

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

На правах рукопису

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

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник
доктор технічних наук,
професор Вакуленко І. О.

Дніпропетровськ – 2015

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОШКОДЖЕНЬ КОЛІС, БАНДАЖІВ І ВІСЕЙ, ЗАЛЕЖНІСТЬ ЇХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІД СТРУКТУРНОГО СТАНУ МЕТАЛУ.....	10
1.1. Статистичний аналіз пошкоджень коліс, бандажів і вісей в експлуатації.....	10
1.2. Вплив на конструктивну міцність коліс і бандажів типорозмірів їх елементів.....	13
1.3. Залежність комплексу властивостей елементів коліс, бандажів і вісей від структурного стану металу.....	15
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛ І МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	26
2.1. Хімічний склад досліджуваних сталей.....	26
2.2. Визначення рівня і знаку залишкових напружень в залізничних колесах.....	27
2.3. Структурні дослідження.....	31
2.4. Визначення механічних властивостей металу коліс, бандажів, вісей.....	37
РОЗДІЛ 3. ПОВЕДІНКА ВУГЛЕЦЕВИХ СТАЛЕЙ ПРИ СТАТИЧНОМУ ТА ЦИКЛІЧНОМУ НАВАНТАЖЕННЯХ.....	51
3.1. Особливості процесів зародження і зростання тріщини за умови статичного навантаження.....	51
3.2. Особливості процесів зародження і зростання тріщини за умови циклічного навантаження.....	64
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ УШКОДЖЕННЯ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС, БАНДАЖІВ І ВІСЕЙ.....	77
4.1. Аналіз процесів формування ушкоджень при експлуатації залізничних коліс та бандажів.....	77
РОЗДІЛ 5. ПРАКТИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПРИЧИН ФОРМУВАННЯ УШКОДЖЕНЬ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЗАЛІЗНИЧНИХ	

КОЛІС, БАНДАЖІВ, ВІСЕЙ.....	95
5.1. Визначення причин викришування металу по поверхні кочення	95
5.2. Формування тріщин поблизу поверхонь кочення.....	98
5.3. Вплив термічних тріщин на виникнення вищербин металу по поверхні кочення.....	102
5.4. Формування відколу металу на поверхні кочення.....	105
5.5. Формування різної орієнтації від поверхні кочення	
5.6. Ушкодження бандажів колісних пар під час експлуатації.....	123
5.7. Аналіз співвідношення між ушкодженнями залізничних колів в експлуатації.....	126
5.8. Оцінка роботи залізничної вісі колісної пари.....	128
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК РАЦІОНАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ КОНТРОЛЮ І ОБТОЧКИ БАНДАЖІВ КОЛІСНИХ ПАР ЛОКОМОТИВІВ.....	
	147
ВИСНОВКИ.....	157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	159
ДОДАТОК А.....	171
ДОДАТОК Б.....	172

ВСТУП

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

Під час руху навантаженого вагону, колеса, бандажі та вісі сприймають наступні види навантажень:

- тиск колеса, бандажу, який відповідає певній частині навантаження віднесеного до площини контакту з рейками;
- динамічне навантаження від ударів об стики рейок;
- сили тертя, які виникають по поверхні кочення при гальмуванні, від взаємодії гальмівних колодок з колесами, бандажами;
- знакозмінні згинаючі навантаження на вісь колісної пари;
- сили тертя при ковзанні загальмованого колеса.

Окрім цього при експлуатації залізничні колеса і бандажі піддаються чисельним додатковим навантаженням, таким як збільшення ступеня пластичної деформації, нагріву металу по поверхні кочення, виникаючий градієнт внутрішніх напружень та ін. Проведеними чисельними дослідженнями встановлено, що розігрів поверхні металу колеса або бандажу по поверхні кочення відбувається головним чином за рахунок напружень тертя. При цьому приблизно до 75 % енергії перетворюється на тепло, яке сконцентроване в мікрооб'ємах поблизу плями контакту по поверхні кочення. Наведені впливання сприяють розвитку значних пластичних деформацій у вказаних об'ємах металу при їх нагріві до підвищених температур. При виході нагрітої ділянки із зони контакту відбувається одночасно швидке охолодження металу і зниження градієнту температур по товщині, що значною мірою впливає на

структурний стан приповерхневих шарів обода колеса і бандажу. На підставі цього можна вважати, що 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 і 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 по підвищенню загальної якості металу та обґрунтованих обмежень експлуатаційного характеру. Якщо питання якості металу для коліс, бандажів та вісей вирішуються виробником, то умови експлуатації у своїй більшості обумовлюються залізничною галуззю. Таким чином, системний підхід до класифікації формуючихся дефектів в елементах залізничних коліс, бандажів і вісей, з урахуванням процесів структурних перетворень в металі, в залежності від умов експлуатації, дозволить визначити механізм і умови зародження осередків руйнування. Розробка заходів по попередженню виникнення наведених явищ є актуальним на сьогоднішнє 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 C21D1/78).
- Розроблено спосіб визначення твердості по Брінеллю (Патент, 25887 Україна, МПК G01N29/00).
- Розроблено спосіб визначення напруження розблокування дислокацій σ_d при навантаженні (Патент, 31831 Україна, МПК B21B1/00).
- Розроблено міждержавний Стандарт «Оси чистовые для специального подвижного состава. Требования эксплуатационной безопасности».
- Розроблено методику визначення періодичності контролю стану бандажів.

Особистий внесок. 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. Виготовлення зразків, дослідження закономірності зміни мікроструктури, механічних властивостей, оцінка впливу експлуатаційного середовища на виникнення пошкоджень залізничних коліс, локомотивних бандажів та вісей колісних пар.

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 дисертації. 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.