

IV OGÓLNOPOLSKA KONFERENCJA
NAUKOWO - TECHNICZNA

„SPAWALNICTWO DRÓG SZYNOWYCH
- JAKOŚĆ, NIEZAWODNOŚĆ,
BEZPIECZEŃSTWO”

WADY NA POWIERZCHNI SZYN – GENEZA
I MOŻLIWOŚCI ICH USUWANIA TECHNIKĄ SPAWALNICZĄ

*Henryk Bałuch*¹

STRESZCZENIE. *Wprowadzenie w ostatnich trzech dekadach nowych pojazdów szynowych i ich sztywniejszego zawieszenia spowodowało znacznie częstsze uszkodzenia powierzchniowe szyn niż poprzednio. Najczęstszymi uszkodzeniami są: wybuksowania, zagłębienia, rysy, łuszczenie blaszkowate i wady spoin. Uszkodzenia te przyspieszają degradację przytwierdzeń, podkładów i podsypki. Istnieje kilka metod ich wykrywania. Najprostszą jest diagnostyka wizualna. Zadowalające wyniki daje pomiar przyspieszeń mas nieusprężynowanych. Liczne uszkodzenia powierzchniowe mogą być naprawiane techniką spawalniczą.*

Słowa kluczowe: szyny, uszkodzenia powierzchniowe, wady spawalnicze

RAIL SURFACE DEFECTS – GENESIS AND THEIR POSSIBLE
REPAIR USING WELDING TECHNIQUES

ABSTRACT. *The implementing over the past three decades new railway cars and their stiffer suspension have caused rail surface defects to appear in greater frequency than in the past. The most common defects are: engine burns, squats, head checks, shellings and defective welds. It is obvious that rail surface defects lead to faster degradation of fastenings, sleepers and ballast. A few detection methods of these defects exist. The most simplest is visual inspections. Satisfactory results are obtained from measurement of accelerations of the vehicle unsprung mass. A lot of rail surface defects can be repaired by welding techniques.*

Key words: rail, surface defects, welded defects

1. WSTĘP

Od kilkunastu lat wady na powierzchni tocznej szyn wymagają coraz większych nakładów na ich usuwanie. Coraz więcej doświadczeń wykazuje też, że zasadniczym powodem takich wad jak rysy (*head checks*) i miejscowe zagłębienia z pęknięciami na powierzchni (*squat*) są nowoczesne pojazdy szynowe, zwłaszcza zaś lokomotywy o dużej mocy oraz zawieszenie wagonów o większej sztywności. Sztywne zawieszenie pojazdów silnikowych powoduje ponad dwukrotnie większą degradację nawierzchni w porównaniu z zawieszeniem elastycznym [8]. Znaczący udział w powstawaniu wad typu squat ma też

¹ Prof. dr hab. inż., Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa

technologia spawania i tak wg danych holenderskich 10 ÷ 13 % tych wad powstaje wskutek odkształceń plastycznych w spoinach.

Wprowadzenie na sieć kolejową w Polsce lokomotyw o dużej mocy może jeszcze bardziej przyspieszyć narastanie wad powierzchniowych, obserwowanych już na wielu odcinkach linii kolejowych. Nowym rodzajem wad powierzchniowych, powstających na liniach o dużych prędkościach pociągów, są odciski ziaren tłucznia unoszonego przez pęd powietrza [6].

Oprócz wad kontaktowo zmęczeniowych, opisanych już szczegółowo w licznych pracach np. [1] i w monografii [2], częstym przypadkiem na niektórych liniach kolejowych w Polsce, zwłaszcza o przewodzie ruchu towarowego, są wybuksowania na powierzchni szyn.

2. SKUTKI WAD NA POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYN

W przeciwieństwie do znanych metod obliczeń oddziaływań dynamicznych na nierównościach toru w strefie spoin, a więc na długościach 1 ÷ 2 m [9], nie ma wystarczająco dokładnych analitycznych metod wyznaczania wartości sił na styku koła z krótką izolowaną deformacją powierzchni szyny o długości kilkudziesięciu milimetrów, która w dodatku ma często kształt zagłębienia skokowego (odłupania cienkiej warstwy stali). W tych przypadkach o wartości tych oddziaływań można wyrobić sobie pogląd na podstawie dość kosztownych badań eksperymentalnych, głównie poprzez pomiar przyspieszeń mas niesprężynowanych lub na podstawie eksploatacyjnych obserwacji porównawczych.

Obserwacje eksploatacyjne dostarczają dowodów, że krótkie nierówności na powierzchni szyny wywierają bardzo szkodliwy wpływ na przytwierdzenia szyn, podkłady i podsypkę. Można zakładać, że wpływ ten przenosi się również na podtorze.

Dowodem wpływu krótkiej wady na powierzchni tocznej szyny na przytwierdzenia jest rysunek 1. W przytwierdzeniu tym nie ma już przekładki pod podkładką stalową, podkładka zagłębia się w beton, wskutek czego została trwale wygięta i spowodowała poderwanie wkrętów, pod którymi wcześniej pękły pierścienie sprężyste. Wymiana tej podkładki, nawet po usunięciu wady na powierzchni tocznej szyny, może się okazać mało skuteczna z dwóch powodów:

- wgłębienia na powierzchni podkładu,
- częściowego naderwania gwintu w dyblach przez wrywane wkręty.



Rys. 1. Uszkodzenie przytwierdzenia szyny do podkładu betonowego w strefie wady na powierzchni tocznej szyny

Dowodem wpływu krótkich wad na stan podkładów jest rysunek 2. Podkład ten nie stwarza zagrożenia dla bezpieczeństwa jazdy, jednak w miarę narastania obciążenia, widoczne na nim rysy przekształcają się w pęknięcia z wykruszeniami betonu, powodując obnażenie zbrojenia, co zmniejszy jego trwałość. Usunięcie wady powierzchniowej mogłoby jednak w tym przypadku znacznie zmniejszyć postęp degradacji.

Skutki wady typu squat na podsypkę znajdującą się pod najbliższym podkładem przedstawia rysunek 3. Wada ta powstała wskutek uplastycznienia końców szyn zespawanych termitowo. Zwiększone oddziaływania dynamiczne doprowadziły tu do tzw. podkładu wiszącego.

Podkłady wiszące powstają wskutek dużych nacisków powodujących miejscowe zagęszczenie podsypki. Sztywność szyn powoduje jednak, że po ustaniu obciążenia unoszą się one wraz z szyną o kilka milimetrów, a pustą przestrzeń między podstawą podkładu, a górną zagęszczoną warstwą podsypki wypełnia woda, która następnie pod każdym zestawem kołowym jest wypychana na zewnątrz. Nawodnienie podsypki zmniejsza jej odporność na odkształcenia, co powoduje stopniowe zwiększanie się strefy wychłapek.

Wady kontaktowo zmęczeniowe szyn wpływają nie tylko na pozostałe części nawierzchni, ale mogą też doprowadzić do pęknięć samych szyn. Dotyczy to przede wszystkim rys, które mogą penetrować w głąb szyny. Istnieją jednak takie wady, których wpływ na pękanie szyn jest oceniany całkowicie odmiennie. Dotyczy to łuszczeń blaszkowatych czyli shellingów i tak w instrukcji kolei USA [5] napisano wyraźnie, że shellingi nie stanowią zagrożenia. Z pracy [4] wynika natomiast, że mogą one stać się przyczyną pęknięć.



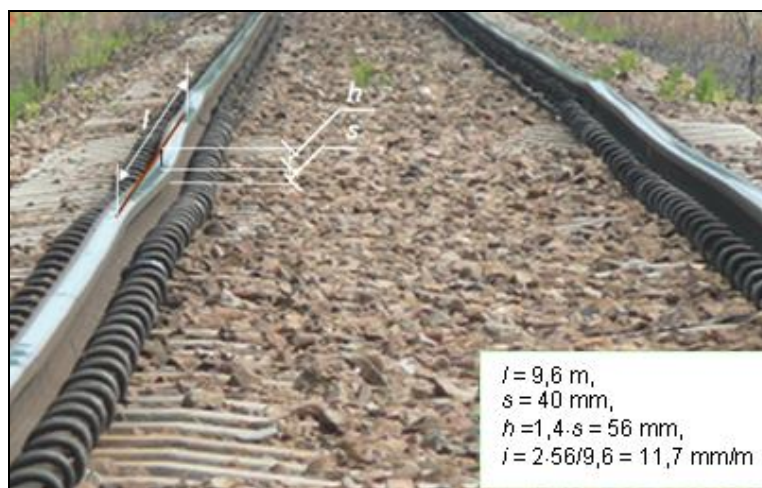
Rys. 2. Pęknięcia podkładu (oznaczone strzałkami) w strefie powierzchniowej wady szyny



Rys. 3. Wytrysk (wchłapka) pod podkładem znajdującym się w pobliżu wady squat na spoinie termitowej

O oddziaływaniach dynamicznych pojazdów szynowych na krótkich wadach umiejscowionych na powierzchni toczonej szyn może świadczyć porównanie ich skutków z bardzo dużymi, lecz dłuższymi, nierównościami pionowymi. Przykład takiej nierówności przedstawia rysunek 4.

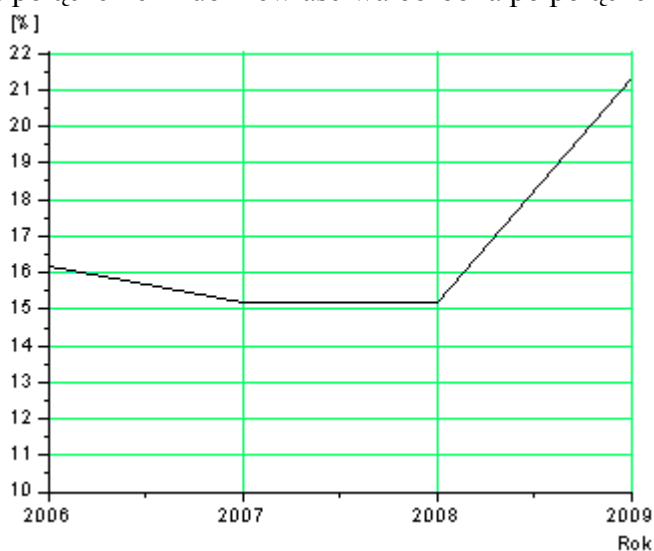
Na tak wyraźnym, lecz dłuższym odkształceniu toru, o podanych wymiarach, ułożonego również na podkładach betonowych, wchłapki są znacznie mniejsze niż na rysunku 3.



Rys. 4. Duża nierówność pionowa w obu tokach szynowych

3. WADY KSZTAŁTU POWSTAJĄCE W PROCESIE SPAWANIA SZYN

Pęknięcia i złamania szyn w strefie spoin i zgrzein stanowią ciągle duży odsetek pęknięć w torach Polskich Linii Kolejowych S.A. (rys. 5). Wymaga to ciągłego doskonalenia technologii spawania. Znane są liczne badania poświęcone wadom spoin termitowych, np. [3], w których zwraca się główną uwagę na zagadnienia metaloznawcze. Istnieje jednak duża różnorodność wad technologicznych, które uwidoczniają się w postaci nierówności powierzchni tocznej szyn. Ich genezą są błędy powstające w procesie zgrzewania szyn w zgrzewalniach lub w torze oraz podczas spawania termitowego. Błędy te to wadliwe ustawienie szyn przed połączeniem lub niewłaściwa obróbka po połączeniu.



Rys. 5. Pęknięcia i złamania szyn w strefie spoin i zgrzein (% w stosunku do wszystkich pęknięć i złamań)

Na rysunku 6 ciągle pasmo współpracy koła z szyną rozdziela się na dwa pasemka położone po bokach główki. Środkowa część powierzchni tocznej jest obniżona o 1 mm wskutek jej niestarannego zeszlifowania po połączeniu. Doprowadzenie do nominalnego przekroju tej główki wymagałoby 6 ÷ 7 krotnego przejścia tradycyjnego pociągu szlifierskiego. Pozostawienie tej szyny w takim stanie, jak widoczny na rysunku spowoduje, że duże naprężenia kontaktowe na bocznych pasmках doprowadzą do powstania wad kontaktowo-zmęczeniowych.

Obraz widoczny na rysunku 7 świadczy o niejednakowym pochyleniu szyn przed ich zgrzewaniem oraz o obniżeniu szyny znajdującej się na drugim planie tuż przed zgrzeiną. Stan ten będzie powodował, w miarę powiększania się tej nierówności, coraz większe impulsy sił pionowych i może doprowadzić do pęknięcia. Usunięcie tej wady w toku szlifowania szyn nie jest już możliwe.



Rys. 6. Nadmierne wyszlifowanie szyn w strefie zgrzewania



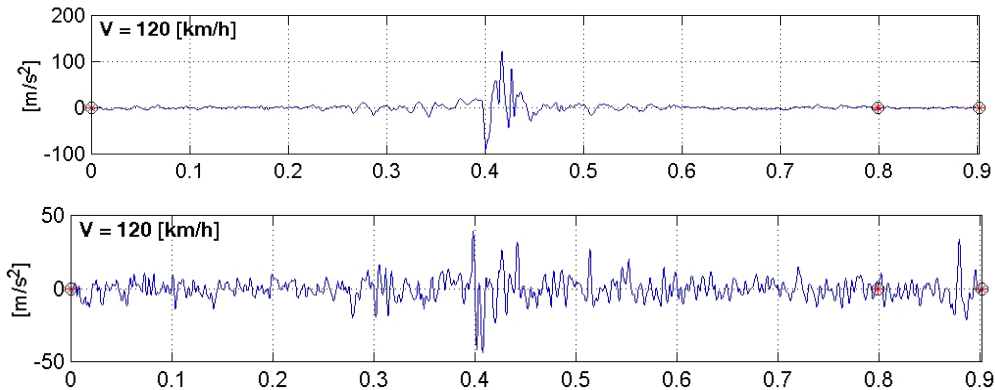
Rys. 7. Zmiana śladów współpracy koła z wadliwie zgrzaną szyną

4. TECHNIKI WYKRYWANIA WAD NA POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYN

Prostym i niezawodnym sposobem oceny stanu powierzchni toczonej szyn jest diagnostyka wizualna. Polega ona nie tylko na tym, by rozpoznać i nazwać wadę, lecz również na tym, by określić związane z nią zagrożenie i tak np. należy wiedzieć, że zagrożeniem wynikającym z wybuksowania szyn, łatwo dostrzegalnym po naprzeciwnym położeniu na obu tokach szynowych, są pęknięcia pionowe rozwijające się najczęściej na wewnętrznej powierzchni główki i poziome na zewnętrznej bocznej powierzchni. Sposób wizualny jest jednak pracochłonny, gdyż wymaga pieszych obchodów toru. Na liniach o dużych prędkościach pociągów jest to też sposób niebezpieczny.

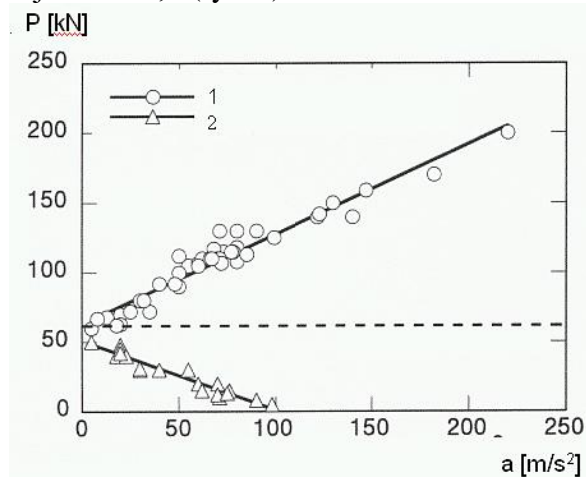
Dobre wyniki w lokalizowaniu wad powierzchniowych uzyskuje się za pomocą pomiaru pionowych i porzeczných przyspieszeń na łożyskach osiowych wagonów

(maźnicach). W CNTK pomiary takie wykonuje się przy filtrowaniu sygnałów z częstotliwością 200 Hz. Dają one dobrą powtarzalność wyników przy różnych prędkościach pociągów (rys. 8). W konkretnym przypadku impulsy przyspieszeń wystąpiły na wadliwie wykonanym połączeniu zgrzewanym. Warto zwrócić uwagę, że w obrębie krzyżownicy tego rozjazdu, oznaczonej w prawej części wykresu kółkami, przyspieszenia są znacznie mniejsze, a poprzeczne (w tej skali) - prawie niewidoczne. Wadą tego sposobu jest jednak brak możliwości określania rodzaju wady, a zatem i sposobu jej usunięcia, do czego konieczna jest obserwacja kształtu uszkodzenia. Możliwość taką stwarza rejestracja obrazów powierzchni szyn za pomocą kamer o rozdzielczości 2 mm. Obrazy te są następnie rozpoznawane przy zastosowaniu sztucznych sieci neuronowych [7].



Rys. 8. Przyspieszenia pomierzone na łożysku osiowym wagonu na rozjeździe 60E1-300-1:9: wykres górny – poprzeczne, dolny – pionowe

Badania eksperymentalne [10] wykazują, że między przyspieszeniami pomierzonymi na maźnicach wagonów, a siłami pionowymi występuje zależność korelacyjna przy współczynnikach korelacji około 0,8 (rys. 9).



Rys. 9. Zmiany nacisków dynamicznych koła w zależności od pionowego przyspieszenia masy nieusprężynowanej: 1 – nacisk zwiększony, 2 – odciążenie koła [10]

Wzór empiryczny opracowany na podstawie tych eksperymentów ma postać

$$P = \kappa_1 P_0 + \kappa_2 ma, \quad (1)$$

gdzie:

P – nacisk dynamiczny koła,

P_0 – nacisk statyczny koła,

m – masa koła,

a – przyspieszenie,

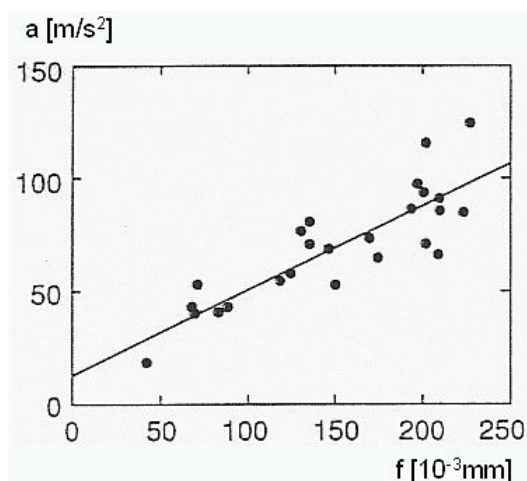
κ_1, κ_2 – współczynniki ($\kappa_1 = 1,2, \kappa_2 = 0,6 \div 0,7$).

Biorąc pod uwagę pomierzone przyspieszenie z rysunku 8 równe 50 m/s^2 , nacisk statyczny koła 100 kN i jego ciężar 10 kN , otrzymuje się ze wzoru (1)

$$P = 1,2 \cdot 100 + \frac{0,65 \cdot 10 \cdot 50}{9,81} = 153 \text{ kN}.$$

W prowadzonych pomiarach CNTK uzyskiwano w miejscu uszkodzeń powierzchniowych szyn przyspieszenia przekraczające 100 m/s^2 , co daje wg tego samego wzoru naciski dynamiczne około 190 kN . Wyniki tych obliczeń wyjaśniają więc wystarczająco powstawanie zjawisk przedstawionych na rysunkach 1 ÷ 3.

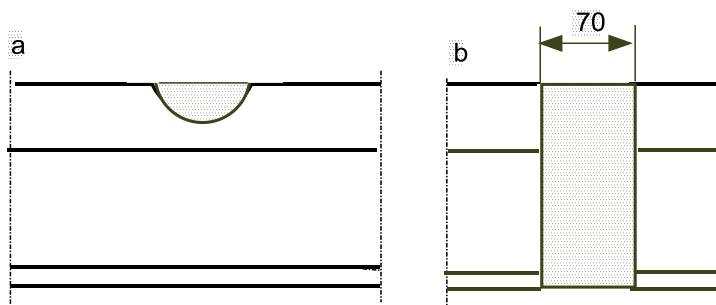
W cytowanych badaniach [10] dużą uwagę poświęcono oddziaływaniom dynamicznym w miejscu spoin termitowych, wykonując pomiary strzałek na bazie 20 mm i pomiary przyspieszeń pionowych na maźnicach wagonu przy prędkości 270 km/h . Wyniki przedstawia rysunek 10.



Rys. 10. Przyspieszenia pionowe w zależności od nierówności w strefie spoin

5. NOWE TECHNOLOGIE I ZWIĄZANE Z NIMI POTRZEBY BADAŃ

Wkrótce zapewne dotrą do Polski nowe technologie spawania, o których są już wzmianki i artykuły reklamowe w prasie zagranicznej. Dotyczy to głębokiego frezowania główek szyn w miejscu głębszych wad i zapełniania powstałej w ten sposób przestrzeni poprzez spawanie termitowe (rys. 11a) oraz wykonywania spoin termitowych o długości 70 mm (rys. 11b), co nie będzie wymagało wycinania szyny pękniętej i wykonywania dwóch spawów na wstawce.



Rys. 11. Głębokie frezowanie szyny i długie spoiny termitowe

Obie te technologie są bardzo obiecujące. Ich wprowadzenie będzie wymagało jednak dość długich badań i obserwacji eksploatacyjnych. W obu przypadkach bowiem mało wiadomo o możliwym uplastycznieniu długich warstw powstałych w wyniku spawania termitowego.

6. ZAKOŃCZENIE

Scharakteryzowane wady na powierzchni tocznej szyn mogą nie tylko stać się przyczyną ich pęknięć, lecz również wywierają szkodliwy wpływ na pozostałe części nawierzchni. Znaczną część tych wad, w pewnym stadium ich rozwoju, można usunąć stosując techniki spawalnicze. Rozszerzenie tego zakresu robót mogłoby zmniejszyć na niektórych liniach postęp degradacji nawierzchni. Badania CNTK oraz badania zagraniczne wykazują, że skuteczną metodą wykrywania miejsc, w których znajdują się wady na powierzchni tocznej szyn są pomiary przyspieszeń mas nieusprężynowanych. Na podstawie tych pomiarów, stosując wzór (1) można też wnioskować o stopniu szkodliwości wykrytej wady.

LITERATURA

1. Badscok P.: *Putting the brakes on squat growth*. International Railway Journal, 2008, No 8
2. Bałuch H., Bałuch M.: *Eksploatacyjne metody zwiększania trwałości rozjazdów kolejowych*. CNTK, Warszawa 2009
3. Chen Y. et al.: *Welded defect formation in rail thermite welds*. Proc. IMechE, vol. 220, Part F.: J. Rail and Rapid Transit, 2006
4. Chong M.L., Rose J.L., Cho Y.: *A guided wave approach to defect detection under shelling in rail*. 2nd International Conference on Advanced Nondestructive Evaluation, April 2009
5. *Field identification of rail defects*. TM-628AFR 91-44
6. Hayward M.: *Investigating the phenomenon of ballast pitting on HSL*. Railway Gazette International 2009, June
7. Nitti et al.: *Real time classification of rail defects*. Transactions of the Wessex Institute, 2006
8. Öberg J.: *Track deterioration of ballasted track*. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2006
9. Steenbergen M., Esveld C., Dolleovet R.: *New Dutch assessment of rail welding*. European Railway Review 2005, issue 1.
10. Sunaga Y., Sano I.: *A practical use of axle box acceleration to control the short wave track irregularities*.