



You have downloaded a document from  
**RE-BUŚ**  
repository of the University of Silesia in Katowice

**Title:** Wpływ obciążenia i prędkości obrotowej na zużycie stali bainitycznej w skojarzeniu ślizgowym na stanowisku Amslera

**Author:** Henryk Bąkowski, Grzegorz Służalek

**Citation style:** Bąkowski Henryk, Służalek Grzegorz. (2009). Wpływ obciążenia i prędkości obrotowej na zużycie stali bainitycznej w skojarzeniu ślizgowym na stanowisku Amslera. "Tribologia" (Nr 3 (2009), s. 11-18).



Uznanie autorstwa - Na tych samych warunkach - Licencja ta pozwala na kopiowanie, zmienianie, rozprowadzanie, przedstawianie i wykonywanie utworu tak długo, jak tylko na utwory zależne będzie udzielana taka sama licencja.

**Henryk BAKOWSKI\***, **Grzegorz SŁUŻAŁEK\*\***

**WPLYW OBCIĄŻENIA I PRĘDKOŚCI  
OBROTOWEJ NA ZUŻYCIE STALI  
BAINITYCZNEJ W SKOJARZENIU ŚLIZGOWYM  
NA STANOWISKU AMSLERA**

**THE INFLUENCE OF LOADS AND ROTATIONAL SPEEDS  
ON BAINITIC RAIL STEEL IN WEAR IN SLIDING PAIRS  
ON AN AMSLER STAND**

**Słowa kluczowe:**

zużycie przy tarcu ślizgowym, bainityczna stal szynowa, topografia powierzchni

**Key-words:**

sliding wear, bainitic rail steel, surface topography

**Streszczenie**

Podjęcie problemu zastosowania stali bainitycznej do produkcji szyn kolejowych oraz w jakich warunkach mają być one eksploatowane nie

---

\* Politechnika Śląska, Katedra Eksploatacji Pojazdów Samochodowych, ul. Z. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice, tel. 032 603 41 58, e-mail: henryk.bakowski@polsl.pl.

\*\* Uniwersytet Śląski, Wydział Informatyki i Nauki o Materiałach Katedra Materiałoznawstwa, Zakład Technologii Warstw Powierzchniowych, ul. Śnieżna 2, 41-200 Sosnowiec, tel. 032 603 41 52, e-mail: sluzalek@us.edu.pl

jest łatwym zadaniem. W związku z tym w ramach pracy przeprowadzono badania tribologiczne (na stanowisku Amslera) oraz metalograficzne i profilografometryczne śladów współpracy. Określono wpływ wybranych parametrów eksploatacji, tj. obciążenia ( $Q$ ) i prędkości obrotowej na zużycie i współczynnik tarcia stali o strukturze bainitycznej w skojarzeniu ślizgowym.

## WPROWADZENIE

W laboratoriach producentów szyn kolejowych trwają prace nad opracowaniem nowych gatunków stali [L. 1, 2]. Zamierzeniem jest opracowanie stali odpornej zarówno na zużycie ściernie, jak i na zmęczeniowe charakteryzujące się cyklicznym umocnieniem i pojawianiem uszkodzeń w postaci pęknięć i wykruszeń dopiero po pewnym czasie [L. 3].

W dotychczasowej literaturze brak jest danych dotyczących początków zatarcia stali szynowej o strukturze bainitycznej w zależności od zmiennych warunków eksploatacji. Niniejszy artykuł stanowi próbę wypełnienia tej luki. Dokonano w nim oceny wybranych właściwości tribologicznych bainitycznej stali szynowej w skojarzeniu ślizgowym w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych.

## BADANIA TRIBOLOGICZNE

Celem badań było określenie wpływu obciążenia i prędkości obrotowej na wybrane właściwości tribologiczne bainitycznej stali szynowej w skojarzeniu ślizgowym. Próbki wycięte z szyn, w postaci krążków, zostały poddane badaniom tribologicznym na stanowisku Amslera, pracującym w układzie rolka–klocek. Próbkę unieruchomiono na stałe, uzyskując 100% poślizg, odzwierciedlający warunki startu koła kolejowego po szynie. Skład chemiczny i właściwości mechaniczne badanej stali podano w **Tabelach 1 i 2**.

**Tabela 1. Analiza wytopowa i właściwości mechaniczne stali o strukturze bainitycznej**  
Table 1. Chemical composition and mechanical properties of the tested rail steel

C	Mn	Si	P	S	Cr	V	Mo
0,19	1,91	0,16	0,017	0,008	1,47	0,34	0,34
R <sub>m</sub> , MPa		R <sub>e</sub> , MPa		A, %		Twardość, HB	
1204		850		13,1		375	

W badanym skojarzeniu warunki badań zostały przyjęte zgodnie z istniejącymi w obiekcie rzeczywistym, tj. koło–szyna (**Tab. 2**).

**Tabela 2. Warunki badań w skojarzeniu ślizgowym**

Table 2. Test conditions in sliding pair

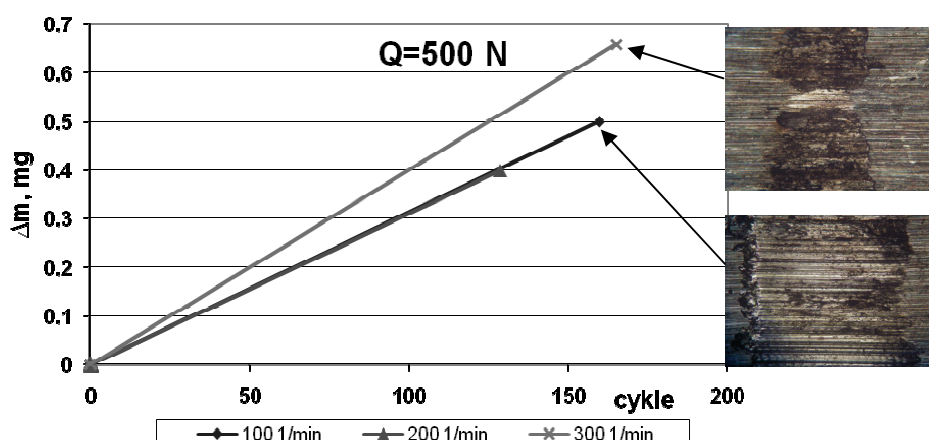
Obciążenie, N	500	600	700	800	900	1000
Prędkość obr., 1/min	100	100	100	100	100	100
	200	200	200	200	200	200
	300	300	300	300	300	300
Naprężenia, MPa	315,97	346,13	373,87	399,68	423,92	446,86

## ANALIZA WYNIKÓW

Na podstawie wyników badań tribologicznych opracowano zależności zużycia, współczynnika tarcia od obciążenia i prędkości obrotowej. Przeprowadzono badania profilografometryczne powierzchni śladu po współpracy. Przykłady uzyskanych zależności przedstawiono graficznie na **Rys. 1÷4**.

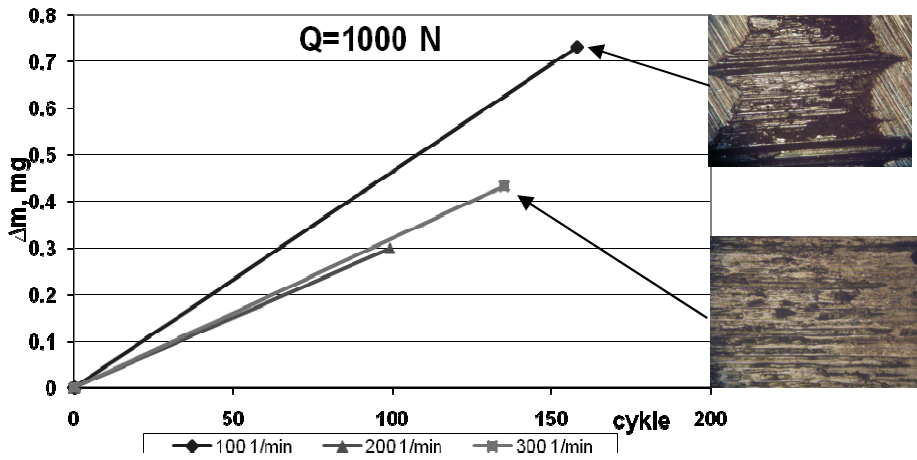
W ramach pracy przeprowadzono badania metalograficzne powierzchni śladu współpracy.

Przykładowy ślad zużycia przedstawiono na **Rys. 5**.



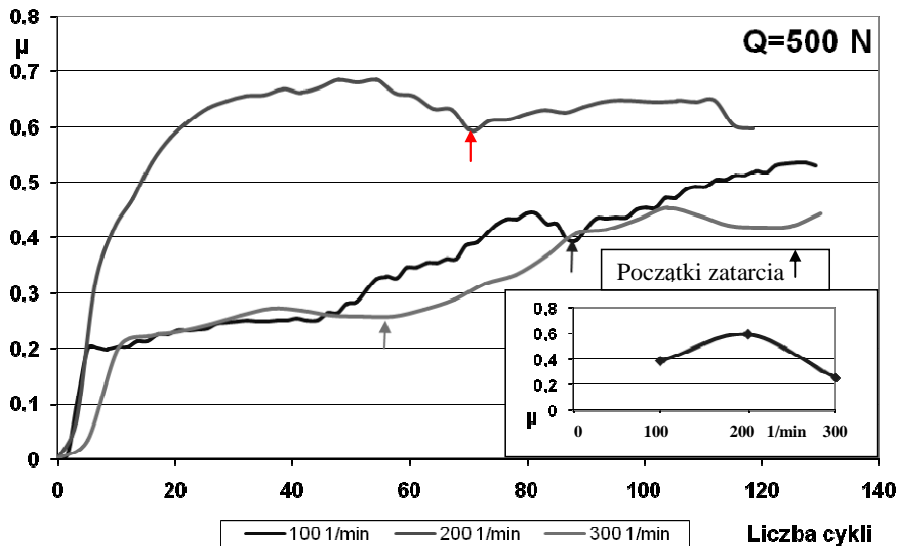
**Rys. 1. Ubytek masy  $\Delta m$  przy obciążeniu 500 N dla różnych prędkości obrotowych**

Fig. 1. Decrement mass  $\Delta m$  with 500 N loading for difference rotational speeds



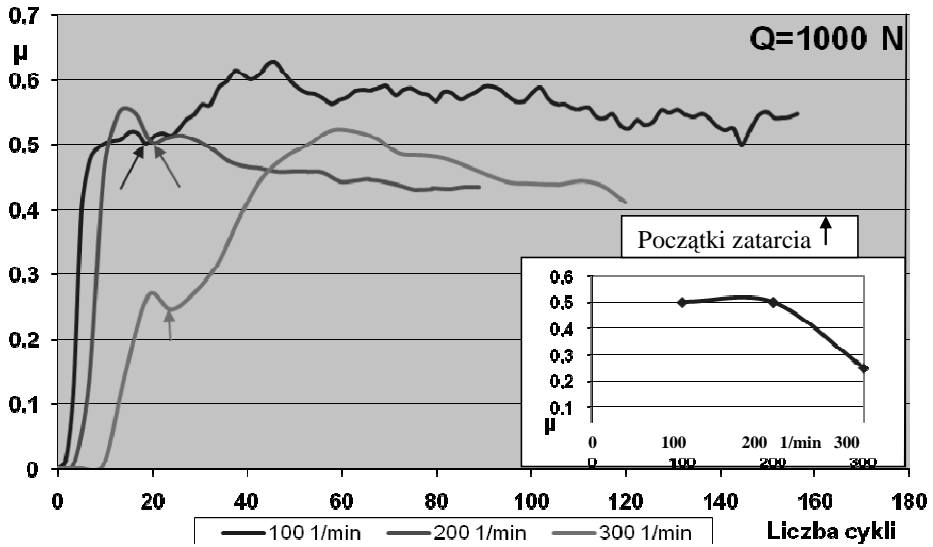
Rys. 2. Ubytek masy  $\Delta m$  przy obciążeniu 1000 N dla różnych prędkości obrotowych

Fig. 2. Decrement mass  $\Delta m$  with 1000 N loading for difference rotational speeds



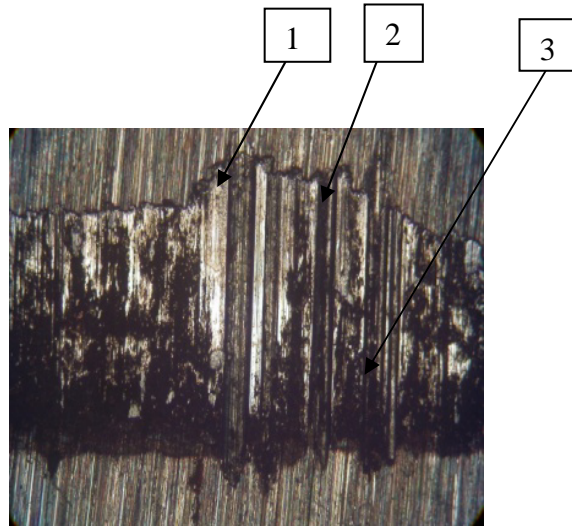
Rys. 3. Zależność współczynnika tarcia dla różnych prędkości obrotowych przy  $Q = 500 \text{ N}$

Fig. 3. Dependence coefficient of friction vs. difference rotational speeds with 500 N



Rys. 4. Zależność współczynnika tarcia dla różnych prędkości obrotowych przy  $Q = 1000\text{ N}$

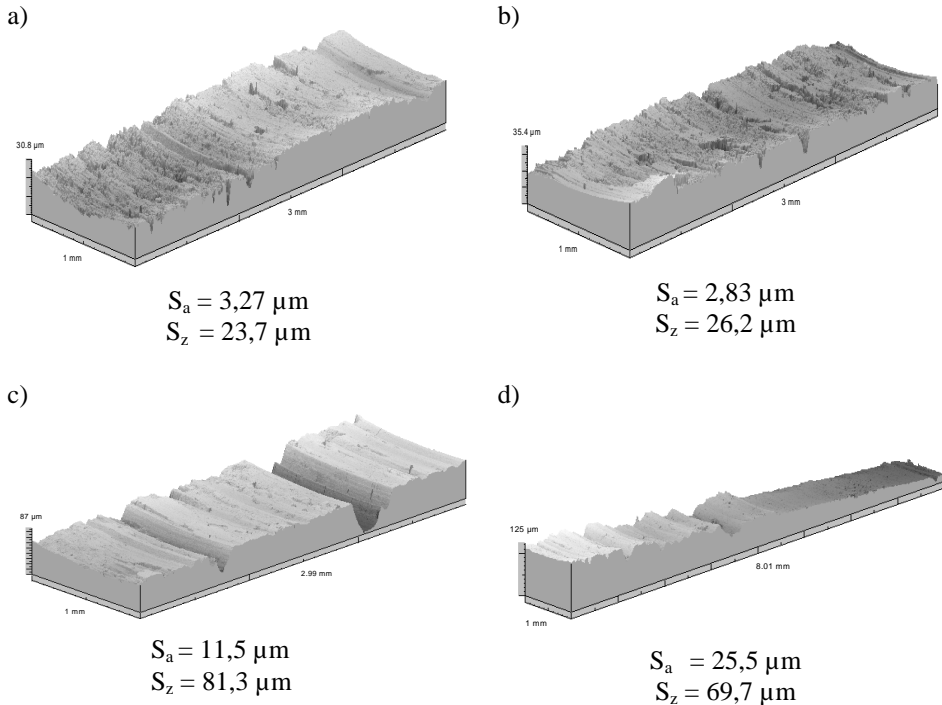
Fig. 4. Dependence coefficient of friction vs. difference rotational speeds with 1000 N



Rys. 5. Powierzchnia śladu po współpracy w skojarzeniu ślizgowym: 1 – powierzchnia metaliczna, 2 – bruzdy, 3 – tlenki lub wykruszenia

Fig. 5. Wear surface in sliding pair: 1 – oxide free surface after friction, 2 – ridging, 3 – oxides or spalling

Dopełnienie badań metalograficznych stanowią badania struktury geometrycznej powierzchni wykonane na profilografometrze Form Taly-Surf Series 2 produkcji Taylor Hobson. Obliczenia parametrów stereometrycznych oraz obrazy izometryczne powierzchni w ujęciu fotograficznym (3D) zostały opracowane za pomocą programu TalyMap Universal. Wyniki badań zaprezentowano na **Rys. 6**.



**Rys. 6. Topografia powierzchni po współpracy dla różnych parametrów eksploatacyjnych: a) 500 N, 100 1/min, b) 500 N, 300 1/min, c) 1000 N, 100 1/min, d) 1000 N, 300 1/min**

Fig. 6. Wear surface topography for difference operating parameters: a) 500 N, 100 1/min, b) 500 N, 300 1/min, c) 1000 N, 100 1/min, d) 1000 N, 300 1/min

## UWAGI KOŃCOWE

Badania tribologiczne przeprowadzone na maszynie do badania zużycia typu Amsler umożliwiły określenie wpływu parametrów eksploatacyjnych, tj. obciążenia i prędkości na wybrane właściwości tribologiczne (zużycie –  $\Delta m$ , współczynnik tarcia –  $\mu$ ). Dla obciążenia 500 N ubytek masy maleje z 0,5 mg do 0,4 mg ze wzrostem prędkości, by przy 300 1/min wzrosnąć

do 0,66 mg, co zostało przedstawione na **Rys. 1**. Zmiana wartości zużycia ma charakter paraboliczny, a zmiana ta jest podyktowana różnicą w rodzaju zużycia. Zmiana topografii powierzchni po współpracy powoduje zmianę współczynnika tarcia, przy czym dla powierzchni zużytej adhezyjnie (**Rys. 6b, d**), współczynnik wynosi  $\mu = 0,25$ , a przy zużyciu ściernym współczynnik tarcia wynosi  $\mu = 0,4$ . Na **Rys. 3 i 4** przedstawiono momenty pojawienia się zatarcia materiału. Oprócz charakterystycznego dźwięku, który występuje w chwili, kiedy materiał zaczyna się zacierać, zaobserwowano skokowy wzrost wartości współczynnika tarcia. Towarzyszy temu zjawisku pogarszanie się stanu powierzchni trących na skutek szybkiego rozwoju połączeń adhezyjnych pomiędzy wierzchołkami nierówności współpracujących powierzchni [**L. 4**].

Przy obciążeniu  $Q = 1000$  N krzywa zużycia ma charakter paraboliczny. Ubytek masy pomiędzy prędkościami 100 1/min i 200 1/min znacznie maleje i wynosi dla 100 1/min 0,7333 mg, 200 1/min 0,3 mg, a pomiędzy 200 1/min i 300 1/min nieznacznie rośnie i dla 300 1/min wynosi 0,433 mg. Prawdopodobnie powodem tego jest tworzenie się tlenków na powierzchni śladu zużycia, co powoduje spadek współczynnika tarcia, który dla 100 1/min i 200 1/min wynosi  $\mu = 0,5$ , a dla 300 1/min  $\mu = 0,25$ .

Na podstawie przeprowadzonych badań stanowiskowych sformułowano następujące wnioski:

1. W skojarzeniu ślizgowym w układzie rolka–klocek na stanowisku Amslera stwierdzono wpływ prędkości i obciążenia na wartości i rodzaj zużycia.
2. Mniejsza prędkość obrotowa (100 1/min) powoduje występowanie na powierzchni współpracy zużycia ściernego przy wyższej wartości współczynnika tarcia ( $\mu = 0,5$ ), natomiast większa prędkość obrotowa (300 1/min) powoduje występowanie zużycia adhezyjnego w rozpatrywanym skojarzeniu przy niższej wartości współczynnika tarcia ( $\mu = 0,25$ ).
3. Zmierzony ubytek masy generalnie rośnie wraz ze wzrostem prędkości dla mniejszych wartości obciążeń ( $Q = 500 - 800$  N), a maleje dla maksymalnej wartości obciążenia ( $Q = 1000$ ).

## LITERATURA

1. Viafara C.C., Castro M.I., Velez M.J., Toro A. Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels. *Wear* 259, 2005, p. 405–411.



2. Witaszek M.: The influence of load and sliding speed on dry sliding wear of a bainitic steel. Proceedings of 16th International Colloquium Tribology 2008. Esslingen 15 - 17.01.2008, 99.
3. Clayton P., Jin N.: Unlubricated sliding and rolling/sliding wear behavior of continuously colled, low/medium carbon bainitic steels. Wear 200, 1996, p. 74–82.
4. Witaszek M., Bąkowski H.: The influence of dry, rolling - sliding friction conditions on the wear of a rail steel mated with hardened tyre steel. Tribologia, 3/2007 (213), 389–400.

**Recenzent:**  
**Paweł PIEC**

### Summary

**The developing world industry causes an increase in transport and train speeds. In this way, the rolling-sliding contact surface of rails subject to load lead to effort placed on material. The result of effort is increase stresses in subsurface contact. The forming and growing damages on the surface and subsurface in rolling-sliding contact depend on load and stresses and on the characteristic of rail material in the region of most effort of the rail area. Except external factors, the stress levels have an influence on internal stresses of sliding surface topography, since geometrical and structure notch causes stress concentration. The main aims of this work were determining how loads and speeds influence the values of wear and friction coefficients of rail steel of bainitic structure in sliding couples plus graphic interpretation research results from our experience and metalographic research. The scope of our work included performing tests on samples of rail steel of bainitic structure and tribological research on an Amsler stand. These investigations have been carried out for one-to-one mapping to the wheel-rail system at the beginning of movement. During interaction in wheel-rail system, different effects proceed. Wear rate is different for individual working states depending on loads and speeds.**