

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 669.14.018.294:629.4.027.4

І. О. ВАКУЛЕНКО<sup>1\*</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>1</sup>, М. М. ГРИЩЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технологія матеріалів», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, 49010, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. пошта dnyuzt\_textmat@ukr.net

### ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ АТЕРМІЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОМ'ЯКШЕННЯ МЕТАЛУ ЕЛЕМЕНТІВ РУХОМОГО СКЛАДУ

**Мета.** Метою роботи є оцінка можливості використання атермічних технологій пом'якшення металу елементів кузова і колеса залізничного вагону. **Методика.** Матеріалом для дослідження були вуглецеві сталі фрагмента ободу залізничного колеса з 0,55 % С, 0,74 % Мп, 0,33 % Si і сталь 20. Сталь залізничного колеса досліджували в стані після термічного зміцнення і холодного наклепу після експлуатації. Сталь 20 досліджували після холодної пластичної деформації прокаткою. Електричну імпульсну обробку (ЕО) здійснювали на спеціальному устаткуванні. В якості характеристики міцності металу використовували твердість за Віккерсом. Дослідження мікроструктури здійснювали з використанням світлового та електронного мікроскопів. **Результати.** При експлуатації елементів рухомого складу різного рівня міцності виникнення ушкоджень на металевих поверхнях обумовлене одночасною дією достатньо складних навантажень. Враховуючи, що формування осередків руйнування в значній мірі визначається станом об'ємів металу поблизу з місцями максимальних діючих напружень, розробка технологій зниження темпу накопичення дефектів або рівня діючих напружень дозволить подовжити термін роботи елементів рухомого складу. Після ЕО фрагменту ободу колеса змінам твердості відповідали закономірні зміни внутрішньої будови металу. Пропорційно зростанню ступеню холодної деформації прокаткою міцність низьковуглецевої сталі зростає. Знакозмінне вигинання холоднодеформованого листового прокату супроводжується зниженням міцності, яке обумовлене змінами субструктури металу. **Наукова новизна.** Процес пом'якшення наклепаної сталі супроводжується субструктурними змінами, які більшою мірою притаманні зміцненню від холодної пластичної деформації: диспергування дислокаційної чарункової структури, формування нових та переміщення сформованих субмеж. **Практична значимість.** Впровадження в умовах ремонтної бази залізничних депо технології електричної імпульсної обробки дозволить без застосування нагріву металу досягти необхідного рівня пом'якшення наклепаної по поверхні кочення сталі залізничного колеса. Наведена обробка дозволить знизити твердість і подовжити термін використання різців при відновленні профілю катання залізничного колеса.

**Ключові слова:** вуглецева сталь; залізничне колесо; твердість; субструктура; електрична імпульсна обробка; знакозмінний вигин

#### Вступ

В процесі експлуатації елементи рухомого складу піддаються достатньо складним навантажанням, які у більшості випадків можуть мати непередбачувані наслідки. Так, прошарки металу залізничного колеса поблизу з поверхнею кочення достатньо інтенсивно насичують-

ся дефектами кристалічної будови [6, 3]. Якщо нуль-мірні дефекти (вакансії, дислоковані атоми) обумовлюють швидкість розвитку процесів дифузійного масопереносу, то одномірні дислокації визначають особливості формування внутрішніх напружень, розвитку процесів деформаційного зміцнення та ін. Процеси зародження дислокацій, темп їх приросту та розта-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

шування в металі визначають умови формування зародків ушкоджень після вичерпання ресурсу їх накопичення [6, 4]. На підставі цього використання технологій, що забезпечують зниження рівня накопичених дефектів кристалічної будови в металі, можуть розглядатися як засоби підвищення ресурсу та безпеки експлуатації рухомого складу або окремих його елементів. В порівнянні з термічними технологіями пом'якшення холоднодеформованого металу [1], достатньо відомі атермічні обробки, які дозволяють знизити рівень характеристик міцності без застосування нагріву. Так ефект пом'якшення, що заснований на використанні механічних впливів, може бути досягнутим при застосуванні мікропластичних деформацій, які за напрямком своєї дії не співпадають з попередньо сформованим деформованим станом [2, 3]. Аналогічний за своїм характером вплив на розвиток процесів пом'якшення можна спостерігати при деформації сталей зі структурами, що сформовані за зсувним механізмом [10], при використанні дії імпульсів електричного струму [5, 7].

### Мета

Метою роботи є оцінка можливості використання атермічних технологій пом'якшення металу елементів кузова і колеса залізничного вагону.

### Методика

Матеріалом для дослідження були вуглецеві сталі фрагменту ободу залізничного колеса, з вмістом С – 0,55 %, Mn – 0,74 %, Si – 0,33 % та сталь 20 (0,18 % С), яка подібна металу кузовних елементів вагону. Сталь залізничного колеса досліджували в стані після термічного зміцнення при виготовленні і холодного наклепу після експлуатації. Сталь 20 досліджували після холодної пластичної деформації прокаткою на 20 %.

Дослідження мікроструктури здійснювали з використанням світлового та електронного мікроскопів. Аналіз структурних складових проводили з використанням методик кількісної металографії. Параметри тонкої кристалічної будови металу досліджували з використанням методу рентгенівського структурного аналізу. При цьому густину дислокацій визначали по кристаллографічній площині (211). В якості ха-

рактеристики міцності металу використовували твердість за Віккерсом.

Електричну імпульсну обробку здійснювали на спеціальному устаткуванні.

### Результати

За рахунок підвищеної початкової концентрації дефектів кристалічної будови елементи рухомого складу зі сталей у високоміцному стані в процесі експлуатації достатньо швидко досягають максимальної межі за кількістю дефектів, перебільшення якої призводить до формування ушкоджень металу. Застосування технологій пом'якшення металу дозволить подовжити безаварійну роботу рухомого складу.

Дійсно, як показано в [4], момент формування неоднорідностей в дислокаційному розподілі в значній мірі залежить від розміру зерна фериту і товщини феритного проміжку перлітної колонії. За умови односпрямованого деформування зростання розміру зерна фериту супроводжується зрушенням моменту розпаду рівномірного розподілу дислокацій на періодичні структури [11] у бік менших деформацій [2]. При зміні напрямку деформації відбувається розвиток процесів анігіляції дефектів кристалічної будови і, як наслідок цього, досягається ефект пом'якшення металу. Аналіз дислокаційної чарункової структури ілюструє не тільки зниження накопиченої кількості дефектів кристалічної будови холоднодеформованого металу, але і розвиток змін, подібний процесам її вдосконалення. Так, після холодної пластичної деформації прокаткою на 20 % в сталі з 0,18 % С вже сформована недосконала дислокаційна чарункова структура фериту (рис. 1). Про це свідчать достатньо широкі субграниці, в яких спостерігається відносно низька густина дислокацій. Одночасно в тілі самих чарунок присутня певна кількість незв'язаних дислокацій (див. рис. 1).

Після чотирьох циклів знакозмінного вигину в чарунковій структурі холоднокатаної сталі можна спостерігати появу перших ознак розвитку процесів вдосконалення. Підтверджується наведене положення зниженням накопиченої загальної кількості дислокацій з одночасним зменшенням ширини субмеж і початком очищення тіла чарунок від незв'язаних дислокацій (рис. 2).

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

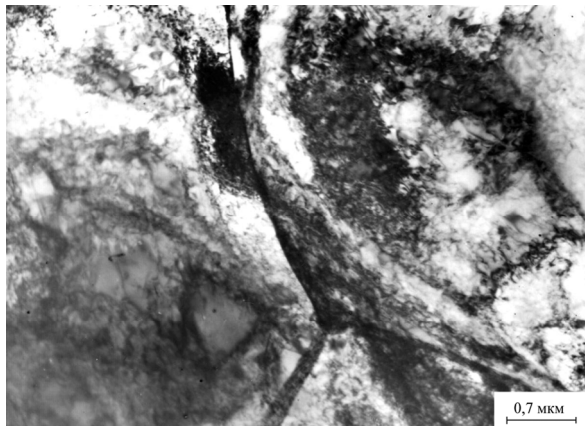


Рис. 1. Дислокаційна чарункова в структурно вільному фериті в сталі з 0,18 % С після холодної пластичної деформації прокаткою на 20 %

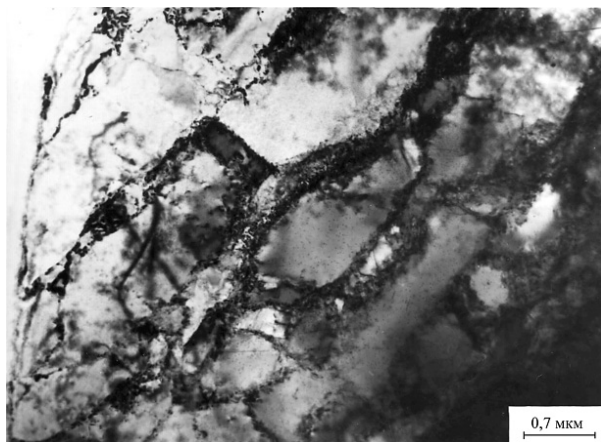


Рис. 2. Дислокаційна чарункова структура в структурно-вільному фериті в сталі з 0,18 % С після холодної прокатки на 20 % і 4 циклів знакозмінного згину

Для перлітних колоній вуглецевої сталі (0,18 % С) формування дислокаційної чарункової структури неминуче буде залежати від темпу приросту густини дислокацій у феритному проміжку і її подальшому розподілі (рис. 3). Як показано в працях [6, 2], підвищення дисперсності перлиту супроводжується зниженням темпу накопичення дислокацій при деформації і зсувом початку формування немонотонного розподілу дислокацій у бік більших сумарних деформацій. Підтверджується це пропорційним приростом максимально можливої деформації при волочінні сталі зі збільшенням дисперсності перліту.

Враховуючи, що при експлуатації рухомого складу практично всі елементи піддаються чи-

сельним циклічним навантаженням, розвиток процесів втоми буде, в першу чергу, визначати умови формування осередків їх руйнування. На підставі цього дисперсність структурних складових повинна у першу чергу визначати опір металу зародженню ушкоджень. Наведене положення однозначно підтверджується існуванням залежності характеристик міцності від розміру структурного параметра металу або сплаву. Так, незалежно від схеми навантаження (односпрямоване або реверсивне), під час розвитку процесів втоми міцність сталі від розміру структурного елемента підпорядковується відомої залежності [12, 13]:

$$\sigma_{-1} = \sigma'_i + k'_y \cdot \lambda^{-0.5},$$

де  $\sigma_{-1}$ ,  $\sigma'_i$ ,  $k'_y$  – відповідно межа втоми і параметри рівняння Холла–Петча;  $\lambda$  – товщина феритного прошарку перлітної колонії.

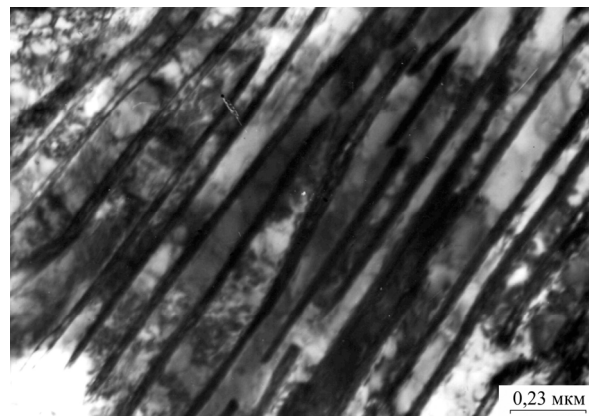


Рис. 3. Дислокаційна чарункова структура перлітної колонії сталі після холодної пластичної деформації прокаткою на 20 %

Таким чином, для низько вуглецевої сталі зниження межі міцності при втомі зі зростанням розміру зерна фериту пов'язане з прискоренням процесу розпаду однорідного розподілу дислокацій на періодичні структури і з подальшим їх вдосконаленням [12]. Для середньо- та високо вуглецевих сталей з перлітною структурою диспергування колоній супроводжується одночасним зменшенням як товщини цементних пластин, так і феритного проміжку між ними. Зменшення товщини феритного прошарку призводить до зменшення довжини вільного пробігу дислокацій в фериті перліту і, як наслідок цього, до зниження вірогідності блокування їх руху, аж до моменту виходу на міжфаз-

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

ну поверхню розподілу [13]. При цьому, чим більш тонкі пластини цементиту, тим вищий ступінь пластичної деформації вони можуть витримати без руйнування [1, 2]. Аналогічний вплив диспергування структурних складових можна спостерігати для структур, що сформовані за зсувним або проміжним механізмами [9].

Після чотирьох циклів знакозмінного вигину в чарунковій структурі холоднокатаної сталі можна спостерігати появу ознак розвитку процесів вдосконалення. Підтверджується наведене положення, аналогічно як і для зерен структурно вільного фериту (рис. 1, 2), зниженням накопиченої загальної кількості дислокацій, з одночасним зменшенням ширини субмеж і початком очищення тіла чарунок від незв'язаних дислокацій (рис. 4).

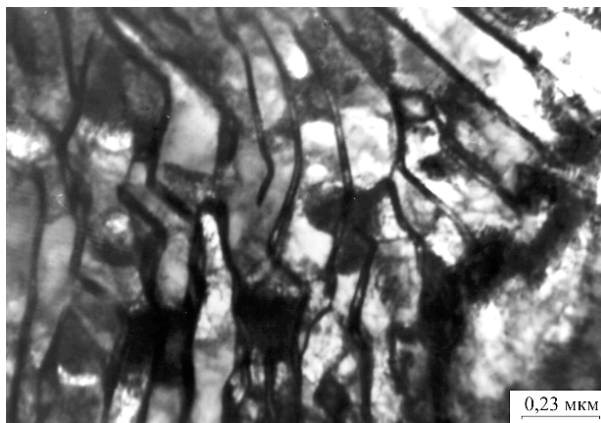


Рис.4. Дислокаційна чарункова структура перлітної колонії сталі з 0,18 % С після холодної прокатки на 20 % і 4 циклів знакозмінного згину

Таким чином, можна з визначеною впевненістю вважати, що використання знакозмінного деформування, коли ступінь деформації за цикл приблизно дорівнює значенню появи перших ознак не оберненого руху дислокацій, дозволяє знижувати накопичену концентрацію дефектів кристалічної будови. За зовнішніми ознаками впливу на властивості міцності холоднодеформованої вуглецевої сталі представлена обробка (знакозмінне деформування) може вважатися подібною термічним технологіям пом'якшення (нагрів до визначених температур і витримка з подальшим повільним охолодженням). Однак, аналіз структурних змін вказує на існування якісних розбіжностей в порівнянні з термічними технологіями пом'якшення. Дійсно, як свідчать відомі експериментальні дослідження

[1, 4], після нагріву до температур, що обумовлюють аналогічний рівень пом'якшення (як після знакозмінного деформування), спостерігається не тільки зниження накопиченої кількості дефектів кристалічної будови, а і початок розвитку процесів, що призводять до появи зміни морфологічних ознак структурних складових. В першу чергу це стосується цементних пластин перлітної колонії. При нагріванні до температур, приблизно 500 °С, можна знайти підтвердження про початок розвитку процесів сфероїдизації цементних пластин перліту: виникнення локальних звужень, округлення пластин поблизу з границями структурно-вільного фериту та ін. [1]. Таким чином, процес пом'якшення при реверсивному деформуванні якісно відрізняється від термічних технологій і обумовлений взаємодією між дефектами кристалічної будови, що були введені в метал при первинному і наступному навантаженнях.

Другий різновид атермічного пом'якшення холоднодеформованого металу можна спостерігати в результаті дії імпульсів електричного струму з визначеними характеристиками. Піддаючи метал фрагменту ободу залізничного колеса в стані після наклепу по поверхні кочення (рис. 5), електроімпульсній обробці (ЕО), як і в роботі [5, 7], спостерігали зміну геометричних розмірів зразку, в залежності від числа циклів і потужності електричного струму. На підставі цього можна з визначеною впевненістю вважати, що сам процес пом'якшення повинен бути пов'язаний з впливом малих пластичних деформацій на розподіл дислокацій, що сформований попереднім деформуванням (наклепом металу по поверхні кочення). Незбіжність за напрямком дії головних напружень (під час наклепу металу і під дією імпульсів електричного струму) обов'язково повинна привести до зниження накопиченої густини дислокацій. Більше цього, розвиток процесу пом'якшення за рахунок ЕО, якщо порівнювати його з термічними технологіями, має свої відмінності. Дійсно, під час нагрівання і певної витримки, в холоднодеформованому металі відбуваються структурні зміни у визначеній послідовності. Швидкість структурних змін пропорційна температурі нагріву і обумовлена прискоренням процесів дифузійного масопереносу. У більшості випадків процеси пом'якшення зв'язані з формуванням

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

додаткових границь розподілу, зменшенням частки границь з малими кутами разорієнтації, зростанням або зменшенням загальної довжини границь з великими кутами разорієнтації [2].

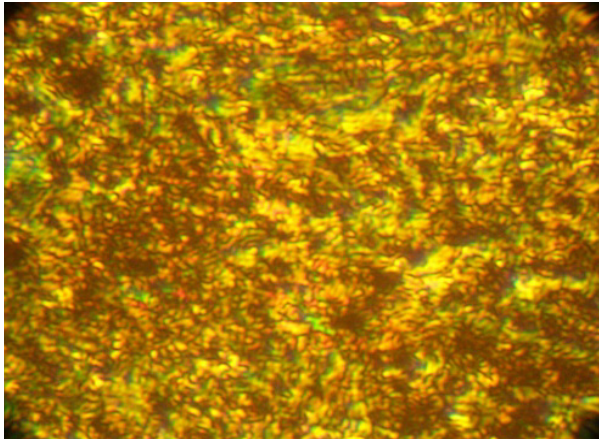


Рис. 5. Структура вуглецевої сталі залізничного колеса в наклепаному стані по поверхні кочення. Збільшення 250

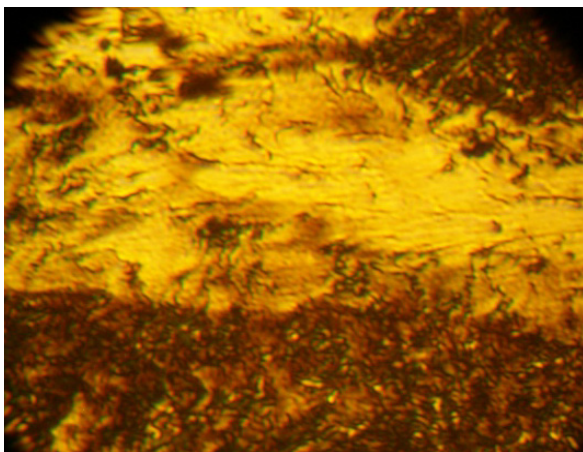


Рис. 6. Структура вуглецевої сталі залізничного колеса в наклепаному стані по поверхні кочення після ЕО. Збільшення 250

Дія імпульсів електричного струму, в залежності від попереднього ступеня деформації металу, призвела до різного рівня зниження твердості. Максимальне пом'якшення (за оцінками твердості) складало приблизно 17 %. За своїм характером указана дія ЕО адекватна ступеню пом'якшення холоднодеформованого металу після нагріву до температур порядку 550...600 °С [1]. Однак, формування достатньо великих ділянок структурно вільного фериту (рис. 6), які практично відсутні в структурі сталі після наклепу (рис. 5), може розглядатися як

свого роду підвищення структурної неоднорідності вуглецевої сталі. Внаслідок таких структурних змін повинне відбуватися зниження пластичних властивостей сталі, особливо чутливими повинні бути характеристики, що визначають опір металу руйнуванню за динамічних умов випробувань: ударна в'язкість при понижених і низьких температурах [1, 8].

Ступінь пом'якшення холоднодеформованого металу підтверджується і змінами параметрів тонко-кристалічної будови. Так, за оцінкою дифракційної лінії (211) під час рентгенівських структурних досліджень густина дислокацій, що накопичена в результаті холодного наклепу металу колеса по поверхні кочення, в результаті ЕО знизилася приблизно на 22...40 %.

Порівняльний аналіз з відомими експериментальними даними [1, 2] показує достатньо добрий збіг ступеню пом'якшення з величиною пластичної деформації і температурою нагріву. У вказаних роботах показано залежність ступеня пом'якшення металу при нагріві у широкому інтервалі змін щодо вмісту вуглецю і величини попередньої пластичної деформації сталі. Для сталі залізничного колеса, з приблизно адекватним ступенем наклепу від холодної деформації, зниженню концентрації накопичених дефектів до рівня 30...40 % відповідає нагрів і витримка терміном 1 год. при температурах 500...550 °С [1].

#### Наукова новизна та практична значимість

В роботі представлено узагальнені результати, що стосуються розвитку процесів пом'якшення в холоднодеформованій вуглецевій сталі під час подальшого її знакозмінного навантаження.

Процес пом'якшення наклепаної сталі супроводжується субструктурними змінами, які більшою мірою притаманні зміцненню від холодної пластичної деформації: диспергування дислокаційної чарункової структури, формування нових та переміщення сформованих субмеж.

Впровадження в умовах ремонтної бази залізничних депо технології електричної імпульсної обробки дозволить без застосування нагріву металу досягти необхідного рівня пом'якшення сталі, наклепаної по поверхні кочення

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

залізничного колеса. Наведена обробка дозволить знизити твердість і подовжити термін використання різців при відновленні профілю катання залізничного колеса.

## Висновки

1. Зростання границі міцності при втомі вуглецевої сталі, при подрібненні зерна фериту і диспергуванні перлітної колонії, обумовлене уповільненням процесу формування дислокаційних чарункових структур, зростанням пластичних властивостей цементиту і ускладненням умов досягнення максимально можливої концентрації дефектів кристалічної будови в мікрооб'ємах металу.

2. Електрична імпульсна обробка, холоднодеформованого металу залізничного колеса за характером своєї дії в значному ступені подібна нагріву до визначених температур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич, В. К. Деформационное старение стали / В. К. Бабич, Ю. П. Гуль, И. Е. Долженков. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.
2. Вакуленко, И. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / И. А. Вакуленко, В. И. Большаков. – Д. : Маковецкий, 2008. – 196 с.
3. Вакуленко, І. О. Зміна твердості металу по поверхні кочення залізничних коліс після формування повзуна / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, Ю. Л. Надеждін // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 31. – С. 256–258.
4. Вакуленко, І. О. Про взаємозв'язок структурних перетворень при втомі вуглецевої сталі з особливостями будови поверхонь руйнування / І. О. Вакуленко // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2010. – Вип. 32. – С. 242–245.
5. Вакуленко, І. О. Структурні перетворення в металі залізничного колеса після дії імпульсів електричного струму / І. О. Вакуленко, В. А. Сокірко, О. С. Баскевич // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 42. – С. 160–163.
6. Дефекти залізничних коліс / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко, О. М. Перков. – Д. : Маковецкий, 2009. – 112 с.
7. Изменение механических свойств сварных соединений углеродистых и низколегированных сталей под влиянием электромагнитных воздействий / А. К. Царюк, В. Ю. Скульский, С. И. Моравский, В. А. Сокирко // Автоматическая сварка. – 2008. – № 9. – С. 28–32.
8. Нотт, Дж. Основы механики разрушения // Дж. Нотт. – М. : Металлургия, 1978. – 256 с.
9. Bhadeshia, H. K. D. Bainite in Steels / H. K. D. Bhadeshia. – Cambridge : The University Press, 2001. – 454 p.
10. Breyer, N. N. The yield – point phenomenon in strain – aged martensite / N. N. Breyer // Transactions of the Metallurgical Society of AIME. – 1966. – Vol. 236, № 8. – P. 1198–1202.
11. Holt, D. L. Dislocation cell formation in metals / D. L. Holt // Journal of Applied Physics. – 1970. – Vol. 41. – P. 3197–3202.
12. Vakulenko, I. A. Mechanism of the effect of the ferrite grain size on the fatigue strength of a low-carbon steel / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov, V. G. Razdobreev // Russian Metallurgy (Metally). – 2008. – № 3. – P. 229–231.
13. Vakulenko, I. A. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels / I. A. Vakulenko, O. N. Perkov // Russian Metallurgy (Metally). – 2008. – № 3. – P. 225–228.

И. А. ВАКУЛЕНКО<sup>1\*</sup>, С. В. ПРОЙДАК<sup>1</sup>, Н. Н. ГРИЩЕНКО<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Технология материалов», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 373 15 56, ел. почта dnyzt\_texmat@ukr.net

## ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТЕРМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЗУПРОЧНЕНИЯ МЕТАЛЛА ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

**Цель.** Целью работы является оценка возможности использования атермических технологий разупрочнения холоднодеформированного металла элементов кузова и колеса железнодорожного вагона. **Методика.** Материалом для исследования были углеродистые стали фрагмента обода железнодорожного колеса,

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

с 0,55 % С, 0,74 % Мn, 0,33 % Si и сталь 20. Сталь железнодорожного колеса исследовали в состоянии после термического упрочнения и холодной деформации после эксплуатации. Сталь 20 исследовали после холодной пластической деформации прокаткой. Электрическую импульсную обработку (ЭО) осуществляли на специальном оборудовании. В качестве характеристики прочности металла использовали твердость по Виккерсу. Исследования микроструктуры осуществляли с использованием светового и электронного микроскопов. **Результаты.** При эксплуатации элементов подвижного состава разного уровня прочности возникли повреждения на металлических поверхностях, обусловленные одновременным действием достаточно сложных нагрузок. Учитывая, что формирование очагов разрушения в значительной степени определяется состоянием объемов металла поблизости от мест максимальных действующих напряжений, разработка технологий снижения темпа накопления дефектов или уровня действующих напряжений, позволит продлить срок работы элементов подвижного состава. После электрической импульсной обработки (ЭО) фрагмента обода колеса изменениям твердости отвечали закономерные изменения внутреннего строения металла. Пропорционально росту степени холодной деформации прокаткой прочность низкоуглеродистой стали растет. Знакопеременный изгиб холоднодеформированного листового проката сопровождается снижением прочности, которое обусловлено изменениями субструктуры металла. **Научная новизна.** Процесс разупрочнения наклепанной стали сопровождается субструктурными изменениями, какие в большей степени соответствуют развитию упрочнения от холодной пластической деформации: диспергирование дислокационной ячеистой структуры, формирование новых и перемещения сформированных субграниц. **Практическая значимость.** Внедрение в условиях ремонтной базы железнодорожных депо технологии электрической импульсной обработки позволит без применения нагрева металла достичь требуемого уровня разупрочнения наклепанной по поверхности катания стали железнодорожного колеса. Приведенная обработка позволит снизить твердость металла и продлить срок использования резцов при восстановлении профиля катания железнодорожного колеса.

*Ключевые слова:* углеродистая сталь; железнодорожное колесо; твердость; субструктура; электрическая импульсная обработка; знакопеременный изгиб

I. A. VAKULENKO<sup>1\*</sup>, S. V. PROYDAK<sup>1</sup>, N. N. GRISCHENKO<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Materials Technology», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan Str., 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine, tel. +38 (056) 373 15 56, e-mail dnyzt\_textmat@ukr.net

## USE PROSPECT OF THE OF ATHERMIC TECHNOLOGIES OF METAL SOFTENING FOR ROLLING STOCK ELEMENTS

**Purpose.** The purpose of work is the possibility estimation of athermic technologies use of cold-deformed metal softening for elements of railway car body and wheel. **Methodology.** The material for research is the carbon steel of the wheel rim fragment containing 0,55 % C, 0,74 % Mn, 0,33 % Si, and the steel 20. The wheel steel is studied after heat strengthening and cold work after operation. Steel 20 is studied after plastic cold work by rolling. Electric pulse treatment (ET) is carried out on the special equipment. As the property of metal strength the Vickers hardness number is used. The microstructure research is carried out using the light and electronic microscope. **Findings.** During operation of the rolling stock elements with different strength level origin of damages on metallic surfaces is caused by a simultaneous load action. Taking into account that forming of breakdown sites is largely determined by the state of metal volumes nearby the places of maximal active voltages, the technology development of defect accumulation slowdown or the level of active voltages development allow one to prolong the operating term of rolling stock elements. After electric pulse treatment of the wheel rim fragment the regular changes of metal internal structure corresponded to the hardness changes. The hardness of low carbon steel increases proportional to the increase of the level of cold work by rolling. Alternating bending of the cold-deformed flat is accompanied by strength decrease, which is caused by the metal substructure changes. **Originality.** The softening process of the cold-worked steel is accompanied by substructure changes, which to a greater extent correspond to the hardening development from the plastic cold-work: dispersion of the dislocation cellular structure, formation of the new sub boundaries and displacement of the formed sub boundaries. **Practical value.** Introduction of electric pulse treatment in the conditions of railway depots repair base allow one to attain the required level of softening of the cold-worked steel on the wheel thread of railway wheel without heating of metal. The given treatment reduces the metal hardness and prolongs the term of incisors use during the renovation of the rolling profile of the railway wheel

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

*Keywords:* carbon steel; railway wheel; hardness; substructure; electric pulse treatment; alternating bending

## REFERENCES

1. Babich V.K., Gul Yu.P., Dolzhenkov I.Ye. *Deformatsionnoye starenie stali* [Strain aging of the steel]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1972. 320 p.
2. Vakulenko I.A., Bolshakov V.I. *Morfologiya struktury i deformatsionnoye uprochneniye stali* [Morphology of structure and cold hardening of the steel]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2008. 196 p.
3. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H., Nadezhdin Yu.L. Zmina tverdosti metalu po poverkhni kochennia zaliznychnykh kolis pislia formuvannia povzuna [Change of metal hardness on the wheel thread after flat spot forming]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryn], 2010, issue 31, pp. 256-258.
4. Vakulenko I.O. Pro vzaiemozviazok strukturykh peretvoren pry vtomi vuhletsevoi stali z osoblyvostiamy budovy poverkhon ruinuвання [On interrelation of structural transformations during the carbon steel fatigue with peculiarities of the break surface]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryn], 2010, issue 32, pp. 242-245.
5. Vakulenko I.O., Sokirko V.A., Baskevych O.S. Strukturni peretvorennia v metali zaliznychnoho koleasa pislia dii impulsiv elektrychnoho strumu [Structural transformations in railway wheel metal after electric current impulse]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University named after Academician V. Lazaryn], 2012, issue 42, pp. 160-163.
6. Vakulenko I.O., Anofriiev V.H., Hryshchenko M.A., Perkov O.M. *Defekty zaliznychnykh kolis* [Railway wheels defects]. Dnipropetrovsk, Makovetskyi Publ., 2009. 112 p.
7. Tsaryuk A.K., Skulskiy V.Yu., Moravskiy S.I., Sokirko V.A. Izmeneniye mekhanicheskikh svoystv svarynykh soyedineniy uglerodistykh i nizkolegirovannykh staley pod vliyaniyem elektromagnitnykh vozdeystviy [Mechanical properties change of welded connections of carbon and low-alloyed steels under the influence of electromagnetic effect]. *Avtomaticeskaya svarka – Automatic welding*, 2008, no. 9, pp. 28-32.
8. Nott Dzh. *Osnovy mekhaniki razrusheniya* [Foundations of the fracture mechanics]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 256 p.
9. Bhadeshia H.K.D. *Bainite in Steels*. Cambridge, The University Press Publ., 2001. 454 p.
10. Breyer N.N. The yield – point phenomenon in strain – aged martensite. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, 1966, vol. 236, no. 8 pp.1198-1202.
11. Holt D.L. Dislocation cell formation in metals. *Journal of Applied Physics*, 1970, vol. 41, pp. 3197-3202.
12. Vakulenko I.A., Perkov O.N., Razdobreyev V.G. Mechanism of the effect of the ferrite grain size on the fatigue strength of a low-carbon steel. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2008, no. 3, pp. 229-231.
13. Vakulenko I.A., Perkov O.N. Effect of the morphology and size of iron carbide on the fatigue strength of carbon steels. *Russian Metallurgy (Metally)*, 2008, no. 3, pp. 225-228.

*Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. Л. І. Котовою (Україна); к.т.н., доц. О. О. Чайковським (Україна)*

Поступила у редколегію 03.04.2013

Прийнята до друку 04.06.2013