

Piotr ADAMIEC, Kazimierz WITASZEK  
Mirosław WITASZEK, Zbigniew STANIK

## BADANIA ZUŻYCIA ŻELIWA SFEROIDALNEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań zużycia żeliwa sferoidalnego oraz zaproponowano ich matematyczny opis za pomocą modelu zużycia. Badania te uzupełniono badaniami metalograficznymi, których wyniki umożliwiły wyciągnięcie wniosków dotyczących mechanizmów zużycia występujących przy współpracy żeliwa ze stalową powierzchnią, jak następuje to w przypadku pary ciernej koło kolejowe - klocek hamulcowy.

## WEAR TESTS OF SPHEROIDAL GRAPHITE IRON

**Summary.** This paper presents results of wear tests of spheroidal graphite iron and model providing mathematical description of the results. Metallographic researches of the worn surfaces have been also carried out. Conclusions about wear mechanisms in tribological pair steel-iron, like rail wheel - brake shoe, have been presented.

### 1. WPROWADZENIE

Koła kolejowe są częstokroć elementem dwóch par ciernych jednocześnie: koło - szyna i koło - klocek hamulcowy. W przypadku współpracy stalowych elementów pary ciernej koło - szyna zidentyfikowano trzy podstawowe formy zużycia [1-3], w których wiodącym mechanizmem jest odpowiednio utlenianie, adhezja i zmęczenie powierzchniowe. W niniejszej pracy podjęto badania mechanizmów zużycia występujących w przypadku współpracy elementów żeliwnych ze stalowymi.

Żeliwne elementy w parach ciernych są często spotykane. Występują one np. w przypadku kolejowych hamulców klockowych czy w układzie rozrządu silników spalinowych (para krzywka - popychacz).

Badaniom poddano żeliwo sferoidalne, charakteryzujące się wysoką odpornością na zużycie.

## 2. BADANIA ZUŻYCIA ŻELIWA SFEROIDALNEGO

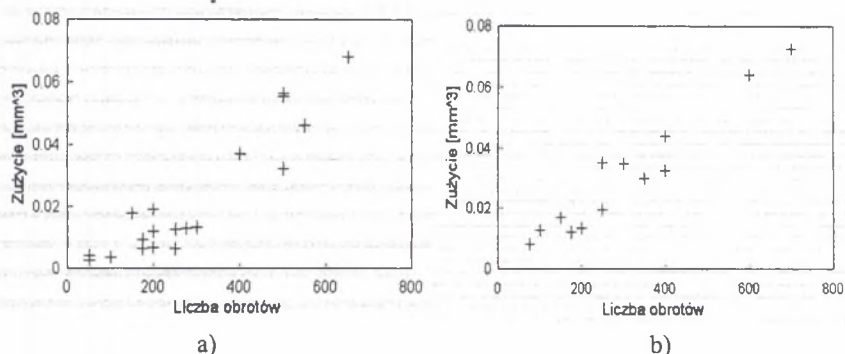
Do badania odporności na zużycie materiału krzywek wykorzystano zmodyfikowane urządzenie Timkena. Zużycie badano w układzie rolka - klocek przy 100% poślizgu. Jako próbki wykorzystano wycięte klocki o wymiarach 10 x 10 x 20 mm, natomiast przeciwpróbkę stanowił pierścień zewnętrzny łożyska 30204 o twardości 62 HRC. Badania przeprowadzono przy naciskach Hertza: 141,5; 185,2 i 220,5 MPa w przypadku tarcia na sucho. Wielkość zużycia określano na podstawie pomiarów szerokości śladu zużycia, która była podstawą do obliczenia objętości zużytego materiału. Pomiarów dokonywano z pomocą systemu wyposażonego w kamerę CCD oraz odpowiednio wyposażony i oprogramowany komputer PC. Dokładność pomiarowa systemu wynosi 0,01mm.

Badane próbki wycięto z krzywek wałków rozrzędu, wykonywanych z żeliwa sferoidalnego o strukturze zgodnej z normą Fiat 52215. Oznacza to, że w strukturze krzywki występował grafit sferoidalny w osnowie martenzytycznej. Zawartość austenitu szczątkowego nie przekracza 20%. Skład chemiczny badanego materiału przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Skład chemiczny próbek z żeliwa				
Składu chemiczny w %				
C	Mn	Si	P	S
3,52	0,4	2,48	0,32	0,012

Przykład wyników badań zużycia przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Przykładowe wyniki badań zużycia

a) maksymalny nacisk Hertza 141,5 MPa, b) maksymalny nacisk Hertza 185,2 MPa

Fig. 1. An example of wear tests results

a) maximum Hertzian pressure 141,5 MPa, b) maximum Hertzian pressure 185,2 MPa

## 3. MECHANIZMY ZUŻYCIA ELEMENTÓW ŻELIWNÝCH

W celu określenia mechanizmów zużycia elementów wykonanych z żeliwa oprócz badań zużycia przeprowadzono badania metalograficzne śladów zużycia na mikroskopie skaningowym Hitachi. Mikroskop ten umożliwił przeprowadzanie analizy składu

chemicznego poszczególnych obszarów występujących na zdjęciu, metodą spektrometrii rentgenowskiej.

W początkowym okresie zużycia obserwowano odkształcenie plastyczne powierzchni próbki połączone z jej utlenianiem się. Na powierzchni tworzyły się utlenione, płatkowe produkty zużycia (rys. 2).



Rys. 2. Powierzchnia śladu zużycia w początkowym okresie współpracy - widoczne utlenione, płatkowe produkty zużycia

Fig. 2. Worn surface during running-in period - there are oxidized flake-like wear debris on it

Podczas dalszej współpracy oprócz oddzielania się płatkowych produktów zużycia pojawiały się na powierzchni obszary pokryte warstwą węgla (rys. 3). Nastąpił również wzrost zawartości węgla w płatkowych produktach zużycia, przy jednoczesnym spadku zawartości w nich tlenu i żelaza.



Rys. 3. Pojawianie się obszarów pokrytych warstwą o wysokiej zawartości węgla na powierzchni śladu zużycia

Fig. 3. Appearing of zones with layer including high carbon content on the worn surface

Podczas dalszego zużywania warstwa o wysokiej zawartości węgla (ok. 80% wagowo) pokrywała całą powierzchnię śladu. Zawartość żelaza w tej warstwie wynosi ok. 13%. Współpraca nierówności powierzchni przeciwpółki z tą warstwą powodowała powstawanie na niej rys (rysunek 4). Analiza składu chemicznego obszarów rys prowadzi do wniosku, że jest to nieutleniona powierzchnia próbki.



Rys. 4. Porysowana warstewka o wysokiej zawartości węgla na powierzchni śladu zużycia, pow. 450x  
Fig. 4. Scratched layer including high carbon content on the worn surface

Na rys. 4 widoczne są również drobne produkty zużycia pochodzące z warstwy o wysokiej zawartości węgla. Podsumowując, wyciągnięto wniosek, że w początkowym okresie zużywania dominującym procesem jest utlenianie warstwy wierzchniej, które podczas dalszej współpracy zanika wskutek tworzenia się na powierzchni warstewki składającej się głównie z grafitu. Zużywanie się tej warstwy stanowi zasadniczy mechanizm zużycia elementów wykonanych z żeliwa sferoidalnego.

#### 4. MODELOWY OPIS ZUŻYCIA KRZYWEK

Do analizy wyników badań zużycia materiału model zużycia opracowany za pomocą analizy wymiarowej [4-6]:

$$\frac{Z_V}{A \cdot l} = f\left(\frac{p}{HB_k}, \frac{l}{l_0}, \mu, \frac{HB_p}{HB_k}\right), \quad (1)$$

gdzie:

- $Z_V$  - zużycie objętościowe,
- $A$  - nominalna powierzchnia współpracy elementów wężła tarcia,
- $l$  - droga tarcia,
- $l_0$  - droga tarcia w czasie jednego obrotu,
- $\mu$  - współczynnik tarcia,
- $HB_k$  - twardość krzywki (próbki),

$HB_p$  - twardość popychacza (przeciwpróbki),

$p$  - nacisk Hertza.

Nacisk Hertza  $p$  obliczano według wzoru [4]:

$$p = 0,418 \sqrt{\frac{P \cdot E}{r \cdot b}} \text{ [MPa]}, \quad (2)$$

gdzie:

$P$  - siła nacisku [N],

$E$  - średni moduł Younga dla materiału krzywki i popychacza, wynoszący  $1,6 \cdot 10^5$  MPa [4],

$r$  - promień krzywizny [mm],

$b$  - szerokość krzywki [mm].

Ponieważ badania przeprowadzono dla jednej pary materiałów przy stałym współczynniku tarcia, więc analiza wyników nie pozwala na uwzględnienie wpływu stosunku twardości  $HB_p/HB_k$  i współczynnika tarcia  $\mu$ .

Postawiono zatem hipotezę istnienia funkcji:

$$\frac{Z_v}{A \cdot l} = f\left(\frac{p}{HB_k}, \frac{l}{l_0}\right). \quad (3)$$

Hipotezę zweryfikowano i postać funkcji ustalono przeprowadzając regresję otrzymanych wyników i przeprowadzając test istotności współczynników regresji. Dodatkowo oceniano jakość aproksymacji za pomocą kwadratu współczynnika korelacji. Najwyższą jego wartość otrzymano dla funkcji w postaci:

$$\frac{Z_v}{A \cdot l} = c_0 \cdot \left(\frac{p}{HB_k}\right)^{c_1} \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{c_2}. \quad (4)$$

Wartości współczynników regresji wyniosły:

$$c_0 = 8,4 \cdot 10^{-7};$$

$$c_1 = 0,575;$$

$$c_2 = -0,315.$$

Kwadrat współczynnika korelacji wynosi 0,80. Oznacza to, że wyniki badań wykazują 20% rozrzut w stosunku do wartości obliczeniowych [5].

Wysoka wartość kwadratu współczynnika korelacji świadczy o dobrym opisie badanych zjawisk przez zbudowany model.

## 5. WNIOSKI

Przeprowadzone badania i obliczenia pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Parametrami eksploatacyjnymi, od których zależy wartość intensywności zużycia  $\frac{Z_v}{A \cdot l}$  żeliwa sferoidalnego są nacisk i przebieg wyrażony drogą tarcia elementów pary czarnej.

2. W badanym zakresie nacisku i liczby obrotów nie występują znaczące skoki intensywności zużycia spowodowane zmianą mechanizmów zużycia. Świadczy o tym możliwość opisania zależności intensywności zużycia od parametrów eksploatacyjnych za pomocą jednego równania.
3. W początkowym okresie zużywania dominującym mechanizmem zużycia jest utlenianie się warstwy wierzchniej połączone z oddzielaniem się od niej płatkowych produktów zużycia.
4. Zasadniczym mechanizmem zużywania się żeliwa sferoidalnego jest ścieranie się warstewki wytworzonej podczas współpracy. Warstewka ta składa się w ok. 80% z węgla i w ok. 13% z żelaza. Zawiera również ok. 1% tlenu.

## Literatura

1. Bolton P. J., Clayton P.: Rolling-sliding wear damage in rail and tyre steels. *Wear*, 93 (1984), s. 145-165.
2. Danks D., Clayton P.: Comparison of the wear process for eutectoid rail steels: Field and laboratory tests. *Wear*, 120 (1987), s. 233-250.
3. Clayton P.: Predicting the wear of rails on curves from laboratory data. *Wear* 181-183 (1995) s. 11-19.
4. Witaszek M.: Modelowanie zużycia stali na obręcze kół kolejowych zestawów kołowych na trwałość warstwy wierzchniej. W: Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport '97” Ostrava - Katowice 29.04 - 06.05.1997, s. 631-637.
5. Witaszek M., Adamiec P.: Modelowanie zużycia warstwy wierzchniej przy pomocy analizy wymiarowej. W: Sympozjum Naukowo-Techniczne „Technika laserowa w inżynierii powierzchni materiałów. WAT Warszawa, 19.11.1997.
6. Adamiec P., Witaszek M., Witaszek K., Stanik Z.: Modelowanie zużycia krzywek wału rozrządu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Transport*, nr 30, Gliwice 1998, s. 5-12.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Edmund Tasak

## Abstract

Rail wheels are often elements of two tribological pairs: wheel-rail and wheel-brake shoe. All elements of these pairs except brake shoe are made of steel. Brake shoes are made of cast iron.

In this work wear tests of spheroidal graphite iron specimens have been carried out. Results of these tests have been used to built a mathematical model of wear. That model describes influence of service conditions such as: maximum Herzian pressure, friction coefficient and sliding distance on linear wear intensity of iron elements.

Metallographic researches of the worn surfaces have been also carried out. Conclusions about wear mechanisms in tribological pair steel-iron, like rail wheel - brake shoe, have been presented.