

Технологічні аспекти відновлення залізничних колісних пар: методи підвищення ефективності

Сучасна промисловість і транспортна галузь неможливі без використання технологічних методів та засобів відновлення експлуатаційних характеристик обладнання. На підприємствах залізничного транспорту останнім часом значну увагу приділяють розробці та впровадженню ресурсозберігаючих і екологічно безпечних технологій ремонту та відновлення компонентів рухомого складу. Одним із нових напрямів у цій сфері є поєднання якісної підготовки поверхонь з використанням інноваційних ресурсозберігаючих технологій, таких як наплавлення [1].

Застосування наплавлення для відновлення залізничних колісних пар має суттєві економічні переваги. Ця технологія дозволяє мінімізувати втрати металу обода під час його механічної обробки за профілем кочення, а також підвищує зносостійкість колеса завдяки використанню матеріалів із наперед заданими характеристиками. Для виконання таких відновлювальних робіт застосовуються методи дугового наплавлення під шаром флюсу з використанням дрітів суцільного перетину, а також спеціалізоване зварювальне та допоміжне обладнання [2].

У статті аналізується актуальність і доцільність відновлення залізничних колісних пар методом електродугового наплавлення. Представлено огляд останніх досліджень і публікацій, що стосуються цього питання. Детально розглянуто організаційні, технологічні й технічні аспекти процесу відновлення, враховуючи механічну обробку після наплавлення. Також проаналізовано інструменти, обладнання, методи й способи безпечного виконання відновлювальних робіт на установці КТ 003.00.00.000 на базі досвіду «Покровського вагонного депо» Донецької залізниці [3].

У підсумку зроблено висновки про перспективність подальших досліджень, спрямованих на підвищення ефективності процесів відновлення профілю залізничних колісних пар із застосуванням електродугового наплавлення.

Ключові слова: профіль кочення; гребінь колісної пари; електродугове наплавлення; флюс; зварюваність металів; відновлення залізничних колісних пар.

Актуальність теми. Актуальність численних досліджень проблеми взаємодії рухомого складу з колією обумовлена її важливістю для економічної ефективності та безпеки залізничного транспорту. Зокрема, окрім економічних втрат (енергетичні втрати через опір руху, знос коліс та рейок тощо), ця проблема безпосередньо впливає на безпеку експлуатації залізничної інфраструктури. Аналіз та оцінка сил тертя в зоні контакту колеса і рейки дозволяють глибше розкрити природу взаємодії між рухомих складом і рейками, а також сприяють розробленню методів оптимізації зчеплення в умовах експлуатації, враховуючи кліматичні фактори та рівень забруднення навколишнього середовища [4].

Робочі умови вузлів тертя визначають комплекс вимог до матеріалів, зокрема високу міцність із достатнім запасом пластичності, підвищену теплопровідність, високий модуль пружності, зносостійкість та добрі триботехнічні властивості. Одним із найкритичніших елементів механічної частини рухомого складу є колісні пари, що обмежують міжремонтні інтервали. Проблематика зносу колісних пар сьогодні є вкрай актуальною [5, 6–20].

На працездатність і зносостійкість колісних пар впливають такі фактори, як взаємодія параметрів колії і рухомого складу, властивості поверхневих шарів коліс та рейок, гальмівні режими, типи гальмівних колодок тощо. Основними дефектами є: знос ободів коліс, вертикальні підрізи гребенів, прокат ободів, раковини, тріщини та вигин осей, а також зміщення коліс відносно осі.

При відновленні елементів рухомого складу особливе значення має попередня обробка поверхні, включно з усуненням експлуатаційних дефектів. Важливим фактором є вибір матеріалу інструменту, яким виконують обробку. У залізничних депо України для ремонту колісних пар широко використовуються твердосплавні ріжучі пластини іноземного виробництва. Проте під час обробки часто відбувається їх поломка, що потребує перерв у роботі для заміни інструменту.

Останніми роками перспективним напрямом у відновленні деталей стало використання нанотехнологічних інструментів, експлуатаційні властивості яких значною мірою залежать від їх мікроструктурного стану, зумовленого специфікою виробництва. Іншим новітнім напрямом є застосування ресурсощадних технологій, таких як наплавлення, що дозволяє знизити металовтрати під час механічного обточування і підвищити зносостійкість коліс за рахунок внесення матеріалів із заданими властивостями.

Технологія наплавлення охоплює дугове наплавлення під шаром флюсу, що виконується за допомогою спеціального обладнання. Однак сучасні технології не завжди враховують усі фактори, що впливають на надійність відновлених поверхонь, що призводить до утворення тріщин у наплавлених шарах і підвищення ризику аварій під час експлуатації [21, 22].

Зварюваність високоміцних вуглецевих сталей, що використовуються для виготовлення залізничних коліс, залишається малодослідженою. Тому важливим є розроблення науково обґрунтованих технологій наплавлення, які базуються на глибокому аналізі впливу дугового зварювання на структуру і властивості металу в зоні термічного впливу. Особливу увагу необхідно приділити стійкості наплавлених шарів до статичних і циклічних навантажень, що дозволить підвищити безпеку залізничного транспорту за умов зростаючих експлуатаційних навантажень.

Технологія наплавлення вже регламентована галузевими нормативними документами та застосовується для ремонту коліс вантажних вагонів, транспорту гірничо-збагачувальних і металургійних підприємств, а також кранових і трамвайних коліс.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Останнім часом питання відновлення залізничних колісних пар привертало значну увагу як українських, так і закордонних науковців і фахівців виробничої галузі. Зокрема, метод наплавлення для відновлення колісних пар був детально розглянутий у роботах [10, 11], механічна обробка досліджувалася в працях [5, 6–20], а методи поверхневого зміцнення – у дослідженнях [23].

Однак проблема визначення оптимального технологічного процесу відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, а також вибору найефективнішого обладнання та інструменту для реалізації цього процесу залишається актуальною й наразі остаточно не вирішена.

Метою статті є проведення комплексного дослідження та аналізу переваг і недоліків існуючих технологій, обладнання й інструментів, що застосовуються для відновлення залізничних колісних пар методом дугового наплавлення. Також ставиться завдання формулювання цілей та визначення основних напрямів подальших досліджень, спрямованих на підвищення ефективності та вдосконалення технологічних процесів і методів відновлення поверхні кочення коліс із використанням наплавлення. Особливу увагу приділено проблемам екологічності, енергоефективності та автоматизації виробничих процесів.

Викладення основного матеріалу. Для розуміння та подальшого аналізу можливих методів відновлення залізничних колісних пар є вкрай важливим моделювання технологічного зносу поверхні кочення під час експлуатації.

Питання, пов'язане з пошкодженням поверхні кочення модельних зразків залізничних коліс, розглянуто у [24] авторів І.Андрейка, В.Кулика та В.Прокопця. У роботі представлено результати дослідження відповідно до класифікатора дефектів, що застосовується в системі Укрзалізниці. Подібні класифікатори дефектів розробляються та впроваджуються також на залізничних мережах країн Європейського Союзу.

Для розробки моделі оцінювання періодичності виконання ремонтно-відновлювальних робіт на початковому етапі припускається, що профіль бандажа може бути описаний кривою виду $y = f(x)$, форма якої наведена на рисунку 1.

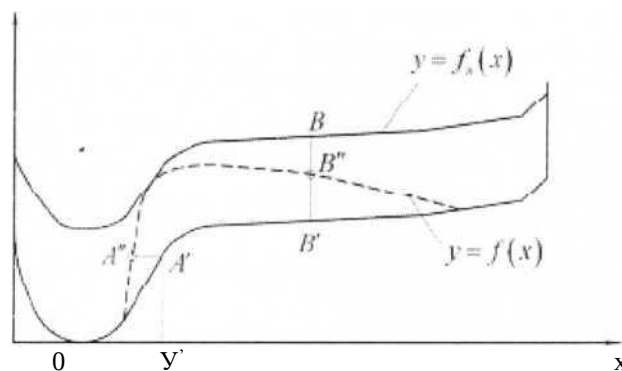


Рис. 1. Видяк кривої, що описує профіль бандажа

Після експлуатаційного пробігу локомотива відбувається зношування бандажа, профіль якого зображено пунктирною лінією на рисунку 1. Відновлення бандажа полягає у його обточуванні до розрахункового профілю, який у загальному вигляді описується функціональною залежністю:

$$y = f_H(x). \quad (1)$$

У [25] автор М.А. Грищенко запропонував математичну модель процесу відновлення, що базується на паралельному перенесенні вихідної кривої $y = f(x)$ вздовж вісі oy на величину BB' (рис. 1).

Відповідно до прийнятої методики контролю, зношування бандажа характеризується двома показниками:

$$l_1 = A'A'' \text{ і } l_2 = B'B'', \quad (2)$$

де l_1 і l_2 – зношення гребеня та прокат відповідно (рис. 1).

Технологічний знос визначається величиною $z = B'B''$.

Наведена характеристика відображає необхідне зменшення товщини бандажа для відновлення його до розрахункового профілю. Позначивши через t пробіг локомотива від моменту останнього обточування або виготовлення бандажа, залежності для величин зношення можна подати у такому вигляді:

$$l_1 = \varphi_1(t); \quad l_2 = \varphi_2(t). \quad (3)$$

Припускається, що величини l_1 та l_2 відповідають максимально допустимим значенням зношення гребеня та прокатної поверхні відповідно. Порушення хоча б однієї з наведених умов:

$$\varphi_1(t) \leq \bar{l}_1; \quad \varphi_2(t) \leq \bar{l}_2, \quad (4)$$

відповідає моменту настання відмови виробу. Величина технологічного зношення z може бути визначена за таким співвідношенням:

$$Z(t) = f(x') - f(x' - \varphi_1(t)) - \varphi_2(t), \quad (5)$$

де x' – значення аргументу, в межах якого функція $y = f(x)$ наближається лінійною залежністю. У цьому контексті виникає задача визначення такого значення пробігу t_0 , за якого технологічний знос $z(t_0)$ є мінімальним і задовольняє умови (5). Одним із можливих підходів до розв'язання цієї задачі є такий: обирається масштаб зношення гребеня, відповідно до якого величина a повинна перевищувати зношення прокатної поверхні у 2,75 раза [26]. Після цього будуються залежності $\varphi_1(t)$ і $\varphi_2(t)$, і визначається напрацювання t_0 . Значення t_0 встановлюється на основі перетину побудованих кривих (рис. 2) та виконання відповідних умов згідно з (5).

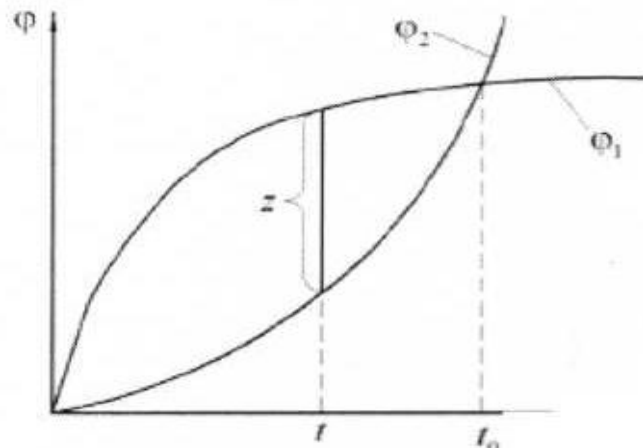


Рис. 2. Визначення напрацювання

Величина z оцінюється відповідно до співвідношення (5) у межах точки x' за формулою:

$$z(t) = a \varphi_{1(t)} - \varphi_{2(t)}, \quad (6)$$

де $a = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_1} = \operatorname{tg} 70^\circ = 2,75$.

На основі розв'язання відповідного співвідношення встановлено, що зношення гребеня на 1 мм супроводжується паралельним зміщенням профілю на 2,75 мм, що наочно ілюструється на рисунку 1. Запропонований підхід дозволяє ефективно розв'язати задачу мінімізації технологічного зношення за умови забезпечення безперервного або майже безперервного моніторингу стану гребеня та прокатної поверхні колеса.

У дослідженні [26] П.О. Харламов та О.С. Люлін на основі статистичної інформації щодо процесів зношування бандажів колісних пар, обґрунтували можливість визначення ймовірності їх безвідмовної роботи за припущенням нормального розподілу випадкової величини. Формула для цього випадку має такий вигляд:

$$P(L) = \frac{1}{\sigma_x(L) \cdot \sqrt{2\pi}} \int_{x_{\text{доп}}}^{M_x(L) + 3\sigma_x(L)} e^{-\frac{[x - M_x(L)]^2}{2\sigma_x^2(L)}} dx, \quad (7)$$

де σ_x – середньоквадратичне відхилення контрольованого параметра; M_x – математичне очікування контрольованого параметра; $X_{\text{доп}}$ – значення контрольованого параметра, що допускається; L – пробіг, що відповідає моменту виміру; P – імовірність безвідмовної роботи.

Середнє значення довговічності бандажа за умов застосування запропонованих методик у деповських умовах становить:

$$L_{\text{ср}} = k_{\text{еф}} \left(\sum_{i=1}^n \frac{L_{\text{вих}}(t)}{n} + \sum_{i=1}^n \left[\frac{L(t) - L_{\text{вих}}(t)}{n} \right] \right), \quad (8)$$

де $L_{\text{вих}}(t)$ – значення ресурсу бандажа до впровадження i -го способу; $L(t)$ – значення ресурсу при застосуванні i -го способу; $k_{\text{еф}}$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність ефективності способів, спрямованих на підвищення довговічності бандажів колісних пар, $k_{\text{еф}} = 0,9$.

Відповідно до виразу (8), середній ресурс бандажа під час експлуатації в деповських умовах становить 597,3 тис. км [26].

Застосування технології наплавлення для відновлення залізничних колісних пар є економічно обґрунтованим рішенням, що дозволяє мінімізувати втрати металу та підвищити зносостійкість відновлених елементів. Однак наявні технології наплавлення не завжди враховують усі чинники, що впливають на надійність відновлених виробів, що може стати причиною утворення тріщин і виникнення подальших експлуатаційних проблем.

Дослідження зварюваності високоміцних вуглецевих сталей, зокрема тих, що використовуються для виготовлення коліс, досі практично не проводилися. Це підкреслює необхідність подальших наукових досліджень у цій галузі. Розроблення науково обґрунтованих технологій наплавлення, заснованих на глибоких дослідженнях структурних змін і властивостей металу в зоні термічного впливу, дозволить суттєво підвищити безпеку руху на залізничному транспорті та забезпечити його ефективну експлуатацію.

На сьогодні відновлення коліс методом наплавлення регламентоване галузевими нормативними документами й застосовується для ремонту залізничних коліс вантажних вагонів магістрального транспорту, коліс і бандажів транспорту гірничо-збагачувальних і металургійних підприємств, кранових коліс, а також бандажів трамвайних коліс міського транспорту.

Одну з технологій відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, а також відповідне обладнання розглянуто в роботах О.А. Гайворонського, співробітника Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України [10, 11]. Результати проведених досліджень демонструють зазначене далі.

Зони максимальних деформацій і мікротріщин. Метал колеса в зоні переходу від поверхні кочення до гребеня зазнає найбільших деформацій та зміцнення. У приповерхневому шарі утворюються мікротріщини довжиною до 350 мкм [10, 11]. У зв'язку з цим перед виконанням наплавлення необхідно механічно видаляти шар металу на глибину не менше 1,0 мм. Особливо важливо забезпечити підвищену опірність наплавленого шару крихкому руйнуванню в цій зоні.

Структурні зміни в зоні термічного впливу (ЗТВ). При напавленні в металі ЗТВ формуються бейнітно-мартенситні гартівні структури. Швидкість охолодження, за якої починається формування мартенситу, залежить від вмісту вуглецю: 8 °C/с для сталей із 0,58 % вуглецю та 2 °C/с для сталей із 0,65 % вуглецю. Для підвищення опірності утворенню тріщин швидкість охолодження необхідно обмежувати: до 16 °C/с для вмісту вуглецю менше 0,60 % та до 8 °C/с для вмісту вуглецю 0,60–0,65 % [10, 11]. За таких умов метал набуває достатньої здатності до мікропластичної деформації без утворення тріщин.

Умови зменшення крихкості металу ЗТВ. Для уникнення крихкого руйнування металу ЗТВ необхідно формувати структуру, яка не містить верхнього бейніту, має співвідношення мартенситу до нижнього бейніту менше ніж 1 (М/Бн < 1). Уповільнене охолодження колеса після наплавлення значно підвищує опірність крихкому руйнуванню. Оптимальним є витримка колеса при температурі 250–100 °C протягом 3–5 годин зі швидкістю охолодження не більше ніж 35–40 °C за годину [10, 11]. Такі умови забезпечуються за допомогою спеціальних термокамер із теплоізолюючими матеріалами.

Призначення технології та обладнання. Технологія дугового наплавлення призначена для: відновлення товщини гребеня після зносу, ремонту вищербин на поверхні кочення суцільнокатаних коліс вантажних вагонів і бандажних коліс локомотивів магістрального транспорту, коліс залізничного транспорту промислових підприємств, трамвайних коліс міського транспорту, ходових коліс баштових кранів. Технологія застосовується для колісних сталей із вмістом вуглецю до 0,70 %. Впровадження таких умов і методів дозволяє зменшити ризик тріщиноутворення, підвищити зносостійкість та забезпечити безпеку експлуатації відновлених колісних пар.

Характеристики:

- механічні властивості наплавленого металу: $HV = 2800\text{--}3200$ МПа, $\delta B \geq 730$ МПа, $\delta 5 \geq 16$ %, $\psi \geq 50$ %, $KCU + 20 \geq 80$ Дж/см², $KCU - 40 \geq 40$ Дж/см²;

- механічні властивості металу залізничного колеса в зоні термічного впливу:

$HV \leq 3200$ МПа, $\delta B = 940\text{--}1100$ МПа, $\delta 5 \geq 8$ %, $\psi \geq 25$ %, $KCU + 20 \geq 24$ Дж/см².

Опірність крихкому руйнуванню наплавленого металу та металу в зоні термічного впливу (ЗТВ) залізничного колеса характеризується значенням критичного коефіцієнта інтенсивності напружень $K1C \geq 40$ МПа√м. Основними перевагами використання цього методу є підвищення опору наплавленого

металу та металу ЗТВ до утворення тріщин під час дії циклічних і ударних навантажень у 2,5 раза; забезпечення більшої довговічності та надійності відновлених деталей навіть за умов інтенсивної експлуатації. Ці характеристики роблять технологію наплавлення ефективним рішенням для відновлення залізничних колісних пар, підвищуючи їх стійкість до руйнування та зменшуючи ризики аварійних ситуацій. Зовнішній вигляд кстановки по наплавленню профілю кочення вагонного колеса наведено на рисунку 3.



Рис. 3. Установа по наплавленню профілю кочення вагонних цільнокатаних коліс

Макрошліфи наплавлених залізничних коліс наведено на рисунку 4.

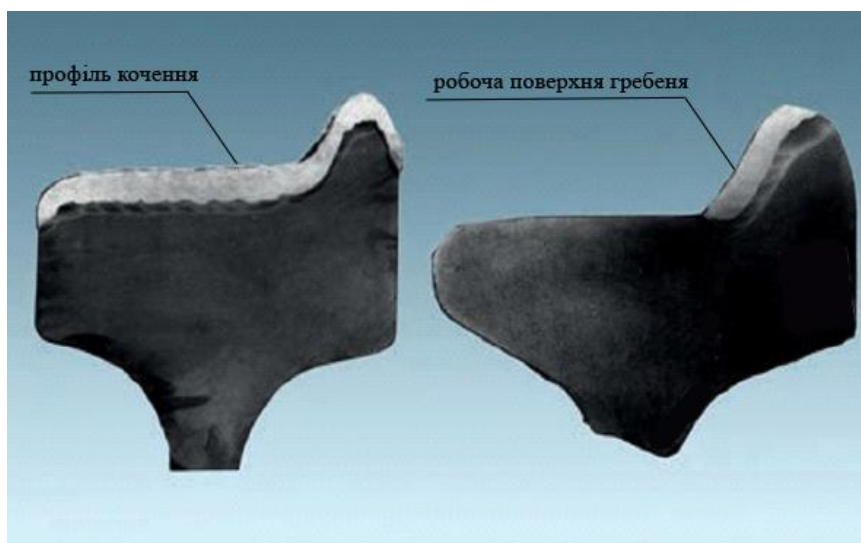


Рис. 4. Макрошліфи суцільнокатаних залізничних коліс (двохдугове наплавлення під шаром флюсу)

Основним питанням, що розглядається в статті є аспекти технології та організації технологічних процесів ремонту гребеня цільнокатаних залізничних коліс електродуговим наплавленням. Відновленню за допомогою наплавлення підлягають колісні пари, що відповідають вимогам СТП 04-001:2015 «Колісні пари вантажних вагонів. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування» за ремонтними параметрами, мають товщину гребеня менше 30 мм та дефекти на поверхні кочення (повзуни, навари, кільцеві виробки), а також прокат не більше ніж 2 мм і вищербини не більше 1 мм [27]. Якщо одна з колісних пар має товщину гребеня одного колеса 30 мм, а іншого – більше 30 мм, така колісна пара не підлягає наплавленню. Якщо товщина гребеня одного колеса становить 30 мм або менше, наплавленню підлягають обидва гребені [3].

Перед наплавленням гребені мають пройти візуальний огляд та обов'язковий вхідний ультразвуковий контроль відповідно до вимог «Технологічної інструкції по ультразвуковому контролю гребенів цільнокатаних коліс дефектоскопом УД2-70 з пристроєм УСКм» [28]. Після вхідного контролю проводиться обточування гребенів колісних пар на глибину 1–1,5 мм за відсутності дефектів або до повного усунення дефектів за їх наявності.

Дефектоскопія гребенів до і після наплавлення здійснюється дефектоскопістами, які пройшли навчання по експлуатації дефектоскопа та атестовані згідно з вимогами керівництва РД 07.09-97. Після наплавлення, при наступному обточуванні знімати шар обода колеса слід не більше ніж 4 мм з кожної сторони (8 мм по діаметру).

Для наплавлення гребенів суцільнокатаних коліс застосовують зварювальний дріт марки Св-08ХМ та Св-08ХМ-О діаметром 2 мм згідно з ГОСТ 2246. Для захисту зварювальної дуги від зовнішнього середовища використовують флюс марки АН-348А, АН-60 або АНЦ-1, згідно з ГОСТ 9087, з грануляцією 0,25–1,6 мм. Хімічний склад зварювального дроту та флюсів має відповідати вимогам таблиць 1 і 2 та підтверджуватися сертифікатами від підприємств-виробників [3].

Таблиця 1

Хімічний склад зварювального дроту

Хімічний склад зварювального дроту	Хімічний склад, %							
	C	Si	Mn	Co	Mo	Ni	S	P
	Не більше							
Св-08ХМ	0,06–0,10	0,12–0,30	0,35–0,60	0,9–1,2	0,50–0,70	0,30	0,025	0,030

Таблиця 2

Хімічний склад зварювального флюсу

Марка флюсу	Хімічний склад, %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaF ₂	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	S	P
	Не більше								
АН-348А	41,0–44,0	4,5	34,0–38,0	3,5–4,5	6,5	5,0–7,5	2,0	0,15	0,12
АНЦ-1	35,0–44,0	3,0–6,0	26,0–38,0	3,0–6,0	5,0–18,0	2,0–6,0	2,0	0,13	0,11

Зберігання зварювальних матеріалів

Кожну партію зварювального дроту, що надходить на підприємство, слід зберігати окремо. Дріт зберігають у мотках і бухтах, запакованих у папір, плівку або мішковину, з обов'язковими ярликами підприємств-виробників. Зварювальний дріт потрібно зберігати в приміщенні за температури не нижче +10 °С і відносній вологості не більше 60 %. Флюс зберігається в паперових мішках, укладених на піддони або в спеціальних ємностях, при аналогічних умовах температури та вологості [3].

Підготовка зварювальних матеріалів до роботи

Перед початком наплавлення зварювальний дріт необхідно очистити від іржі, бруду, мастила та продуктів корозії до металевого блиску на спеціальній установці. Обміднений дріт можна не очищати. Флюс перед використанням слід просіяти через сито з розмірами сітки 3х3 мм і просушити в електропечі або сушильній шафі відповідно до вимог згідно з таблицею 3 [3]. Використовувати вологий флюс забороняється. Для запобігання його зволоженню та забрудненню флюс має зберігатись у металевому ящику з герметичною кришкою в сухому опалюваному приміщенні.

Таблиця 3

Режими просушування флюсу

Марка флюсу	Режим просушення		
	Температура, °С	Час, год.	Охолодження
АН-348А	350-400	2,0	Разом з піччю до температури від 200 до 250 °С з подальшим охолодженням на повітрі в приміщенні

Флюс, що залишився після наплавлення, має збиратися у спеціальну тару та очищуватися від шлаку та забруднень шляхом просіювання його крізь сито з коміркою 3х3 мм. Перед наступним використанням флюс підлягає повторному прогріванню відповідно до вимог таблиці 3 [3].

Підготовка обладнання перед виконанням робіт з наплавлення гребеня

Зовнішній огляд обладнання: перевірити стан та комплектність таких установок: кантувача, установки для електронагрівання, установи для наплавлення гребеня.

Передзміне обслуговування: перевірити наявність мастила. Перевірити стан заземлення, переконатися у затягуванні різьбових та інших з'єднань.

Підключення та перевірка установок: підключити до установки стиснуте повітря з тиском не менше ніж 0,6 МПа. Перевірити роботу флюсоапарата.

Перевірка механізмів подачі зварювального дроту: переконатися у наявності достатньої кількості зварювального дроту в касетах. Звільнити притискні ролики та переконатися, що дріт вільно виходить із сопла. Затиснути ролики та по чергово увімкнути механізм подачі дроту, перевіривши його нормальну роботу.

Перевірка електричних підключень та мундштуків: перевірити надійність підключення дротів, оглянути стан мундштуків. При зносі сопел (збільшення їх діаметра на 1,5–2 рази) – виконати їх заміну.

Технічний огляд системи зварювання: перевірити відносно розташування першого та другого електродів, оглянути та перевірити механізм підйому зварювальної головки. Переконатися у наявності флюсу в бункері та перевірити надійність огороження робочої площадки.

Перевірка механізмів обертання колеса: запустити механізм обертання колеса на холостому ході та переконатися у його працездатності.

Огляд зварювальних випрямлячів: перевірити, чи встановлені перемикачі вихідної напруги у потрібне положення.

Упевнитися, що мундштуки та дріт не торкаються заземлених частин установки. На кожному випрямлячі встановити перемикач режиму в положення «Ручне». Переконатися у нормальній роботі повітряного реле.

Тестування в автоматичному режимі: перевести перемикач режиму роботи у положення «Автоматичне». Натиснути кнопку «Подача дроту ручна» та переконатися у подачі дроту в зону наплавлення. Натиснути кнопку «Стоп зварювання» та визначити напругу холостого ходу джерел.

Перевірка правильності обертання колеса: натиснути кнопку «Робочий хід» обертання колісної пари та переконатися у правильному обертанні (за годинниковою стрілкою).

Фінальні перевірки механізмів:

Звільнити притискач роликів подачі дроту. Натиснути кнопки «Пуск-1» та «Пуск-2» для перевірки наявності напруги холостого ходу та правильності роботи механізмів подачі дроту. Перевірити механізм нахилу зварювальної головки.

Підготовка колісної пари до ремонту гребеня

Колісна пара, що потребує наплавлення гребеня, проходить підготовчі етапи відповідно до вимог документа «Комплект документів на технологічний процес ремонту – Колісна пара РУ-1, РУ-1Ш, РВ-2Ш. Вагонна букса» (01076057.01.0.00.00004Р) [29]. Цей процес враховує такі основні етапи:

- обмивання та очищення: колісна пара проходить обмивання в мийній машині для усунення бруду, мастила та продуктів корозії. Поверхня гребеня очищується до металевого блиску механічною щіткою. Час між очищенням поверхні і початком наплавлення не повинен перевищувати 48 годин в умовах дільниці;

- вхідний контроль: після обмивання та охолодження колісної пари майстер виконує вхідний контроль, обмірюючи елементи колісної пари. Результати фіксуються у натурному колісному листі форми ВУ-51. На внутрішній поверхні обода колеса зі зношеним гребенем крейдою наноситься умовна розмітка «НГ» (наплавлення гребеня);

- обточування: виконується обточування колісної пари на колісно-токальному верстаті для забезпечення правильності геометричних параметрів;

- неруйнівний контроль: здійснюється для перевірки відсутності прихованих дефектів, що можуть вплинути на якість ремонту.

Ця послідовність підготовки забезпечує якісне виконання наплавлення гребеня та підвищує надійність відновлених колісних пар під час їх експлуатації.

Колісна пара перед виконанням ремонту гребеня наплавленням має бути подана на накопичувальну позицію виробничої дільниці і перед транспортуванням її на установку для нагрівання гребеня мати температуру не нижче ніж +10 °С. Колісна пара з нагрітим гребенем транспортується на установку для наплавлення, при цьому час між закінченням нагрівання та подачею пари на установку для наплавлення не має перевищувати 5 хвилин. При цьому обов'язково повинна бути проконтрольована температура гребеня перед наплавленням (табл. 4, п. 17).

Процес підготовки колісної пари до наплавлення гребеня

Накопичувальна позиція: колісна пара перед ремонтом гребеня наплавленням подається на накопичувальну позицію виробничої дільниці. Температура колісної пари перед транспортуванням на установку для нагрівання має бути не нижче за +10 °С. Транспортування до установки для нагрівання:

колісна пара транспортується на установку для нагрівання гребеня, де виконується її попередній нагрів. Транспортування на установку для наплавлення: після нагрівання гребеня колісна пара переміщується на установку для наплавлення. Час між закінченням нагрівання та подачею пари на установку для наплавлення не має перевищувати 5 хвилин. Контроль температури гребеня перед наплавленням: перед початком наплавлення обов'язково перевіряється температура гребеня. Вимірювання здійснюється відповідно до таблиці 4 пункту 17 технологічної документації [3].

Цей порядок забезпечує правильну підготовку та контроль колісної пари перед наплавленням, запобігаючи появі дефектів у наплавленому шарі.

Вимоги до наплавлення гребеня суцільнокатаного колеса

Наплавлення гребеня здійснюється з припуском на механічну обробку та проводиться у 1–2 проходи (шари), залежно від ступеня зносу гребеня. Використовуються дві дуги, що працюють одночасно: перша дуга формує валик шириною до 8 мм, висотою 3–4 мм, глибиною пропалвлення 0,5–1 мм. Друга дуга переплавляє валик, створений першою дугою, без контакту з основним металом. Хімічний склад наплавленого металу: частка основного металу в наплавленому валику не має перевищувати 12–15 %. Конструкція наплавленого шару: перший шар складається з трьох концентричних валиків та одного «відпалюючого» валика. Відстань від відпалюючого валика до поверхні кола кочення окрайки останнього валика становить 1–2 мм. Відпалюючий валик не має мати контакту з основним металом. Товщина одного шару при напавленні дротом діаметром 2 мм становить 7–8 мм [3]. У разі необхідності наплавлення другого гребеня перший наплавлений гребінь має повільно охолоджуватись у спеціальній камері перед повторним нагріванням та наплавленням. Вимоги до наплавленої поверхні: не допускаються подрізи, гарячі та холодні тріщини. Товщина наплавленого гребеня до обточування має забезпечувати можливість формування профілю колеса.

Послідовність наплавлення гребеня та наплавлення при усуненні дефектів наведено відповідно на рисунках 5–6.

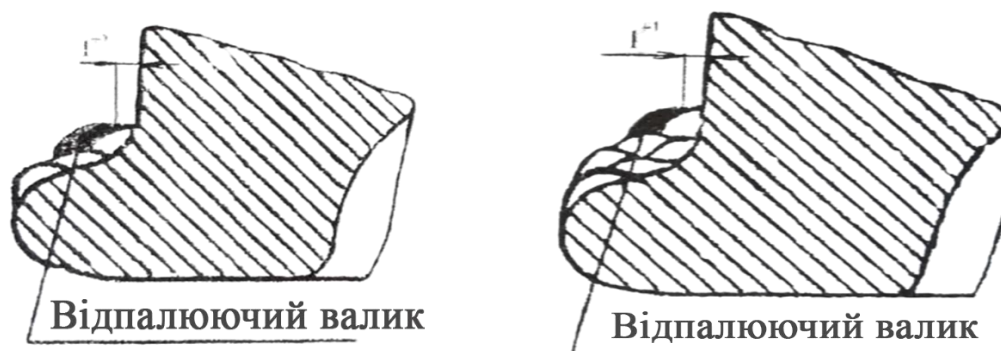


Рис. 5. Послідовність наплавлення гребеня колісної пари

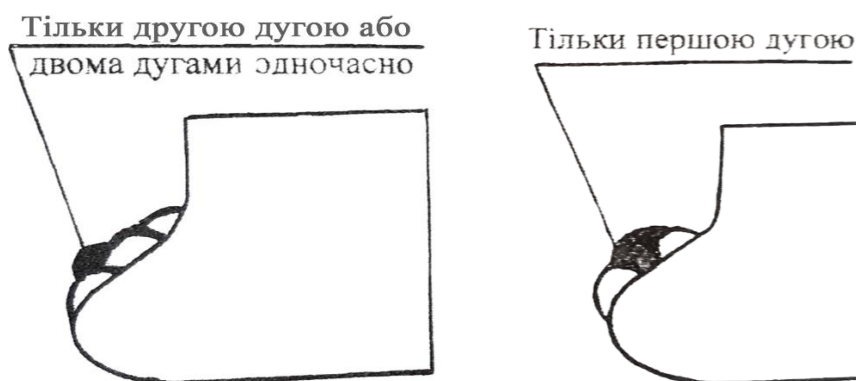


Рис. 6. Послідовність наплавлення при усуненні дефектів

Після остигання колісна пара подається на дільницю для ремонту колісних пар для обточування наплавленого гребеня. Якщо під час обточування виявляться дефекти, зокрема місця («вовчки») по межі наплавлення, що ускладнюють обробку, ці ділянки потрібно підігріти газовою горілкою або форсункою до температури 200–250 °С. Після завершення обточування гребеня колісну пару потрібно піддати

неруйнівному контролю не раніше ніж через 7 годин після наплавлення, щоб упевнитися в якості виконаної роботи та відсутності дефектів у наплавленій поверхні [3].

Контроль якості відновлення гребенів коліс наплавленням здійснюється протягом всього технологічного процесу, враховуючи три етапи: попередній, поточний і заключний контроль.

Попередній контроль: вхідний контроль колісної пари на придатність до відновлення відповідно до вимог стандарту «Колісні пари вантажних вагонів. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування», перевірка якості підготовчих робіт, контроль відповідності та якості зварювальних матеріалів.

Поточний контроль: контроль режимів попереднього нагріву та наплавлення, контроль послідовності розташування валиків, візуальний контроль якості наплавлених валиків, контроль якості виконаного ремонту.

Заключний контроль: зовнішній огляд, контроль розмірів гребеня після токарної обробки за допомогою абсолютного шаблону, неруйнівний контроль (ультразвуковий контроль) наплавленого гребеня.

Усунення дефектів

Дефекти, виявлені після наплавлення (глибокі провали між валиками, підрізи, пори тощо), усуваються підварюванням на установці для наплавлення. У разі, якщо дефект не досягає основного металу, він виправляється підварюванням тільки другою дугою або двома дугами одночасно. Якщо дефект досягає основного металу, виправлення виконується першою дугою. Підварювання дефектів проводиться на гарячому колесі, не пізніше ніж через 20 хвилин після завершення наплавлення. Колісні пари з раніше наплавленими гребенями можуть бути відремонтовані з повторним наплавленням за цим технологічним процесом. Обов'язковими є вхідний та вихідний контроль за допомогою ультразвукової дефектоскопії, з обов'язковим записом у журнал і нанесенням нового клейма після виконання наплавлення. Виявлені дефекти при дефектоскопії можуть бути усунуті обточуванням з подальшим повторним наплавленням та контролем. Проте наплавлення більше двох разів забороняється. Гарячі та холодні тріщини на гребені і ободі колеса будь-яких розмірів не допускаються. Якщо тріщини виявлено, колісну пару обточують до повного їх усунення або бракують. Виправлення дефектів електродуговим чи газовим зварюванням забороняється.

Маркування та порядок реєстрації наплавлених гребенів

Під час виконання робіт по відновленню гребенів колісних пар на ободі колеса після клейма заводу-виробника наносяться додаткові клейма, що складаються з:

- букв «НГ» (наплавлення гребеня);
- клейма ремонтного підприємства;
- двох останніх цифр року виконання наплавлення.

Після виконання наплавлення гребенів колісних пар оглядові кришки букс фарбують червоною фарбою з обох сторін колісної пари. При надходженні таких колісних пар у подальший ремонт виконується повторне фарбування кришок.

Наплавлений гребінь реєструється в журналі встановленої форми. Журнал має бути прошнурований, пронумерований і скріплений печаткою. Про виконане наплавлення гребеня робиться запис (відмітка) в графі 30 журналу форми ВУ-53, де вказується маркування «НГ».

Організація технологічного процесу ремонту гребеня

Призначення та характеристика виробничої дільниці. Виробнича дільниця, призначена для ремонту гребеня колісної пари, виконує відновлення зношених поверхонь гребеня суцільнокатаного колеса колісної пари вантажного вагона. Для цього використовується спеціалізована установка моделі КТ 003.00.00.000, що забезпечує проведення технологічних операцій із колісною парою у вертикальному положенні. Технологічний процес на дільниці враховує кілька ключових етапів, які передбачають відновлення експлуатаційних характеристик деталі, а саме:

- кантування колісної пари у вертикальне положення із застосуванням спеціального кантувача;
- електричний нагрів гребеня, що підлягає ремонту, що здійснюється на спеціалізованій установці;
- наплавлення нагрітої поверхні гребеня.

Дільниця оснащена всім необхідним обладнанням для забезпечення технологічного процесу, враховуючи вантажопідіймальні механізми, зварювальне устаткування, нестандартні пристрої, а також інструменти для вимірювання та слюсарної обробки.

Організація роботи виробничої дільниці

Виконання робіт на дільниці ремонту гребеня здійснюється кваліфікованим персоналом, до складу якого входять електрозварники не нижче 4-го розряду. Вони працюють під керівництвом змінного майстра або бригадира. Організація процесу містить такі основні етапи:

- транспортування колісної пари, гребінь якої потребує наплавлення, на дільницю за допомогою кран-балки та траверси;

- підготовка до транспортування у вертикальному положенні шляхом встановлення на вісь колісної пари спеціальної скоби;
- установка колісної пари в кантувач: фіксація накидним хомутом у горизонтальному положенні, виконання кантування у вертикальне положення після зняття траверси;
- підготовка до подальшого переміщення: закріплення крюка кран-балки за петлю скоби, розкріплення хомута, зняття колісної пари у вертикальному положенні з кантувача та її встановлення на підставку для електронагрівання;
- виконання електронагрівання гребеня згідно з вимогами технологічного регламенту («Комплект технологічної документації. Електронагрівання», 01076057.01.0.00.00008Р) [30];
- переміщення колісної пари після нагрівання та її установка на обладнання для наплавлення;
- наплавлення гребеня: безпосереднє виконання процесу наплавлення;
- зняття колісної пари з установки після наплавлення та її транспортування до кантувача;
- кантування колісної пари у горизонтальне положення: фіксація на кантувачі, виконання кантування, зняття колісної пари;
- остаточне транспортування: переміщення колісної пари за допомогою кран-балки та траверси до спеціальної камери для охолодження наплавленої поверхні.

Організація роботи ділянки забезпечує чітку послідовність виконання операцій, що гарантує якість ремонту гребеня відповідно до технологічних вимог та стандартів. Креслення вертикальної установки по наплавленню гребенів залізничних колісних пар наведено на рисунку 7, де : 1 – рама; 2 – привід обертання; 3 – уловлювач; 4 – флюсовід; 5 – механізм наплавки; 6 – центруючий прилад; 7 – флюсозбірник; 8 – флюсовід; 9 – майданчик для обслуговування установки; 10 – флюсоутримуючий прилад; 11 – пульт керування.

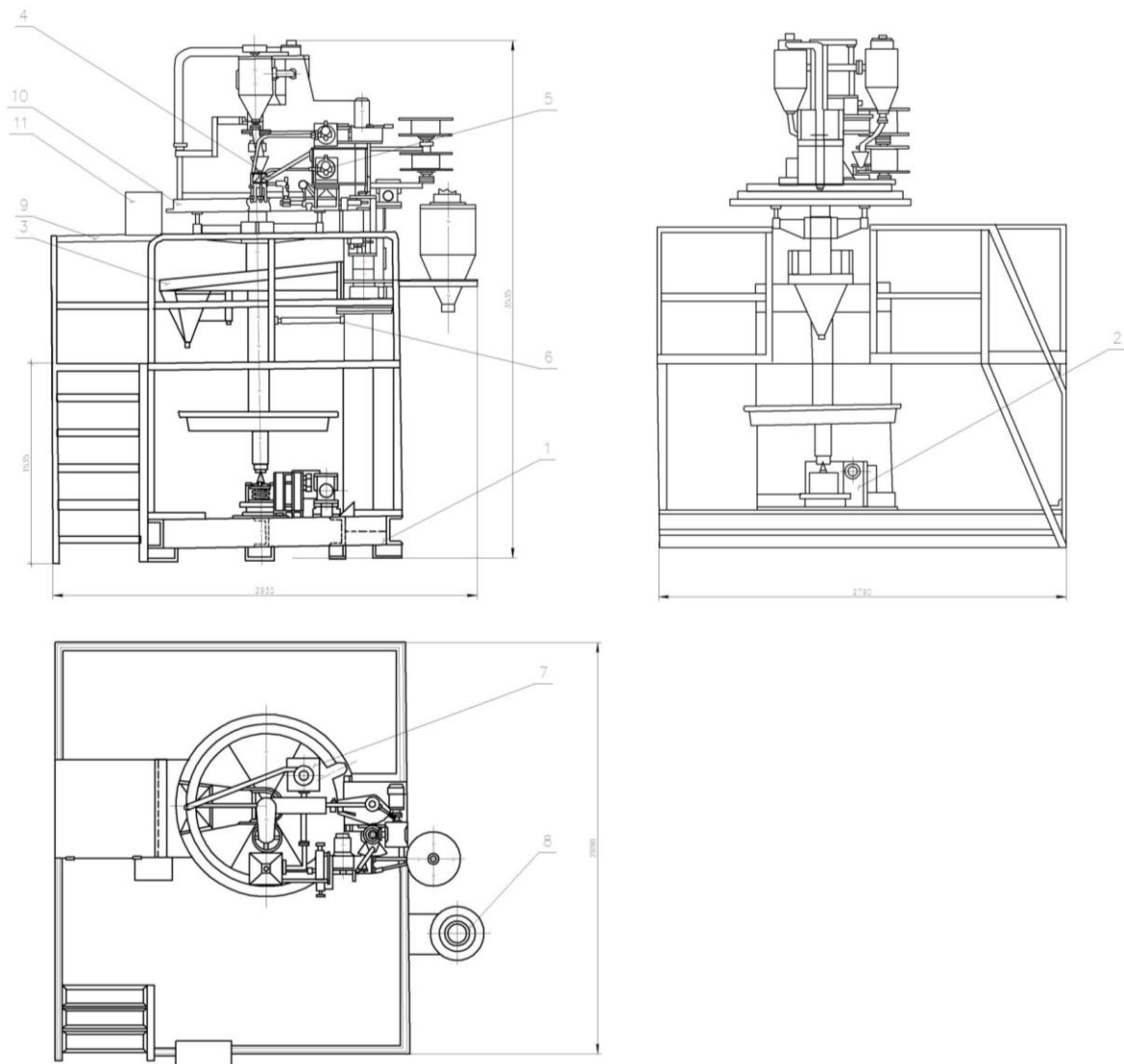


Рис. 7. Установка для наплавки гребенів колісної пари

Таблиця 4

Параметри наплавлення

№ з/п	Найменування параметра	Од. виміру	Значення
1	Спосіб наплавлення	-	Електродугова під шаром флюсу
2	Кількість одночасно працюючих дуг	шт.	2
3	Рід зварювального струму	-	Постійний
4	Полярність	-	Пряма та зворотна
5	Діаметр електродного дроту	мм	2.0
6	Напруга на дузі	В	30–34
7	Виліт 1-го електрода	мм	22
8	Виліт 2-го електрода	мм	24
9	Величина струму на 1-й дузі	А	190–250
10	Величина струму на 2-й дузі	А	290–330
11	Швидкість подачі 1-го електрода	м/год	118
12	Швидкість подачі 2-го електрода	м/год	217
13	Частота обертання колеса	об/хв	0,14
14	Швидкість наплавлення	м/год	24–25
15	Гранична відстань між осями електродів	мм	55±1
16	Поперечне зміщення між осями електродів	мм	3±0,5
17	Температура гребеня колісної пари перед наплавленням, не менше	°C	200

Вимоги безпеки під час виконання робіт

Під час проведення ремонтних робіт гребеня колісної пари із застосуванням електродугового наплавлення необхідно суворо дотримуватися положень стандарту СТД 15-008:2023 «Система стандартів безпеки праці. Вимоги безпеки під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу», а також чинних інструкцій з охорони праці [31]. До виконання робіт допускаються лише працівники, які:

- пройшли навчання з безпечних методів роботи на обладнанні, що використовується на дільниці, успішно склали відповідні іспити та отримали офіційні посвідчення, що підтверджують їх кваліфікацію;
- не мають медичних протипоказань для виконання робіт, пов'язаних із технічним обслуговуванням і ремонтом.

Крім того, під час роботи необхідно забезпечити використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) та дотримуватися встановлених правил щодо організації безпечного робочого місця.

Висновки та перспективи подальших досліджень. З метою підвищення ефективності технологій відновлення залізничних колісних пар важливим і перспективним напрямом є поглиблене вивчення та вдосконалення процесів відновлення профілів кочення із застосуванням електродугового наплавлення. Це питання набуває особливої актуальності для України в контексті економіки сталого розвитку та впровадження концепцій INDUSTRY 4.0 і 5.0, що є критично важливими в умовах воєнного стану.

Серед перспективних напрямів досліджень можна виокремити розробку інноваційних підходів до наплавлення колісних пар, вдосконалення конструкції та характеристик різального інструменту для механічної обробки, а також оптимізацію використання верстатного парку з метою підвищення його ефективності.

Додаткову увагу варто приділити застосуванню сучасних методів і засобів неруйнівного контролю, таких як ультразвукова та вихорострумова дефектоскопія, які сприятимуть більш якісному дослідженню процесів електродугового наплавлення та підвищенню надійності відновлених колісних пар. Це дозволить не лише забезпечити високий рівень точності та безпеки відновлювальних робіт, але й сприятиме інтеграції новітніх технологій у залізничну галузь України.

Список використаної літератури:

1. Бахман С.О. Щодо дослідження ефективності процесів відновлення залізничних колісних пар / С.О. Бахман, П.П. Мельничук // Збірник наукових праць 12 Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – 2023. – С. 66–68.

2. Бахман С.О. Щодо пошуку новітніх технологічних процесів відновлення залізничних колісних пар / С.О. Бахман, П.П. Мельничук // Матеріали 24-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – 2024. – С. 6–9.
3. Комплект документів на технологічний процес ремонту гребеня колісної пари електродуговим наплавленням на установці КТ-003.00.00.000 / АО «Укрзалізниця». – 2023. – 46 с.
4. Бахман С.О. Технології та технологічні процеси відновлення профілю кочення залізничних колісних пар, шляхи підвищення ефективності / С.О. Бахман, П.П. Мельничук // Технічна інженерія. – 2024. – № 1 (93). – С. 10–23.
5. Полупан І.І. Підвищення ефективності процесу відновлення профілю колісних пар збірними різцями : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / І.І. Полупан. – 2016. – 213 с.
6. Рубан В.М. Підвищення ефективності відновлення колісних пар фрезеруванням робочих поверхонь на верстатах КЖ 20 : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / В.М. Рубан. – Дніпро, 2021. – 196 с.
7. Тихенко В.М. Підвищення ефективності обробки на колесо-токарних верстатах / В.М. Тихенко, С.В. Пчелінський // Праці Одеського політехнічного університету. Серія : Машинобудування. Технологія металів. Матеріалознавств. – 2012. – Вип. 1 (38). – С. 84–87.
8. Андрійко І. Дослідження пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс / І.Андрійко, В.Кулик, В.Прокопець // Машинознавство. – 2011. – № 1–2. – С. 32–36.
9. Дослідження динамічної стійкості процесу механообробки колісних пар / В.С. Гузенко, С.Л. Миранцов, І.І. Полупан, О.О. Шульга // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 25. – С. 22–27.
10. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.dormerpramet.com/uk-ie/en/railway>.
11. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.iscar.com.ua/index.aspx/countryid/46/lang/ua>.
12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ceratizit-ukraine.com.ua/ua/>.
13. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://zccct.com.ua/new_product_zcc-ct/.
14. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://coromantstrgprod.blob.core.windows.net/files/sitecollectiondocuments%2Fdownloads%2Fglobal%2Ftechnical%20guides%2Fru-ru%2Fc-1020-019.pdf>.
15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb>.
16. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://cdn.sandvik.coromant.com/files/sitecollectiondocuments/downloads/ru/catalogues/sandvik_katalog.pdf.
17. New turning tools : Каталог Sandvik Coromant / Sandvik Coromant. – Швеція, 1996. – 35 с.
18. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.arno.de/>.
19. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.walter-tools.com/ru-ru/industry-solutions/special-solutions/rail-industry/wheel-set>.
20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.rafamet.com/en/products/machines-for-railways/underfloor-wheel-lathes/uge-300-400-n-axle-load-up-to-30-40-ton>.
21. Гайворонський О.А. Умови забезпечення якості відновлених наплавленням залізничних коліс / О.А. Гайворонський // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2016. – № 5 (65). – С. 136–151.
22. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>.
23. Демченко В. Аналіз досліджень впливу параметрів поверхні колеса та значення твердості на взаємодію з колією / В.Демченко, О.Демченко // Збірник наукових праць ДУІТ. Серія : Транспортні системи і технології. – 2022. – Вип. 40. – С. 121–130.
24. Андрейко І. Дослідження пошкоджуваності поверхні кочення залізничних коліс / І.Андрейко, В.Кулик, В.Прокопець // Машинознавство. – 2011. – № 1–2. – С. 32–36.
25. Грищенко М.А. Підвищення експлуатаційної безпеки елементів колісних пар на основі визначення механізмів формування дефектів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / М.А. Грищенко. – Дніпропетровськ : Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, 2015. – 173 с.
26. Харламов П.О. Підвищення ресурсу колісних пар локомотивів в умовах депо / П.О. Харламов, О.С. Люлін // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 147. – С. 61–68.
27. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування колісних пар вантажних вагонів СТП 04-001:2015, затверджених наказом Державної адміністрації залізничного транспорту України від 11.11.2015 № 483-Ц. – К. : Державна адміністрація залізничного транспорту України, 2015.
28. Технологічна інструкція по ультразвуковому контролю гребенів цільнокатаних коліс дефектоскопом УД2-70 з пристроєм УСКм.
29. Комплект документів на технологічний процес ремонту. Колісна пара РУ-1, РУ-1Ш, РВ-2Ш. Вагонна букса, 01076057.01.0.00.00004Р.
30. Комплект технологічної документації. Електронагрівання, 01076057.01.0.00.00008Р.
31. Система стандартів безпеки праці. Вимоги безпеки під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу : СТП 15-008:2023.

References:

1. Bakhman, S.O. and Melnychuk, P.P. (2023), «Shchodo doslidzhennia efektyvnosti protsesiv vidnovlennia zaliznychnykh kolisnykh par», *Zbirnyk naukovykh prats 12 Vseukrainskoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu*, pp. 66–68.
2. Bakhman, S.O. and Melnychuk, P.P. (2024), «Shchodo poshuku novitnikh tekhnolohichnykh protsesiv vidnovlennia zaliznychnykh kolichsnykh par», *Materialy 24-yi Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii*, pp. 6–9.

3. AO «Ukrzaliznytsia» (2023), *Komplekt dokumentiv na tekhnolohichni protses remontu hrebenia kolisnoi pary elektroduhovym naplavlenniam na ustanovtsi KT-003.00.00.000*, 46 p.
4. Bakhman, S.O. and Melnychuk, P.P. (2024), «Tekhnolohii ta tekhnolohichni protsesy vidnovlennia profilu kochennia zaliznychnykh kolisnykh par, shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti», *Tekhnichna inzheneriia*, No. 1 (93), pp. 10–23.
5. Polupan, I.I. (2016), «Pidvyshchennia efektyvnosti protsesu vidnovlennia profilu kolisnykh par zbirnymy riztsiamy», Ph.D. Thesis of dissertation, 213 p.
6. Ruban, V.M. (2021), «Pidvyshchennia efektyvnosti vidnovlennia kolisnykh par frezeruvanniam robochykh poverkhon na verstakh KZh 20», Ph.D. Thesis of dissertation, Dnipro, 196 p.
7. Tykhenko, V.M. and Pchelinskyi, S.V. (2012), «Pidvyshchennia efektyvnosti obrobky na koleso-tokarnykh verstakh», *Pratsi Odeskoho politekhnichnogo universytetu. Serii. Mashynobuduvannia. Tekhnolohiia metaliv. Materialoznavstvo*, Issue 1 (38), pp. 84–87.
8. Andriiko, I., Kulyk, V. and Prokopets, V. (2011), «Doslidzhennia poshkodzhuvanosti poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis», *Mashynoznavstvo*, No. 1–2, pp. 32–36.
9. Huzenko, V.S., Myrantsov, S.L., Polupan, I.I. and Shulha, O.O. (2009), «Doslidzhennia dynamichnoi stiikosti protsesu mekhanobrobky kolisnykh par», *Nadiinist instrumentu ta optymizatsiia tekhnolohichnykh system*, zb. nauk. prats, Issue 25, pp. 22–27.
10. [Online], available at: <https://www.dormerpramet.com/uk-ie/en/railway>
11. [Online], available at: <https://www.iscar.com.ua/index.aspx/countryid/46/lang/ua>
12. [Online], available at: <https://ceratizit-ukraine.com.ua/ua/>
13. [Online], available at: https://zccct.com.ua/new_product_zcc-ct/
14. [Online], available at: <https://coromantstrgprod.blob.core.windows.net/files/sitecollectiondocuments%2Fdownloads%2Fglobal%2Ftechnical%20guides%2Fru-ru%2Fc-1020-019.pdf>
15. [Online], available at: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb>
16. [Online], available at: https://cdn.sandvik.coromant.com/files/sitecollectiondocuments/downloads/ru/catalogues/sandvik_katalog.pdf
17. Sandvik Coromant (1996), *New turning tools*, Kataloh Sandvik Coromant, Shvetsiia, 35 p.
18. [Online], available at: <https://www.arno.de/>
19. [Online], available at: <https://www.walter-tools.com/ru-ru/industry-solutions/special-solutions/rail-industry/wheel-set>
20. [Online], available at: <https://www.rafamet.com/en/products/machines-for-railways/underfloor-wheel-lathes/uge-300-400-n-axle-load-up-to-30-40-ton>
21. Haivoronskyi, O.A. (2016), «Umovy zabezpechennia yakosti vidnovlennykh naplavlenniam zaliznychnykh kolis», *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnogo universytetu zaliznychnoho transportu*, No. 5 (65), pp. 136–151.
22. [Online], available at: <https://files.nas.gov.ua/NASDevelopmentsBook/PDF/2019/0919.pdf>
23. Demchenko, V. and Demchenko, O. (2022), «Analiz doslidzhen vplyvu parametriv poverkhni kolesa ta znachennia tverdosti na vzaiemodiiu z kolieiu», *Zbirnyk naukovykh prats DUIT. Serii. Transportni systemy i tekhnolohii*, Issue 40, pp. 12–130.
24. Andreiko, I., Kulyk, V. and Prokopets, V. (2011), «Doslidzhennia poshkodzhuvanosti poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis», *Mashynoznavstvo*, No. 1–2, pp. 32–36.
25. Hryshchenko, M.A. (2015), «Pidvyshchennia ekspluatatsiinoi bezpeky elementiv kolisnykh par na osnovi vyznachennia mekhanizmiv formuvannia defektiv», Ph.D. Thesis of dissertation, 05.22.20, Dnipropetrovskyi natsionalnyi universytet zaliznychnoho transportu imeni akademika V.Lazariana, Dnipropetrovsk, 173 p.
26. Kharlamov, P.O. and Liulin, O.S. (2014), «Pidvyshchennia resursu kolisnykh par lokomotyviv v umovakh depo», *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT*, Issue 147, pp. 61–68.
27. *Pravyla tekhnichnogo obsluhovuvannia, remontu ta formuvannia kolisnykh par vantazhnykh vahoniv STP 04- 001:2015, zatverdzhenykh nakazom Derzhavnoi administratsii zaliznychnoho transportu Ukrainy vid 11.11.2015 No. 483-Ts* (2015), Derzhavna administratsiia zaliznychnoho transportu Ukrainy, K.
28. *Tekhnolohichna instruktciia po ultrazvukovomu kontroliu hrebeniv tsilnokatanykh kolis defektoskopom UD2-70 z prystroiem USKm*.
29. *Komplekt dokumentiv na tekhnolohichni protses remontu. Kolisna para RU-1, RU-1Sh, RV-2Sh. Vahonna buksa, 01076057.01.0.00.00004R*.
30. *Komplekt tekhnolohichnoi dokumentatsii. Elektronahrivannia, 01076057.01.0.00.00008R*.
31. *STP 15-008:2023 Systema standartiv bezpeky pratsi. Vymohy bezpeky pid chas tekhnichnogo obsluhovuvannia i remontu vantazhnykh vahoniv ta refryzheratornoho rukhomoho skladu*.

Бахман Сергій Олександрович – аспірант кафедри механічної інженерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0009-0001-9568-0621>.

Наукові інтереси:

- процеси механічної обробки;
- реновація поверхні.

E-mail: sergbakhman@gmail.com.

Bakhman S.O.

Technological aspects of restoring railway wheelsets, methods for improving efficiency

Modern industry and transport industry are impossible without the use of technological methods and means of restoring the operational characteristics of equipment. Railway transport enterprises have recently paid considerable attention to the development and implementation of resource-saving and environmentally friendly technologies for the repair and restoration of rolling stock components. One of the new directions in this area is the combination of high-quality surface preparation using innovative resource-saving technologies, such as surfacing [1].

The use of surfacing to restore railway wheelsets has significant economic advantages. This technology allows you to minimize the loss of rim metal during its mechanical processing along the rolling profile, and also increases the wear resistance of the wheel due to the use of materials with pre-set characteristics. To perform such restoration works, methods of arc surfacing under a layer of flux using solid-section wires, as well as specialized welding and auxiliary equipment are used [2].

The article analyzes the relevance and expediency of restoring railway wheelsets by electric arc surfacing. An overview of recent research and publications on this issue is provided. Organizational, technological and technical aspects of the restoration process, including mechanical processing after surfacing, are considered in detail. Tools, equipment, methods and means of safe performance of restoration work at the KT 003.00.00.000 installation based on the experience of the Pokrovskyi car depot of the Donetsk Railway are also analyzed [3].

As a result, conclusions are drawn about the prospects for further research aimed at improving the efficiency of processes for restoring the profile of railway wheelsets using electric arc surfacing.

Keywords: rolling profile; wheelset ridge; electric arc surfacing; flux; metal weldability; restoration of railway wheelsets.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2025.