

Олександр Агарков

ВПЛИВ ПІДВИЩЕННЯ ОСЬОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА БАЗОВУ ДОВГОВІЧНІСТЬ РЕЙОК ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

Розглянуто вплив підвищення навантаження на вісь рухомого складу на базову довговічність рейок залізничної колії за критерієм виникнення внутрішніх тріщин у головці рейки. Показано, що за умов, які розглядаються, підвищення навантаження призводить до зменшення довговічності.

Рассмотрено влияние увеличения нагрузки на ось подвижного состава на базовую долговечность рельс железнодорожного пути по критерию возникновения внутренних трещин в головке рельса. Показано, что для рассматриваемых условий повышение нагрузки приводит к уменьшению долговечности.

Influence of axle load increasing on lifetime of the rail by internal fatigue crack criterion are considered. Show that under viewing condition increasing of axle load lead to lifetime decrease.

Ключові слова: рейки, контактна задача, напруження, деформації, довговічність, пошкодження.

Дефекти рейок контактано-втомлювального походження становлять значну небезпеку як для безпеки руху, так і для залізниць у цілому. Значні економічні затрати на діагностику та усунення дефектів призводять до зниження конкурентоспроможності залізниць, порівняно з іншими видами транспорту. Так, за статистикою на Українських залізницях [1] близько 80 % від загальної кількості складають дефекти контактано-втомлювального походження та знос. Тому, розглядаючи економічну ефективність упровадження того чи іншого конструктивного рішення, необхідно в першу чергу визначити його вплив на втомну довговічність елементів конструкцій. Для порівняння ефективності збільшення осьового навантаження на вісь рухомого складу було виконано розрахунок базової довговічності рейок залізничної колії за критерієм виникнення внутрішніх тріщин при різних значеннях осьового навантаження рухомого складу.

Для розрахунку напружено-деформованого стану в зоні контакту рейки з колесами рухомого складу використовувався метод скінченних елементів. Задача розв'язувалася в пружнопластичній постановці. Розглядалася взаємодія рейки профілю Р65 відповідно до ДСТУ 4344:2004 та колесо відповідно до ГОСТ 9036-88, для умов осьового навантаження 180 кН, 200 кН, 220 кН та 240 кН. Розрахунок виконувався для умов використання підкладок КПП-5, епюри шпал 1680 шт/км у відповідності з [2].

Методика проведення розрахунків та основні результати для умов осьового навантаження 200 кН подано в роботі [3]. За цією методикою було розраховано об'ємний напружено-деформований стан зони контакту коліс та рейок залізничної колії за умов осьового навантаження 180 кН, 220 кН та 240 кН.

© Агарков О. В., 2012

Відповідно до [3] небезпечною (точка, в якій почне утворюватися тріщина) вважається точка, в якій реалізуються максимальні еквівалентні напруження. В табл. 1 подано основні значення тензорів напружень та деформацій небезпечної точки.

Таблиця 1. Значення складових тензорів напружень і деформацій в небезпечній точці розрахункового перерізу

Осьове навантаження, кН	180	200	220	240
1	2	3	4	5
σ_x , МПа	-191.39	-215.59	-237.08	-256.63
σ_y , МПа	-733.62	-765.64	-794.28	-820.40
σ_z , МПа	-230.91	-258.30	-283.08	-305.81
τ_{xy} , МПа	15.592	16.181	16.704	17.187
τ_{yz} , МПа	-2.8386	-2.8036	-2.7166	-2.6381
τ_{xz} , МПа	0.14707	0.96423E-01	0.11111	0.10925
σ_1 , МПа	-190.94	-215.12	-236.58	-256.10
σ_2 , МПа	-230.89	-258.29	-283.07	-305.80
σ_3 , МПа	-734.08	-766.13	-794.80	-820.94
σ_{eqv} , МПа	524.31	530.74	536.49	541.70
ϵ_x	0.73870E-03	0.78287E-03	0.82412E-03	0.86269E-03
ϵ_y	-0.33972E-02	-0.36086E-02	-0.37976E-02	-0.39693E-02
ϵ_z	0.45673E-03	0.46469E-03	0.46974E-03	0.47263E-03
γ_{xy}	0.22866E-03	0.24835E-03	0.26611E-03	0.28270E-03
γ_{yz}	-0.46659E-04	-0.48240E-04	-0.48933E-04	-0.49477E-04
γ_{xz}	0.21958E-05	0.16552E-05	0.18791E-05	0.19252E-05
ϵ_1	0.74185E-03	0.78638E-03	0.82795E-03	0.86682E-03
ϵ_2	0.45687E-03	0.46484E-03	0.46988E-03	0.47277E-03
ϵ_3	-0.34005E-02	-0.36122E-02	-0.38015E-02	-0.39736E-02
ϵ_{eqv}	0.30054E-02	0.31691E-02	0.33156E-02	0.34487E-02
$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$, МПа	275.505	271.57	279.1	282.42
$\gamma_{max} = \epsilon_1 - \epsilon_3$	4.39859E-03	4.14235E-03	4.62945E-03	4.84042E-03

На основі отриманих даних було визначено базову довговічність. Для визначення довговічності використовувалася кінетична концепція пошкоджуваності матеріалу. В рамках указаної концепції під пошкоджуваністю матеріалу розуміють необоротні зміни в структурі матеріалу, що відбуваються в процесі експлуатації.

За характером вибору аргументу кінетичного рівняння, критерії граничного стану поділяються на кілька категорій: силові критерії [4, 5]; деформаційні критерії [6, 7];

критерії, засновані на концепції критичної площини [8–10]; енергетичні критерії [11–16]; комбіновані [17].

На даний час найбільш перспективними є комбіновані критерії, що поєднують концепцію критичної площини з енергетичним підходом. Такі критерії дозволяють не тільки визначити момент утворення тріщини, а й площину її зародження.

Для визначення довговічності використовувався критерій, що вперше було запропоновано Ringsberg [17]. У відповідності з ним довговічність знаходиться з розв'язання нелінійного рівняння (1)

$$\langle \sigma_{\max} \rangle \frac{\Delta \varepsilon}{2} + J \Delta \tau \Delta \gamma = \frac{(\bar{\sigma}_f)^2}{E} (2N_f)^{2b} + \bar{\sigma}_f \bar{\varepsilon}_f (2N_f)^{b+c}, \quad (1)$$

тут дужки $\langle \dots \rangle$ позначають оператор $\langle x \rangle = \frac{|x| + x}{2}$; σ_{\max} – найбільше напруження, що є нормальним до площини поширення тріщини; $\Delta \varepsilon$ – розмах нормальної деформації в напрямі дії σ_{\max} ; $\Delta \tau$ і $\Delta \gamma$ – розмахи дотичних напружень і зсувних деформацій у площині поширення тріщини; J – параметр матеріалу, що залежить від виду навантаження; b , c , ε_f , σ_f , ε_c – константи, що характеризують втомну довговічність матеріалу.

При розрахунках довговічності використовувались механічні характеристики сталі марки BS 11, дані для якої було взято з відкритих джерел [17].

Основні результати проведеного розрахунку подано в табл. 2. На основі отриманих даних побудовано графічну залежність між довговічністю рейок за критерієм утворення внутрішніх тріщин та навантаженням на вісь рухомого складу (рис. 1).

Таблиця 2. Розрахункові дані та значення довговічності рейок

Профіль, навантаження на колесо	$\sigma_1, \text{кН}$	$\sigma_3, \text{кН}$	ε_1	ε_3	FP	$N, \text{циклів}$	$T, \text{млн т. бр.}$
Р65 90 кН	-190,94	-734,08	0,00074185	-0,0034005	0,225	$7.047 \cdot 10^6$	126,8
Р65 100 кН	-215,12	-766,13	0,00078638	-0,0036122	0,242	$4.695 \cdot 10^6$	99,28
Р65 110 кН	-236,58	-794,8	0,00082795	-0,0038015	0,258	$3.314 \cdot 10^6$	72,91
Р65 120 кН	-256,1	-820,94	0,00086682	-0,0039736	0,273	$2.444 \cdot 10^6$	58,66

Як видно для заданих умов контактної взаємодії збільшення навантаження на вісь рухомого складу призводить до зменшення довговічності рейок. Так, зменшення навантаження на 10 %, з 100 кН до 90 кН, призвело до збільшення довговічності за критерієм утворення внутрішніх тріщин на 27,7 %. А збільшення навантаження на 20 кН (на 20 %) призвело до зменшення довговічності на 41 %. Враховуючи те, що механічні властивості розглядаємої сталі схожі з вимогами, що пред'являються для матеріалу нетермозміцнених рейок на вітчизняних залізницях, можна зробити висновок, що збільшення навантаження на вісь рухомого складу на ділянках, де укладено нетермозміцнені рейки, негативно вплине на довговічність рейок. Однак, оскільки на даний час в більшій частині залізничної колії укладено термозміцнені рейки, в подальшому вбачається доцільним проведення аналізу для матеріалу, що використовується при виготовленні термозміцнених рейок на вітчизняних підприємствах.

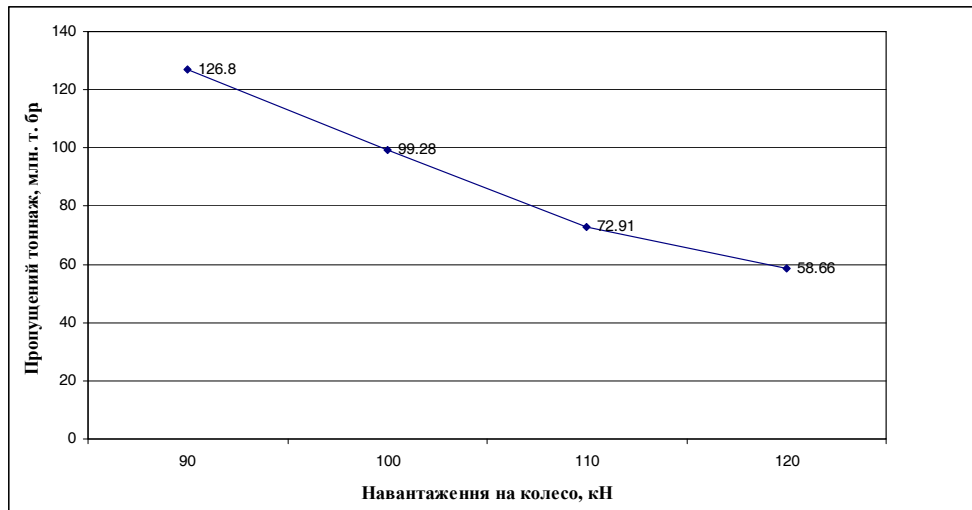


Рис. 1. Графік залежності між навантаженням на колесо та пропущеного тоннажу до моменту утворення тріщини

ЛІТЕРАТУРА

1. Рудюк А.С. Дефектность рельсов на дорогах Украины / Рудюк А.С., Азаркевич А.А., Восковец Ю.А. и др. // Путь и путевое хозяйство. – 2011. – № 7. – С. 28–32.
2. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України. – 2006. – 168 с.
3. Косарчук В.В. Прогнозирование долговечности рельсов по критерию возникновения трещин контактной усталости / Косарчук В.В., Агарков А.В. // 36. наук. праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології». – 2012. – 20. – С. 77 – 89.
4. Писаренко Г.С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г.С. Писаренко, А.А. Лебедев. – К.: Наукова думка, 1976. – 416 с.
5. Коротких Ю.Г. Описание процессов накопления поврежденной материала при неизотермическом вязкопластическом деформировании / Ю.Г. Коротких // Проблемы прочности. – 1985. – № 1. – С. 18 – 22.
6. Мэнсон С. Температурные напряжения и малоцикловая усталость / Мэнсон С. – М.: Машиностроение, 1974. – 344 с.
7. Coffin L.F. A study of cyclic thermal stress in a ductile metal / L.F. Coffin // Trans. ASME. – 1954. – 76. – P. 931 – 950.
8. Brown M.W. A theory for fatigue failure under multiaxial stress-strain conditions / M.W. Brown, K.J. Miller // Proc. Inst. Mech. Engrs. – 1973. – 187. – P. 745 – 755.
9. Fatemi A. A critical plane approach to multiaxial fatigue damage including out-of-phase loading / A. Fatemi, D.F. Socie // Fatig. Fract. Engng Mater. Struct. – 1988. – 11. – P. 149 – 165.
10. Smith R.N. A stress-strain function for the fatigue of metals / R.N. Smith, P. Watson, T.H. Topper // Journal of materials. – 1970. – 5. – P. 767–778.
11. Morroy I.D. Cyclic plastic strain energy and fatigue of metals / I.D. Morroy // ASTM STP. – 1965. – 378. – 11 p.
12. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В. Т. Троценко. – К.: Наукова думка. – 1981. – 343 с.
13. Liu K.C. A method based on virtual strain-energy parameters for multiaxial fatigue life prediction / K.C. Liu // Advances in multiaxial fatigue. – 1993. – ASTM STP 1191. – P. 67–84.
14. Glinka G. A multiaxial fatigue strain energy density parameter related to the critical fracture plane / G. Glinka, G. Shen, A. Plumtree // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. – 1995. – vol.18, № 1. – P. 3746.
15. Glinka G. Mean stress effects in multiaxial fatigue / G. Glinka, G. Wang, A. Plumtree // Fatigue Fract. Engng. Mater. Struct. – 1995. – vol.18, №7/8. – P.755-764.
16. Jiang Y. A model for rolling contact failure/ Jiang Y, Sehitoglu H. // Wear. – 1999. – 224. – P. 38 –49.
17. Ringsberg J.W. Life prediction of rolling contact fatigue crack initiation / J.W. Ringsberg // Int. J. Fatigue. – 2001. – 23. – P. 575 – 586.