

УДК 539.4

РОЗПОДІЛ МЕХАНІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У БАНДАЖІ ЗА ЙОГО ОБТИСКАННЯ НА КОЛІСНОМУ ЦЕНТРІ ЕЛЕКТРОВОЗА

В. Р. СКАЛЬСЬКИЙ¹, Д. В. РУДАВСЬКИЙ¹, Р. Я. ЯРЕМА², Ю. І. КАНЮК¹

¹ Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів;

² ПрАТ "Львівський локомотиворемонтний завод"

Проаналізовано основні типи дефектів, що виникають біля місць концентрації механічних напружень у матеріалі бандажа колеса електровоза. Методом скінченних елементів розраховано їх розподіл біля потенційних ділянок появи втомних дефектів у бандажі під час встановлення на колісний центр та оцінено отримані результати.

Ключові слова: бандаж колеса електровоза, втомний дефект, тріщина, концентратор механічних напружень, метод скінченних елементів.

Від справного стану колісних пар локомотивів залежить безпека руху поїздів. До характерних їх пошкоджень відносять: зношування бандажів (задирки, вищербини або повзуни, підріз гребеня); послаблення бандажа, колісного центра та зубчастого колеса; тріщини, вм'ятини, відколи зубів зубчастого колеса; тріщини, риски, забоїни, вм'ятини на шийках осі тощо. Вищербини або повзуни на поверхнях кочення бандажа утворюються внаслідок заклинювання колісних пар під час неправильного гальмування та зубчастої передачі, а також руйнування роликопідшипників. Вертикальний підріз гребеня та гострокінцеве накочування виникають за неправильного встановлення колісних пар у рамі візка чи експлуатації локомотива на ділянках залізниці з кривиною малого радіуса. Тоді через перекіс колісної пари в рамі гребінь бандажа набігає на рейку колеса, що відстає, і ковзає по ній.

Однак у колісних бандажах нерідко може з'явитись втомна тріщина не лише під час експлуатації, але й на стадіях їх запресовування на колісний центр. Такі тріщини, як правило, зароджуються біля технологічних вирізів (геометричних концентраторів механічних напружень), наприклад, основи опорного бурта бандажа.

Для вивчення передумов виникнення та розвитку таких небезпечних дефектів необхідно визначити розподіл поля механічних напружень біля потенційних місць їх зародження. Оскільки геометрія технологічних вирізів у бандажі достатньо складна, тут ефективні лише числові методи, зокрема метод скінченних елементів [1, 2].

Актуальність і мета досліджень. На практиці під час встановлення на колісний центр у матеріалі бандажа можуть виникати тріщини, зумовлені різними чинниками, зокрема, недотриманням вимог до технології закладання, низькою якістю матеріалу бандажів, концентраторами механічних напружень через невідповідність геометрії бандажа встановленим нормам тощо.

Бандаж запресовують на колісний центр (рис. 1) за допомогою спеціального обладнання (рис. 2). Його внутрішній діаметр дещо менший, ніж колісного центра (зазвичай приблизно на 1/2000). Під час закладання бандаж нагрівають настільки, щоб його внутрішній діаметр перевищив діаметр центра. Охолоджуючись, він стискається та стягує центр.

Контактна особа: Д. В. РУДАВСЬКИЙ, e-mail: rudavsky@gmail.com

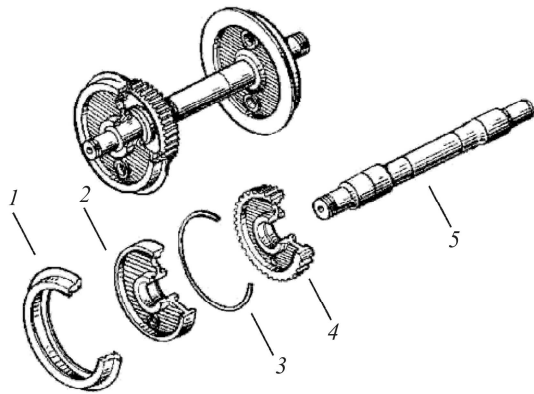


Рис. 1. Fig. 1.

Рис. 1. Основні елементи колісної пари із бандажними колесами: 1 – бандаж; 2 – колісний центр; 3 – бандажне кільце; 4 – зубчасте колесо; 5 – вісь колісної пари.

Fig. 1. Basic elements of railway wheelpair with tyred wheels:
1 – tyre; 2 – wheel centre; 3 – tyre ring; 4 – gearwheel; 5 – wheelpair axle.

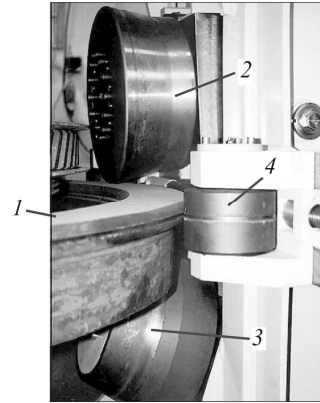


Рис. 2. Fig. 2.

Рис. 2. Елементи станка для обтискання бурта бандажа: 1 – притискний бурт; 2–4 – обтискальний, опорний та напрямний ролики.

Fig. 2. Elements of machine for pressing of tyre end collar:
1 – clamping collar; 2–4 – pressure, supporting and guide rollers.

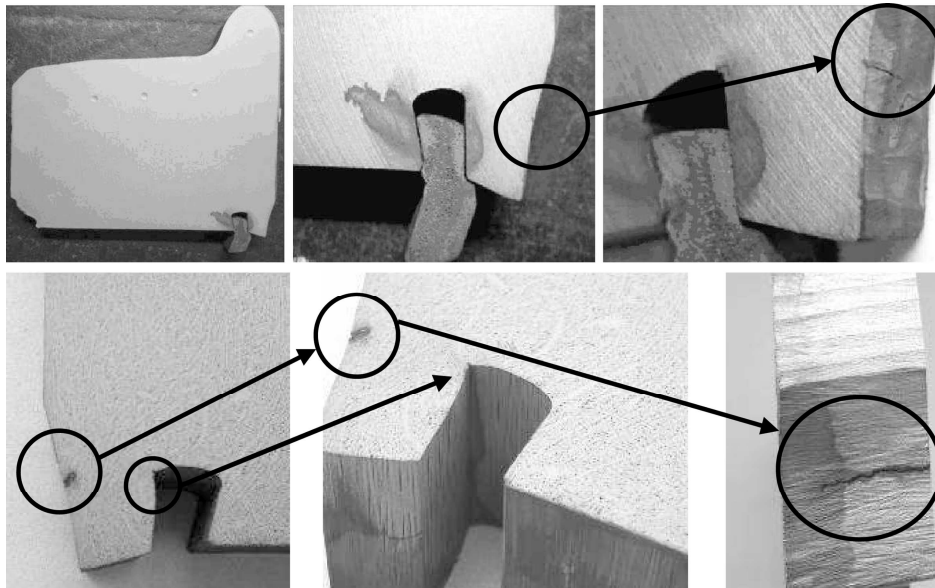


Рис. 3. Поперечний переріз бандажа колеса електровоза ВЛ8 з тріщиноподібними дефектами (вказано стрілками) вздовж притискного бурта.

Fig. 3. Electric locomotive VL8 wheel tyre cross section with crack-like defects (shown by the arrows) along end collar.

Після напрусування бандажа (у розігрітому стані) на колісний центр у спеціально розточений виріз (рис. 3) вставляють бандажне кільце. Далі внаслідок контактного тиску обтискального ролика на притискний бурт під час обертання колеса на напрямних роликах одночасно завальцьовується бурт бандажа та обтискається бандажне кільце по всьому периметру.

Часто після розточування, запресовування і механічної обробки бандажів уздовж периметра притискного бурта візуально виявляють поздовжні дефекти як на внутрішній, так і зовнішній його поверхнях (рис. 3). Як свідчать результати фрактографічного аналізу зламів зразків бандажів (рис. 4), тріщини зароджувались та розвивались за втомним механізмом внаслідок циклічної дії обтискального ролика (див. рис. 2) на притискний бурт бандажа.

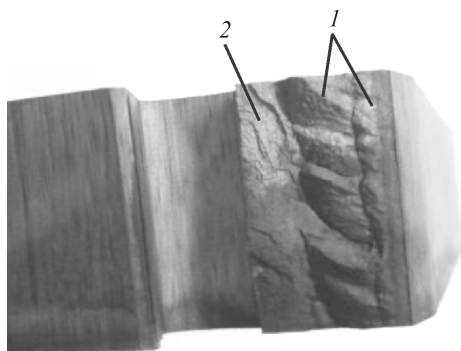


Рис. 4. Поверхні зламу бурта бандажа у місці розкриття тріщини: 1 – борозенки, що утворилися за періодичного навантаження під час вальцювання бандажа; 2 – зона долому металу бурта.

Fig. 4. Fracture surfaces of tyre end collar at the place of crack opening: 1 – grooves formed during periodic loading of the tyre rolling; 2 – rupture area of the tyre metal.

Як відомо, на зародження та поширення дефектів типу тріщин визначально впливає концентрація механічних напружень у зоні їх виникнення. Такі дефекти можуть з'являтися як на поверхні, так і на певній глибині, через що їх складно виявити візуально та іншими методами неруйнівного контролю (наприклад, магнетопорошковим). У результаті це призводить до непередбачуваного руйнування під час експлуатації. Однак, якщо мати інформацію про місця максимальної концентрації таких напружень, тобто про потенційні місця зародження тріщиноподібних дефектів, то підвищується імовірність ефективного їх виявлення на початкових стадіях методами неруйнівного контролю, зокрема акустичними (ультразвуковим, методами акустичної та магнетоакустичної емісії тощо) [3–5].

Нижче методом скінченних елементів розраховано розподіл механічних напружень у матеріалі бандажа за його обтискання під час встановлення на колісний центр колеса електровоза.

Визначення напружено-деформованого стану бандажа під час його обтискання з позицій механіки деформівного твердого тіла відносять до пружно-пластичних нестационарних задач контакту декількох тіл. На сьогодні підходи до їх розв'язування розвинуті слабо та пов'язані зі суттєвими математичними труднощами, навіть, якщо застосовувати відомі числові методи. Однак для інженерної практики часто достатньо отримати наближений розподіл напружень, за яким можна, зокрема у нашому випадку, якісно оцінити місцезнаходження найімовірніших потенційних ділянок об'єму матеріалу для зародження та розвитку тріщиноподібних дефектів. Тому прийняли декілька спрощень, які дають можливість отримати наближений, але достатньо інформативний розв'язок поставленої задачі. Зокрема, її розв'язували у пружній поставі, контактну взаємодію ролика із бандажем замінили відповідними напруженнями стиску на ділянці контакту, не враховували вплив контакту бандажного кільця, вважаючи його матеріал значно м'якшим проти матеріалу бандажа, а також вплив залишкових температурних напружень під час встановлення бандажа, вважаючи їх малими порівняно із тими, що виникають за його обтискання роликом.

Результати та їх обговорення. Механічні напруження у матеріалі бандажа під час контакту із обтискальним роликом визначали методом скінченних елементів. Спочатку побудували точну геометричну модель поперечного перерізу бандажа за допомогою програми AutoCad (рис. 5).

У результаті отримали (рис. 7*a, b*) розподіл напружень Мізеса в об'ємі матеріалу бандажа. Виявили, що вони найвищі у вершині вирізу під бандажне кільце та на зовнішньому ребрі бурта, що свідчить про високу імовірність у цих зонах найбільших пластичних деформацій, які можуть сприяти зародженню тріщиноподібних дефектів.

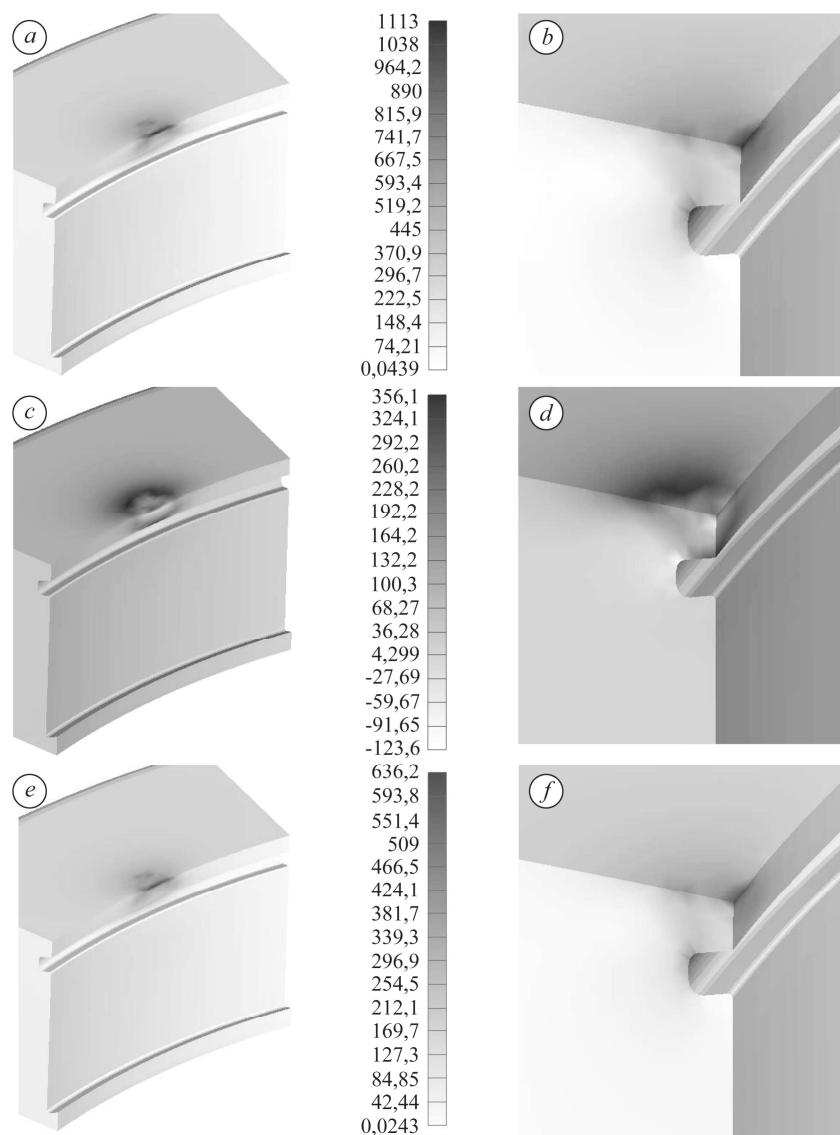


Рис. 7. Результат числового розрахунку напружень Мізеса (*a, b*), а також максимальних головних (*c, d*) та дотичних (*e, f*) за навантаження обтискального ролика тиском $p = 500$ МПа; *a, c, e* – поверхневий розподіл; *b, d, f* – у перерізі.

Fig. 7. Numerical result of calculation of Mises (*a, b*), maximum principal (*c, d*) and maximum tangential (*e, f*) stresses distribution in pressure roller under pressure $p = 500$ MPa; *a, c, e* – surface stress distribution; *b, d, f* – distribution at the cross section.

Встановили (рис. 7*c, d*), що найбільших значень головні напруження набувають на зовнішніх ділянках поверхні притискного бурта, де зароджуються та розвиваються втомні тріщини (див. рис. 3).

На рис. 7e, f зображено розрахований розподіл максимальних дотичних напружень в об'ємі матеріалу бандажа, які найвищих значень набувають на ділянках поверхні притискного бурта.

Отже, як засвідчили розрахунки, внутрішній об'єм та, особливо, поверхневі і підповерхневі ділянки притискного бурта є потенційними місцями зародження небезпечних тріщиноподібних дефектів, які можуть розвиватись до критичних розмірів під час експлуатації бандажа. Тому перед експлуатацією доцільний додатковий неруйнівний контроль та технічна діагностика таких ділянок.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу зламів зразків бандажів із тріщинами встановлено, що на зовнішній поверхні притискного бурта колісного бандажа під час його встановлення на колісний центр можуть зароджуватись та розвиватись втомні тріщини внаслідок циклічної дії контактних зусиль від обтискального та опорного роликів станка для обтискання. Запропонована числова розрахункова схема на основі методу скінченних елементів для оцінки розподілу поля пружних напружень біля їх технологічних концентраторів у матеріалі бандажа під час встановлення на колісний центр добре відтворює місця потенційного зародження руйнування.

Місця локальної концентрації механічних напружень (максимальні їх значення) виникають на зовнішній поверхні притискного бурта, де можливе зародження втомної тріщини. Вони достатньо високі і залежать від радіуса кривини у вершині вирізу та прикладених зовнішніх зусиль. Тому ці параметри потрібно контролювати так, щоб максимальні механічні напруження у матеріалі бандажа не перевищували границі його циклічної витривалості. Інакше під час циклічного деформування металу, зумовленого тиском обтискального ролика на притискний бурт, у таких місцях може з'явитись втомний тріщиноподібний дефект.

РЕЗЮМЕ. Проанализированы основные типы дефектов, возникающих в местах концентрации механических напряжений в материале бандажа колеса электровоза. Методом конечных элементов рассчитано их распределение возле потенциальных участков зарождения усталостных дефектов в бандаже при его установке на колесный центр, а также оценены полученные результаты.

SUMMARY. The main types of defects occurring near places of mechanical stresses concentration in the material of the tyre of the electric locomotive are considered. The calculations of the mechanical stresses distribution near the fatigue defects potential locations in the locomotive tyre during its installation on the wheel centre were carried out using the finite element method and the obtained numerical results were estimated.

1. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
2. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимации. – М.: Мир, 1986. – 318 с.
3. Акустико-емісійне діагностування елементів конструкцій: Наук.-техн. пос. у 3-х т. Т. 1: Теоретичні основи методу акустичної емісії / З. Т. Назарчук, В. Р. Скальський. – К.: Наук. думка, 2009. – 288 с.
4. Ультразвуковой и рентгеновский контроль отливок / Е. А. Гусев, А. Е. Карпельсон, В. П. Потапов, Ф. Р. Соснин. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
5. Алешин Н. П., Щербинский В. Г. Радиационная, ультразвуковая и магнитная дефектоскопия металлоизделий. – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.
6. Рычков С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК пресс, 2013. – 784 с.
7. Беляев Н. М. Соппротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

Одержано 27.09.2017