

Mirosław WITASZEK*, Kazimierz WITASZEK*

**WPLYW NACISKU, PRĘDKOŚCI ŚLIZGANIA
I TWARDOŚCI NA ZUŻYCIE PRZY SUCHYM
TARCIU STALI NA OBREĆCZE KÓŁ
KOLEJOWYCH**

**THE INFLUENCE OF CONTACT PRESSURE, SLIDING
VELOCITY AND HARDNESS ON DRY WEAR
OF STEELS FOR TYRES OF RAIL WHEELS**

Słowa kluczowe:

intensywność zużywania, stale na obręcze kół kolejowych, twardość, nacisk, prędkość ślizgania, suche tarcie ślizgowe

Key-words:

wear rate, steels tyres of rail wheels, hardness, pressure, sliding velocity, dry sliding friction

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia wybranych trzech stali węglowych. Badania przeprowadzono na zmodyfikowanym stanowisku Timkena, przy suchym tarcu ślizgowym. Wyniki badań pozwoliły na określenie zależności intensywności zużywania badanych stali od wybra-

* Politechnika Śląska, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, ul. Z. Krasieńskiego 8, 40-019 Katowice, tel. (032) 603 41 52, fax. (032) 603 42 92, e-mail: mirosław.witaszek@polsl.pl, kazimierz.witaszek@polsl.pl

nych parametrów charakteryzujących własności materiału (twardość stali) i warunki współpracy (nacisk i prędkość ślizgania). Zależności te opisano za pomocą równania wykładniczego. Wykorzystano je wraz z wynikami badań metalograficznych do analizy merytorycznej otrzymanych wyników badań zużycia.

WPROWADZENIE

Zestawy kołowe odgrywają istotną rolę w zapewnieniu niezawodności oraz bezpieczeństwa jazdy pojazdów szynowych [L. 1]. Doświadczenia eksploatacyjne wskazują na to, że procesy zużycia wywierają istotny wpływ na trwałość i niezawodność kół. Na te procesy wpływają różne czynniki, jak np. własności materiałowe stali na obręcz i wieńce kół oraz warunki współpracy. Znajomość ich wpływu na proces zużycia może być wykorzystana w celu podwyższenia trwałości i niezawodności kół. Z uwagi na znaczną zmienność warunków współpracy podczas eksploatacji pojazdów wyniki badań eksploatacyjnych nie są w pełni wystarczające dla oceny wpływu ww. czynników na zużycie kół. Pomocne są tu wyniki badań laboratoryjnych, w których warunki współpracy mogą zostać ustabilizowane.

Szczególnie intensywne zużycie występuje w przypadku obrzeży kół pojazdów pracujących na terenach górskich [L. 2]. Współpraca obrzeży z bokami główek szyn odbywa się w warunkach tarcia suchego, przy największym udziale ruchu ślizgowego [L. 3]. Stąd badania laboratoryjne zużycia tego skojarzenia często prowadzone są przy suchym tarciu ślizgowym [L. 3, 4], podobnie jak w niniejszej pracy.

BADANIA ZUŻYCIA

Badaniom zużycia poddano stal obręczową gatunku B6 (według karty UIC 810-1) oraz dwie stale niestopowe do ulepszenia cieplnego gatunków 45 i 55 (odpowiednio C45 i C55 według normy PN-EN 10083-2), które jak podaje praca [L. 5] mogą być wykorzystane do modelowania stali obręczowych. Skład chemiczny i twardość badanych materiałów przedstawiono w Tabeli 1. Badania przeprowadzono na zmodyfikowanym stanowisku Timkena, przy suchym tarciu ślizgowym. Podobnie jak we wcześniejszej pracy [L. 4] badane skojarzenie stanowiły dwa walce o osiach prostopadłych. Pozwoliło to na uzyskanie punktowego styku skoncentrowanego, który jest typowy dla kół i szyn kolejowych.

Tabela 1. Skład chemiczny i twardość Brinella (HB) badanych stali

Table 1. Chemical composition and Brinell hardness (HB) of tested steels

Gatunek stali	Skład chemiczny									Twardość
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	HB
B6	0,61	0,82	0,34	0,010	0,004	0,02	0,01	0,03	0,031	285
C45	0,47	0,69	0,23	0,007	0,019	0,14	0,18	0,22	0,021	250
C45	0,47	0,69	0,23	0,007	0,019	0,14	0,18	0,22	0,021	226
C55	0,58	0,61	0,2	0,014	0,014	0,09	0,05	0,14	0,004	206

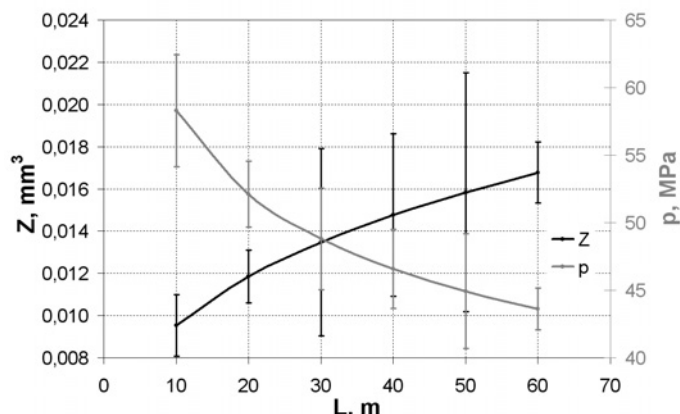
Próbki, wykonane z badanych stali, były podczas testów zamocowane nieruchomo. Tarcie ślizgowe uzyskiwano dzięki ruchowi obrotowemu przeciwpróbki. Stanowił ją zewnętrzny pierścień łożyska stożkowego typu 30204A, wykonany ze stali 100Cr6 (ŁH15), o twardości 62 HRC. Zastosowanie przeciwpróbek o znacznie większej twardości niż próbki, w badaniach zużycia w stykach skoncentrowanych przy tarcii ślizgowym, jest często spotykane zarówno w kraju, jak i za granicą [L. 3, 4]. Parametrami badań były: obciążenie (63 – 153 N), prędkość ślizgania (0,2 – 0,4 m/s) i droga tarcia (7,4 – 60 m). Zużycie próbek określano za pomocą objętości śladu, który powstawał na próbce podczas badania. Wyznaczano ją metodą optyczną, zastosowaną we wcześniejszej pracy [L. 4]. Pozwalała ona na określenie nominalnej powierzchni styku, co przy znanym obciążeniu umożliwiło obliczenie nacisku w styku próbki i przeciwpróbki, w momencie zakończenia badania.

WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Przykładową zależność zużycia objętościowego i nacisku w styku próbki z przeciwpróbką od drogi tarcia dla stali B6 przy obciążeniu równym 63 N oraz prędkości ślizgania $0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ przedstawiono na **Rys. 1**. Z uwagi na rozrzut wyników badań, w celu wyznaczenia intensywności zużywania, zależności zużycia od drogi tarcia aproksymowano za pomocą funkcji potęgowej:

$$Z = a \cdot L^b \quad (1)$$

gdzie: Z – zużycie objętościowe, mm^3 , L – droga tarcia, m,
a, b – współczynniki liczbowe określone za pomocą regresji.



Rys. 1. Przebieg zużycia objętościowego i nacisku w styku próbki ze stali B6 z przeciwpróbką w funkcji drogi tarcia, przy obciążeniu 63 N i prędkości 0,4 m/s

Fig. 1. Wear volume and contact pressure of steel grade B6 vs. sliding distance, for a load of 63 N and sliding speed of 0.4 m/s

W taki sam sposób przeprowadzono aproksymację nacisku. Otrzymane funkcje przedstawiono na **Rys. 1**. Wynika z niego, że wydłużenie drogi tarcia powoduje zwiększenie zużycia i zmniejszenie nacisku. Takie zmiany nacisku podczas badania są charakterystyczne dla licznych skojarzeń o styku skoncentrowanym, pracujących w warunkach tarcia ślizgowego [**L. 6**]. Są one przyczyną nieliniowej zależności zużycia od drogi tarcia (**Rys. 1**), co świadczy o zmianach intensywności zużywania podczas badania. Liniową intensywność zużywania I (stosunek zużycia liniowego do drogi tarcia) obliczono ze wzoru [**L. 4**]:

$$I = \frac{dZ}{A \cdot dL} \quad (2)$$

gdzie: A – nominalna powierzchnia styku, mm^2 .

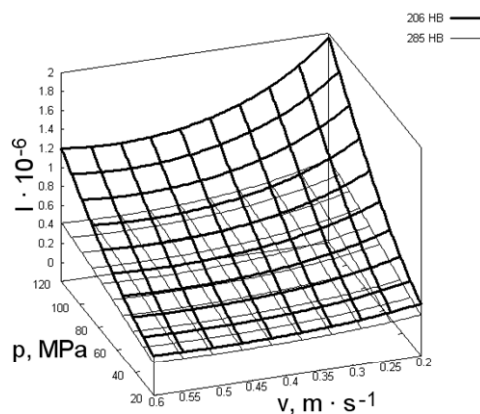
Wpływ badanych czynników na liniową intensywność zużywania stali opisano za pomocą następującej zależności:

$$I = \exp(4,4 \cdot 10^{-2} \cdot p - 5,23 \cdot v - 3,38 \cdot 10^{-3} \cdot H - 6,95 \cdot 10^{-5} \cdot p^2 + 5,02 \cdot v^2 + 8,35 \cdot 10^{-5} \cdot p \cdot H) \quad (3)$$

gdzie: I – liniowa intensywność zużywania, $\cdot 10^{-6}$, p – nacisk, MPa, v – prędkość ślizgania, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, H – twardość stali, HB.

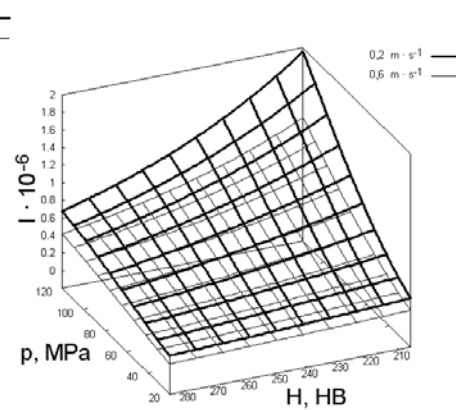
Współczynniki liczbowe równania (3) dobrano za pomocą regresji liniowej. Przeprowadzono analizę ich statystycznej istotności za pomocą testu t-Studenta. Jego wyniki wskazują, że prawdopodobieństwo istotności współczynników podanych w równaniu (3) przekracza 95%. Współczynnik korelacji regresji wynosił 0,88. Pozwoliło to wykorzystać otrzymane równanie do dalszych prac.

Na **Rys. 2–4** przedstawiono zależność intensywności zużycia badanych stali od nacisku, prędkości ślizgania i twardości wyznaczoną za pomocą równania (3). Z **Rys. 2–4** wynika, że w badanym zakresie największy wpływ na intensywność zużycia wywierają: nacisk i twardość stali. Zwiększenie nacisku oraz zmniejszenie twardości stali i prędkości ślizgania wywołuje wzrost tej intensywności. W celu ustalenia możliwych przyczyn tych zmian przeprowadzono metalograficzne obserwacje zużytych powierzchni. Przykładowe zdjęcie mikroskopowe powierzchni śladu zużycia przedstawiono na **Rys. 5**. Wynika z niego, że występują na niej: rysy, wyrwy i tlenki, co świadczy o działaniu trzech mechanizmów zużycia: ściernego, adhezyjnego i utleniającego.



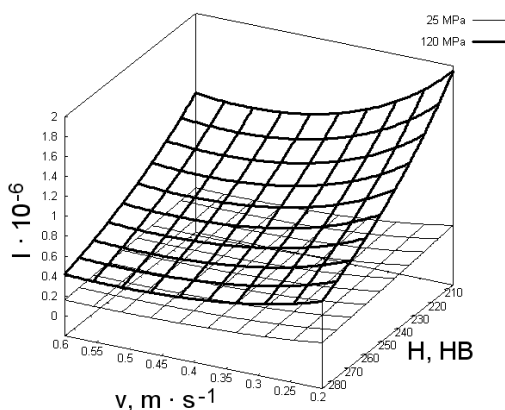
Rys. 2. Zależność intensywności zużycia badanych stali od nacisku i prędkości ślizgania dla twardości 206 HB i 285 HB

Fig. 2. Wear rate of the tested steels vs. contact pressure and sliding velocity for hardness of 206 HB and 285 HB



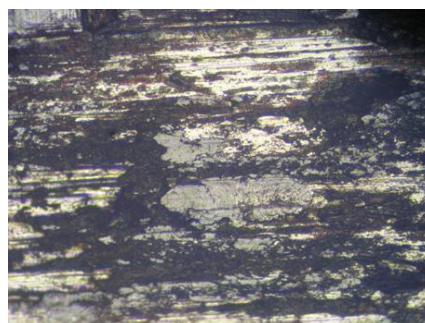
Rys. 3. Zależność intensywności zużycia badanych stali od nacisku i twardości dla prędkości ślizgania 0,2 m/s i 0,6 m/s

Fig. 3. Wear rate of the tested steels vs. contact pressure and hardness for sliding velocity of 0.2 m/s and 0.6 m/s



Rys. 4. Zależność intensywności zużycia badanych stali od prędkości ślizgania i twardości dla nacisku 25 MPa i 120 MPa

Fig. 4. Wear rate of the tested steels vs. sliding velocity and hardness for contact pressure of 25 MPa and 120 MPa



Rys. 5. Zużyta powierzchnia próbki ze stali B6 przy nacisku 49,2 MPa i prędkości ślizgania 0,4 m/s, mikroskop optyczny, pow. 100x

Fig. 5. Worn surface of a specimen made of steel B6 for contact pressure of 49.2 MPa and sliding velocity of 0.4 m/s, optical micrograph, magnification 100x

Obecność tlenków ogranicza możliwości powstawania styków metalicznych nierówności, a tym samym adhezji, co obniża intensywność zużycia [L. 7]. Na podstawie obserwacji mikroskopowych otrzymanych śladów zużycia stwierdzono, że przy zwiększeniu nacisku ilość tlenków na powierzchni spada. Zwiększenie nacisku sprzyja więc oddzielaniu się tlenków z powierzchni i ich wykruszaniu, co zaobserwowali również autorzy pracy [L. 7]. Ponadto zwiększenie nacisku może intensyfikować zużywanie ściernie, co wraz ze wspomnianym zmniejszeniem się ilości tlenków sprzyjającym zużyciu adhezyjnemu skutkuje podwyższeniem intensywności zużycia. Zwiększenie prędkości ślizgania wywołuje podwyższenie temperatury w obszarze styku współpracujących elementów. Sprzyja to utlenianiu powierzchniowemu, co prowadzi do obniżenia intensywności zużycia [L. 7].

Przyczyną spadku intensywności zużycia ze wzrostem twardości stali może być zwiększenie jej odporności na zużywanie ściernie oraz odkształcenia plastyczne, które sprzyjają adhezji oraz pękaniu i wykruszaniu się powierzchniowych warstw tlenków.

WNIOSKI

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań i obliczeń sformułowano następujące wnioski:

- W przypadku badanych stali, dla przyjętych warunków współpracy, występują trzy mechanizmy zużycia: ścierny, adhezyjny i utleniający.
- Zwiększenie nacisku podwyższa intensywność zużycia, ponieważ sprzyja zużyciu ściernemu i adhezyjnemu oraz usuwaniu tlenków z powierzchni współpracy.
- Ze wzrostem prędkości obniża się intensywność zużycia, gdyż zwiększa się ilość tlenków w strefie styku, co przeciwdziała zużyciu adhezyjnemu.
- Większa twardość stali podwyższa jej odporność na zużycie ścierny oraz zmniejsza odkształcenie plastyczne, obniżając w ten sposób intensywność zużycia.

Pracę wykonano w ramach Badań Własnych Katedry Eksploatacji Pojazdów Samochodowych Politechniki Śląskiej w roku 2009.

LITERATURA

1. Guzowski S.: Ocena zużycia elementów zestawów kołowych w badaniach modelowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport, z. 39, Gliwice, 1999, s. 57–63.
2. Bejenka K., Marciniak Z., Medwid M.: Wpływ smarowania obrzeży kół lokomotyw spalinowych i elektrycznych na tempo ich zużycia. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Transport, z. 14 (1989), 51–59.
3. Robles Hernández F.C., Demas N.G., Davis D.D., Polycarpou A.A., Maal L.: Mechanical properties and wear performance of premium rail steels. *Wear*, 263 (2007), 766–772.
4. Witaszek M.: The influence of pressure and sliding velocity on the wear of a bainitic rail steel in the presence of lubricant. *Tribologia*, 220 (2008) 4, s. 203–209.
5. Kulikowski H., Sorochtej M.: Badania zużycia materiałów na koła jezdne pojazdów szynowych. W: XII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe”, tom 2. Rydzyna 21–24.10.1996, s. 161–166.

6. Kozyrev Yu.P, Ginzburg B.M., Priemskii N.D., Tochilnikov D.G., Bulatov V.P.: Express investigations of wear process by means of cylindrical counterbodies. Part I: Calculations and technique. *Wear*, 171 (1994), 71–75.
7. Lim S.C., Ashby M.F., Brunton J.H.: Wear rate transients and their relationship to wear mechanisms. *Acta metall.* Vol. 35 (1987) nr 6, 1343–1348.

Recenzent:
Jan SENATORSKI

Summary

In this article, wear test results of three carbon steels (B6, C54 and C55) are presented. These tests have been performed on a modified Timken wear-testing machine in dry sliding conditions. To obtain an initial point contact (like in wheel – rail system), two cylinders with perpendicular axes have been used as elements of the tested pair. One of them had a motionless specimen, and the second one had a counter-specimen rotated around its axis. Volume loss and apparent contact area vs. load, sliding speed, and sliding distance were determined. On the basis of these results, the linear wear rate and contact pressure were calculated. Results of these calculations have been utilised to determine the influence of pressure, sliding speed, and material hardness on the wear rate of the tested steels. These influences have been mathematically described with an exponential function, which was used to analyse the wear behaviour of the researched materials. Optical microscopic observations of worn surfaces were carried out to study wear mechanisms.