

Henryk BĄKOWSKI

WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH NA ZUŻYCIE ELEMENTÓW SKOJARZENIA TOCZNO-ŚLIZGOWEGO W OBECNOŚCI PŁYNU

Streszczenie. W ramach pracy przeprowadzono badania wpływu wybranych parametrów eksploatacyjnych na zużycie stali szynowej, o strukturze perlitycznej, po obróbce cieplnej w obecności wody przy tarcu toczno-ślizgowym.

INFLUENCE CHOOSING OPERATION FACTORS ON PROCESS OF WEAR IN ROLLING – SLIDING PAIRING AT THE FLUID PRESENT

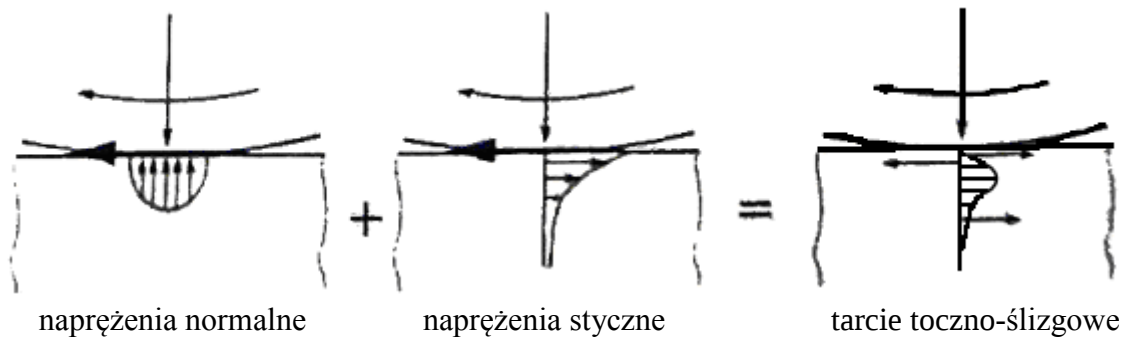
Summary. Investigations influence choosing operation factors on the process of wear of pearlitic rail steel after heat treatment in lubricated rolling-sliding contact have been carried out.

1. WPROWADZENIE

W trakcie współpracy zestawu koło-szyna, smarowane lub pozostające w styku suchym elementy poddawane są procesom zużywania. W przypadku elementów pracujących przy tarcu ślizgowym (prędkości obu ciał w punktach ich wzajemnego styku są różne) najczęściej występuje proces zużycia quasi-statycznego, charakteryzujący się ubytkiem materiału z powierzchni trących od samego początku pracy obiektu. W różnych etapach pracy w zależności od występujących obciążeń oraz prędkości różna jest także intensywność zużycia. W odniesieniu do elementów pracujących przy tarcu tocznym (prędkości obu ciał w punktach ich wzajemnego styku są równe, a czas trwania styku tych punktów w przypadku ciał idealnie sztywnych dąży do zera) mamy do czynienia z zużyciem dynamicznym. Taki rodzaj zużycia charakteryzuje się brakiem ubytku materiału z powierzchni tarcia w pierwszych etapach pracy oraz procesem narastania zmian w materiale warstwy wierzchniej (kumulacja odkształceń).

Jak wynika z badań innych autorów [1], wzrost obciążenia powoduje zwiększone zużycie we wszystkich rodzajach zużycia, chociaż nie zawsze wzrost ten jest proporcjonalny do wzrostu obciążenia, ponieważ wpływa na to wiele innych czynników. Przeprowadzane badania dowodzą, iż zwiększająca się prędkość obrotowa powoduje redukcję wielkości zużycia. Zwiększenie prędkości prowadzi do zmniejszenia intensywności zużycia z powodu występowania warstwy tlenków na powierzchni pod wpływem wydzielanego ciepła [1].

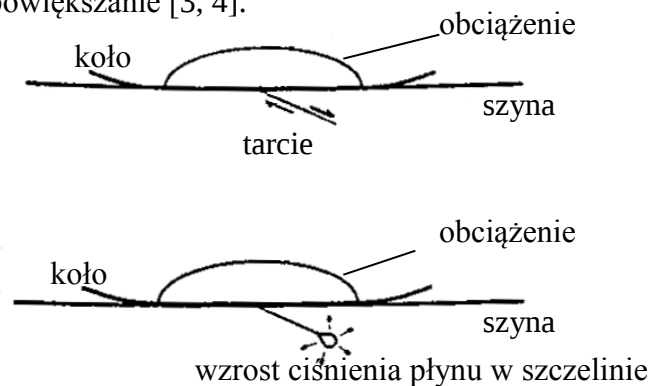
Odmienny rozkład naprężeń występuje, gdy w obszarach styku ma miejsce poślizg pomiędzy współpracującymi elementami (rys. 1). Poślizg wywołany jest siłami przyspieszenia, hamowania bądź wynikającymi z jazdy po łuku. W wyniku oddziaływania poślizgu siły przekazywane przez koło do szyny przez obszar styku prowadzą do zainicjowania dużych sił tarcia na powierzchni szyny [2].



Rys. 1. Rozkład naprężeń w styku koło-szyna z uwzględnieniem poślizgu [3]

Fig. 1. Distribution of stresses in wheel-rail system with sliding [3]

Badania dotyczące mechanizmów zużycia w styku toczno-ślizgowym prowadzone są w bardzo szerokim zakresie. Jeden z wielu badanych procesów stanowi mechanizm zużywania w obecności medium smarnego. W takim styku, poza oddziaływaniem zużycia dynamicznego (pitting), występuje zjawisko propagacji pęknięć zmęczeniowych w wyniku rozpięającego działania cieczy. Proces ten jest ściśle związany z tzw. efektem zamknięcia płynu w szczelinie, podczas którego dochodzi do zamknięcia obecnego w szczelinie płynu w czasie przetaczania koła przez obszar kontaktu. Zamknięcie cieczy powoduje efekt zwarcia krawędzi szczeliny, wymuszonego obciążeniem kontaktowym, przy rozchylonych ścianach pęknięcia w jej wnętrzu. Przyjmuje się, że w chwili zamykania krawędzi szczeliny (rys. 2) pomiędzy jej rozchylonymi ścianami poniżej krawędzi znajduje się płyn, który dostał się do wnętrza szczeliny z zewnętrznej powierzchni kontaktowej. W momencie zamknięcia szczeliny w jej wnętrzu panuje wysokie ciśnienie płynu, które oddziałuje na ścianki szczeliny powodując jej powiększanie [3, 4].

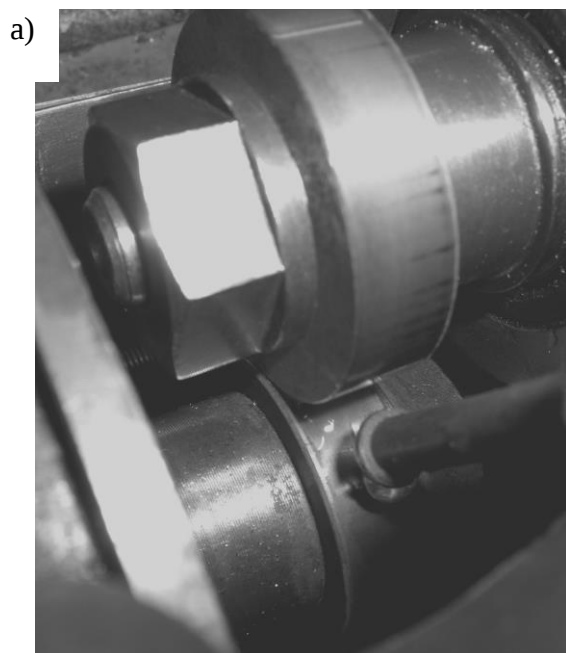


Rys. 2. Schemat przedstawiający zamknięcie płynu w szczelinie [4]

Fig. 2. Scheme of crack with fluid closing [4]

2. WARUNKI I PRZEBIEG BADAŃ

Badania przeprowadzono na maszynie typu Amsler (rys. 3) w układzie rolka-rolka, w oparciu o cząstkowy, poliselekcyjny plan eksperymentu według Hartleya. Plan eksperymentu pozwolił na określenie wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych na zużycie.



b)

Element	Materiał	Średnica rolki, mm
	Twardość	
Próbka	R260	38
	330 HB	
Przeciwpróbka	102Cr6	34,5
	62 HRC	35,1 36,2

Rys. 3. Widok węzła tarcia wraz z doprowadzeniem medium smarnego do styku (a), oraz wymiary geometryczne i materiały rolek (b)

Fig. 3. View kinematic pair with lubricated contact (a) and geometrical dimension disk with material dates (b)

W celu określenia wpływu parametrów eksploatacyjnych plan eksperymentu wymagał wyznaczenia granicznych wartości wielkości wejściowych, dla których przeprowadzono pomiary wartości wielkości wyjściowych. Na podstawie planu eksperymentu, który zakładał trzy poziomy czynnika sterowanego (parametry eksploatacyjne w skali rzeczywistej), tj. minimalny oznaczony przez „-1”, centralny „0” i maksymalny „+1”, przeprowadzono pomiary wartości zużycia jako ubytku masy [5]. Dla obciążenia wartości kształtowały się od 500 N do 2000 N, dla poślizgu był to przedział od 0,3% do 5%, a dla prędkości obrotowej od 100 min^{-1} do 300 min^{-1} (tabl. 1).

Tablica 1

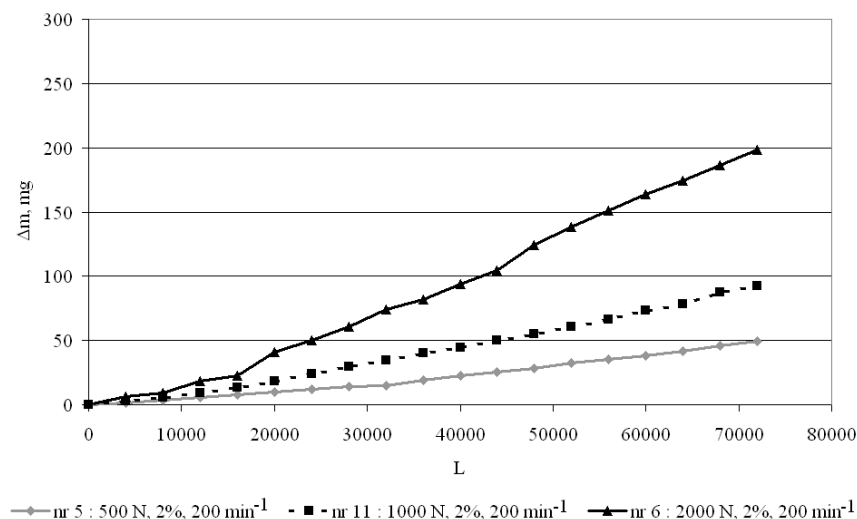
Częstkowy, poliselekcyjny plan eksperymentu według Hartleya

Nr próby	Parametry eksploatacyjne w skali unormowanej			Parametry eksploatacyjne w skali rzeczywistej		
	Obciążenie Q, N	Poślizg γ , %	Prędkość obrotowa n, min^{-1}	Obciążenie Q, N	Poślizg γ , %	Prędkość obrotowa n, min^{-1}
1	-1	-1	+1	500	0,3	300
2	+1	-1	-1	2000	0,3	100
3	-1	+1	-1	500	5,0	100
4	+1	+1	+1	2000	5,0	300
5	-1	0	0	500	2,6	200
6	+1	0	0	2000	2,6	200
7	0	-1	0	1000	0,3	200
8	0	+1	0	1000	5,0	200
9	0	0	-1	1000	2,6	100
10	0	0	+1	1000	2,6	300
11	0	0	0	1000	2,6	200

Smarowanie współpracujących powierzchni przeprowadzone zostało sposobem kropelkowym [6]. Rodzaj środka smarnego (woda deszczowa) oraz wartości graniczne czynników eksploatacji dobrano zgodnie z warunkami współpracy w obiekcie rzeczywistym, tj. koło-szyna na wybranym warunkami odcinku toru PKP na Śląsku.

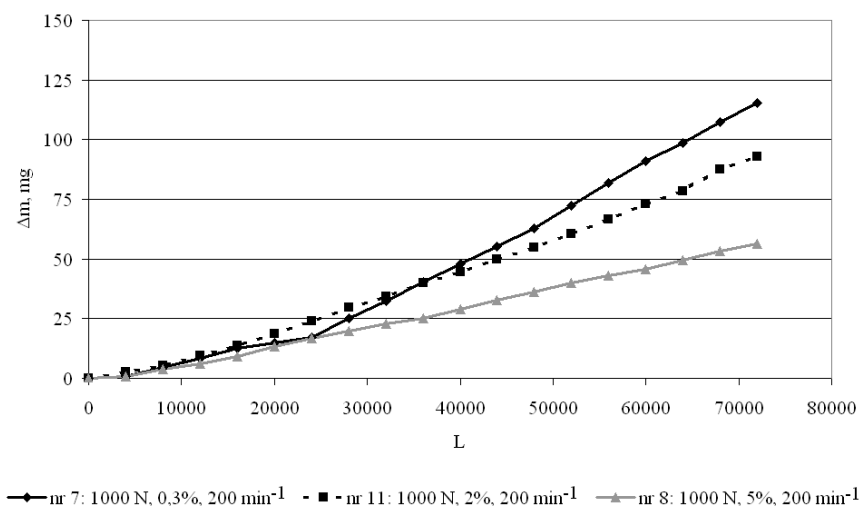
3. WYNIKI BADAŃ

Porównanie wpływu wybranych czynników eksploatacyjnych (Q , γ , n) na ubytki masy poszczególnych próbek przedstawiono na rysunkach 4, 5, 6.



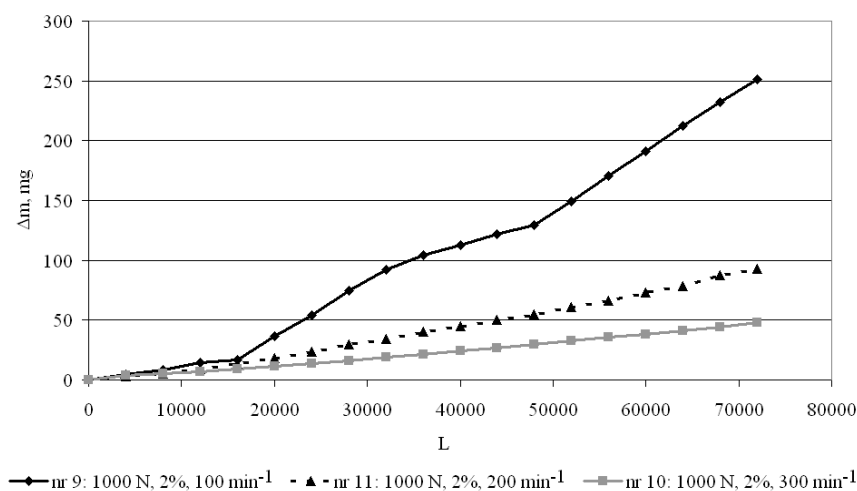
Rys. 4. Zależność ubytku masy (Δm) od liczby cykli (L) przy stałej wartości prędkości obrotowej (n) i poślizgu (γ) dla różnych wartości obciążenia (Q)

Fig. 4. Decrement mass (Δm) versus number of cycles (L) for constant speed of rotation (n) and sliding (γ) with different loading values (Q)



Rys. 5. Zależność ubytku masy (Δm) od liczby cykli (L) przy stałej wartości obciążenia (Q) i prędkości obrotowej (n) dla różnych wartości poślizgu (γ)

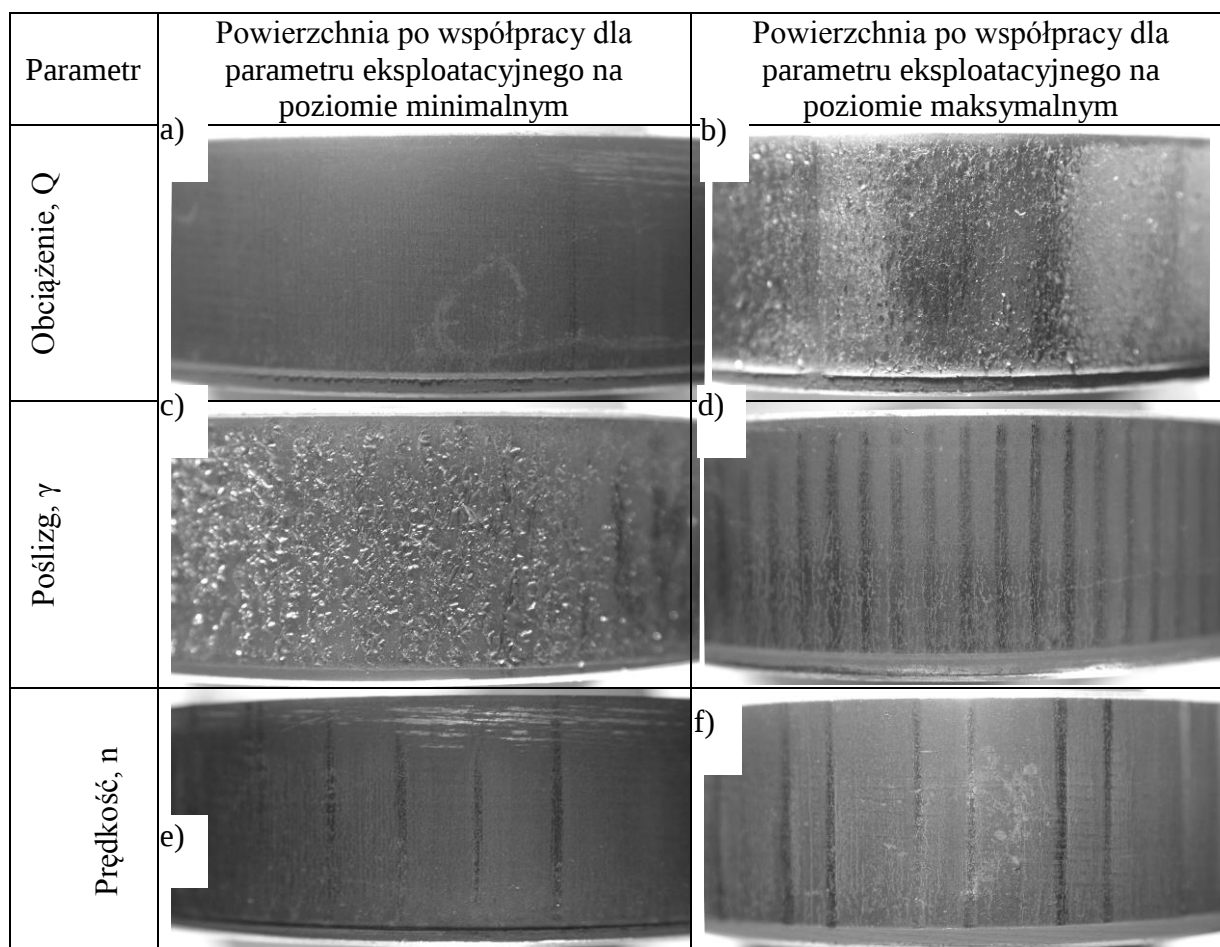
Fig. 5. Decrement mass (Δm) versus number of cycles (L) for constant loading (Q) and speed of rotation (n) with different sliding values (γ)



Rys. 6. Zależność ubytku masy (Δm) od liczby cykli (L) przy stałej wartości obciążenia (Q) i poślizgu (γ) dla różnych wartości prędkości obrotowej (n)

Fig. 6. Decrement mass (Δm) versus number of cycles (L) for constant loading (Q) and sliding (γ) with different speed of rotation (n)

W trakcie badań tribologicznych wykonywano makroskopowe badania metalograficzne. Na rysunku 7 zestawiono powierzchnie próbek o skrajnych wartościach parametrów badań w celu określenia stanu powierzchni współpracujących ze sobą rolek.



Rys. 7. Widok powierzchni próbek po współpracy dla różnych czynników eksploatacyjnych

Fig. 7. Surface view of specimens for different operational factors

4. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Porównując wpływ obciążenia na zużycie wagowe badanych próbek stwierdzono, że wraz ze wzrostem obciążenia rośnie również wartość ubytku masy próbek (rys. 4). Przy minimalnym obciążeniu próbka zużywa się w sposób umiarkowany, przy czym widoczny jest wpływ zużycia przez utlenianie (rys. 7a). W przypadku próbki poddanej obciążeniu maksymalnemu zmiany na powierzchni były inne, gdyż powierzchnia tarcia uległa z czasem wyblyszczeniu pod wpływem dużego obciążenia (rys. 7b).

Analizując wpływ poślizgu zaobserwowano wyraźne łuszczenie się powierzchni, co świadczy o zmęczeniowym charakterze zużycia. W miarę wzrostu wartości poślizgu proces łuszczenia (rys. 7c) zanikał na rzecz pojawiania się poprzecznych prążków, co mogło być spowodowane pojawieniem się znacznej siły stycznej i zmianą charakteru zużycia (rys. 7d). Porównanie wpływu poślizgu na wartość zużycia wagowego próbek, przy stałych wartościach obciążenia i prędkości obrotowej, pozwoliło na stwierdzenie, że wzrost wartości poślizgu powoduje redukcję wartości zużycia wagowego (rys. 5).

Obserwacja wpływu prędkości obrotowej na zmiany zachodzące na powierzchni próbek umożliwiła zdefiniowanie wiodącego procesu zużywania przez utlenianie. Proces ten najintensywniej przebiegał dla maksymalnej wartości czynnika eksploatacyjnego (rys. 7e). Pojawienie się poprzecznych prążków spowodowane jest najprawdopodobniej działaniem siły stycznej, która rośnie wraz ze wzrostem prędkości, dlatego zwiększenie prędkości obrotowej powoduje zagęszczenie prążków (rys. 7f). Zużycie próbek przy stałej wartości poślizgu i obciążenia, wraz ze wzrostem wartości prędkości obrotowej powoduje zmniejszenie wartości zużycia wagowego (rys. 6). Zwiększająca się prędkość skraca czas przebywania w kontakcie mikronierówności współpracujących powierzchni, co znacznie zmniejsza intensywność zachodzenia mechanizmów zużycia.

Na podstawie ww. uwag sformułowano następujące wnioski:

- różne wartości czynników eksploatacyjnych determinują rodzaj zużycia w skojarzeniu toczno-ślizgowym w obecności medium smarnego,
- zużywanie zmęczeniowe występuje dla poślizgu i prędkości na poziomie minimalnym, przy czym obciążenie nie wpływa w decydujący sposób na ten proces,
- zużywanie quasi-statyczne występuje dla obciążenia na poziomie maksymalnym, przy czym wówczas poślizg i prędkość nie wpływają znacząco na ten proces.

Bibliografia

1. Deters L., Proksch M.: Friction and wear testing of rail and wheel material. University Magdeburg, Institute of Machine Design, Magdeburg 2004.
2. Pytko S.: Problemy wytrzymałości kontaktowej. PAN, Warszawa 1982.
3. Pointer P., Frank N.: Analysis of rolling contact fatigue helps develop tougher rail steels. Railway Gazette International, 1999.
4. Bogdański S.: Analiza oddziaływania płynu zamkniętego w pęknięciu metodą poszukiwania stanów równowagi. Politechnika Warszawska, Warszawa 2005.
5. Polański Z., Górecka R.: Metrologia warstwy wierzchniej. WNT, Warszawa 1983.
6. PN-73/C-96085.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Dziubiński