

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

Грищенко Микола Анатолійович

УДК 629.4.027.5:620.19

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ  
ЕЛЕМЕНТІВ КОЛІСНИХ ПАР НА ОСНОВІ ВИЗНАЧЕННЯ  
МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ ДЕФЕКТІВ**

05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ – 2015

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  
**Вакуленко Ігор Олексійович**,  
Дніпропетровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В.  
Лазаряна, завідувач кафедри «Технологія  
матеріалів»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
**Мартинів Ігор Ернстович**,  
Український державний університет  
залізничного транспорту, завідувач кафедри  
«Вагони»

кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник,  
**Кононенко Ганна Андріївна**,  
Інститут чорної металургії імені З.І.Некрасова  
НАН України, відділ «Проблеми деформаційно-  
термічної обробки конструкційних сталей»

Захист відбудеться « 22 » 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 « 22 » вересня 2015

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради Д 08.820.02

І. В. Жуковицький

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

### **Актуальність теми.**

Сучасні умови експлуатації залізничного транспорту обумовлюють одночасне поступове зростання швидкості руху та збільшення навантаження на вісь колісної пари. Таке збільшення інтенсивності роботи транспорту без розробки якісно нових рішень щодо конструктивних особливостей окремих вузлів, без врахування складних умов циклічного та динамічного навантажень, приведе до зростання кількості ушкоджень і, як наслідок, до передчасного виходу їх з експлуатації. Одними із таких складно навантажених елементів виступають залізничні колеса, бандажі та вісі колісних пар.

Утворення різноманітних дефектів на поверхні кочення коліс та бандажів в значній мірі обумовлено співвідношенням властивостей металу, які змінюються в залежності від відстані від поверхні кочення й умовами взаємодії «колесо – рейка».

З урахуванням наведеного стає зрозумілим, що вирішення сучасної вагової проблеми по підвищенню безпеки експлуатації рухомого складу неможливо уявити без вирішення низки питань щодо підвищення загальної якості металу та обґрунтованих обмежень експлуатаційного характеру. Якщо питання якості металу для коліс, бандажів та вісей вирішуються виробником за замовленням, то умови експлуатації у більшості обумовлюються галуззю залізничного транспорту. Таким чином, системний підхід до класифікації дефектів котрі формуються в елементах залізничних коліс, бандажів та вісей, з урахуванням процесів структурних перетворень в металі, в залежності від умов експлуатації, дозволить визначити механізм та умови зародження осередків руйнування, що є актуальним питанням.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Держдоговірна тематика Університету (галузевий план НДДКР від 05.03.07, №136-Ц №33.155; Др. №0108М003063); ДР 0110U007511 «Дослідження зразків нової вагонної техніки в реальних умовах експлуатації», 2010, 2011 р.; ГБ 31.00.13-15 «Розробка наукових основ і промислове випробування технології термомеханічного зміцнення при виготовленні високоміцних суцільнокатаних залізничних коліс», 2013, 2014 р.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дослідження являється розробка пропозицій щодо підвищення експлуатаційної безпеки залізничних коліс, бандажів та вісей, на основі класифікації ушкоджень, які виникають під час експлуатації, визначення механізму та умов формування дефектів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз закономірностей, які описують процеси зародження тріщини, та її інкубаційний етап зростання;

– виконати аналіз структурних змін при одночасному збільшенні ступеня пластичної деформації та температури при утворенні осередків руйнування;

– дослідити вплив кількості, розташування, дисперсності неметалевих включень на зростання тріщин;

– розробити моделі періодичності ремонтно-відновлювальних робіт для бандажів локомотивів;

– розробити класифікатор дефектів та методику з порядку визначення причин виникнення тріщин в суцільнокатаних колесах, на основі визначення характеру зародження осередків руйнування при експлуатації залізничних коліс,

– дослідити залишковий ресурс експлуатації вісей колісних пар.

**Об'єкт дослідження.** Процеси формування ушкоджень в залізничних колесах, бандажах та вісях при експлуатації.

**Предмет дослідження.** Закономірності процесів формування ушкоджень в залізничних колесах, бандажах та вісях залежно від умов експлуатації.

**Методи дослідження.** Процеси зародження осередків руйнування вивчали, використовуючи методи макро- та мікроструктурного аналізу. Механічні властивості металу визначали із аналізу кривих навантаження, твердість оцінювали за методами Брінеля, Роквелла, Віккерса. Розрахунки на математичній моделі проводили з використанням системи символічних розрахунків Maple.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Наукову новизну мають перелічені результати досліджень, які вперше отримано в дисертації:

1. Вперше представлена класифікація виникаючих дефектів в залізничних колесах, бандажах, вісях колісних пар залежно від комплексного впливу чинників технології виробництва та умов експлуатації.

Наведена класифікація дефектів дозволяє визначити оптимальний напрям по проведенню ремонтно-відновлювальних робіт, оцінки можливості використання виробу після ремонту. Доцільно використовувати при розробці нових та перегляду діючих нормативно-технічних документів на виготовлення залізничних коліс, бандажів та вісей з урахуванням підвищених сучасних норм експлуатаційної безпеки.

2. Вперше визначено, що коефіцієнт інтенсивності напружень для області інкубаційного зростання тріщини залежить від величини, яка характеризує початковий процес розповсюдження деформації через межі розподілу в структурі сталі.

Розробка відрізняється врахуванням впливу початкових етапів розповсюдження деформації на процес зростання тріщини.

3. Вперше визначено, що коефіцієнт інтенсивності напружень для області неконтрольованого росту тріщини зв'язаний параболічною залежністю з ударною в'язкістю вуглецевої сталі.

Розробка відрізняється врахуванням величини питомої енергії руйнування при динамічних навантаженнях на процес зростання тріщини за умови остаточного руйнування виробу.

4. Розроблено моделі процесів зношення гребеня та утворення прокату при експлуатації бандажів дало змогу розробити концепцію заходів щодо підвищення експлуатаційної безпеки.

Наведені заходи складаються з визначення моменту вилучення бандажу з експлуатації з метою проведення ремонтних робіт коли умови відповідають раціональному використанню виробу.

5. Отримали подальший розвиток уявлення, що мікротріщина яка зароджується на міжфазовій межі неметалевого включення–феритна складова структури вуглецевої сталі розповсюджується у напрямку з локально зниженим опором металу.

Наведені дані необхідні для розуміння впливу неметалевих включень на процеси зародження та зростання тріщин при експлуатації залізничних коліс, бандажів та вісей.

#### **Практична цінність отриманих результатів.**

На підставі вивчення закономірностей формування ушкоджень в залізничних колесах, бандажах та вісях колісних пар від особливостей внутрішньої будови металу та умов експлуатації:

– Розроблено «Методичні вказівки з порядку визначення причин виникнення тріщин в суцільнокатаних колесах та руйнування їх в цілому».

– Розроблено спосіб обробки залізничних осей (Патент, 32095 Україна, МПК С21Д1/78).

– Розроблено спосіб визначення твердості по Брінеллю (Патент, 25887 Україна, МПК G01N29/00).

– Розроблено спосіб визначення напруження розблокування дислокацій  $\sigma_d$  при навантаженні (Патент, 31831 Україна, МПК В21В1/00).

– Розроблено міждержавний Стандарт «Оси чистовые для специального подвижного состава. Требования эксплуатационной безопасности».

– Розроблено методику визначення періодичності контролю стану бандажів.

**Особистий внесок.** Основні результати та положення, які становлять суть дисертації, отримано автором самостійно. У публікаціях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: в [1, 3, 7, 9, 12] – аналітичний огляд літератури, підготовка зразків для дослідження, [2, 6, 11] – проведення структурних досліджень, аналітичний огляд літератури, [10] – дослідження закономірностей зміни мікроструктури, механічних характеристик, [4, 5, 13] – мікроструктурні дослідження, [3, 11, 14] – оцінювання впливу експлуатаційного середовища на виникнення пошкоджень залізничних коліс, локомотивних бандажів та вісей колісних пар.

Постановку задач, аналіз й трактування основних результатів, формулювання наукових висновків та рекомендацій проведено спільно з науковим керівником.

**Апробація роботи.** Матеріали роботи доповідались та обговорювались на науково-технічних конференціях та семінарах: 67, 68, 69, 73 і 74-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпропетровськ, 2007, 2008, 2009, 2013, 2014); 7-й Міжнародному науково-технічному семінарі «Современные проблемы подготовки производства заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте» (г. Свалява, Карпати, 2007); 8-й Міжнародній науково-технічній конференції «Инженерия поверхности и реновация изделий» (г. Ялта, 2008); 9 Міжнародному науково-технічному конгресі термістів та металознавців «ОТТОМ-9» (м. Харків, 2009); Міжнародній науково-технічній конференції «Стародубовські читання» (м. Дніпропетровськ, 2009); 5 Міжнародній науково-технічній конференції «Проблемы безопасности на транспорте» (г. Гомель, Білорусь, 2010); Відкритій науково-технічній конференції молодих науковців і спеціалістів Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи» (Львів, 2013); на засіданнях кафедри «Технологія матеріалів» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на міжкафедральному семінарі кафедр «Вагони і вагонне господарство», «Локомотиви», «Технологія матеріалів», «Управління експлуатаційною роботою», «Безпеки життєдіяльності» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна (січень 2015 р).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладені в 35 наукових працях, серед яких 1 монографія, 14 наукових статей в спеціалізованих фахових виданнях, що входять до переліку ВАК України, в тому числі 2 в журналах, що входять до наукометричних баз даних, 3 патенти, 17 тез доповідей на міжнародних конференціях.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків і додатків, містить 172 сторінки, включаючи 158 сторінок основного тексту, 68 рисунка, 1 таблиці і список використаних джерел з 119 найменувань на 11 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** виконано статистичний аналіз пошкоджень залізничних коліс, бандажів та вісей в експлуатації. Розглянуті питання впливу типорозмірів коліс і бандажів на їх конструктивну міцність. В роботах провідних вчених Є. П. Блохіна, А. А. Босова, О. М. Пшінька, І. О. Вакуленка, Г. В. Рейдемейстера, С. В. Мямліна, Б. Є. Боднаря, В. Ф. Ушкалова, М. Б. Кельріха, Л. А. Манашкіна, І. Е. Мартинова, П. С. Анісімова, Г. А. Кононенко, О. Л. Голубенка, М. І. Горбунова, Л. А. Мурадяна, О. М. Перкова та ін. показаний вплив різноманітних чинників на стабільність властивостей і безпеку експлуатації залізничних коліс. Результатами дослідження встановлено, що окрім наклепу металу колеса по поверхні кочення, певний вплив складають умови експлуатації в тому числі температура розігріву та прискореного охолодження під час гальмування рухомого складу

Процес термічного зміцнення, у всіх випадках сприяє підвищенню міцностних характеристик виробів, опору зародженню тріщин. Однак, при цьому ресурс накопичення дефектів кристалічної будови металу суттєво знижується. Складна схема розподілу деформації по поверхні кочення залізничних коліс та бандажів, циклічні навантаження на елементи залізничної вісі не дають змоги прогнозувати однозначний вплив дефектів металургійного виробництва на характер поведінки виробу в експлуатації.

На протязі останніх декількох десятиріч вивченню поведінки колісних сталей під дією різних схем циклічного навантаження приділялося достатньо уваги проте недостатньо робіт присвячено комплексному вивченню причин виникнення дефектів в бандажах, вісях та колесах вантажних вагонів з урахуванням сучасних умов експлуатації рухомого складу та додаткових чинників виникаючих при використанні нових матеріалів в окремих елементах.

На підставі проведеного огляду, із загальної проблеми передчасного вилучення елементів колісних пар з експлуатації, були сформульовані основні задачі дослідження, вирішення яких необхідно для досягнення поставленої мети.

**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 етіловому 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.

У третьому розділі досліджено поведінку вуглецевих сталей при статичному та циклічному навантаженнях. Для однофазних сплавів та низьковуглецевих сталей основним структурним елементом є розмір зерна. Незалежно від умов навантаження межа плинності ( $\sigma_T$ ), опір малим пластичним деформаціям в залежності від розміру зерна фериту низьковуглецевих сталей достатньо добре описуються співвідношенням типу Хола-Петча:

$$\sigma_T = \sigma_i + K_y \cdot d^{-\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $\sigma_i$  – напруження тертя кристалічної решітки;  $K_y$  – величина, яка оцінює опір межі зерен процесу розповсюдження пластичної деформації;  $d$  – розмір зерна фериту.

З аналізу кривої деформації величину  $K_y$  (позначимо  $K'_y$ ) визначають із співвідношення

$$\sigma_d = \frac{K'_y}{\sqrt{d}}, \quad (2)$$

де  $\sigma_d$  – напруження, яке необхідно досягти для зародження дислокацій в сусідніх недеформованих зернах фериту на відстані  $l$  від зеренної границі.

Для розрахунків приймемо  $d \approx 2l$ .

За початкові етапи зростання тріщини може бути прийнятий момент перетину першої великокутової межі, а довжина тріщини повинна перебільшувати розмір зерна. Тоді величину коефіцієнта інтенсивності напружень в гирлі тріщини для інкубаційного етапу росту ( $K_0$ ) можна оцінити за формулою:

$$K_0 = \sigma_l \sqrt{\pi \cdot l_0}, \quad (3)$$

де  $\sigma_l$  – рівень напруження, який необхідно мати для перетину тріщиною великокутової межі;  $l_0$  – довжина тріщини, яка пов'язана з розміром зерна за залежністю:  $l_0 = n \cdot d$ , де  $n$  – кількість зерен.

За умови коли  $\sigma_d \approx \sigma_l$ , та заміни  $\sigma_d$  і  $\sigma_l$  на відповідні співвідношення (2) та (3), отримуємо залежність  $K_0$ :

$$K_0 = K'_y \sqrt{\pi \cdot n}. \quad (4)$$



Таким чином використовуючи експериментальні дані з визначення рівня опору великокутових меж зерен фериту розповсюдженню перших актів пластичної деформації, стає можливим оцінити рівень коефіцієнта інтенсивності напружень для етапу інкубаційного зростання тріщини [9].

**У четвертому розділі** проведено аналіз процесів формування ушкоджень при експлуатації залізничних коліс, бандажів та вісей.

Порівняльний аналіз внутрішньої будови досліджуваних коліс показав як існування розбіжностей, так і деяку їх схожість. Якщо обод колеса, який піддають прискореному охолодженню, має в цілому більш дрібнозернисту будову і, на підставі цього підвищені міцнісні властивості, ніж у стані після гарячого деформування, то для литого колеса картина дещо інша. Низькі швидкості охолодження призводять до формування такої первинної структури в різних елементах колеса (рис. 1, а), яка з незначними розбіжностями за дисперсністю схожа із структурою, що утворюється після гарячої деформації.

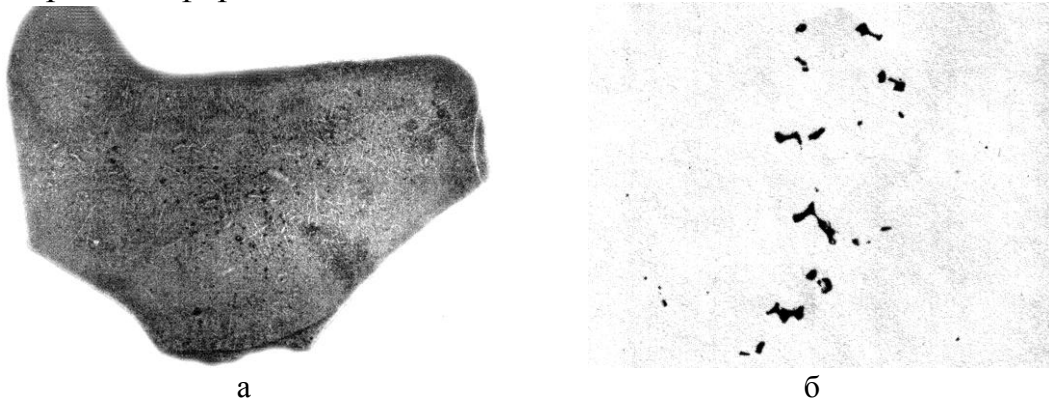


Рисунок 1 – Структура виливного колеса (а – макроструктура, б – несутцільності).  
Збільшення (б) – 100 в разів.

Після термічного зміцнення шар металу з підвищеними властивостями міцності в середньому складає до 8% від товщини ободу, а далі структура відповідає гарячедеформованому стану. Компенсувати наведені розбіжності можна за рахунок підвищення дисперсності перлітної складової або збільшенням її об'ємної частки. Дійсно, підвищення кількості перліту в литому колесі за рахунок використання сталі з більшим вмістом вуглецю дає змогу перевищити вимоги щодо міцнісних властивостей колеса (ГОСТ 10791) в середньому на 3% від вищої та на 25% від нижчої межі інтервалу. Твердість в середньому підвищується на 18%. При цьому пластичні властивості низькі через наявність грубодисперсної перлітної структури та надмірно високої кількості перлітної складової. Окрім цього, як показали додаткові дослідження внутрішньої будови металу, сталь литого колеса, особливо поблизу поверхні кочення, має певну несутцільність (рис. 1, б) та підвищену кількість неметалевих включень у вигляді сульфідів.

Для підвищених швидкостей руху значно збільшується температурний вплив, особливо в зоні контакту колесо (бандаж)-рейка. Для схем

гальмування з використанням гальмівних колодок визначено, що стискання залізничних коліс, бандажів по поверхні кочення сприяє, з достатньо високою швидкістю, збільшенню температури в приповерхневих прошарках металу. При цьому температура розігріву за різними оцінками в прошарку металу до 1 мм може досягати значень достатніх для початку фазових перетворень (до 800 °С). Так, для об'ємів металу колеса, які піддаються нагріванню до 600...650 °С після холодного наклепу, на рівні 40-50% деформації, в місцях перлітних колоній спостерігається формування частково сфероїдизованих карбідних часток [6]. Прошарки структурно вільного фериту після наведеного впливу перетворюються в ланцюги, які складаються з дрібних зерен різної морфології, з розташуванням по межах між перлітними колоніями. Базовою сталлю для виготовлення залізничних коліс є сталь 60 з оптимальним структурним станом за дифузійним механізмом формування. Перлітні колонії разом із структурно вільним феритом приймають участь в пластичному деформуванні металу в місці контакту колесо-рейка. Змінний характер навантаження при коченні обумовлює розвиток процесів, які сприяють гальмуванню зародження та зростання мікротріщин в металі залізничних коліс під час експлуатації.

**У п'ятому розділі** наведені причини формування ушкоджень при експлуатації залізничних коліс, бандажів та вісей колісних пар.

В залежності від умов експлуатації, процес зростання тріщини в вуглецевій сталі може мати розвиток як послідовно, так і одночасно у взаємоперетинаючихся кристалографічних площинах ковзання [1, 3]. В обох випадках розповсюдження тріщини відбувається по об'ємах металу з підвищеною щільністю неметалевих включень різної дисперсності та розташування. В залізничному колесі на глибині від поверхні кочення до 1 мм, за рахунок досягнення високих температур металу, в разі виходу тріщини на поверхню та дуже швидкого окислення її берегів, виникає додатковий чинник для прискорення її зростання. Рушійною силою є локальне збільшення об'єму металу при окисненні (рис. 2) [8].



Рисунок 2 – Тріщина з виходом на поверхню кочення колеса повністю заповнена окислами металу. Збільшення 200

Якщо поверхня, в якій спостерігається підвищена щільність неметалевих включень паралельна поверхні кочення, тріщина з великою

імовірністю зростає по цій поверхні, що врешті рещт призводить до порушення зв'язку поверхневого шару з глибинними об'ємами металу

Підтверджується це на прикладах залізничних коліс, які були вилучені з експлуатації за рахунок формування дефектів. Вказані колеса мали відносно грубодисперсну перлітну структуру, низькі значення  $KCU$  та твердості  $\left(\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}\right)$  на різній глибині від поверхні кочення. Поблизу з поверхнею ( $HB_1$ ) складала значення  $285 \div 300 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , на відстані 10 мм

( $HB_2$ ) –  $260 \div 280 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ , та на відстані 30 мм ( $HB_3$ )  $255 \div 265 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ .

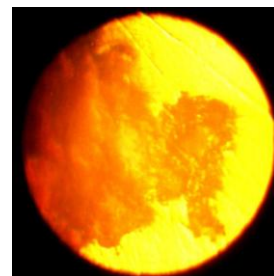
Враховуючи, що в процесі експлуатації коліс максимальні дотичні напруження діють на відстані 10÷15 мм від поверхні кочення, недостатній рівень  $HB$  може не забезпечувати необхідний опір металу зародженню та зростанню тріщин втоми. Навпаки, в колесах, які відпрацювали свій термін та були вилучені з експлуатації по досягненню мінімально припустимої товщини обода, було визначено, що кількість неметалевих включень знаходиться на рівні мінімальних значень інтервалу за умовами ГОСТ 10791, а величини твердості мали підвищені значення ( $HB_1$  330 ÷ 340,  $HB_2$  310 ÷ 320  $\frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ ).

Таким чином, можна вважати, що одночасно знижуючи кількість неметалевих включень в металі, та використовуючи зміцнюючі термічні обробки (диспергування перлітних колоній) стане можливим на відстані від поверхні кочення 10-15 мм сформувати зону металу з твердістю  $290 \div 300 \frac{\text{кг}}{\text{мм}^2}$ . Це в свою чергу підвищить експлуатаційну надійність та ресурс роботи залізничних коліс.

Дослідження випадків відколу прошарку металу від поверхні кочення залізничних коліс у своїй більшості має характер руйнування за механізмом втоми (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Відкол металу по поверхні кочення колеса (а), неметалева включення, яке знайдено в осередку зародження тріщини (б). Збільшення 100 (б)

Проведений аналіз металу ободу колеса, починаючи від осередка руйнування й подалі углиб показав, що зародження мікротріщини почалося від неметалевого включення достатньо великого розміру [11]. Таким чином наявність в обмеженому об'ємі металу визначеної концентрації неметалевих включень, які значно перебільшують 5 бал за ГОСТ 1778 привела до руйнування колеса. Однак, залягання неметалевих включень на визначеній відстані від поверхні кочення (нове колесо) не призводить до виникнення критичного рівня концентрації напружень при навантаженні в процесі експлуатації колеса. Після визначеного терміну експлуатації колеса, за рахунок розвитку процесів зносу металу, відстань залягання вказаних неметалевих включень від поверхні кочення зменшується. За умов досягнення критичного значення коефіцієнта інтенсивності напружень від неметалевих включень відбувається зародження субмікротріщини. Для даного випадку останнє обточування колеса привело до відстані включення 8 мм від поверхні кочення, чого було достатньо до зародження тріщини і руйнування колеса[12].

Дослідження випадків формування ушкоджень в залізничних бандажах показали якісне співпадіння, з механізмом утворення ушкоджень залізничних коліс. У більшості випадків метал бандажів з ушкодженнями, відхилень від вимог ГОСТу 398 по хімічному складу, по структурі кількості та морфології неметалевих включень немає. З іншого боку, при відповідності металу вимогам ГОСТу 398, руйнування бандажу вимагає визначити причину виникнення події. Аналіз поверхні руйнування бандажу (рис. 4) визначив наступне.

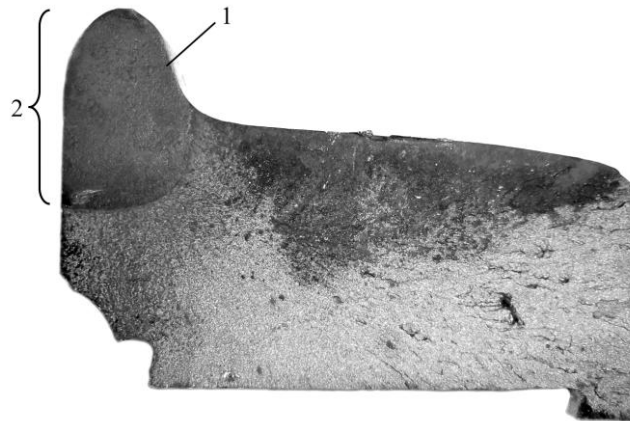


Рисунок 4 – Вигляд місця руйнування бандажа:

1 – місце зародження тріщини втомі; 2 – область яка відповідає руйнуванню при втомі.

В області переходу від гребеня до поверхні кочення, по візерунку розташування елементів зламу було визначено розташування осередка зародження руйнування. Більш поглиблені дослідження показали що осередок руйнування має певні ознаки, обумовлені розвитком процесів втомлення.

Дослідження залізничної вісі з використанням стандартних випробувань показало, що як за хімічним складом (0,46% С, 0,75% Mn,

0,22% Si, 0,017% S, 0,016% P) так і по рівню механічних властивостей при розтягуванні (межа міцності 667 Н/мм<sup>2</sup>, відносне подовження 24,5%, ударна в'язкість 0,6 МДж/м<sup>2</sup>) метал залізничної вісі повністю відповідає вимогам ГОСТ 4728-96. Додатково до досліджень хімічного складу металу вісі та рівня механічних властивостей на відповідність вимогам нормативно-технічної документації, був проведений аналіз мікроструктури сталі. Структура металу вісі являє собою дрібно пластинчатий перліт з певною морфологією та кількістю структурно вільного фериту, який розташований по межах перлітних колоній [5]. З метою оцінки ресурсу роботи вісі були проведені дослідження з визначення межі міцності (аналіз побудованої діаграми Велера (рис. 5)). По зовнішньому вигляду діаграму необхідно підрозділити на дві ділянки: для кількості циклів навантаження до  $4 \cdot 10^5$  та більше цього значення, які відповідають мало- та великоцикловому втомленню відповідно. Враховуючи той факт, що для оцінки характеристик міцності металу коли випробування проводились на зразках, часто обмежують кількість циклів до руйнування базовими значеннями, в першому наближенні можна прийняти значення 265 Н/мм<sup>2</sup>, як умовну величину межі міцності при втомі. Однак, за методикою натурних випробувань на втомлюваність залізничних вісей  $\sigma_a$  не повинна бути меншою 195 Н/мм<sup>2</sup>, при витримці  $N_i$   $8 \cdot 10^6$  циклів [7].

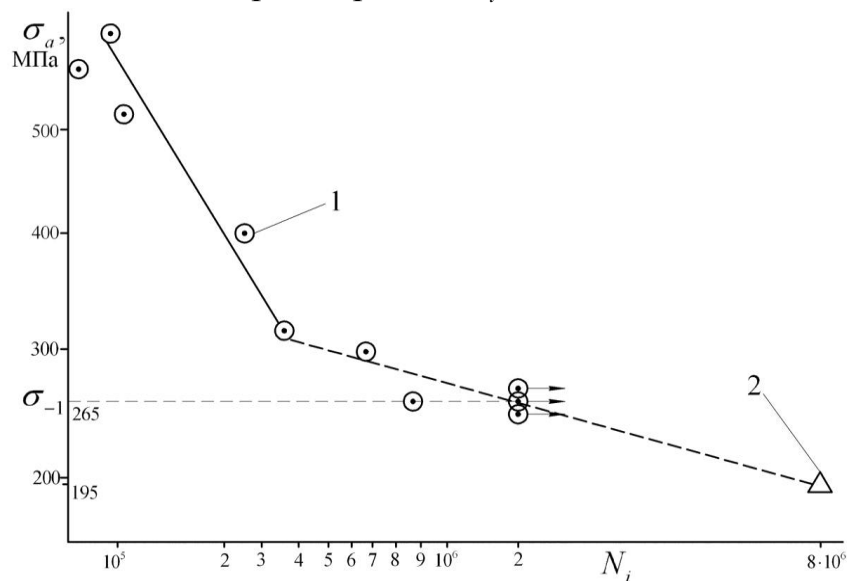


Рисунок 5 – Вплив амплітуди навантаження ( $\sigma_a$ ) на кількість циклів ( $N_i$ ) до руйнування зразка (1) та залізничної вісі (2)

На підставі проведених досліджень, за відсутністю явних ознак по впливу на характер зростання тріщин втоми з боку структурних параметрів металу (неоднорідність структури металу, перебільшення припустимої межі по впливу неметалевих включень), можна вважати, що залізнична вісь являє собою достатньо надійний елемент рухомого складу в разі дотримання вимог нормативно-технічної документації щодо умов її використання.

У шостому розділі приведено математичні моделі зносу гребеня та утворення прокату.

З метою розробки моделі оцінки періодичності ремонтно-відновлювальних робіт, в першому наближенні приймаємо, що профіль бандажа описується кривою, вигляд якої наведено на рис. 6.

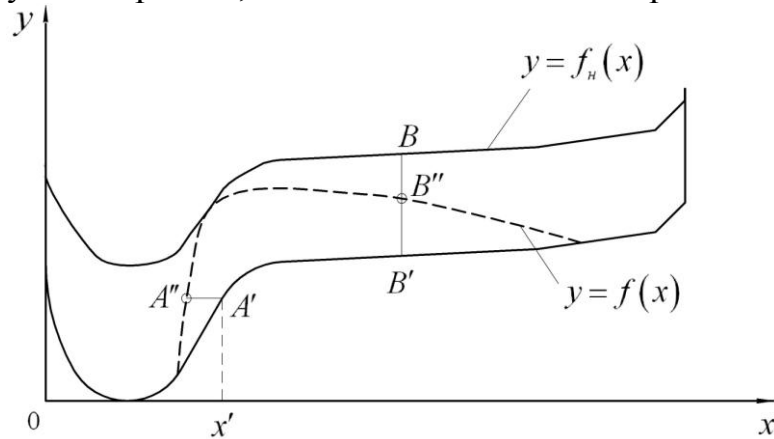


Рисунок 6 – Вигляд кривої, яка описує профіль бандажа

По прийнятій методиці контролю, знос бандажа характеризується двома величинами:

$$l_1 = A'A'' \text{ і } l_2 = B'B'' , \quad (5)$$

де  $l_1$  і  $l_2$  – знос гребеня та прокат відповідно.

Величина  $z = BB'$  визначає технологічний знос. Наведена характеристика показує на скільки необхідно зменшити товщину бандажа для виготовлення розрахункового профілю.

Якщо позначити через  $t$  пробіг локомотива, від моменту останнього обточування або виготовлення бандажа, то величини  $l_1$ ,  $l_2$  та  $z$  можуть бути представлені як деякі функції від  $t$ :

$$\begin{aligned} l_1 &= \varphi_1(t); \\ l_2 &= \varphi_2(t). \end{aligned} \quad (6)$$

Приймаємо, що  $\bar{l}_1$  та  $\bar{l}_2$  – максимально допустимі значення зносу гребеня та прокату відповідно.

Порушення хоча б однієї із наведених умов:

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &\leq \bar{l}_1; \\ \varphi_2(t) &\leq \bar{l}_2. \end{aligned} \quad (7)$$

відповідає моменту настання відмови роботи виробу. На підставі вище викладеного, величина технологічного зносу  $z$  може бути визначена із співвідношення:

$$z(t) = f(x') - f(x' - \varphi_1(t)) - \varphi_2(t), \quad (8)$$

де  $x'$  – таке значення аргументу, в межах якого функція  $y = f(x)$  описується лінійною залежністю.

Звичайно, виникає задача визначення такого пробігу  $t_0$ , щоб технологічний знос  $z(t_0)$  був би мінімальним та відповідав умовам (7). Одне із рішень наведеної задачі складається з наступного. Вибирається масштаб для зношення гребеня, за якими величина  $a$  повинна бути у 2,75 рази більшою чим для прокату. Далі будуються криві  $\varphi_1(t)$  і  $\varphi_2(t)$  та визначаються напрацювання  $t_0$ . Величина  $t_0$  визначається за умови перетинання кривих наведених на рис. 8, та виконання умов (7).

Величина  $z$  оцінюється по співвідношенню (8), в межах точки  $x'$  у вигляді:

$$z(t) = a\varphi_1(t) - \varphi_2(t), \quad (9)$$

де

$$a = \left. \frac{df}{dx} \right|_{x=x_1} = \operatorname{tg} 70^\circ = 2,75. \quad (10)$$

З наведеного вище витікає, що зношення одного міліметра гребеня супроводжується переносом профілю на 2,75 мм, що достатньо однозначно ілюструється рис. 7.

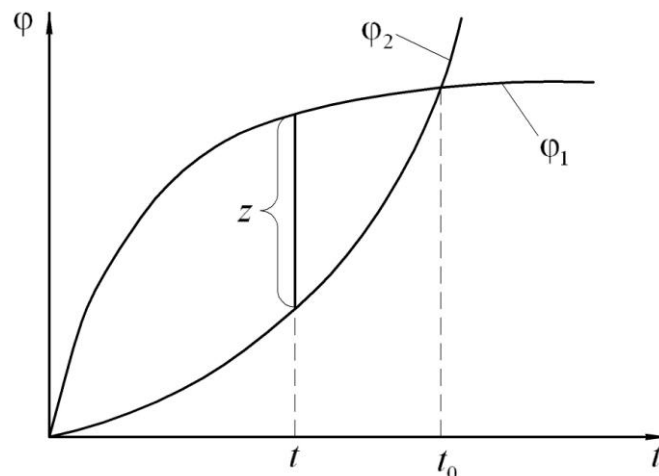


Рисунок 7 – Визначення напрацювання

Такий підхід дозволяє розв'язати задачу по мінімізації технологічного зносу, якщо є можливість безперервного або “майже” безперервного контролю зношення гребеня та прокату по поверхні кочення. В іншому випадку контроль повинен проводитися з деяким періодом по пробігу, раціональне значення якого необхідно визначити. Практичне використання моделі було проведено на прикладі роботи локомотива ТЭ7.

Рішення рівняння проводили з використанням системи символічних розрахунків Maple. Графічне рішення залежності (рис. 8) показує, що умови моделі виконуються при  $\tau \approx 3,1$  тис. км.

На підставі наведеної оцінки розробляється система обстеження бандажів, яка на практиці складається з наступного:

– після ремонту профіля, перше обстеження необхідно проводити після напрацювання  $\tau \approx 150$  тис. км;

– послідовні обстеження проводяться з періодом не більше  $\tau \approx 3,1$  тис. км.

З метою підвищення точності оцінки розміру періодичності  $\tau$ , було проведено логарифмування, та відповідна перебудова співвідношення (рис. 9).

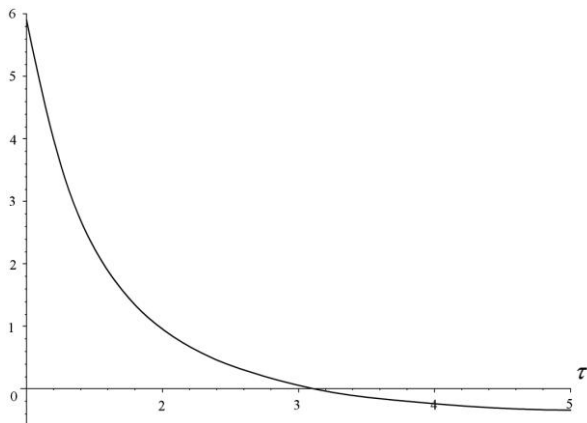


Рисунок 8 – Вигляд залежності  $\frac{dJ}{d\tau}$  від  $\tau$ .

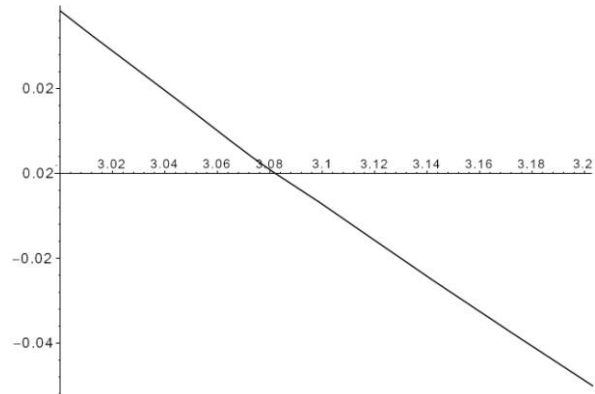


Рисунок 9 – Більш точне визначення критичного значення  $\tau$ .

Аналіз графічної залежності (рис. 9) показує, що критичне значення  $\tau$  дорівнює 3,08 замість, раніше отриманого 3,1. Дане уточнення може розцінюватися як крок по підвищенню експлуатаційної безпеки рухомого складу, тому, що наступні обстеження повинні проводитися з періодичністю не більше 3,08 тис. км. Порівняльний аналіз отриманих результатів з умовами, які викладені в інструкції №092 показує достатньо добрий збіг.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення і нове рішення актуальної науково-технічної задачі по підвищенню експлуатаційної безпеки залізничних коліс, бандажів і вісей рухомого складу на основі визначення механізму формування ушкоджень і їх класифікації. За результатами роботи розроблений класифікатор дефектів, методичні вказівки, що затверджені відповідними службами Укрзалізниці та міждержавний стандарт «Оси чистовые для специального подвижного состава. Требования эксплуатационной безопасности».

1. Вперше представлена класифікація виникаючих дефектів в залізничних колесах, бандажах, вісях колісних пар залежно від комплексного впливу чинників технології виробництва та умов експлуатації. Наведена класифікація дефектів дозволяє визначити оптимальний напрям по проведенню ремонтно-відновлювальних робіт, оцінки можливості використання виробу після ремонту. Доцільно



використовувати при розробці нових та перегляду діючих нормативно-технічних документів на виготовлення залізничних коліс, бандажів та вісей з урахуванням підвищених сучасних норм експлуатаційної безпеки.

2. Вперше визначено, що коефіцієнт інтенсивності напружень для області інкубаційного зростання тріщини залежить від величини, яка характеризує початковий процес розповсюдження деформації через межі розподілу в структурі сталі.

3. Вперше визначено, що коефіцієнт інтенсивності напружень для області неконтрольованого росту тріщини зв'язаний параболічною залежністю з ударною в'язкістю вуглецевої сталі.

4. Розроблено моделі процесів зношення гребеня та утворення прокату при експлуатації бандажів дало змогу розробити концепцію заходів щодо підвищення експлуатаційної безпеки. Наведені заходи складаються з визначення моменту вилучення бандажу з експлуатації з метою проведення ремонтних робіт коли умови відповідають раціональному використанню виробу.

5. Отримали подальший розвиток уявлення, що мікротріщина яка зароджується на міжфазовій межі неметалевого включення–феритна складова структури вуглецевої сталі розповсюджується у напрямку з локально зниженим опором металу. Наведені дані необхідні для розуміння впливу неметалевих включень на процеси зародження та зростання тріщин при експлуатації залізничних коліс, бандажів та вісей.

6. Зростання межі міцності при втомі колісних сталей при збільшенні дисперсності перлітної колонії обумовлено підвищенням відношення критичного розкриття зростаючої тріщини до міжкарбідної відстані.

7. Підтверджено, що розігрів металу по поверхні кочення коліс та бандажів до температури початку фазових перетворень з подальшим швидким охолодженням сприяють виникненню внутрішніх напружень, які виступають одним із головних чинників формування дефектів на поверхні контакту колесо-рейка.

8. За результатами роботи, затверджені методичні вказівки «З порядку досліджень причин виникнення тріщин в суцільнокатаних колесах та руйнування їх в цілому», розроблені класифікатор дефектів та Міждержавний стандарт «Оси чистовые для специального подвижного состава. Требования эксплуатационной безопасности», що сприяють підвищенню експлуатаційної безпеки рухомого складу.

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

### ***Основні праці***

1. Вакуленко И.А. О причинах зародження усталостных трещин на поверхности катания железнодорожных бандажем / И.А. Вакуленко, О.Н. Перков, Н.А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 19. – С. 242–244.

2. Вакуленко, І. О. Чинники, які впливають на розвиток втомленості металу в процесі експлуатації залізничних коліс / І. О. Вакуленко, О. Н. Перков, М. А. Грищенко // Залізничний транспорт України. – 2007. – № 5. – С. 70–71.

3. Вакуленко І.О. Залежність рівня внутрішніх напружень в елементах залізничних вісей від режимів зміцнюючої обробки / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 20. – С. 213-215.

4. Вакуленко І.О. Дослідження етапів зародження та зростання тріщин при натурному випробуванні на втомленість / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 21. – С. 266–268.

5. Вакуленко І.О. Аналіз структурних змін в металі залізничних коліс при їх експлуатації / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 22. – С. 168–171.

6. Вакуленко І.О. Розвиток процесів руйнування осі колісної пари при циклічному навантаженні / І.О. Вакуленко, О. М. Перков, В. Г. Анофрієв, В.С. Крот, А.Г. Рейдемейстер, М. А. Грищенко // Залізничний транспорт України. – 2008. – №3, – С. 47–48.

7. Грищенко М.А. Дослідження причин виникнення вищербин металу на поверхні кочення залізничних коліс / М.А. Грищенко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 23. – С. 178–182.

8. Вакуленко І.О. Вплив розміру зерна фериту на початкову область зростання тріщини / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Вісник Національного університету. Львівська політехніка. 2008, №613, – С. 163–166.

9. Вакуленко І.О. Визначення оптимального структурного стану залізничного колеса / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко, О.М. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 25. – С. 207–209.

10. Вакуленко І.О. Аналіз умов формування поверхневого відколу зовнішньої грані обода залізничного колеса / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Сборник научных трудов. Строительство, материаловедение, машиностроение. Стародуб. чтения. 2009. – С. 138–141.

11. Вакуленко І.О. Перспективи вирішення питань по підвищенню експлуатаційної безпеки залізничних коліс і бандажів / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко, О.М. Перков // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 26. – С. 166–168.

12. Вакуленко І.О. Аналіз процесів структурних змін в металі залізничної осі за циклічного навантаження / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Вісник національного університету. Львівська політехніка, 2009. №642, – С. 69–73.

13. Дефекти залізничних коліс / І. О. Вакуленко, В. Г. Анофрієв, М. А. Грищенко, О. М. Перков – Дніпропетровськ: Маковецький, 2009. – 112 с.

14. N.A. Grischenko. The process of formation of railway wheel damages and tires in operation / N.A. Grischenko. // «Наука та прогрес транспорту». Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В.Лазаряна. 2015. – №1 (55). –Д.: Вид-во ДНУЗТ, С. 100–112.

### *Додаткові праці*

15. Вакуленко І.О. Вплив дисперсності перлітної складової структури на коефіцієнт інтенсивності напружень сталі при руйнуванні / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 67 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 242–243.

16. Патент на корисну модель № 32095, від 12.05.2008., Бюл. 9, 2008.Спосіб обробки залізничних осей.

17. Вакуленко І.О., Грищенко М.А., Перков О.М. Перспективи підвищення експлуатаційної безпеки залізничних коліс і бандажів. Локомотивная информация, № 4 2010 С. 50–51.

18. Патент на корисну модель №25887, від 27.08.2007, Бюл. №13, 2007. Спосіб визначення твердості по Бринелю.

19. Патент на корисну модель №31831, від 25.04.08, Бюл.№8 2008. Спосіб визначення напруження розблокування дислокацій  $\sigma_D$  при навантаженні.

20. Вакуленко І.О. Грищенко М.А. Залежність швидкості розповсюдження звукових коливань від рівня властивостей вуглецевої сталі / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Сб. научн. Трудов «Строительство, материаловедение, машиностроение». Сер. Стародубовские чтения. – Дніпропетровськ, 2006. вып. 36, ч. 2, – С. 116–118.

21. Вакуленко І.О. Вплив температури від пуску на швидкість розповсюдження звукових коливань в загартованій вуглецевої сталі / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 66 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2006. – С. 353.

22. Вакуленко І.О. Розташування металу як причина поверхневого відколу залізничного колеса / І.О. Вакуленко, В.Г. Анофрієв, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 67 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 241.

23. Вакуленко, І.О. Причини виникнення дефектів при експлуатації залізничних коліс після наплавлення гребенів / І.О. Вакуленко, В.Г. Анофрієв, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи

розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 67 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2007. – С. 241–242.

24. Вакуленко И.А. Оценка коэффициента интенсивности напряжений для области инкубационного роста трещины / И.А. Вакуленко, О.Н. Перков, Н.А. Грищенко // Сб. докладов 8го Международного конгресса «Оборудование и технологии термической обработки металлов и сплавов», 2007. Т. II, С. 170–172.

25. Вакуленко, И.А., Зависимость усталостной прочности от структурного состояния стали для железнодорожных колес / И.А. Вакуленко, Н.А. Грищенко, О.Н. Перков // Современные проблемы подготовки производства заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности на транспорте, – Киев, 2007. – С. 242–244.

26. Вакуленко И.А. Влияния параметров деформационного упрочнения на критическое раскрытие трещины в сталях / И.А. Вакуленко, Н.А. Грищенко, О.Н. Перков // Международная конференция High Mat Tech. Тезисы докладов. – Киев, 2007. – С. 153.

27. Вакуленко І.О. Субструктурні зміни в металі залізничного колеса по поверхні кочення / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 68 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 93–94.

28. Вакуленко І.О. Термічне зміцнення елементів залізничного колеса-напрямок підвищення конструктивної міцності / І.О. Вакуленко, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 68 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 95.

29. Вакуленко И.А. О технологии раздельного термоупрочнения элементов железнодорожных колес / И.О. Вакуленко, О.Н. Перков, Н.А. Грищенко // Материалы 8й Международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», – Киев, 2008. – С. 30–32.

30. Вакуленко И.А. О взаимном влиянии процессов коалесценции цементита и собирательной рекристаллизации феррита в стали / И.О. Вакуленко, О.Н. Перков, Н.А. Грищенко // IX Международный научно-технический конгресс, термистов и металлосведов. ОТТОМ-9. 2008. Т.І, – С. 78–81.

31. Вакуленко І. О. Оцінка поведінки металу при циклічному навантаженні від моменту формування тріщини / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 69 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2009. – С.242–243.

32. Вакуленко И.А. Оптимальное структурное состояние металла железнодорожных колес / И.А. Вакуленко, Н.А. Грищенко // Проблеми безпеки на транспорті: Матеріали V Міжнар. Науч.-практ. Конф./

М-во образования Респ. Беларусь, М-во трансп. И коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. Ж. д., Белорус. Гос. Ун-т трансп.; под общ. Ред. В.И.Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2010. – С. 106–107.

33. Вакуленко І.О. Використання прокату після високотемпературної термомеханічної обробки для рухомого складу / І.О. Вакуленко, М.А. Грищенко, С.В. Проїдак // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 73 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2013. – С. 236–238.

34. Грищенко М.А. Особливості структуроутворення та механічні властивості деформованих вуглецевих сталей / М.А. Грищенко // В кн. «Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: матеріали конференції КМН – 2013». – Львів: Видавництво Фізико-механічного інституту, 2013. – С. 204–207.

35. Вакуленко І.О. Вплив структурного стану металу на властивості залізничних коліс / І.О. Вакуленко, Д.М. Болотова, О.М. Перков, М.А. Грищенко // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: Тези доп. 74 Міжн. наук. - практ. конф. – Дніпропетровськ, 2014. – С. 379–380.

## АНОТАЦІЯ

### **Грищенко М.А. Підвищення експлуатаційної безпеки елементів колісних пар на основі визначення механізмів формування дефектів. – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2015.

Дисертаційна робота присвячена встановленню закономірностей зміни структурного стану, механічних властивостей сталей залізничних коліс, локомотивних бандажів та вісей колісних пар залежно від умов експлуатації та технології виготовлення.

Досліджено хімічні, механічні властивості вуглецевих сталей для виготовлення коліс, бандажів та вісей. Базуючись на методи й методики, стало можливим оцінити зміну внутрішньої будови сталей залізничних коліс, бандажів та вісей в залежності від ступеня зовнішніх впливань, які можуть сприяти зародженню ушкоджень. Визначено, що мікротріщина, яка зароджена на міжфазній межі неметалевого включення-феритна складова структури вуглецевої сталі, розповсюджується у напрямку локально зниженого опору металу. Підвищення локалізації пластичної течії вуглецевої сталі при збільшенні розміру зерна фериту являє собою один із чинників, який знижує межу міцності при втомі. Проведений аналіз зміни внутрішньої будови вуглецевих сталей з урахуванням ступеня розігріву від поверхні кочення показав, що пропорційно градієнту температур виникають внутрішні напруження, які в місцях з низьким опором металу

приводять до формування зародків руйнування. Враховуючи, що протікання втомних явищ в металі обумовлене незворотними структурними змінами, такими як поступове накопичення дефектів кристалічної будови, можливість зниження їх приросту дозволить підвищити ресурс роботи елементів рухомого складу.

**Ключові слова:** залізничні колеса, бандажі, вісі, мікроструктура, пошкодження, втома, руйнування.

## **АННОТАЦІЯ**

### **Грищенко Н.А. Повышение эксплуатационной безопасности элементов колесных пар на основе определения механизмов формирования дефектов. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – Эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепропетровск, 2015.

Диссертационная работа посвящена установлению закономерностей изменения структурного состояния, механических свойств сталей железнодорожных колес, локомотивных бандажей и осей колесных пар в зависимости от условий эксплуатации и технологии изготовления.

Исследованы химические, механические свойства углеродных сталей для изготовления колес, бандажей и осей. Базируясь на методы и методики, стало возможным оценить изменение внутреннего строения сталей железнодорожных колес, бандажей и осей в зависимости от степени внешних влияний, которые могут способствовать зарождению повреждений.

Определено, что микротрещина, которая зарождена на межфазном границе неметаллическое включение-ферритная составляющая структуры углеродной стали, распространяется в направлении локально сниженного сопротивления металла. Повышение локализации пластического течения углеродной стали при увеличении размера зерна феррита являет собой один из факторов, который снижает предел прочности при усталости. Рост предела прочности при усталости колесных сталей при увеличении дисперсности перлитной колонии обусловлен увеличением отношения критического раскрытия растущей трещины к межкарбидному расстоянию.

Проведенный анализ изменения внутреннего строения углеродных сталей с учетом степени разогрева от поверхности качения показал, что пропорционально градиенту температур возникают внутренние напряжения, которые в местах с низким сопротивлением металла приводят к формированию зародышей разрушения.

На основании изучения случаев преждевременно изъятия железнодорожных колес из эксплуатации определено, что наиболее частой

причиной формирования дефектов, является развитие процессов контактной усталости металла. Учитывая, что протекание усталостных явлений в металле обусловлено необратимыми структурными изменениями, такими как постепенное накопление дефектов кристаллического строения, возможность снижения их прироста позволит повысить ресурс работы элементов подвижного состава. В подавляющем большинстве разрушение обода обусловлено формированием усталостных трещин разного происхождения (циклическое изменение действующих напряжений в элементах колеса, температурные влияния и др.).

Предложенная методика определения периодичности контроля профиля бандажа и проведении ремонта будет способствовать его рациональному использованию, повышая ресурс работы и эксплуатационную безопасность.

**Ключевые слова:** железнодорожные колеса, бандажи, оси, микроструктура, повреждение, усталость, разрушение.

## **ABSTRACT**

**Grischenko N.A. An increase of operating safety elements wheelpairs is on the basis of determination mechanisms forming defects. – Manuscript.**

Dissertation paper for a graduate degree of candidate of technical sciences in speciality 05.22.20 – “ Exploitation and repair facilities of transport ” – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V.Lazaryan. – Dnepropetrovsk, 2015.

Dissertation work is devoted establishment of conformities to the law of change of the structural state, mechanical properties steels of railway wheels, locomotive bracers, ax of wheelpairs depending on external and technology of making environments.

The chemical, mechanical properties of carbon steel for the manufacture of wheels, tires and axles. Based on methods and techniques, it was possible to evaluate the change in internal structure of steel railway wheels, tires and axles depending on the external vplyvan that may contribute to birth injuries. Determined that the cracks that born-interfaces on the verge of non-metallic inclusion, ferrite component structure of carbon steel, extends towards the local low resistance metal. Increasing localization of plastic flow of carbon steel with increasing ferrite grain size is one of the factors that limit reduces fatigue strength. The analysis of changes in the internal structure of carbon steel based on heating degree roll surface showed that the proportion temperature gradient arising internal stresses that in places with low resistance metal lead to the formation of embryos destruction. Whereas the occurrence of fatigue phenomena in metals caused irreversible structural changes, such as the gradual accumulation of defects in the crystal structure, the ability to reduce their growth will increase the life of the items of rolling stock.

**Keywords:** railway wheels, bracers, axes, microstructure, damage, fatigue, destruction.

Грищенко Микола Анатолійович

**Підвищення експлуатаційної безпеки елементів колісних пар на основі  
визначення механізмів формування дефектів**

**Автореферат**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

---

Підписано до друку 01.09.2015р. Формат 60x84/16

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

Тираж 100 пр. Зам. № 601

---

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