

УДК 621.791.927.7

**О. Шаблій, докт. фіз.-мат. наук; Ч. Пулька, докт. техн. наук;
О. Король; В. Сенчишин**

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ СПРАЦЬОВАНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

Резюме. Представлено огляд існуючих способів відновлення робочих поверхонь кочення залізничних вагонних та локомотивних коліс, розглянуто їх переваги й недоліки та запропоновано нові напрямки відновлення зношених поверхонь, які дозволяють підвищити продуктивність і якість процесу та зменшити трудові й матеріальні затрати з використанням індукційного нагрівання.

Ключові слова: одно і багатоелектродне наплавлення, технологічні пристосування, установки, нагрівальні системи, рідкий метал, індуктори, сталеві магнітопроводи, дослідження.

O. Shabliy, Ch. Pulka, O. Korol, V. Senchushun

TECHNOLOGICAL FEATURES OF PROCEEDING IN THE WORKED WHEELS OF RAILWAYS

The summary. The review of existent methods of proceeding in the surfaces of wheels carriages and locomotives of railways is presented in work, their advantages and failings are considered and new directions of proceeding in threadbare surfaces are offered which allow to promote the productivity and quality of process and decrease the expenses of labours and financial related to proceeding in workings surfaces with the use of the induction heating of all working surface of simultaneously.

Key words: the same thing and much electrode naplavlennya, technological adaptations, options, systems of heaters, liquid metal, inductors, steel magnetoprovodi, researches.

Постанова проблеми. При експлуатації залізничних коліс виникають проблеми, які в основному пов'язані зі зношенням поверхонь кочення та гребеня. Технічне обслуговування і ремонт колісних пар займає 30% усіх затрат служб рухомого складу залізниці [1,2]. Більша частина їх належить до затрат на відновлення профілю поверхні кочення, які експлуатуються, і заміну зношених або пошкоджених коліс. Існуючі методи відновлення мають ряд недоліків: мала продуктивність процесу та великі матеріальні й трудові затрати. Для їх відновлення необхідно розробляти нові технологічні процеси, які б усунули вище перераховані недоліки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В літературних джерелах [3,4,5,6] описані різні методи й обладнання для відновлення спрацьованих залізничних коліс, які дозволяють механізувати й автоматизувати процеси їх ремонту для досягнення необхідних експлуатаційних розмірів. Вони є надто громіздкими та дороговартісними і не задовольняють вимог, поставлених до відновлення залізничних коліс.

Метою роботи є аналіз існуючих методів і обладнання для відновлення спрацьованих залізничних коліс та розроблення нових високопродуктивних процесів ремонту зношених робочих поверхонь кочення.

Постановка задачі. В техніці для відновлення зношених робочих поверхонь вагонних і локомотивних коліс використовують такі способи відновлення: наплавлення поверхні кочення одним електродом, двохелектродне наплавлення, багат шарове наплавлення одним електродом, багатоелектродне наплавлення обода колеса після відпалу поверхні катання [3,4,5]. Розглянемо кожен із них по порядку.

Результати досліджень. Відновлення поверхні кочення вагонних і

локомотивних коліс здійснюють за допомогою дугового наплавлення одним електродом на установці УНГ-1 російського виробництва (рис. 1 а), яке реалізується простою схемою наплавлення криволінійної поверхні гребеня колеса. Наплавлення здійснюють за допомогою зварювального автомата тракторного типу АДФ-1202 з використанням джерела живлення ВДУ-506. Для подачі дроту й обертання колісної пари під час наплавлення використовують двигуни постійного струму потужністю не більше 100 Вт.

Технологія відновлення наплавленням під шаром флюсу гребенів суцільнокатаних вагонних коліс на установках УНГ-1 та ТІ-5-02-96 розроблена ВНИИЖТом [3]. Вона дозволяє здійснювати наплавлення в горизонтальному положенні колеса, що обертається, з попереднім підігріванням обода до температури 180°C за допомогою індукційного нагрівання на установці НИК-1 струмами промислової частоти 50Гц. При цьому індукційні котушки індуктора розташовують навпроти частини обода колеса, що обертається та забезпечує невисоку температуру диска колеса і шийки осі. Дану установку можна використовувати для наплавлення гребенів колісних пар у складанні з буксами. Наплавлення гребеня здійснюють одним електродом зварювальним дротом Св-08Г2С діаметром 3 мм під флюсом АН-348А.

Для виходу водню і запобігання гартівним структурам необхідне сповільнене остигання після наплавлення протягом 5 годин у термостаті з середньою швидкістю не більше 50°C/год. Колісні пари можна ставити на рейки тільки після їх остигання до температури 50°C. Для підтримання температури в термостатах використовують підігрів повітря електричними тенами (рис. 1 б).

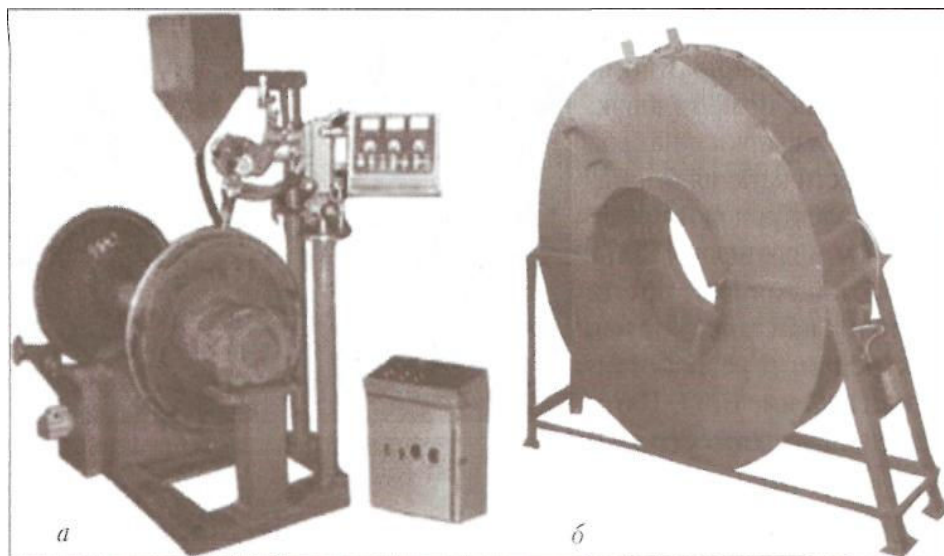


Рисунок 1 – Установа УНГ-1 з індукційним нагрівником НИК-1 (а) і термостат для підтримання температури колісної пари після наплавлення (б) [3]

Встановлено, що при твердості шару наплавленого металу дротом Св-08ХМ *НВ* від 290 до 340 зносостійкість коліс з наплавленим гребенем в 3...4 рази вища, ніж у нових [4]. Таке істотне підвищення зносостійкості наплавлених гребенів при порівняно невеликому підвищенні твердості наплавленого металу на основний метал колеса можна пояснити наявністю таких карбідоутворюючих елементів, як хром і молібден, які подрібнюють первинні зерна дендритів при кристалізації металу шва, змінюючи при цьому кінетику фазових перетворень у твердому стані, а також підвищуючи рівень сприятливих напружень другого роду. Техніко-економічний ефект при наплавленні зношених гребенів вагонних коліс полягає: по-перше, в 3-4-разовому зменшенні товщини обода колеса при відновленні профілю, по-друге, в 3-разовому підвищенні зносостійкості наплавлених гребенів, що в сукупності дозволяє збільшити термін служби коліс з урахуванням повторного наплавлення не менше ніж в 10 разів [5].

На рис. 2 зображена поверхня кочення наплавленого колеса. Наплавлення гребеня і обода коліс без попереднього обточування, зміцненого в процесі експлуатації поверхневого шару одним електродом (дротом Св-08Г2С) діаметром 3 мм має значну кількість гарячих і холодних тріщин.

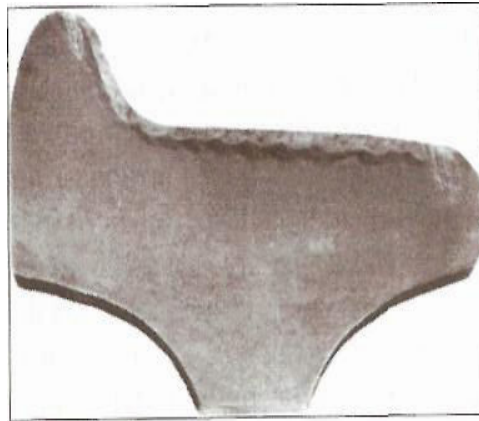


Рисунок 2 – Макроструктура наплавлення поверхні катання колеса зварювальним дротом Св-08Г2С діаметром 3 мм [5]

Якщо в якості захисного середовища використовувати вуглекислий газ і наплавлення проводити одним електродним дротом Св-0820Н9Г7Т, то в колесах іноді виникають надриви в зоні сплаву першого валика з металом колеса (недогрів). Менш енергоємна технологія «холодного» дугового наплавлення не вимагає попереднього підігріву коліс перед наплавленням і їх повільного остигання після наплавлення в термостатах, що звільняє площу ремонтних підприємств. Наплавлення здійснюють аустенітним електродом при зниженій температурі плавлення, що зменшує стійкість до виникнення холодних тріщин. Виникає також підвищена твердість в наплавленому шарі, що пов'язано з високою часткою високовуглецевого основного металу. Зниження перегріву металу колеса і частки його участі в наплавленні досягають введенням додаткового гарячого присадного металу в задній частині затвердіваючої зварювальної ванни. При цьому присадний дріт діаметром 1,2 мм нагрівається до температури 1200°C електроконтактним способом, від додаткового джерела нагрівання, що знижує наявність в наплавленому шві високовуглецевого основного металу. Присадний метал, що вводиться в зварювальну ванну, є внутрішнім відведенням тепла, що також зменшує теплову дію зварювального процесу на основний метал колеса. На підставі виконаних досліджень для наплавлення гребенів коліс у вуглекислому газі з додатковим присадним електродом як основний рекомендовано використовувати дріт Св-04Х19Н11МЗЮ, в якості присадного дроту – марки Св-04Х22Н8МЗТЮ. При цьому поєднанні вірогідність утворення гарячих і холодних тріщин у наплавленому металі мінімальна. Час повного циклу відновлення колісної пари при використанні технології «холодного» наплавлення гребенів у вуглекислому газі додатковим електродом складає близько 3...4 год. [6].

Перевагою даного способу відновлення спрацьованих коліс є підвищена твердість в наплавленому металі, знижується присутність у наплавленому шарі високовуглецевого основного металу, зменшується час наплавлення в 2 рази в порівнянні з технологією двохелектродного наплавлення під флюсом.

Недоліком даної технології відновлення спрацьованих коліс є низька продуктивність процесу, великі затрати часу на очищення наплавленого шару перед накладанням іншого, нестабільна якість наплавленого металу, яка залежить від геометричної нерівномірності поверхні наплавлення.

Технологія наплавлення коліс двома електродами, розташованими послідовно, була розроблена в 1950-х роках в ІЕЗ ім. Е. О. Патона НАН України. При наплавленні

поверхні катання колеса двома електродами у вертикальному положенні шляхом вибору відповідного режиму наплавлення і відстані між дугами забезпечується швидкість остигання, необхідна для отримання в біляшовній зоні структури, сорбіту, твердістю *НВ* 280... 350. Дуги (перша і друга) розташовуються послідовно. Друга, більш потужніша дуга, переплавляє метал, наплавлений першою дугою, що виключає її дію безпосередньо на високовуглецеву сталь. Струм першої дуги складає 180... 200 А, другої дуги на 100 А більше. Наплавлення обода проводять в 20 шарів. Для підвищення товщини шару наплавленого металу наплавлення необхідно проводити в два - три шари.

Наплавлення двома тонкими електродами дозволяє застосовувати невисокі струми, що забезпечують меншу глибину проплавлення основного металу. При цьому вуглець з основного металу в наплавлений переходить менше, що гарантує вміст вуглецю не більше 0,2 % та відсутність гарячих тріщин у наплавленому металі та біляшовній зоні. Хімічний склад металу, наплавленого двома дугами, в основному визначають складом електродного дроту та гладкою поверхнею шва [6, 7].

При всіх перевагах двохелектродного наплавлення та зменшенні діаметра дроту і зварювальних струмів обмежує можливості промислового використання для відновлення коліс. Для наплавлення криволінійної поверхні гребеня необхідно змінювати швидкість подачі дроту різного діаметра за допомогою потужного двигуна змінного струму, редукторів і шестерень. Нагрівання обода колеса до температури 350°C здійснюють шляхом розігрівання всього колісного диска газовим полум'ям на іншій установці у вертикальному положенні колісної пари. При перенесенні колісної пари на установку температура наплавлення на поверхні кочення зменшується на 50... 100 °С. Використання двох незалежних джерел живлення електродів знижує надійність установки. Зменшення діаметра дроту і зварювальних струмів обмежує продуктивність даного способу наплавлення для відновлення коліс. На сьогодні двохелектродне наплавлення за повним профілем виконують на автоматичній установці шведської фірми ESAB шляхом зміни положення колісної пари щодо зварювальних головок. Параметри зварювання і нахил поверхні кочення визначають комп'ютером [8]. В даний час принцип наплавлення двома електродами, розроблений в ІЕЗ ім. Е. О. Патона, використовують в установах ПКТБ ЦВ (рис. 3). При цьому газове нагрівання на відкритому повітрі всього колеса замінено повільним нагріванням електричними тенями в закритому кожусі, що підвищує температуру шийки осі на понад 200°C і робить неможливим наплавлення колісних пар з буксами (при ремонті в ДЕПО) або затримує монтаж букс (при ремонті в заводських умовах).

У Росії через необхідність частої заміни тенів використовують установки для індукційного нагрівання нерухомого колеса струмами частотою 50 Гц (рис. 4).

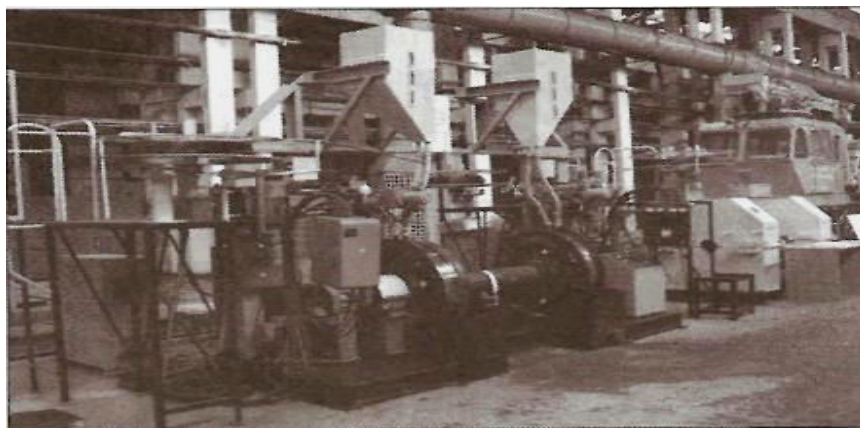


Рисунок 3 – Установа ПКТБ ЦВ «Укрзалізниці» для двохелектродного наплавлення поверхні катання вагонних коліс [8]

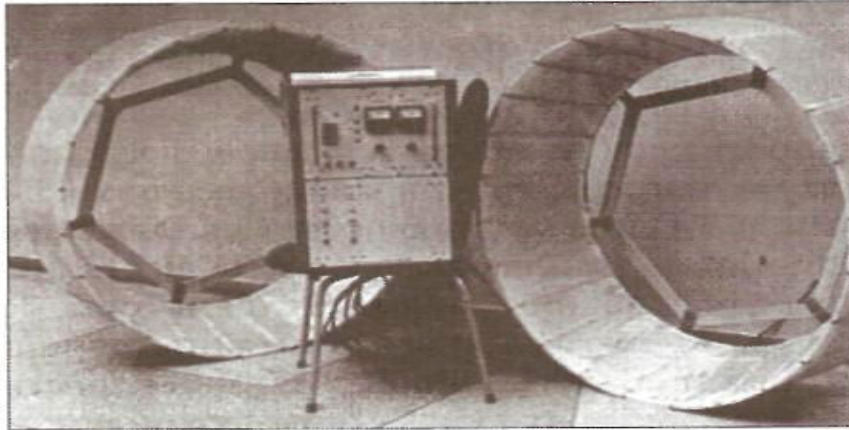


Рисунок 4 – Індуктор для нагрівання вагонних коліс УН-002-35/Т-020 [8]

Перевагою даного методу є можливість застосування невисоких струмів, що забезпечують меншу глибину проплавлення основного металу, а також відсутність гарячих і холодних тріщин у наплавленому металі й біляшовній зоні.

Недоліком даного способу відновлення спрацьованих коліс є мала продуктивність процесу, необхідність попереднього підігрівання поверхні наплавлення з використанням потужних електродвигунів змінного струму, а також необхідність видалення основного металу перед наплавленням.

Для підвищення продуктивності процесу наплавлення використовують метод багат шарового наплавлення електродом, що коливається, який розроблений в ІЕЗ ім. Е. О. Патона, із забезпеченням високих швидкостей коливання електрода (стрічки) у зварювальній ванні зі швидкістю 150... 300 м/год. При цьому досягається мінімальне проплавлення основного металу. Відомі механізми, що забезпечують коливання двох - чотирьох електродів одночасно та ширину наплавленого шару до 300 мм. Використання порошкових електродів дозволяє легко вводити в зварювальну ванну легуючі домішки, необхідні для надання наплавленому шару заданих властивостей. Спосіб наплавлення порошковими стрічками, розроблений в ІЕЗ ім. Е. О. Патона, відрізняється високою продуктивністю (до 70 кг/год. при використанні двох стрічок перерізом 3x45 мм), відносно малим проплавленням і малою часткою основного металу в наплавленому в межах 15...30%. Коефіцієнт заповнення порошкових стрічок сягає 70%, що дозволяє одержати наплавлений метал з високим ступенем легування, значно більшим, ніж при використанні порошкових дротяних електродів [9].

Підвищити продуктивність наплавлення на ободі колеса при високій якості можна шляхом багатоелектродного наплавлення із загальним підведенням зварювального струму (наплавлення розщепленим електродом) [9, 10]. Як відзначено раніше, наплавлення зношеного гребеня двома електродами від одного джерела в одну зварювальну ванну підвищує продуктивність. Перевага багатоелектродного наплавлення (наплавлення розщепленим електродом) у порівнянні з багат шаровим наплавленням одним електродом полягає в можливості створення ванни рідкого металу за всім профілем колеса на задалегідь відпалену поверхню кочення за один оберт колеса, нахиленого оптимальним чином, що забезпечує мінімальні витрати металу при кінцевому обточуванні за профілем кочення.

Багатоелектродне наплавлення обода колеса в одну зварювальну ванну одним або двома шарами здійснюють за допомогою експериментальної установки для наплавлення обода УНО-2 (рис. 6а). На рис. 6б зображено зразок колеса з наплавленим ободом, а на рис. 6в – обод, наплавлений в один або два шари десятма електродами в одну зварювальну ванну після відпалу поверхні кочення зі збереженням основного

шару (без обточування дефектів на поверхні кочення перед наплавленням).

Дослідним шляхом встановлено, що наплавлення обода вагонного колеса шириною 100 мм та діаметром 950 мм і менше, можна виконувати десятима електродами, з метою уникнення розтікання зварювальної ванни. Для економії зварювальних матеріалів колісну пару під час наплавлення необхідно розташовувати під кутом не менше 5° до горизонту [11]. Швидкість наплавлення і сумарний зварювальний струм взаємопов'язані. При великій швидкості обертання колеса рідкий метал зі зварювальної ванни розтікає по колесу. При менших швидкостях спостерігається переривання багатоелектродного процесу наплавлення.

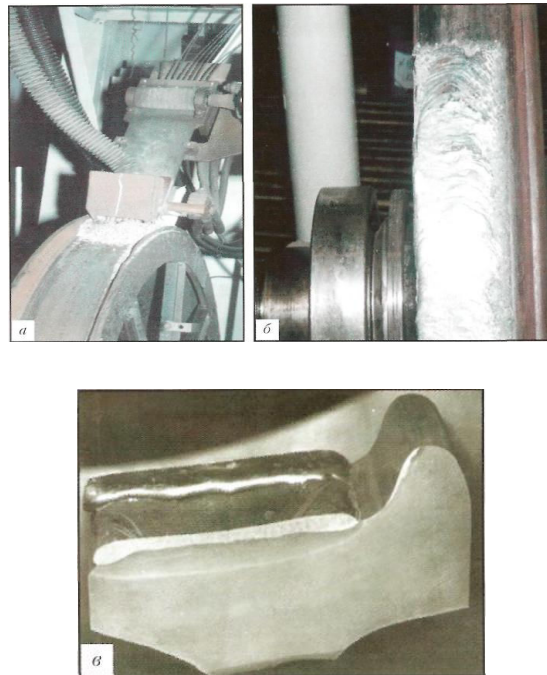


Рисунок 5 – Установа УНО-2 для наплавлення обода колеса десятима електродами в одній зварювальній ванні дротом Св-08ХМ діаметром 3 мм під флюсом АН-60: *а* – зварювальна головка; *б* – колесо з наплавленим ободом [11]

Багатоелектродне наплавлення в порівнянні з одноелектродним має ряд переваг [12]:

- зменшення глибини проплавлення завдяки імпульсному характеру і переміщення короткої дуги вздовж фронту металу з розсіюванням теплового потоку;
- зниження частки основного металу в наплавленому матеріалі за рахунок зменшення глибини проплавлення колеса;
- імпульсний характер дуги по всьому фронту зі зменшенням сумарного тепловкладення, що призводить до зниження деформацій у 3,5 раза;
- підвищення продуктивності наплавлення, що збільшує об'єм розплавленого металу на 20... 25 %;
- покращення якості наплавленого металу за рахунок конвективних потоків, коагуляції неметалічних включень у їх спливання на поверхню рідкого металу;
- зменшення витрат електроенергії і трудових затрат на один кілограм наплавленого шару;
- використання легованого або порошкового дроту, що дозволяє отримати наплавлений метал необхідного хімічного складу вже в першому шарі металу на глибину більше 60 % товщини шару покриття;
- покращення поверхні наплавлення за рахунок зменшення коливання режиму подачі дроту, зміни зварювального струму і напруги на дузі, пов'язаного з краплинним перенесенням металу.

Основний недолік технологій наплавлення полягає в необхідності обточування напавленої поверхні кочення на глибину дефектного шару, що призводить до втрат основного металу. Для повного відновлення колеса необхідне збільшення товщини шару напавленого металу, що призводить до зростання напружень розтягу або до зниження продуктивності існуючих способів наплавлення. Використання відпалу зміцненої поверхні катання для зміни структури металу дозволяє напавляти зношену поверхню без зменшення обода колеса, що значно підвищує ефективність її відновлення. Шліфування скупчень мікротріщин замість обточування обода колеса по колу кочення також зменшує витрати основного металу і товщину наплавлення. Отже, можна звести до мінімуму вкладання тепла, а значить і залишкові напруження розтягу й витрати зварювальних матеріалів, необхідних для відновлення профілю коліс [12, 13].

В умовах, що склалися, необхідне розроблення продуктивнішої та дешевшої технології наплавлення без видалення основного металу перед наплавленням. У даний час на вагоноремонтні заводи в ремонт надходять колеса товщиною обода, значення яких наближаються до мінімально допустимих (рис. 8).

Для залізничних підприємств актуальне відновлення коліс товщиною обода 27... 29 мм, які мають дефект унаслідок зменшення товщини обода колеса після обточування. В цьому випадку товщина обода може збільшуватися на 2... 3 мм. Після відновлення цих коліс їх можна експлуатувати до повного зношування обода (до 22 мм) протягом 2 - 3 років.

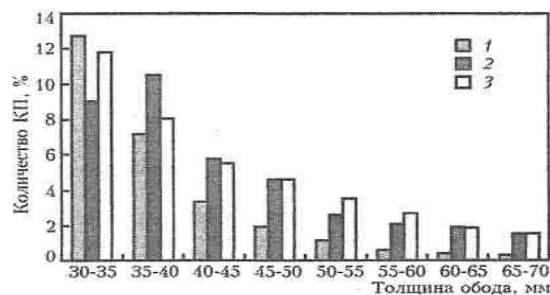


Рисунок 6 – Розподіл гребенів, що надходять на ділянки наплавлення залежно від товщини обода [13]

Існуючі технології наплавлення обода коліс мають низьку ефективність через низьку продуктивність процесу наплавлення і великих матеріальних затрат. У даний час вартість людських ресурсів і зварювальних матеріалів значно зросла. Крім того, при відновленні наплавленням значну роль відіграє нерівномірність нагрівання колеса під час наплавлення поверхні кочення, що призводить до підвищення напружень розтягу до +3мм.

Збільшення діаметра електродів до 3 мм підвищує продуктивність процесу наплавлення, що призводить до ще більшого зростання напружень розтягу. Використання в якості привода подачі дроту й обертання колісної пари двигунів змінного струму, потужних редукторів, складність флюсоутримуючого пристрою під час наплавлення вимагає збільшення як обслуговуючого персоналу, так і кількості підготовчих операцій.

Підвищення продуктивності процесу можна досягти за допомогою вдосконалення перерахованих методів, тобто розроблення новітніх технологій відновлення робочих поверхонь кочення. Для цього в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя розроблено нову технологію одночасного відновлення по всій робочій поверхні спрацьованих коліс методом заливання рідкого металу в тигель на зношену робочу поверхню з метою забезпечення необхідних геометричних розмірів та експлуатаційних властивостей відновлених коліс.

На рисунку 7 зображено схему колеса з гладкою робочою поверхнею [14], а також нагрівальну систему, яка забезпечує здійснення процесу відновлення робочої

поверхні. При цьому деталь нагрівають струмом високої частоти 200 – 40000 Гц, а рідкий метал заливають у тигель і одночасно перемішують пондемоторними силами, створеного струмами частотою 50 – 200 Гц.

Дана схема для відновлення робочих коліс (рис. 7) складається зі спрацьованого колеса 1, робочого стола 2, в якому вмонтовано стаціонарно нагрівальну електротермічну індукційну систему (ЕТІС), що складається з багатовиткового індуктора 3 з обвиткою 4, тороїдального тигля 5, вогнетривкого ізолюючого дна тигля 6 і магнітопроводу 7. Недолік цієї технології – неякісне схоплення рідкого металу з основним. Запропонована технологія забезпечує високу продуктивність та зменшує матеріальні й трудові затрати.

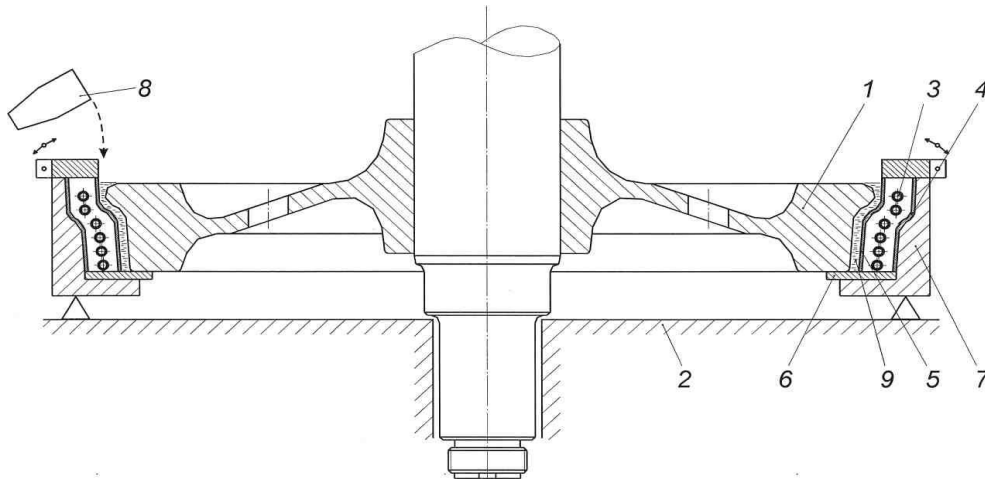


Рисунок 7 – Схема індукційного відновлення колеса [14]

З метою вдосконалення процесу відновлення робочих поверхонь для покращення схоплення рідкого металу з основним металом, за рахунок збільшення поверхонь дотику, рідкого й основного металу, на зношеній поверхні колеса було запропоновано перед заливанням рідкого металу в тигель виконувати симетрично поздовжні й поперечні пази у вигляді зрізаних пірамід (рис. 8, 9), причому до рідкого металу в тигель, а деталь нагрівати до температури 200–750°C [15].

На рис. 8 та 9 зображено схеми здійснення способу відновлення колеса із симетрично поздовжніми та поперечними пазами у вигляді зрізаних пірамід.

Спосіб реалізується наступним чином. Спрацьоване колесо 1 з криволінійною поверхнею і з попередньо виготовленими пазами 2 на поверхні спрацьованого колеса подають на робочий стіл 3, в якому вмонтована стаціонарно нагрівальна електротермічна індукційна система (ЕТІС), яка складається з багатовиткового індуктора 4 з обвиткою 5, тороїдального тигля 6, вогнетривкого ізолюючого дна тигля 7 і магнітопроводу 8. Після цього вмикають генератор (на рис. не зображено) і струм подається на індуктор 4 для одночасного нагрівання торця колеса 1 по всій робочій поверхні. Нагрівання колеса 1 може здійснюватися струмом частотою від 200 до 40000 Гц залежно від матеріалів деталі й рідкого сплаву. При досягненні температури на торці колеса 200°C–750°C генератор перемикають на іншу частоту за допомогою спеціального пристрою в межах 50–200 Гц. Потім заливають кількома ковшами 9 рідкий метал 10 температурою 1550°C–1650°C і одночасно перемішують його пондемоторними силами, створеними струмом частотою 50-200 Гц у тиглі 6 під час заливання до повного його заповнення. Залитий рідкий метал частково оплавляє метал колеса 1. При остиганні рідкого металу 10 до температури 1410°C у тиглі 6, а також розплавлена частина металу колеса 1 перебувають у структурі об'ємно-центричного куба. Тут відбувається взаємна дифузія рідкого металу тигля і частини розплавленого металу колеса.

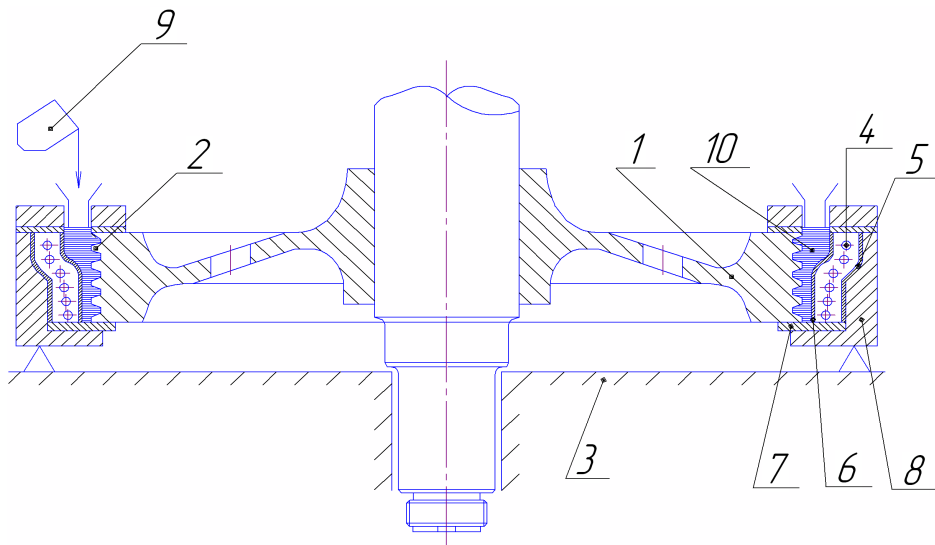
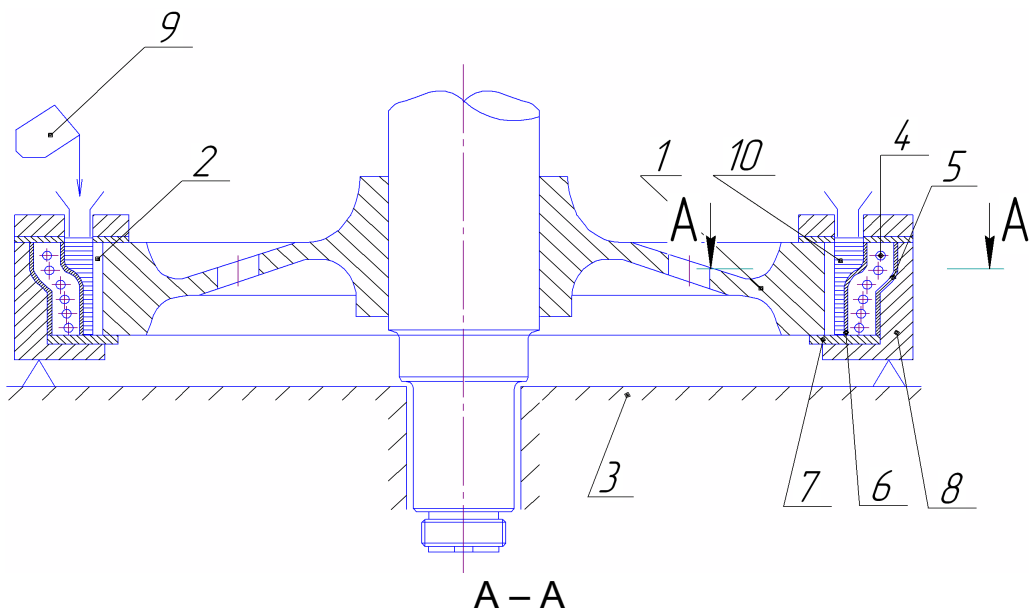


Рисунок 8 – Схема індукційного відновлення коліс із симетричними поздовжніми пазами у вигляді різаних пірамід [15]



A – A

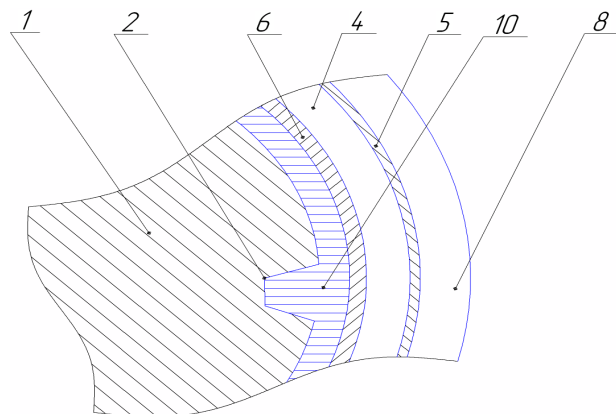


Рисунок 9 – Схема індукційного відновлення коліс із симетричними поперечними пазами [15]

При наступному остиганні до температури 1410°C–780°C метал перебуває в стані аустеніту гранецентрованої структури, а при подальшому остиганні в проміжках температур 780°C–727°C – аустеніт-фериту, а в проміжку температур 727°C–600°C – ферит-перліту об'ємно-центричної структури.

При цьому пази 2, виконані на поверхні спрацьованого колеса 1 вздовж і впоперек (рис. 8, 9) у вигляді зрізаних пірамід, дозволяють збільшити поверхню дотику і покращити механізм схоплення твердого металу колеса з рідким залитим металом. Таким чином забезпечується надійне з'єднання нарощуваного металу з поверхнею колеса й усувається відшарування нарощеного металу при високих швидкостях руху коліс залізничним полотном і при різких гальмуваннях залізничних локомотивів і вагонів.

Висновок. Аналіз способів, матеріалів і обладнання для відновлення залізничних коліс показав, що найперспективнішими процесами для відновлення робочих поверхонь є заливання рідкого металу в тигель на зношену робочу поверхню з метою забезпечення необхідних геометричних розмірів та експлуатаційних властивостей відновлених коліс із використанням індукційного нагрівання. Нові технологічні процеси, які розробили автори, дозволяють значно підвищити продуктивність і якість відновлення робочих поверхонь залізничних коліс і зменшити матеріальні й трудові затрати.

Література

1. Андрейко І. М. Вплив термічної обробки на міцність і циклічну тріщиностійкість сталей для залізничних коліс / І. М. Андрейко, В.В Кулик, О.П. Осташ // *Машинознавство*. – 2006. – №3. – С. 21 – 27.
2. Узлов К.И. Промышленное производство высокопрочных железнодорожных колес / К.И. Узлов, И.Г. Узлов, Г.Н. Польский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – №1. – С. 98 – 103.
3. Аснис А. Е. Восстановление изношенных гребней бандажей наплавкой / А. Е. Аснис, Л. М. Гутман // *Сб. тр. по автоматической сварке под флюсом*. – Киев, 1948. – С. 281– 298.
4. Аснис А. Е. Сварка под флюсом при ремонте локомотивов / А.Е. Аснис, Л.М. Гутман, В.П. Степанко, В.А. Чумаченко. – М.: Трансжелдориздат, 1958. – С. 65– 79.
5. Коротков В. А. Влияние термомодеформационных процессов на образование трещин при наплавке / Коротков В.А. // *Свар. пр-во*. – 1995. – №11. – С. 14–17.
6. Павлов Н. В. Наплавка гребней вагонных колесных пар / Н. В. Павлов, И. Д. Козубенко, Н. Е. Вызова, А. И. Рассоха // *Железнодорож. трансп.* – 1993. – №7. – С. 37– 40, 132.
7. Богданов В.М. Снижение интенсивности износа гребней колес и бокового износа рельсов / Богданов В.М. // *Железнодорож. трансп.* – 1992. – №12. – С. 30 – 34.
8. Якушин Б. Ф. «Холодная» дуговая наплавка гребней колес / Б. Ф. Якушин, Э. Л. Марков, В. В. Шефель // *Железнодорож. трансп.* — 2000. — № 7. — С. 44–45.
9. Рябцев И.А. Высокопроизводительная широкослойная наплавка электродными проволоками и лентами / И. А. Рябцев // *Железнодорож. трансп.*— 2005. — № 6. — С. 36–39.
10. Емельянов Н.П. Многоэлектродная электродуговая и электрошлаковая наплавка под флюсом / Н.П. Емельянов // *Тр. Всесоюз. науч.-исслед. ин-та железнодорожного транспорта*. — М.: Трансжелдориздат, 1962. — Вып. 239. — С. 18— 20.
11. Глазов В. В. Опыт Института сварки России в разработке технологий наплавки / В. В. Глазов // *Свароч. пр-во*. — 2006. — № 2. — С. 20— 24.
12. Меликов В. В. Многоэлектродная наплавка / В. В. Меликов. — М.: Машиностроение, 1988. — 140 с.
13. Матвеев В. В. Восстановление вагонных колес наплавкой с предварительным отжигом поверхности катания / В. В. Матвеев // *Автомат. сварка*. — 2005. — № 11. — С. 36—40.
14. Шаблій О.М. Спосіб відновлення спрацьованих сталевих деталей [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, Б.М. Береженко // Патент на корисну модель №42596 – № u200901692; заявл. 26.02.09; опубл. 10.07.09, Бюл. №13.
15. Шаблій О.М. Спосіб відновлення спрацьованих сталевих деталей [Текст] / О.М. Шаблій, Ч.В. Пулька, І.І. Стойко, О.І. Король // Патент на корисну модель №45731 – №u200905443; заявл. 29.05.09; опубл. 25.11.09, Бюл. №22.

Одержано 06.04.2010 р.