

Piotr ADAMIEC
Miroslaw WITASZEK
Kazimierz WITASZEK

INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA STALI NA OBRĘCZE KÓŁ KOLEJOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych intensywności zużycia stali P54, P55A i P60, stosowanych na obręcze kół kolejowych. Wyniki te wykorzystano do modelowych obliczeń intensywności zużycia obrzeża.

WEAR INTENSITY OF TYRE STEELS

Summary. This paper presents results of laboratory investigations of wear intensity of tyre steels P54, P55A i P60. These results have been used to calculate wear intensity of wheel flanges.

1. WPROWADZENIE

Dotychczasowe badania intensywności zużycia oraz trwałości krajowych obręczy prowadzone były w oparciu o dane otrzymane w czasie eksploatacji pojazdów szynowych. Dane te jednak mogą mieć znaczenie tylko orientacyjne ze względu na dużą liczbę i zmienność czynników, decydujących o intensywności i rodzaju zużycia obręczy kół kolejowych, a więc i ich trwałości. Czynniki te związane są:

- z konstrukcją poszczególnych typów pojazdów;
- ze stanem technicznym pojazdu;
- z parametrami linii kolejowych, na których pojazd jest eksploatowany (np. promienie łuków, wzniesienia);
- ze stanem torów;

- z parametrami charakteryzującymi ruch (np. prędkości, częstotliwość rozruchów i hamowań);
- z warunkami atmosferycznymi.

Wpływają one w znaczący sposób na warunki współpracy obręczy z szyną i klockami hamulcowymi, a w szczególności na:

- naprężenia kontaktowe;
- prędkości ruchu względnego i wartości poślizgu;
- obecność cząstek trzeciego ciała w węźle tarcia;
- temperaturę współpracujących elementów.

Znaczna liczba i zmienność wspomnianych czynników powodują duży rozrzut dotychczasowych wyników badań, nawet dla pojazdów tej samej serii pracujących w zbliżonych warunkach [1]. Ponadto uniemożliwia to określenie wpływu poszczególnych czynników na intensywność zużycia. Aby cel ten osiągnąć, konieczne jest przeprowadzenie badań laboratoryjnych oraz opracowanie odpowiedniego modelu matematycznego, pozwalającego zastosować wyniki badań laboratoryjnych do obliczeń zużycia rzeczywistych obręczy. Ponieważ najczęściej spotykanym rodzajem zużycia jest podcięcie obrzeża [2-4] pracującego w warunkach tarcia ślizgowego [5], przeprowadzono badania zużycia stali obręczowych przy tarcu ślizgowym. Wyniki badań opracowano za pomocą matematycznego modelu zużycia warstwy wierzchniej w ślizgowym węźle tarcia. Ponieważ modelowanie procesów zużycia warstwy wierzchniej jest skomplikowane, często bywa realizowane za pomocą analizy wymiarowej [6]. Zastosowanie analizy wymiarowej umożliwia przedstawienie wyników badań za pomocą najmniejszej liczby zmiennych [7]. W niniejszej pracy do obliczania intensywności zużycia obręczy użyto opracowany przy jej pomocy model zużywania się ścierny - adhezyjnego warstwy wierzchniej [8, 9]:

$$\frac{Z_V}{A \cdot l} = a_0 \cdot \left(\frac{P}{A \cdot HB_k} \right)^{a_1} \cdot \left(\frac{HB_S}{HB_k} \right)^{a_2} \cdot \mu^{a_3} \quad (1)$$

gdzie:

Z_V - zużycie objętościowe w mm^3 ,

A - nominalna powierzchnia tarcia w mm^2 ,

P - siła nacisku w N,

μ - współczynnik tarcia - wielkość bezwymiarowa,

HB_k, HB_S - twardości odpowiednio koła i szyny w MPa (N/mm^2),

l - droga tarcia w mm.

a_0, a_1, a_2, a_3 są współczynnikami regresji, które określono eksperymentalnie.

2. BADANIA ZUŻYCIA STALI OBRĘCZOWYCH

Do badania zużycia stali obręczowych wykorzystano zmodyfikowane urządzenie Timkena. Zużycie badano w układzie rolka - klocek przy 100% poślizgu. Jako próbki wykorzystano klocki o wymiarach 10 x 10 x 20 mm wycięte z obręczy. Skład chemiczny i własności mechaniczne stali użytych do badań przedstawiono w tabeli 1.

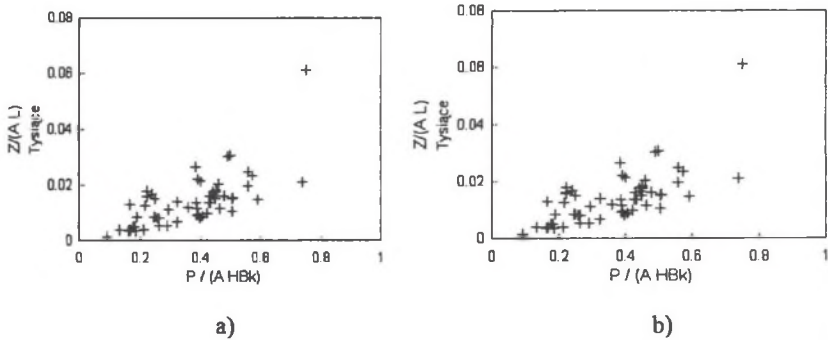
Tabela 1

Skład chemiczny i własności mechaniczne badanych stali

Lp.	Gatunek	Nr wytopu	Skład chemiczny w %					Twardość HB
			C	Mn	Si	P	S	
1.	P54T	19253	0,56	0,69	0,22	0,018	0,035	203
2.	P54T	19365	0,53	0,73	0,22	0,016	0,004	292
3.	P60T	45732	0,61	0,79	0,30	0,016	0,004	280
4.	P60T	45730	0,61	0,76	0,29	0,017	0,006	203
5.	P55AT	029125	0,56	0,70	0,28	0,010	0,005	247

Przeciwpółka, w formie pierścienia, była wykonana ze stali szynowej St 90P o twardości 34 HRC. Średnica zewnętrzna przeciwpółki wynosiła 47 mm, zaś jej szerokość 10 mm. Badania przeprowadzono przy sile nacisku P równej 42,2; 65,6; 112,4; 159,3 N, dla przypadku tarcia na sucho. Wielkość zużycia określano na podstawie pomiarów szerokości śladu zużycia, która była podstawą do obliczenia objętości zużytego materiału. Pomiarów dokonywano za pomocą mikroskopu optycznego o dokładności pomiarowej 0,01 mm.

Przykładowe wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przykładowe wyniki badań intensywności zużycia dla stali obręczowych
a) materiał nr 1, b) materiał nr 2 (tabela 1)

Fig. 1. An example of results of wear intensity tests for tyre steels
a) material nr 1, b) material nr 2 (table 1)

3. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ ZUŻYCIA

Aby umożliwić zastosowanie otrzymanych wyników badań, do obliczania intensywności zużycia obrzeża obręczy wykorzystano wspomniany we wstępie model opisany równaniem (1). Ponieważ badania przeprowadzono przy stałym współczynniku tarcia, więc w analizie nie uwzględniono jego wpływu. Badana funkcja przyjęła postać:

$$\frac{Z_V}{A \cdot l} = a_0 \cdot \left(\frac{P}{A \cdot HB_k} \right)^{a_1} \cdot \left(\frac{HB_S}{HB_k} \right)^{a_2} \quad (2)$$

Mnożąc obie strony wzoru (2) przez A , otrzymuje się wzór na objętościową intensywność zużycia, czyli zużycie z jednostki drogi tarcia ($I_V = Z_V/l$):

$$I_V = a_0 \cdot \frac{P^{a_1} \cdot HB_S^{a_2}}{A^{a_1-1} \cdot HB_k^{a_1+a_2}} \quad (3)$$

Współczynniki regresji określono metodą najmniejszych kwadratów, przekształcając funkcję (2) do postaci liniowej przez obustronne zlogarytmowanie. Otrzymane wartości współczynników regresji i ich odchyłeń standardowych przedstawiono w tabeli 2.

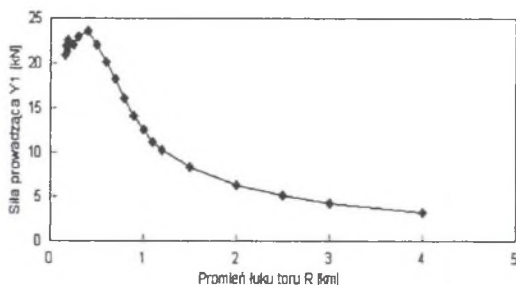
Tabela 2

Wartości współczynników regresji i ich odchyłeń standardowych

Współczynnik	Odchylenie standardowe
$\ln a_0 = -15,11$	$\ln S_{a0} = 0,52$
$a_0 = 2,7 \cdot 10^{-7}$	-
$a_1 = 0,90$	$S_{a1} = 0,06$
$a_2 = 3,46$	$S_{a2} = 0,19$

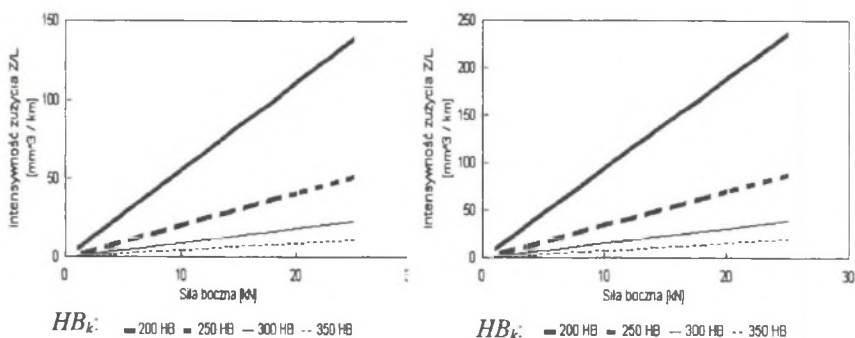
Jakość przybliżenia oceniono za pomocą współczynnika korelacji. Wyniósł on 0,68, co przy ilości pomiarów wynoszącej 290 jest wartością zadowalającą. Testy statystyczne potwierdziły istotność wszystkich współczynników regresji. Świadczy to o zależności intensywności zużycia z jednostki powierzchni tarcia $Z_v/(A \cdot l)$ zarówno od stosunku nacisku do twardości $P/(A \cdot HB_k)$, jak i stosunku twardości szyny do koła HB_s/HB_k . Dodatkowo wartości współczynników regresji świadczą o tym, że $Z_v/(A \cdot l)$ rośnie ze wzrostem zarówno $P/(A \cdot HB_k)$, jak i HB_s/HB_k .

Otrzymane równanie (3) wykorzystano do obliczenia intensywności zużycia obrzeża obręczy wyrażającego się zmniejszeniem jego grubości [10]. Aby ten cel osiągnąć, konieczne jest wyznaczenie wartości sił bocznych działających pomiędzy obrzeżem obręczy a bokiem główki szyny, zwanych siłami prowadzącymi. Wykorzystano do tego schemat Heumana [11]. Przykładową zależność wartości sił prowadzących od promienia łuku toru dla wagonu pasażerskiego typu Z2 podano na rys. 2. Spadek wartości sił dla łuków o małych promieniach wynika ze stosowanego poszerzenia toru [12]. Jak wynika z rysunku, siły prowadzące osiągają znaczne wartości nawet dla łuków o dość dużych promieniach. Wskutek tego naprężenia kontaktowe są większe od twardości bardziej miękkiego materiału, którym jest zazwyczaj materiał koła. Prowadzi to do plastycznego odkształcania się materiału obręczy obserwowanego w praktyce [13]. Założono zatem w obliczeniach, że materiał koła odkształca się plastycznie, tak aby nacisk powierzchniowy był równy twardości koła. Obliczone przy tym założeniu wartości intensywności zużycia obrzeża obręczy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Zależność siły działającej pomiędzy obrzeżem a szyną od promienia łuku toru dla wagonu pasażerskiego typu Z2

Fig. 2. Forces between flange and rail vs. radius of track curvature for passenger car type Z2



Rys. 3. Zależność intensywności zużycia obręczy od siły pomiędzy obrzeżem a szyną dla twardości szyny: a) 300 HB, b) 350 HB

Fig. 3. Wear intensity of rail wheel tyre vs. force between flange and rail for rail hardness: a) 300 HB, b) 350 HB

Jak wynika z rysunku, zależność intensywności zużycia od siły prowadzącej jest liniowa. Szczególnie dużą intensywnością zużycia charakteryzują się obręcze o najniższej twardości.

4. UWAGI KOŃCOWE

Opracowany w oparciu o analizę wymiarową model matematyczny pozwala na obliczanie zużycia obrzeża obręczy. Zgodnie z oczekiwaniami okazało się, że zwiększenie siły i twardości szyny powoduje wzrost intensywności zużycia obręczy. Natomiast wzrost twardości materiału obręczy powoduje spadek intensywności jego zużycia. Wyniki obliczeń modelowych przy założeniu powstawania odkształceń plastycznych obręczy wykazują liniową zależność

intensywności zużycia obręczy od siły prowadzącej. W ramach dalszych prac przewiduje się określenie intensywności zużycia dla obręczy z napawanym obrzeżem, a także uwzględnienie wpływu obecności cząstek środka smarnego pomiędzy współpracującymi powierzchniami na intensywność zużycia obręczy.

LITERATURA

1. Nowicki Z., Prussak J., Świdorski Z.: Zużycie obręczy taboru kolejowego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport, nr 7 1987, s. 65-90
2. Kryteria techniczno-ekonomiczne kwalifikowania zestawów kołowych do reprofiliacji lub wymiany - podstawy zastosowania komputera w podejmowaniu decyzji. CNTK Warszawa, temat nr 4027/21 1990 r.
3. Kobic J., Pośpiech P., Wiedermann J., Perchuc L.: Charakterystyka podstawowych wad obręczy i kół bezobrzęzowych. W: Międzynarodowa Konferencja Transport'97, Ostrava-Katowice 29.04-06.05.1997, s. 685-697.
4. Gębczyński H.: Wybrane zagadnienia zużycia i regeneracji kolejowych zestawów kołowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport, nr 15 1990, s. 53-57.
5. Mitura K.: Zwięzły zarys problematyki dotyczącej żywotności kół kolejowych. Krajowy Zarząd Hutnictwa ČVTS, Oddział ČVTS-VHUŽ, Dobrá 1976.
6. Wybrane zagadnienia zużywania się materiałów w ślizgowych węzłach tarcia. Praca zbiorowa pod redakcją W. Zwierzyckiego. PWN, Warszawa - Poznań 1990.
7. Muller L.: Zastosowanie analizy wymiarowej w badaniach modeli. PWN, Warszawa 1983.
8. Witaszek M.: Zastosowanie analizy wymiarowej do modelowania zużycia stali na obręcze kół kolejowych. W: Międzynarodowa Konferencja Transport'97, Ostrava-Katowice 29.04-06.05.1997, s. 631-637.
9. Witaszek M., Adamiec P.: Modelowanie zużycia warstwy wierzchniej przy pomocy analizy wymiarowej. W: Symposium Naukowo-Techniczne „Technika laserowa w inżynierii powierzchni materiałów”. WAT, Warszawa 19.11.1997 r.
10. Mt 11 - Instrukcja pomiarów geometrycznych zestawów kołowych pojazdów trakcyjnych PKP. Dyrekcja Generalna PKP. Warszawa 1995.
11. Pokorná J.: Hutnické Aktuality. Výzkumný ústav hutnictví železa, Informetal, Praha, 137 s. maszyn.

12. D1 - Przepisy techniczne utrzymania i eksploatacji nawierzchni na liniach kolejowych normalnotorowych użytku publicznego. Ministerstwo Komunikacji. Warszawa 1982.
13. Krause H., Poll G.: Plastic deformations of wheel-rail surfaces. *Wear*, 113 (1986), s. 123-130.

Recenzent: Dr hab. inż. Paweł Piec

Wpłynęło do Redakcji: 28.03.1998 r.

Abstract

The existence of the great amount of factors that influence the wear of rail wheels makes impossible to determine the influence of material and exploitation parameters on the wear intensity from field data. It can be done only with the help of laboratory investigations. In this paper the research of wear intensity of tyre steels P54, P55A i P60 has been made. Results of these experiments have been used to calculate to wear intensity of wheel flanges with the aid of mathematical model of sliding wear. Further investigations to determine the influence of welding repair of flange and lubrication on wear intensity of tyres are required.