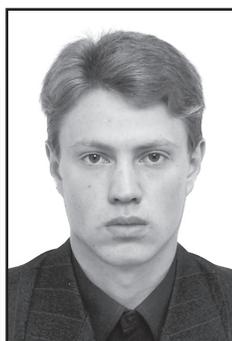


Упрочнение гребней и снижение износа колесных пар



Сергей ПЕТРОВ
Sergey Yu. PETROV

Александр КОСТЮКЕВИЧ
Alexander I. KOSTUKEVICH



Андрей РЯБОВ
Andrey A. RIABOV

Петров Сергей Юрьевич – доктор технических наук, доцент, начальник научно-технического центра транспортных технологий МИИТ.

Костюкевич Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент Восточноукраинского национального университета им. В. Даля (г. Донецк).

Рябов Андрей Андреевич – младший научный сотрудник МИИТ.

Существует задача снижения износа пары трения колесо-рельс. С ней связывают одно из главных направлений повышения эффективности эксплуатации подвижного состава железных дорог. Авторы статьи предлагают анализ используемых для этой цели технологий термического упрочнения гребней колесных пар на основе сравнительных испытаний локомотивов. Результаты проверки трех способов обработки металла – лазерного, плазменного и электроконтактного – позволяют выбрать наиболее надежную и перспективную технологию в рамках комплексного трибологического подхода.

Ключевые слова: железная дорога, трибология, локомотив, колесная пара, гребень, износ, упрочнение, технология, эксплуатационные испытания.

Существенной статьёй расходов на железных дорогах давно стали последствия износа гребней колесных пар подвижного состава. Снижение износа может быть обеспечено за счет уменьшения коэффициента трения в зоне контакта гребня с рельсом (лубрикация) и/или изменения механических свойств материала колеса. Наиболее эффективным предполагается при этом комплексный подход. И здесь исключительное значение приобретают исследования в области триботехнического материаловедения, а также эксперименты, которые могут раскрыть и искать способы снижения потерь на трение и повышения износостойкости.

Соответственно названной теме определена и цель данной работы: сравнение различных технологий упрочнения металла и оценка износа гребней колесных пар локомотивов.

1.

Упрочнение гребней колесных пар подвижного состава производится с учетом ТУ 0943–218–01124323–2006 «Бандажные колеса с термическим упрочнением гребня». Для этого разработаны

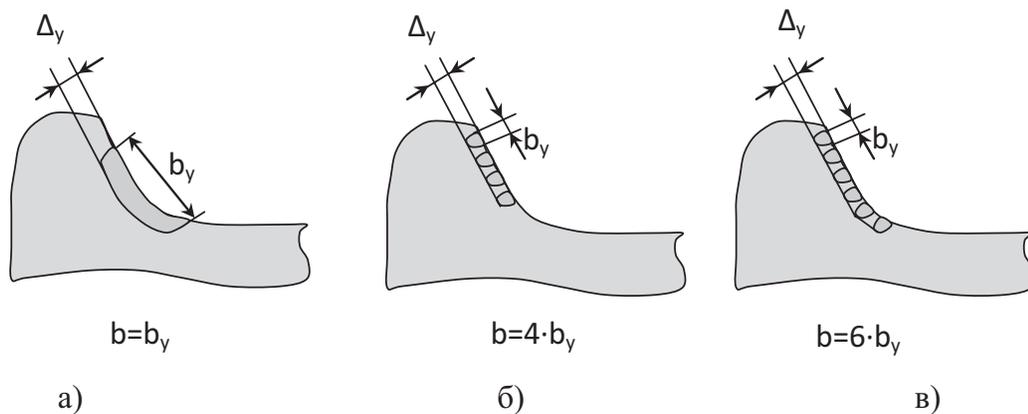


Рис. 1. Схемы расположения ленточных зон при упрочнении гребней колесных пар: а) при плазменной и лазерной закалке; б-в) ЭКУ-модификации структуры металла: б) $n=4$; в) $n=6$.

и используются три технологии: лазерная, плазменная и электроконтактная [1–2]. Применение первых двух фактически сводится к закалке металла, так как осуществляется сначала его нагрев на поверхности постоянно действующим источником тепла (струей плазмы или лазерным лучом) до температур выше A_{c3} , а затем последующее быстрое охлаждение путем отвода тепла в глубь металла.

Что касается лазерной технологии, то на сети железных дорог действует лишь единственный участок лазерной обработки на Горьковской дороге на базе комплекса «КОМЕТА-2». Лазерное упрочнение основано на прохождении светового потока, который поглощается свободными электронами в приповерхностном слое (толщиной 0,1–1 мкм), что приводит к повышению их энергии и интенсификации столкновений между собой [3, с.64]. Применение лазерного комплекса требует высокой квалификации обслуживающего персонала, дополнительных затрат, связанных с формированием поглощающих покрытий на поверхности упрочняемой детали (снижение отражающей ее способности увеличивает КПД лазера), особых климатических и санитарных условий в производственных помещениях.

Наиболее распространенной является плазменная технология (на предприятиях ОАО «РЖД» внедрено около 90 установок, из них 20 по различным при-

чинам не используются). Ее суть – в наличии многокомпонентной химически активной и высокотемпературной струи продуктов сгорания углеводородного газа (метана, пропан-бутана). При этом качество упрочненных слоев зависит от расходных материалов, температуры в цехе, технического состояния установок и стабильности режимов. Кроме того, технология имеет свои определенные особенности:

1) характерные для зоны термического влияния сварных соединений термические циклы [4], связанные с однократным нагревом точек по глубине поверхностного слоя металла при движении локального источника тепла с последующим охлаждением, в результате чего происходит закалка металла, а следовательно, увеличение твердости при снижении пластичности (то есть металл становится твердым и хрупким, со всеми вытекающими отсюда последствиями);

2) значительное влияние на временные и остаточные напряжения:

а) как установлено в [13], после плазменного упрочнения гребней бандажей колес в зоне воздействия плазменной дуги возникает область с высокими растягивающими остаточными напряжениями и одновременным образованием в ней закалочных структур с содержанием мартенсита на поверхности до 100%;

б) как показал эксперимент [5] с закалкой гребня бандажа и его последующим отпуском, после 36 циклов упроч-



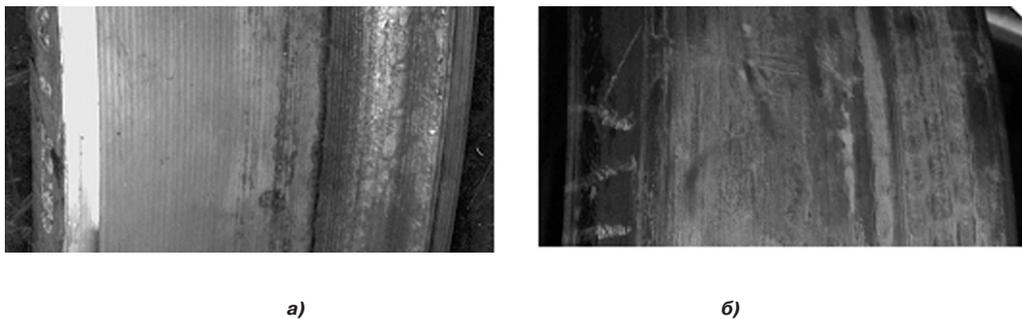


Рис. 2. Вид упрочненной зоны на поверхности гребня бандажа: а) при плазменной закалке; б) при электроконтактном упрочнении.

нения произошло разрушение бандажа; последнее связано с тем, что в металле шло накопление повреждений, которые, в свою очередь, вызваны возникновением пластических деформаций из-за формирования в нагретом металле (в соответствии с методом академика Г. А. Николаева [6, с.140]) дополнительных временных и остаточных растягивающих напряжений;

2) при таком локальном нагреве возникает зона пластических деформаций и идет формирование (в соответствии с методом академика Г. А. Николаева [5, с.140]) дополнительных временных и остаточных растягивающих напряжений, что приводит к накоплению повреждений, а в случае периодической обработки и к разрушению бандажа [6];

3) рассматриваемая технология осуществляет закалку гребней сплошной по ширине ленточной зоной (рис.1а); ширина зоны упрочнения составляет 35–40 мм, а глубина – до 2 мм. Микроструктура закаленного слоя состоит у поверхности из отпущенного мартенсита с твердостью HV 500–540, в средней части – из троостомартенсита и троостосорбита с твердостью HV 380–450, у границы с основным металлом – из троостосорбита с твердостью HV 350–380 [7, с.107].

С другой стороны, повысить механические свойства металла можно не только путем его закалки, но и за счет получения высокодисперсной структуры [7, с.161]. Обеспечивает такую структуру применение электроконтактного упрочнения – модификации поверхностного слоя. Суть процесса модификации состоит в получении мелкозернистой

структуры термоциклированием с нагревом материала в диапазоне температур $A_{c1}(t) - A_{c3}(t)$ [2, 8] и отпуском в интервале температур, когда может быть получен требуемый уровень прочности и пластичности одновременно. Электроконтактное упрочнение (ЭКУ) производится в соответствии с СТО РЖД 1.08.009–2009 «Метод электроконтактного упрочнения поверхностей деталей подвижного состава. Типовой технологический процесс». При этом:

- не образуется сплошного хрупкого слоя, склонного к растрескиванию [11, с.77];

- отсутствуют деформации обрабатываемых деталей, что обусловлено локальностью термообработки [11, с.77];

- формируется «триботехнический рисунок», под которым понимается нанесение нескольких ленточных зон (рис.1б и 1в) на поверхность гребня (рис. 2б), что обеспечивает чередование свойств материала колеса в поперечном сечении;

- макроостаточные напряжения в результате электроконтактного упрочнения снижаются, что установлено в работе [12], где для оценки макронапряжений бандажа использовался метод акустоупругости.

Ширина ленточной зоны упрочнения, предлагаемая авторами, при электроконтактной технологии составляет 5 мм, а максимальная глубина упрочненного слоя – 1,2 или 1,6 мм. В отличие от плазменной технологии при ЭКУ распределение твердости по глубине упрочненной зоны практически не изменяется (800–850 HV), структура упрочненной зоны соответствует мар-

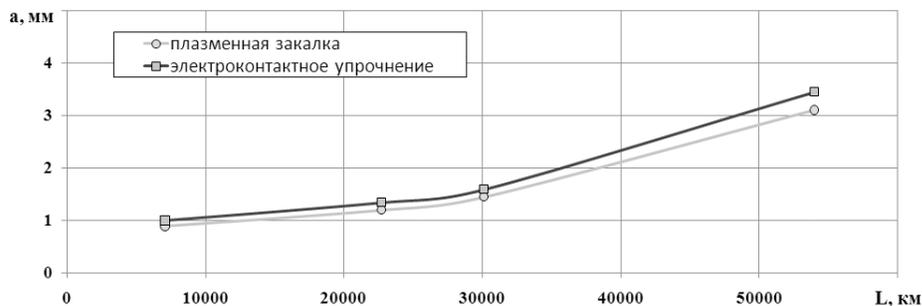


Рис. 3. Кривые износа гребней колесных пар электровоза ВЛ 10у-237.



а)



б)

Рис. 4. Измерение с использованием лазерного профилометра: а) вид устройства индикации (КПК); б) установка сканирующего модуля на бандаже.

тенситу отпуска с различной степенью дисперсности, зона перехода от упрочненного металла к основному представлена из троостомартенсита и троостосорбита.

Кроме условий формирования упрочненных ленточных зон следует отметить отличия в технологиях, имеющие отношение к Федеральному закону № 261-ФЗ от 23.11.2009 года «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»:

– ЭКУ является абсолютно экологически чистой технологией, а уровень сопутствующего ей шума соответствует общепеховому;

– плазменная технология использует вредное ультрафиолетовое излучение и дает уровень шума порядка 80 Дб.

2.

Основным критерием оценки технологий был взят износ гребней колесных

пар. Сравнительные испытания проводились на электровозах ВЛ 10у, у которых под первую секцию подкатывались колесные пары после ЭКУ гребней, а под вторую – после плазменной закалки. Следует отметить, что при использовании плазменной технологии количество ленточных зон сводилось к одной – $n=1$, а в процессе электроконтактного упрочнения $n=var$. Для проведения испытаний были выбраны две схемы расположения упрочненных ленточных зон на гребне при $n=4$ и $n=6$ с различной глубиной $\Delta_{ТВ}$ зоны термического влияния (ЗТВ) относительно упрочняемой поверхности.

Критерием сравнения являлась средняя величина износа a колесных пар:

$$a = \frac{\sum a_i}{m}, \quad a_i = \frac{a_{li} + a_{ni}}{2}, \quad i=1 \dots m,$$

где: m – число колесных пар с упрочненными бандажами;

a_{li} – величина износа гребня левого бандажа, мм;



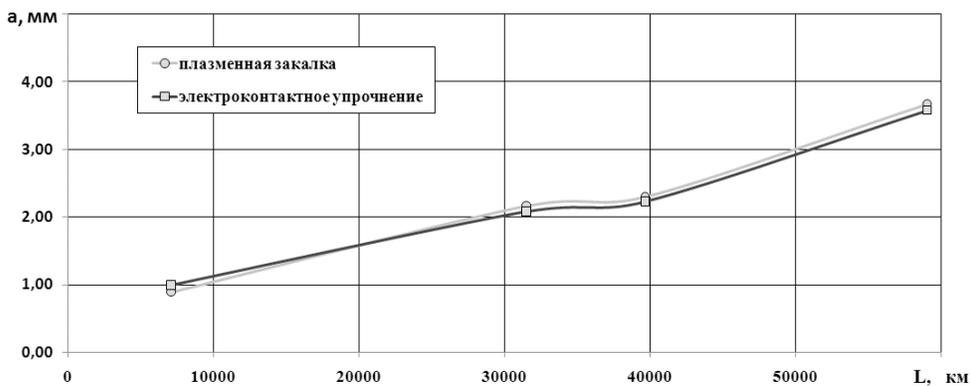


Рис. 5. Кривые износа гребней колесных пар электровоза ВЛ 10у-201

a_{ni} — величина износа гребня правого бандажа, мм.

На первом этапе испытания проводились на электровозе ВЛ 10у-237 приписки ТЧэ Бекасово. Колесные пары, упрочненные по электроконтактной технологии, имели четыре ($n=4$) ленточные зоны упрочнения (рис. 16).

За время испытаний дефектов на поверхностях катания эксплуатируемых колесных пар, вызванных термической обработкой поверхности гребней, не выявлено. Пробег локомотива до обточки колес под двумя секциями составил 82553 км. Причем обточка-перепрофилирование (ТО-4) поверхности катания проводилась по причине остроконечного наката и предельного значения параметра крутизны гребня. При этом за период эксплуатации до 54019 км ни одна колесная пара не была обточена. Данные по износу гребней представлены

Таблица 1

Периодичность проведения контрольных замеров электровоза ВЛ 10у-237

| № | Дата проведения | Пробег, км |
|---|-----------------|------------|
| 1 | 27.11.2009 г. | 0 |
| 2 | 23.12.2009 г. | 7 109 |
| 3 | 27.01. 2010 г. | 22 734 |
| 4 | 13.02. 2010 г. | 30 150 |
| 5 | 27.04. 2010 г. | 54 019 |
| 6 | 02.06.2010 г. | 61 122 |
| 7 | 04.08.2010 г. | 82 553 |

на рис. 3. Замеры износа поверхности колес производились с помощью шаблона и лазерного профилометра ИКП (рис. 4).

В материалах испытаний отсутствует период приработки (0—2000 км, так как первые замеры после подкатки колесных пар были сделаны при пробеге ≈ 7000 км). В установившемся режиме изнашивания упрочненного слоя (от 7000 до 30000 км) у сравниваемых технологий контролируемый износ практически одинаков. При пробеге более 30000 км интенсивность износа гребней начинает увеличиваться. Причем после электроконтактного упрочнения эта интенсивность больше, чем после плазменного, что связано с различной глубиной упрочнения и распределением твердости по глубине упрочненного слоя.

Сравнительные результаты первого этапа за весь период эксплуатационных испытаний (82553 км, таблица 1) показали, что средняя интенсивность изнашивания гребней КП после ЭКУ выше интенсивности изнашивания гребней после плазменной закалки всего в 1,09 раза (т. е. на 9%). При этом суммарная ширина ленточных зон упрочнения при ЭКУ в 1,2 раза меньше, чем ширина закаленной зоны при применении плазменной технологии.

Полученные на первом этапе результаты позволили сделать вывод о возможности улучшения показателей ЭКУ пу-

тем увеличения объема модифицированного, упрочненного металла. Последнее было достигнуто за счет увеличения глубины упрочненного слоя с 1,2 до 1,6 мм, а упрочненных зон – с четырех до шести ($n=6$).

Повторные испытания проводились на электровозе той же серии (ВЛ 10у-201, приписки ТЧэ Орехово). Периодичность контрольных замеров параметров бандажей колесных пар приведена в таблице 2. Как и на первом этапе испытаний, дефектов на упрочненной поверхности гребня за весь период эксплуатации до ТО-4 (149334 км) не выявлено.

Кинетика износа гребней колесных пар электровоза ВЛ 10у-201 представлена на рис. 5. Необходимо заметить: благодаря увеличению общей ширины ленточных зон упрочнения и их глубины износ гребней колес при плазменной и электроконтактной технологиях стал одинаков.

Для анализа влияния корректировки режимов упрочнения и увеличения объема упрочненного электроконтактной технологией металла целесообразно проводить сопоставление величин износа гребней колесных пар при одинаковом пробеге и отсутствии обточки колес. Этому условию отвечают данные по износу гребней, полученные при пробеге ВЛ 10у-237–54019 км и ВЛ 10у-201–59101,3 км (таблица 3). Сопоставление показывает:

– при использовании четырех ленточных зон упрочнения износ гребней колесных пар с ЭКУ выше, чем износ

Таблица 2

Периодичность проведения контрольных замеров электровоза ВЛ 10у-201

| № | Дата проведения | Пробег, км |
|----|-----------------|------------|
| 1 | 28.01.2011 г. | 0 |
| 2 | 02.05.2011 г. | 31 518,8 |
| 3 | 23.05.2011 г. | 39 689,1 |
| 4 | 15.07.2011 г. | 59 101,3 |
| 5 | 25.09.2011 г. | 83 535,2 |
| 6 | 25.10.2011 г. | 94 111,9 |
| 7 | 24.11.2011 г. | 100 044,4 |
| 8 | 31.12.2011 г. | 113 140,8 |
| 9 | 25.02.2012 г. | 131 176,2 |
| 10 | 26.03.2012 г. | 141 501,0 |
| 11 | 21.04.2012 г. | 149 334,0 |

гребней с плазменным упрочнением – на 13%;

– при использовании шести ленточных зон упрочнения тот же износ с ЭКУ ниже, чем износ с плазменным упрочнением – на 3%.

Таким образом, увеличение числа дорожек упрочнения с четырех до шести и увеличение их глубины позволило снизить износ гребней при ЭКУ на 16%.

ВЫВОДЫ

1. Анализ используемых технологий упрочнения (лазерной, плазменной и ЭКУ) показал, что они обладают отличиями:

– применяют различные установки, расходные материалы, имеют свои требования к техническому обслуживанию и квалификации обслуживающего персонала;

Таблица 3

Данные для сравнительного анализа износа гребней электровозов ВЛ 10у-201 И ВЛ 10у-231

| № КП | Технология | ВЛ 10у-237–54019 км | | | | ВЛ 10у-201–59 101,3 км | | | |
|------|--------------------|---------------------|-------|-------------------------|-------|------------------------|-------|-------------------------|-------|
| | | h, мм | | h _{ср.с'} , мм | a, мм | h, мм | | h _{ср.с'} , мм | a, мм |
| | | Лев. | Прав. | | | Лев. | Прав. | | |
| 1 | ЭКУ | 29,0 | 30,0 | 29,51 | 3,49 | 29,8 | 28,2 | 29,425 | 3,58 |
| 2 | | 30,2 | 30,5 | | | 28,8 | 29,2 | | |
| 3 | | 28,0 | 30,8 | | | 30,8 | 29,8 | | |
| 4 | | 27,0 | 30,6 | | | 29,8 | 29,0 | | |
| 1 | Плазменная закалка | 29,0 | 30,0 | 29,9 | 3,10 | 29,8 | 29,8 | 29,325 | 3,68 |
| 2 | | 29,2 | 31,2 | | | 29,8 | 29,0 | | |
| 3 | | 30,0 | 30,0 | | | 29,0 | 30,0 | | |
| 4 | | - | - | | | 29,2 | 28,0 | | |





– не совпадают по условиям нагрева и охлаждения упрочняемого металла (однократный нагрев или термоциклирование);

– разнятся по экологическим аспектам: световому излучению, уровню шума и прочим параметрам.

2. Упрочненные зоны отличаются по формируемым свойствам:

– распределению твердости и балльности зерен по глубине;

– кинетике временных и остаточных напряжений;

– геометрии, а соответственно, и влиянию на процесс износа.

3. Экспериментально установлено, что:

– применение электроконтактной технологии упрочнения позволяет получать результаты (по снижению износа гребней), аналогичные результатам при плазменной закалке;

– при применении четырех ленточных зон упрочнения средняя интенсивность изнашивания гребней с ЭКУ выше, чем у плазменного упрочнения на $0,08 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$;

– при применении шести ленточных зон упрочнения средняя интенсивность изнашивания гребней с ЭКУ и плазменным упрочнением одинакова.

По мнению авторов, электроконтактная технология является наиболее перспективной, так как имеет более широкие возможности позитивно влиять на износ гребней (за счет изменения геометрии ленточных зон упрочнения, их количества и расположения в упрочняемой зоне) по сравнению с плазменной технологией. Однако для корректного сопоставления данных необходима еще и оценка экономической эффективности рассматриваемых технологий упрочнения с учетом всех видов затрат при относительно одинаковых показа-

телях эксплуатационной износостойкости гребней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров С. Ю. Пути повышения долговечности элементов трибосистемы «колодка-колесо-рельс» // Труды IV научно-практ. конференции «Ресурсо-сберегающие технологии на железнодорожном транспорте». – М.: МИИТ, 2001. – С. 35–36.

2. Петров С. Ю. Закономерности протекания процессов при работе трибосистемы «колодка-колесо-рельс» и пути повышения её долговечности / Дис... док. техн. наук – М.: МИИТ, 2002. – 350 с.

3. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.

4. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов // В.Н. Волченко, В. М. Ямпольский, В. А. Винокуров и др.; Под ред. В. В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1988. – 559 с.

5. Петров С. В. Об одной причине неожиданного разрушения колес. – http://plazer.com.ua/docs/pdf/about_wheel_crash.pdf.

6. Николаев Г. А., и др. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций; Учеб. пособие. – М.: Высшая школа, 1971. – 760 с.

7. Ресурсосберегающие технологии восстановления железнодорожной техники сваркой, наплавкой и напылением: Сб. науч. трудов / Под ред. В. Н. Лозинского. – М.: Интекст, 1998. – 271 с.

8. Богданов В. М., Марков Д. П., Пенькова Г. И. Оптимизация триботехнических характеристик гребней колес подвижного состава // Вестник ВНИИЖТ. – 1998. – № 4. – С. 3–9.

9. Лахтин Ю. М., Леонтьева В. П. Материаловедение: Учебник. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 528 с.

10. Петров С. Ю., Субботин Р. Н., Михнюк П. Н. и др. Увеличение межремонтных сроков деталей за счет повышения механических свойств поверхностей трения при импульсной обработке // Труды VIII научно-практ. конференции «Безопасность движения поездов». – М.: МИИТ, 2007. – С. 47–49.

11. Коржин С. Н. Анализ и выбор технологических решений по повышению износостойкости гребней колесных пар / Дис... канд. техн. наук. – М., 2000. – 196 с.

12. Муравьев В. В., Петров С. Ю., Платунов А. В. и др. Распределение остаточных напряжений при электроконтактном упрочнении бандажей локомотивных колес // Технология машиностроения. – 2011. – № 9. – С. 42–45.

13. Киселев С. Н., Саврухин А. В., Кузьмина Г. Д. Влияние плазменной обработки на напряженно-деформированное и структурное состояние гребней бандажей колес локомотивов // Сварочное производство. – 2001. – № 6. – С. 9–17.

14. Лыков А. М., Маслов В. Э., Глибина Л. А. Плазменное упрочнение гребней локомотивных и вагонных колес // Вестник ВНИИЖТ. – 2005. – № 1 – С. 31–33. ●

REINFORCEMENT OF RIDGES AND REDUCTION OF WHEELSET WEAR AND TEAR

Petrov, Sergey Yu. – D.Sc. (Tech), associate professor, head of the research and technical center of transportation technology of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Kostukevich, Alexander I. – Ph.D. (Tech), associate professor of East-Ukrainian V. Dahl University, Donetsk, Ukraine.

Riabov, Andrey A. – junior researcher of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Reducing of wear and tear of a friction pair wheel-rail is one of the main tasks to increase efficiency of railway rolling stock operation. The authors suggest analysis of technologies of thermic reinforcement of the ridges of wheelsets using comparative tests of locomotives. The results of testing of three techniques of metal working, respectively laser, plasmic and electrocontact, allow to select in the framework of comprehensive tribological approach the most reliable and promising technology.

The study has shown that the three technologies have differences as for equipment, consumables, technical conditions and staff qualifications necessary to apply them. There are also differences concerning conditions of heating and cooling of reinforced metal (one-time or cyclic heating) and ecological aspects (light radiation, noise level etc).

The reinforced zones differ in distribution of firmness and grain dimensions by depth, kinetics of temporary

and residual stress, geometry and consequently in their influence on wear and tear process.

Experiments have proved that electrocontact reinforcement permits to achieve the same results (as for reducing wear of ridges) as the plasmic hardening. When using four band zones of reinforcement the mean intensity of wearing of the ridges with electrocontact reinforcement is higher than the wearing of ridges reinforced with plasma by 0,08 мм/104 км. If six zones of reinforcement are used, the mean intensity of wearing of the ridges is the same for plasmic and electrocontact hardening.

The authors suppose that electrocontact technology is more promising as it has more possibilities to positively affect the ridges wearing (by changing geometry of band zones of reinforcement, their number and location in the reinforced zone). But to correctly compare the data it is necessary to economically assess the technologies taking into account all costs resulting in comparably equal rates of wearing of ridges during operation of rolling stock.

Key words: railway, tribology, locomotive, wheelset, ridge, wear and tear, reinforcement, technology, service testing.

REFERENCES

1. Petrov S. Yu. Ways to increase longevity of the elements of tribological system shoe-wheel-rail [Puti povysheniya dolgovechnosti elementov tribosistemy «kolodka-koleso-reis»]. Works of 4th scientific and practical conference resource-saving technologies for railways. Moscow, MIIT, 2001, pp.35–36.

2. Petrov S. Yu. Rules of development of processes in the work of tribological system shoe-wheel-rail and the ways of increasing its longevity [Zakonomernosti protekaniya protsessov pri rabote tribosistemy «kolodka-koleso-reis» i puti povysheniya ee dolgovechnosti]. D. Sc. (Tech) thesis. Moscow, MIIT, 2002, 350 p.

3. Grigoryants A. G. Fundamentals of laser working of metals [Osnovy lazernoy obrabotki materialov]. – Moscow, Mashinostroenie, 1989, 304 p.

4. Theory of welding processes: Textbook for universities [Teoriya svarochnykh protsessov: ucheb. dlya vuzov]. Volchenko V. N., Yampolskiy V. M., Vinokurov V. A. et al. Moscow, Vysshaya shkola [Higher school], 1988, 559 p.

5. Petrov S. V. On a reason of a sudden destruction of the wheels [Ob odnoy prichine neozhidannogo razrusheniya koles] http://plazer.com.ua/docs/pdf/about_wheel_crash.pdf. Last accessed 1/02/2013.

6. Nikolaev G. A., et al. Calculation, engineering and manufacturing of welded elements [Raschet, projektirovanie i izgotovlenie svarnykh konstruksij: ucheb. posobie]. – Moscow, Vysshaya shkola [Higher school] publ., 1971, 760 p.

7. Resource-saving technology of reparation of railway rolling stock by welding, overlaying and sputtering [Resursosberegayushchie tekhnologii vosstanovleniya zheleznodorozhnoy tekhniki svarkoj, naplavkoj i napyleniem]. Collection of scientific works, ed.by V. N. Lozinskiy. Moscow, Intext, 1998, 271 p.

8. Bogdanov V. M., Markov D. P., Penkova G. I. Optimization of tribological characteristics of the ridges of rolling stock [Optimizatsiya

tribotekhnicheskikh kharakteristik grebnej koles podvizhnogo sostava]. Vestnik VNIIZHT, 1998, Iss.4, pp. 3–9.

9. Lakhtin Yu.M., Leonteva V. P. Material science [Materialovedenie: uchebnik]. 3d ed., rev. and enlarged. Moscow, Mashinostroenie, 1990, 528 p.

10. Petrov S. Yu., Subbotin R. N., Mikhnyuk P. N. et al. Growth of longevity of spare parts between repairs on the basis of increase in mechanical features of surfaces of friction under impulse treatment [Uvelichenie mezhrremontnykh srokov detalej za schet povysheniya mekhanicheskikh svojstv poverkhnostej treniya pri impulsnoj obrabotke]. Works of 8th scientific and practical conference «safety of train traffic». Moscow, MIIT, 2007, pp. 47–49.

11. Korzhin S. N. Analysis and choice of technological decisions for increasing wear resistance of the ridges of wheelsets [Analiz i vybor tekhnologicheskikh reshenij po povysheniyu iznosostojkosti grebnej kolesnykh par]. Ph.D. (Tech) thesis. Moscow, 2000, 196 p.

12. Muraviev V. V., Petrov S. Yu., Platonov A. V. et al. Distribution of residual stresses during electrocontact reinforcement of the rims of locomotive wheels [Raspredelenie ostatochnykh napryazhenij pri elektrokontaktom uprochnenii bandazhej lokomotivnykh koles]. Tehnologiya mashinostroeniya, 2011, Iss.9, pp.42–45.

13. Kiselev S. N., Savrukhin A. V., Kuzmina G. D. Influence of plasmic working on the deflected mode and structural conditions of the ridges of the rims of the locomotive wheels [Vliyanie plazmennoj obrabotki na napryazhenno-deformirovannoe i strukturnoe sostoyanie grebnej bandazhej koles lokomotivov]. Svarochnoe proizvodstvo, 2001, Iss.6, pp.9–17.

14. Lykov A. M., Maslov V. E., Glibina L. A. Plasmic reinforcement of the ridges of locomotive and car wheels [Plazmennoe uprochnenie grebnej lokomotivnykh i vagonnykh koles]. Vestnik VNIIZHT, 2005, Iss.1, pp.31–33.

Координаты авторов (contact information): Петров С. Ю. (Petrov S. Yu.) – ntc_tt.miit@bk.ru, Рябов А. А. (Riabov A. A.) – andrey8605@mail.ru, Костюкевич А. И. (Kostukevich.i.) – a. i.kostyukevich@gmail.com.

Статья поступила в редакцию / received 07.02.2013
Принята к публикации / accepted 09.04.2013

