.ru/VV/JOURNAL/SCIAM/METAL/METAL.HTM> (Accessed 02 June 2014).
11. Beretta S., Carbonia M., Lo Conte A., Regazzia D., Trasattib S., Rizzib M. Crack Growth Studies in Railway Axles under Corrosion Fatigue: Full-scale Experiments and Model Validation. *Procedia Engineering*, 2011, no. 10, pp. 3650-3655. doi: 10.1016/j.proeng.2011.04.601.
12. Novosad M., Fajkoš R., Reha B., Reznicek R. Fatigue tests of railway axles. *Procedia Engineering*, 2010, vol. 2, issue 1, pp. 2259-2268. doi: 10.1016/j.proeng.2010.03.242.
13. Murawa F. Axles – Requirements and realization [Radsatzwellen – Anforderungen und Verwirklichung]. *Materialpruefung/Materials Testing*, 2011, vol. 53, issue 4, pp. 198-205.

Prof. S. V. Myamlin, D. Sc. (Tech.); Senior Researcher, N. Yu. Naumenko, Ph.D. (Tech.) recommended this article to be published

Received: June 09, 2014

Accepted: Aug. 21, 2014