
TRANSCOMP – XIV INTERNATIONAL CONFERENCE
COMPUTER SYSTEMS AIDED SCIENCE, INDUSTRY AND TRANSPORT

Diagnostyka szyn,
Pęknięcia szyn,
Infrastruktura transportu kolejowego.

Zbigniew KĘDRA¹

CHARAKTERYSTYKA PĘKNIĘĆ W SZYNACH TYPU HEAD CHECK

Streszczenie Zmęczenie kontaktowe powierzchni tocznej szyny (RCF) jest jedną z ważnych przyczyn jej uszkodzenia i ma obecnie duże znaczenie w utrzymaniu nawierzchni kolejowej w odpowiednim stanie niezawodności oraz wpływa na trwałość szyn. W wyniku dużych oddziaływań dynamicznych na powierzchni szyny powstają poziome małe pęknięcia, które w dalszej fazie rozwoju przechodzą pionowo przez krawędź główki szyny powodując powstawanie mikroszczelin. W przypadku niedoboru środków na diagnostykę i nie wykonania napraw w określonym terminie, uszkodzenia te mogą być przyczyną poważnych wypadków. W artykule omówiono problemy dotyczące powstawania pęknięć i ich rozwoju, rozpoznawania, wymieniono czynniki wpływające na pęknięcia typu head check oraz możliwości zapobiegania i naprawy.

CHARACTERISTICS OF CRACKS IN RAILS TYPE HEAD CHECK

Abstract Rolling Contact Fatigue (RCF) is one of the various forms of rail wear and important to consider, concerning rail maintenance and life-cycle matters. One of the RCF types is head checks: small cracks that will initiate on the rail surface before propagating horizontally. In a more advanced stage the cracks will continue vertically through the rail head, causing a rail break and thus potential serious accidents if no remedial measures are undertaken on time. This paper provides an overview of the problem explaining the initiation and propagation of cracks, listing the considerations and the elements that play a major part in Head Checks initiation and propagation and the kind of remedial solution that exists to prevent and correct this rail defects problem.

1. WSTĘP

W ostatnich dwóch dekadach na wielu krajach, odnotowano ożywienie transportu szynowego poprzez dostarczanie szybszych, tańszych, częstszych i bardziej niezawodnych połączeń zarówno transportu osób jak i towarów. Jednak wzrost natężenia ruchu, zwiększenie prędkości i większe obciążenia osi, mają szczególny wpływ na zużycie nawierzchni kolejowej, a tym samym na jej utrzymanie i potrzeby naprawy.

¹Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, ul. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk,
tel: 058 3486091, e-mail: zbigniew.kedra@wilis.pg.gda.pl

W tym samym czasie zoptymalizowano proces utrzymania drogi szynowej i obniżono koszty jej utrzymania. To jednak spowodowało powstawanie nowych zjawisk do tej pory niespotykanych, a zużycie i zmęczenie elementów nawierzchni pojawia się częściej i szybciej (przykładem takich uszkodzeń mogą być zmęczenia kontaktowe powierzchni tocznej szyny: shelling, squats, speling, zużycie faliste, head checks).

W wyniku zużycia, przyspieszona degradacja infrastruktury może prowadzić do ograniczania prędkości, obciążenia, częstszych przeglądów i wzrostu kosztów utrzymania. Poznanie i zrozumienie zjawisk zachodzących w szynie może prowadzić do lepszego projektowania kształtu profilu szyny i koła oraz poprawy diagnostyki i zmiany przyszłej polityki utrzymania infrastruktury kolejowej.

Zmęczenie kontaktowe powierzchni tocznej szyny (Rolling Contact Fatigue - RCF) jest jedną z przyczyn uszkodzenia szyn i ma obecnie duże znaczenie w utrzymaniu nawierzchni kolejowej w odpowiednim stanie niezawodności oraz wpływa na trwałość szyn.

W wyniku dużych oddziaływań dynamicznych na powierzchni szyny powstają poziome małe pęknięcia, które w dalszej fazie rozwoju przechodzą pionowo przez krawędź główki szyny powodując powstawanie mikroszczelin. W przypadku niedoboru środków na diagnostykę i nie wykonania napraw w określonym terminie, uszkodzenia te mogą być przyczyną poważnych wypadków.

Podstawowym problemem jest wykrycie tych pęknięć na powierzchni główki szyny w krótkim czasie od ich powstania. Jednak automatyczna kontrola za pomocą wagonów pomiarowych jest bardzo trudna i do pewnej głębokości pęknięcia, wręcz niemożliwa, jedynym sposobem wówczas jest kontrola wzrokowa.

Na prędkość powstawania pęknięć na powierzchni szyny ma wpływ kilka czynników, np.: prędkość pociągu, rodzaj taboru, naciski osi, geometria toru (promień łuku, krzywe przejściowe, nadmiar i niedobór przechyłki), właściwości stali szynowej, geometria koła i szyny, utrzymanie linii kolejowej, czynniki zewnętrzne (temperatura, wilgotność).

W artykule przedstawiono stan wiedzy dotyczący powstawania pęknięć typu head checks, ich rozwoju, rozpoznawania oraz podziału.

Wszystkie

Ocena geometrii rozjazdów polega na wykonaniu dyskretnego pomiaru szerokości toru i żłobków w określonym miejscu rozjazdu kolejowego (Rys.1).

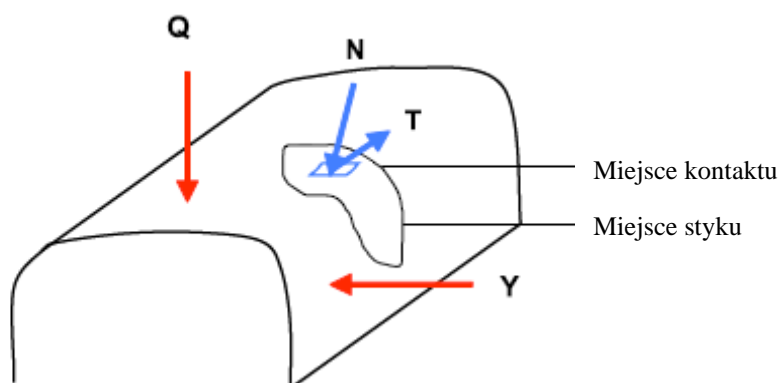
2. ZJAWISKO PĘKNIĘCIA HEAD CHECK

Szyna poddawana jest oddziaływaniu cyklicznego obciążenia od przejeżdżającego taboru poprzez kontakt koło-szyna w ilości większej niż 5 milionów na każde 100 Tg przeniesionego obciążenia. Powtarzające się obciążenia cykliczne od pojazdów szynowych wywołuje wewnętrzne naprężenia, które będą stopniowo prowadziły do uszkodzeń szyny i zainicjują rozwój pęknięć, rozpoczynających się z uszkodzonej strefy. Pod wpływem obciążeń cyklicznych, materiał pracuje w fazie sprężysto-plastycznej i początkowo jest utwardzany poprzez hartowanie, które prowadzi do zwiększenia naprężeń w materiale.

Powstałe na powierzchni szyny deformacje będą powodowały wzrost oddziaływań kół taboru na szynę, co w konsekwencji doprowadzi do zwiększenia naprężeń kontaktowych, a proces ten będzie się powtarzał.



Böhmer, Ertz i Knothe [1] wskazują również na wpływ temperatury na opisany proces powstawania uszkodzeń kontaktowych, która będzie generowała dodatkowe naprężenia w materiale. Jest to związane z poślizgiem, który może wystąpić w wysokich temperaturach.



Rys.1. Schemat powierzchni kontaktu koła z szyną i działających sił: Q , Y – siła pionowa i pozioma od nacisku koła, N , T – siła normalna i styczna w miejscu kontaktu i styku koła z szyną [10]

Wielkość naprężeń kontaktowych jest funkcją czterech głównych czynników: średnicy kół, nacisku koła (w tym nadwyżki dynamicznej), profilu poprzecznego szyny i poprzecznego profilu koła. W szczególnych przypadkach czynniki te mogą powodować zwiększenie naprężenia nawet o 300 %.

Oprócz przytoczonych czynników istotne jest także miejsce kontaktu i styku. W praktyce istnieje kilka parametrów, które wpływają na położenie koła na szynie i mają wpływ na naprężenia kontaktowe [3]:

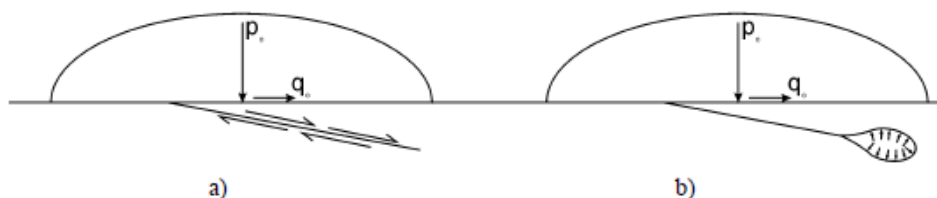
- szerokości toru - zmiana szerokości toru wpływa na położenie i geometrię styku koło/szyna,



Rys.2. Przykładowe położenie koła w stosunku do szyny

- profil podłużny połączenia szyn - wszelkie nierówności w obrębie spawu termitowego, wynikające z nierówności mają istotny wpływ na nadwyżki dynamiczne,
- inne czynniki, które wpływają na naprężenia kontaktowe: nadmiar i niedobór przechyłki, płaskie miejsca na kole, krzywe przejściowe, łagodne łuki, słabe i silne przytwierdzenie, pochylenie szyn, asymetryczne rozłożenie ładunku.

Obecności smaru i wody w styku koło/szyna odgrywa również istotną rolę w częstości i głębokości pęknięć powierzchniowych. Jeżeli smar lub inne zanieczyszczenia przenikają do powierzchni pęknięcia, to zmniejsza się tempo wzrostu pęknięcia. Woda charakteryzująca się niską lepkością i wysokim napięciem powierzchniowym, przenikając do pęknięcia (zgodnego z kierunkiem jazdy) najpierw je uszczelnia, a następnie powoduje hydrauliczne rozwarstwienie wierzchołka pęknięcia. Prowadzi zatem w konsekwencji do szybkiego rozwoju pęknięcia.



Rys.3. Rozwój pęknięcia w środowisku wilgotnym [8]: a – obecność smaru lub zanieczyszczeń, b – obecność wody

Pęknięcia bardzo się różnią w zależności od warunków środowiskowych. W suchych warunkach (lepkość jest wysoka) pęknięcie jest bardzo płytkie i rozwija się do głębokości tylko 3 mm. W warunkach wilgotnych (przy małej lepkości), pęknięcie rozwija się na znaczną głębokość, nawet 7-15 mm (głównie ze względu na hydrauliczny mechanizm propagacji szczeliny [8]).

3. PROPAGACJA I PODZIAŁ PĘKNIĘĆ HEAD CHECKS

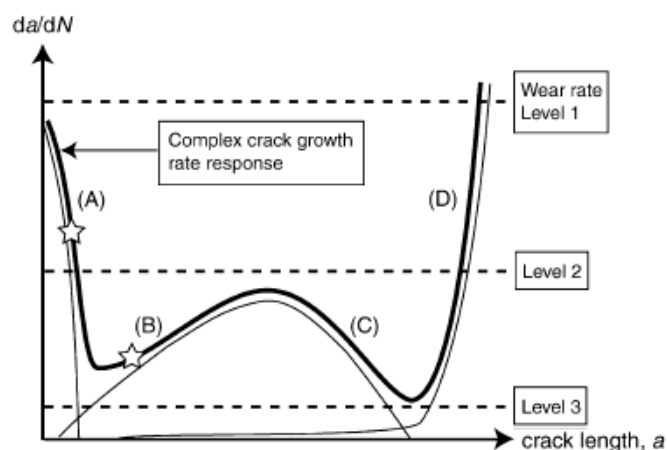
Powstałe pęknięcie rozwija się w wyniku oddziaływania kół taboru i warunków środowiskowych. Aby zrozumieć propagację pęknięcia konieczne jest: określenie czynników wpływających na to zjawisko, scharakteryzowanie pęknięcia oraz ustalenie krytycznych wartości pęknięć.



Rys. 4. Pęknięcia head checks

Pęknięcia rozwijają się powoli na powierzchni główki szyny, w tym samym kierunku co odkształcenie plastyczne, na ogół pod kątem 15-250 do powierzchni tocznej szyny, do głębokości 3-5 mm. Wówczas w zależności od wielkości naprężeń kontaktowych zaczynają zwiększać długość tylko na główce szyny z przybliżoną prędkością 1mm/Tg [10].

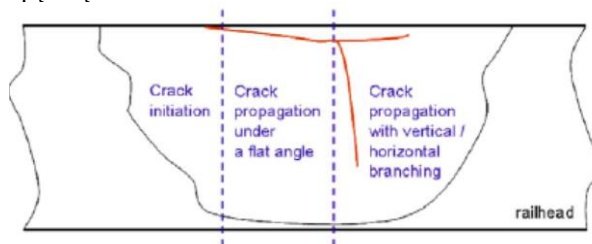
Na rysunku 5 przedstawiono fazy rozwoju pęknięcia head check w funkcji przyrostu zużycia.



Rys.5. Schemat faz rozwoju pęknięć [12]

Litry na rysunku 5 oznaczają kolejne etapy rozwoju pęknięcia, zaś level – poziom zużycia szyny :

- A – początek pęknięcia przy małym obciążeniu skumulowanym i niewielkich deformacjach – zaczyna się proces rozwoju pęknięcia,
- B – pęknięcie wydłuża się, przebiega w pobliżu krawędzi główki szyny, zwiększa się prędkość rozwoju pęknięcia,
- C – po przekroczeniu pewnej krytycznej długości pęknięcia, następuje zmniejszenie tempa przyrostu długości,
- D – pęknięcie jest poddane zginaniu i następuje przyrost długości wraz z pionowymi i poziomymi pęknięciami.



Rys. 6. Fazy rozwoju pęknięcia w główce szyny [9]

Poziom I – występuje duże zużycie, które uniemożliwia powstanie pęknięcia lub mikropęknięcia usuwane są w procesie zużycia szyny

Poziom II – małe zużycie szyn, które nie powoduje usunięcia mikropęknięć, ale utrudnia szybki jego rozwój.

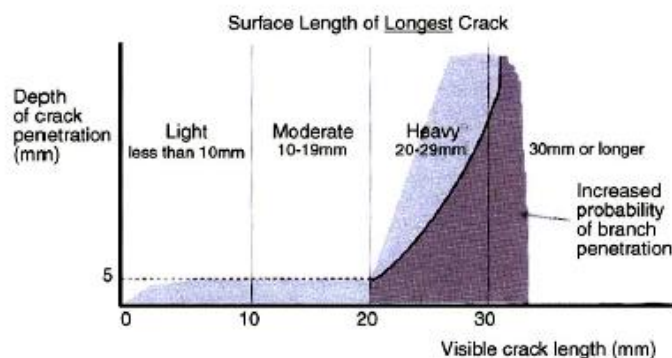
Poziom III – szyna nie wykazuje zużycia lub zużycie jest bardzo małe i nie ma wpływu na rozwój pęknięcia

Diagnostyka szyny powinna obejmować wykrywanie wad i uszkodzeń powierzchniowych główki szyny, a w szczególności wykrywanie wad typu head check.

Charakterystyka pęknięcia zmęczeniowego powinna zatem obejmować:

- długość pęknięcia,
- głębokość pęknięcia – definiowana jako pionowa odległość od powierzchni tocznej główki szyny do końca pęknięcia na powierzchni bocznej,
- odległość pomiędzy pęknięciami (rozstaw pęknięć) – wraz ze wzrostem wytrzymałości szyny pęknięcia są bardziej zagęszczone,
- kąt pomiędzy pęknięciem i krawędzią szyny,
- lokalizacja na główce szyny.

Wymienione cechy, jak również obciążenie przeniesione przez szynę, warunki tarcia, geometria szyny oraz miejsce kontaktu koła z szyną mogą pomóc w ustaleniu przyczyny powstających problemów.

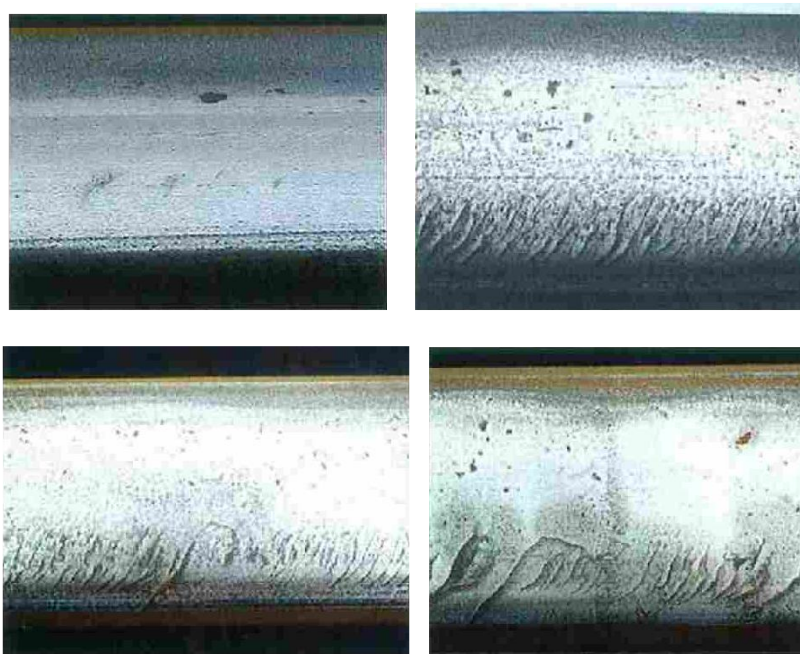


Rys. 7. Korelacja pomiędzy długością, głębokością i wagą pęknięć [3]

Grassie [3] proponuje zastosowanie czterostopniowej klasyfikacji pęknięć szyn typu head check. W zależności od długości i głębokości wyróżnia się pęknięcia:

- lekkie – widoczne na długości do 10 mm,
- średnie - widoczne na długości od 10 do 19 mm,
- ciężkie - widoczne na długości od 20 do 29 mm,
- krytyczne - widoczne na długości od 30 mm.

Jeśli pęknięcie przekroczy długość 20 mm i głębokość 5 mm, to istnieje duże prawdopodobieństwo, że nie usuniemy tej wady, a pęknięcie będzie szybko postępowało i będzie zagrażało bezpieczeństwu ruchu kolejowego (np. wypadek w Hatfield w Wielkiej Brytanii w 2000 r.).



Rys. 8. Pęknięcia head check: o góry lekkie, średnie, ciężkie i krytyczne

Należy zatem przyjąć, że przekroczenie sugerowanej głębokości pęknięcia (5 mm) spowoduje konieczność wymiany szyny, gdyż dalsza kontrola jest zbyt niebezpieczna.

4. WNIOSKI

Kluczem do zrozumienia korzyści wynikających z jakiejkolwiek strategii w celu monitorowania lub naprawy RCF jest dostrzeżenie podstawowych zależności dotyczących inicjacji pęknięcia i jego rozwoju. Proces tworzenia pęknięcia na czystej powierzchni początkowo ma skończoną liczbę cykli obciążenia i nie jest natychmiastowy. Badania prowadzone w wielu krajach wskazują, że inicjacja pęknięcia ma miejsce po przeniesieniu obciążenia rzędu 3-6 Tg.

Prowadzone badania wykazały również, że nowe szyny mogą posiadać mikropęknięcia na powierzchni główki o długości ułamka milimetra i są ułożone pod kątem od 5 do 15 stopni w stosunku krawędzi główki szyny.

Zgodnie z klasyczną mechaniką pęknięcia, krótkie mikropęknięcia początkowo szybko się rozprzestrzeniają, następuje to w zakresie ok. 5-10 mm długości i głębokości 1-3 mm. Pęknięcia o większej długości i głębokości kilku milimetrów rozprzestrzeniają się stosunkowo wolno.

Zarówno rozpoczęcie jak i przyrost pęknięcia zależą od tempa zużycia powierzchni szyny, które obejmuje z uwagi na kontakt koło/szyna: korozję, proces ścierania materiału i naprawę (szlifowanie, frezowanie, struganie).

Ciągłe lub częste usuwanie cienkiej warstwy materiału z główki szyny może prowadzić do usunięcia istniejących pęknięć i teoretycznie wyeliminować całkowicie pęknięcia na powierzchni główki. Optymalna strategia powinna zatem uwzględniać usunięcie takiej grubości, aby pozbyć się mikropęknięć z i pod powierzchnią ich występowania.

Strategie usuwania materiału z główki szyny zależą od konkretnej sytuacji i powinny obejmować kluczowe parametry związane z siłą normalną i styczną kontaktu koło/szyna (kąt, miejsce przyłożenia, wielkość), rodzajem ruchu (jednorodny, mieszany, przekrój koła, obciążenie skumulowane), rodzajem szyny (przekrój, wytrzymałość, twardość), środowiskiem (smarowanie wilgotność), geometrii toru (prosta, łuk, krzywa przejściowa, przechyłka).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Böhmer A., Ertz M., Knothe K.: *Shakedown limit of rail surfaces including material hardening and thermal stresses*. Fatigue & fractures of engineering materials and structures, 26/2003, Nr 10, str. 985-998.
- [2] Esveld C.: *Modern Railway Track*, 2001.
- [3] Grassie S.: *Rolling contact fatigue on the British railway system: treatment*. Wear 258/2005 str. 1310-1318.
- [4] Hearle A., Johnson K.: *Mode II Stress Intensity Factors for a Crack Parallel to the Surface of an Elastic Half-Space Subjected to a Moving Point Load*. Cambridge University Department of Engineering technical report CUED/C-Mech/TR26,1983.
- [5] Kalousek J., Igwemizie J.: *Shell-like defects and micro-geometry of grinding*. Proceedings of International Symposium on: Rail Steels – Development, Manufacturing and Performance, Montreal, Oct 1992, str. 139-145.
- [6] Kalousek J.: *Wear and contact fatigue model for railway rail*. NRC technical report TR-WE-50 1986.
- [7] Magel E., Kalousek J.: *The application of contact mechanics to rail profile design and rail grinding*. Wear Nr 253/2002, str. 308-316.
- [8] Magel E., Sroba P., Sawley K., Kalousek J.: *Control of Rolling Contact Fatigue of Rails*. Rapport. Centre for Surface Transportation Technology National Research Council Canada, str. 1-29.
- [9] Plu J., Bondeux S., Boulanger D., Heyder R.: *Application of fracture mechanics methods to rail design and maintenance*. Engineering Fracture Mechanics 2009.
- [10] Pointner P.: *The impact of wear rolling contact fatigue on rail- a pragmatic approach*. ZEVrail Glasers Annalen, 8 August 2008.
- [11] Pointner P.: *High strength rail steels - The importance of material properties in contact mechanics problems*. Wear 265/2008, str.1373-1379.
- [12] Ringsberg J.: *Shear mode growth of short surface breaking RCF cracks*. Wear 258/2005, str. 955-963.
- [13] Vidaud M., Zwanenburg W.: *Current situation on rolling contact fatigue – a rail wear phenomenon*. 9th Swiss Transport Research Conference, Monte Verita / Ascona, September 9-11.2009.

