

Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет залізничного  
транспорту імені академіка В. Лазаряна

Вакуленко Леонід Ігорович

УДК 629.4.027.5:620.19

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ  
СУЦЬЛНОКАТАНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС З МЕТОЮ  
ЗАПОБІГАННЯ УШКОДЖЕНЬ ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ.**

05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

Дніпропетровськ – 2015 р.

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Мямлін Сергій Віталійович**,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна,  
проректор з наукової роботи

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
**Кельріх Мусій Борисович**,  
Державний економіко-технологічний університет  
транспорту, завідувач кафедрою «Вагони і вагонне  
господарство»

кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник  
**Бабаченко Олександр Іванович**,  
Інститут чорної металургії імені З. І. Некрасова  
НАН України, заступник директора

Захист відбудеться «16» жовтня 2015 о 11<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02 Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий «08» вересня 2015

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02

І. В. Жуковицький

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інтенсивний розвиток промисловості супроводжується постійним підвищенням вимог до експлуатаційної безпеки залізничного транспорту. При незмінних характеристиках міцності металу безперервне підвищення навантаження на вісь колісної пари супроводжується неминучим прискоренням розвитку процесів формування ушкоджень на поверхні кочення. Використання зміцнюючих термічних обробок в якості технології підвищення властивостей міцності залізничних коліс є перспективним напрямком лише за умови пояснення механізму зміни властивостей при наклепанні металу по поверхні кочення. Певного впливу на характер зміцнення вуглецевої сталі колеса по поверхні кочення і пов'язаного з ним формування дефектів, слід очікувати від присутності і розташування неметалевих включень в металевій матриці.

Використання технічних рішень, які спрямовані на зниження накопичених дефектів металу на поверхні кочення, слід розглядати як один з напрямків розробки концепції профілактичних ремонтів залізничних коліс в умовах промислової бази вагонних депо.

У зв'язку з необхідністю безперервного збільшення інтенсивності експлуатації залізничного транспорту, удосконалення технології обробки суцільнокатаних залізничних коліс з метою запобігання ушкоджень поверхні кочення є актуальним завданням. Отримані результати дозволять розробити заходи, які будуть сприяти підвищенню опору металу коліс зародженню поверхневих ушкоджень. Тому, підвищення експлуатаційних характеристик залізничних коліс збільшенням опору формуванню ушкоджень є актуальною темою досліджень для залізничного транспорту України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основні етапи дисертаційної роботи виконувалися відповідно до планів науково-дослідницьких робіт Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: № ДР 0110U007511 «Дослідження зразків нової вагонної техніки в реальних умовах експлуатації», 2010, 2011р., ГБ 31.00.13-15 «Розробка наукових основ і промислове випробування технології термомеханічного зміцнення при виготовленні високоміцних суцільнокатаних залізничних коліс», 2013, 2014р., за якими автор є виконавцем та автором звітів.

**Мета і завдання дослідження.** Метою є удосконалення технології обробки суцільнокатаних залізничних коліс для запобігання ушкоджень поверхні кочення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз причин, які призводять до розвитку процесів формування вищербин на поверхні кочення залізничних коліс при експлуатації;

– проаналізувати вплив рівня зміцнення і вмісту вуглецю в сталі залізничних коліс на опір зародженню поверхневих ушкоджень при експлуатації;

– виконати дослідження спільного впливу ступеню наклепу від пластичної деформації, температури нагріву і присутності неметалевих включень на процеси формування поверхневих ушкоджень при експлуатації залізничних коліс;

– визначити можливість використання технології пом'якшення наклепаного поверхнею кочення металу залізничних коліс;

– оцінити результат від динамічних напружень, що виникають на межах сформованої вищербини в процесі кочення залізничного колеса;

– визначити вплив вмісту вуглецю в сталі на ефект проковзування залізничного колеса при експлуатації;

– розробити пропозиції з використання технології пом'якшення наклепаного металу ободу колеса в результаті його експлуатації;

– розробити пропозиції до нормативно-технічної документації з технології виготовлення залізничних коліс, які дозволять підвищити їх експлуатаційні характеристики.

**Об'єкт дослідження.** Процеси формування ушкоджень при експлуатації залізничних коліс різного рівня міцності.

**Предмет дослідження.** Закономірності формування ушкоджень на поверхні кочення залізничних коліс різного рівня міцності при експлуатації.

**Методи досліджень.** Внутрішня будова металу коліс досліджувалася з використанням методів світлової мікроскопії, рентгенівського структурного аналізу, ультразвукових досліджень. Механічні властивості сталей визначалися за допомогою стандартних методик при статичному та циклічному навантаженні за умов контактного тертя. При обробці результатів експериментальних досліджень використані методи статистики та теорії ймовірності. При узагальненні результатів досліджень застосовано методи аналізу та синтезу.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукову новизну складають наступні результати досліджень, які отримані в дисертації:

1. Вперше показано, що при експлуатації залізничного колеса формування ділянок з локальним проковзуванням по рейкам сприяє розігріву металу до температур початку фазових перетворень, а подальше прискорене охолодження такого металу призводить до формування ділянок «білого шару» з підвищеною крихкістю та утворенням поверхневих ушкоджень.

2. Вперше наведено пояснення впливу підвищення вмісту вуглецю в сталі на зростання імовірності проковзування залізничних коліс, при цьому пропорційно збільшенню кількості ділянок «білого шару» зростає неоднорідність наклепу металу, прискорюються процеси пом'якшення при нагріві, що разом сприяє зростанню кількості вищербин.

3. Вперше дано пояснення ефекту пом'якшення холоднодеформованої вуглецевої сталі після електричної імпульсної обробки, що заснований на зниженні накопиченої кількості дефектів внутрішньої будови металу, при цьому ступінь пом'якшення металу пропорційний величині наклепу від холодної пластичної деформації поверхнею кочення залізничного колеса.

4. Вперше показано, що при компактному розташуванні дисперсних часток неметалевих включень, мікрооб'єми металу представляють собою єдине ціле з іншим, в порівнянні з металевою матрицею, характером деформаційного зміцнення.

5. Вперше виявлена залежність розвитку процесів зміцнення від орієнтації пластичної течії в матриці металу відносно поверхні неметалевого включення, що при поступовій зміні напрямку деформації від нормальної, якій відповідає максимальний ефект приросту твердості до дотичної по відношенню до поверхні включення, виявляється пом'якшення, яке прогресує в мікрооб'ємах навколишньої металевої матриці.

6. Отримав подальше уточнення механізм формування поверхневих ушкоджень при експлуатації залізничних коліс, а саме: безперервне підвищення неоднорідності наклепу металу від циклічної зміни етапів утворення екструзій і інтрузій на поверхні кочення є причиною утворення зародків руйнування.

7. Отримали подальший розвиток уявлення стосовно температурної залежності процесу проковзування залізничного колеса рейками, зниження температури в місці контакту супроводжується зменшенням опору металу процесу проковзування.

**Практична цінність отриманих результатів.** Аналіз енергосилових параметрів процесу проковзування вуглецевої сталі залізничних коліс дозволив обґрунтувати обмеження за максимальною концентрацією вуглецю в сталі залізничного колеса (не більш 0,6 %). Використання технології електричної імпульсної обробки для пом'якшення наклепаного поверхневого шару залізничних коліс дозволить в умовах ремонтної бази вагонного депо знизити витрату ріжучого інструменту при відновленні профілю кочення коліс. Результати виконання дисертаційного дослідження впроваджено в умовах промислової бази ремонтного депо «Нижньодніпровськ – вузол» (акт впровадження від 09.12.2014 р.), використані при розробці нових Технічних умов і Держстандартів на виробництво в Україні високоміцних залізничних коліс нового покоління (акт використання від 12.11.2014 р.) та в навчальний процес по кафедрі «Технологія матеріалів» при викладанні дисципліни «Пошкодження при втомі конструкцій рухомого складу».

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові положення дисертаційної роботи, що виносяться на захист, сформульовані автором особисто. Авторіві належить: постановка і обґрунтування мети роботи, планування і проведення досліджень, обробка і аналіз результатів експериментів, підготовка наукових статей до друку, участь в промисловому випробуванні результатів роботи. Постановка завдань і обговорення результатів досліджень виконані спільно з науковим керівником і співавторами публікацій.

В публікаціях, що підготовлені у співавторстві, здобувачу належать:

– виготовлення зразків для досліджень, проведення вимірювання мікротвердості, оцінка отриманих експериментальних даних, будова кривих зміцнення для визначених мікрооб'ємів вуглецевих сталей [1, 10, 15, 17], визначення розміру зерна аустеніту [8];



– вимірювання твердості після формування ушкоджень при експлуатації високоміцних залізничних коліс, оцінка впливу вмісту вуглецю в сталі на формування вищербин [2,4,5,18,20,21];

– підготовка зразків металу коліс для досліджень впливу температури нагріву на ефект пом'якшення, вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань в металі, вимірювання твердості, пошук кореляційних зв'язків між ними [3,6,7,19];

– вимірювання твердості металу на поверхні кочення колеса після формування повзуна, визначення відповідних змін внутрішньої будови металу [22–24];

– вимірювання розподілу мікротвердості в металевій матриці поблизу з часткою неметалевого включення, визначення механізму впливу напрямку деформації на зміну ефекту зміцнення металу навколо включення [11, 12, 25];

– теоретичне обґрунтування низького опору залізничних коліс високої міцності з підвищеним вмістом вуглецю проти утворення ушкоджень поверхні кочення [9, 13, 14, 26].

**Апробація результатів дисертації.** Основні наукові положення і результати роботи доповідалися і обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції «Стародубовские чтения» (м.Дніпропетровськ, 2006 р.), на Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми і перспективи розвитку залізничного транспорту» (м.Дніпропетровськ, 2006, 2010 - 2013 рр.), на Міжнародних молодіжних науково-практичних конференціях «Людина і космос» (м.Дніпропетровськ, 2007, 2012, 2013 р.), відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: матеріали конференції КМН – 2013» (м.Львів, ФМІ, 2013р.), на XIV, XVI International Scientific Conference «New technologies and achievements in metalurgy, material engineering and production engineering» (2013, 2015 Czestochowa, Poland).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на засіданні міжкафедрального семінару Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 29.01.2015р.

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладені в 26 наукових працях, серед яких 11 наукових статей в спеціалізованих фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, в тому числі 2 в журналах, що входять до наукометричних баз даних, 2 патенти, 13 тез доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків і додатків, містить 158 сторінок, включаючи 142 сторінки основного тексту, 32 рисунка, 4 таблиці і список використаних джерел з 113 найменувань на 13 сторінках, 2 додатків на 2 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи і обґрунтування актуальності теми дисертаційної роботи; сформульована мета і завдання досліджень; охарактеризована наукова новизна та практичне значення отриманих результатів; надана інформація про апробацію роботи та її зв'язок з науково-дослідницькими темами; зазначена кількість публікацій за темою дисертації і окреслений особистий внесок здобувача в публікаціях, які підготовлені за участю співавторів.

У **першому розділі** проведений системний аналіз причин, що приводять до виникнення ушкоджень поверхні кочення залізничних коліс під час експлуатації. В роботах провідних вчених Є. П. Блохіна, А. А. Босова, О. М. Пшінька, Г. В. Рейдемейстера, С. В. Мямліна, Б. Є. Боднаря, В. Ф. Ушкалова, М. Б. Кельріха, Л. А. Манашкіна, О. В. Сладковського, П. С. Анісімова, О. Л. Голубенка, М. І. Горбунова, Мурадяна Л. А., Ткаченка В. П., Мартинова І. Е., Осеніна Ю. І. та ін. показаний вплив різноманітних чинників на стабільність властивостей і безпеку експлуатації залізничних коліс. Результатами досліджень встановлено, що окрім наклепу металу колеса по поверхні кочення, визначеного значення становлять умови експлуатації, в тому числі температура навколишнього середовища, локальний розігрів та прискорене охолодження під час гальмування рухомого складу. За визначених умов, локальні зсуви приповерхневих об'ємів металу колеса в місцях контакту з рейкою стають причиною зародження поверхневого руйнування залізничних коліс різного рівня міцності. В свою чергу, рівень міцності вуглецевої сталі залізничного колеса у значному ступені визначається особливостями її внутрішньої будови. Окрім спеціального легування сталі, підвищений рівень міцності може бути досягнутий за рахунок використання термічних зміцнюючих обробок коліс. В порівнянні з гарячедеформованим станом металу, після закінчення останньої формоутворюючої операції при виготовленні залізничного колеса, зміна умов охолодження може суттєво впливати на механізм формування внутрішньої будови сталі. З іншого боку, з урахуванням особливостей виготовлення суцільнокатаних залізничних коліс, в умовах більшості металургійних підприємств використовується технологія інтенсивного примусового охолодження елементів залізничного колеса після окремого нагріву. В залежності від відстані розташування об'ємів металу від поверхні тепловідводу, виникають шари з різним рівнем міцності по перетину ободу. Реалізація такої схеми термічного зміцнення приводить не тільки до формування структур за різними механізмами, але і до різного ступеня подрібнення мікрооб'ємів металу.

В процесі кочення залізничні колеса піддаються значним пластичним деформаціям з одночасним суттєвим температурним впливанням. В залежності від похідного рівня міцності металу приповерхневих прошарків ободу колеса, нагрів до температур початку фазових перетворень може приводити до якісно різного за характером впливу. Нагрів наклепаного

холодним пластичним деформуванням металу з структурами гартування супроводжується більшим ступенем пом'якшення в порівнянні з металом, структура якого сформована за дифузійною схемою перетворення.

З урахуванням процесів зношування залізничного колеса при експлуатації та відновлювання профілю ободу, комплекс властивостей металу по поверхні кочення вже не буде відповідати рівню термічно зміцненого стану. Він буде у більшому ступені наближуватися до стану металу, подібному як після гарячої пластичної деформації. На підставі цього, буде відбуватися зміна розподілу залишкових внутрішніх напружень в ободі колеса і зв'язаний з ними опір металу формуванню різних за природою походження поверхневих ушкоджень.

Згідно з аналізом стану проблеми по підвищенню безпеки експлуатації залізничних коліс різного рівня міцності, зробленим у першому розділі, сформульовані мета і завдання дисертаційної роботи.

У другому розділі дисертації наведені данні стосовно хімічного складу фрагментів залізничних коліс, які були використані в якості об'єктів дослідження. Надана інформація по методикам проведених досліджень. Внутрішню будову сталей досліджували з використанням світлової мікроскопії.

Підготовку об'єктів для досліджень мікроструктури вуглецевих сталей здійснювали за відомими методиками у визначеній послідовності. С початку шліфування, а потім полірування зразків виконували на лабораторному устаткуванні. Для виділення мікроструктури був використаний універсальний витравлювач: 4 % розчин азотної кислоти ( $HNO_3$ ) в етиловому спирті ( $C_2H_5OH$ ). Для оцінки впливу неметалевих включень на розвиток процесів деформаційного зміцнення навколишньої металевої матриці та рівень твердості в мікрооб'ємах металу, був застосований мікротвердомір типу ПМТ-3. При визначенні оптимального рівня навантаження на індентор керувалися попередньою оцінкою твердості металу за методом Брінеля або Роквела. Визначення характеру поведінки металу при циклічних навантаженнях здійснювали за умов багатопозиційної випробувальної машини типу «Сатурн-10», за схемою навантаження знакозмінним згином. Оцінку опору металу залізничних коліс процесам зношування проводили на випробувальній машині типу СМЦ-2 за умов різних нормальних навантаженнях і ступенях проковзування. В якості енерго-силової характеристики при оцінюванні процесу зчеплення між зразком і конртзразком при накатуванні вимірювався виникаючий момент сил. Для визначення природи розвитку процесів зміцнення або пом'якшення металу з різним структурним станом в площині контакту колесо-рейка проводилися розрахунки енергії активації процесу проковзування. У відповідності з використаною методикою розрахунку енергії активації процесу, накатування здійснювали при двох спупенях нормального навантаження і двох температурах (наколишнього середовища і нагріву до  $120^\circ C$ ). Для розробки технології пом'якшення металу після напепу по поверхні кочення



залізничного колеса була використана електрична імпульсна обробка. В якості об'єктів для дослідження використовували фрагменти ободу залізничного колеса, які піддавалися дії імпульсів електричного струму за умов спеціального устаткування DS10M. З метою оцінки стану металу після формування вищербини на поверхні кочення залізничного колеса використовували прилад ВСП-12 (випробувач структурних перетворень), призначений для вимірювання швидкості розповсюдження звукових коливань в металі. Для оцінки параметрів тонкої кристалічної будови металу використовували методики рентгенівських структурних досліджень. Визначення рівня механічних властивостей металу залізничних коліс проводили з використанням стандартних методик при випробуваннях на статичне розтягання. Швидкість деформації при розтіганні дорівнювала  $10^{-3} \text{ c}^{-1}$ .

**Третій розділ** присвячений визначенню механізму формування ушкоджень на поверхні кочення залізничних коліс різного рівня міцності, за різних умов експлуатації.

Першим по значенню, розглянутий приклад виникнення ушкоджень при проковзуванні колеса по рейкам. Дослідженнями показано, що місця виникнення повзунів в дійсності представляють собою ділянки металу після гартування. Максимальні значення твердості відповідають середині ділянки, з послідовним зниженням твердості до межі повзуна. При подальшій експлуатації колеса за рахунок різної спроможності металу до наклепу від холодної пластичної деформації, в середині повзуна значно скоріше досягаються умови переходу металу в крихкий стан, чим в сусідніх з межею об'ємах. На підставі цього, виникаючі перші зародки поверхневих тріщин зосереджуються поблизу з серединою повзуна і спрямовані в напрямку дії максимальних дотичних напружень. Розповсюдження таких тріщин в решті решт приводить до виникнення вищербини металу, що в свою чергу порушує характер розподілу внутрішніх напружень на поверхні кочення колеса. Як показали дослідження по розповсюдженню звукових коливань, після формування вищербини, характер розподілу твердості металу уздовж неї змінюється на протилежний, в порівнянні з розподілом після виникнення повзуна. Найвищі значення твердості спостерігаються на межах вищербини, а на її дні – мінімальні. На підставі цього, слід вважати, що чим менший опір колеса проти виникнення повзуна і вища спроможність металу до гартування, тим більша кількість вищербин повинна виникати.

Другим в роботі розглянутий механізм формування поверхневого ушкодження за умов відсутності проковзування колеса по рейкам. За відомими уявленнями, формування осередку тріщини втоми при циклічних навантаженнях обумовлене виникненням елементарних зсувів в мікрооб'ємах металу. Експериментально в роботі показане існування вказаних зсувів в об'ємах металу колеса поблизу з поверхнею кочення, в напрямку дії дотичних напружень. Більше цього, зародження таких зсувів є передумовою формування інтрузій і екструзій (рис.1) на поверхні металу після дії напружень, які циклічно змінюються. Області з такими локально

видавленими (екструзією) і з локально відсутніми (інтрузією) прошарками металу, становлять собою потенційні місця зародження перших мікротріщин на поверхні кочення залізничного колеса. На основі проведеного аналізу наведені пояснення стосовно зростання кількості поверхневих ушкоджень при експлуатації залізничних коліс типу КП-Т (високоміцні колеса з підвищеним вмістом вуглецю). Підвищення кількості вуглецю в сталі залізничного колеса супроводжується зниженням опору проти прослизання в місці контакту колесо-рейка, в наслідок чого збільшується кількість повзунів. В порівнянні з колесами типу КП-2, в залізничних колесах з підвищеним вмістом вуглецю спостерігається зростання різниці в твердості на межах повзуна і в його середині, що неодмінно полегшує процес формування

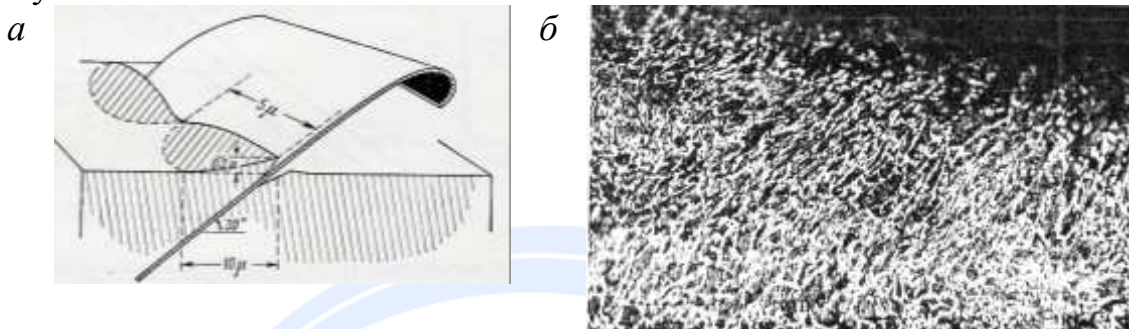


Рис. 1. Схема формування екструзії (а) і реальний її вигляд (позначення стрілкою) на поверхні кочення колеса (б). Збільшення 100

вищербини. Отримані результати, стосовно визначення механізму формування поверхневих ушкоджень при експлуатації залізничних коліс високої міцності, дозволили обґрунтувати обмеження максимально припустимої концентрації по вуглецю (не більше 0,6 %) для сталей високоміцних коліс.

**У четвертому розділі** розглянуті питання розвитку процесів пом'якшення металу колеса і впливу їх на формування ушкоджень поверхні кочення. На основі аналізу кореляційних співвідношень між швидкістю розповсюдження звукових коливань в металі ( $V$ ) і твердістю за Вікерсом ( $H_v$ ) отримані пояснення стосовно розвитку процесів пом'якшення при нагріві нагартованого металу колеса з різним рівнем міцності (КП-Т і КП-2). Зниження різниці в рівнях твердості між наклепаним металом по поверхні кочення і на поверхні повзуна сприяє зниженню імовірності його перетворення у вищербину. Більше цього, аналіз розвитку процесів пом'якшення при нагріві сталей залізничних коліс КП-Т і КП-2 показав існування залежності від попереднього рівня зміцнення металу. Так, при нагріві до температур, вищих за 400–450 °С, швидкість зниження характеристик міцності вуглецевої сталі після гартування перебільшує аналогічну характеристику гарячекатаного металу. На основі отриманих результатів досліджень визначено, що для залізничних коліс після

експлуатації типу КП-Т, нагрів до температур вищих  $450^{\circ}\text{C}$  супроводжується значно більшим пом'якшенням металу, в порівнянні з аналогічною характеристикою для коліс КП-2. На підставі цього, були проведені дослідження, які спрямовані на можливість використання технологій локального пом'якшення наклепаного металу колеса. Однією з відомих атермічних технологій, що дозволяють знизити характеристики міцності металевих матеріалів, є електрична імпульсна обробка (ЕО).

Об'єктом для досліджень був фрагмент ободу залізничного колеса в стані після наклепу. Враховуючи різний рівень наклепу металу на поверхні кочення, фрагмент був умовно розділений на три зони (рис. 2а). Після дії імпульсів ЕО отримали ступінь пом'якшення, яка для різних зон ободу була оберненопропорційною від похідної твердості. Так, для областей I, II і III зниження твердості досягало значень на рівні 20, 8 і 11 % відносно значень після наклепу. При температурах навколишнього середовища аналогічне явище пом'якшення наклепаного холодною пластичною деформацією металу має місце вже після незначних пластичних деформацій за умов, коли первинне і наступне навантаження за напрямком відрізняються одне від другого. Враховуючи, що в процесі ЕО експериментально спостерігали зміну геометричних розмірів досліджуваного зразку (рис. 2б), а температура при обробці не перебільшувала  $+45\text{--}+50^{\circ}\text{C}$ , можна з упевненістю вважати, що природа ефекту пом'якшення не зв'язана з термічним характером

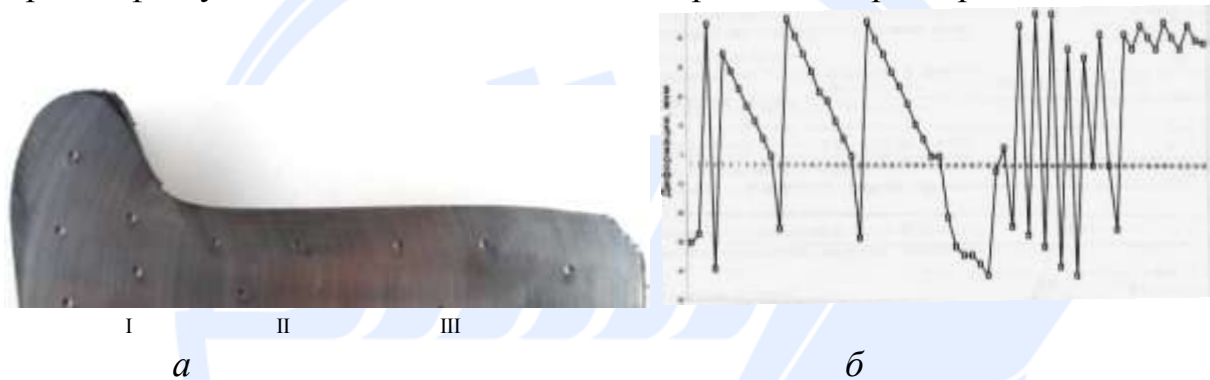


Рис.2. Розділення фрагменту ободу на зони (а) і залежність зміни геометричних розмірів зразку під дією імпульсів ЕО (б).

впливу. Таким чином, мікропластичні деформації, що виникають від дії імпульсів ЕО, приводять до розвитку процесів пом'якшення наклепаного металу залізничного колеса і не зв'язані з нагрівом. Порівняльний аналіз внутрішньої будови наклепаного металу колеса до і після ЕО показав існування якісних змін. За зовнішніми ознаками вони частково подібні тим, що мають місце після термічного пом'якшення: зменшення ступіня турбулентності структури в цілому, виникнення додаткових границь розподілу в зернах фериту. З іншого боку, існують і відповідні відмінності: виникнення в зернах фериту після дії імпульсів ЕО слідів з визначеною



орієнтацією (рис.3б), які до ЕО не спостерігалися (рис.3а). Аналогічні ознаки достатньо часто зв'язують з розповсюдженням пластичної течії в металевих матеріалах при їх пластичній деформації. Результати досліджень параметрів тонкої кристалічної будови після ЕО показали зниження накопиченої, після наклепу металю, кількості дефектів. Порівняльний аналіз з термічними

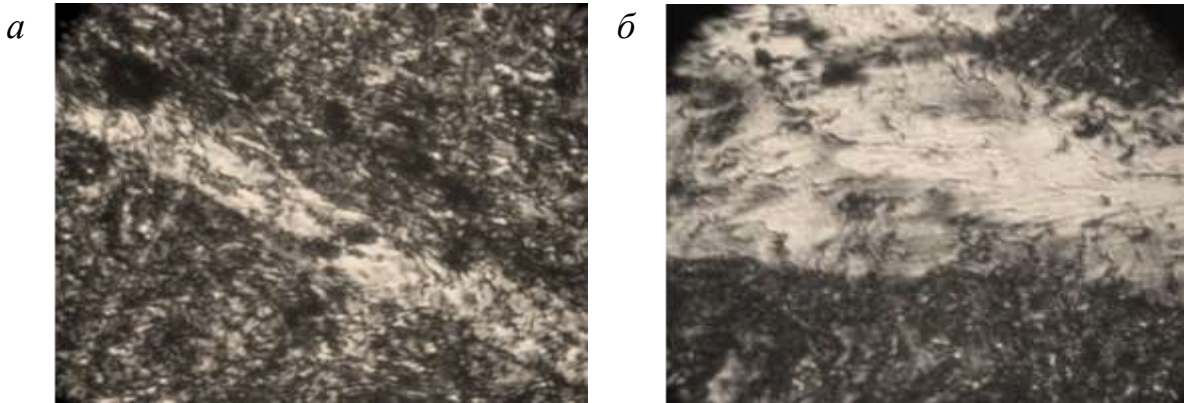


Рис. 3. Ділянки зерен фериту до (а) і після ЕО (б). Збільшення 250

технологіями свідчить, що за ефектом пом'якшення ЕО адекватна нагріву до температур 400 – 450 °С і витримки при цій температурі тривалістю до 1 год. При цьому, як і для термічних технологій величина пом'якшення у значному ступені пропорційна рівню наклепу металю. Таким чином, слід вважати, що за ефектом пом'якшення наклепаної холодною пластичним деформуванням вуглецевої сталі, вплив від електричної імпульсної обробки може бути дорівненим відпуску в середньому інтервалі температур (400–500 °С).

**П'ятий розділ** присвячений дослідженню питань впливу неметалевих включень на формування ушкоджень поверхні кочення залізничних коліс.

На основі аналізу розподілу мікротвердості ( $H_{\mu}$ ) в металевій матриці навколо неметалевого включення, було визначене порушення рівномірності розподілу внутрішніх напружень. Особливо значний негативний вплив від присутності неметалевих включень спостерігається для металю термічно-зміцнених, високоміцних залізничних коліс. При експлуатації залізничного колеса розвиток процесів зношування приводить до того, що відстань від неметалевого включення до джерела напружень неухильно зменшується. На підставі цього, концентрація напружень в фериті вуглецевої сталі (за рахунок різниці механічних, фізичних властивостей металевій матриці і включення) навколо часток буде зростати. Аналогічний за характером вплив слід очікувати і від системи внутрішніх напружень, які спеціально формуються при термічній зміцнюючій обробці. Складання таких залишкових внутрішніх напружень з виникаючими від присутності часток включень, обумовлюють прискорення процесу формування зародка ушкодження металю. Після досягнення внутрішніми напруженнями рівня межі плинності металю,



сформований зародок тріщини буде продовжувати зростати пропорційно збільшенню концентрації внутрішніх напружень навколо включення.

З метою визначення механізму впливу неметалевого включення на властивості міцності вуглецевої сталі колеса, був проведений аналіз розподілу мікротвердості в об'ємах поблизу з частками включень. Так, рівень  $H_{\mu}$  на визначеній відстані від частки включення відповідав середнім значенням для металу. Після наближення до неметалевого включення на визначену відстань, починається монотонне підвищення мікротвердості металу. Максимальні значення  $H_{\mu}$ , які відповідають об'ємам металу поблизу з включенням, приблизно в 2–2,5 разів перебільшують середні значення металевої матриці. Більше цього, за рахунок різниці в коефіцієнтах термічного розширення матриці металу і неметалевого включення, циклічний характер етапів нагріву і охолодження колеса при експлуатації буде лише прискорювати підвищення концентрації напружень поблизу з включенням. Таким чином, можна вважати, що ресурс роботи колеса до утворення поверхневого ушкодження повинен бути залежним від можливості металу накопичувати дефекти кристалічної будови до утворення мікротріщини, яка спроможна до подальшого зростання. З метою підтвердження наведеного положення були проведені дослідження по визначенню характеру деформаційного зміцнення в мікрооб'ємах металу з неметалевим включенням. Аналіз побудованих кривих зміцнення показує, що металева матриця поблизу з неметалевим включенням повинна швидше, в порівнянні з металом без часток, вичерпати свою спроможність накопичувати дефекти кристалічної будови (рис. 4а). Підтверджується наведене положення значенням тангенсу кута нахилу дотичної в області зростання напруження. Вказана характеристика для об'єма металу з часткою (рис. 4а) значно перебільшує аналогічну величину для металу, вільного від часток (рис. 4б). На підставі цього, в об'ємах металу поблизу з включенням, за значно меншу пластичну деформацію будуть досягненні умови, достатні для початку розвитку процесів руйнування металу.

Враховуючи, що об'єми металу колеса при коченні піддаються деформаціям зі змінною орієнтацією, були проведені дослідження по впливу включення на розподіл деформації в металевій матриці. При нормальній орієнтації пластичної деформації відносно поверхні неметалевої частки, спостерігається приріст мікротвердості, приблизно в 2–2,5 рази більше значень для металу без часток. Послідовна поява дотичної складової деформації відносно поверхні включення супроводжується зниженням рівня приросту  $H_{\mu}$  металу. За умов, коли відсутня нормальна складова пластичної деформації, спостерігається досягнення мінімальних значень мікротвердості. При цьому різниця  $H_{\mu}$  металу поблизу з часткою (від області з нормально орієнтованою деформацією відносно поверхні включення до повністю дотичної) може досягати до 3 разів. Визначена різниця у прирості напружень

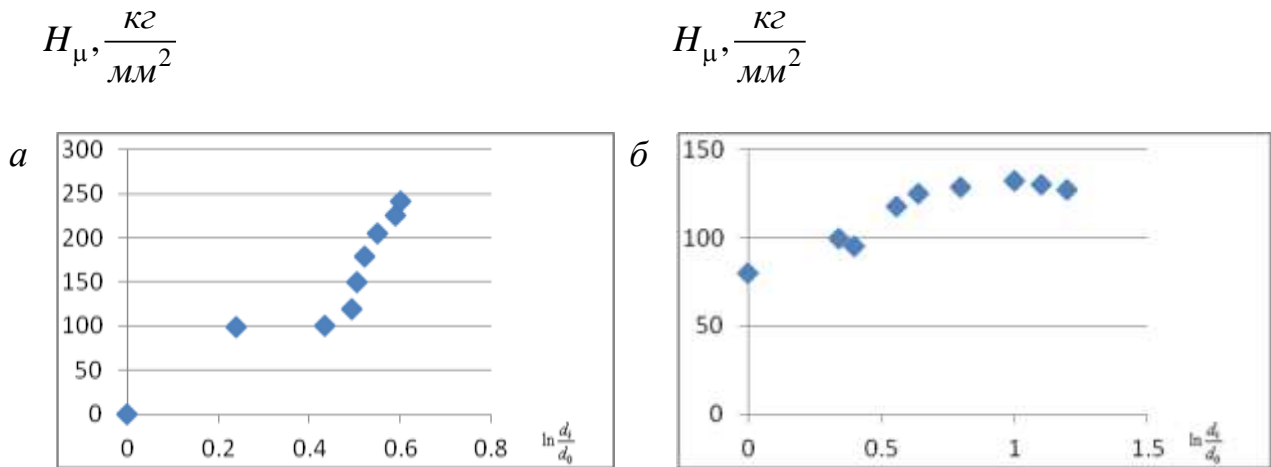


Рис. 4. Характер деформаційного зміцнення металу поблизу з часткою неметалевого включення (а) і для об'ємів вільних від включень (б).

в металі колеса навколо часток неметалевих включень має практичне значення. Так, для металу залізничних коліс з високим рівнем міцності, підвищені значення наклепу від холодної пластичної деформації на поверхні кочення, будуть тільки сприяти подальшому збільшенню різниці мікротвердості металевої матриці навколо часток. Наведене положення підтверджується сучасною тенденцією виробників залізничних коліс світу: більш жорсткі вимоги по обмеженню концентрації шкідливих домішок в металі залізничних коліс різного призначення.

**У шостому розділі** розглянуті особливості зношування залізничних коліс різного рівня міцності. З урахуванням збільшення кількості проковзувань при експлуатації залізничних коліс пропорційно вмісту вуглецю в сталі (глава 3), представляло необхідним визначити механізм можливого впливу таких ділянок на характер зношування металу. Так, на прикладі сталі з підвищеним вмістом вуглецю був визначений характер розвитку процесів зношування. При випробуваннях накатуванням (машина типу СМЦ-2), збільшення кількості циклів при визначеному навантаженні (18кг) в місці контакту зразок – контр зразок, супроводжувалося пом'якшенням до 7% вуглецевої сталі після гартування. Аналіз характеристик внутрішньої будови сталі в такому стані показав, що ефект пом'якшення при накатуванні у більшому ступені обумовлений розвитком процесів перерозподілу атомів вуглецю в кристалічній решітці під час пластичного деформування металу. За отриманим пом'якшенням вплив накатування адекватний зниженню вмісту вуглецю в сталі з 0,62 до 0,56 %. Поглиблене вивчення характеру змін параметрів внутрішньої будови сталі залізничного колеса після накатування показали відмінності в порівнянні з ефектом пом'якшення від нагріву. При відпуску сталі після гартування, пом'якшення супроводжується зниженням накопиченої кількості дефектів кристалічної будови і викривлень другого роду з одночасним зростанням розмірів мікрообластей. Пом'якшення

вуглецевої сталі після накатування супроводжувалося зростанням кількості дефектів, великим розкидом значень викривлень другого роду і подрібненням мікрообластей, що за характером повинне відповідати ефекту зміцнення. Якщо порівнювати з термічною обробкою, процес накатування вже за умов приблизно 1200 циклів приводить до зниження твердості металу після гартування до рівня як після нагріву в середньому інтервалі температур (400–500 °С). Аналогічні результати стосовно ефекту пом'якшення, отримані при накатуванні з проковзуванням. Різниця лише в темпі розвитку процесів пом'якшення і початку зміцнення металу.

На основі оцінки енергії активації процесу проковзування було визначено, що зниження температури кочення супроводжується зменшенням опору металу проти формування повзуна. Для сталі залізничного колеса КП-Т (максимальний вміст вуглецю може досягати 0,69 %) величина опору проти проковзування нища, в порівнянні з колесом типу КП-2.

Результати роботи впроваджено в умовах промислової бази ремонтного депо «Нижньодніпровськ – вузол» (акт впровадження від 09.12.2014р.), використані при розробці нових Технічних умов і Держстандартів на виробництво в Україні високоміцних залізничних коліс нового покоління (акт використання від 12.11.2014р.) та в навчальний процес по кафедрі «Технологія матеріалів» при викладанні дисципліни «Пошкодження при втомі конструкцій рухомого складу».

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі надано теоретичне узагальнення і нове рішення актуальної науково-технічної задачі по підвищенню експлуатаційних властивостей залізничних коліс шляхом збільшення опору формуванню ушкоджень. Пропонується обмежити максимальний вміст вуглецю для сталей залізничних коліс (не більше 0,6 %) і використовувати в умовах промислової бази вагонних депо, технології атермічного пом'якшення наклепаного по поверхні кочення металу коліс.

1. Отримав подальше уточнення механізм формування поверхневих ушкоджень при експлуатації залізничних коліс. Безперервне підвищення неоднорідності наклепу металу від циклічної зміни етапів утворення екструзій і інтрузій на поверхні кочення є причиною утворення зародків руйнування.

2. Вперше показано, що при експлуатації залізничного колеса формування ділянок з локальним проковзуванням по рейкам сприяє розігріву металу до температур початку фазових перетворень. Подальше прискорене охолодження такого металу приводить до формування ділянок «білого шару» з підвищеною крихкістю.

3. Вперше наведено пояснення впливу підвищення вмісту вуглецю в сталі на зростання імовірності проковзування залізничних коліс. Пропорційно збільшенню кількості ділянок «білого шару» зростає неоднорідність наклепу

металу, прискорюються процеси пом'якшення при нагріві, що разом сприяє зростанню кількості вищербин.

4. Вперше дано пояснення ефекту пом'якшення холоднодеформованої вуглецевої сталі після електричної імпульсної обробки, що заснований на зниженні накопиченої кількості дефектів внутрішньої будови металу. Міра пом'якшення металу пропорційна величині наклепу від холодної пластичної деформації по поверхні кочення залізничного колеса.

5. Вперше показано, що при компактному розташуванні дисперсних часток неметалевих включень, мікрооб'єми металу представляють собою єдине ціле, з іншим, в порівнянні з металевою матрицею, характером деформаційного зміцнення.

6. Вперше виявлена залежність розвитку процесів зміцнення від орієнтації пластичної течії в матриці металу відносно поверхні неметалевого включення. При поступовій зміні напрямку деформації від нормальної, якій відповідає максимальний ефект приросту твердості, до дотичної по відношенню до поверхні включення, виявляється пом'якшення, яке прогресує, в мікрооб'ємах навколишньої металевої матриці.

7. Отримали подальший розвиток уявлення стосовно температурної залежності процесу проковзування залізничного колеса по рейкам. Зниження температури в місці контакту супроводжується зменшенням опору металу процесу проковзування.

8. Аналіз енергосилових параметрів процесу проковзування вуглецевої сталі залізничних коліс дозволив обґрунтувати обмеження по максимальній концентрації вуглецю в сталі залізничного колеса (не більше 0,6 %).

9. Використання технології електричної імпульсної обробки для пом'якшення наклепаного поверхневого шару залізничних коліс дозволить в умовах ремонтної бази вагонного депо знизити витрати ріжучого інструменту при відновленні профілю кочення коліс. За ефектом, що досягається, обробка адекватна нагріву металу до середнього інтервалу температур (400–500 °С).

10. Розроблено пропозиції до нормативно-технічної документації, а саме до Технічних умов та проектів Державних стандартів на виробництво високоміцних коліс, про що свідчать відповідні акти впровадження.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### ***Основні праці***

1. Вакуленко, Л. И. Электрическая импульсная обработка металла обода железнодорожного колеса после эксплуатации / Л.И. Вакуленко, В.А. Сокирко, Ю.Л. Надеждин // «Наука та прогрес транспорту». Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. 2013. – №1 (43). –Д.: Вид-во ДНУЗТ, С. 126–132.

2. Вакуленко, Л. И. Залежність розміру зерна аустеніту в сталі залізничного колеса від параметрів гарячої деформації / Л.И. Вакуленко // «Наука та прогрес



транспорту». Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. 2015. – №2 (55). –Д.: Вид-во ДНУЗТ, С. 157–167.

3. Вакуленко, Л. И. Влияние неметаллических включений на упрочнение матрицы металла при пластическом деформировании / Л. И. Вакуленко, О. А. Чайковский, С. В. Пройдак // Металознавство та термічна обробка металів. 2013. - №1(60). - С. 28 – 33.

4. Вакуленко, Л. І. Визначення параметрів деформаційного зміцнення в об'ємах окремих зерен полікристалів / Л. І. Вакуленко, М. А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 204–206.

5. Вакуленко, Л. И. Повреждаемость при эксплуатации цельнокатаных железнодорожных колес повышенной прочности / Л. И. Вакуленко, В. Г. Анофриев // Вагонный парк. 2013. - №4 (73). - С.10 – 12.

6. Вакуленко, Л.И. Повреждаемость при эксплуатации катаных железнодорожных колес повышенной прочности / Л. И. Вакуленко, В. Г. Анофриев // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 40. – С. 231–234.

7. Мямлин, С. В. Формирование поврежденных поверхности катания железнодорожных колес / С. В. Мямлин, С. В. Пройдак, Л.И.Вакуленко // Вагонный парк. - 2014. - № 1(82). - С. 7 – 9.

8. Вакуленко, Л. І. Оцінка ступеня знеміцнення при відпуску загартованої колісної сталі /Л. І. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 31. – С. 259–261.

9. Вакуленко, Л. И. Оценка влияния содержания углерода в стали на формирование дефектов на поверхности катания железнодорожных колес / Л. И. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 41. – С. 226–229.

10. Вакуленко, Л. И. О влиянии уровня прочности железнодорожных колес на формирование выщербин / Л. И. Вакуленко, С.В.Пройдак, Ю. Л. Надеждин // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 156–159.

11. Мямлин, С. В. Влияние условий эксплуатации на внутреннее строение металла железнодорожных колес / С. В. Мямлин, Л. И. Вакуленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2012. – Вип. 42. – С. 164–166.

### ***Додаткові праці***

12. Патент на корисну модель №18369, від 15.11.06, Бюл.№11 2006. Спосіб оцінки структурної неоднорідності полікристалів.

13. Патент на корисну модель №41818, від 10.06.09, Бюл.№11 2009. Спосіб оцінки деформаційного зміцнення мікрооб'ємів зерен полікристалів.

14. Вакуленко, Л. Разупрочнение углеродистой стали железнодорожного колеса после электрической импульсной обработки / Л. Вакуленко, С. Мямлин, А. Ковалек // XVI International scientific conf. «New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering and production engineering». 2015, Monografie - Nr 48. – Czestochova, P. 369–372.

15. Вакуленко, Л. И. Методика построения кривой деформации для отдельных зерен поликристалла / Л. И. Вакуленко, Н. Н. Грищенко // Сборник научных трудов. Строительство, материаловедение, машиностроение. Стародуб. чтения. 2006. – вып. 26. – ч.2. - С. 17–20.

16. Вакуленко, Л. Механизм формирования повреждений при эксплуатации железнодорожных колес / Л. Вакуленко, С. Пройдак, Х. Дья, А. Кавалек // XIV International scientific conf. «New technologies and achievements in metallurgy, materials engineering and production engineering». 2013, Monografie. - char.1. – Czestochova, P. 333–336.

17. Вакуленко, Л. И. К вопросу об оценке деформационной упрочняемости зерна феррита / Л. И. Вакуленко, Н. А. Грищенко // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 66 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 355–356.

18. Вакуленко, Л. И. О влиянии углерода на формирование повреждений железнодорожных колес при эксплуатации / Л. И. Вакуленко, А. В. Рослик // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 72 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 253–254.

19. Вакуленко, Л. І. Взаємозв'язок міцностних характеристик колісної сталі і швидкості розповсюдження звукових коливань / Л. І. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Тези доповідей 70 Міжнародної науково – практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2010. – С. 268–269.

20. Вакуленко, Л. І. Напрямки підвищення конструктивної міцності залізничних коліс / Л. І. Вакуленко, О. М. Перков // Тези доповідей 71 Міжнародної науково – практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2011. С. 354–355.

21. Мямлін, С.В. Умови формування ушкоджень по поверхні кочення залізничних коліс і бандажів / С.В. Мямлін, Л.І. Вакуленко // Тези доповідей 71 Міжнародної науково – практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2011. С. 367–368.

22. Вакуленко, Л. И. Изменение твердости по поверхности катания железнодорожного колеса при проскальзывании / Л. И. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Тези доповідей 14 Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», Дніпропетровськ, 2012. С. 482.

23. Вакуленко, Л. И. Структурные изменения в металле железнодорожных колес при эксплуатации / Л. И. Вакуленко, Н. Н. Грищенко // Тези доповідей 9 Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», Дніпропетровськ, 2007. С. 356.

24. Вакуленко, Л. И. Изменение внутреннего строения металла железнодорожного колеса при эксплуатации / Л. И. Вакуленко, Ю. Л. Надеждин // Тези доповідей 15 Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», Дніпропетровськ, 2013. С. 539.

25. Мямлин, С. В. О распределении деформации в металле железнодорожного колеса вблизи глобулярной частицы наметаллического включения / С. В. Мямлин, Л.И. Вакуленко // Тези доповідей 73 Міжнародної науково – практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпропетровськ, 2013. С. 269 – 271.

26. Вакуленко, Л. І. Знеміцнення неклепаного металу залізничного колеса при електричній імпульсній обробці / Л.І.Вакуленко // «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: матеріали конференції КМН – 2013». - Львів: Вид-во Фізико-механічного інституту, 2013. - С. 187 – 190.

## АНОТАЦІЯ

**Вакуленко Л. І. Удосконалення технології обробки суцільнокатаних залізничних коліс з метою запобігання ушкоджень поверхні кочення. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – Рухомий склад залізниць і тяга поїздів. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна. Дніпропетровськ, 2015.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі – удосконаленню технології обробки суцільнокатаних залізничних коліс з метою запобігання ушкоджень поверхні кочення.

Результатами досліджень визначено, що безперервне підвищення неоднорідності наклепу від циклічної зміни етапів утворення екструзій і інтрузій на поверхні кочення залізничного колеса приводить до зародження осередків руйнування металу. Виникнення локальних ділянок металу з високою твердістю зв'язане з проковзуванням колеса в місці контакту з рейкою. Виникаючий при цьому розігрів металу до температур початку фазових перетворень і подальше його прискорене охолодження приводять до формування ділянок гартування з високою крихкістю. Визначення механізму дії імпульсів електричного струму на зниження рівня наклепу вуглецевої сталі склало основу розробки атермічної технології пом'якшення металу при відновленні профілю кочення залізничного колеса. Виявлена залежність розвитку процесів зміцнення від орієнтації пластичної течії в матриці металу відносно поверхні неметалевого включення, дає змогу зрозуміти ступінь негативного впливу часток включень на зародження ушкоджень металу.

**Ключові слова:** залізничне колесо, ушкодження, поверхня кочення, проковзування, повзун, неметалеве включення.

## АННОТАЦИЯ

**Вакуленко Л. И. Совершенствование технологии обработки цельнокатаных железнодорожных колес с целью предупреждения формирования поврежденной поверхности катания. - На правах рукописи.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна. Днепропетровск, 2015.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-технической задачи – совершенствованию технологии обработки цельнокатанных железнодорожных колес с целью предотвращения повреждений поверхности катания.

Результатами исследований определено, что непрерывное повышение неоднородности наклепа от этапов образования экструзий и интрузий на поверхности катания железнодорожного колеса является причиной зарождения очагов разрушения металла. Возникновение локальных участков металла с высокой твердостью связано с проскальзыванием колеса в месте контакта с рельсом. Разогрев участков до температур начала фазовых превращений и дальнейшее ускоренное охлаждение приводят к формированию закаленных объемов металла обода с высокой хрупкостью. Объяснение механизма действия импульсов электрического тока на снижение степени наклепа углеродистой стали составило основу разработанной технологии атермического разупрочнения холоднодеформированного металла. Выявленная зависимость развития процессов упрочнения от ориентации пластичного течения в матрице металла относительно поверхности неметаллического включения дает возможность понять степень негативного влияния частиц неметаллических включений на зарождение поверхностных повреждений металла обода железнодорожного колеса. При испытаниях накатыванием увеличение числа циклов, независимо от уровня нормального нагружения в месте контакта образец – контролль образец, сопровождается снижением твердости закаленной стали до 7 %. Анализ характеристик внутреннего строения стали показал, что эффект разупрочнения при накатывании в основном обусловлен развитием процессов перераспределения атомов углерода в кристаллической решетке при пластической деформации. По достигаемому эффекту влияние накатывания адекватно снижению содержания углерода в стали от 0,62 до 0,56 %. Исследования параметров внутреннего строения стали железнодорожного колеса после накатывания показали существование качественных различий в характере изменения по сравнению с разупрочнением металла при нагреве. Отпуск стали после закалки сопровождается снижением количества дефектов кристаллического строения и искажений второго рода с одновременным увеличением размеров микрообластей. Разупрочнение углеродистой стали после накатывания сопровождается приростом количества дефектов, большим разбросом значений искривлений второго рода и измельчением микрообластей, что должно соответствовать упрочнению металла. Анализ энергосиловых параметров процесса проскальзывания для углеродистой стали, позволил обосновать необходимость ограничения максимальной концентрации углерода в стали железнодорожного колеса - не более 0,6 %. Использование технологии электрической импульсной обработки для разупрочнения наклепанного поверхностного слоя железнодорожных колес позволяет в условиях ремонтной базы вагонного депо без нагрева снизить уровень твердости металла. Предложенное техническое решение позволит уменьшить



расходы режущего инструмента при восстановлении профиля катания железнодорожных колес. По достигаемому эффекту, такая обработка адекватна нагреву металла в среднем интервале температур (400–500 °С).

**Ключевые слова:** железнодорожное колесо, повреждение, поверхность катания, проскальзывание, ползун, неметаллическое включение.

## ABSTRACT

### **Vakulenko L. I. Technology perfection of railway wheels treatment with aim to prevent damages forming on surface of rolling. - Manuscript.**

Thesis for the degree of Candidate of Technical Science on the speciality 05.22.07 - Rolling stock of railways and traction of trains. – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V.Lazaryan. Dnipropetrovsk, 2015.

Dissertation is devoted to the solution of actual scientific and technical task that is improvement of processing technology of railway all-rolled wheels with the aim to prevent damages of the roll surface.

The results of researches show, that continuous increase of heterogeneity of slander from the cyclic change of the stages of extrusions and intrusions formation on the rolling surface of railway wheel, lead to the formation of metal breakdown. The origin of local areas of metal with high hardness is related with sliding of wheel in the place of contact with a rail. Warming up to the temperatures of the transformations beginning of phase and the further speed-up cooling over leads to form of hard-tempered volumes of metal to the rim with the high brittleness. Determination the action mechanism of electric current impulses on the decline of cold hammering level made basis of nonthermal technology development of cold forming. The dependence of strengthening processes development from the orientation of plastic flow in the matrix of metal, in relation to the surface of nonmetallics was revealed. It gives an opportunity to understand the degree of negative influence of nonmetallics on the origin of metal damages of railway wheel rim.

**Key words:** railway wheel, damage, surface of rolling, sliding, slider, nonmetallics.

Вакуленко Леонід Ігорович

**Удосконалення технології обробки суцільнокатаних залізничних коліс з метою запобігання ушкоджень поверхні кочення**

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

---

Підписано до друку 17.08.2015р. Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 1,1. Обд.-вид. арк. 1,15

Тираж 100 пр. Зам. №

---

Видавництво Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна

Свідотство суб'єкта видавничої діяльності ДК №1315 від 31.03.2003 р.

Адреса видавництва та дільниці оперативної поліграфії:  
вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010