

ефективним заходом, що дозволить підвищити професійний рівень локомотивних бригад за рахунок використання інформаційних технологій в навчанні.

Список літератури

1. Башмаков М.И., Поздняков С.Н., Резник Н.А. Информационная среда обучения. - СПб.: СВЕТ, 1997. - 400 с.
2. Лаутербах Р., Фрей К. Программное обеспечение процесса обучения // «Prospects», N 3, 1987.
3. Нивергельт Ю. Прагматическое введение в разработку учебных материалов, предназначенных для обучения с помощью ЭВМ // В ж. «Компьютер», Нью-Йорк, сент. 1980 (на англ. яз.).
- 4 <http://www.diit.edu.ua>
5. Делооз Ф. Применение тренажеров на железнодорожном транспорте. Железные дороги мира, №9, 1999.

УДК 629.4.028.1:629.463

Афанасенко І.М., асистент (УкрДАЗТ)

**СТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОСТУ ТРІЩИН У ТЯГОВОМУ
ХОМУТІ АВТОЗЧЕПУ ВАНТАЖНОГО ВАГОНА**

Постановка проблеми. Аналізуючи статистичні данні по відчепленню вагонів інвентарного парку Укрзалізниці в поточний ремонт за 2007-2008 рр., помітне збільшення числа зламів тягових хомутів на 25%. Це потребує детального вивчення причин виникнення відмов, та поліпшення якості діагностування та ремонту. Одним із шляхів підвищення рівня безпеки руху та зменшення матеріальних витрат на ремонт і технічне обслуговування автозчепу є моделювання процесу росту тріщин у деталях автозчепного пристрою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження розвитку тріщин у вузлах вагона присвячені праці Костенко Н.О., Покровського В.В., Северінової Т.П. [5], Якушева О.В., Козлов О.Г., Лозбінева В.П. та інших. Застосування сучасних можливостей обчислювальної техніки та програмних комплексів дозволяє більш

детальніше розглянути процес розвитку тріщин в елементах автозчепного пристрою вантажних вагонів.

Викладення основного матеріалу. Під час експлуатації на тягові хомути автозчепу діють зусилля, що приводять до виникнення тріщин.

Надійність тягового хомути в значній мірі визначається дефектами суцільності матеріалу. Дефекти можуть виникати як у процесі виготовлення, так і під час експлуатації вагона. Розміри дефектів, у наслідок яких виникає розвиток тріщин, є випадковими числами. Під час подальшої експлуатації довжина тріщини збільшується. На ріст тріщини впливають багато випадкових факторів експлуатаційного характеру.

Для того щоб зрозуміти, як веде себе конструкція при наявності дефектів матеріалу, необхідно розглянути руйнування як процес, що розвивається у часі.

Найбільш повну оцінку розвитку тріщини тягового хомути автозчепу можна отримати методом статистичного моделювання (методом Монте-Карло).

Дослідження росту тріщин утоми складається з наступних етапів:

- визначення зусиль, що діють на тяговий хомут при випадкових напруженнях;
- аналіз місця, форми і розмірів тріщин;
- дослідження напружено-деформованого стану тягового хомути;
- розрахунок коефіцієнтів інтенсивності напружень;
- аналіз закономірностей розвитку тріщин утоми;
- визначення критичних розмірів, при яких розвиток тріщини припиняється і наступає руйнування конструкції.

Зусилля, що діють на тяговий хомут і число навантажень застосовувались згідно [1].

Аналізуючи стан тягових хомутів на вагоноремонтних підприємствах Південної залізниці виявлено, що найбільш розповсюджені тріщини на тягових смугах, розміри та форма їх має випадковий характер.

Визначення нормальних напружень виконувалось за допомогою методу кінцевих елементів [2].

Для визначення залежності нормальних напружень від зусиль, було виконано апроксимацію даних поліномом другого порядку у програмному комплексі MathCAD.

Під час руху на тяговий хомут діють розтягуючі сили, які носять випадковий характер.

Аналіз [1] показує, що для сил, діючих на тяговий хомут, може бути прийнято гіпотезу про нормальний розподіл з математичним очікуванням $M = 1,632$ і середнім квадратичним відхиленням $S = 0,524$ (рисунок 1).

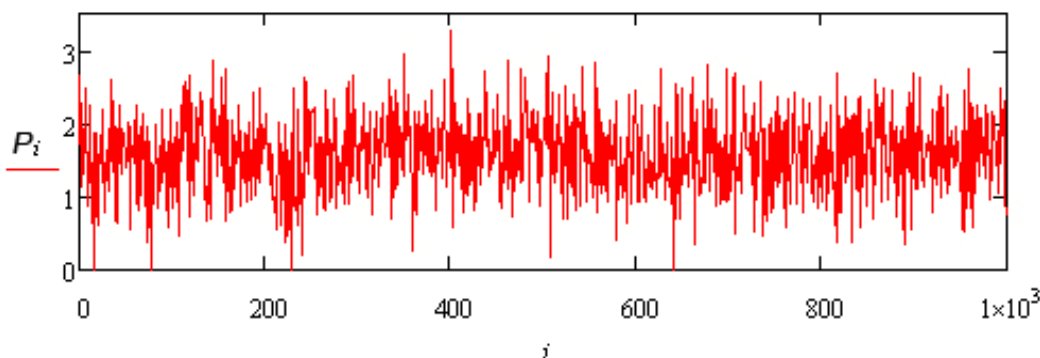


Рисунок 1 - Моделювання дії випадкових зусиль за нормальним законом розподілу

Знаючи значення випадкових зусиль і залежність напружень від зусиль, не важко визначити випадкове значення напружень (рисунок 2).

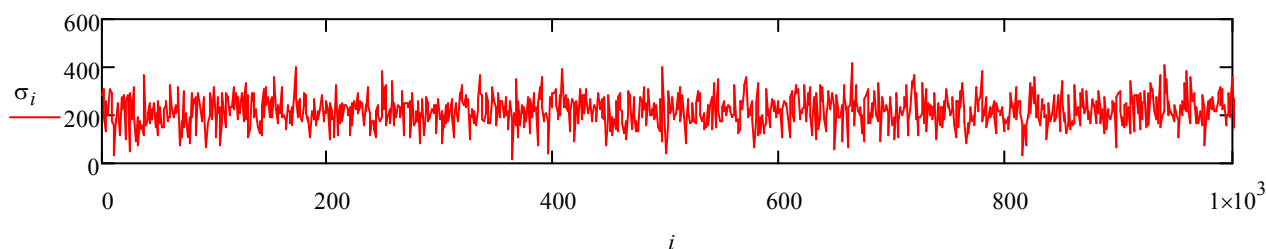


Рисунок 2 - Моделювання дії випадкових нормальних напружень у тяговій смузі хомута автозчепу

У механіці руйнувань твердих тіл [3, 4] при змінних навантаженнях встановлено, що швидкість розподілу тріщин утоми при розтягненні залежить від розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень ΔK .

Залежність (1), представлена у логарифмічних координатах, називають кінетичною діаграмою руйнування утоми.

Відомо багато залежностей, що аналітично описують кінетичну діаграму руйнування утоми.

Найчастіше використовують рівняння Періса-Уолкера, що задовільно описує середню частину діаграми.

$$\frac{dl}{dN} = C(\Delta K)^n, \quad (1)$$

де l - довжина тріщини, м;

N - номер циклу навантаження;

C і n - характеристики циклічної тріщиностійкості матеріалу.

Установлено, що для більшості матеріалів залежність (1) у двійних логарифмічних координатах графічно представлена у вигляді S-подібної кривої (рисунок 3).

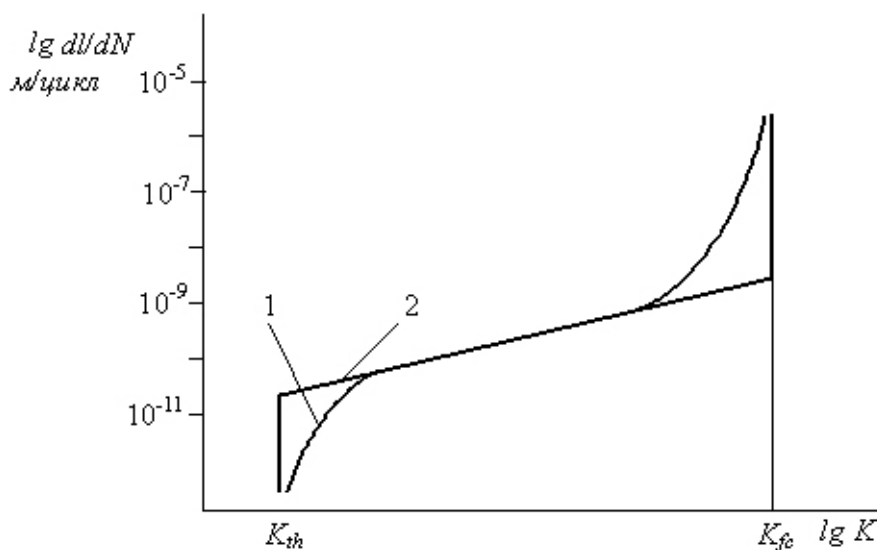


Рисунок 3 - Кінетична діаграма руйнування втоми

Кінетична діаграма руйнування втоми має три характерних частини. Середня частина, представлена у вигляді прямої – найбільш добре вивчена. На цій частині швидкість росту тріщини знаходиться у межах $10^{-5} \dots 10^{-12}$ м/цикл. Ліва криволінійна частина низьких швидкостей називається припороговою, а асимптотичне значення розмаху коефіцієнта інтенсивності напруження називають пороговим коефіцієнтом інтенсивності напруження K_{th} . Праву криволінійну частину, що відповідає швидкому розвитку тріщини при критичному розмаху коефіцієнта інтенсивності напруження K_{fc} . На лівій частині швидкість розвитку тріщини низька, при значеннях циклу нижче значення K_{th} ріст тріщини зупиняється.

На основі досліджень розвитку тріщин втоми у литих деталях візка вантажного вагона, виготовлених з сталі типу 20ГФЛ, була побудована

кінетична діаграма руйнування [5]. Показано, що у двійних логарифмічних координатах графік $\frac{dl}{dN}$ в залежності від K має S-подібну форму, а центральна частина графіка апроксимується прямою лінією. А також отримані асимптоти середньої частини діаграми, оцінені порогові значення коефіцієнтів інтенсивності напруження $K_{th} = 7,1 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ і циклічної в'язкості руйнування $K_{fc} = 155 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Корпус автозчепу і тяговий хомут виготовляються з литих сталей типу 20ГФЛ. Тому для них можна приблизно прийняти порогове значення інтенсивності напружень $K_{th} = 7,1 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$ і циклічної в'язкості руйнування $K_{fc} = 155 \text{ МПа}\sqrt{\text{м}}$.

Дослідженням [6] встановлено, що для литих деталей візка параметри C і n рівняння Уолкера-Періса можна прийняти наступними $C = 1,32 \cdot 10^{-12} \frac{\text{м}}{\text{цикл} \cdot (\text{МПа}\sqrt{\text{м}})^n}$, $n = 3,57$.

Для полоси з крайовою поперечною тріщиною, яка зазнає одноосне розтягнення, коефіцієнт інтенсивності напружень визначається за формулою [7]:

$$K = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \cdot F_1(\alpha), \quad (2)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{l}{W},$$

тут l - довжина тріщини, м;

W - ширина полоси, за геометричними розмірами, $W = 0,16$ м.

$$F_1(\alpha) = 1,12 - 0,231 \cdot \alpha + 10,55 \cdot \alpha^2 - 21,72 \cdot \alpha^3 + 30,39 \cdot \alpha^4. \quad (3)$$

Виходячи з вище приведених виразів, можна записати рівняння швидкості росту тріщини наступним чином:

$$\frac{dl}{dN} = C \left(\Delta \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot l} \cdot \left(1,12 - 0,231 \cdot \frac{l}{W} + 10,55 \cdot \left(\frac{l}{W} \right)^2 - 21,72 \cdot \left(\frac{l}{W} \right)^3 + 30,39 \cdot \left(\frac{l}{W} \right)^4 \right) \right)^n. \quad (4)$$

Розв'язання рівняння (4) виконувалось за допомогою програмного комплексу MathCAD. Якщо вважати, що початкове значення довжини

тріщини відоме, то рівняння (4) можна розглядати як задачу Коші для однорідного диференціального рівняння.

В якості методу рішення рівняння (4), застосовувався метод Рунге-Кутта.

Фактично в рамках механіки руйнувань математична модель описує тільки середню частину – стадію розвитку тріщини (рис. 3). У правій частині виникає «долон» деталі. Ця стадія закінчується руйнуванням деталі. Ця стадія досить короткочасна, і не приймається до уваги.

У лівій частині кривій виникає зародження тріщини. З існуючого дефекту у наслідок сукупності складних процесів, що проходять на рівні мікроструктури матеріалу, виникає тріщина. Процес зародження тріщини на макрорівні не піддається математичному моделюванню на інженерному рівні. Цю стадію можливо урахувати відповідним значенням розміру початкової тріщини.

Так, при початковій крайовій тріщині довжиною 3 мм отримана залежність розміру тріщини від числа циклів навантаження (рисунок 4).

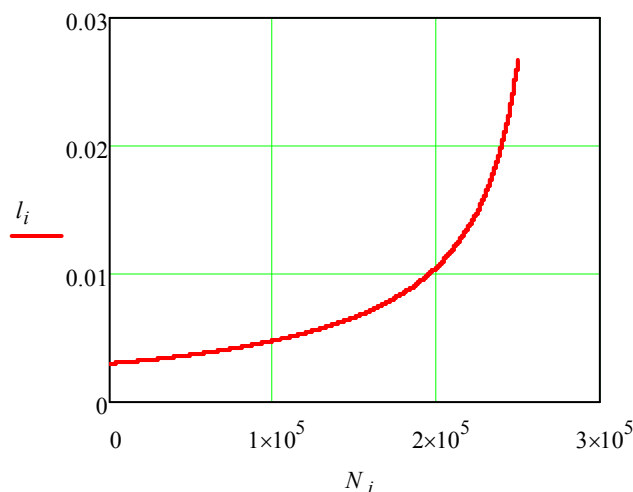


Рисунок 4 - Залежність розміру тріщини від числа циклів навантаження

Вище зазначалось, що рівняння Уолкера-Періса описує швидкість росту тріщини:

$$v = C \cdot (\Delta K)^n \quad (5)$$

Залежність швидкості росту тріщини від коефіцієнта інтенсивності напружень має нелінійний характер (рисунок 5).

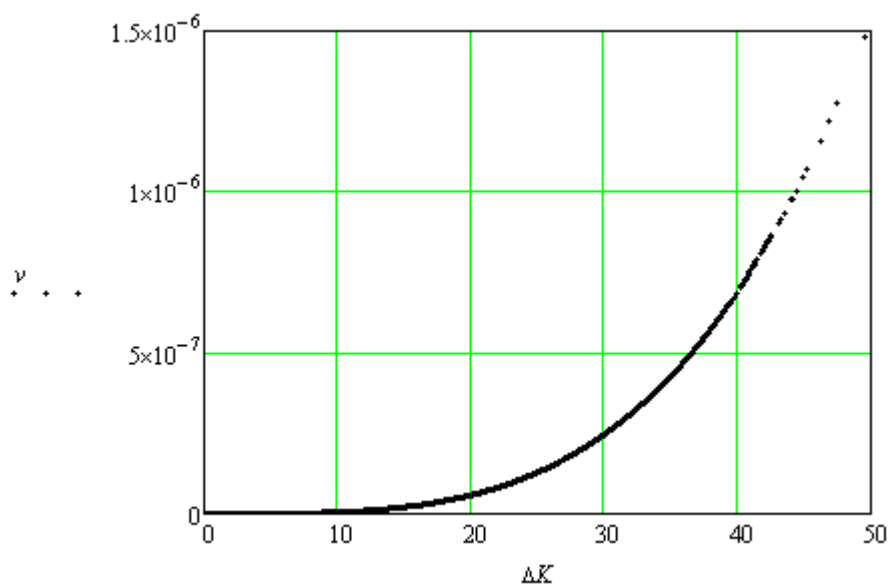


Рисунок 5 - Залежність швидкості росту тріщини від коефіцієнту інтенсивності напружень

У подвійних логарифмічних координатах залежність (5) має лінійний характер (рисунок 6).

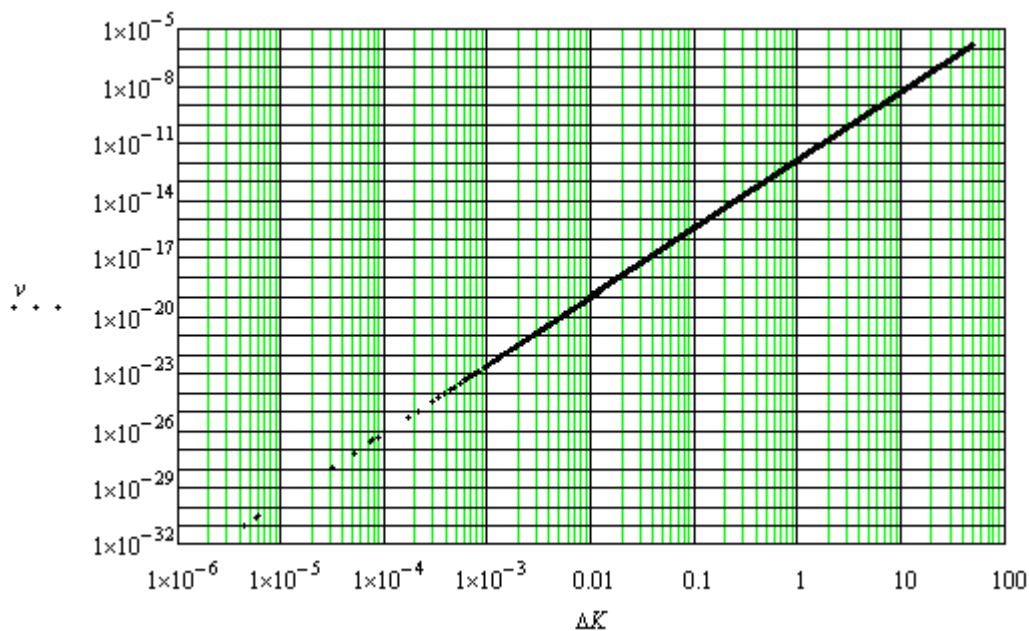


Рисунок 6 - Залежність швидкості росту тріщини у подвійних логарифмічних координатах

Це добре узгоджується з експериментальними результатами, приведеними в роботі [5].

Критичну довжину тріщини можна розрахувати, використовуючи критерій Ірвіна [3,4].

Висновки. На тяговий хомут діють випадкові значення сил результатом їх дії є випадкові значення критичних довжин тріщини. Тому для оцінки критичної довжини тріщини необхідно користуватися статистичними характеристиками. Розрахунок показав, що при початковій довжині тріщини в 3 мм середнє значення критичної довжини тріщини дорівнює 0,02059 м, а середнє квадратичне відхилення 0,00137 м.

Список літератури

1. Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм [Текст]. – ГосНИИВ-ВНИИЖТ, М. – 1996. – 356 с.
2. Шевченко В. В., Волошин Д. І., Афанасенко І. М. Дослідження напружено-деформованого стану тягового хомута автозчепу СА-3 вантажного вагону [Текст] / В.В. Шевченко, Д.І. Волошин, І. М. Афанасенко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Вип. 99. – С. 60-65.
3. Пестриков В.М. Механика разрушения на базе компьютерных технологий. [Текст] Практикум/ В. М. Пестриков, Е. М. Морозов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 464 с.
4. Матвиенко Ю. Г. Модели и критерии механики разрушения [Текст] / Ю.Г. Матвиенко. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 328 с.
5. Северинова Т. П. Расчетно-теоретическое обоснование живучести боковых рам и наддресорных балок с допустимыми дефектами [Текст] / Т. П. Северинова // Вестник ВНИИЖТ. 2002, №5. С. 40-44.
6. Змеева В. Н. Статистические закономерности развития усталостных трещин в литых сталях деталей грузовых вагонов [Текст] / В. Н. Змеева, С. Г. Лебединский // Вестник ВНИИЖТ. 1999, №3. С. 26-31.
7. Справочник по коэффициентам интенсивности напряжений [Текст]: В 2-х томах. Т. 1: Пер. с англ./ Под ред. Ю. Мураками. – М.: Мир, 1990. – 448 с.