

УДК 621.791.9:629.4027

DOI: 10.34029/2311-4061-2019-130-1-04-10

Канд. фіз.-мат. наук Яценко Л.Ф.

Інженер Петренко В.О.

Інженер Наріжна Т.М.

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОВЕРХНІ ЗМІЦНЕНИХ ГРЕБЕНІВ БАНДАЖІВ КОЛІС ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ПІСЛЯ ПЛАЗМОВОЇ ОБРОБКИ

***Ключові слова:** плазмова поверхнева обробка, гребінь бандажа, структура матеріалу, властивості металу.*

Вступ та постановка проблеми.

В останні роки все більш гостро постає проблема зменшення зносу гребенів колісних пар тягового рухомого складу і бічної грані головок рейок, що негативно впливає на їх нормативні геометричні та експлуатаційні параметри. Із зменшенням їх до мінімальних величин, колісні пари вилучаються із експлуатації для здійснення повного відновлення поверхонь кочення коліс із виконанням обточок за ремонтними профілями, що в результаті призводить до зменшення їх ресурсу.

Статистично встановлено, що знос гребеня росте швидше за прокат колеса приблизно в 1,5-3 рази, а загальна величина зносу перевищує встановлені норми у ВНД 32.0.07.001-2001 [1] в 5-15 разів. Насамперед, проблема бічного зносу коліс пов'язана з низкою зовнішніх та експлуатаційних факторів, а саме: стан верхньої будови колії та рухомого складу, а також зміна структурних параметрів матеріалу бандажів коліс, яка може відбутися в процесі експлуатації [2-4].

Для відновлення працездатності та збільшення ресурсу колісних пар, а саме гребеня коліс за рахунок локального поверхневого зміцнення, використовуються різні технології, зокрема технологія загартовування плазмою. Даний спосіб зміцнення дозволяє одержувати твердий поверхневий шар матеріалу заданої глибини й ширини, забезпечуючи при цьому високу зносостійкість та міцність

зміцненого шару при експлуатації загартованих бандажів без погіршення роботи рейок.

На сьогодні плазмове зміцнення гребенів бандажів без викочування та з викочуванням колісних пар рухомого складу впроваджено у шести локомотивних депо регіональних філій АТ «Укрзалізниця» [5], а саме:

- регіональна філія «Донецька залізниця» (депо «Красний Лиман»);

- регіональна філія «Південно-Західна залізниця» (депо «Жмеринка»);

- регіональна філія «Одеська залізниця» (депо «Знам'янка», «Котовськ»);

- регіональна філія «Львівська залізниця» (депо «Львів-Захід», «Мукачєво»).

Виконання локомотивними депо регіональних філій залізниці технології плазмowego зміцнення здійснюється згідно вимог Технологічної інструкції по плазмowому зміцненню гребенів колісних пар тягового рухомого складу (далі – Інструкція) [6] (введена наказом від 07.07.1999 р. №202-Ц).

Основні вимоги до параметрів бандажів та характеристик загартованої поверхні гребенів до та після проведення технології плазмowego зміцнення наступні: 1) товщина бандажа повинна складати > 55 мм, шорсткість робочої поверхні гребеня $R_z \leq 80$ мкм; 2) місце розташування загартованої зони на гребені бандажа показано на рис. 1; 3) поверхнева твердість на межі загартованої зони повинна складати 260-280 НВ; 4) ширина загартованої зони повинна знаходитися в межах 25-35 мм; 5) не допускається деформаційна сітка поверхневого шару металу на межі загартованого шару; 6) середня твердість загартованої зони повинна знаходитися в межах 380-430 НВ [6].

Однак, враховуючи надзвичайну актуальність і наявну літературу з даної проблеми інтенсивного зносу гребенів бандажів, та застосування для вирішення цієї проблеми однієї із можливих технологій – локальне поверхневе зміцнення металу потоком плазми, становить інтерес проведення детальних досліджень структурних і фізико-механічних характеристик матеріалу локомотивного бандажа для визначення впливу технологічних режимів загартовування поверхні, не допуска-

ючи при цьому утворення на поверхні тріщин та подальшого викришування металу. Таким чином, це дасть змогу зменшити випадки передчасного виходу з ладу бандажу

або зниження його ресурсу, у зв'язку з проведенням обточки поверхні коліс згідно вимог ВНД 32.0.07.001-2001 [1].

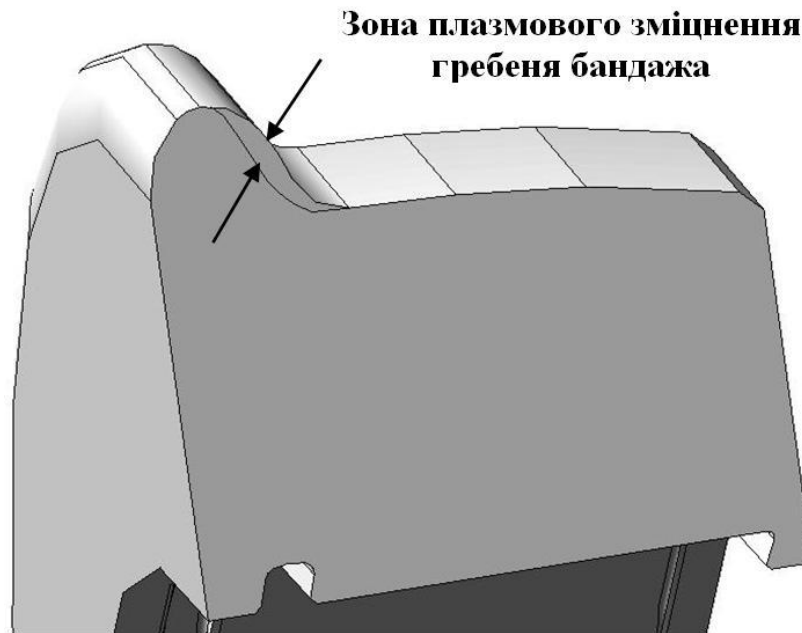


Рис. 1 – Зовнішній вигляд бандажа коліс із розташуванням зони плазмового зміцнення згідно вимог Інструкції [6]

Мета роботи – дослідження структурних та фізико-механічних властивостей зміцнених поверхневих шарів матеріалів гребенів бандажів коліс із урахуванням впливу термічної обробки до та після зміцнення, та технологічних режимів проведення зміцнюючої плазмової поверхневої обробки.

Об'єкт досліджень – фрагменти локомотивного бандажа після плазмового зміцнення поверхні його гребеня. Товщина бандажа складала 67 мм, товщина гребеня – 27,5 мм. Матеріал бандажа – сталь марки 2 (ГОСТ 398-96 [7]). Хімічний склад дослідженої сталі [7]: 0,57-0,65 %C; 0,22-0,45% Si, 0,60-0,90 % Mn; до 0,15% V; <0,035 % P; <0,040% S.

Параметри плазмового зміцнення поверхні гребенів бандажів. Плазмове зміцнення гребеня бандажа було проведено секторально при варіації різних режимів на установці УВПЗ-2М, укомплектованій спеціальним плазмотроном. Для встановлення впливу високотемпературного відпуску на структуру та властивості металу гребеня бандажа в зоні його зміцнення виконувалося плазмове гартування з попереднім відпуском та плазмове гартування без попереднього відпуску.

Методи дослідження. Структурні дослідження приповерхневих шарів зміцненого гребеня та основного металу бандажа проводились за допомогою оптичної мікроскопії на металографічному мікроскопі Axiovert 25CA (Carl Zeiss). Вимірювання твердості (ГОСТ 9012 [8]) виконувалося на твердомірі Брінелля НВА-2 та мікротвердості (ГОСТ 9450 [9]) на мікротвердомірі ПМТ-3. Вимірювання ширини та глибини загартованої зони гребеня бандажа виконувалося за допомогою штангельциркуля ШЦ-I-150 та програмного забезпечення «Відео-Тест Структура 5.2».

Експериментальні результати та їх обговорення. Загальний вид загартованих зон гребеня бандажа після плазмового зміцнення зображено на рисунку 2 (зміцнена зона має темніше забарвлення порівняно із основним металом). Як видно із рисунку, сформовані зони після плазмового зміцнення не мають ідентичний зовнішній вигляд, що ймовірно, пов'язано із процесом виконання та дотримання термічного циклу плазмового зміцнення.

У таблиці 1 наведені результати вимірювання ширини та глибини загартованої зони

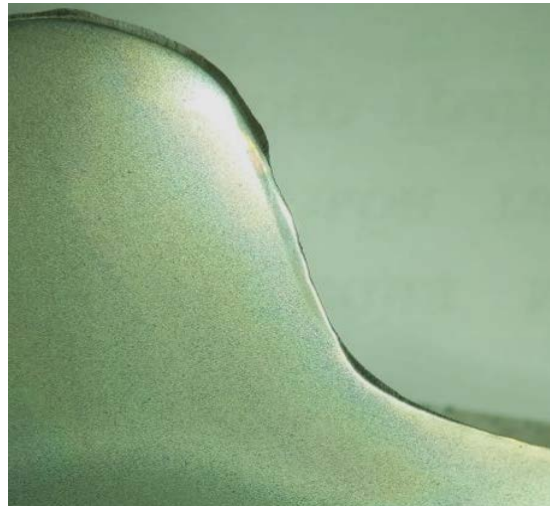
для гребеня бандажа в залежності від застосування високотемпературного відпуску до та після плазмового зміцнення. Експериментально визначено, що проведення попереднього відпуску матеріалу бандажа сприяє формуванню більшої ширини загартованої зони, однак не досягаючи при цьому глибини зони більше 1 мм.

В роботі [10] зазначено, що вихідна структура матеріалу впливає не лише на процеси структуроутворення при плазмовій обробці,

але і на глибину зміцненого шару. Це пояснюється тим, що різні вихідні структури (різне співвідношення структурних складових: фериту та перліту) мають неоднакову теплопровідність внаслідок відмінності міжфазної та міжграничної поверхні, яка відокремлює ферит від карбіду (цементиту). Вихідну структуру бандажної сталі, на якій проводилося плазмове зміцнення зображено на рис. 4



а)



б)



в)



г)

Рис. 2 – Загальний вид загартованих зон гребеня бандажа після плазмового зміцнення, де: а), б) – гартування із попереднім високотемпературним відпуском; в), г) – гартування без попереднього високотемпературного відпуску

Варто відзначити, що зона зміцнення гребеня бандажа є нерівномірною за шириною обробленої поверхні:

- для плазмового зміцнення з попереднім високотемпературним відпуском максимальна глибина центральної частини складає

0,975 мм, до краю обробленої поверхні вона зменшується і складає 0,174 мм;

- для плазмового зміцнення без попереднього високотемпературного відпуску максимальна глибина центральної частини складає 1,028 мм, до краю обробленої поверхні вона зменшується і складає 0,157 мм.

Отримані експериментальні дані з визначення ширини та глибини зміцненої зони показали (табл.1), що вибір оптимального режиму плазмової обробки дозволяє забезпечити отримання рівномірного зміцненого шару, як за шириною загартованої доріжки, так і по колу бандажа.

Дослідження мікроструктури загартованої зони гребеня бандажа після плазмового зміцнення показали формування в приповерхневих шарах дрібнодисперсної мартенситно-сорбітної структури з мінімальною величиною зерна ($D_3 = 8 \dots 12$ мкм) (рис.3). Такі особливості утвореної мікроструктури після плазмової обробки можна пояснити надзвичайно високими швидкостями нагріву і наступного охолодження за рахунок відводу тепла в холодні ділянки металу [10, 11]. Також, це призводить до того, що структурні та фазові складові бандажної сталі після плазмової обробки характеризуються підвищеною дисперсністю і більш високим рівнем внутрішніх (структурних) напружень II і III роду, а також можливо вираженою хімічною неоднорідністю.

Виявлені мікротріщини в зміцненому приповерхневому шарі розповсюджуються переважно перпендикулярно поверхні на глибину до 200 мкм (рис.3, з). Формування таких мік-

ротріщин можна пояснити тим, що у процесі загартування бандажу поблизу поверхні виникають термічні напруження, які перевищують межу текучості матеріалу. Ці напруження можуть призводити до різкого зниження пластичності (до 2...3%), появи тріщин та крихкості матеріалу. Крім того, у роботі [4] зазначено, що найбільший рівень залишкових напружень зберігається в робочій області бандажів – в області переходу від поверхні катання до гребеня колеса. Однак, для встановлення істинних структурних причин зародження і розповсюдження тріщин, та уточнення глибини області їх локалізації в металі приповерхневих шарів гребенів бандажів необхідно провести більш детальні дослідження на різних структурних рівнях (від зеренного до дислокаційного).

Сформована мікроструктура загартованої зони (дрібнодисперсна мартенситно-сорбітна (рис. 3)) сприяє зміцненню поверхневого шару з поступовим переходом в феритоперлітну структуру основного металу (рис. 4) та забезпечує наступні значення твердості в поверхневих шарах гребеня дослідженого бандажа (рис. 5):

- після гартування з попереднім високотемпературним відпуском поверхнева твердість загартованої зони складає 530 НВ, на межі загартованої зони твердість становить 249 НВ;

- після гартування без попереднього високотемпературного відпуску поверхнева твердість загартованої зони складає 383 НВ, на межі загартованої зони твердість становить 275 НВ.

Табл. 1 – Результати вимірювання ширини та глибини загартованої зони гребеня фрагмента бандажа після плазмового зміцнення

Вид обробки фрагмента бандажа	Загартована зона гребеня після плазмового зміцнення	
	Ширина, мм	Максимальна глибина, мм
Плазмове зміцнення з попереднім високотемпературним відпуском	15	0,975
Плазмове зміцнення без попереднього високотемпературного відпуску	12	1,028

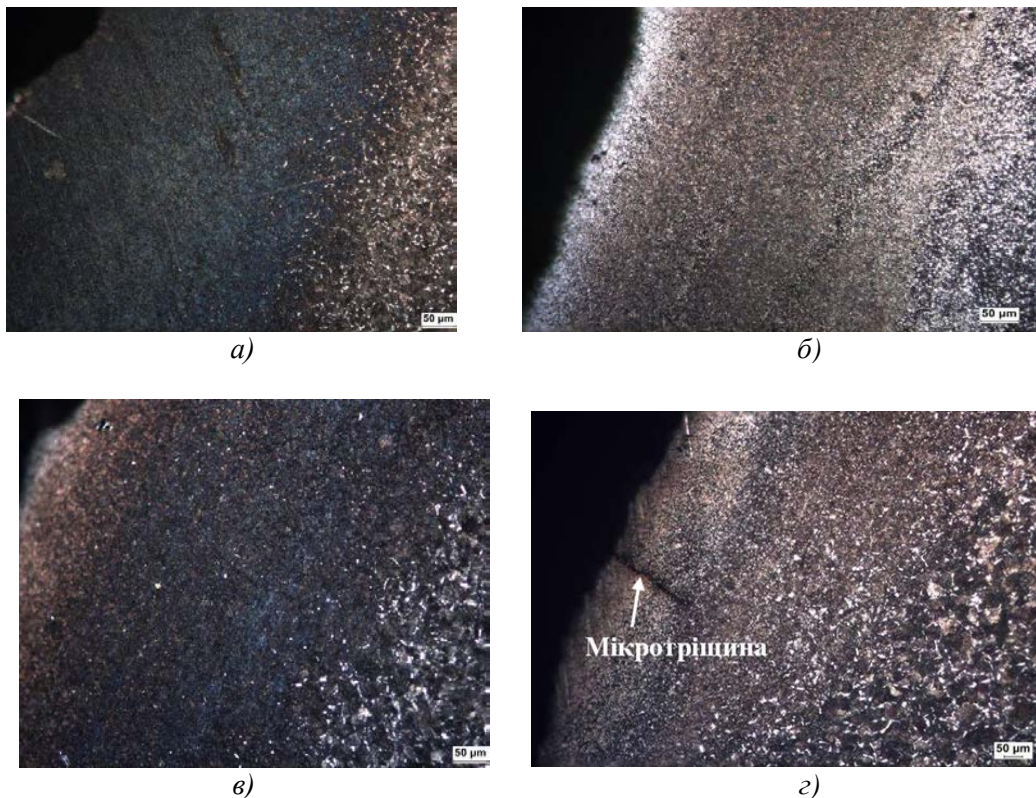


Рис. 3 – Мікроструктура загартованої зони гребенів бандажів після плазмового зміцнення, де: а, б – гартування із попереднім високотемпературним відпуском; в, г – після гартування без попереднього високотемпературного відпуску (збільшення $\times 100$, $\times 200$)

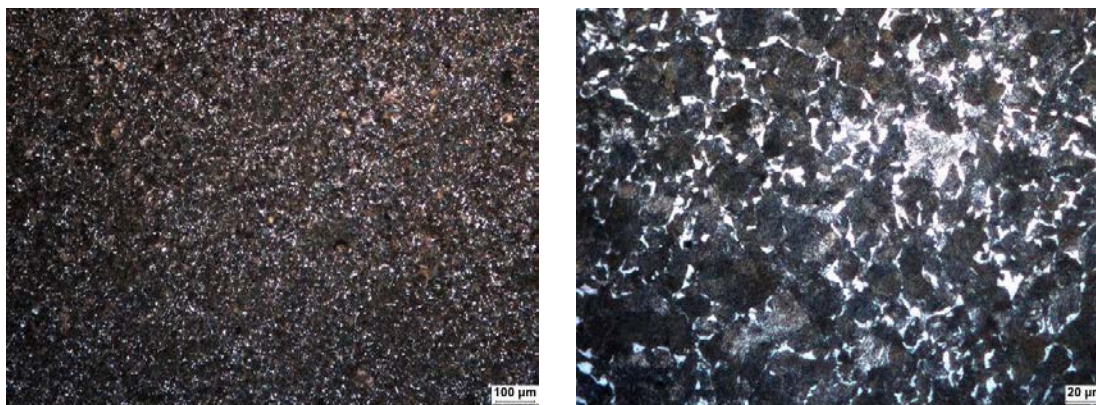


Рис. 4 – Мікроструктура основного металу фрагментів бандажів (збільшення $\times 100$, $\times 500$)

На рисунку 6 зображені результати вимірювання середнього значення мікротвердості зміцнених поверхневих шарів гребеня бандажа. Для гребеня бандажа зміцненого з попереднім високотемпературним відпуском максимальне значення мікротвердості на глибині 50 мкм від поверхні складає 420 кгс/мм². При подальшому аналізі розподілу мікротвердості спостерігається її зниження до 360 кгс/мм² на глибині від 50 – 800 мкм, та від глибини 800 мкм мікротвердість складає 235 кгс/мм², що характеризує незміцнену

зону бандажа – основний метал. Для гребеня бандажа зміцненого без попереднього високотемпературного відпуску максимальне значення мікротвердості на глибині 50 мкм від поверхні складає 600 кгс/мм². При подальшому аналізі розподілу мікротвердості спостерігається її значне зниження до 270-300 кгс/мм² на глибині від 50 – 600 мкм, та від глибини 600 мкм мікротвердість складає 240 кгс/мм², що характерно для основного металу бандажа.

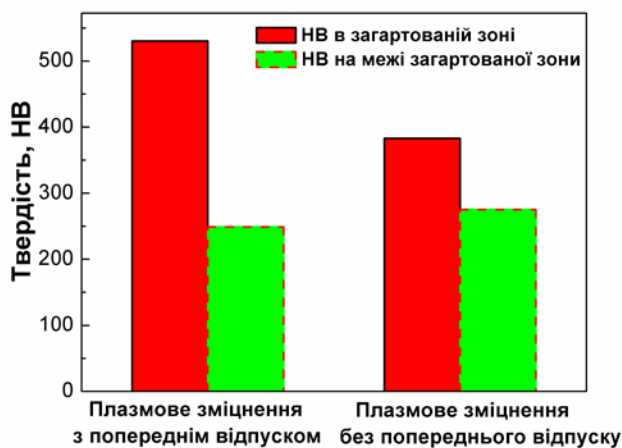


Рис. 5 – Твердість загартованої зони гребенів бандажів після плазмового зміцнення

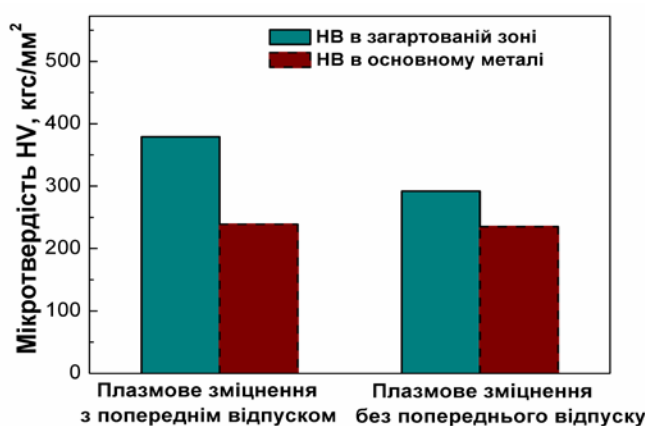


Рис. 6 – Мікротвердість загартованої зони гребеня бандажа після плазмового зміцнення

Результати вимірювання твердості та мікротвердості показують, що наявність термічного впливу (проведення плазмового зміцнення з попереднім високотемпературним відпуском) відіграє важливу роль при формуванні структури та властивостей поверхневих шарів гребенів бандажів коліс, і призводить до їх зміцнення.

Висновки.

1. Структурні та фізико-механічні зміни в поверхневих шарах гребеня бандажа після проведення плазмового зміцнення залежать від температурних режимів гартування із попереднім високотемпературним відпуском та гартування без попереднього високотемпературного відпуску.

2. Експериментальні результати дослідження структури та властивостей поверхні зміцнених гребенів бандажів колісних пар тягового рухомого складу показали, що необхідно оптимізувати та скорегувати режими зміцнюючої плазмової обробки з метою під-

вищення твердості, зносостійкості й експлуатаційної надійності залізничних коліс.

3. З метою підвищення експлуатаційних властивостей матеріалу гребенів бандажів шляхом застосування плазмової поверхневої обробки, рекомендується здійснювати варіацію різних діапазонів температур для попередньої термообробки та встановлювати її вплив на структуру і твердість металу в зоні гребенів.

Література

1. Інструкція з формування, ремонту й утримання колісних пар тягового рухомого складу залізниць України колії 1520 мм // ВНД 32.0.07.001.2001. Міністерство транспорту України. – Донецьк: ТОВ «Либідь», 2001. – 152 с.
2. Особенности структуры поверхностных слоев металла бандажей железнодорожных колес после плазменной обработки / Л.И. Маркашова, Г.М. Григоренко, М.Л. Валиевич [и др.] // Автоматическая сварка. – 2005. – № 1. – С. 22 – 25.
3. Взаимосвязь структуры и физико-механических свойств поверхностных слоев бандажей колес при плазменной обработке / Л.И. Маркашова, Г.М. Григоренко, С.В. Петров [и др.] // Современная электрометаллургия. – 2005. – №4. – С. 41- 48.
4. Валиевич М.Л. Структура та тріщиноутворення робочих поверхонь зміцнених бандажів залізничних коліс: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук.: спец. 05.16.01 «Металознавство та термічна обробка металів» / М.Л. Валиевич. – Київ, 2009. – 15 с.
5. Сапронова С.Ю. Ресурсозбереження при відновленні коліс залізничного рухомого складу / С.Ю. Сапронова, В.П. Ткаченко, Є.П. Зуб // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2017. – № 3. – С. 183 – 189.
6. Технологічна інструкція по плазмовому зміцненню гребенів колісних пар тягового рухомого складу (Введена наказом від 07.07.1999 Р. №202-Ц).
7. Бандажи из углеродистой стали для подвижного состава железных дорог широкой колеи и метрополитена. Технические условия: ГОСТ 398-96. – [Чинний від 1998-01-01]. – Мінськ: МССМС, 1997. – 12 с. – (Міждержавний стандарт).

8. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю: ГОСТ 9012-59. – [Чинний від 1980-01-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1993. – 44 с. – (Міждержавний стандарт).

9. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников: ГОСТ 9450-76. – [Чинний від 1977-01-01]. – Москва: Издательство стандартов, 1993. – 36 с. – (Міждержавний стандарт).

10. Мещерякова Т. М. Вплив мікроструктури на зносостійкість колісної сталі після плазмового зміцнення / Т. М. Мещерякова, І. П. Лаушник, С.А.Беспалов, М.О.Кузін // Вісник ДУ «Львівська політехніка» «Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні і приладобудуванні». – 2000. – №412. – С. 120 – 124.

11. Канаев А.Т. Исследование структурообразования в гребнях колесных пар, упрочненных плазменной закалкой // А.Т. Канаев, К.Т. Кусаинова, А.В. Богомоллов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2012. – №12. – С. 48-51.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Яценко Людмила Федорівна,

к. ф.-м. н., начальник науково-дослідного відділу матеріалознавства філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний

інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця».

Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 097 729 66 90.

E-mail: yatcenko1520mm@gmail.com.

Петренко Вячеслав Олександрович,

начальник Науково-впроваджувального центру філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця».

Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 063 452 62 02.

E-mail: petrenko1520mm@gmail.com.

Наріжна Тетяна Миколаївна,

старший науковий співробітник науково-дослідного відділу матеріалознавства філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» АТ «Укрзалізниця».

Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, 03038, Україна.
Тел.: +38 068 350 48 95.

E-mail: tmnarizhna1520mm@gmail.com.

«ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ»

ДЕ ПЕРЕДПЛАТИТИ ВИДАННЯ?

Оформити передплату на **науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України»** на 2019 рік, можливо у кожному поштовому відділенні України за **Каталогом видань України** або на **офіційному сайті ДП «Преса»** (<http://presa.ua>).

Періодичність видання журналу – 4 рази на рік.

Передплатний індекс: для індивідуальних передплатників – 74126, для підприємств і організацій – 40294.

Передплату (річну, на півріччя чи на один кварталний випуск) підприємства та фізичні особи також можуть **оформити на договірних умовах у видавця журналу** філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця», за адресою:

03038, м. Київ, вул. І. Федорова, 39.

Електронна пошта: ztu1520mm@gmail.com.

Тел.: +38 (044) 465-38-11; +38 (044) 309-68-93.