

**Мужичук Сергец Александрович**,  
 головний конструктор по вагонам метрополитена  
 ПАО «Крюковский вагоностроительный завод».  
 Ул. И. Приходько, 139, 39621, г. Кременчуг,  
 Україна.  
 E-mail: zgk\_metro@kvsz.com

**Гончаров Александр Михайлович**,  
 начальник отдела подвижного состава филиала  
 «Научно-исследовательский и конструкторско-  
 технологический институт железнодорожного  
 транспорта» ПАО «Укрзалізниця».  
 Ул. И. Федорова, 39, Киев, Україна, 03038.  
 Тел.: +38 044 465 39 92.  
 E-mail: goncharov1520mm@gmail.com

## Експлуатаційна робота

УДК 539.42:620.18:629.423

*Канд. фіз.-мат. наук Л.Ф. Яценко*  
*Інженер В.М. Повисий*

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ НАНЕСЕННЯ МАРКУВАННЯ ТА ЇХ ВПЛИВ НА МІКРОСТРУК- ТУРУ БАНДАЖІВ

*Ключові слова:* бандаж, технологія марку-  
 вання, втомне руйнування, мікро-структура.

#### Вступ та постановка проблеми

Більшість деталей, вузлів, а також облад-  
 нання локомотивів під час експлуатації зна-  
 ходяться під впливом як статичних, так і ди-  
 намічних навантажень. З метою постійного  
 контролю за роботою та технічним станом  
 відповідальних вузлів протягом всього жит-  
 тєвого циклу застосовуються різноманітні  
 технології їх маркування.

Особливу увагу приділяють елементам, що  
 мають безпосередній вплив на безпеку руху.  
 Одним із таких елементів є бандаж колісної  
 пари тягового рухомого складу.

На сьогодні в Україні застосовується єди-  
 ний спосіб маркування бандажу методом гар-  
 ячого штампування згідно вимог ГОСТ 398-  
 96 [1].

Протягом останніх трьох років спеціаліс-  
 тами філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця»  
 було проведено дослідження низки випадків  
 руйнування бандажів колісних пар локомоти-  
 вів через наявність втомних тріщин по знакам  
 маркування.

Руйнування відбувалося по знакам «1»,  
 «3», «8» та ін. незалежно від їх порядку роз-  
 ташування на боковій зовнішній поверхні

бандажа. На рис.1 наведено злами окремих  
 досліджених бандажів.

Загальною особливістю для всіх випадків є  
 втомний характер розвитку тріщини та іден-  
 тичний макро- і мікроефекти руйнування  
 бандажів [2]. Осередком зародження втомної  
 тріщини є концентратор напружень, який  
 розташований в донній частині знаку марку-  
 вання.

Враховуючи те, що руйнування бандажів  
 тягового рухомого складу по знакам гарячого  
 маркування є значною проблемою не тільки в  
 Україні, а й поза її межами [3-6], то проблема  
 її заміни та пошук інших альтернативних ме-  
 тодів є актуальним питанням, що потребує  
 уваги.

**Метою статті** є аналіз технологій марку-  
 вання бандажів та встановлення умов, які  
 сприяють втомному руйнуванню в зоні мар-  
 кування на підставі фізико-хімічних, струк-  
 турних та механічних досліджень фрагментів  
 зруйнованих бандажів колісних пар, виготов-  
 лених на ВАТ «ІНТЕРПАЙП НТЗ». Матеріал  
 – сталь марки 2, маркування виконано спосо-  
 бом гарячого штампування згідно ГОСТ 398-  
 96.

При дослідженні використовувалося на-  
 ступне обладнання: атомно-емісійний спект-  
 рометр з лазерним збудженням «СПЕКС ЛА-  
 ЕС МАТРИКС», оптичний мікроскоп  
 Axiovert 25 SA, твердомір Брінелля, розривна  
 випробувальна машина WDW-300E, маятни-  
 ковий копер JB-W300A. Всі випробування  
 здійснювалися у відповідності до норматив-  
 них документів ГОСТ 9012 [7], ГОСТ 1778-70  
 [8], ГОСТ 1497-84 [9], ГОСТ 9454-78 [10].



а)



б)



а)



б)

Рис. 1 – Фрагменти зруйнованих бандажів з наскрізною тріщиною по знакам маркування: а – цифра «3», б – цифра «8»

### Технології нанесення маркування бандажів

На сформовані характеристики знаків (глибина, ширина, кут нахилу) має вплив правильний підбір параметрів технологічного процесу виконання маркування, так як наявність концентраторів у виді знаків гарячого маркування знижує границю втоми локомотивних бандажів ~ в 1,5 рази [3, 4].

Розглянемо окремі способи маркування.

#### Гаряче штампування

Згідно ГОСТ 398-96, клейма повинні бути нанесені способом гарячого штампування. Знаки повинні розташовуватися під кутом

15–20° до діаметру бандажа та мати висоту 10–15 мм при глибині не більше ніж 4 мм.

При дослідженні зруйнованих бандажів встановлено, що глибина знаків маркування в зоні руйнування не перевищувала 3 мм, кут нахилу знаку знаходився в межах 15–20°, що відповідало нормам.

Хімічний склад, неметалеві включення, мікроструктура та механічні властивості досліджених бандажів відповідали вимогам ГОСТ 398-96.

Нанесені клейма мали складний профіль, як приклад на рис. 2 зображено профіль цифри «8», по якій відбулося руйнування одного із досліджених бандажів.



Рис. 2 – Профіль знаку маркування цифри «8», по якому відбулося руйнування дослідженого бандажа

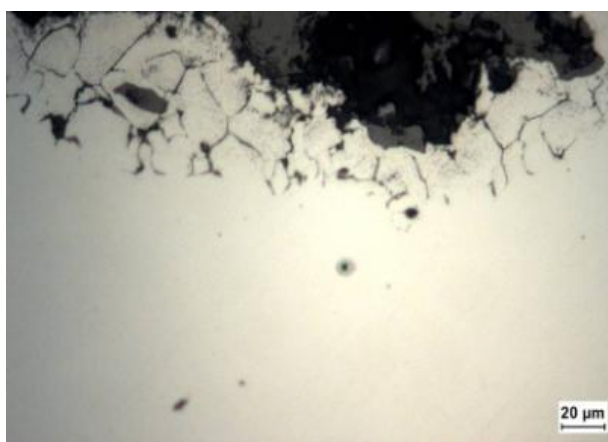
Вивчення характеру руйнування та особливостей мікроструктури металу методом

оптичної мікроскопії показали наявність в донній частині знаку маркування оксидного

шару, шару окалини, знеуглецьованого шару та границь зерен, декорованих включеннями (ймовірними дифузійними окислами, утвореними в результаті внутрішнього окислення внаслідок

нанесення клейма гарячим методом) (рис. 3). Аналогічні структурні зміни металу бандажа у зоні знаку маркування описані в [3, 5, 6, 11].

В умовах високих експлуатаційних навантажень така мікроструктура поверхневого шару в зоні клейма є сприятливим фактором для розвитку втомних мікротріщин, які швидко поширюються вглиб основного металу та призводять до його руйнування.



*a*



*б*

*Рис. 3 – Границі зерен, декоровані плівковими окисидними включеннями (а) та знеуглецьований шар товщиною ~ 220 мкм (б) в області знаку маркування бандажа*

### Ударно-точкове маркування

Одним із можливих варіантів маркування бандажів є ударно-точкова технологія [3], яка забезпечує локальне зміцнення металу в зоні нанесення знаку. Ударно-точкове маркування проводиться шляхом нанесення на поверхню металу серії точок, які в сумі формують напис. Глибина знаків при такому способі складає 0,4–0,6 мм, ширина 0,9–1,2 мм. Варто враховувати також при нанесенні знаків і початковий стан поверхні металу, що впливає на точність та чіткість сформованих знаків.

Недоліком цього способу [3] є те, що після застосування ударно-точкової технології маркування мікроструктура поверхневого шару в донній частині знаку деформується, утворюються напливи (відшарування) металу товщиною до 0,1 мм. Формування деформованого шару обумовлено зворотно-поступальним рухом бойка (голки) при нанесенні маркування. Припускається [3], що наявність зміцне-

ного деформованого шару з плавним переходом в основний метал підвищить втомну міцність бандажа при застосуванні даної технології.

На боковій поверхні бандажа, за межами знаку маркування, знеуглецьованого шару, оксидів, границь, які містять декоровані тонкими плівками окислів не спостерігалось. Технологічним процесом формування колісної пари передбачено лише обточування поверхні кочення та внутрішньої бокової поверхні бандажу. Зовнішня поверхня з нанесеними знаками маркування механічній обробці не підлягає, тобто наявність знеуглецьованого і послабленого шару в донній частині знаків маркування сприяє виникненню втомної тріщини в процесі експлуатації.

ного деформованого шару з плавним переходом в основний метал підвищить втомну міцність бандажа при застосуванні даної технології.

### Плазмове маркування

Відмінність плазмової технології від способу гарячого штампування полягає у меншій глибині знаків (0,5–0,6 мм), що знижує концентрацію напружень в зоні нанесення знаку при експлуатації бандажа. Однак, відмічають і недоліки такої технології, що пов'язані із невисокою точністю отриманих глибини та ширини знаків, утворення напливів, термічним впливом в результаті дії дуги плазми. Небажаним також є формування на поверхні бандажа в зоні маркування загартованих шарів з високою твердістю та крихкістю, які сприяють розвитку мікротріщин. Як показано [3], плазмове маркування спричинило в поверхневому шарі значні структурні зміни з формуванням голчастого мартенситу з високою

твердістю та низьким опором втомному і крихкому руйнуванню. Також в результаті дії потоку плазми на метал відбувається насичення поверхневого шару окислами та утворення пористості, що є небажаним.

За результатами втомних випробувань встановлено [3], що границя втомної міцності бандажа після ударно-точкової та плазмової технології перевищує в 1,5 та 1,2 рази, відповідно, границю втомної міцності бандажа після нанесення маркування гарячим способом.

### Лазерне гравірування

За даним методом зображення на поверхню метала наноситься сфокусованим лазерним променем. Температура на поверхні металу досягає його температури випаровування. На сьогодні лазерне гравірування витісняє традиційні методи маркування. Однак даних щодо впливу такої технології на структуру та властивості бандажа в зоні нанесення знаку маркування немає.

### Електроіскрове (електроерозійне) маркування

Як одним із альтернативних методів можна застосувати при маркуванні бандажів широковідому електроіскрову технологію.

Електроіскровий спосіб маркування заснований на ефекті розплавлення та випаровування мікропорцій металу під впливом імпульсів електричного струму, що проходять в каналі розряду між поверхнею виробу (змоченою рідким середовищем) і електродом-інструментом.

Переваги даної технології маркування бандажів полягатимуть у наступному: відсутність залишкових напружень; контроль за мінімальним радіусом концентраторів при маркуванні; цифри при маркуванні можна виконувати зі збільшеними радіусами; можливість виконувати випуклі цифри маркування. Однак, для перевірки ефективності електроіскрової технології нанесення клейма на бічну поверхню бандажів необхідно провести комплекс експериментальних випробувань та досліджень.

### Висновки

1. Встановлено, що мікроструктура поверхневого шару бандажу під знаком маркування, нанесеного гарячим штампуванням, містить шар оксидів, окалину, глобулярні

оксидні включення, границі зерен декоровані плівковими окислами та в наявності знеміцнений знеуглецьований шар, що сумарно сприяють зародженню втомних тріщин в умовах високих експлуатаційних навантажень.

2. З метою підвищення експлуатаційної надійності бандажів та попередження передчасного їх руйнування по знакам маркування, існує потреба у перегляді або заміні існуючого методу нанесення клейма.

### Література

1. Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена. Технические условия: ГОСТ 398-96. – [Действителен от 2000-01-01]. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2000. – 10 с.

2. Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія [О.М. Бялік, С. Є. Кондратюк, М.В. Кіндрачук, В.С. Черненко]. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2006. – 328 с.

3. Кушноро А. В. Исследование горячей, ударно-точечной и плазменной маркировки локомотивных бандажей / А. В. Кушноро, Г.И. Брюнчиков, А.В. Сухов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. – 2007. – №3. – С. 11–17.

4. Курасов Д.А. Повышение долговечности бандажей колесных пар подвижного состава / Д.А. Курасов. – М.: Транспорт, 1981. – 160 с.

5. Исследование причин преждевременного разрушения локомотивных бандажей и разработка мероприятий по повышению эксплуатационного ресурса бандажей / А.А. Бакунова, Я.И. Космацкий, Е.В. Храмов [и др.] // Вектор науки ТГУ. – 2013. – №3. – С. 32–36.

6. Мерсон Д. Л. Анализ причин разрушения бандажей локомотивных по знакам маркировки / Д.Л. Мерсон, А.Ю. Виноградов // Техника железных дорог. – 2013. – №3 (23). – С. 74–77.

7. Матеріали металеві. Визначення твердості за Брінелем. Ч.1.-Ч.4. (ISO 6506-1:2005): ДСТУ ISO 6506-1:2007 – ДСТУ ISO 6506-4:2007. – [Чинні від 2009-01-01, 2010-01-01]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 16 с. – (Нац. стандарти України).

8. Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений: ГОСТ 1778-70. – [Действителен от 1973-01-01]. – Москва: Государственный комитет стандартов Совета

Министров СССР, 1973. – 32 с.

9.Металлы. Метод испытания на растяжение: ГОСТ 1497-84. – [Действителен от 1986-01-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 25 с.

10.Металлы. Метод испытаний на ударный изгиб при пониженной, комнатной и повышенных температурах: ГОСТ 9454-78. – [Действителен от 1979-01-01]. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 1979. – 10 с.

11.Втомне руйнування бандажа колісної пари по знаку маркування / Р.Ю. Дьомін, В.С. Константіди, В.С. Назаренко, Л.Ф. Яценко [та ін.] // Залізничний транспорт України. – 2014. – №5. – С. 47–50.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

### Яценко Людмила Федорівна

начальник науково-дослідного відділу матеріалознавства, кандидат фізико-математичних наук філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця».

Тел.: +38 097 729 66 90,

E-mail: yatcenko1520mm@gmail.com

### Повисший Володимир Миколайович,

начальник відділення матеріалознавства та управління якістю продукції філія «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця».

Тел.: +38 067 501 30 29

E-mail: omukp@gmail.com

## Практичний досвід

УДК 629.423

*Інженери В.О. Петренко, О.Г. Серняєв, Ю.В. Браславець*

### УСУНЕННЯ ДЕФЕКТІВ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ ЗВАРЮВАННЯ ЗГІДНО ДІЮЧИХ ПРАВИЛ РЕМОНТУ

*Ключові слова:* зварювання, усунення, дефектів, несучі конструкції, тяговий рухомий склад

#### Вступ та постановка проблеми

Головною умовою забезпечення безпечної експлуатації тягового рухомого складу (далі – ТРС) залізничного транспорту, який вичерпав свій строк служби [1] є якісне виконання ремонту [2] руйнувань його несучих конструкцій. Неякісне усунення дефектів несучих конструкцій ТРС призводить до появи додаткових напружень в конструкції та викликає появу нових тріщин. Такі випадки неодноразово фіксувалися на ремонтних підприємствах ПАТ «Укрзалізниця» (далі – УЗ). Причиною цього є недобросовісне відношення окремих співробітників до виконання робіт та недосконала система вимог до зва-

ривальних робіт, яка не передбачає повного документального слідкування за процесом ремонту несучих конструкцій методом зварювання [3].

#### Літературний огляд

До недавнього часу ремонтні підприємства та депо УЗ під час проведення робіт з відновлення пошкоджених несучих конструкцій ТРС керувалися вимогами інструктивних вказівок ЦТтеп/251 [4]. Ці інструктивні вказівки були розроблені та затверджені ще у 1975 році і на даний час вже не могли в повній мірі відповідати сучасним вимогам ремонту ТРС. Тому фахівцями відділу зварювання та ремонту філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця» (далі – НДКТІ) у 2014 році розроблені та введені в дію наказом Укрзалізниці Правила ремонту ЦТ-0227 [5].

Рекомендації по виконанню вимог ЦТ-0227 та основні нововведення по відношенню до Інструктивних вказівок ЦТтеп/251 наведено в цій статті.