

УДК 622.232.004

В.Ф. Ганкевич, канд. техн. наук, доц.,
Л.В. Грязнова, канд. техн. наук, доц.,
А.Г. Лисняк, канд. техн. наук, доц.

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина,
 e-mail: antsiferovo@nmu.org.ua, franchuk@nmu.org.ua

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВНОГО ТРАНСПОРТА

V.F. Gankevich, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
L.V. Gryaznova, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,
A.G. Lisnyak, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine,
 e-mail: antsiferovo@nmu.org.ua, franchuk@nmu.org.ua

WAYS TO ENHANCE THE RELIABILITY OF WHEEL PAIRS OF LOCOMOTIVE TRANSPORT

Цель. Решение проблемы низкого срока службы колесных пар электровозов и вагонеток, работающих при наличии абразивной пыли и повышенной влажности, большом количестве кривых малого радиуса до 10 м, плохого состояния рельсового пути и балласта. Нарушение ритмичности работы технологической цепочки „забой – подъем“ приводит к большим экономическим затратам.

Методика. На шахтах Кривбасса изучены особенности эксплуатации колес (геометрические параметры колеи и их устойчивость, включающие в себя уширение колеи, неравномерность по высоте, зазоры между стыками рельс), параметры среды и условий эксплуатации (твердость и абразивность пыли, влажность рельсовой колеи).

Результаты. Предложены конструктивные решения равномерного распределения нагрузок на колеса и подшипниковый узел локомотивного транспорта, технологические приемы повышения надежности работы колесных пар.

На основании анализа работы локомотивного транспорта на рудниках Кривбасса, конструкции колесных пар, технологии изготовления, эксплуатации и ремонта разработаны рекомендации по повышению его надежности.

Наиболее эффективным и малозатратным способом решения поставленной задачи является выбор марки стали, технологии изготовления и термообработки колеса, с учетом контакта „колесо-рельс“.

Научная новизна. В результате проведенного анализа контактного взаимодействия колеса и рельса в реальных условиях разработаны конструкция колеса, система подвески колесной пары шахтных вагонеток и обосновано влияние различных факторов на износостойкость колес.

Практическая значимость. Проведен анализ технологии изготовления колес и колесных пар на заводах-изготовителях. Предложен оптимальный химический состав стали и технологии термической обработки.

В результате анализа условий эксплуатации локомотивного транспорта и технологии изготовления предложены пути повышения износостойкости колесных пар.

Конструктивные решения параметров колеса и системы подвески, а также технологические приемы повышения надежности работы колесных пар, позволят снизить себестоимость добываемого полезного ископаемого, повысить производительность труда.

Ключевые слова: колесо, рельс, надежность, износостойкость, твердость, остаточные напряжения, легирование, термическая обработка, абразивный износ

Постановка проблемы. Опыт эксплуатации шахтного рельсового транспорта показывает, что неритмичность его работы, в основном, зависит от плохого состояния рельсового пути и низкого срока службы колесных пар. Так срок службы колес для 10-тонных вагонов в условиях Криворожского горнорудного бассейна составляет всего 4–6 месяцев.

Основным видом транспорта на шахтах является электровозная откатка. В трудовых затратах, связанных с добычей руды, на долю электровозной откатки приходится до 22%.

Рудничный локомотивный транспорт работает в тяжелых условиях динамических нагрузок, наличия абразивной пыли и повышенной влажности, вызы-

вающих интенсивный износ и разрушение его деталей и узлов.

Поэтому повышение качества деталей горнодобывающего оборудования, в частности колесных пар, является одной из важнейших задач горного машиностроения Украины.

Одним из основных показателей, характеризующих качество современных изделий, является надежность – свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки.

Надежность трущихся пар (колесо-рельс), в первую очередь, определяется долговечностью, поэтому первостепенное значение имеет повышение их износостойкости.

На износостойкость детали оказывают влияние разные факторы, основным из которых является твердость материала. И.В. Крагельским сформулированы два основных условия повышения износостойкости: 1) необходим положительный градиент механических свойств по глубине, при котором прочность молекулярной связи между поверхностями должна быть меньше прочности нижележащего слоя материала; 2) поверхностные слои должны выдерживать многократную пластическую деформацию без разрушения.

Изучение пластической деформации и вызываемых ею структурных изменений при износе имеет большое значение для изучения сложных явлений изнашивания, так как пластическая деформация материала является одним из видов нарушения поверхностной прочности и служит первичным процессом, при котором создаются условия для протекания большинства вторичных элементарных процессов износа.

Развитие пластической деформации при износе определяется напряженным состоянием поверхностных объемов, возникающих при контактом нагружении деталей машин, и действием среды.

Поверхностные слои трущихся деталей машин находятся в условиях неравномерного объемно-напряженного состояния сжатия, при этом даже очень хрупкие материалы (чугун, сталь с высокой степенью закалки) обладают достаточной пластичностью. В зависимости от условий трения, под влиянием пластической деформации и тепла, на поверхности трения изменяется структура поверхностного слоя. В результате в нем возникают остаточные напряжения.

Анализ последних исследований и публикаций. Согласно исследований Биргера И.А., известно, что остаточные напряжения существенно влияют на прочностные и эксплуатационные характеристики элементов конструкций. Практически все технологические процессы изготовления тех или иных изделий машиностроения приводят к возникновению остаточных напряжений. Это объясняется целым рядом факторов: неравномерностью распределения температуры по объему изделия; неоднородностью по сечению пластической деформации детали; неравномерностью процессов фазовых, структурных и физико-химических превращений в материале изделия.

Выделение нерешенных ранее частей проблемы. Колеса для шахтных вагонеток изготавливают методом литья в земляные формы. В результате на поверхности катания образуются растягивающие напряжения, которые существенно снижают усталостную прочность металла.

Для снижения уровня растягивающих остаточных напряжений колеса подвергают отжигу, проводимому по следующему режиму: быстрый нагрев со скоростью 200–250 град/час до температуры 880–900⁰С, выдержка 3 часа, охлаждении с печью до 400⁰С, дальнейшее охлаждение на воздухе.

Цель. Очень важным является наведение в поверхностном слое детали остаточных сжимающих напряжений. В работах, проведенных в ИЧМ НАН Украины, показаны пути получения сжимающих остаточных напряжений в поверхностных слоях железнодорожных колес.

На надежность колесных пар шахтных вагонов также оказывают существенное влияние конструктивные особенности узла сочленения колеса с осью вагона, технология изготовления, химический состав стали, термическая обработка.

В НГУ была разработана и предложена конструкция колеса и система подвески, которая лишена целого ряда недостатков, присущих колесам, изготавливаемым по разработкам ВНИПИрудмаша [1–3].

Работоспособность и надежность работы трущихся пар в большой степени зависят от сочетания материалов в паре трения. Опыт эксплуатации машин и стендовые испытания трущихся деталей показывают, что обратные пары трения более стойки против заедания и имеют меньшее повреждение поверхностей.

В обратной паре трения более мягкий материал скользит по твердой поверхности.

Поскольку головка рельса подвергается закалке и отпуску на твердость 450НВ, то колесо должно иметь более низкую твердость, но достаточную, чтобы противостоять износу. В связи с этим в НГУ, совместно с заводом ОАО „Днепротяжмаш“ (ДЗМО) были проведены работы по повышению механических свойств колес путем экономного их легирования. Была отлита опытная партия колес из сталей 35 Л и 45 Л, легированных марганцем, хромом, ванадием и титаном.

Изложение основного материала. Полученные данные свидетельствуют о том, что экономное легирование стали марганцем, хромом, ванадием и титаном значительно повышает прочность, а, следовательно, и износостойкость колес. При этом сталь 35 ГЛ имеет свойства, близкие к свойствам плавочных проб, легированных ванадием и титаном.

В связи с тем, что стали, низколегированные марганцем, значительно дешевле сталей, легированных хромом, ванадием или титаном, был сделан вывод о целесообразности применения сталей, легированных марганцем, для повышения износостойкости колес.

Использование достаточно прочных материалов на основе простых углеродистых марок сталей имеет чрезвычайно важное значение, т.к. это позволяет экономить дорогостоящие легирующие элементы, в том числе вольфрам, хром, никель. Если большинство деталей машин, изготавливаемых из легированных марок сталей и работающих в обычных условиях, заменить деталями, изготовленными из простых углеродистых сталей, то экономический эффект по стране мог бы достигнуть сотен миллионов гривен в год.

Экономное легирование стали марганцем дает возможность реализовывать ее прочностные ресурсы. Известная технология ускоренного охлаждения с прокатного или отдельного нагрева, разработанная школой К.Ф. Стародубова [4], позволяет повысить

прочностные свойства стальных изделий из низкоуглеродистой и низколегированной стали.

Ускоренное охлаждение литых колес для шахтного транспорта должно повысить их надежность за счет создания сжимающих остаточных напряжений в зоне катания и более прочной износостойкой структуры.

Нами предлагается следующий режим термической обработки: нагрев со скоростью 200–250°/час до температуры 880–900°С, выдержка 2 часа, ускоренное охлаждение обода водой до температуры 300–400°С с последующим самоотпуском.

В результате на поверхности катания образуется сорбит отпуска с твердостью \approx 350 НВ и повышенной вязкостью. В подповерхностных слоях наблюдается тростит отпуска, характеризующийся повышенными прочностными свойствами. В более глубоких слоях образуется тонкодисперсный перлит. В ободке колеса образуются сжимающие напряжения, достаточно высокие значения твердости и ударной вязкости. Все рекомендуемые конструктивные решения и технологические приемы могут повысить надежность работы колесных пар.

Вывод. Для повышения ресурса колесных пар шахтных вагонеток рекомендовано рассредоточить нагрузку на все колеса, что достигается применением пружинных амортизаторов или упругих элементов внутри колеса, изменением конструкции колеса, изменением химического состава стали и ее термической обработки.

Список литературы / References

1. Ганкевич В.Ф. Проблемы изнашивания деталей горнодобывающего оборудования и изыскание методов повышения износостойкости колесных пар шахтных вагонеток / В.Ф. Ганкевич, А.Н. Коцупей // Научный вестник НГУ – Днепропетровск, 2008. – №12. – С. 57–61.

Gankevich, V.F. and Kotsupey, A.N. (2008), "Problems of wear and tear of mining equipment parts and determination of methods of improvement of trolley wheel pairs wear resistance", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.12, pp. 57–61.

2. К определению характеристик двухступенчатых амортизаторов рудничных вагонеток / [Титов А.А., Ганкевич В.Ф., Коцупей А.Н. и др.] // Научный вестник НГУ – Днепропетровск, 2010. – №5. – С. 89–93

Titov, A.A., Gankevich, V.F. and Kotsupey, A.N. (2008), "On the issue of determination of characteristics of two-step shock absorber of mine trolleys", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.5, pp. 89–93.

3. Коцупей А.Н. Обоснование параметров периодического взаимодействия колеса вагонетки со стыками протяженного рельсового пути / А.Н. Коцупей, А.А. Титов, В.Ф. Ганкевич // Научный вестник НГУ – Днепропетровск, 2010. – №1. – С. 65–68

Kotsupey, A.N., Titov, A.A. and Gankevich, V.F. (2010), "Substantiation of parameters of periodic cooperation of wheel of waggon with the joints of extended

railtrack", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, no.1, pp. 65–68.

4. Термическое упрочнение проката / [К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов и др.] – М.: Металлургия, 1970. – 368 с.

Starodubov, K.F. and Uzlov I.G. (1970), *Termicheskiye uprochneniye prokata* [Thermal Strengthening of Rolled Metal], Metallurgiya, Moscow, Russia.

Мета. Рішення проблеми низького строку служби колісних пар електровозів і вагонеток, що працюють при наявності абразивного пилю та підвищеної вологості, великій кількості кривих малого радіусу до 10 м, поганого стану рейкової колії й баласту. Порушення ритмічності роботи технологічного ланцюга „забій-підйом“ призводять до великих економічних втрат.

Методика. На шахтах Кривбаса вивчено особливості експлуатації коліс (геометричні параметри колії та їх стійкості, що включають уширення колії, нерівномірність по висоті, зазори між стиками рейок), параметри середовища й умов експлуатації (твердість і абразивність пилю, вологість рейкової колії).

Результати. Запропоновано конструктивні рішення рівномірного розподілу навантажень на колеса та підшипниковий вузол локомотивного транспорту, технологічні прийоми підвищення надійності роботи колісних пар.

На основі аналізу праці локомотивного транспорту на рудниках Кривбаса, конструкції колісних пар, технології виготовлення, експлуатації, ремонту розроблено рекомендації підвищення його надійності.

Найбільш ефективним і малозатратним способом рішення поставленого завдання є вибір марки сталі, технології виготовлення і термообробки колеса, з урахуванням контакту „колесо-рейка“.

Наукова новизна. У результаті проведеного аналізу контактної взаємодії колеса і рейки в реальних умовах розробки конструкції колеса, системи підвіски колісної пари шахтних вагонів і обґрунтування впливу різних факторів на зносостійкість коліс.

Практична значимість. Проведено аналіз технології виготовлення коліс і колісних пар на заводах-виробниках. Запропоновано оптимальний хімічний склад сталі та технології термічної обробки.

У результаті аналізу умов експлуатації локомотивного транспорту й технології виробництва рекомендовано шляхи підвищення зносостійкості колісних пар.

Конструктивні рішення конструкції колеса і системи підвіски, а також технологічні прийоми підвищення надійності роботи колісних пар, дозволять знизити собівартість корисних копалин, що видобуваються, підвищити продуктивність праці.

Ключові слова: колесо, рейка, надійність, зносостійкість, твердість, остаточні напруження, легування, термічна обробка, абразивний знос

Purpose. To solve the problem of the low durability of wheelpairs of electric locomotives and trolleys

working in the conditions of abrasive dust and increased humidity, with lots of curves of small radius of less than 10 meters, the poor condition of the rails and ballast. Disruption of the work rhythm of the technological chain 'face – lift' causes economic loss.

Methodology. In mines of Krivyi Rig basin we have studied the characteristics of operation of wheels (track geometric parameters and their stability, which includes broadening of rails, unevenness in height, gaps between the rail joints), environment settings and operating conditions (hardness and abrasiveness of dust, humidity of the rail track).

Findings. Constructive solutions for uniform distribution of loads between the wheels and bearing units of locomotive transport, and processing methods of improvement of the reliability of wheelpairs have been found out.

Based on the analysis of the locomotive transport working in mines of Krivyi Rig basin, namely: wheel set design, production technology, operation and maintenance, recommendations on improvement of its reliability have been suggested.

The most efficient and cost effective way to solve this problem is to choose the right grade of steel, production

and heat treatment technology for the wheels, taking into account the wheel-rail contact.

Originality. We have analyzed contact interaction between wheel and rail in real conditions and studied the effect of different factors on the wear resistance of the wheels.

Practical value. We have analyzed the technology of wheels and wheel set production at factories. As a result the optimal chemical composition of steel and proper heat treatment technology has been suggested.

After analysis of the operating conditions of the locomotive transport and production technologies we have proposed ways to improve the wear resistance of the wheelpairs.

Constructive solutions concerning design of wheels and suspension system, as well as technological methods of rising reliability of the wheelpairs will reduce the production cost of minerals, and increase productivity.

Keywords: *wheel, rail, reliability, wear protection, hardness, residual stresses, steel alloy, thermal treatment, abrasive wear*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.І. Самусею. Дата находження рукопису 26.03.12.