

ТИМОФЄЄВ С. С., д.т.н., професор кафедри теплотехніки та теплових двигунів,
ОГУЛЬЧАНСЬКА Н. Р., аспірант (Український державний університет залізничного транспорту)

Особливості виникнення та розвитку контактних руйнувань головок рейок

У статті розглянуто основні причини руйнування головок рейок. Встановлено, що в результаті експлуатації на поверхні кочення рейок виникають поздовжні тріщини, які послаблюють зв'язок поверхневого шару з рештою об'єму металу головки. Це призводить до місцевого зім'яття на боковій грані головки початкової стадії викришування.

Ключові слова: головка рейки, поверхневий шар, міцність, наклеп, деформація, тріщина.

Постановка проблеми

Як відомо, безпека руху поїздів залежить від декількох чинників, найважливішим з яких є стан колії. У процесі експлуатації виникає хвилеподібний знос рейок, який призводить до руйнування поверхні рейки. Для його усунення необхідно знати причини виникнення такого явища.

Основна мета – дослідження причин руйнування головок рейок.

Основний матеріал

Контактні руйнування головок рейок існують у двох різновидах. Найбільш характерним типом контактних руйнувань, що трапляються найчастіше, є темні плями на поверхні кочення головок, у зоні переходу у вертикальну грань, з плином часу переходячи у відколи металу. При сильному розвитку відколи металу можуть викликати ураження головки рейки майже по всій її довжині. Глибина викришувань становить декілька міліметрів. Дно вищербини нерівне, з рідкими місцевими поглибленнями [1-3].

Другий, менш поширений, але більш загрозливий для безпеки руху поїздів, вид контактних руйнувань – поперечний злам рейки, який починається від поздовжньої тріщини, що виникає на певній глибині від поверхні кочення головки під внутрішньою викружкою, яка з'єднує поверхню кочення з боковою гранню головки. При повторному впливі коліс рухомого складу в поверхневих шарах головки рейки, у зоні сполучення поверхні кочення з боковою гранню головки накопичуються залишкові деформації. Метал поверхневих шарів поступово наклепується. На певній глибині від поверхні кочення виникають поздовжні тріщини.

Виникаючі поздовжні тріщини з часом поступово розвиваються, поширюючись як вздовж, так і поперек головки рейки. Початкова тріщина може виникати як з поверхні головки, що доводиться рядом мікрофотографій дефектних рейок, так і з внутрішніх точок. В останньому випадку поверхня тріщини в початковий момент має світлу, не окиснену поверхню. Такі тріщини неодноразово виявлялись дефектоскопами.

Поздовжня тріщина, що виходить на поверхню головки, послаблює зв'язки поверхневого шару з рештою об'єму металу головки. При цьому поверхневий шар, що відшарувався, під впливом дотичних зусиль, переданих гребенем колеса, отримує збільшені пластичні деформації. На боковій грані головки рейки виникає різке місцеве зім'яття – характерна ознака початкової стадії викришування.

Як при розтягненні зразка в місці майбутнього розриву виникає шийка, так і у спливаючому поверхневому шарі, що відшарувався, металу виникає місцеве зменшення товщини. У цьому місці колеса перестають торкатися рейки і внаслідок цього на головці рейки виникає темна пляма. Під темною плямою обов'язково є поздовжня тріщина, причому периметр її більше, ніж периметр темної плями на поверхні кочення.

Чим глибше знаходиться тріщина від поверхні кочення головки рейки, тим більш ускладнений процес виникнення місцевих спливів металу і, отже, темних плям.

Під дією динамічних тисків коліс поздовжня тріщина поступово розвивається. У своєму розвитку вона може як поширюватися паралельно поверхні кочення, так і змінити цей напрям. Якщо вона почне повертати вгору, то зрештою виникне відкол металу. При повороті поздовжньої тріщини вниз замість відколу металу виникне поперечний злам головки рейки і усієї рейки в цілому.

Відколи поверхневих шарів металу і поперечний злам головки являють собою кінцеві стадії розвитку однієї і тієї ж вади – поздовжньої тріщини під поверхнею кочення. При цьому слід мати на увазі, що необов'язково поперечному зламу повинні передувати темні плями на поверхні кочення головки. Поперечні злами можуть мати місце і в тих перерізах рейки, де на головці нема ніяких видимих слідів появи і розвитку поздовжньої тріщини під поверхнею кочення. Маючи на увазі такий процес розвитку контактних ушкоджень головок рейок, було висловлено припущення, що для запобігання появи і розвитку контактних руйнувань головок рейок необхідно підняти межу плинності рейкової сталі до таких меж, щоб якщо не повністю унеможливити появу пластичних деформацій поверхневих шарів головки рейки, то, принаймні, локалізувати її тільки поверхнею кочення. Проведені розрахунки показали, що при сучасному рівні навантажень, швидкостей руху для досягнень вказаної мети необхідно, щоб межа плинності рейкової сталі, принаймні, після деякого наклепу не була менше 1500 МПа [4-6].

Вказана величина межі плинності дуже висока. Досить сказати, що вона приблизно в три рази перевищує межу плинності сучасних стандартних рейок. Із сказаного випливає, що для корінного підвищення контактної міцності рейок необхідне різке підвищення показників міцності рейкового металу. Одночасно не можна не відмітити, що проведенням деяких заходів у сфері експлуатації рейок можна дещо знизити рівень пошкодження рейок контактними руйнуваннями або продовжити термін їх служби. Але при цьому не можна припускати, що такими заходами можна скільки-небудь істотно полегшити скрутне становище міцності рейок на основних напрямках нашої мережі залізниць.

Не можна випускати також з виду, що умови експлуатації рейок увесь час будуть ускладнюватися: зростатимуть осьові навантаження, вантажонапруженість, швидкості руху. Перш ніж перейти до подальшого викладу, слід зазначити, що відкол поверхневого шару металу призводить до того, що власне контактна напруга в цьому місці головки рейки зникає, оскільки контакт колеса і рейки у відповідних точках головки стає неможливим. Отже, умови роботи головки в цих місцях з точки зору контактної напруги полегшуються. У цьому полягає одна з причин того, що після утворення відколу подальший розвиток дефекту рейки припиняється або різко сповільнюється. Можна дуже часто спостерігати рейки, що уражені великою кількістю вищербин, але продовжують працювати в дорозі і, нерідко, у найважчих умовах. Таке положення здатне дещо заспокоювати працівників служб колії, але відколи металу з поверхні кочення головки є шкідливим ушкодженням рейки. Передусім вони істотно

ускладнюють дефектоскопію рейок і тим самим, хоч і опосередковано, але знижують міру безпеки руху потягів. Самий факт появи темних плям і відколів поверхневих шарів головок рейок є сигналом про те, що в рейці почали виникати і розвиватися поздовжні тріщини, які можуть не лише призводити до відколу металу, але і поперечного зламу. І, нарешті, що найголовніше, нерівна поверхня дна поглиблень, що утворилися при відколі металу поверхневих шарів головки, безумовно, відіграє роль концентраторів напруги від вигину і поздовжніх температурних сил, що виникають взимку у пліті.

Якщо, на додачу до всього, у тому ж місці колії, де лежить рейка з відколом металу на поверхні кочення головки рейки, досить тривалий час існуватиме несправність, що призводить до посиленого вигину рейки головою вгору (наприклад одна-дві нові шпали серед групи сильно зношених), то тоді відкол металу з поверхні кочення може призвести до утворення поперечної тріщини, що починається від нерівності на дні вищербини.

Особливо вірогідна поява таких тріщин у тому випадку, коли рейка, що має відколи поверхневих шарів, буде перекладена в таке місце колії, де пошкоджена частина головки може зазнавати напругу розтягнення, наприклад, якщо рейка буде перекантована. Рейки, що мають контактні ушкодження головок, можуть укладатися в колію на нових ділянках тільки після видалення слідів ушкодження безстикової колії.

Появу і розвиток поздовжніх тріщин, що починаються з поверхні головки, можна пов'язати з місцевими пошкодженнями конфігурації бічної грані головки під напливом, де утворюється різкий вхідний кут. Якщо в цьому місці рейки є дефект металу, наприклад у вигляді значного знеуглецювання або у вигляді волосовини, то під впливом значної залишкової напруги, обумовленої впливом металу з поверхні, виникає поздовжня тріщина, яка надалі призведе або до відколу металу або до поперечного зламу рейки.

Що стосується виникнення внутрішніх тріщин, то їх появу можна уявити собі так.

Після проходження деякої кількості коліс поверхневі шари металу тією або іншою мірою наклепують. Межа плинності у зв'язку з цим відповідно підвищується. Але міра наклепу неоднакова по глибині. Підвищене значення межі плинності біля самої поверхні кочення змінюється нормальною величиною межі плинності на деякій глибині. При цьому очевидно, що чим вище межа плинності металу в початковому стані, тим на меншій товщині шару станеться перехід від підвищеного значення межі плинності до початкового його значення [7-9].

Таким чином, після закінчення деякого терміну верхні шари головки рейки стають неоднорідними з

точки зору межі плинності. Ця обставина є вирішальною у подальшому.

Тиск колеса на головку рейки тільки в окремих випадках спрямований по перпендикуляру до поверхні кочення в точці зіткнення колеса і рейки. Переважно випадку динамічний тиск колеса має значні дотичні складові.

Рух коліс по рейках завжди супроводжується прослизанням. Прослизання коліс пояснюється двома чинниками: з одного боку, конічністю коліс, внаслідок чого круги кочення коліс у загальному випадку виявляються нерівними один одному, а з іншого – набіганням гребенів на головку рейки.

Характерним випадком набігання гребенів на головку рейки є випадок руху колісної пари по кривих ділянках колії. У цьому випадку, як відомо, напрямна вісь набігає одним з коліс на головку рейки. У результаті виникає поперечне прослизання колеса по поверхні кочення. При поперечному прослизанні виникають відповідним чином орієнтовані сили тертя між колесом і рейкою.

Набігання коліс на головку рейки має місце не лише в кривих. Воно виникає при виляючому русі рухомого складу і на прямих ділянках колії у той момент, коли колеса гребенями притискаються до однієї з рейок. Таке положення колісних пар стає можливим при досить великій швидкості руху потяга. Оскільки прослизання коліс вздовж або поперек рейки може мати місце не лише для локомотивних зчіпних коліс, але і для вагонних, отримуємо, що наявність значних дотичних складових динамічного тиску коліс на головки рейок слід вважати звичним явищем. Отже, напружений стан головки рейки в зоні контакту з колесом визначається одночасною дією як нормальної, так і значної дотичної складової динамічного тиску колеса. Остання може бути орієнтована як вздовж, так і поперек колії.

При великих значеннях нормальної і дотичної складових динамічного тиску колеса на головці рейки в поверхневих шарах неминуче виникають пластичні деформації. Після наклепу перехід від чисто пружної роботи до пластичної відбувається значно різче, ніж для металу в початковому стані.

Внаслідок цього можна припустити, що зона деформованого металу, де розмір пружних і пластичних деформацій буде приблизно однаковим – невеликим, а тому в розрахунках на пластичні деформації, досить грубих через недостатньо розроблений математичний апарат, можна нехтувати цією зоною і вважати, що метал у зоні контакту працює як жорсткопластичне тіло. Остання пропозиція розглядає метал як тіло, що не здатне до пружних деформацій, але має пластичні деформації.

Теорія жорсткопластичного тіла при всій зовнішній умовності в ряді випадків дає результати, що задовільно збігаються з дійсністю.

Виходячи з цього були проведені розрахунки напруженого і деформованого стану рейкової головки в зоні контакту під одночасною дією нормальної і дотичної складової тиску коліс [10-14].

Розрахунки велися для схеми, показаної на рисунку.

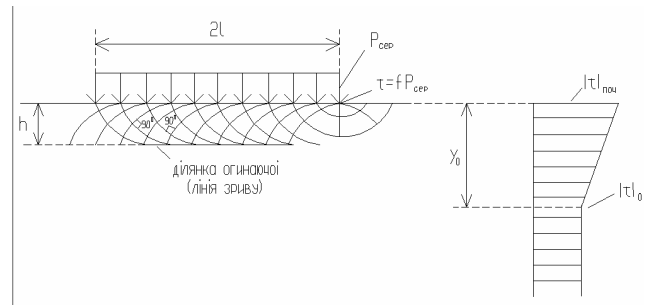


Рис. Схема напруженого і деформованого стану рейкової головки в зоні контакту

Розрахункові формули мають такий вигляд.

Якщо вважати, що межа плинності в наклепаному шарі змінюється за законом

$$|\tau| = |\tau|_{\text{поч}} - \frac{|\tau|_{\text{поч}} - |\tau|_0}{y_0} y,$$

то тоді на деякій глибині від поверхні кочення може виникнути обвідна ліній ковзання, яку можна розглядати як лінію зриву. Обвідна, тобто лінія зриву, може виникати тільки в тому випадку, коли виконується така умова:

$$\left\{ \frac{t}{|\tau|_{\text{поч}}} \right\}^2 \geq 1 - \left\{ \frac{|\tau|_{\text{поч}} - |\tau|_0}{|\tau|_{\text{поч}}} \cdot \frac{1}{y_0} \right\}^2,$$

де t – середня дотична напруги на майданчику контакту;

τ_0 – межа плинності в нульовому стані;

$\tau_{\text{поч}}$ – межа плинності в початковому стані деформації;

y – відношення довжини зрізу поверхні головки рейки до висоти деформованого шару;

y_0 – різниця між τ_0 і $\tau_{\text{поч}}$.

Лінія ковзання розташовується в межах наклепаного шару поблизу від його нижньої межі.

Чим менше товщини наклепаного шару, тим вище розташовується лінія зриву. Оскільки лінія зриву являє собою місце локалізованої пластичної деформації, то вона має бути місцем розпушування металу, тобто місцем, у якому полегшено виникнення і розвиток втомної тріщини.

Подальший розвиток втомної тріщини відбувається, ймовірно, під великим впливом аналогічної напруги, обумовленої дотичними складовими динамічного тиску колеса на рейку, причина виникнення яких розглянута вище.

Поздовжня тріщина, що з'явилася, під поверхнею кочення призводить до значного спотворення напруженого стану по периметру тріщини. Зокрема можна показати, що по периметру тріщини виникає напруга, яка прагне повернути напрям розвитку тріщини вгору або вниз. При цьому у тріщини, близько розташованої до поверхні кочення, має бути велика тенденція до повороту в напрямку до поверхні кочення, тобто до відколу, а у тріщини, що залягає досить глибоко, навпаки, – по напрямку від поверхні кочення. В останньому випадку поздовжня тріщина матиме тенденцію до переходу в поперечний злам рейки, що погрожує безпеці руху потягів.

Переходу поздовжньої тріщини в поперечну сприяють різного роду неметалеві включення в металі та інші види його місцевого послаблення.

Тому для підвищення опору рейок розвитку поперечних тріщин втоми, окрім збільшення межі плинності, потрібно домагатися чистоти рейкового металу.

Висновки

Розглянуто основні причини руйнування головок рейок. Встановлено, що в результаті експлуатації на поверхні кочення рейок виникають поздовжні тріщини. Проведено розрахунки напруженого і деформованого стану рейкової головки в зоні контакту з одночасною дією нормальної і дотичної складової тиску коліс.

Література

- Шнейдер, Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства [Текст] / Ю. Г. Шнейдер. – Л.: Машиностроение, 1972. – 240 с.
- Поляк, М. С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения [Текст]: в 2-х т. / М. С. Поляк. – М.: «Л.В.М. – СКРИПТ»; Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 688 с.
- Обеспечение износостойкости в машиностроении [Текст]: учеб. пособие / А. Н. Гладченко, Н. А. Зенкин, И. В. Шевеля [и др.]. – К.: ІСДО, 1996. – 115 с.
- Зенкін, М. А. Забезпечення працездатності та надійності машин [Текст]: навч. посібник / М. А. Зенкін, І. Л. Оборський, Ю. Ю. Щербань. – К.: КДУТД, 2001. – 87 с.
- Кузнецов, І. Б. Оцінка функціональних можливостей вимірників енергетичних параметрів і обґрунтування можливості застосування для діагностики напружено-деформованого стану поверхневих шарів металу [Текст] / І. Б. Кузнецов, М. А. Зенкін // Вимірювання та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1998. – №4. – С. 156-160.
- Фізичні основи діагностики характеру руйнування деталей [Текст] / В. В. Аулін, О. Ю. Жулай, Д. М. Барановський [та ін.] // Вісник ХДТУСТ. «Технічний сервіс АПК, техніка та технології в сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2004. – Вип. 24. – С. 116-121.
- Meli E. A railway vehicle multibody model for real time applications / Meli E., Malvezzi M., Papini S., Pugi L., Rinchi M., Rindi A. // Vehicle System Dynamics, 46(12), P. 1083-1105, 2008.
- Mei T.X. Mechatronic solution for high-speed railway vehicles / Mei T.X., Nagy Z., Goodall R.M., Wickens A.H. // Control Engineering Practice. – 2002. – Vol.10. – P. 193-198.
- Maki Y., Building a railway vehicle model for hardware-in-the-loop simulation / Maki Y., Shimomura T., Sasaki K. // QR of RTRL. – 2009. – №50(4). – P. 193-198.
- European ATEX Notified Bodies Group (ExNBG) http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/documents/legislation/atex/notified-bodies/index_en.htm.
- European Coordination of Notified Bodies for Lifts (NB-L) http://ec.europa.eu/enterprise/sector/mechanical/documents/legislation/lifts/notified-bodies/index_en.htm.
- Lin, Y. Oxidation Behavior of Multiphase Nb-Mo-Si-B In-termetallics / Y. Lin, M.J. Kramer, A.J. Thom and M.A. Kine // Metallurgical and Materials Transactions A. – 2005. – V. 36. – P. 601-608.
- Методы анализа поверхностей [Текст]: пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 582 с.
- Формирование поверхностного слоя триботехнического назначения для железоуглеродистых сплавов [Текст] / Л. А. Тимофеева, С. С. Тимофеев, А. Ю. Демин [и др.] // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 1,2 (15). – С. 8.

Тимофеев С. С., Огульчанская Н. Р. Особенности возникновения и развития контактных разрушений головок рельсов. В статье рассмотрены основные причины разрушения головок рельсов. Установлено, что в результате эксплуатации на поверхности качения рельсов возникают продольные трещины, которые ослабляют связь поверхностно шара с остальным объемом металла головки. Это приводит к местному смятию на боковой грани головки начальной стадии выкрашивания.

Ключевые слова: головка рельса, поверхностный слой, прочность, наклеп, деформация, трещина.

Timofeyev S. S., Ohulchanska N. R. Features of occurrence and development contact destructions of rail heads. Principal reasons of destruction of rail heads are considered in the article. Clarified, in the result of exploitation on the surface of rolling of rails there invoke longitudinal cracks, that weaken connection of superficial ball with rest volume of head's metal. This leads to the local crumpling on the side of the head edge and the initial stage of peel.

Fissure of the surface layer of metal leads to disappear contact stresses in this place of the rail head, since the contact of the wheel and the rail at the corresponding points of the head becomes impossible. It is established that on the surface of the layer there is a hardening. In this connection, the yield stress increases accordingly. The degree of hardening is not the same in depth. The increased value of the yield point near the surface of rolling is replaced by the normal value of the yield point at a certain depth. That is, the upper layers of the railhead become non-uniform, in terms of the fluidity bounds.

The calculations of the tense and deformed state of rail head were conducted in the zone of contact under simultaneous influence of normal and tangent constituent of pressure of wheels.

Key words: rail head, surface layer, durability, hardening, deformation, crack.

Надійшла 18.10.2017 р.

Timofeyev Sergiy S., Dr.Tech.Sc., professor Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.

*Ohulchanska Nadia R., Graduate student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine.
E-mail: ohulchanska@ukr.net*

Тимофєєв Сергій Сергійович, д.т.н., професор, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

Огульчанська Надія Романівна, аспірант, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: ohulchanska@ukr.net