

УДК 625.033.373

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.174.2017.127613>

АНАЛІЗ СТАНУ РЕЙОК У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Д-р техн. наук С. С. Тимофєєв, асп. Н. Р. Огульчанська

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д-р техн. наук С. С. Тимофеев, асп. Н. Р. Огульчанская

ANALYSIS OF THE CONDITION OF RAILS DURING OPERATION

Dr. tech. sc. S. Timofeyev, postgraduate N. Ohulchanska

Розглянуто причини виходу з ладу рейок, дефекти, що виникають унаслідок цього, та їх місцезнаходження. Досліджено розподіл зневуглецьованого шару по периметру і довжині рейки, а також зв'язок між уже утвореними напливами і зневуглецьованим шаром. Як зразок використано 2-метровий шматок рейки, що не був в експлуатації. Вивчено характер перебігу пластичних деформацій рейкового металу з наявністю зневуглецьованого шару і без нього.

Ключові слова: зневуглецювання, шар, дефекти, рейки, поверхня, вкраплення, тріщина, деформація.

Рассмотрены причины выхода из строя рельсов, дефекты, возникающие в результате этого, и их расположение. Исследовано распределение обезуглероженного слоя по периметру и длине рельса, а также связь между образовавшимися напливами и обезуглероженным слоем. В качестве образца использовался 2-метровый кусок рельса

который не был в эксплуатации. Изучен характер протекания пластических деформаций рельсового металла с наличием обезуглероженного слоя и без него.

Ключевые слова: обезуглероживание, слой, дефекты, рельсы, поверхность, включения, трещина, деформация.

The causes of the failure of rails, the defects that are emerge consequently and their location are considered in the article. The distribution of the decarburized layer along the perimeter and length of the rail is investigated. The character of the flow of plastic deformations of a rail metal with the presence of a decarburized layer and without it has been studied. During the crystallization of ingots, carbon atoms migrate to the surface of the casting and decarburization of the surface. The presence of the decarburized layer on the contact surface of the rail plays a role in the initial stage of the plastic deformation process that occurs when there is a contact stress. The dependence of the distribution of the decarburized layer along the length of the rail head and the relationship between the already created inflows and the decarburized layer is established. A graph of the distribution of the decarburized layer along the length of a 2 meter rail piece is constructed. Simultaneously, the character of the distribution of nonmetallic inclusions along the section of the rail head was also investigated. There is a strong contamination of metal rails with nonmetallic inclusions of oxide and sulphide character. The presence of clusters of nonmetallic inclusions contributes to the development of a fracture in the fractional section. The development of this crack to the surface of rolling is excluded due to the presence of compressive stresses in the surface-hardened metal layer of the rail.

Keywords: decarburization, layer, defects, rails, surface, inclusions, crack, deformation.

Вступ. У зв'язку зі швидким розвитком народного господарства з року в рік зростає вантажна напруженість залізниць, підвищуються швидкості руху поїздів, збільшуються осьові навантаження. Зі зростанням вантажна напруженості підвищуються вимоги до рейкового металу. Рейки зазнають швидкого зносу і виходять з ладу. Для забезпечення зносостійкості і безпеки руху поїздів застосовуються рейки типу Р50, UIC 60, Р65, хімічний склад і механічні властивості яких наведені в табл. 1, 2. Твердість забезпечується структурою, що одержана при їх виготовленні, а саме: термічна обробка, загартування і відпуск. Структура згідно з ДСТУ 4344 належить до відпущеного мартенситу. Рейки такої структури мають незначний знос, але в результаті термо-механо-хімічних реакцій у зоні контакту рейка-колесо виникають дефекти (темні плями, поздовжні розшарування, вищербини, виривання), що призводять до руйнування рейок. Для усунення хвилеподібного зносу рейок і дефектів, що його обумовлюють, необхідно

мати уявлення про причини утворення дефектів у зоні контакту рейка-колесо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нині проблема усунення рейкових дефектів, зокрема хвилеподібного зносу, та підвищення якості рейкової сталі залишається актуальною. Тому що від стану рейок залежить безпека пасажирів та вантажоперевезень. Над вирішенням таких питань працювали вчені багатьох країн. Серед них немало й наших співвітчизників, а саме: Даниленко Е. І., Даренський О. М., Тимофєєва Л. А., Скобло Т. С., Сапожков В. Є., Сидашенко А. І., Кулагіна М. І., Зоткіна Г. В. та багато інших.

У теперішній час у працях українських та закордонних учених про усунення хвилеподібного зносу основна увага приділялася розробленню й удосконаленню конструкції машин і механізмів рейкошліфувальних машин. Але не досліджувалося питання взаємодії рейка-колесо і впливу термо-механо-хімічних взаємодій на структуру і властивості як вихідного металу, так і того, що вже

експлуатується. Крім того, у працях Даниленка Е. І. [1] досліджувався стан суцільнолитих хрестовин під впливом

підвищених колісних навантажень, але не розглядалося питання структури фазового складу рейкового металу.

Таблиця 1

Хімічний склад рейкової сталі

Марка сталі	Масова частка хімічних елементів, %							
	Вуглець	Марганець	Кремній	Ванадій	Титан	Фосфор	Сірка	Алюміній
	Не більше							
M74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
K74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
E74Ф	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	0,03-0,07	-	0,030	0,025	0,015
M74T	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
K74T	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
E74T	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	0,007-0,0025	0,030	0,025	0,015
M74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,035	0,040	0,025
K74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,035	0,040	0,025
E74	0,69-0,80	0,80-1,30	0,18-0,40	-	-	0,030	0,025	0,025
M76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
K76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,035	0,040	0,015
E76Ф	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	0,03-0,07	-	0,030	0,025	0,015
M76T	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
K76T	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,035	0,040	0,015
E76T	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	0,007-0,0025	0,030	0,025	0,015
M76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,035	0,040	0,025
K76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,035	0,040	0,025
E76	0,71-0,82	0,80-1,30	0,25-0,45	-	-	0,030	0,025	0,025

Таблиця 2

Механічні властивості рейкової сталі

Нормативний документ	Категорія рейки	Тимчасовий опір σ_B , Н/мм ² (кгс/мм ²)	Межа текучості $\sigma_{0,2}$, Н/мм ² (кгс/мм ²)	Відносне видовження δ , %	Відносне звуження ψ , %	Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ² (кгс·м/см ²)
		Не менше				
ДСТУ 4344	Вища	1290 (131)	850 (87)	10,0	30,0	15 (1,5)
	I	1196 (122)	800 (82)	8,0	25,0	25 (2,5)
	II	1137 (116)	740 (76)	6,0	25,0	15 (1,5)
	III	900 (92)	-	5,0	-	-

У працях Даренського О. М. [2] визначено взаємозв'язок колії і колійного складу в особливих умовах залізничних колій незагального користування, але не були порушені питання визначення виникнення зносу рейок за рахунок деформаційних складових, що впливають

на виникнення дефектів. Тому питання цієї статті є актуальними.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження було вивчення структурно-фазового стану рейок, як нових так і тих, що вже експлуатуються, аби запобігти утворенню хвилеподібного зносу рейок. Для досягнення поставленої

мети необхідно вирішити такі основні завдання:

1) визначити структурно-фазовий склад нових рейок і тих, що вже експлуатуються;

2) визначити основні причини зносу рейок у процесі експлуатації;

3) обґрунтувати утворення хвилеподібного зносу рейок.

Основна частина дослідження.

Донедавна підвищення контактної міцності здійснювалося за рахунок поліпшення якості макроструктури рейки. Рейки типу P50, UIC 60 і P65 містять близько 0,69-0,82 % вуглецю. Подальше підвищення контактної міцності металу рейок за рахунок збільшення вуглецю небажане, оскільки з його підвищенням збільшується чутливість сталі до різних механічних і термічних дій, підвищується схильність рейок до утворення тріщин. Подальше підвищення міцності рейок може бути здійснене завдяки застосуванню легування і термічної обробки поверхні уздовж головки. Як показали результати досліджень нових рейок, поодинокий вихід з ладу відбувається за такими дефектами: розшарування головки по усадкових раковинах, наявність сегрегації неметалевих вкраплень, волосовини на підшві та ін. А на рейках, що були в експлуатації, у зв'язку зі збільшенням контактної напруги на поверхні кочення головки рейки з'являлися поперечні втомні тріщини, зім'яття головки з напливами металу.

Ці дефекти здебільшого трапляються в рейках, укладених у кривих ділянках колії, тобто у тих рейках, які сприймають поперечні і поздовжні контактні навантаження від рухомого складу. Унаслідок термо-механо-хімічного впливу в зоні контакту рейка-колесо відбувається пластичний плин поверхневого шару металу головки рейки, який спричиняє на бічній внутрішній викружці виникнення напливів деформованого металу і поздовжніх тріщин під ними [3, 4, 9]. Було

порушене питання, чому і з якої причини з'являються згадані дефекти. Тобто згідно зі статистичними даними в опублікованих наукових дослідженнях з питань виготовлення рейок відомо, що в процесі кристалізації злитків у виливницях унаслідок високої температури здійснюється міграція атомів вуглецю на поверхню відливання і знеуглецювання поверхні. Чим товщий переріз відливання і товщина стінок виливниць, тим довше зберігається висока температура, унаслідок чого на велику глибину відбувається знеуглецювання поверхні злитка. Знеуглецьовані злитки після твердіння, перед плющенням, спрямовуються до нагрівальних колодязів, де за звичайних умов нагріву може відбуватися додаткове знеуглецювання й окислення [5–8].

Відповідно до згаданого, рейкова сталь, як близька до евтектоїдного складу, буде мати той чи інший ступінь знеуглецювання поверхні. Наявність знеуглецьованого шару на контактній поверхні рейки повинна відіграти певну роль у початковій стадії процесу пластичної деформації, що виникає за наявності контактної напруги.

Металографічні дослідження цих рейок показали в місцях дефекту наявність знеуглецьованого шару, який на поверхні кочення сильно деформований і зношений, а на бічних гранях досягає глибини до 0,5 мм.

Цікаво встановити залежність розподілу знеуглецьованого шару за довжиною головки рейки і можливий зв'язок між уже утвореними напливами і знеуглецьованим шаром. Для цього був узятий 2-метровий шматок рейки, на якому з боку внутрішньої викружки були ділянки з напливом металу, вищербинами і ділянки, не уражені цими дефектами. Результати дослідження показують, що по всьому периметру головки рейки спостерігається знеуглецьований шар, глибина якого неоднакова. З рис. 1 видно, що глибина цього шару по довжині рейки

розподіляється нерівномірно. Якщо тепер порівняти наявність напливів на бічній викружці головки рейки з глибиною знеуглецьованого шару, можна помітити, що в тих випадках, коли глибина шару максимальна, на дослідженій рейці є

напливи деформованого металу і поздовжні тріщини під ними. В окремих місцях напливи металу відкололися і на поверхні бічної викружки рейки утворилися вищербини.

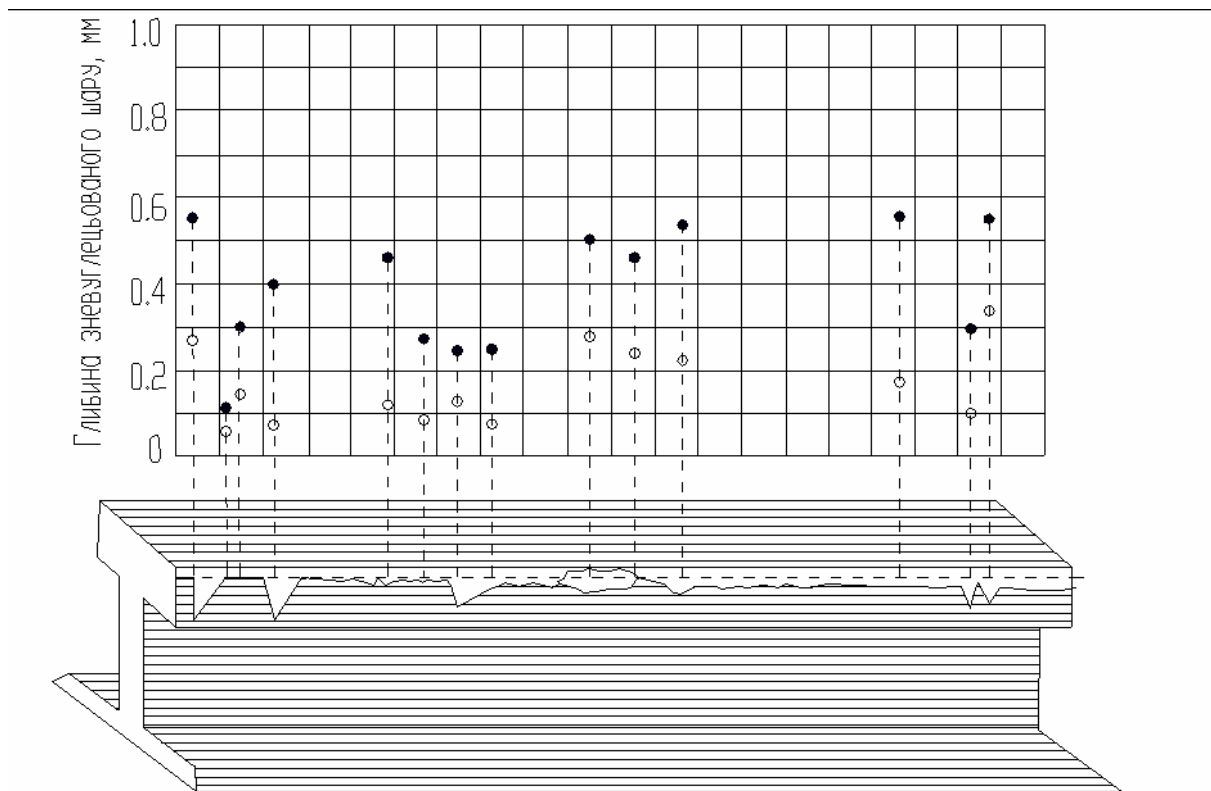


Рис. 1. Графік розподілу знеуглецьованого шару по довжині 2-метрового шматка рейки:
 ○ – глибина знеуглецьованого шару до експлуатації;
 ● – глибина знеуглецьованого шару в процесі експлуатації

Оскільки визначення глибини знеуглецьованого шару на поверхні кочення рейок, що були в експлуатації, унаслідок зносу і зім'яття є складним завданням, авторами був досліджений 2-метровий шматок рейки, що не був в експлуатації. У цій рейці характер розподілу знеуглецьованого шару такий же, як і в попередньому шматку. Відзначається, що ступінь знеуглецювання більший на поверхні кочення і бічних викружках рейки, де шар досягає глибини від 0,2 до 0,72 мм (рис. 2).

Одночасно досліджувався і характер розподілу неметалевих вкраплень по перерізу головки рейки. Відзначається сильна забрудненість металу рейок неметалевими вкрапленнями оксидного і сульфідного характеру. Розподіл цих вкраплень по перерізу головки нерівномірний, а саме: на поверхні кочення і бічних гранях кількість неметалевих вкраплень на глибину 2–5 мм незначна, тоді як інша частина головки сильно забруднена неметалевими вкрапленнями (рис. 3).



Рис. 2. Знеуглецьований шар на поверхні кочення рейки



Рис. 3. Неметалеві вкраплення всередині головки рейки, поздовжній переріз

Напливи металу, що спостерігаються на бічну грань, є результатом посиленої пластичної деформації металу над поздовжньою тріщиною, що зароджується на глибині 3–5 мм від поверхні кочення. Це підтверджується більш високою твердістю наклепаного металу напливу вище за тріщину (рис. 4).

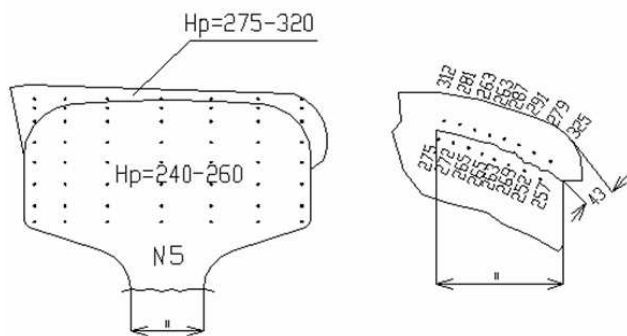


Рис. 4. Розподіл твердості по перерізу головки рейки

Розвиток тріщини в поздовжньому напрямі під напливом деформованого металу носить характер втоми і призводить до виникнення відколів (вищербин) на бічній викружці.

Наявні відколи великої довжини пояснюються зустріччю декількох самостійно розвинутих, поздовжніх тріщин (рис. 5).



Рис. 5. Поверхня поздовжньої тріщини під напливом

Наявність скупчень неметалевих вкраплень сприяє розвитку тріщини в поздовжньому перерізі. Часто розвиток поздовжньої тріщини, як видно з рис. 6, набуває розгалуженого характеру і в тому випадку, якщо на її шляху зустрічаються слабкі місця металургійного характеру, вона може змінити свій напрям і розвинути в поперечну втомну тріщину. Розвиток цієї тріщини до поверхні кочення виключається через наявність напруги стиснення в поверхневому наклепаному шарі металу рейки.



Рис. 6. Розвиток розгалуженої поздовжньої тріщини по неметалевих вкрапленнях

Висновки:

1. Знеуглецьований шар спостерігається на всіх досліджених рейках як по периметру поперечного перерізу, так і по його довжині. Знеуглецьований шар на поверхні кочення рейки в стані постачання досягає глибини до 0,72 мм, що викликає розвиток напливів деформованого металу.

2. Забрудненість металу і надмірні скупчення неметалевих вкраплень сприя-

ють розвитку під напливом тріщини в поздовжньому напрямі, що і призводить до утворення вищербин.

3. Для гальмування в часі зародження мікротріщини і зменшення швидкості її розвитку слід підвищувати межу текучості металу рейок за рахунок легування і термічної обробки.

Список використаних джерел

1. Даниленко, Э. И. Расчет характеристик жесткости и упругости рельсовой нити при кручении под воздействием вертикальных и горизонтальных сил [Текст] / Э. И. Даниленко // Наука та прогрес транспорту: Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2016. – № 5. – С. 79-88.

2. Даренський, О. М. Теоретичні основи визначення параметрів непружних опорів колії [Текст] / О. М. Даренський // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2010. – Вип. 118. – С. 187-194.

3. Митрофанов, Б. П. Природа упругого предварительного смещения: теория трения и износ [Текст] / Б. П. Митрофанов. – М., 2008. – С. 8-11.

4. Буше, Н. А. К вопросам о процессах происходящих на поверхности трения металлических материалов [Текст] / Н. А. Буше // О природе трения твердых тел. – Минск: Наука и техника, 2006. – С. 75-77.

5. Костин, В. Н. О некоторых закономерностях необратимого изменения намагниченности поликристаллических ферромагнетиков [Текст] / В. Н. Костин // Дефектоскопия. – 2004. – №1. – С. 29-38.

6. Chen, C. Magnetism and metallurgy of soft magnetic materials [Text] / Chin-wen Chen // Courier Dover Publications. – 2010. – 571 p.

7. Visintin, A. Models of Hysteresis [Text] / A. Visintin. – Danvers: CRC Press; 2010. – 221 p.

8. Bulatov, V. V. Computer simulation of dislocations [Text] / V. V. Bulatov, Wei Cai. – Oxford: Oxford University Press, 2006. – 284 p.

9. Gdouts, E. Fracture of nano and engineering materials and structures [Text] / E. Gdouts. – Berkeley: Springer, 2006. – 141 p.

Тимофеев Сергей Сергійович, д-р техн. наук, професор кафедри теплотехніки та теплових двигунів Українського державного університету залізничного транспорту.

Огульчанська Надія Романівна, аспірант кафедри якості, стандартизації, сертифікації та технологій виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту. Тел. 068-810-61-26. E-mail: ohulchanska@ukr.net.

Timofeyev Sergiy S., Dr.Tech.Sc., professor dep. "Heat engineering and heat engines", Ukrainian State University of Railway Transport.

Ohulchanska Nadia, postgraduate dep. "Quality, standardization, certification and production technology of materials", Ukrainian State University of Railway Transport. Tel. 068-810-61-26. E-mail: ohulchanska@ukr.net.

Стаття прийнята 22.12.2017 р.