



ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПРОФИЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

В. В. МАТВЕЕВ, директор ЗАО «Вилтранс» (г. Киев)

Проведена количественная оценка влияния различных факторов на эффективность восстановления профиля колеса наплавкой, и в частности, после отжига поверхности катания, упрочненной в процессе эксплуатации. Эффективность восстановления профиля колес повышается путем использования отжига поверхности катания, многоэлектродной наплавки и термообработки наплавленного и обточенного колеса.

Ключевые слова: эффективность, восстановление, вагонные колеса, дефекты поверхности катания, ТВЧ отжиг, многоэлектродная наплавка

По данным ВНИИКИ (г. Москва, Россия) в мире ежегодно производится 3...3,5 млн вагонных колес, из них 40...50 % выпускается и потребляется в странах СНГ, что свидетельствует об очень малом фактическом их ресурсе (хотя расчетный ресурс вагонных колес, изготавливаемых в СНГ, составляет 12 лет). Срок службы колес определяется главным образом обточками, при которых снимается значительно большее количество металла, чем в результате эксплуатации. Вагонные колеса, имеющие после эксплуатации изношенную поверхность катания (рис. 1), восстанавливают до исходного профиля (рис. 2, поз. 1) обточкой на колесотокарных станках по копиру [1], снижая толщину обода. К началу 1990-х годов в связи с интенсивным износом гребней и соответственно уменьшением толщины обода при обточке для восстановления профиля колес ресурс их сократился до четырех-пяти лет [2]. В 1994 г. средний срок эксплуатации колесных пар вагонов (между обточками), поступивших на текущий ремонт в связи с износом гребня, составлял 10,6 мес. Из них 4,6 % имели срок эксплуатации до 3 мес, 16,5 — от 3 до 6 и 17,8 — от 6 до 9 мес [3]. В результате мероприятий, направленных на улучшение условий работы (ужесточение нормативов содержания пути и эксплуатации подвижного состава, совершенствование технологии ремонта и содержания вагонов, лубрикация рельсов для криволинейных участков; использование профилей, оптимальных к профилю рельсов [2]), износ гребней колес (уменьшение толщины обода определяется на расстоянии 70 мм от внутренней грани колеса) и головок рельсов уменьшился в 2 раза. Наплавка гребней вагонных колес перед обточкой колес (рис. 2, поз. 2) позволила уменьшить толщину снимаемого с обода слоя [4, 5]. Однако адекватного увеличения службы колес не произошло.

Средний срок эксплуатации увеличился до шести-восьми лет [2].

На эффективность восстановления гребней наплавкой влияют не только уровень цен на новые колеса и затраты на их восстановление, но и степень износа гребня, глубина залегания дефектов на ободу, определяющая уменьшение толщины обода в результате обточек. В настоящее время наплавка гребней выполняется без предварительной обточки дефектов на поверхности катания, что резко уменьшает эффективность наплавки.



Рис. 1. Макрошлиф фрагмента колеса с изношенной поверхностью катания

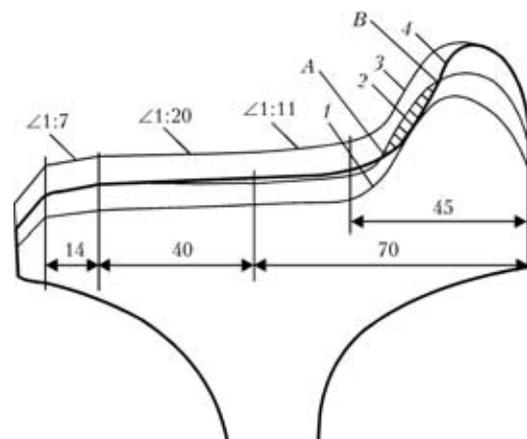


Рис. 2. Схема восстановления профиля колеса: 1, 2 — линии обточки после наплавки гребня (А — начало; В — окончание наплавки); 3 — линия обточки после восстановления колес наплавкой гребня и обода; 4 — линия изношенной поверхности колеса

Несмотря на уменьшение количества дефектов на поверхности катания толщина снимаемого слоя при обточке колес с дефектами по кругу катания не уменьшилась, кроме того, возникли проблемы при обточке колес повышенной твердости.

Сегодня в России, Казахстане и Украине вместе с производством колес повышенной твердости [6,7], активно пропагандируется идея производства литых колес [8], например, по технологии американской компании «Griffin Wheel» [9]. На первый взгляд, преимущество такой технологии связано со значительной экономией средств. При увеличении пробега до 1 млн км американских железных дорог дешевле исключить колеса из эксплуатации, чем производить их обточку. Однако она предусматривает многоступенчатую, дорогостоящую систему контроля в процессе производства и эксплуатации, необходимость частой замены дорогостоящих литейных форм (одна форма на 1000 колес). Самое главное, что литые колеса фирмы «Griffin Wheel» более хрупкие, поскольку изготовлены из стали с высоким содержанием углерода (0,67...0,77 %), что не исключает возможности возникновения поверхностных дефектов тормозного происхождения и распространения их вглубь колеса при эксплуатации на железных дорогах постсоветского пространства.

Техническое решение компании «Valdunes» (Франция), являющейся мировым лидером в разработке технологий производства железнодорожных колес, связано с применением средне- и низкоуглеродистых колесных сталей, содержащих 0,22 % углерода и легированных хромом, марганцем и кремнием [10]. Такой химический состав позволяет ограничить формирование мартенсита. В то же время на XXIII Международном конгрессе по колесным парам, состоявшемся в Риме в конце 2001 г., отмечено, что экономически более выгодна эксплуатация колес с нанесением покрытия низкоуглеродистой бейнитной сталью [11]. В этой стали, несмотря на образование ползунов, раковины и трещины не развиваются, что дает возможность уменьшить толщину снимаемого слоя при обточке колес и увеличить срок их эксплуатации. Нынешний период как в России, так и в Украине характеризуется значительным уменьшением объемов работ по восстановлению гребней колес наплавкой. Кроме того, технологии по восстановлению профиля вагонных колес наплавкой всей поверхности катания (рис. 2, поз. 3) с использованием низкоуглеродистой проволоки [5, 12, 13] при ремонте подвижного состава, выходящего на магистрали стран СНГ, не внедряются.

Целью настоящей работы является количественная оценка факторов, влияющих на эффективность восстановления профиля колеса наплавкой, и в частности, после отжига поверхности катания, упрочненной в процессе эксплуатации [14–16].

При восстановлении 1 мм изношенного гребня вагонных колес к стандартному профилю шириной гребня 33 мм (на расстоянии 18 мм от вершины гребня) необходимо уменьшить толщину обода на 2 мм. В таблице приведены данные по распределению 79235 колес, поступивших в 2003–2004 гг. на участки наплавки гребней в ЗАО «Вилтранс» вагоноремонтных заводов «Укрзалізниця» в зависимости от толщины гребней, а также уменьшения толщины обода этих колес при их восстановлении обточкой (рис. 2, поз. 1).

С учетом такого распределения параметров колес, подлежащих ремонту, наплавка гребней перед обточкой позволяет сохранить в среднем $13,3 \pm 55$ % диаметра обода колес, что соответственно должно увеличить их ресурс. Однако в связи с необходимостью обточки дефектов перед наплавкой гребней эффективность наплавки значительно уменьшается. Практически все колеса, поступающие в ремонт, имеют по 2...3 ползуна с глубиной не менее 2 мм. Статистика показывает, что около 25 % колес имеют ползуны с твердостью металла на поверхности катания вагонных колес не менее *HRC* 40...50. При восстановлении наплавкой гребня колес с дефектами на обode эффективность восстановления заключается в сохранении 5...6 мм толщины обода, что составляет 38...46 % среднего сохранения толщины обода. Если допустить, что обточка колес выполняется раз в год, то средний срок эксплуатации колес с дефектами даже после использования наплавки изношенных гребней составит 6,5 года.

Определим эффективность восстановления наплавкой профиля колеса с изношенной поверхностью катания на примере реального колеса, поступившего в ремонт (рис. 2). Толщина обода колеса, измеренная в месте проката, составляет 27 мм. При этом толщина изношенного гребня на высоте 18 мм составляет 25 мм (износ 8 мм), а необходимое уменьшение толщины обода гребня при его восстановлении обточкой в точке измерения проката составит 13 (определяется линией 1), а толщина обода после обточки — 14 мм. После наплавки гребня необходимо произвести обточку изношенного колеса по профилю (линии 2 на рис. 2) от фаски в сторону гребня на глубину 4 мм в точке измерения проката (в том числе наплавленного гребня по линии между точками *A* и

Толщина гребня колес, поступивших в ремонт, мм	22...24	25...27	28...30
Необходимое уменьшение толщины обода колеса при восстановлении профиля обточкой, мм	22...18	16...12	6...5
Распределение колес, поступивших на наплавку гребней, в зависимости от толщины гребня, %	15 ± 5	68 ± 3	17 ± 12



Б). При этом толщина обода составит 22 мм. Эффективность наплавки данного гребня после обточки обода (без учета уменьшения обода при обточке дефектов) заключается в сохранении 7...8 мм толщины обода (53...61 % среднего значения сохранения толщины обода, равной $13,3 \pm \pm 5 \%$).

Колесо, приведенное на рис. 1, кроме изношенных обода и гребня, имеет дефект на ободе (ползун глубиной 1,5...2 мм с твердостью около HRC 50). После наплавки гребня и окончательной обточки колеса на 1 мм (рис. 2) толщина обода составит 17...18 мм. Колесо после восстановления непригодно к эксплуатации, поскольку в результате его обточки толщина обода становится меньше 22 мм (эффективность восстановления равна нулю, поскольку в эксплуатации допускаются колеса с толщиной обода не менее 22 мм).

Известно, что отжиг поверхности катания колес позволяет как минимум в 2,5 раза понижать твердость металла, что значительно уменьшает толщину стружки при их обточке [17, 18]. Эта особенность использована нами при восстановлении колес наплавкой поверхности катания. Растягивающие напряжения, которые возникают после ТВЧ отжига, способствуют выявлению и отбраковке «слабых» колес с микродефектами. С 1997 г. в результате отжига поверхности катания, обточки на глубину выявленных дефектов, отбраковки колес с трещинами на поверхности (0,2 % от поступивших в ремонт), последующей наплавки изношенных гребней на вагоноремонтных заводах Украины удалось восстановить для дальнейшей эксплуатации около 270 тыс. колес [15]. Отжиг упрочненного металла поверхности катания колес перед наплавкой способствует измельчению зерна металла и уменьшению вероятности образования холодных трещин в зоне, примыкающей к линии сплавления, что позволяет вести наплавку без обточки дефектов на поверхности катания, т. е. без потери ресурса колес [16, 17]. После отжига поверхности катания и обточки дефектов на ободе перед наплавкой гребня общий объем затрат (сварочные материалы, время, электроэнергия), необходимых для наплавки, сокращается на 30 %. Можно достичь значительной экономии средств на процессе нагрева колес (перед наплавкой) благодаря использованию одной установки для отжига (до 60 колес за восьмичасовую смену). Введение контроля толщины гребня и толщины ободьев колес после обточки дефектов позволяет оценить затраты и эффективность наплавки гребней для каждого колеса.

Эффективность восстановления профиля колеса наплавкой изношенного гребня определяется соотношением цены сохраненного обода и величины затрат на восстановление профиля колеса (отжиг поверхности катания и наплавка износов,

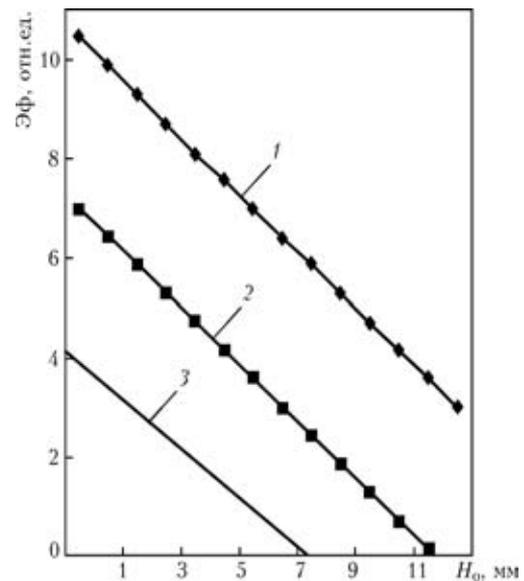


Рис. 3. Зависимость эффективности восстановления наплавкой гребней колес от уменьшения обода при обточке износов и дефектов: 1 — $H_T = 23$; 2 — 26; 3 — 29 мм

обточка и др.) и рассчитывается согласно приведенной ниже формуле:

$$\text{Эф} = [(H_0 - H_{\text{од}})C_k - C_{\text{н.о}}]/C_{\text{н.о}}, \quad (1)$$

где $H_0 = 2(33 - H_T)$ — уменьшение обода при обточке колеса без наплавки, мм; H_T — толщина изношенного гребня на высоте 18 мм от вершины, мм; $H_{\text{од}}$ — уменьшение обода при обточке дефектов, мм; C_k — приведенная стоимость 1 мм обода, грн./мм; $C_{\text{н.о}}$ — цена наплавки и отжига ($C_{\text{н.о}} = C_{\text{н}} + C_{\text{о}}$), грн.

Восстановление профиля колеса изношенного гребня наплавкой выгодно при выполнении условия $[(H_0 - H_{\text{од}})C_k - C_{\text{н.о}}] \geq 0$ и $\text{Эф} \geq 1$.

Зависимости эффективности восстановления колес с различной изнашиваемостью гребня при толщине гребня 23, 26, 29 мм от уменьшения обода при обточке износов и дефектов приведена на рис. 3.

Исходные данные для расчета эффективности восстановления колес наплавкой гребней при постоянных значениях C_k (1\$ = 5,05 грн.) следующие: цена нового колеса на 01.09.2005 г. без НДС — 2650 грн.; полезный ресурс обода — 52 мм; $C_k = 51,0$ грн.; $C_{\text{н}} = 72,67$ грн.; $C_{\text{о}} = 16,25$ грн.; $C_{\text{н.о}} = 88,92$ грн.

Наплавка гребней колес толщиной 29 мм перестает быть выгодной при уменьшении толщины обода в результате обточек на более 4, толщиной 26 — более 10 мм и т. д.

При восстановлении профиля колеса обточкой по линии 2 (рис. 2) последующей наплавкой изношенных обода и гребня толщина обода уменьшается на 1...2 мм и не зависит от уменьшения толщины обода колеса при обточке. Если не учитывать повышение износостойкости наплавленно-

го слоя, можно поставить обратную задачу (1) определения средней цены восстановления колес, поступающих в ремонт с толщиной гребня 23, 26, 29 мм и получить соответствующие зависимости от эффективности восстановления при постоянных значениях стоимости нового колеса:

$$C_B = [(H_0 - H_{00})C_K] / (\text{Эф} + 1), \quad (2)$$

где C_B — цена восстановления профиля колеса наплавкой изношенного гребня и обода; H_{00} — уменьшение толщины обода при окончательной обточке наплавленного колеса по профилю ($H_{00} \leq 2$ мм).

Например, если $C_K = 51$ грн., восстановление колес эффективно, т. е. $\text{Эф} \geq 1$, при $C_B \leq 302$ грн. (около 10 % стоимости нового колеса). Для примера, приведенного на рис. 2, после восстановления колеса с толщиной обода менее 27 мм, подлежащего распрессовке в металллом (рис. 1), толщина обода составит более 32 мм, что дает возможность эксплуатировать колесо как минимум до первой обточки.

В работе [16] показано, что высокая эффективность восстановления профиля колеса после наплавки изношенного гребня и обода может быть достигнута в результате использования:

отжига поверхности катания колес на ТВЧ установке с частотой 10 кГц на глубину около 2,5 мм, обеспечивающего возможность увеличения расходящихся напряжений, выявления дефектов и отбраковки колес, снижения вероятности возникновения трещин после наплавки, уменьшения толщины наплавляемого слоя, необходимого для восстановления;

шлифовки мест залегания глубоких трещин на глубину более 3 мм вместо обточки по кругу катания;

многоэлектродной одно- или двухслойной наплавки [19] на обод колеса [20] десятью электродами в одну сварочную ванну легированной проволокой, обеспечивающей высокую производительность и качество наплавленного металла (балл зерна в участке крупного зерна металла ЗТВ не менее № 6–8);

наплавки изношенных гребней;

термообработки наплавленных и обточенных колес на ТВЧ установке, обеспечивающей уровень их расходимости после разрезания не более $\pm 3,5$ мм.

Наплавка низкоуглеродистого металла с повышенными износостойкими характеристиками позволит уменьшить развитие дефектов на поверхности катания во время эксплуатации, уменьшить толщину снимаемого слоя во время обточек колес и уве-

личить их ресурс. Восстановление тонкоободных колес с толщиной обода менее 30...35 мм, ранее отправляемых в металллом, позволит увеличить срок их службы не менее чем в 2 раза.

1. *Инструкция* по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429. — М.: Транспорт, 1977. — С. 54–57.
2. *Богданов В. М., Захаров С. М.* Современные проблемы системы рельс–колесо // Ж.-д. транспорт. — 2004. — № 1. — С. 57–62.
3. *Богданов В. М., Козубенко И. Д., Ромен Ю. С.* Техническое состояние вагона и износ гребней колес // Там же. — 1999. — № 3. — С. 23–25.
4. *Аснис А. Е., Гутман Л. М.* Восстановление изношенных гребней бандажей наплавкой // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1948. — С. 281–298.
5. *Наплавка гребней вагонных колесных пар* / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, И. Е. Бызова, А. И. Рассоха // Ж.-д. транспорт. — 1993. — № 7. — С. 37–40.
6. *Пашолок И. Л., Цюренко В. Н., Самохин Е. С.* Повышение твердости колес // Там же. — 1999. — № 7. — С. 41–43.
7. *Цюренко В. Н.* Эксплуатационная надежность колесных пар грузовых вагонов // Там же. — 2002. — № 3. — С. 24–28.
8. *Зябиров Х. Ф.* Система «колесо – рельс»: оптимальное взаимодействие // Евразия Вести. — 2004. — № 6.
9. *Кулагин А.* Проверка на прочность // Эксперт. — 2003. — № 26.
10. *Stevenot G., Damilly F.* L'innovation dans les roués ferroviates et l'volution des march's // Rev. Gen. des Fer. — 2002. — № 5. — P. 33–39.
11. *Cassidy Ph.* Wrought materials may prolong wheel life-wheel sat technology // Int. Railway J. — 2001. — № 12. — P. 40–41.
12. *Сварка под флюсом при ремонте локомотивов* / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, В. П. Степенко, В. А. Чумаченко. — М.: Трансжелдориздат, 1958. — С. 65–79.
13. *ESAB delivers engineered automatic welding station to Ghana in Africa for build-up welding of worn railway wheels* // Svetsaren. — 2001. — № 1. — P. 20–21.
14. *Пат. 44373 Украина.* Спосіб відновлення поверхні кочення коліс рейкового транспорту / В. В. Матвеев. — Оpubл. 15.02.2002, Бюл. № 2.
15. *Матвеев В. В.* Наплавка гребней вагонных колес после отжига поверхности катания на вагоноремонтных заводах Украины // Автомат. сварка. — 2005. — № 6. — С. 42–47.
16. *Матвеев В. В.* Восстановление вагонных колес наплавкой с предварительным отжигом поверхности катания // Там же. — 2005. — № 11. — С. 36–40.
17. *Иванов И. А., Урушев С. В.* О повышении ресурса цельнокатаных колес // Ж.-д. транспорт. — 1998. — № 7. — С. 25–26.
18. *А. с. 433222, C21d9/34, I/32.* Способ восстановления профиля катания колес / С. В. Алехин, Ф. Я. Богданов, А. Ф. Богданов и др. — Заявл. 26.05.72; Оpubл. 25.06.74, Бюл. № 23.
19. *Меликов В. В.* Многоэлектродная наплавка. — М.: Машиностроение, 1988. — 40 с.
20. *Пат. 61794 Украина.* Спосіб відновлення профілю поверхні обода колеса рейкового транспорту / В. В. Матвеев, В. І. Ольшевський. — Оpubл. 15.07.2005, Бюл. № 7.

Quantitative evaluation of the influence of various factors on the effectiveness of wheel profile restoration by cladding, and, in particular, after annealing of the rolling surface hardened in operation. Effectiveness of wheel profile restoration is increased by applying annealing of the rolling surface, multielectrode cladding and heat treatment of the clad and turned wheel.