ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1999
Seria: TRANSPORT z. 38 Nr kol. 1433

Piotr ADAMIEC
Kazimierz WITASZEK
Mirosław WITASZEK

EKSPLOATACYJNA INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA K ÓŁ KOLEJOWYCH

Streszczenie. W pracy przeprowadzono badania intensywności zużycia stali na obręcze kół kolejowych i szyny. Wyniki tych badań zostały użyte do obliczenia intensywności zużycia eksploatacyjnego kół kolejowych. Określono zależność tej intensywności od poślizgu wzdłużnego w okręgu tocznym, promienia łuku toru oraz twardości koła i twardości szyny.

SERVICE WEAR INTENSITY OF RAIL WHEELS

Summary. In this work research of wear intensity of tyre and rail steels has been made. Results of these experiments have been used to calculate service wear intensity of rail wheels. The dependence of the wear intensity on the longitudinal creep in the tread of the wheel, the track curvature, the wheel and rail hardness have been calculated

1. WSTĘP

Para trybologiczna koło kolejowe - szyna należy do skojarzeń pracujących w trudnych warunkach. Powodują one intensywne zużycie elementów tej pary. Zużycie to ma duży wpływ na niezawodność kół i szyn kolejowych, która decyduje o bezpieczeństwie jazdy. Zatem problem zużycia kół i szyn kolejowych ma duże znaczenie w transporcie szynowym.

W artykule przedstawiono metodę prognozowania intensywności zużycia kół i szyn kolejowych na podstawie modelu zużycia zbudowanego za pomocą analizy wymiarowej.

2. MODEL ZUŻYCIA

W celu zbudowania modelu zużycia wybrano na podstawie literatury [1-4] czynniki decydujące o intensywności zużycia. Wielkości te charakteryzują materiał i warunki współpracy elementów pary ciernej. Jako czynniki materiałowe wybrano:

- skład chemiczny materiału koła wyrażony za pomocą następującego równoważnika węgla:

$$C_E = C + \frac{4 \cdot Mn}{19} + \frac{Si}{10}, \tag{1}$$

gdzie: C, Mn, Si - odpowiednio zawartość węgla, manganu i krzemu w %,

- twardość koła HB_1 i twardość szyny HB_2.

Wybranymi wielkościami charakteryzującymi warunki pracy pary ciernej są:

- maksymalny nacisk Hertza p_0;
- poślizg γ i prędkość poślizgu v;
- droga tarcia l, zwana również drogą poślizgu:

$$l = 2a\, n\, \gamma, \tag{2}$$

a - półoś elipsy styku sprężystego lub połowa szerokości prostokątnego obszaru tego styku w kierunku prostopadłym do osi koła lub walca,

n - ilość obrotów.

Założono, że zużycie liniowe Z jest funkcją wybranych parametrów. Z tej funkcji za pomocą analizy wymiarowej zbudowano model zużycia [2]:

$$\frac{Z}{l} = f\left(\frac{p_0}{HB_1}, \frac{HB_2}{HB_1}, \gamma, C_E\right) \tag{3}$$

W celu wyznaczenia wartości współczynników modelu przeprowadzono laboratoryjne i eksploatacyjne badania zużycia ściernego. Badania te obejmowały stale na obręcze gatunku P54 i P60 oraz stale na szyny gatunku 900A. Skład chemiczny i twardość badanych materiałów podano w tabelach 1 i 2.

Tabela 1

Skład chemiczny i twardość badanych stali na obręcze

Nr	Gatunek	Składa chemiczny w %					Twardość
		C	Mn	Si	P	S	HB
1	P54	0,56	0,69	0,22	0,018	0,035	203
2	P54	0,53	0,73	0,22	0,016	0,004	292
3	P60	0,61	0,79	0,30	0,016	0,004	280
4	P60	0,61	0,76	0,29	0,017	0,006	203

Tabela 2

Skład chemiczny i twardość badanych stali na szyny

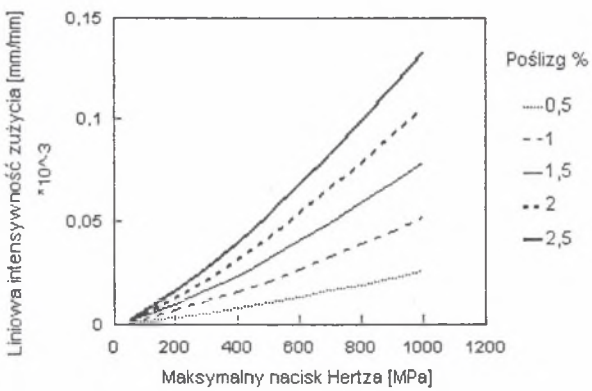
Nr	Gatunek	Składa chemiczny w %					Twardość
		C	Mn	Si	P	S	HB
6	900A	0,74	1,09	0,29	0,015	0,015	294
7	900A	0,70	1,09	0,29	0,016	0,016	255

Laboratoryjne badania zużycia ściernego wykonano na stanowisku Amslera, które pracowało w układzie rolka-rolka, przy tarciu tocznym z poślizgiem.

Współczynniki modelu wyznaczono przeprowadzając regresję wyników laboratoryjnych badań zużycia. Przeprowadzono ocenę statystycznej istotności wpływu poszczególnych zmiennych modelu na intensywność zużycia. Stwierdzono, że brak było podstaw do uznania statystycznej istotności wpływu równoważnika węgla, gdyż współczynnik regresji odnoszący się do tej zmiennej równał się zero z prawdopodobieństwem 0,97. Dlatego w dalszych obliczeniach nie uwzględniano równoważnika węgla. Otrzymano następujące równanie:

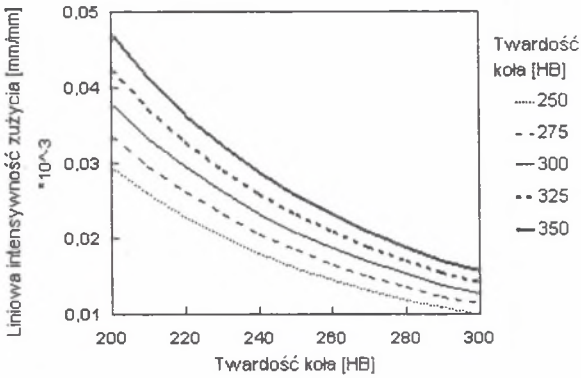
$$\frac{Z}{l} = 0{,}00075 \cdot \left(\frac{p_0}{HB_1}\right)^{1{,}31428} \cdot \left(\frac{HB_2}{HB_1}\right)^{1{,}38016} \cdot \gamma^{1{,}03036} \qquad (4)$$

Otrzymane zależności przedstawiono graficznie na rys. 1 i 2.



Rys. 1. Zależność liniowej intensywności zużycia *Z/l* koła od maksymalnego nacisku Hertza i poślizgu dla twardości koła równej 250 HB i twardości szyny 300 HB

Fig. 1. Linear wear intensity *Z/l* of wheel vs. maximum herzian pressure and creepage for wheel hardness 250 HB and rail hardness 300 HB



Rys. 2. Zależność liniowej intensywności zużycia *Z/l* koła od twardości koła i szyny przy maksymalnym nacisku hertzowskim 500 MPa i poślizgu 1 %

Fig. 2. Linear wear intensity *Z/l* of wheel vs. wheel and rail hardness for maximum herzian pressure 500 MPa and creepage 1 %

Z rysunków 1 i 2 wynika, że liniowa intensywność zużycia koła rośnie ze wzrostem nacisku, poślizgu oraz twardości szyny, natomiast maleje ze wzrostem twardości koła.

3. EKSPLOATACYJNA INTENSYWNOŚĆ ZUŻYCIA KÓŁ

Przebieg koła określa się w kilometrach przebytych przez pojazd. Dlatego eksploatacyjna liniowa intensywność zużycia koła jest stosunkiem jego zużycia liniowego do drogi przejechanej przez koło. W celu wyznaczenia tej intensywności z modelu zużycia przeliczono drogę tarcia l na drogę przebytą przez koło L:

$$L = (1-\gamma_W)\frac{\pi D l}{2a\gamma}, \tag{5}$$

gdzie:

D - średnica koła w okręgu tocznym,

γ_W - poślizg wzdłużny koła w okręgu tocznym.

Eksploatacyjna, liniowa intensywność zużycia koła wynosi więc:

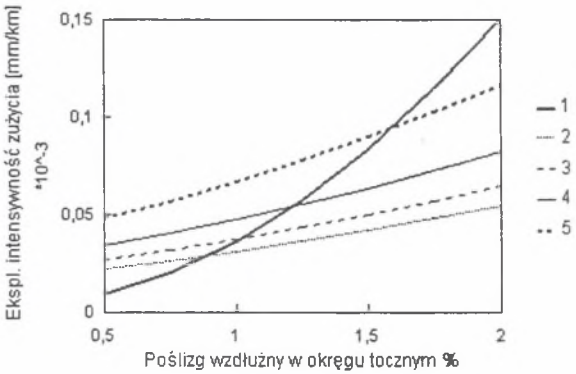
$$\frac{Z}{L} = \frac{Z}{l}\cdot\frac{2a\gamma}{\pi D(1-\gamma_W)} \tag{6}$$

Siły działające pomiędzy kołem a szyną potrzebne do obliczenia maksymalnego nacisku Hertza w modelu obliczono:

- dla powierzchni tocznej koła dzieląc ciężar pojazdu przez liczbę kół,
- dla obrzeża z modelu Heumanna, w którym uwzględniono wpływ siły odśrodkowej na siły boczne [5].

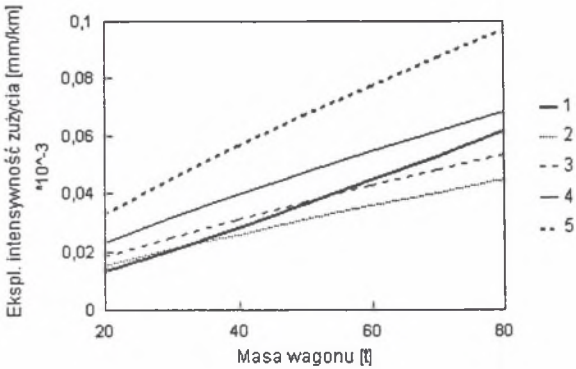
Obliczenia eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia przeprowadzono dla czteroosiowego wagonu węglarki typu 408W, o masie własnej 19,5 t, ładowności 60,5 t, rozstawie czopów skrętu wózków 8,5 m i rozstawie osi wózka 2 m. W obliczeniach przyjęto, że szybkość jazdy wynosi 60 km/h. Wyznaczono zależność intensywności zużycia od poślizgu wzdłużnego w okręgu tocznym, promienia łuku toru, masy wagonu, twardości koła i twardości szyny (rys. 3-6).

Z rys. 3 i 4 wynika, że poślizg wzdłużny w okręgu tocznym i masa wagonu mają znaczący wpływ na eksploatacyjną intensywność zużycia kół zarówno w okręgu tocznym, jak i na obrzeżu. Promień łuku ma wpływ na intensywność zużycia koła na obrzeżu.



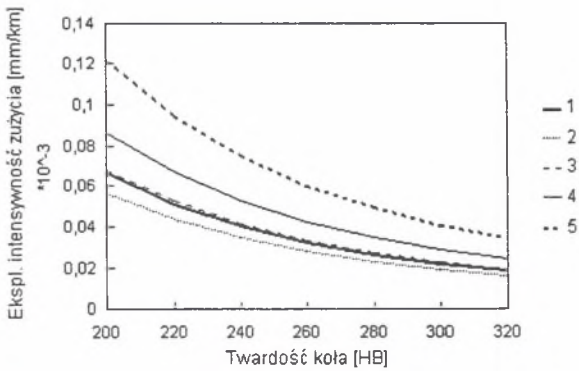
Rys. 3. Zależność eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia kół wagonu węglarki typu 408W od poślizgu i promienia łuku: 1-w okręgu tocznym, 2-5-na obrzeżu przy promieniu łuku odpowiednio: 1000, 800, 600 i 400 m

Fig. 3. Service linear wear intensity of wheels of freight wagon type 408W vs. creepage and curve radius: 1-wear of the tread, 2-5-wear of flange by curve radius respectively 1000, 800, 600 and 400 m



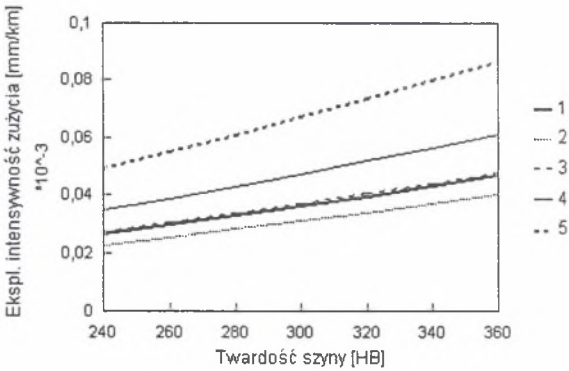
Rys. 4. Zależność eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia kół wagonu węglarki typu 408W od masy wagonu i promienia łuku: 1-w okręgu tocznym, 2-5-na obrzeżu przy promieniu łuku odpowiednio: 1000, 800, 600 i 400 m; poślizg wzdłużny kół w okręgu tocznym wynosi 1 %

Fig. 4. Service linear wear intensity of wheels of freight wagon type 408W vs. wagon mass and curve radius: 1-wear of the tread, 2-5-wear of flange by curve radius respectively 1000, 800, 600 and 400 m; longitudinal creepage of the tread 1%



Rys. 5. Zależność eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia kół wagonu węglarki typu 408W od twardości koła i promienia łuku: 1-w okręgu tocznym, 2-5-na obrzeżu przy promieniu łuku odpowiednio: 1000, 800, 600 i 400 m; poślizg wzdłużny kół w okręgu tocznym wynosi 1 %

Fig. 5. Service linear wear intensity of wheels of freight wagon type 408W vs. wheel hardness and curve radius: 1-wear of the tread, 2-5-wear of flange by curve radius respectively 1000, 800, 600 and 400 m; longitudinal creepage of the tread 1%



Rys. 6. Zależność eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia kół wagonu węglarki typu 408W od twardości szyny i promienia łuku: 1-w okręgu tocznym, 2-5-na obrzeżu przy promieniu łuku odpowiednio: 1000, 800, 600 i 400 m; poślizg wzdłużny kół w okręgu tocznym wynosi 1 %

Fig. 6. Service linear wear intensity of wheels of freight wagon type 408W vs. rail hardness and curve radius: 1-wear of the tread, 2-5-wear of flange by curve radius respectively 1000, 800, 600 and 400 m; longitudinal creepage of the tread 1%

4. UWAGI I WNIOSKI KOŃCOWE

Obliczenia przeprowadzone w pracy wykazały, że matematyczny model zużycia, wykorzystujący analizę wymiarową parametrów materiałowych i eksploatacyjnych umożliwia obliczenie intensywności zużycia kół kolejowych. Parametrami materiałowymi wystarczającymi do wyznaczania intensywności zużycia kół kolejowych są twardości koła i szyny. Wzrost twardości kół powoduje spadek intensywności ich zużycia, natomiast wzrost twardości szyn wywołuje skutek przeciwny. Warunki współpracy elementów pary ciernej koło-szyna charakteryzuje maksymalny nacisk hertzowski i poślizg. Ich wzrost wywołuje zwiększenie się intensywności zużycia kół.

Masa pojazdu wpływa na wartości sił działających pomiędzy kołem a szyną, a zatem i na nacisk hertzowski w tej parze ciernej. Wzrost masy pojazdu powoduje wzrost intensywności zużycia kół zarówno na powierzchni tocznej, jak i na obrzeżu. Ważnym czynnikiem wpływającym na zużycie obrzeży kół jest promień łuku toru. Promień ten wpływa na wielkość siły działającej pomiędzy obrzeżem a bokiem główki szyny. Wzrost promienia łuku toru powoduje spadek wartości tej siły i co za tym idzie - eksploatacyjnej, liniowej intensywności zużycia.

Literatura

1. Adamiec P., Witaszek M., Witaszek K.: Intensywność zużycia stali na obręcze kół kolejowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 30, Gliwice 1998, s. 71-78.
2. Adamiec P., Witaszek M., Witaszek K.: Modelowanie zużycia przy tarciu tocznym z poślizgiem. VI Seminarium Naukowe "Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej, Katowice, 17. 05. 1998, s. 178-181.
3. Witaszek M., Witaszek K., Adamiec P.: Określanie trwałości kół kolejowych metodami laboratoryjnymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. Transport, z. 33, Gliwice 1998, s. 255-266.
4. Clayton P.: The relations between wear behaviour and basic material properties for pearlitic steels. Wear, 60 (1980) p. 75-93.
5. Bujnosov A.P., Agapov E.V., Cichalevskij I.S.: Dviženije kolesnoj pary lokomotiva po krivomu ucastku puti. Konstrukcionno technologiceskie obespecenie nadežnosti koles rel'sovyh ekipažej. Sbornik naucnych trudov. Sankt-Peterburg, 1997, s. 127-135.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Paweł Piec

Wpłynęło do Redakcji: 15.10.1999 r.

Abstract

The paper presents the method of calculating the wear intensity of rails and wheels based on the wear model constructed with the help of dimensional analysis. The calculations carried out during the research proved that the mathematical model of the wear, using the dimensional analysis of the material properties and service parameters makes possible the calculation of the wear intensity of the railway wheels. The material property sufficient to determine the wear intensity of rail wheels is the hardness of wheels and rails. The working conditions of the tribological wheel/rail system is characterized by maximum Hertzian pressure and creep.