

Henryk BĄKOWSKI, Marcin KRUPA

## ZUŻYCIE STALI PERLITYCZNEJ W STYKU SUCHYM I SMAROWANYM NA STANOWISKU AMSLERA

**Streszczenie.** W ramach pracy przeprowadzono badania zużycia stali szynowej w gatunku 900A na stanowisku Amslera w układzie rolka – rolka, w styku toczno-ślizgowym w obecności, jak i przy braku medium smarnego. Stwierdzono, że zużycie w formie ubytku masy wzrasta wraz z czasem badania. Wielkość produktów zużycia jest większa w przypadku styku suchego niż w styku smarowanym.

## WEAR OF PERLITIC STEEL IN DRY AND LUBRICATED CONTACT ON AMSLER STAND

**Summary.** Research of wear of the rail steel in grade 900A on the Amsler stand in the roller – roller system in the rolling – sliding contact in the presence of water and without water as the lubrication medium has been carried out. It has been found the weight loss of tested steel increases with the research time. The size of products of wear is bigger in the dry contact than in the wet one.

### 1. WPROWADZENIE

Dynamiczny wzrost przewozów związany z systematycznym wzrostem jednostkowego nacisku osi i wzrostem prędkości jazdy wielokrotnie występowanie naprężeń kontaktowo-zmęczeniowych. W celu ograniczenia oddziaływania naprężeń kontaktowo-zmęczeniowych na trwałość szyn do eksploatacji wprowadzono szyny cięższych typów, produkowane ze stali o coraz wyższej wytrzymałości i czystości metalurgicznej oraz szyny obrobione cieplnie.

Szyny obrabiane cieplnie o wysokich własnościach mechanicznych należy zaliczyć do szyn wyższej jakości na poziomie światowym. Własności takie można uzyskać przez odpowiedni dobór pierwiastków stopowych w stali i jej mikrostrukturę. Szyny takie powinny być dostatecznie odporne na ścieranie i pęknięcia zmęczeniowe, zatem należy je stosować w torach najbardziej obciążonych oraz w intensywnym podmiejskim ruchu. Szyny kolejowe powinny się charakteryzować dużą wytrzymałością na zginanie, skręcanie i ścieranie oraz odpornością na pęknięcia [1]. Obecność wody na powierzchni styku koła – szyna powoduje przyspieszone odrywanie się produktów zużycia w formie łusek, płatków i płytek, a w konsekwencji prowadzi do przyspieszonego zużycia samej szyny [2].

W pracy badano wpływ obecności lub braku medium smarnego (wody) na zużycie stali perlitycznej w styku toczno-ślizgowym w układzie rolka – rolka, w celu określenia warunków oraz parametrów eksploatacyjnych prowadzących do powstania na powierzchni oraz tuż pod nią zmęczeniowych procesów zużycia w postaci łusek oraz płatków odrywających się od powierzchni badanego materiału.

## 2. MATERIAŁY STOSOWANE W BADANIACH

W badaniach wykorzystano stal perlityczną w gatunku 900A obrobioną cieplnie, stosowaną do produkcji szyn kolejowych typu UIC 60, o składzie chemicznym i własnościach mechanicznych podanych w normie UIC 860 (tablica 1).

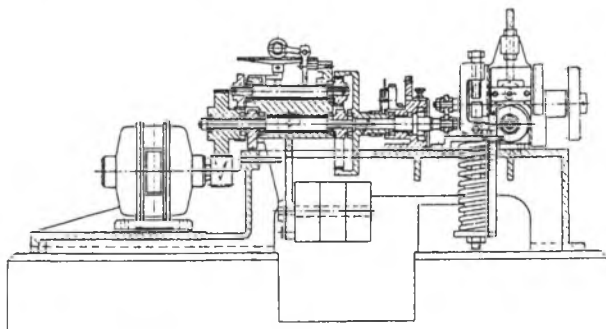
Tablica 1

Analiza wytopowa oraz własności mechaniczne szyny UIC 60 ze stali w gatunku 900A [3]

Oznaczenie stali szynowej	Zawartość pierwiastka, %								
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al
900A	0,730	1,040	0,300	0,019	0,013	0,020	0,010	0,030	0,003
	Własności mechaniczne								
	R <sub>e</sub> [MPa]		R <sub>m</sub> [MPa]		A <sub>5</sub> [%]		KCU <sub>2</sub> [J/cm <sup>2</sup> ]		HB
	750		1230		13,6		31		356

## 3. URZĄDZENIA WYKORZYSTYWANE DO BADAŃ

W czasie badań dokonywano pomiaru ubytków wagowych oraz obserwacji powierzchni próbek, a także rejestrowano produkty zużycia w formie drobnych płytek. Przeprowadzono badania na maszynie Amsler w układzie rolka – rolka. Urządzenie to umożliwia badania modelowe symulujące współpracę koło – szyna. Przekrój i widok ogólny stanowiska przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Maszyna do badania tarcia i zużycia typu Amsler – przekrój wzdłużny [4]

Fig. 1. Amsler type machine to research friction and wear [4]

Tablica 2

Parametry eksploatacyjne stanowiska typu Amsler

Charakterystyka badań stali	Rodzaj styku	Prędkość obrotowa n obr/min	Obciążenie Q N	Poślizg γ%	Nacisk P <sub>h</sub> MPa	Srednica próbki d <sub>p</sub> i przeciwpróbki d <sub>T</sub> mm
900A	suchy i smarowany	200	200	0,3	258	d <sub>p</sub> = 44,00 d <sub>T</sub> = 39,97

## 4. PRZEBIEG I WYNIKI BADAŃ

Doświadczenia na modelach powinny być prowadzone zgodnie z wymogami teorii podobieństwa, inaczej uzyskane wyniki nie mogą być przenoszone na rozpatrywany obiekt rzeczywisty. Analiza wymiarowa pozwala na określenie kryteriów podobieństwa lub skal wielkości fizycznych w modelu [5].

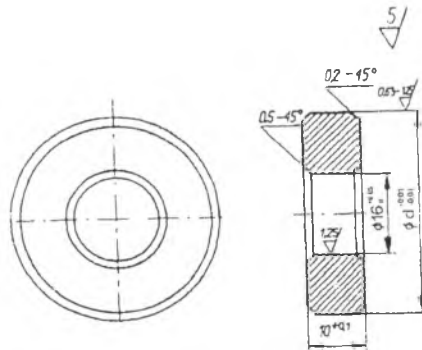
W przypadku zachowania geometrycznego podobieństwa uzyska się w modelu te same naciski  $p_h$ , co w obiekcie, gdy zachowany będzie warunek (1):

$$\frac{P}{L \cdot R} = \frac{P'}{L' \cdot R'} \quad (1)$$

gdzie:

- $P$  - obciążenie w obiekcie rzeczywistym N,
- $L$  - długość styku w obiekcie rzeczywistym mm,
- $R$  - promień zastępczy w obiekcie rzeczywistym mm,
- $P'$  - obciążenie w modelu N,
- $L'$  - długość styku w modelu mm,
- $R'$  - promień zastępczy w modelu mm.

Według Claytona [6] w celu otrzymania spodziewanego efektu intensywnego zużycia zmęczeniowo-kontaktowego nacisk powinien wynosić  $p_0 < 1000$  MPa, a poślizg  $\gamma < 4\%$ . Próbkę do badań otrzymano ze stali szynowej w gatunku 900A w postaci rolek o szerokości 10 mm (rys. 2). Jako przeciwpróbkę wykorzystano stal łożyskową ŁH 15 o twardości 62 HRC [7].



Rys. 2. Wymiary geometryczne próbki  
Fig. 2. Geometrical dimensions of specimen

W celu obliczenia maksymalnych nacisków Hertza  $p_h$  na powierzchni badanych próbek zastosowano empiryczny wzór (2):

$$p_h = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot E \cdot (d_p + d_T)}{a \cdot d_p \cdot d_T}} \quad (2)$$

gdzie:

- $Q$  - siła docisku N,
- $E$  - moduł Younga =  $2 \cdot 10^5$  MPa,
- $d_T$  - promień przeciwpróbki mm,

$d_p$  - promień próbki mm,

$a$  - szerokość styku mm.

Do obliczenia poślizgu wykorzystano wzór (3):

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1,104 \cdot d_T - d_p)}{1,104 \cdot d_T + d_p} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

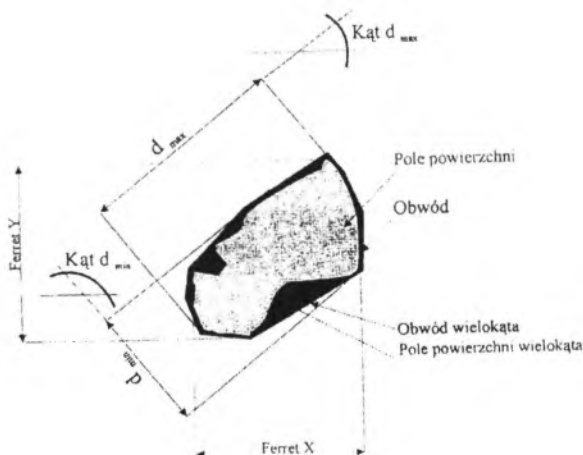
$d_T$  - promień przeciwp próbki w mm,

$d_p$  - promień próbki w mm,

$\gamma$  - poślizg w %.

Podczas badań tworzyły się produkty zużycia w formie drobnych cząstek (płytek) w miejscu kontaktu dwóch współpracujących ze sobą rolek.

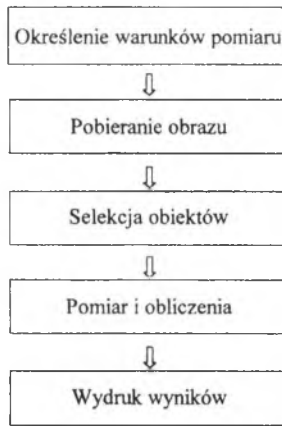
Pomiar wielkości produktów zużycia wykonano za pomocą mikroskopu optycznego wyposażonego w kamerę telewizyjną umożliwiającą rejestrację i komputerową analizę wielkości uzyskanych płytek. Zdjęcia płytek pozwoliły na ilościową ocenę produktów zużycia. Podstawowe parametry ilościowej oceny wielkości produktów zużycia przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Podstawowe parametry ilościowej oceny wielkości produktów zużycia  
Fig. 3. Basic parameters of quantitative estimation of size products of wear

Przeprowadzając analizę liniową regresji za pomocą metody najmniejszych kwadratów, dopasowano prostą zużycia do zbioru czynników eksperymentalnych. W ten sposób otrzymano zmienne niezależne - wielkości pomiarowe, z których wybrano pole powierzchni, obwód i średnice cząstek, które wpływają na wartość pojedynczej zmiennej zależnej - ubytek masy.

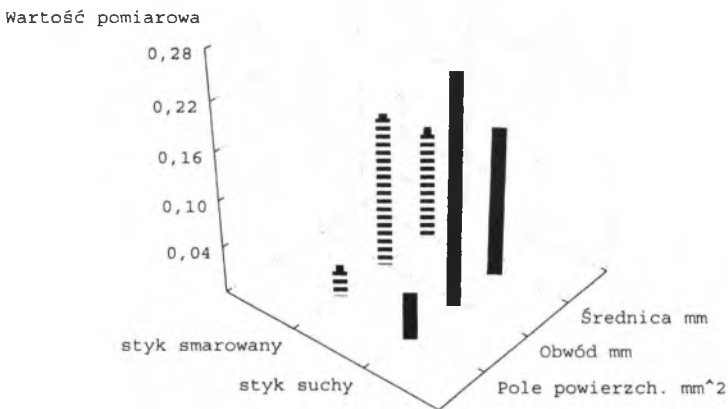
Do analizy wielkości uzyskanych produktów zużycia podczas badań wykorzystano program MET-ILO, przeznaczony do ilościowej oceny obrazów. Poszczególne etapy przygotowania i obróbki danych przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Algorytm analizy ilościowej produktów zużycia

Fig. 4. Algorithm analyses of quantitative estimation of size products of wear

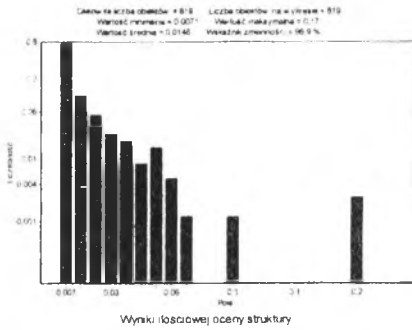
Wybrane wielkości pomiarowe, tj. pole, obwód i średnica cząstek, umożliwiły określenie formy produktów zużycia. Obecność wody spowodowała, że uzyskano cząstki o mniejszej wielkości, natomiast w warunkach tarcia suchego płytki są większe (rys. 5).



Rys. 5. Zależność wielkości pomiarowych produktów zużycia (pola powierzchni, obwodu i średnicy) od rodzaju styku

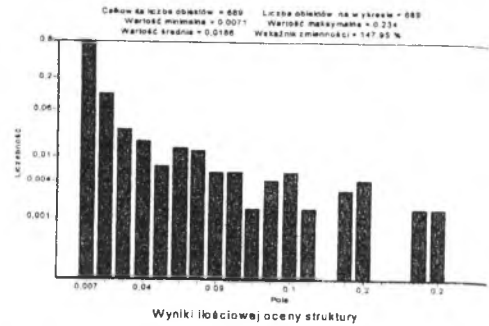
Fig. 5. Measurement size of products of wear versus kind of contact

Analiza wielkości produktów zużycia przy wykorzystaniu programu MET-ILO wykazała, że uzyskane histogramy rozkładu zarówno pola powierzchni, obwodu, jak i średnicy produktów zużycia w styku suchym i smarowanym można opisać za pomocą funkcji wykładniczych (rys. 6, 7, 8, 9, 10, 11).



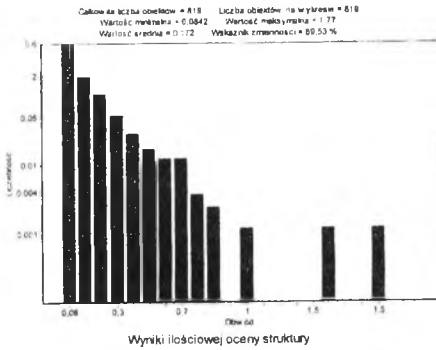
Rys. 6. Histogram rozkładu pola powierzchni produktów zużycia w styku suchym

Fig. 6. Surface area histogram of the wear products in the dry contact



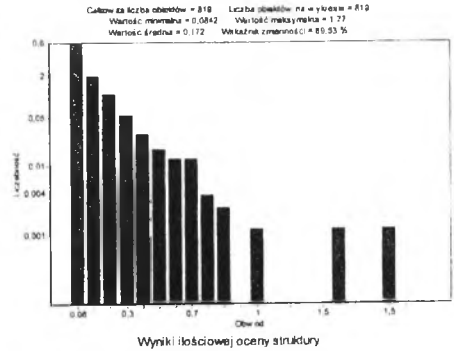
Rys. 7. Histogram rozkładu pola powierzchni produktów zużycia w styku smarowanym

Fig. 7. Surface area histogram of the wear products in the wet contact



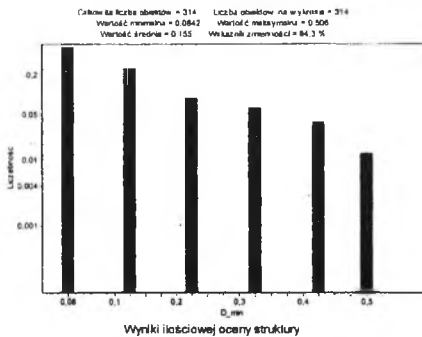
Rys. 8. Histogram rozkładu obwodu produktów zużycia w styku suchym

Fig. 8. Circuit histogram of the wear products in the dry contact



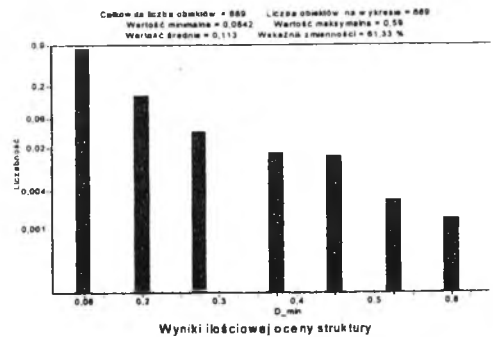
Rys. 9. Histogram rozkładu obwodu produktów zużycia w styku smarowanym

Fig. 9. Circuit histogram of the wear products in the wet contact



Rys. 10. Histogram średnicy produktów zużycia w styku suchym

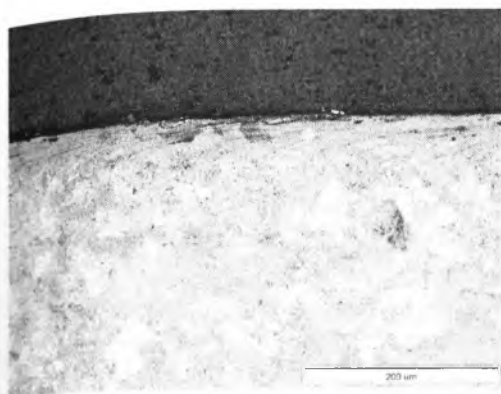
Fig. 10. Diameter histogram of the wear products in the dry contact



Rys. 11. Histogram średnicy produktów zużycia w styku smarowanym

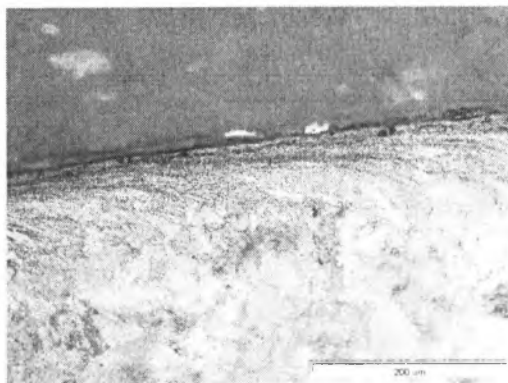
Fig. 11. Diameter histogram of the wear products in the wet contact

Na rys. 12, 13, 14, 15 przedstawiono widok odkształconej warstwy wierzchniej próbek wykonanych ze stali szynowej w gatunku 900A.



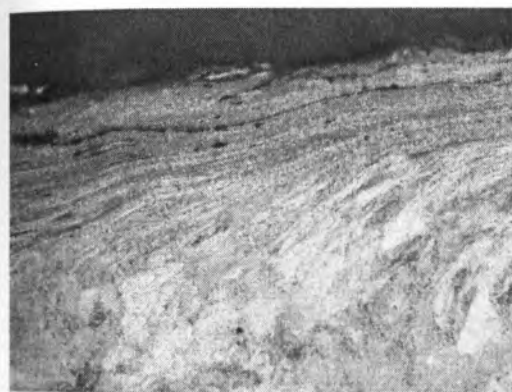
Rys. 12. Widoczne pęknięcia warstwy wierzchniej i tworzenie się produktu zużycia. Styk suchy

Fig. 12. Surface layer cracking and the wear product formation. Dry contact



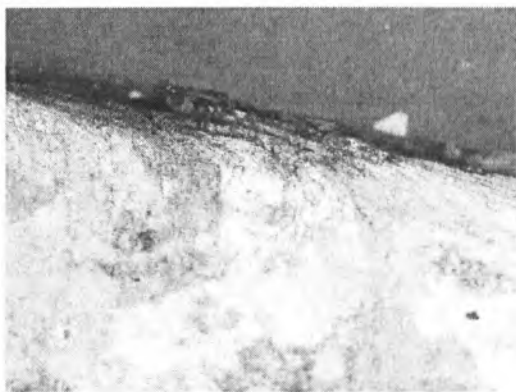
Rys. 13. Widok odkształconej warstwy wierzchniej. Widoczne pęknięcia. Styk smarowany

Fig. 13. Cracking and deformation of surface layer. Wet contact



Rys. 14. Widok warstwy odkształconej (tzw. ratchetting). Początek tworzenia się pęknięć podpowierzchniowych. Styk suchy. Pow. 500x

Fig. 14. Deformation of surface layer (ratchetting). Initiation of subsurface cracks. Dry contact. Mag. 500x



Rys. 15. Faza odrywania się cząstki z warstwy wierzchniej. Warstwa odkształcona (tzw. ratchetting). Styk smarowany. Pow. 500x

Fig. 15. The phase of tearing off particle from surface layer. Deformation of surface layer (ratchetting). Wet contact. Mag. 500x

## 5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych badań stali perlitycznej w gatunku 900A po obróbce cieplnej oraz analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że:

- badania w układzie rolka – rolka na stanowisku Amslera umożliwiają ocenę procesu zużycia poprzez obserwację zmian zachodzących na powierzchniach próbek w zależności od liczby cykli,
- zużycie w formie ubytku masy wzrasta wraz z czasem badania próbki. Analiza ilościowa produktów zużycia umożliwiła określenie takich wielkości, jak: pole powierzchni, obwód i średnica. Wielkość tychże płatków jest mniejsza w przypadku styku toczno-ślizgowego w obecności wody niż w styku suchym,
- obecność warstwy odkształconej (ratchetting) w styku suchym jest większa ( $130 \mu\text{m}$ ) niż w styku smarowanym (ok.  $80 \mu\text{m}$ ). Zapoczątkowanie i rozwój pęknięcia następują pod powierzchnią styku, które następnie propaguje ku powierzchni.

## Literatura

1. Bartyzel J., Hernas A.: Własności użytkowe szyn kolejowych wytwarzanych z wsadu odlewanego metodą ciągłą. Hutnik nr 4, 1999.
2. Bogdański S.: Rozwój pęknięć zmęczeniowych w strefie kontaktu w obecności płynu. Praca Naukowa Politechniki Warszawskiej Instytutu Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej 1998.
3. Dane źródłowe z Huty Katowice – Analiza wytopowa.
4. Verschleissprüfmaschine für Metalle. Bauart Amsler. Typ A 135.
5. Miller L.: Zastosowanie analizy wymiarowej. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1983.
6. Clayton P.: Rolling contact fatigue of a rail steel. Department of Materials Science and Engineering. Beaverton 1986.
7. PN – 84/H – 04332.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Roman Kuziak

## Abstract

The wear rail steel with heat treatment in dry and wet contact was different. Presence higher deformation layer surface (ratchetting) in dry contact then wet contact has been found. Increase mass decrement with time research of wear has been found. Analyses of quantitative estimation of size products of wear has been observed decrease products of wear in wet contact then dry contact.