



## НАПЛАВКА ГРЕБНЕЙ ВАГОННЫХ КОЛЕС ПОСЛЕ ОТЖИГА ПОВЕРХНОСТИ КАТАНИЯ НА ВАГОНОРЕМОНТНЫХ ЗАВОДАХ УКРАИНЫ

**В. В. МАТВЕЕВ**, директор ЗАО «Вилтранс»

Рассмотрены особенности износа железнодорожных колес и применяемые технологии восстановления наплавкой их гребней. Описан опыт по восстановлению гребней колес после отжига поверхности катания. Отмечены преимущества такой технологии.

*Ключевые слова:* дуговая наплавка, вагонные колеса, поверхность катания, высокочастотный отжиг, твердость, микроструктура, повышение производительности

При торможении на поверхности катания колес в результате появления пластических деформаций возникает ряд дефектов: выдавливание металла на периферию поверхности катания, расслоение металла, трещины, повреждения усталостного характера в зоне контакта колеса с рельсом [1]. В 60...70 % случаев такие дефекты, как ползуны, выщербины, навары на поверхности катания, являются причиной отцепок грузовых вагонов для текущего ремонта колесных пар (КП). Основной причиной наблюдаемого в 1990-е годы увеличения количества колес с дефектами контактно-усталостного происхождения является снижение качества металла колес, изготовленных на металлургических заводах [2]. В процессе эксплуатации дефекты могут распространяться на глубину 20 мм и более в область растягивающих напряжений в колесе, этому способствуют, в частности, ударные нагрузки. Зарождение трещин возможно на глубине 15...20 мм от поверхности катания в местах залегания дефектов металлургического происхождения металла колес, которые развиваются под действием циклических нагрузок. Такие дефекты обычно распространяются параллельно поверхности катания и заканчиваются на наружной поверхности гребня. Развитие трещины металла участка гребня может привести к отколу металла длиной до 200...250 мм и потере направляющих функций колеса. Наличие неметаллических включений в колесной стали и ее пониженная деформационная способность также могут быть причиной появления трещин в дисках колес [3]. Дефекты усталостного происхождения характеризуются небольшими микротрещинами, распространяющимися приблизительно на 10 мм вглубь металла от поверхности катания и у основания гребня. Эти микротрещины ориентированы под углом 45° относительно направления катания и обычно не развиваются до опасных размеров. В целом в результате воздействия ударных нагрузок, проникновения водорода в сталь в условиях повышенной влажности может происходить снижение поверхностной и усталост-

ной прочности, пластичности, ударной вязкости и выносливости [4].

Для восстановления одного миллиметра изношенного гребня вагонных колес (получение стандартного профиля с шириной гребня 33 мм на расстоянии 18 мм от его вершины) необходимо уменьшить толщину обода на 2 мм. С целью сохранения толщины обода после обточки вагонных колес на предприятиях железнодорожного транспорта стран СНГ, в частности Украины, Германии, Чехии, Болгарии, Польши, Индии, Швеции и др. применяют технологию дуговой наплавки изношенных гребней под флюсом [5, 6].

Согласно технической документации на наплавку гребней допускаются колеса после полного устранения дефектов обточкой. Колеса с упрочненной поверхностью катания (с наклепом и ползунами) подвергают механической обработке, при этом стачивается («срезается») 2...3 мм металла с обода колеса. В настоящее время практически все колеса, поступающие в ремонт, имеют по 2...3 ползуна глубиной не более 2 мм, около 25 % колес имеют ползуны с твердостью металла поверхности катания более  $HRC\ 50$ . В последние годы для уменьшения толщины снимаемой стружки перед обточкой рекомендуется использовать поверхностный отжиг поверхности катания, упрочненной в процессе эксплуатации [7].

Целью настоящей работы является обобщение опыта наплавки гребней вагонных колес после отжига поверхности катания, накопленного ЗАО «Вилтранс» на предприятиях Украины. Использование отжига перед наплавкой изношенной поверхности катания колес [8] впервые предложено нами к внедрению на участках наплавки ЗАО «Вилтранс» на ряде вагоноремонтных заводов Украины.

Многочисленный импульсный отжиг поверхностного слоя металла обода и гребня колес осуществлялся на установках ТИ2-100/10М, изготовленных ЗАО «Вилтранс». Поверхностный индукционный отжиг осуществляется токами с частотой 10 кГц на вращающемся колесе путем нагрева со скоростью 150...160 °C/с до температуры выше  $A_{c1}$  ( $810 \pm 20$  °C), охлаждения до температуры ниже точки  $A_{r1}$  ( $630 \pm 20$  °C) в течение 5...6 с, повторного

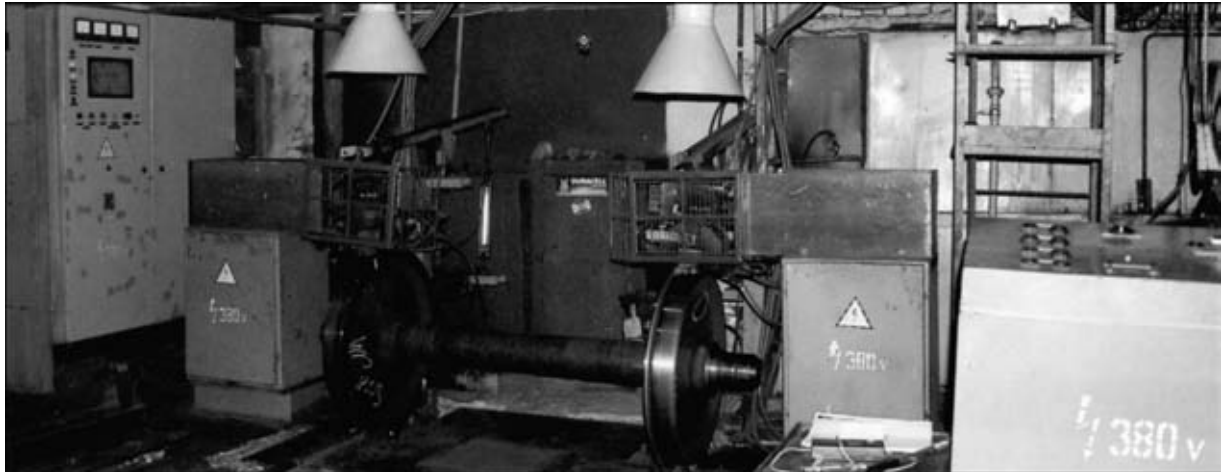


Рис. 1. Индукционная установка ТИ2-100/10М для отжига поверхности катания вагонных колес

нагрева в течение 5...6 с до температуры ниже точки  $A_{c_1}$  ( $680 \pm 20^\circ\text{C}$ ) и свободного охлаждения. Критическая точка  $A_{c_1}$  стали 60Г, близкой по своим свойствам к типичной колесной стали, составляет  $730^\circ\text{C}$ . Режимы многократного импульсного отжига соответствовали рекомендациям, предложенным в работе [9].

Установка ТИ2-100/10М (рис. 1) состоит из двух нагревательных постов, механизма перемещения индукторов, механизма вращения КП, системы охлаждения, источника питания (генератор СЧГ9-100/10 мощностью 100 кВт). Нагревательный пост состоит из индуктора-трансформатора и блока конденсаторов. Индуктор-трансформатор предназначен для создания двух узких пятен индукционного нагрева, создающих возможность реализации необходимых параметров нагрева и охлаждения. Он сварен из медной трубки, согнутой по профилю колеса, с припаянными к ней радиаторными пластинами. Промежутки заполнены пластинами из электротехнической стали, образующими магнитопровод. К концам трубки приварены медные плиты, образующие фланец для крепления индуктора к трансформатору. Индуктор-трансформатор и генератор выполнены водоохлаждаемыми. Система охлаждения является оригинальной и содержит двухсекционный бак для дистиллированной воды (конденсата) с внутренней перегородкой, два насоса и два калорифера. Вращение колес обеспечивается с помощью двигателя переменного тока и редуктора. Линейная скорость вращения КП составляет 20 мм/с.

Проведены металлографические исследования образца колеса (рис. 2) с изношенной поверхностью катания на ободе и гребне, дефектами на поверхности обода (ползун, трещина), следами термического воздействия при торможении на гребне. Анализ структуры образцов проводили в Институте электросварки им. Е. О. Патона после их травления в растворе хлорного железа с последующим осветлением в растворе персульфата аммония (макроструктуры), после химического травления в 4%-м спиртовом растворе азотной кислоты (микроструктуры). Твердость металла по Роквеллу измеряли на приборе ТК-2М, микротвердость по

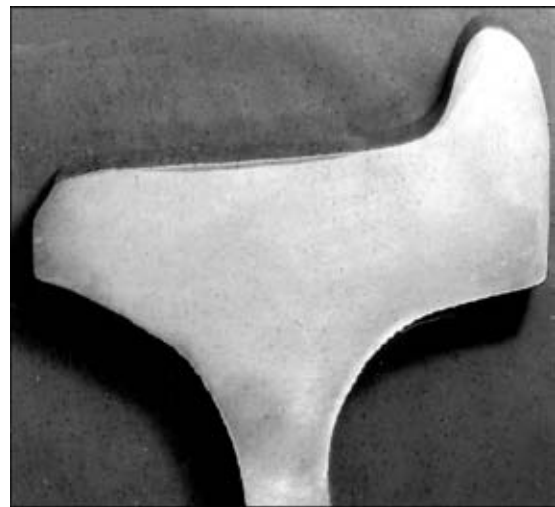


Рис. 2. Макрошлиф фрагмента колеса с изношенной поверхностью катания

Виккерсу — на приборе М-400 фирмы «Леко» при нагрузке 100 г.

Макроструктура образца свидетельствует, что в верхней части гребня протравленная полоса достигает 4...5 мм по глубине ( $HRC\ 24...25$ ). Микроструктура металла гребня колеса в зоне термического воздействия от проскальзывания о головку рельса представляет собой бейнит (рис. 3, а). Микротвердость металла в приповерхностной зоне составляет  $HV1-3080...3060$  МПа, в зоне термического воздействия  $HV1-2850...2970$  МПа, в основном металле (вдали от зоны термического воздействия)  $HV1-2740...2850$  МПа. На рис. 3, б приведена микроструктура металла обода колеса с ползуном. При увеличении ( $\times 1000$ ) установлено, что микроструктура приповерхностного (светлый слой на рис. 3, б с толщиной 0,8...1,0 мм) состоит преимущественно из мартенсита (рис. 3, в) с твердостью  $HV1-6400...6800$  МПа. Кроме игольчатой мартенситной структуры, наблюдаются темные участки зернистого бейнита с твердостью  $HV1-3660...4010$  МПа. Далее по глубине (рис. 3, б) следует серый слой толщиной 0,5...0,6 мм, структура которого (рис. 3, г) состоит преимущественно из зернистого бейнита с твердостью  $HV1-3090...3390$  МПа и крупных светлых участков с

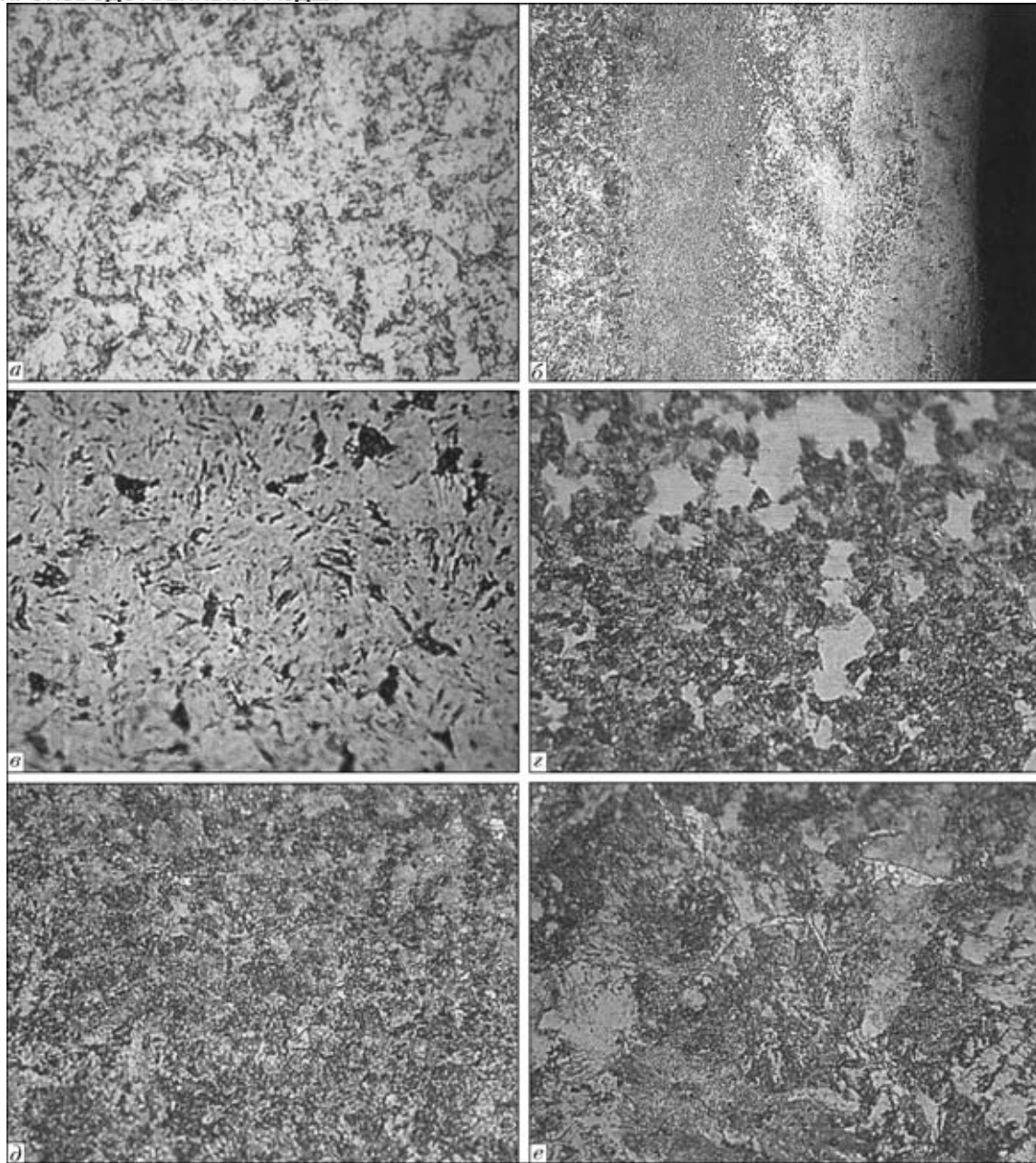


Рис. 3. Микроструктура металла в различных поверхностных участках колеса: *a* — 3ТВ гребня,  $\times 1000$ ; *b* — обода колеса,  $\times 40$ ; *c* — приповерхностный светлый слой обода,  $\times 1000$ ; *d* — приповерхностный первый серый слой,  $\times 100$ ; *e* — основной металл колеса,  $\times 1000$



Рис. 4. Микроструктура металла поверхностных участков обода колеса после ТВЧ отжига,  $\times 40$

твердостью  $HV1-4640...6650$  МПа. Далее по удалению от поверхности наблюдается второй серый слой (рис. 3, *b*) толщиной  $0,5...0,6$  мм. Его структура — зернистый бейнит (рис. 3, *d*) с микротвердостью  $HV1-3250$  МПа. За ним следует собственно металл колеса, структура которого состоит из сорбитообразного перлита (рис. 3, *e*) с микротвердостью  $HV1-2540...2560$  МПа и тонких прослоек феррита. На полированной нетравленной поверхности образца колеса с ползуном обнаружены светло-серые включения, вытянутые в направлении деформации (микротвердость  $HV1-2570$  МПа), которые идентифицированы как сульфиды. Кроме них наблюдаются отдельные включения сложного состава с высокой твердостью  $HV1-7400$  МПа.

Сопоставление микроструктуры металла обода колеса до (рис. 3) и после ТВЧ отжига поверхности катания (рис. 4) позволило заключить, что:

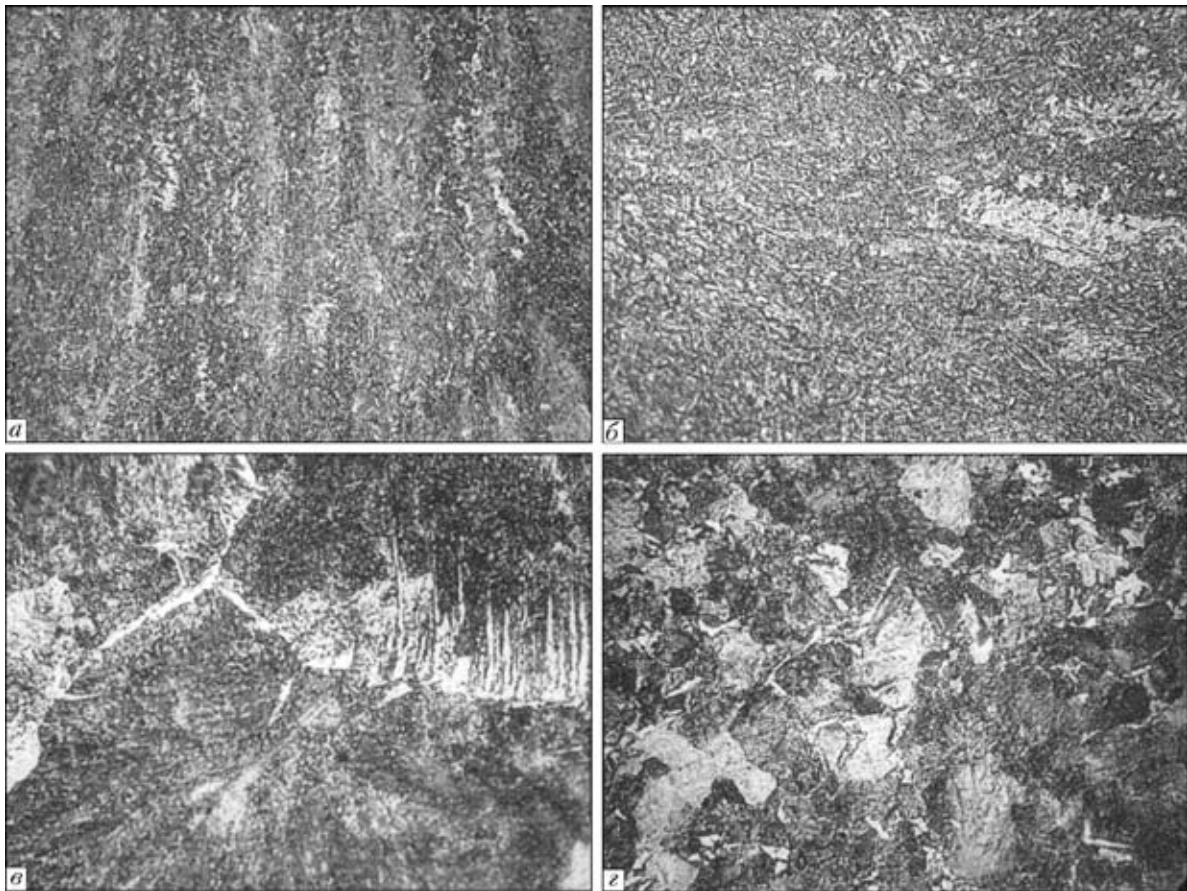


Рис. 5. Микроструктура наплавленного металла гребней и ЗТВ: *а* — верхний слой наплавленного металла гребня,  $\times 200$ ; *б* — промежуточный (перекристаллизованный) слой наплавленного металла,  $\times 200$ ; *в* — участок крупного зерна в ЗТВ металла гребня после выполнения однопроходной наплавки,  $\times 1000$ ; *г* — участок перекристаллизации металла многопроходной наплавки,  $\times 1000$

микроструктура металла в зоне со структурой игольчатого мартенсита (твердость  $HV$  6400...6800 МПа), а также участка со структурой зернистого бейнита (твердость  $HV_1$ —3660...4010 МПа) после ТВЧ отжига претерпевает превращение с образованием мелкозернистого бейнита с твердостью около  $HV_1$ —2970...3090 МПа на глубине до 2,4 мм от поверхности катания;

после ТВЧ отжига структура приповерхностного слоя колеса становится более однородной;

влияние ТВЧ отжига на структуру по глубине ограничено (микроструктура и микротвердость на глубине, превышающей 2,4 мм, практически не изменяются).

Таким образом, поверхностный отжиг перед наплавкой способствует превращению в этой зоне мартенситной структуры в бейнитную, измельчению зерна, что обеспечивает уменьшение вероятности образования холодных трещин при наплавке. При этом отжиг изменяет уровень остаточных напряжений в ободе колеса, возникающих при закалке, увеличивает уровень растягивающих напряжений в нем. Последнее способствует вскрытию дефектов (микротрещин) на поверхности колес до выявляемых размеров. Расходимость концов колес с поверхностью катания колес после отжига и разрезания составляет +1 мм. Согласно п.1.9 ГОСТ 10791–89 «Колеса цельнокатаные» и ISO 1005/6 сходимость концов обода колеса после радиальной

разрезки (в состоянии поставки) должна быть не менее 1 мм, расходимость не допускается.

Одноэлектродная многослойная наплавка под флюсом АН-348АМ гребня (после поверхностного отжига) сварочной проволокой Св-08ХМ диаметром 3 мм (скорость наплавки 26...28 м/ч) не вызывает образования холодных трещин в металле ЗТВ.

Твердость по Роквеллу наплавленного металла гребня изменяется от  $HRC$  31 в металле верхнего слоя до  $HRC$  21...23 в нижележащих валиках. Микротвердость металла ЗТВ гребней под нижними и центральными слоями наплавки составляет  $HV_1$  — 3220...3090 МПа, под верхними  $HV_1$  — 2740...3510 МПа. Обработка данных технологических карт процесса наплавки гребней вагонных колес после отжига упрочненного металла поверхности катания показывает, что твердость поверхности катания снижается почти в 2 раза. После обточки обода, наплавки гребня, остывания колеса в термостате и обточки наплавленного слоя по профилю (средняя скорость охлаждения не более 50 °С/ч) твердость металла поверхности катания колес повышается и становится не ниже твердости основного металла.

На рис. 6 приведена последовательность ремонта колес с наплавкой гребней после отжига поверхности катания на примере Дарницкого участка наплавки гребней ЗАО «Вилтранс» в дей-

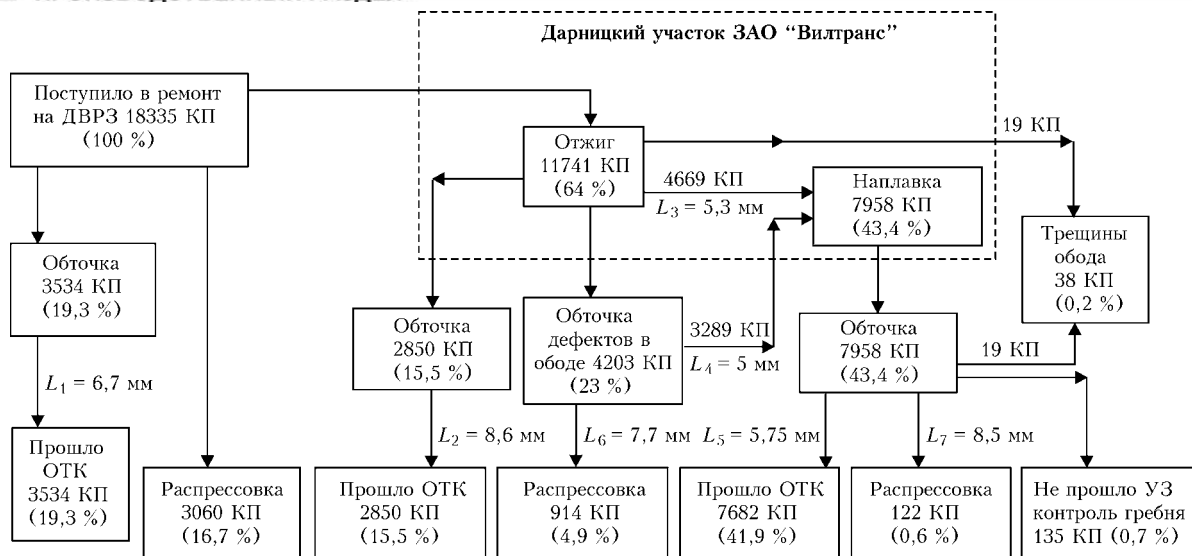


Рис. 6. Карта процесса наплавки гребней вагонных колес после отжига упроченной поверхности катания ( $L$  — среднее уменьшение толщины обода после обточки)

твующем цикле ремонта 18335 КП, которые поступили на Дарницкий ВРЗ с июня 2003 по май 2004 г. Анализ этих данных показывает, что колеса после эксплуатации имеют износы и дефекты, вызванные уменьшением толщины обода в ходе ремонта на глубину от 2 до 25 мм;

после отжига поверхности катания, а также после отжига и наплавки в ходе ремонта выявлены трещины в ободах, что позволило отбраковать 38 КП (0,2 % всех КП, поступивших в ремонт);

отжиг поверхности катания вагонных колес уменьшил твердость поверхности колеса, упроченной после эксплуатации, что позволило уменьшить затраты электроэнергии, режущего инструмента, сократить время обточки, затраты по ремонту станков, и, что важно, уменьшить толщину снимаемого слоя при обточке в среднем на 1,4 мм (для сравнения  $L_1 = 6,7$  и  $L_3 = 5,3$  мм на рис. 6);

вероятность возникновения горячих трещин в наплавленном металле и холодных в металле ЗТВ уменьшается. При этом температура нагрева металла гребня перед наплавкой может быть значительно понижена.

Наплавка гребней после локального поверхностного нагрева и охлаждения колес в ходе отжига приводит к возникновению остаточных напряжений, которые растягивают колесо (0,2 % отбраковки). Расходимость концов колеса после отжига

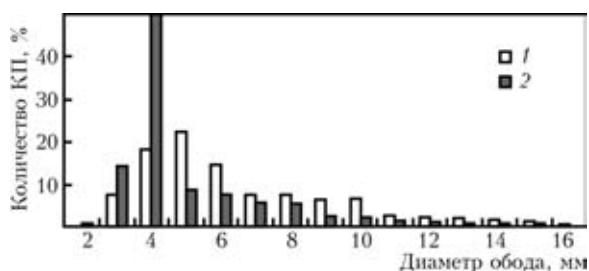


Рис. 7. Распределение КП на участках ЗАО «Вилтранс» в зависимости от величины уменьшения диаметра обода: 1 — УГЦ «Укрспецвагон» (без отжига и обточки дефектов на ободах); 2 — средний показатель СВРЗ, ДВРЗ, ПВРЗ (после отжига и обточки дефектов на ободах)

и наплавки гребней составляет +2,5 мм. Микротрещины в ободах колеса, возникшие в процессе эксплуатации, «раскрываются» до уровня чувствительности ультразвукового контроля, что позволяет выявить «слабые» колеса. Обточка обода колеса (перед наплавкой гребней) на глубину выявленных дефектов после отжига поверхностного слоя повышает надежность колес. Как показали наблюдения, в течение 5 месяцев 2003 г. на Дарницком (ДВРЗ), Попаснянском (ПВРЗ), Стрыйском (СВРЗ) вагоноремонтных заводах (рис. 7) после отжига поверхности катания перед наплавкой гребней около 65 % колес обтачивались с нормативной толщиной стружки менее 4 мм, остальные обтачивали до шести раз с уменьшением диаметра обода до 23 мм. Среднее уменьшение диаметра обода составляло 5,1 мм. За период обследования перед наплавкой гребней обтачивали в среднем около 35 % колес.

В УГЦ «Укрспецвагон», где с мая 2003 г. отжиг поверхности катания не производили, 25 % колес обтачивали с толщиной стружки 3...4 мм, остальные колеса обтачивали несколько раз с уменьшением обода до 25 мм. Среднее уменьшение обода составляло 6,5 мм. Уменьшение максимума распределения в 2,6 раза и смещение гистограммы вправо по сравнению с результатами обточек на вагоноремонтных заводах на 1,4 мм связано с отсутствием отжига поверхности катания перед наплавкой гребней.

После отжига поверхности катания и обточки дефектов количество затрат, необходимых для наплавки гребней (сварочные материалы, время, электроэнергия) уменьшается на 30...40 %. Введение контроля толщины гребня и толщины обода колес после обточки дефектов позволяет оценить затраты и эффективность наплавки гребней для каждого колеса. Необходимый нагрев гребня колеса перед наплавкой до необходимой температуры достигается непосредственно ТВЧ отжигом поверхности катания. Поэтому появляется резерв увеличения производительности участка с одной установкой

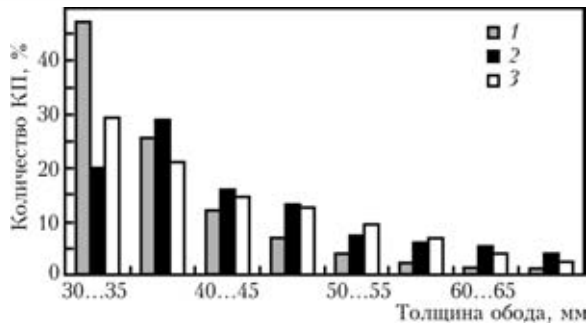


Рис. 8. Распределение КП, поступивших на участки наплавки гребней, в зависимости от толщины обода: 1 – ДВРЗ; 2 – ПВРЗ; 3 – СВРЗ

отжига и тремя установками для наплавки — восстановление до 60 колес за 8-часовую смену.

В настоящее время после заводского ремонта колес допускается толщина обода не менее 27, после ремонта в депо — не менее 25 мм. Соответственно в ремонт без отжига принимаются колеса с толщиной обода не менее 35 и 30 мм. После отжига поверхности катания перед наплавкой гребней в ряде случаев стала возможной обточка колес соответственно с толщиной обода 29 и 26 мм. Поэтому технология ремонта с использованием отжига перед наплавкой гребней особенно актуальна, когда в ремонт на заводы приходят вагоны с «тонкими» колесами. На рис. 8 представлено распределение 13445 КП, поступивших на наплавку гребней с июня по декабрь 2003 г. (ДВРЗ – 4292, ПВРЗ – 4270, СВРЗ – 4883), по толщине обода.

Отжиг поверхности катания перед наплавкой гребней проводили согласно «Технологической инструкции по индукционному отжигу поверхности катания колесных пар предприятиями по ремонту подвижного состава железных дорог Украины», введенной Указом Укрзалізниці за № 208-Ц от 7 июня 2000 г. На технологический процесс наплавки гребней колес грузовых вагонов на установках УНГ с предварительным отжигом поверхности катания ГП НТЦ «СЕПРОЗ» Украины выдан сертификат соответствия № UA1/012/0096713-04.

С мая 1996 по 31.12.2004 гг. ЗАО «Вилтранс» на ДВРЗ, СВРЗ, ПВРЗ и в УГЦ «Укрспецвагон» выполнен отжиг поверхности катания 215178 КП и наплавка 256327 гребней вагонных колес. За этот период ни одной рекламации с дорог после эксплуатации колес, касающейся наплавки гребней с отжигом поверхности катания, на эти заводы не поступило.

Изучены возможности наплавки гребня двумя электродными проволоками в общую сварочную ванну от одного источника питания после ТВЧ отжига поверхности катания колес. При этом два электрода располагались на расстоянии 4 мм друг от друга с подключением к одному источнику питания (ВДУ-1600). Средние значения режима сварки:  $I_{св} = 550$  А,  $v_{нап} = 28...30$  м/ч. Ожидалось, что расход электроэнергии, сварочных материалов и трудозатрат на 1 кг наплавленного металла снизится по сравнению с одноэлектродной сваркой [10]. Эксперименты показали, что при двухэлектродной наплавке достигается более качественное формирование наплавленного слоя и на 30...40 %

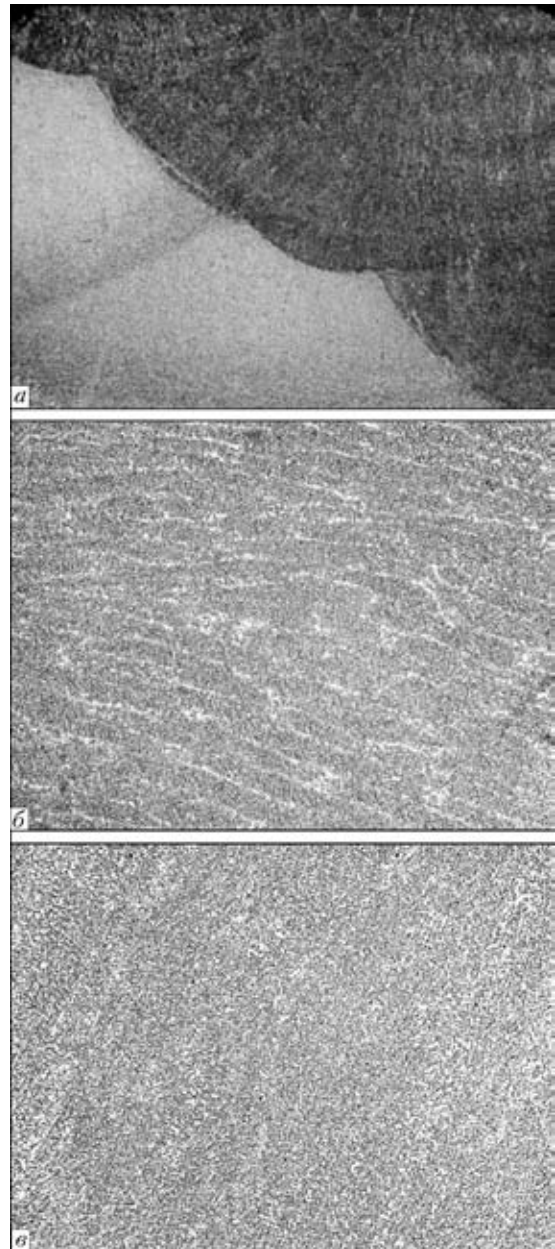


Рис. 9. Микроструктура образца колеса с двухэлектродной наплавкой гребня проволокой Св-08ХМ (а),  $\times 25$ ; верхнего (б),  $\times 200$  и нижележащего слоя (в),  $\times 200$

повышается производительность наплавки. Микроструктура металла, наплавленного двумя электродами (проволока СВ-08ХМ диаметром 3 мм, флюс АН-348АМ, скорость наплавки 28...30 м/ч), как и в случае одноэлектродной наплавки, представляет собой бейнит, но с большей долей феррита (рис. 9). При этом твердость наплавленного металла находится в пределах HRC 22...24 (верхний слой наплавки) и HRC 20...21 (нижележащие слои).

В заключение следует отметить, что остаточные растягивающие напряжения, возникающие после ТВЧ отжига поверхности катания, полезны для выявления дефектов и отбраковки колес в ходе их ремонта. Отжиг перед наплавкой гребней позволяет уменьшить твердость поверхностного слоя, что дает возможность уменьшить толщину стружки при восстановлении, повысить эффективность наплавки, изменить структуру металла перед наплавкой,



уменьшить вероятность возникновения дефектов в наплавленном слое и в околосшовной зоне.

1. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар: ЦВ/3429. Утв. М-вом путей сообщ. — М.: Транспорт, 1977. — С. 54–57.
2. Дюренко В. Н. Эксплуатационная надежность колесных пар грузовых вагонов // Ж.-д. трансп. — 2002. — № 3. — С. 24–28.
3. Мамыкин С. М. Анализ влияния влажности на износ колесных пар пассажирских вагонов // Эффективность безопасности и триботехники. — 1999. — № 1. — С. 46–47.
4. Новый подход к контролю дисков колес железнодорожных вагонов / А. М. Шанурин, Д. Г. Комлев, Г. И. Кравченко, С. Ю. Кузьмин // Дефектоскопия. — 2002. — № 9. — С. 90–95.

5. Астис А. Е., Гутман Л. М. Восстановление изношенных гребней бандажей наплавкой // Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1948. — С. 281–298.
6. Наплавка гребней вагонных колесных пар / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, И. Е. Бызова, А. И. Рассоха // Ж.-д. трансп. — 1993. — № 7. — С. 37–40.
7. Иванов И. А., Урушев С. В. О повышении ресурса цельнокатаных колес // Там же. — 1998. — № 7. — С. 25–26.
8. Пат. 44373 Украина. Спосіб відновлення поверхні кочення коліс рейкового транспорту / В. В. Матвеев. — Оpubл. 15.02.2002, Бюл. № 2.
9. А. с. 433222 СССР, С21d9/34 и 1/32. Способ восстановления профиля катания колес / С. В. Алексин, Ф. Я. Богданов, А. Ф. Богданов и др. — Заявл. 26.05.72; Оpubл. 25.06.74, Бюл. № 23.
10. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка. — М.: Машиностроение, 1988. — 140 с.

Features of wear of railway wheels and applied technologies of wheel flange reconditioning by surfacing are considered. Experience of reconditioning the wheel flanges after annealing of the rolling surface is described. Advantages of such a technology of flange reconditioning are noted.

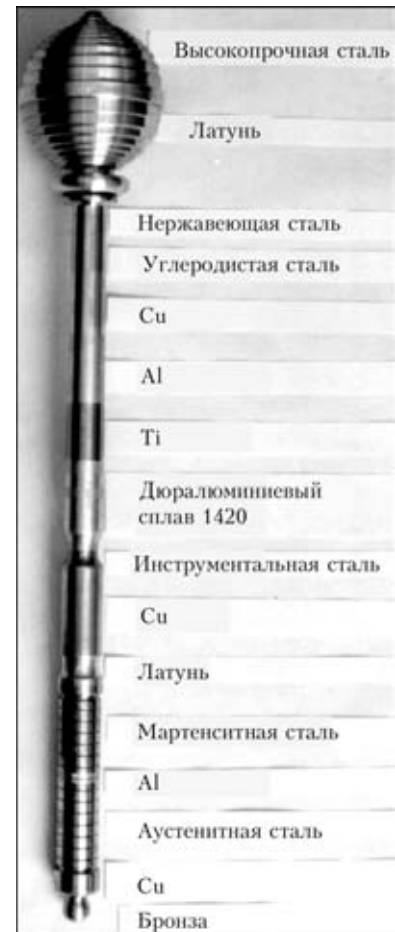
Поступила в редакцию 08.02.2005

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ТРЕНИЕМ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

*В ИЭС им. Е. О. Патона разработаны технологии и режимы сварки трением различных металлов и сплавов в одно- и разнородном сочетании и созданы промышленные технологии сварки конкретных изделий из различных комбинаций металлов и сплавов, в том числе:*

- инструментальных сталей с конструкционными (составной концевой металлорежущий инструмент);
- коррозионностойких сталей с конструкционными (валы химических насосов, ролики отделочных машин текстильного производства);
- жаропрочных сталей с конструкционными (биметаллические клапаны двигателей автомобилей, роторы турбокомпрессоров дизелей);
- легированных высокопрочных сталей с углеродистыми равного и неравного сечения (корпуса гидроцилиндров, штоки поршней, валы аксиально-поршневых гидромашин);
- термически упрочненных и нагартованных алюминиевых сплавов (панели из сплава АМг6НПП со шпильками из сплава Д16Т);
- меди и алюминия с металлокерамикой;
- меди, бронзы и латуни со сталью (блоки цилиндров аксиально-поршневых гидромашин);
- алюминия и его сплавов со сталью (биметаллические переходники для приборов авиакосмической техники);
- алюминия с медью (переходники для электротехнической промышленности);
- титана со сталью.

*Для реализации технологий создана серия специализированных машин для сварки заготовок диаметром 10...100 мм. Машины характеризуются простотой конструкции, надежностью и долговечностью, высокой степенью автоматизации и производительностью. Отличительной особенностью машин для инерционной сварки трением является применение разработанного в ИЭС электромагнитного силового привода, обеспечивающего упрощение конструкции машины, высокую надежность, быстроедействие, стабильность режима сварки, возможность изменения осевого усилия по любой программе.*



**Контакты:** 03680, Украина, Киев-150, ул. Боженко, 11  
 Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, отд. № 26  
 Тел. (38044) 261 53 55; факс: (38044) 287 63 29  
 E-mail: chvertko@paton.kiev.ua