

Henryk BĄKOWSKI

STATYSTYCZNA I METALOGRAFICZNA ANALIZA PROCESU ZUŻYCIA WARSTWY WIERZCHNIEJ STALI SZYNOWEJ W GATUNKU 900A W WYNIKU ODDZIAŁYWANIA CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie. W ramach pracy przeprowadzono badania zużycia stali szynowej obrobionej cieplnie w układzie rolka-rolka na stanowisku Amslera. Przedstawiono metodykę badań oraz wyniki ilościowych pomiarów statystycznych produktów zużycia stali szynowej w gatunku 900A po obróbce cieplnej.

STATISTIC AND METALLOGRAPHIC ANALYSIS PROCESS OF WEAR OF SURFACE LAYER RAIL STEEL ON TYPE 900 A AS RESULT OF INFLUENCE EXPLOITATION FACTORS

Summary. Investigations of the wear of rail steel after heat treatment in the roller-roller system on the Amsler stand have been carried out. Showed procedure investigation and results statistical quantitative measurements products of wear of rail steel on grade 900 A after heat treatment.

1. WPROWADZENIE

Szyny kolejowe stanowią najważniejszy element drogi kolejowej, a ich zużycie jest nieuniknione w światowym transporcie kolejowym. Stały wzrost poziomu jakości produkowanych szyn pozwala na bezpieczną i szybką podróż koleją. Stosowanie ilościowej analizy metalograficznej na równi z analizą chemiczną i badaniami mechanicznymi pozwala na ocenę formy i charakteru zużycia [1]. Badania laboratoryjne prowadzone na maszynie do badania zużycia typu Amsler w układzie rolka-rolka umożliwią określenie charakteru zmian zachodzących w wyniku zmiennego oddziaływania sił stycznych i normalnych w warstwie wierzchniej badanego materiału, bez konieczności długotrwałej i kosztownej obserwacji obiektu w warunkach eksploatacyjnych. W niniejszej pracy został przedstawiony przebieg postępowania w przypadku statystycznej analizy produktów zużycia powstałych w styku toczno-ślizgowym na stanowisku Amslera przeznaczonego do badań zużycia. Ilościowa ocena metalograficzna produktów zużycia pozwala określić intensywność, charakter i wielkość produktów zużycia. Przedstawiona została procedura postępowania przy statystycznej analizie metalograficznej produktów zużycia, przypominających drobne płatki. Procedura została tak przygotowana, aby można ją było wykorzystywać do oceny zużycia innych materiałów konstrukcyjnych. Podczas badań w miejscu styku rolek obserwowano

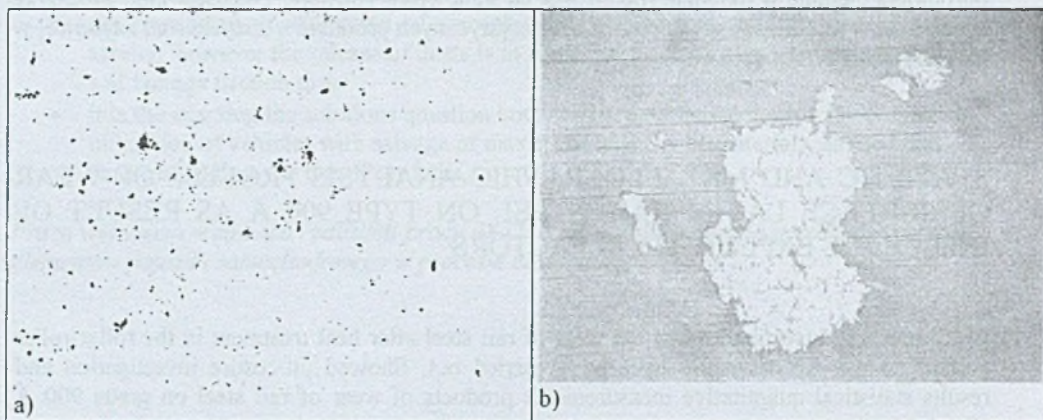
tworzenie się produktów zużycia w postaci płatków. Właśnie wymienione produkty zużycia zostały poddane badaniom.

W ramach pracy przedstawiono metodykę badań oraz wyniki ilościowych pomiarów statystycznych produktów zużycia stali szynowej w gatunku 900A po obróbce cieplnej.

2. MATERIAŁ I URZĄDZENIA STOSOWANE DO BADAŃ

W badaniach wykorzystano produkty zużycia stali perlitycznej w gatunku 900A po obróbce cieplnej. Stal szynowa w tym gatunku stosowana jest do produkcji szyn kolejowych typu UIC 60, o składzie chemicznym i własnościach mechanicznych podanych w normie UIC 860 [3].

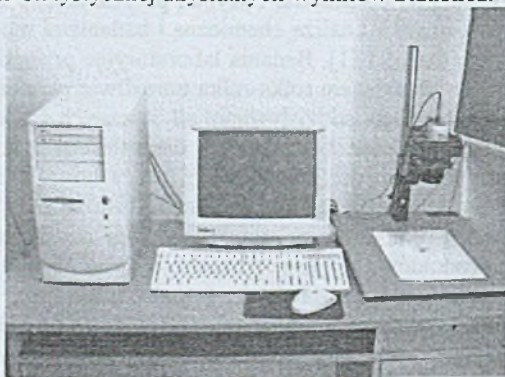
W czasie badań dokonywano pomiaru ubytków wagowych i obserwacji powierzchni próbek, a także gromadzono produkty zużycia. W ten sposób można było wykonywać zdjęcia produktów zużycia przy użyciu kamery oraz mikroskopu optycznego (rys. 1).



Rys. 1. Widok produktów zużycia: a) skala makro. b) skala mikro

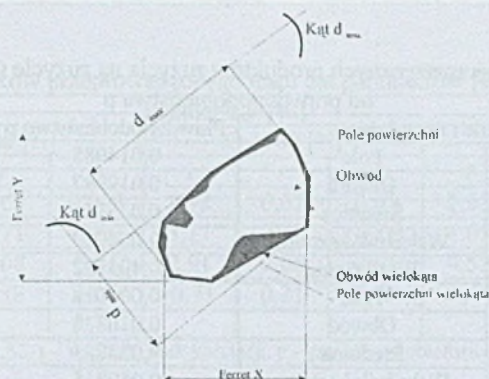
Fig. 1. Products of wear: a) scale micro. b) scale macro

Zdjęcia produktów zużycia zostały wykonane za pomocą kamery sprzężonej z komputerem i wyposażonym w kartę telewizyjną (rys. 2) oraz mikroskopem optycznym OLYMPUS. Komputerową analizę wielkości uzyskanych płytek przeprowadzono dzięki zastosowaniu programu Met-Ilo (rys. 3), służącego do ilościowej oceny obrazu oraz programowi do obróbki statystycznej uzyskanych wyników Statistica.



Rys. 2. Widok stanowiska do ilościowych badań metalograficznych

Fig. 2. Stand to metallographic of quantitative investigation

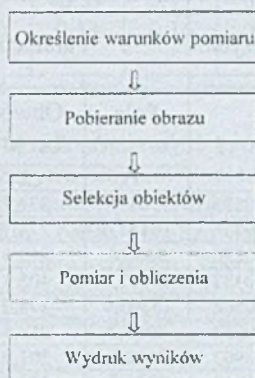


Rys. 3. Podstawowe parametry ilościowej oceny kształtu i wielkości produktów zużycia [4]

Fig. 3. Primary quantitative parameters of estimation shape and products of wear sizes [4]

3. METODYKA BADAŃ

Efektom analizy ilościowej jest zestaw liczb oraz wykresów opisujących wybrane cechy badanego obiektu. Schemat postępowania przy ocenie wielkości i kształtu badanych produktów zużycia został przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Schemat doboru warunków zapewniających uzyskanie powtarzalnych wyników ilościowej statystycznej oceny produktów zużycia

Fig. 4. Methodical conditions guarantee by obtained repetition results of statistical quantitative estimation of products of wear

4. ANALIZA I WYNIKI BADAŃ

W celu określenia, który z parametrów geometrycznych badanych obiektów wpływa na wielkość zużycia, wyznaczono prawdopodobieństwo p korelacji dwóch zmiennych, korzystając z funkcji regresji. W ten sposób można określić, w jaki sposób zmienne niezależne (pole, obwód itp.) wpływają na wartość zmiennej zależnej (zużycie ubytkowe). Jeżeli $p < \alpha$ ($\alpha = 0,05$), wtedy nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy, że badane parametry geometryczne „silnie” zależą od zmiennej zależnej (tabl. 1) [5].

Tablica 1

Wpływ parametrów geometrycznych produktów zużycia na zużycie ubytkowe w zależności od prawdopodobieństwa p

Zmienne zależne i niezależne		Prawdopodobieństwo p	Wynik
Zużycie wagowe, g	Pole	0,014088	Zależy
	Obwód	0,019997	Zależy
	Średnica	0,033856	Zależy
	Wskaźnik kształtu	0,064929	Nie zależy
	Wydłużenie	0,405182	Nie zależy
Droga tarcia, m	Pole	0,007018	Zależy
	Obwód	0,010838	Zależy
	Średnica	0,023753	Zależy
	Wskaźnik kształtu	0,059815	Nie zależy
	Wydłużenie	0,404305	Nie zależy

Wybrane parametry eksploatacyjne stanowiska typu Amsler oraz parametry geometryczne produktów zużycia przedstawione zostały w tabl. 2.

Tablica 2

Wielkości pomiarowe produktów zużycia otrzymane w programie Met-Ilo dla wybranego cyklu badań

Parametry eksploatacyjne		Liczba cykli N	Zużycie Z g	Parametry geometryczne			
P_h MPa	γ %			Pole A_{sr} μm^2	Obwód L_{sr} μm	Średnica d_{sr} μm	Kształt d_{min}/d_{maks}
				1	2	3	4
258	0,3	36000	0,0175	17949,1	332,7	122,9	0,91
		48000	0,0255	10454,8	271,7	98,0	0,93
		52000	0,0296	8666,4	210,4	82,5	0,97
		68000	0,0482	18751,0	405,1	135,9	0,91
		76000	0,0568	15503,9	278,2	98,7	0,94
		84000	0,0657	8957,7	259,4	95,8	0,91
		108000	0,0903	5952,9	201,9	84,5	0,95
		124000	0,1043	5741,2	177,0	73,5	0,96
		152000	0,1328	9388,2	264,6	100,6	0,94
		208000	0,1835	3943,0	138,3	62,3	0,98
		232000	0,2082	2572,8	97,6	45,6	0,97
		264000	0,2211	3887,9	146,4	64,9	0,97
		400000	0,3432	2729,3	107,7	52,6	0,99
		440000	0,3851	6237,6	207,6	82,6	0,95
		480000	0,4299	3507,9	130,4	96,6	0,97
		512000	0,4689	5642,9	185,6	76,0	0,95
		544000	0,5124	4110,9	149,1	66,0	0,97
		576000	0,5590	4217,5	153,7	66,0	0,96
		608000	0,6134	5215,3	173,9	72,6	0,97
		648000	0,6846	6978,9	222,2	87,4	0,94
680000	0,7406	5846,3	173,6	71,5	0,95		
696000	0,7621	5923,2	164,0	67,8	0,97		
Średnia D_{sr} , μm			7371,7	202,3	82,1	0,96	
Odchylenie standardowe σ_{sr} , μm			4063,3	70,7	20,0	0,02	

Sprawdzono czy istnieje korelacja między zużyciem a polem powierzchni, obwodem, średnicą i współczynnikiem kształtu dla pozostałych danych. Wyniki umieszczono w tabl.

Tablica 3

Zestawienie wyników przeprowadzonego testu dla parametrów produktów zużycia

Poślizg 0.3 [%]									
	Q 500 [N]			Q 1000 [N]			Q 2000 [N]		
	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Pole	3,18	0,69	0,008	2,98	0,67	0,01	2,62	0,62	0,02
Obwód	3,31	0,71	0,007	3,11	0,68	0,009	4,05	0,77	0,001
Średnica	3,07	0,68	0,01	2,91	0,66	0,01	4,52	0,80	0,0008
Wskaźnik kształtu	-3,25	0,38	0,08	-0,71	0,21	0,49	-0,98	0,28	0,34

t – kwantyl testu *t*-studenta 4,52. *r* – współczynnik korelacji. *p* – prawdopodobieństwo współczynnika korelacji

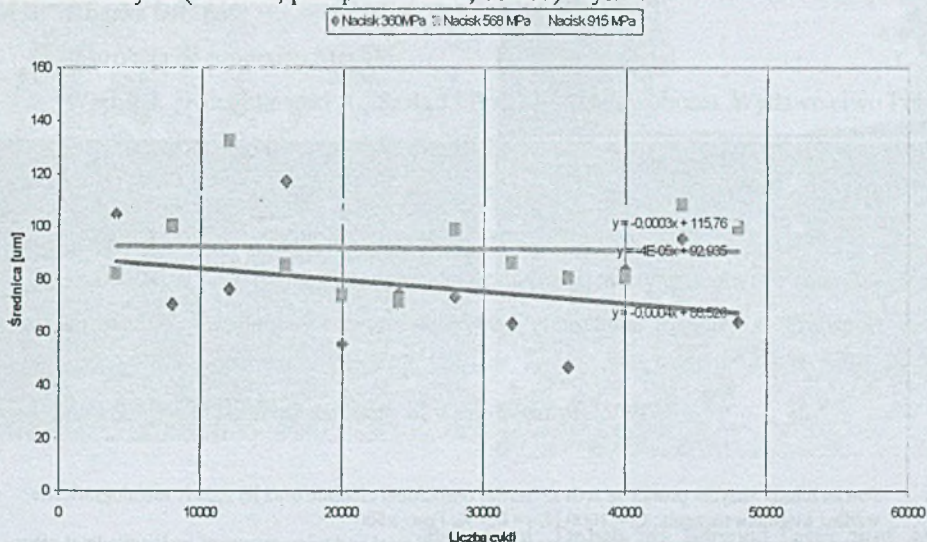
Tablica 4

Zestawienie wyników przeprowadzonego testu dla parametrów produktów zużycia

Poślizg 5 [%]									
	Q 500 [N]			Q 1000 [N]			Q 2000 [N]		
	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>t</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
Pole	-1,23	0,24	0,34	-1,04	0,29	0,32	-1,38	0,40	0,19
Obwód	-1,19	0,34	0,26	-0,73	0,21	0,48	1,39	0,40	0,19
Średnica	-1,15	0,32	0,27	-0,59	0,17	0,57	0,82	0,25	0,42
Wskaźnik kształtu	0,54	0,16	0,60	0,53	0,16	0,61	1,02	0,31	0,33

t – kwantyl testu *t*-studenta 4,52. *r* – współczynnik korelacji. *p* – prawdopodobieństwo współczynnika korelacji

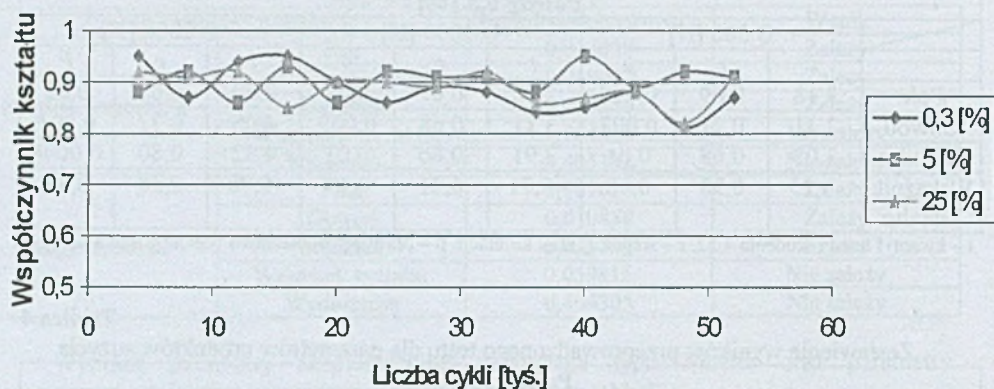
Liczbę obiektów do badań określono dla $n \geq 30$ zgodnie z danymi literaturowymi [6]. Badania wykonywano mierząc zużycie ubytkowe oraz zbierając produkty zużycia w określonych odstępach czasu. W ten sposób stwierdzono, że przy określonych parametrach eksploatacyjnych w całym cyklu badań analizowane produkty posiadają rozkład logarymiczno-normalny [1]. W miarę wzrostu obciążenia zwiększają się wielkości produktów zużycia (średnica, pole powierzchni, obwód) - rys. 5.



Rys. 5. Zmiany wielkości średnicy produktów zużycia w zależności od liczby cykli stali szynowej obrobionej cieplnie (poślizg 5 %)

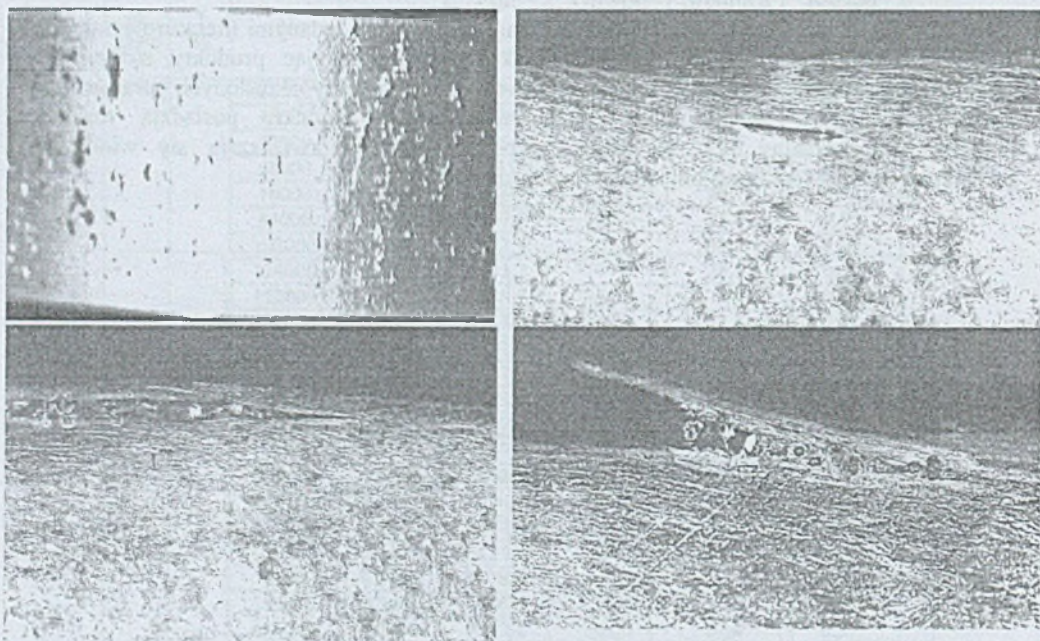
Fig. 5. Variable diameter products of wear versus number of cycles rail steel after heat treatment

Kształt produktów zużycia zbliżony jest do okrągłego, o czym świadczy średni wskaźnik kształtu równy 0,88 (rys. 6).



Rys. 6. Zmiany współczynnika kształtu w zależności od zastosowanego poślizgu
Fig. 6. Variable shape factors products of wear versus creep

Na powierzchni próbki obserwowano odrywające się produkty zużycia w formie płatków (rys. 7). Zużycie stali perlitycznej pracującej w takich warunkach posiada charakter zużycia zmęczeniowego typowego dla tzw. spallingu, czyli tworzenia się drobnych cząstek na powierzchni elementów współpracujących w sposób toczno – ślizgowy [7, 8].



Rys. 7. Powierzchnia zużycia próbki ze stali szynowej obrabianej cieplnie oraz jej zgłady metalograficzne wzdłuż kierunku toczenia: $Q = 1000 \text{ N}$, $\gamma = 0,3 \%$, Pow. $\times 500$

Fig. 7. Worn surface of specimen made of heat treatment rail steel and micrographs of its longitudinal cross section: $Q = 1000 \text{ N}$, $\gamma = 0,3 \%$, Magn. $\times 500$

5. PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów produktów zużycia stali szynowej w gatunku 900A po obróbce cieplnej stwierdzono, że:

1. Zużywanie się próbek w czasie badań na stanowisku Amslera występuje poprzez tworzenie się produktów zużycia w postaci płatków. Średnia wielkość płatków zależy głównie od czynników eksploatacyjnych, tj. nacisku.
2. Pomiarów geometrycznych produktów zużycia przeprowadzone za pomocą programu Met-Ilo umożliwiają określenie wielkości i kształtu rozpatrywanych cząstek, które wpływają na intensywność i charakter zużycia jako procesu powierzchniowego łuszczenia się badanego materiału (tzw. spalling).
3. Parametry geometryczne badanych płatków w ciągu całego cyklu badań zależą od czynników eksploatacyjnych, gdyż wzrastają wraz ze wzrostem obciążenia, natomiast czas trwania próby wpływa w nieznacznym stopniu na wielkość w przypadku 5 % poślizgu.
4. Zaobserwowano, że dla 0,3 % poślizgu zużycie posiada inny charakter oraz formę niż w przypadku poślizgu 5 %. Związane jest to z usuwaniem warstwy wierzchniej poprzez zużycie ubytkowe przed jej wcześniejszym umocnieniem.
5. Na podstawie testu statystycznego odrzucono hipotezę o braku korelacji pomiędzy cechami stereologicznymi badanych produktów zużycia a wielkością zużycia.

Literatura

1. Rys J.: Stereologia materiałów. Wydawnictwo Fotobit-Design. Kraków 1995.
2. PN-84/H-09332.
3. Kodeks UIC 860.
4. Instrukcja do programu Met-Ilo.
5. Wojnar L., Kurzydłowski K., Szala J.: Praktyka analizy obrazu. Wydawnictwo Polskie Towarzystwo Stereologiczne. Kraków 2002.
6. Maliński M.: Weryfikacja hipotez statystycznych wspomagana komputerowo. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
7. Bąkowski H., Krupa M.: Zużycie stali perlitycznej w styku suchym i smarowanym na stanowisku Amslera. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej s. Transport z. 48, Gliwice 2003.
8. Suh S.: The delamination theory of wear. Wear nr 25/1973.

Abstract

Quantitative estimation products of wear to determined wear of quantity has been found. The wear of rail steel specimens after heat treatment and without heat treatment presented by flakes products of wear. Observed increase loading with increase diameter products of wear.

Praca wykonana w ramach BW – 440/RT1/2004.