

Henryk BĄKOWSKI

MOŻLIWOŚCI ODZWIERCIEDLENIA WARUNKÓW EKSPLOATACYJNYCH I ICH EFEKTÓW W WYBRANYM SKOJARZENIU TOCZNO-ŚLIZGOWYM

Streszczenie. W artykule przedstawiono wpływ najważniejszych czynników eksploatacyjnych, tj. obciążenia, poślizgu i prędkości, na właściwości tribologiczne, tj. zużycie i współczynnik tarcia, które są główną przyczyną zużycia zmęczeniowo-kontaktowego w badanym skojarzeniu toczno-ślizgowym. Otrzymanie zbieżnych efektów na stanowisku laboratoryjnym w odniesieniu do obiektu rzeczywistego umożliwiło sformułowanie końcowych wniosków niezwykle istotnych dla poprawy bezpieczeństwa w ruchu kolejowym oraz wydłużenia trwałości.

Słowa kluczowe. Właściwości tribologiczne, trwałość, skojarzenie toczno-ślizgowe

THE POSSIBILITIES TO REFLECT THE OPERATIONAL CONDITIONS AND THEIR EFFECTS IN THE SELECTED ROLLING-SLIDING CONTACT

Summary. The influence of the most important operational factors, ie load, slip and speed on the tribological properties, such as wear, friction coefficient, which is the main cause of wear fatigue in the rolling-sliding. Obtain convergent results as a laboratory for real object has enabled the formulation of final conclusions very important for improving rail safety and extend durability.

Keywords. Tribological properties, durability, rolling-sliding

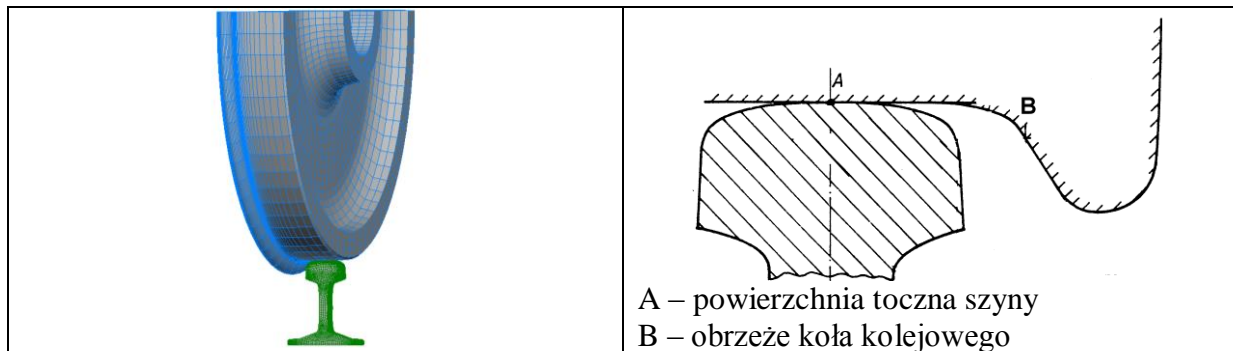
1. WPROWADZENIE

W węzłach tribologicznych wielu maszyn i urządzeń występują warunki styku toczno-ślizgowego o bardzo złożonym stanie naprężeń. Najbardziej rozpowszechnionymi w eksploatacji pojazdów przykładami takich skojarzeń są układy koło-szyna, zęby w przekładniach zębatych lub element toczny i bieżnia łożysk tocznych. Ze względu na rodzaj i wartość występujących naprężeń w obszarze kontaktu i na pewnej głębokości pod powierzchnią styku, najbardziej złożonym przypadkiem jest styk koło-szyna wagonów kolejowych [1].

Opisując proces zużywania skojarzenia toczno-ślizgowego na przykładzie układu koło-szyna, potrzebne jest przedstawienie najważniejszych czynników eksploatacyjnych, wpływających na zużycie szyn kolejowych oraz mechanizmu zużywania.

Celem artykułu było odzwierciedlenie w badaniach laboratoryjnych najbardziej istotnych parametrów eksploatacyjnych, jakie występują w obiekcie rzeczywistym, tj. koło-szyna, które wpływają na trwałość skojarzenia koło-szyna. Do tego celu posłużono się analizą wymiarową, odwzorowującą warunki rzeczywiste panujące w tym newralgicznym miejscu [2]. Cechą

szczególną badań laboratoryjnych jest większa możliwość kontroli bezpośredniego wpływu jednego wyselekcjonowanego czynnika, niż to ma miejsce w warunkach rzeczywistych.



Rys. 1. Model 3D układu koło-szyna (a) i widok miejsc najbardziej narażonych na zużycie (b)
Fig. 1. 3D model of wheel-rail system (a) and view of dangerous places by wear (b)

2. WARUNKI BADAŃ

W badaniach laboratoryjnych, w układzie rolka-rolka odzwierciedlono najbardziej istotne czynniki eksploatacyjne, występujące w obiekcie rzeczywistym, wpływające na trwałość skojarzenia koło-szyna [3, 4]. W warunkach rzeczywistych minimalne obciążenie szyny koła występuje podczas przejazdu pustego pociągu towarowego, natomiast maksymalnemu obciążeniu odpowiada przejazd w pełni załadowanego pociągu towarowego, tj. 20000 N/koło i 100000 N/koło. Minimalna wartość poślizgu ($\gamma=0,3\%$) występuje podczas jazdy pociągu po prostym odcinku toru, a maksymalna ($\gamma=5\%$) po łuku połączonym ze spadkiem i/lub wzniesieniem. Trzecim parametrem była prędkość i posłużono się jej dwoma wartościami – ok. 40 km/h i ponad 100 km/h. Wszystkie wartości wynikają z obowiązujących na kolei przepisów i zarządzeń w Polsce. W tablicy 3 zestawiono typowe warunki eksploatacji, występujące na wybranym odcinku, oraz ich odwzorowanie na stanowisku laboratoryjnym.

Tablica 1

Zestawienie wybranych parametrów eksploatacyjnych w obiekcie rzeczywistym i laboratoryjnym dla wybranej nawierzchni kolejowej

Rodzaj badań	Parametry eksploatacyjne			Napężenie zredukowane, MPa
	Obciążenie	Poślizg %	Prędkość	
Stanowiskowe	$P_1 = 500 \text{ N}$	$\gamma_1 = 0,3$	$n = 100 \text{ min}^{-1}$	437
	$P_2 = 1000 \text{ N}$	$\gamma_2 = 2,6$	$n = 200 \text{ min}^{-1}$	618
	$P_3 = 2000 \text{ N}$	$\gamma_3 = 5,0$	$n = 300 \text{ min}^{-1}$	875
W układzie rzeczywistym	$Q_1 = 2 \cdot 10^4 \text{ N}$	$\gamma_1 = 0,3$	$v = 40 \text{ km/h}$	408
	$Q_2 = 6,25 \cdot 10^4 \text{ N}$	$\gamma_2 = 2,6$	$v = 70 \text{ km/h}$	661
	$Q_3 = 10 \cdot 10^4 \text{ N}$	$\gamma_3 = 5,0$	$v = 100 \text{ km/h}$	836

Dla P i Q: 1 – obciążenie szyny podczas przejazdu pustego pociągu towarowego, 2 – obciążenie szyny podczas przejazdu pociągu osobowego, 3 – obciążenie szyny podczas przejazdu w pełni obciążonego pociągu towarowego;

Dla γ : 1 – tor prosty, 2 – łuk, 3 – łuk + wzniesienie/stromizna.

Podane prędkości odnoszą się do ograniczeń występujących na PKP w Polsce

W celu określenia wartości sił działających w warunkach laboratoryjnych w stosunku do warunków rzeczywistych w układzie koło-szyna, posłużono się teorią podobieństwa i skorzystano z następującego wzoru przyjmując podobieństwo geometryczne rozpatrywanych węzłów tarcia [2]:

$$\frac{P'}{R' \cdot L'} = \frac{P}{R \cdot L} \quad \left(\frac{N}{m^2}\right)' = \left(\frac{N}{m^2}\right) \quad (1)$$

gdzie:

P' i P – obciążenie w warunkach laboratoryjnych i w obiekcie rzeczywistym N ,
 R' i R – promień zastępczy w warunkach laboratoryjnych i w obiekcie rzeczywistym m ,
 L' i L – długość styku w warunkach laboratoryjnych i w obiekcie rzeczywistym m .

3. WYNIKI I ANALIZA BADAŃ

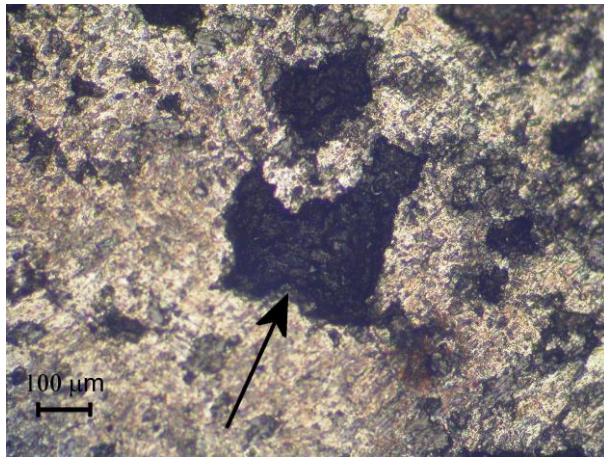
Badania wstępne miały na celu porównanie mechanizmów zużywania w układzie rzeczywistym, tj. koło-szyna, oraz na stanowisku laboratoryjnym lub eksperymentalnym. Przeprowadzono badania metalograficzne poprzez porównanie powierzchni tocznej szyny kolejowej po współpracy i powierzchni próbek po badaniach tribologicznych. Widok powierzchni tocznej oraz wybrane zglądy metalograficzne przedstawiono na rysunku 2.

Zmiany, które zachodzą na powierzchni oraz tuż pod nią, są wynikiem działania naprężeń normalnych oraz stycznych, prowadzących do oddzielania się małych fragmentów z powierzchni tocznej, zwanych płatkowymi produktami zużycia. Na powierzchni zaobserwowano podobnie wyglądające wgłębienia i nierówności, będące efektem zużycia (rys. 2a i 2c). W obszarze styku koła z szyną, na pewnej głębokości pod powierzchnią styku, występują największe naprężenia, które powodują zużycie zmęczeniowe materiału i powstanie pęknięć (ok. 120 μm w szynie i ok. 75 μm w rolce, rys. 2b i 2d). Na podstawie ww. badań stwierdzono zgodność mechanizmu zużywania występującego zarówno w rolce, jak i w eksploatowanej szynie kolejowej.

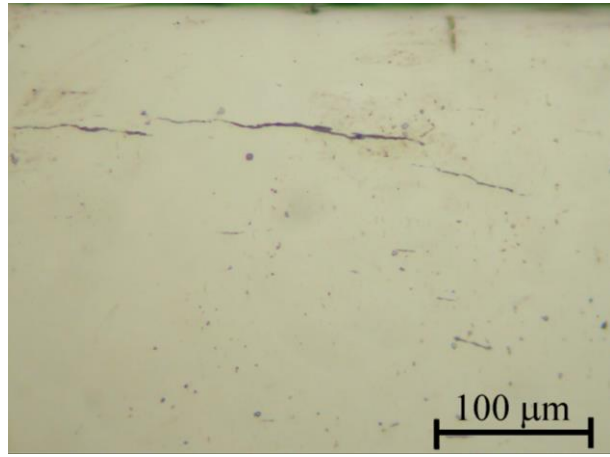
4. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski końcowe:

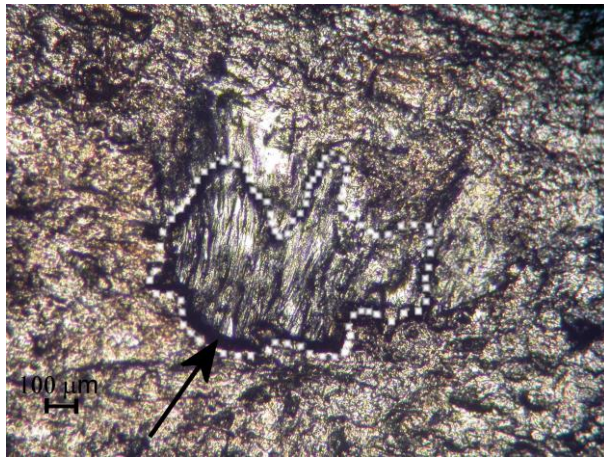
1. Dobrane za pomocą analizy wymiarowej warunki pracy węzła rolka-rolka w testerze typu Amsler odzwierciedlają w dobrym stopniu warunki pracy węzła rzeczywistego, tj. koło-szyna.
2. Stwierdzone w warunkach laboratoryjnych mikropęknięcia w warstwie powierzchniowej znajdują odzwierciedlenie w elementach układu rzeczywistego koło-szyna.
3. Zużycie w skojarzeniu toczno-ślizgowym ma formę płatkowych produktów zużycia, przy czym ich cechy stereologiczne powinny ulegać zmianom pod wpływem różnych wartości czynników eksploatacyjnych.



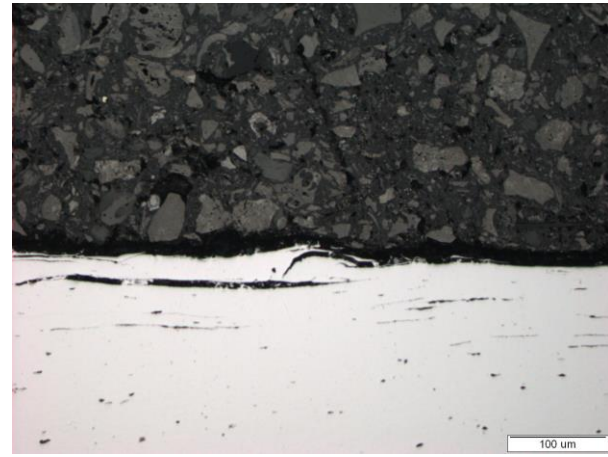
a) widok powierzchni szyny po wystąpieniu zużycia zmęczeniowego; strzałką zaznaczono miejsce po złuszczeniu



b) zgląd poprzeczny szyny wzdłuż kierunku jazdy; widoczne pęknięcia zmęczeniowe w warstwie powierzchniowej, na głębokości około 80 – 150 μm;



c) widok powierzchni rolki po wystąpieniu zużycia zmęczeniowego; strzałką i jasnymi punktami zaznaczono miejsce po złuszczeniu



d) zgląd poprzeczny czoła rolki ze stali szynowej; widoczne pęknięcia zmęczeniowe na głębokości od 30 do 100 μm

Rys. 2. Porównanie mechanizmów zużywania w warstwie powierzchniowej: a), b) szyny, c), d) rolki
Fig. 2. Comparison of the mechanism of wear in surfach layer: a), b) rail, c), d) roller

Bibliography

1. Zakharov S., Zharov I.: Simulation of mutual wheel/rail wear. *Wear*, No. 253 (2002), p. 100-106.
2. Miller L.: Zastosowanie analizy wymiarowej w badaniach modeli. Biblioteka Naukowa Inżyniera, Warszawa 1983.
3. Zhong W., Hu J.J, Shen P., Wang C.Y, Lius Q.Y.: Experimental investigation between rolling contact fatigue and wear of high-speed and heavy-haul railway and selection of rail material. *Wear*, No. 271 (2011), p. 2485-2493.
4. Gallardo-Hernandez E.A., Lewis R.: Twin disc assessment of wheel/rail adhesion. *Wear*, No. 265 (2008), p. 1309-1316.
5. Gallardo-Hernandez E.A., Lewis R.: Twin disc assessment of wheel/rail adhesion. *Wear*, No. 265 (2008), p. 1309-1316.