



## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВАГОННЫХ КОЛЕС НАПЛАВКОЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ ОТЖИГОМ ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ

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

Рассмотрен комплекс технологических задач, которые необходимо решить в процессе восстановления железнодорожных колес наплавкой. Предложена технология высокопроизводительной многоэлектродной наплавки колес после отжига поверхности катания.

**Ключевые слова:** восстановление, вагонные колеса, дефекты поверхности катания, высокочастотный нагрев, ТВЧ отжиг, многоэлектродная наплавка, микроструктура

Колеса, имеющие после эксплуатации изношенную поверхность катания (рис. 1, поз. 4), для восстановления исходного профиля (рис. 1, поз. 1) обтачивают на колесотокарных станках по копиру. Ежегодно на вагоноремонтных предприятиях Украины обтачивают 400 тыс. вагонных колесных пар с уменьшением обода в среднем на 4...6 мм. При этом стоимость обточки одного миллиметра колеса оценивается в 51 гривню.

Для восстановления одного миллиметра толщины изношенного гребня вагонных колес к стандартному профилю шириной гребня 33 мм, измеренному на расстоянии 18 мм от вершины гребня, необходимо уменьшить обод на 2 мм. С целью сохранения толщины обода при восстановлении вагонных колес на предприятиях железнодорожного транспорта Украины, стран СНГ, Швеции, Германии, Чехии, Болгарии, Польши, Румынии, Индии применяют автоматическую дуговую наплавку изношенных гребней под флюсом [1–3] и обточку (рис. 1). В странах СНГ обточка предусмотрена действующими нормативными документами [4]. Известны работы по восстановлению обода вагонных колес наплавкой [1,

2] и обточкой (рис. 1, поз. 3). Однако по ряду причин, рассмотренных ниже, действующими нормативными документами восстановление ободов у вагонов, выходящих на магистрали стран СНГ, не предусмотрено.

Целью данной работы является изучение возможностей усовершенствования технологии восстановления вагонных колес наплавкой, а также применение многоэлектродной наплавки обода колеса после отжига поверхности катания. При решении проблем восстановления колес дуговой наплавкой необходимо учитывать следующие обстоятельства.

Во-первых, восстановление вагонных колес наплавкой связано с потерей уровня сжимающих напряжений, создаваемых закалкой колес на заводе-изготовителе (содержание углерода в колесной стали 0,55...0,65%), выявлением и устранением дефектов металлургического происхождения [5].

Металлографические исследования колес с толщиной обода около 30 мм, поступившие в ремонт на вагоноремонтные заводы Украины, выполнены в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Установлено, что микроструктура металла обода колеса состоит из сорбитообразного перлита с микротвердостью HV1-2540...2560 МПа и тонких прослоек феррита с микротвердостью HV1-1850 МПа, твердость металла обода около HRC 20, гребня HRC 21...23. В металле ободьев колес выявлены сульфиды марганца размером не менее 0,49 мм, сложные силикаты с высокой твердостью HV1-7420...7720 МПа. Балл загрязненности сульфидами и силикатами колесной стали по ГОСТ 1778-70 соответствует № 3...4. Ввиду своей неправильной формы эти включения могут являться концентраторами напряжений, что может привести к образованию трещин и их развитию в результате циклических нагрузок при эксплуатации. В то же время согласно ГОСТ 10791-89 «Колеса цельнокатаные» балл сульфидных включений и силикатов в колесной стали не должен превышать № 3,5.

Согласно ГОСТ 10791-89 и ISO 1005/6 сходимость обода после радиальной разрезки колеса (в состоянии поставки) должна быть не менее 1 мм, расхождение не допускается. В процессе эксплуатации колес под действием механических нагрузок на поверхность катания сходимость концов обода после разрезания составляет -1...-2 мм. В ряде случаев после тормозных испытаний напряжения переходили в растягивающие (+1...+2 мм) [6]. По нашим данным, колеса с толщиной обода менее 45 и более 30 мм, поступающие в

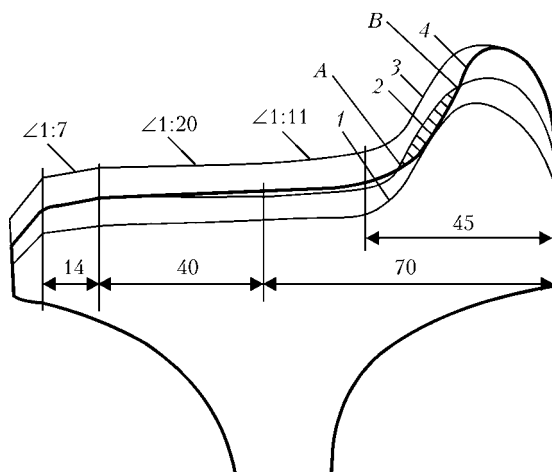


Рис. 1. Схема восстановления профиля колеса ДИИТ УЗ: 1, 2 – линия обточки соответственно без и после наплавки гребня (А – начало, В – окончание наплавки); 3 – линия обточки после восстановления колес наплавкой гребня и обода; 4 – линия изношенной поверхности колеса

ремонт на вагоноремонтные заводы после эксплуатации, имеют расхлываемость концов обода после разрезания +1 мм. С учетом отмеченного одним из главных требований при разработке технологии восстановления колес, на наш взгляд, является сохранение в них уровня сжимающих напряжений, который должен быть подтвержден эксплуатацией колес в течение длительного срока.

Во-вторых, поскольку колеса изготовлены из высокоуглеродистой стали, их поверхность катания в результате эксплуатации подвержена местной поверхностной закалке и глубокому наклепу под влиянием тепловых и механических воздействий. Часто они имеют по два-три «ползуна» глубиной 1...2 мм, около 25 % колес имеют «ползуны» с твердостью металла более *HRC* 50 на глубину 3 мм, выщербины металла глубиной 5 мм и более, дефекты на поверхности катания (выдавливание металла на периферию поверхности катания, расслоение металла, трещины, повреждения усталостного характера в зоне контакта колеса с рельсом). Перед наплавкой обода колеса (рис. 1, поз. 3) его необходимо обтачивать на глубину залегания дефектов [7]. В противном случае последние могут действовать как концентраторы напряжений в наплавленных слоях, что приводит к разрушению.

В-третьих, колесная сталь относится к категории трудносвариваемых. Для уменьшения вероятности образования горячих трещин в наплавленном металле наплавка колес обычно выполняется низкоуглеродистой проволокой, используются меры, обеспечивающие содержание углерода в нем не более 0,2 % (увеличение скорости наплавки, уменьшение сварочного тока, снижение проплавления основного металла и доли участия основного металла в наплавленном) [1]. Для устранения холодных трещин, которые могут возникать в металле ЗТВ наплавки в результате образования закалочных структур, воздействия сварочных напряжений и диффузионного водорода, применяется подогрев обода колеса перед наплавкой с замедленным остыванием после наплавки, прокаливание флюса с целью снижения в нем водорода, [1, 3]. При любом виде наплавки в металле ЗТВ происходят структурные изменения, что приводит к увеличению зерна и ухудшению прочностных свойств основного металла. Увеличение толщины износа, подлежащего восстановлению, а также нагрева и тепловложения на единицу длины (площади поверхности колеса) приведет не только к увеличению ширины ЗТВ, вероятности возникновения трещин как в наплавленном, так и в основном металле колеса, но и к снижению производительности восстановления колес (время наплавки износов обода до 4 мм составляет 3,5...4 ч) [1].

С целью продления ресурса колеса, уменьшения толщины наплавленного слоя, требуемого для восстановления, перед выполнением наплавочных работ рекомендуется отжигать поверхность катания [8]. Отжиг от температуры  $A_{c3}$  упрочненного металла поверхности катания колеса перед наплавкой способствует измельчению зерна металла и уменьшению вероятности образования холодных трещин в зоне, примыкающей к линии сплавления [7], что позволяет вести наплавку без обточки дефектов на поверхности катания. При этом температура подогрева металла перед наплавкой может быть значительно снижена. После отжига поверхности

катания твердость металла уменьшается более чем в 2 раза. Увеличить работоспособность колеса позволяет также шлифовка глубоких дефектов после уменьшения твердости поверхности катания вместо обточки по кругу катания.

Более экономичным при ремонте колес, уменьшающим их деформации во время нагрева и охлаждения, является использование высокочастотного нагрева, поскольку нагреваемый слой составляет небольшую часть от массы колеса [9]. Особенностью такого нагрева является генерирование тепловой энергии непосредственно в нагреваемом изделии, что обеспечивает высокую скорость нагрева до температур, при которых происходят структурные превращения в металле. Высокочастотный нагрев поверхности катания колеса осуществляли при помощи установки ТИ2-100/10М [7]. При частоте 10 кГц и мощности 100 кВт структурные превращения в металле происходят примерно на глубине 2 мм. Сопоставление микроструктур металла обода колеса с изношенной поверхностью, наличием на нем дефектов (ползун, трещина) и участков со следами термического воздействия при торможении на ободке и гребне до и после ТВЧ отжига поверхности катания позволило заключить, что микроструктура металла в зоне со структурой игольчатого мартенсита, а также участка со структурой зернистого бейнита после ТВЧ отжига претерпевают превращения с образованием мелкозернистого бейнита (на глубине до 2,4 мм от поверхности катания) и в целом становятся более однородными. Влияние ТВЧ отжига на структуру металла по глубине ограничено (микроструктура и микротвердость на глубине, превышающей 2,4 мм, практически не изменяются).

Растягивающие напряжения, возникающие после ТВЧ отжига, способствуют выявлению и отбраковке колес с дефектами [5]. Установлено, что расхлываемость колес после отжига на ТВЧ установке составляет +1, после отжига и наплавки гребней одним электродом — +2,5, после отжига, обточки дефектов, дополнительного нагрева на ТВЧ установке перед наплавкой гребней — +3,5 мм, что способствует вскрытию дефектов (микротрещин) на поверхности колес до размеров, выявляемых визуально, вплоть до появления трещин в ободке колеса.

С 1997 г. на вагоноремонтных заводах Украины благодаря применению отжига поверхности катания были выявлены трещины в ободьях у 0,2 % колес, поступивших в ремонт. Устранение их обточкой и последующая наплавка гребней способствовало безаварийной эксплуатации около 260 тыс. колес, выпущенных из ремонта с наплавленными гребнями [7]. Имеющийся опыт продолжительной эксплуатации восстановленных колес позволяет допускать, по нашему мнению, расхлываемость ободьев колес после их разрезания до +3,5 мм, что, вероятно, может быть принято в качестве критерия допустимой расхлываемости колес после их восстановления наплавкой.

С целью достижения максимальной производительности восстановления колес при высоком качестве наплавки после отжига поверхности катания колеса можно использовать многоэлектродную наплавку обода [10]. Благодаря поочередному импульсному характеру горения дуги с перемещением дуги поперек обода, рассредоточению теп-



ловложения уменьшается глубина проплавления, снижается доля основного металла в наплавленном материале и, как следствие, снижаются деформации в колесе после наплавки [11]. Путем легирования наплавленного слоя можно повысить предел текучести, ударную вязкость, коррозионную стойкость поверхностного слоя ободьев колес и стойкость к механическому изнашиванию при значительных ударных нагрузках, деформируемость изделий, уменьшить вероятность образования трещин. Однако при многоэлектродной наплавке ванна жидкого металла имеет значительный объем и медленно охлаждается во время кристаллизации. Это приводит к крупнотельчатому строению наплавленного металла, перегреву основного металла у зоны сплавления его с металлом шва, увеличению зерна на участках крупного зерна (УКЗ) металла ЗТВ наплавки. В результате катания наблюдается ухудшение механических свойств, особенно ударной вязкости. Увеличение тепловложения в колесо привело к повышению расхожимости колеса до +6,5 мм.

С помощью экспериментальной установки для наплавки ободьев УНО-2 (рис. 2) выполнена многоэлектродная наплавка на ободе колеса сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-60 одного и двух слоев в одну сварочную ванну (рис. 3). Наплавку гребней выполнили на установке УНГ-2М сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-348АМ путем последовательного наложения валиков и двумя электродами в одну сварочную ванну [7]. Для наплавки использовали проволоку, принятую в настоящее время для наплавки вагонных колес на предприятиях железнодорожного транспорта Украины.

Установлено, что наплавку обода шириной 100 мм вагонного колеса диаметром не менее 850 мм можно выполнить десятью электродами. Количество электродов обусловлено шириной обода (100 мм), которую необходимо наплавить, а также обеспечением многоэлектродного процесса наплавки (расстояние между электродами должно быть равно 3...4 диаметра электрода [10]). Для предотвращения растекания сварочной ванны и экономии сварочных материалов колесную пару во время наплавки наклоняли под углом не менее 5° таким образом, чтобы профиль колеса был параллелен горизонту [12]. Скорость наплавки и суммарный сварочный ток взаимосвязаны, например, при токе 500...600 А максимальная скорость наплавки сос-

тавляет 6...7, минимальная — 4 м/ч; при токе 1200 А максимальная скорость составляет 15 (время наплавки обода 10 мин), минимальная — 10 м/ч (время наплавки обода 16 мин). При большей скорости вращения колеса жидкий металл из сварочной ванны растекается по колесу, при меньших скоростях наблюдается прерывание многоэлектродного процесса наплавки.

Микроструктура металла наплавки представляет собой бейнит с микротвердостью  $HV_1$ -2850...3220 МПа, твердостью  $HRC$  23...27. Микроструктура металла УКЗ в металле ЗТВ наплавки представляет собой бейнит с микротвердостью  $HV_1$ -2540...3660 МПа, твердостью  $HRC$  20...31. При этом первое значение твердости измерено у поверхности многоэлектродной наплавки, последнее — у линии сплавления. Содержание углерода в наплавленном металле составляло 0,29%, трещин в наплавленном металле и металле ЗТВ наплавки не обнаружено.

С целью уменьшения величины зерна на УКЗ металла ЗТВ наплавки апробированы различные технологические варианты многоэлектродной наплавки. Было установлено, что изменение угла наклона электродов с 50 до 30° практически не приводит к изменению химического состава наплавленного металла (0,29...0,28 % С; 1,15...1,1 % Mn; 0,56...0,59 % Cr; 0,5...0,35 % Mo), балл зерна металла УКЗ ЗТВ наплавки № 3...4.

В результате смещения расположения электродов вперед по направлению сварки на 70 мм по отношению к зениту по сравнению с расположением назад на 70 мм уменьшилось проплавление основного металла, что привело к уменьшению содержания углерода с 0,28 до 0,22 % и уменьшению твердости с  $HRC$  24...27 до значений около  $HRC$  20.

Увеличение скорости однослойной наплавки ( $v_n = 12$  м/ч,  $I = 700...800$  А) привело к появлению в металле наплавки широких ферритных пластин наряду с бейнитом (рис. 4, а), снижению твердости его до значений менее  $HRC$  20 (микротвердость металла наплавки в центре обода  $HV_1$ -2970...3090 МПа), твердости металла УКЗ ЗТВ наплавки до  $HRC$  20...24 (микротвердость металла наплавки  $HV_1$ -3060...3220 МПа), снижению содержания углерода до 0,18 %. При этом балл зерна металла УКЗ ЗТВ наплавки повысился до № 4...6 (рис. 4, б). Расхожимость колеса после одного слоя

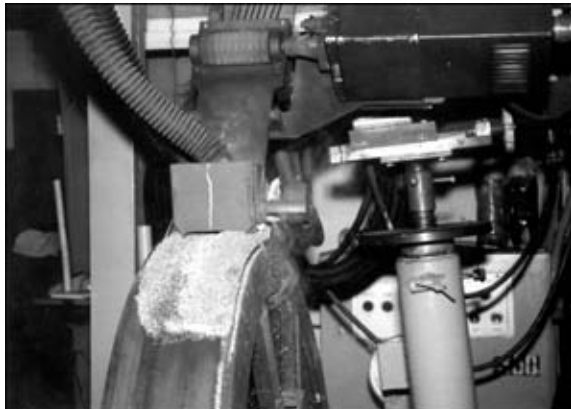


Рис. 2. Установка УНО-2 для наплавки ободьев колес



Рис. 3. Фрагмент обода колеса с наплавочной поверхностью

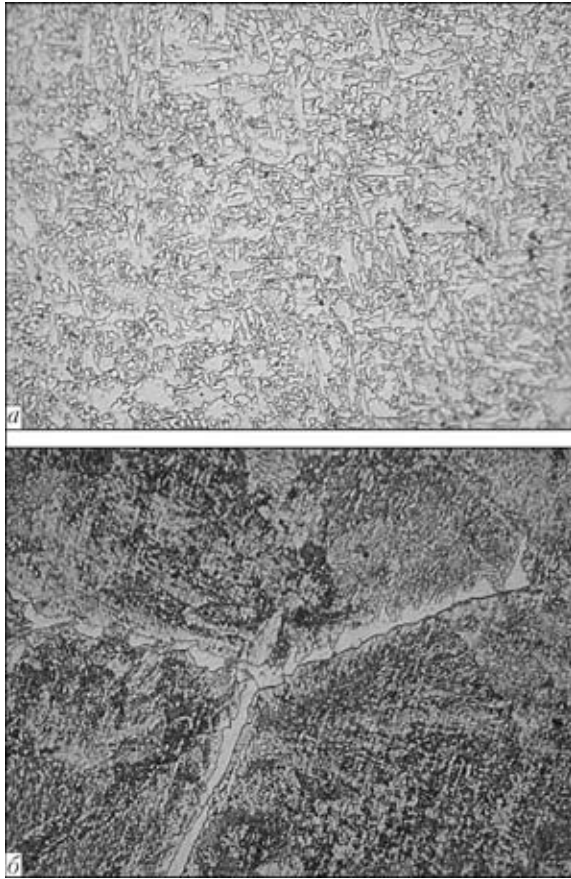


Рис. 4. Микроструктура основного металла (а) и металла УКЗ ЗТВ (б), полученная однослойной многоэлектродной (10 электродов) наплавкой обода колеса сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-60,  $\times 1000$

многоэлектродной наплавки обода колеса составляла +6,5 мм.

Наплавка обода в два слоя ( $v_{н1} = 10$  м/ч,  $I_1 = 500...600$  А,  $v_{н2} = 14$  м/ч,  $I_2 = 800...900$  А) (рис. 5) привела к увеличению размера ферритной составляющей в микроструктуре, снижению твердости наплавки до значений *HRC* 20 и менее (микротвердость в первом слое наплавки в центре обода *HV*1-3090 МПа, во втором — *HV*1-2740...2970 МПа, металла УКЗ ЗТВ наплавки *HV*1-2810...2970 МПа). Химический состав наплавленного металла, мас. %: 0,17 С, 1,2 Мн, 0,79 Сг, 0,54 Мо. В результате повторной перекристаллизации металла УКЗ ЗТВ наплавки вместе с зернами балла № 5...7 появились отдельные зерна балла № 8 (рис. 5, б). Расходимость колеса после многоэлектродной наплавки обода двумя слоями практически не изменилась (+6,4 мм).

Таким образом, снижением сварочного тока, манипуляциями с электродом, увеличением скорости наплавки, применение двухслойной наплавки при максимальной возможной скорости можно снизить проплавление основного металла и величину зерна в металле УКЗ ЗТВ наплавки, уменьшить переход углерода из основного металла в наплавленный слой.

По мнению специалистов Днепропетровского университета железнодорожного транспорта, основанного на исследованиях специалистов Института черной металлургии НАН Украины (г. Днепропетров-

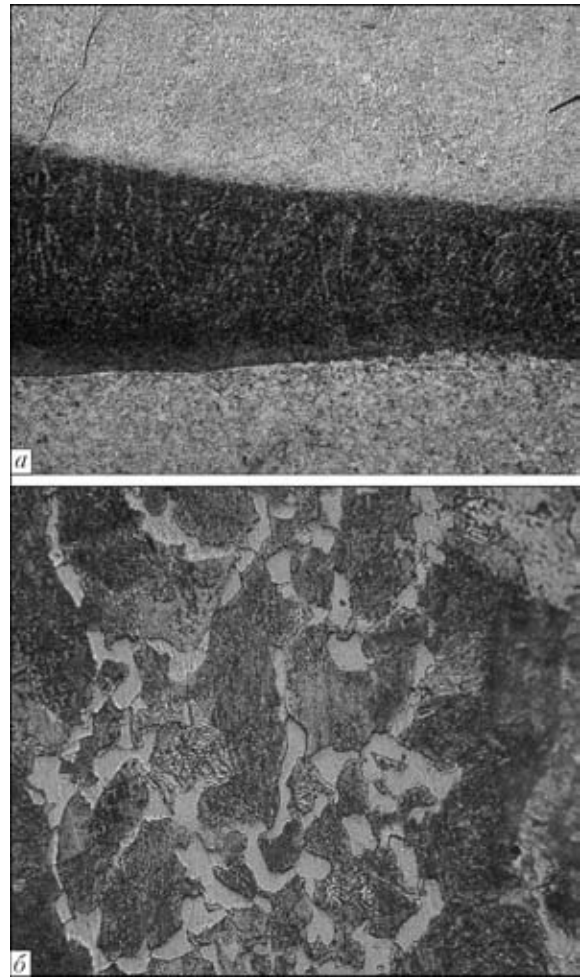


Рис. 5. Микроструктура основного металла (а) и металла УКЗ ЗТВ (б), полученная двухслойной многоэлектродной (10 электродов) наплавкой обода колеса сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-60: а —  $\times 40$ ; б —  $\times 1000$

ск), отмеченная расходимость колес не гарантирует от возможности возникновения трещин при их эксплуатации. Нами установлено, что уменьшения расходимости концов колеса после разрезания можно достичь путем нагрева поверхности катания после наплавки и обточки на установке ТИ2-100/10М со скоростью 150...160 °С/с до температуры выше  $A_{c1}$ , охлаждения до температуры ниже точки  $A_{r1}$  в течение 5...6 с, повторного нагрева в течение 5...6 с до температуры ниже  $A_{c1}$  и ускоренного охлаждения со скоростью не менее 50...60 °С/с (водяной спрейер установлен непосредственно в индуктор). После такой термообработки расходимость колеса после его разрезания уменьшается до +3,5 мм. Высокочастотный нагрев колеса после многоэлектродной наплавки ( $v_n = 6$  м/ч,  $I = 500...600$  А) и обточки по профилю не изменил микроструктуру, балла зерна в металле УКЗ ЗТВ, твердость, микротвердость металла наплавки.

В металле УКЗ ЗТВ наплавки содержатся преимущественно зерна балла № 8, остальные — № 5...7. Более существенное измельчение зерна достигается при увеличении скорости наплавки первого слоя ( $v_{н1} = v_{н2} = 14$  м/ч,  $I_1 = I_2 = 1100...1200$  А), рис. 6. Содержание углерода наплавленного металла понизилось до 0,1 % (1,15 % Мн, 0,79 % Сг,

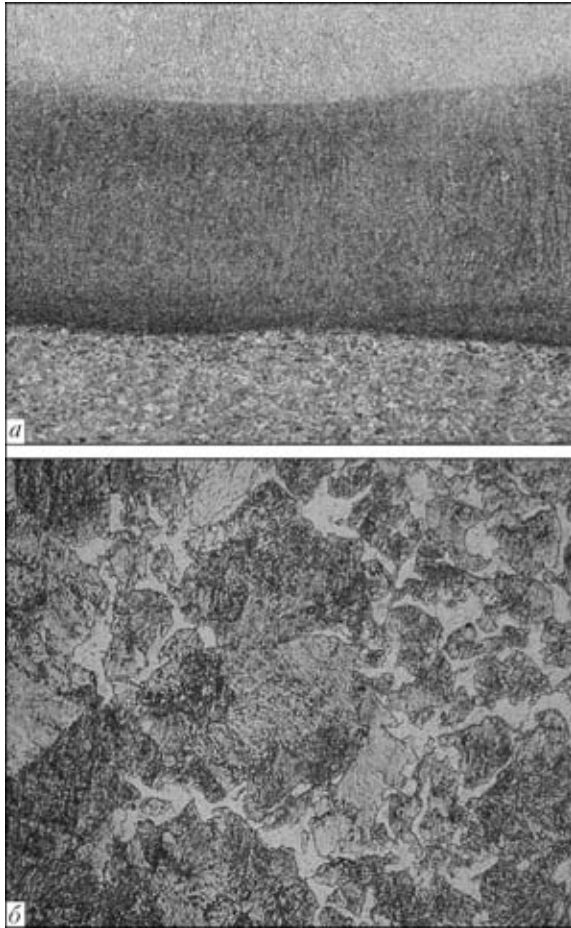


Рис. 6. Микроструктура основного металла (а) и металла УЗК ЗТВ (б), полученная двухслойной многоэлектродной (10 электродов) наплавкой обода колеса сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-60 после термообработки наплавленного и обточенного по профилю катания слоя: а –  $\times 40$ ; б –  $\times 1000$

0,54 % Мо), твердость металла наплавки не изменилась. Минимальное время наплавки одного слоя толщиной 9 мм на обод вагонного колеса с диаметром 850 мм составило не более 11,5 мин. Расходимость концов колеса после многоэлектродной наплавки обода составляло +6,5 мм.

Минимальная толщина обода вагонных колес в эксплуатации составляет 22, после заводского ремонта 28, после деповского – 27 мм. В настоящее время при ремонте колес при деповском ремонте допускается минимальная толщина обода после обточки 25 мм. Наибольшего эффекта можно достичь в результате восстановления тонких колес с толщиной обода 26...30 мм, которые после обточки имеют толщину обода менее допустимой и подлежат распрессовке. В настоящее время средний срок службы таких колес составляет 8 лет, продлив его на два-три года (до допустимой толщины обода в эксплуатации), можно рассчитывать на увеличение срока службы до 12 лет и без учета затрат получить доход не менее 1400 грн. (на 01.05.2005 г. цена нового цельнокатаного колеса для вагоноремонт-

ных заводов «Укрзалізниці» составляла около 3000 грн. без НДС).

В заключение можно отметить, что технология восстановления железнодорожных колес вследствие износа должна включать следующее:

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

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

многоэлектродную наплавку на обод колеса одно- или двухслойную (десятью электродами) в одну сварочную ванну легированной проволокой, например, сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм под флюсом АН-60 ( $v_{\text{н}} = 12... 14$  м/ч,  $I_{\text{св}} = 800... 900$  А,  $U_{\text{д}} = 28... 30$  В, угол наклона сварочных электродов к зениту  $35... 45^\circ$ , смещение электродов на  $65... 70$  мм от зенита вперед по ходу вращения колеса), обеспечивающую высокую производительность и качество наплавленного металла (балл зерна в УЗК металла ЗТВ не менее № 6... 8), значения твердости поверхности катания не ниже твердости основного металла колеса;

наплавку изношенных гребней [7];

термообработку наплавленных и обточенных колес на ТВЧ установке, обеспечивающую уровень расходимости не более +3,5 мм.

1. Сварка под флюсом при ремонте локомотивов / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман, В. П. Степенко, В. А. Чумаченко. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – С. 65–79.
2. ESAB delivers engineered automatic welding station to Ghana for build-up welding of worn railway wheels // Svetsaren. – 2001. – № 1. – Р. 20–21.
3. 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.
4. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429: Утв. М-вом путей сообщ. – М.: Транспорт, 1977. – С. 54–57.
5. Цюренко В. Н. Эксплуатационная надежность колесных пар грузовых вагонов // Ж.-д. транспорт. – 2002. – № 3. – С. 24–28.
6. Узлов И. Г. Колесная сталь. – Киев: Техника, 1985. – 110 с.
7. Матвеев В. В. Наплавка гребней вагонных колес после отжига поверхности катания на вагоноремонтных заводах Украины // Автомат. сварка. – 2005. – № 6. – С. 42–48.
8. Пат. 44373, Украина. Спосіб відновлення поверхні кочення коліс рейкового транспорту / В. В. Матвеев. – Опубл. 15.02.2002, Бюл. № 2.
9. Вологдин В. П. Поверхностная индукционная закалка. – М.: Оборонгиз, 1974. – 291 с.
10. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка. – М.: Машиностроение, 1988. – 140 с.
11. Емельянов Н. П. Многоэлектродная электродуговая и электрошлаковая наплавка под флюсом // Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. транспорта. – 1962. – Вып. 239. – С. 18–20.
12. Пат. № 61794, Украина. Спосіб відновлення профіля поверхні обода колеса рейкового транспорту / В. В. Матвеев, В. І. Ольшевський. – Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.

The paper deals with a set of technological problems, which are to be solved during restoration of railway wheels by surfacing. A technology of highly efficient multielectrode surfacing of wheels after annealing of the rolling surface is proposed.

Поступила в редакцию 15.09.2005