Piotr ADAMIEC, Jerzy DZIUBIŃSKI, Henryk BĄKOWSKI

ANALIZA TRWAŁOŚCI SZYN KOLEJOWYCH W OPARCIU O WYNIKI PRÓB LABORATORYJNYCH

Streszczenie. W ramach pracy przeprowadzono badania zużycia próbek ze stali szynowej obrobione cieplnie, jak i w stanie surowym po walcowaniu w układzie metal-metal na stanowisku Timkena oraz Amslera. Stwierdzono zwiększoną odporność na zużycie ścierno-adhezyjne oraz dużą trwałość zmęczeniową stali po obróbce cieplnej.

DURABILITY ANALYSIS OF RAILWAY RAILS ON THE BASE OF LABORATORY TEST RESULTS

Summary. Wear investigations and fatigue tests of rail steels after heat treatment and without heat treatment have been carried out. Higher wear resistance and fatigue strength of rail steel after heat treatment have been found.

1. WPROWADZENIE

Trwałość szyn jako uogólniony czas do uzyskania zużycia granicznego zależy głównie od ich obciążenia, natężenia przejazdów pociągów i warunków eksploatacji rozumianych, m. in. jako geometria toru. Uogólniony czas może być wyrażony w częstości cykli obciążenia, ilości przejechanych kilometrów, ilości tonokilometrów itp.

W Polsce aktualnie używane są szyny UIC 60 w gatunku 900A wg kodeksu UIC 860, obrobione cieplnie, jak i surowe po walcowaniu, przeznaczone do przenoszenia największych obciążeń. Stosowane są także szyny S49 do nawierzchni kolejowej o mniejszej intensywności.

W pracy [1] stwierdzono, że trwałość szyn zależy od formy zużycia. W eksploatacji szyn obserwuje się zużycie ubytkowe, którego intensywność można wyrazić ubytkiem liniowym główki szyny, którego wartość dopuszczalna w zależności od warunków eksploatacji waha się w przedziale od 12 do 16 mm. W torze występuje również zużycie zmęczeniowe szyn w formie pęknięć typu squat, shelling lub head checking, które w niekorzystnych warunkach mogą rozprzestrzeniać się jako pękanie podpowierzchniowe wyrażone nawet w metrach.

Można wyróżnić trzy rodzaje pęknięć w warstwie wierzchniej główki szyn [2]:

 pęknięcia powstające kilka milimetrów pod powierzchnią toczną i rozwijające się równolegle do niej, określane jako shelling,

- drobne równoległe rysy, gęsto ułożone przy krawędzi powierzchni tocznej i bocznej główki szyny, zwane *head-checking*,
- pęknięcia powstające w cienkiej warstwie przypowierzchniowej (o grubości około jednej piątej milimetra), rozwijające się w głąb pod małym kątem do powierzchni tocznej, znane jako squat.

W przypadku pęknięć podpowierzchniowych, przy ocenie dopuszczalnego zużycia zmęczeniowego, istotne znaczenie posiada intensywność ich rozprzestrzeniania się. Do oceny wartości granicznej takich pęknięć wykorzystuje się wielkość przyrostu pęknięć na jednostkowym odcinku szyny w ciągu roku, wymiarem której jest m/(rok*km).

Wymiana szyn ze względu na obecność pęknięć podpowierzchniowych następuje najczęściej po upływie 9 lat, co odpowiada przyrostowi pęknięć podpowierzchniowych 2,84 m/(rok*km). Wartość tę przyjęto w pracy [1] jako kryterialną do oceny zużycia zmęczeniowego szyn kolejowych.

W Katedrze Eksploatacji Pojazdów przeprowadzono badania laboratoryjne szyn na stanowisku Timkena i Amslera, wyznaczając modele matematyczne zużywania się szyn poprzez ścieranie, spalling i zmęczenie.

Typowe zużycie ścierne występuje w pobliżu semaforów i posiada formę "wybuksowań" i było modelowane na stanowisku Timkena przy poślizgu 100%.

Spalling jest procesem typowym dla eksploatacyjnego zużycia w torze, w czasie którego następuje duże odkształcenie i występowanie produktów zużycia w formie płytek. Zużycie to modelowano za pomocą obracających się krążków na stanowisku Amslera przy poślizgu 2%. Występujące również zużycie zmęczeniowe w formie pęknięć powierzchniowych było trudne do zamodelowania.

W pracy [3] autorzy sugerują, że zmęczenie podpowierzchniowe występuje często w formie "pęknięć krótkich" nierozprzestrzeniających się ze względu na mały ich wymiar. Prawdopodobieństwo rozprzestrzeniania się tych mikropęknięć w pęknięcia w przypadku eksploatacji jest hamowane ze względu na obecność zużycia ściernego i spallingu, które to procesy nie dopuszczają do osiągnięcia krytycznej długości pęknięcia.

Szyny w stanie surowym po walcowaniu charakteryzuje szybkie zużycie ściernoadhezyjne. W wyniku tego obszar maksymalnych naprężeń kontaktowych ciągle przesuwa się w głąb główki szyny i pęknięcia nie powstają.

W przypadku szyn twardych po obróbce cieplnej intensywność zużycia ściernego i spallingu maleje, co może spowodować warunki do rozprzestrzeniania się obecnych mikropęknięć w pęknięcia podpowierzchniowe. Przy wysokich naciskach jednostkowych kół przekraczających granicę plastyczności następuje intensywne umocnienie powierzchni tocznej przy zmniejszonym zużyciu ściernym. W konsekwencji powoduje to zmianę rozkładu naprężeń wewnętrznych. Na głębokości do kilku milimetrów pod powierzchnią toczną rozwijają się pęknięcia zmęczeniowe, które następnie rozgałęziają się, prowadząc do złuszczenia powierzchni tocznej oraz dużych ubytków powierzchniowych [4].

Oprócz wyżej wymienionych zjawisk zużywania kontaktowego szyn w eksploatacji toru może zachodzić również pękanie zmęczeniowe szyn.

W pracy przedstawiono badania zużycia ścierno-adhezyjnego i wytrzymałości zmęczeniowej stali szynowych w stanie surowym po walcowaniu oraz obrobionych cieplnie w celu wyznaczenia charakterystyk ich trwałości, wyrażonej liczbą cykli do zniszczenia w wyniku zatarcia lub pęknięcia.

Analiza trwałości szyn ...

2. MATERIAŁY STOSOWANE DO BADAN

Badanie przeprowadzono na próbkach wyciętych z szyn kolejowych w gatunku 900A ulepszonej cieplnie oraz w stanie surowym po walcowaniu o składzie chemicznym i własnościach wytrzymałościowych podanych w tablicy 1.

Tablica 1

Stal	Skład chemiczny [%]									
szynowa	C	Mn	Si	Р	S	Cr	Ni		Cu	Al
	0,730	1,040	0,300	0,019	0,013	0,02	0 0,010	0	,030	0,003
900 A		Własności mechaniczne								
	Rn	n [MPa]	Re	[MPa]	A ₅ [%	6]	KCU ₂ [J/cm ²	:]		НВ
Obrobiona cieplnie		1230		750	13,0	5	31			356
Surowa po walcowaniu		973		515	12		26			288

Skład chemiczny i własności mechaniczne badanych szyn ze stali szynowej w gatunku 900A (wg atestu Huty Katowice)

3. URZĄDZENIA DO BADAN

Badania zużycia ściernego przeprowadzono na stanowisku Timkena (rys. 1) w układzie rolka-klocek przy obciążeniu siłą 5 do 30 N w warunkach tarcia suchego. Obciążenia odpowiadają naciskom Hertza, które wynoszą od 58 do 142 MPa.



Rys. 1. Schemat układu trącego zmodyfikowanego stanowiska Timkena Fig. 1. Scheme of friction system of modified Timken stand

Jako przeciwpróbkę zastosowano pierścień ze stali ŁH 15 o twardości 62 HRC, promieniu 23,5 mm i szerokości 10 mm oraz chropowatości $R_a = 0,63$ oraz $R_z = 3,2$, natomiast próbkę stanowiła badana stal szynowa (rys. 2).



Rys. 2. Próbka do badania zużycia ściernego Fig. 2. Specimen to abrasive wear testing





Badania zużycia typu spalling przeprowadzono na stanowisku Amslera w układzie rolka-rolka (rys. 3). W badaniach stosowano naciski od 371 do 586 MPa przy jednoczesnym poślizgu $\gamma = 2\%$ zależnym od wymiarów geometrycznych próbki i przeciwpróbki (rys. 4). Siła docisku współpracujących ze sobą rolek wynosiła od 400 N do 1000 N.



Rys. 4. Próbka do badania powierzchniowego zużycia zmęczeniowego Fig. 4. Specimen to surface fatigue wear testing

Do oceny odporności stali szynowych na zużycie zmęczeniowe objętościowe przyjęto wyniki prób przeprowadzonych na specjalnej maszynie badawczej. Schemat maszyny przedstawiono na rys. 5. Badane próbki (rys. 6) poddawane były działaniu jednostronnie tętniących obciążeń podczas czystego zginania.



- Rys. 5. Schemat maszyny badawczej do prób zmęczeniowych:
 - 1 czujnik zegarowy,
 - 2 imadło, 3 próbka ze stali szynowej, 4 – układ rejestrujący,
- Fig. 5. Scheme of fatigue test mashine



Rys. 6. Próbka do badania objętościowego zużycia zmęczeniowego Fig. 6. Specimen to fatigue testing

4. METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Naciski Hertza występujące na powierzchni badanych elementów w układzie rolkaklocek na stanowisku Timkena obliczono ze wzoru (1):

$$p_{h} = \sqrt{\frac{R}{\pi \cdot r \cdot k \cdot l}} \tag{1}$$

gdzie:

R=(X₁/X₂)*P - wielkość siły reakcji w miejscu styku klocek-rolka obliczona dla belki statycznie wyznaczanej,

X₁- dłuższe ramię dźwigni = 0,240 m,

X2- krótsze ramię dźwigni = 0,053 m,

P- obciążenie od 5 do 30 N,

r- promień współpracującego pierścienia = 0,0235 m,

l- szerokość śladu współpracy równa 0,010 m,

$$k = 2 \cdot \frac{1 - \upsilon^2}{E}$$

E- moduł Younga = $2 \cdot 10^5$ MPa,

v- liczba Poissona = 0,25.

Do obliczeń nacisków w układzie rolka-rolka został wykorzystany wzór (2). Największe naprężenie normalne, tj. maksymalny nacisk występuje na środku spłaszczenia współpracujących ze sobą elementów i wynosi:

$$p_o = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{\mathcal{Q} \cdot E \cdot (R_1 + R_2)}{a \cdot R_1 \cdot R_2}}$$
(2)

gdzie:

Q- siła docisku 400, 600, 1000 N, E - moduł Younga równy 2·10⁵ MPa, R₁- promień przeciwpróbki m, R₂- promień próbki m, a- szerokość styku równa 0,010 m.

Do obliczenia poślizgu wykorzystano wzór (3):

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1,104 \cdot R_1 - R_2)}{1,104 \cdot R_1 + R_2} \tag{3}$$

W przypadku badań zmęczeniowych wartość napreżeń gnacych wyznaczono ze wzoru (4);

$$\sigma = \frac{M_g}{W_x} = \frac{6 \cdot P \cdot l}{b \cdot h^2} \tag{4}$$

gdzie:

P- siła obciązająca N. 1- ramie działania siły obciażającej m.

b- szerokość próbki 0,005 m,

h- wysokość próbki 0,008 m.

Wyniki badań zużycia: ściernego, typu spalling i zmęczeniowego zestawiono w tablicach 2÷4.

		T 1 11		
Rodzaj szyny	Napręzenie o [MPa]	Liczba cykli		
	817	95192		
	801	119760		
W stanie surouwm no	793	124000		
w stance surowyin po	770	157176		
walcowaniu	754	265600		
	762	288168		
	738	843408		
	888	142360		
	865	194624		
Obrehiene eienlaie	873	199976		
Obrobiona ciepinie	857	213968		
	841	388928		
	833	531480		

Zestawienie wyników badań dla stali szynowej przy zużyciu zmęczeniowym objętościowym

Tablica 3

Tablica 2

Wyniki zużycia ścierno-adhezyjnego szyny surowej i obrobionej cieplnie przy tarciu na sucho

Podroj stoli	Nacisk 58	: Hertza MPa	Nacisl 82	c Hertza MPa	Nacisk Hertza 142 MPa		
szynowej	Liczba cykli	Zużycie wagowe	Liczba cykli	Zużycie wagowe	Liczba cykli	Zużycie wagowe	
	50	g · 10	25	<u>g·10</u> -	10	g · 10 -	
	100	0,24	50	0,41	20	0.40	
	150	0,27	75	0,46	30	0,48	
W stanie surowym	200	0,29	100	0,49	40	0,53	
po walcowaniu	250	0,32	125	0,56	50	0,61	
	300	0,35	150	0,65	60	0,74	
	400	0,40	175	0,70	75	0,75	
	500	0,43	200	0,73	100	0,85	
	50	0,20	25	0,32	10	0,26	
	100	0,22	50	0,38	20	0,39	
	150	0,25	75	0,44	30	0,47	
Obrohiona cientnie	200	0,28	100	0,48	40	0,50	
Obrobiona crephine	250	0,30	125	0,55	50	0,58	
	300	0,32	150	0,63	60	0,72	
	400	0,33	175	0,68	75	0,74	
	500	0,34	200	0,71	100	0,83	

Tablica 4

Wyniki zużycia zmęczeniowego typu spalling stali szynowej obrobionej cieplnie jak i w stanie surowym po walcowaniu na stanowisku Amslera przy poślizgu 2%

	Nacisk 371	Hertza MPa	Nacisk 454	Hertza MPa	Nacisk Hertza 586 MPa		
Rodzaj stali	Liczba Zużycie		Liczba	Zużycie	Liczba	Zużycie	
szynowej	cykli	wagowe	cykli	wagowe	cykli	wagowe	
	Oykii	a	Oyich	a	Oyna	a	
	600	<u> </u>	500	<u> </u>	500	<u>B</u>	
-	500	0,0002	1000	0,0011	1000	0,0083	
	1000	0,0008	1500	0,0030	1500	0,0177	
-	2000	0,0054	2000	0,0043	2000	0,0203	
-	2000	0,0004	2500	0,0044	2500	0.0380	
-	2000	0,0094	2000	0,0088	3000	0,0389	
-	3500	0,0110	3500	0,0155	3500	0.0537	
-	4000	0,0107	4000	0,0108	4000	0,0557	
-	4000	0,0205	4500	0,0205	4500	0,0001	
W stanie surowym	5000	0.0267	5000	0,0200	5000	0,0723	
w stanc surowym	5500	0,0207	5500	0.0368	5500	0,0771	
po warcowaniu	6000	0,0315	6000	0.0445	6000	0.1024	
-	6500	0.0345	6500	0.0478	6500	0,1024	
	7000	0,0340	7000	0.0559	7000	0.1257	
ŀ	7500	0.0375	7500	0.0657	7500	0,1237	
-	8000	0,0375	8000	0,0007	8000	0,1515	
-	8500	0.0397	8500	0.0745	8500	0,1070	
	9000	0.0399	9000	0.0781	9000	0.1849	
	9500	0.0401	9500	0.0841	9500	0 1899	
-	10000	0.0429	10000	0.0893	10000	0.2036	
	500	0.0007	500	0.0008	500	0.0025	
-	1000	0.0011	1000	0.0010	1000	0.0038	
	1500	0.0028	1500	0.0012	1500	0.0056	
	2000	0.0035	2000	0.0025	2000	0.0069	
	2500	0,0055	2500	0,0058	2500	0,0082	
	3000	0.0071	3000	0,0068	3000	0,0105	
	3500	0,0082	3500	0,0071	3500	0,0121	
	4000	0,0099	4000	0,0085	4000	0,0136	
Obrobiono gianlaia	4500	0,0126	4500	0,0093	4500	0,0142	
Outobiolia ciepinie	5000	0,0141	5000	0,0117	5000	0,0159	
	5500	0,0147	5500	0,0123	5500	0,0171	
	6000	0,0164	6000	0,0147	6000	0,0184	
-	6500	0,0170	6500	0,0150	6500	0,0197	
	7000	0,0173	7000	0,0171	7000	0,0233	
	7500	0,0175	7500	0,0187	7500	0,0254	
	8000	0,0182	8000	0,0196	8000	0,0270	
	8500	0,0195	8500	0,0189	8500	0,0284	
-	9000	0,0199	9000	0,0203	9000	0,0299	
	9500	0,0203	9500	0,0226	9500	0,0311	
	10000	0,0212	10000	0,0241	10000	0,0335	

5. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzone laboratoryjne próby zużycia szyn obrobionych i nie obrobionych cieplnie wykazywały istotne różnice formy zużycia. W przypadku zużycia próbek na stanowisku Timkena obserwowano efekty odkształcenia, bruzdowanie i zacieranie warstwy powierzchniowej (rys. 7 i 8).

W czasie zużycia próbek na stanowisku Amslera występowało wyraźne odkształcenie warstwy wierzchniej prowadzące do zużycia laminacyjnego, któremu towarzyszyło odrywanie się płatkowych produktów zużycia (rys. 9). Stwierdzono, że produkty te posiadały średnią wielkość od 0,01 do 1 mm, przy czym dla szyn obrobionych cieplnie produkty zużycia były wyraźnie mniejsze i mieściły się w zakresie do 0,2 mm. Badania zmęczeniowe przeprowadzono przy naprężeniach zginających jednostronnie zmiennych.

W badaniach wykorzystano również obszar naprężeń nasycenia przy zginaniu niskocyklowym, który następuje przy stabilizacji pętli histerezy dla zakresu $\varepsilon_{min} \div \varepsilon_{max}$ [5].

Badania metalograficzne przeprowadzono na mikroskopie skaningowym oraz mikroskopie świetlnym przy powiększeniach od 100 do 600 razy. Charakterystyczne struktury powierzchni zużycia przedstawiono na rys. $7 \div 10$.



- Rys. 7. Powierzchnia zużycia próbki ze stali szynowej obrobionej cieplnie, pow. 100x (stanowisko Timkena)
- Fig. 7. Specimen wear surface of railway steel after heat treatment, Magn. 100x (Timken stand)



- Rys. 9. Powierzchnia zużycia próbki z zawalcowanymi produktami zużycia, widoczne zużycie laminacyjne, pow. 100x (stanowisko Amslera)
- Fig. 9. Specimen wear surface with lapped wear products, Magn. 100x (Amsler stand)

		1 No 1		
00000000000000000000000000000000000000	*********			
			nel.	
	•			
	and the second second			
	33.0	Second Second		
******				18. <u>.</u>
Contraction of the local				
			10.00 A.A.A	*
	·		····	
1175 126	Sa mondar			
cropper with the				(
Jan				
	60			
Sectore and the sector of the				
***************************************		**************************************	CONTRACTOR OF THE OWNER	

- Rys. 8. Powierzchnia zużycia próbki wykonanej ze stali szynowej surowej, pow. 100x (stanowisko Timkena)
- Fig. 8. Specimen wear surface of railway steel without heat treatment, Magn. 100x (Timken stand)



- Rys. 10. Przełom zmęczeniowy próbki ze stali szynowej. Widoczne prążki zmęczeniowe, pow. 900x (próbka po zmęczeniu)
- Fig. 10. Specimen fatigue fracture of railway steel. Observed fatigue striae, Magn. 900x (specimen after fatigue test)



- Rys. 11. Wykres zużycia wagowego na stanowisku Timkena dla stali szynowej obrobionej cieplnie, jak i w stanie surowym po walcowaniu w funkcji liczby cykli
- Fig. 11. Weight wear on Timken stand of rail steel heat treatment and without heat treatment versus number of cycles



- Rys. 12. Wykres zużycia wagowego na stanowisku Amslera dla stali szynowej obrobionej cieplnie, jak i nie obrobionej cieplnie w funkcji liczby cykli
- Fig. 12. Weight wear on Amsler stand for rail steel after heat treatment and without heat treatment

Przy modelowaniu zużycia ściernego na urządzeniu Timkena przy poślizgu 100% uzyskiwano duże ubytki wagowe przy stosunkowo niskich naciskach i małej liczbie cykli

obciążenia (rys. 11). Wyniki pomiarów zużycia ściernego wskazują na większą odporność stali szynowej obrobionej cieplnie w porównaniu do stali szynowej surowej.

Podobnie jest w przypadku badań na stanowisku Amslera, mianowicie zużycie stali szynowej po obróbce cieplnej było mniejsze od zużycia stali szynowej w stanie surowym po walcowaniu (rys. 12).

Wyniki badań zużycia wykorzystano do określenia trwałości stali szynowej, którą wyznaczono dla zużycia krytycznego $Z_{gr} = 0,004$ g (rys. 13 i 14). Wykresy te potwierdzają wpływ rodzaju i formy zużywania się szyn na ich trwałość.









Rys. 14. Trwałość szyn w funkcji naprężenia w przypadku zmęczenia objętościowego Fig. 14. Rail durability versus stresses. Fatigue test

Przy zużyciu ściernym obszar trwałości jest przesunięty do niższych wartości dopuszczalnych obciążeń, a trwałości przy zużyciu typu spalling są większe (rys. 13). Wskazuje to na prawdopodobieństwo wyższych trwałości szyn w czasie normalnej eksploatacji, przy której ma miejsce zjawisko zużycia typu spalling z płatkowymi produktami zużycia. Wyraźnie wyższe trwałości uzyskiwane są w przypadku założenia kryterium pęknięcia zmęczeniowego szyn (rys. 14). Przy czym w czasie eksploatacji toru mogą zaistnieć warunki, przy których obecność pęknięć podpowierzchniowych i ich intensywność wzrostu w warstwie wierzchniej jest duża i powoduje w konsekwencji zniszczenie szyny.

W przypadku pękania zmęczeniowego dostępne w Katedrze Eksploatacji Pojazdów urządzenia nie pozwoliły na modelowanie inicjacji i wzrostu pęknięć podpowierzchniowych. Do analizy wpływu pęknięć podpowierzchniowych wykorzystano wyniki wytrzymałości zmęczeniowej szyn podane w pracach [4,5].

Stwierdzono wyższe trwałości szyn obrobionych cieplnie (rys. 14). Zastosowanie do oceny wytrzymałości zmęczeniowej badań zmęczenia niskocyklowego w obszarze naprężeń nasycenia obniża trwałość, przesuwając ją w obszar dopuszczalnych naprężeń zbliżonych do naprężeń wyznaczanych za pomocą próby Amslera. Zbliżone obszary trwałości zmęczeniowej, wyznaczone próbami na stanowisku Amslera, wskazują na możliwość niekontrolowanego rozprzestrzeniania się pęknięć podpowierzchniowych [1], w przypadku kiedy intensywność zużycia ubytkowego jest mniejsza od szybkości rozprzestrzeniania się pęknięcia zmęczeniowego.

Może to mieć miejsce w szczególnych przypadkach eksploatacji torów, np. przy stosunkowo małym ich obciążeniu w warstwie wierzchniej mogą rozprzestrzeniać się pęknięcia zmęczeniowe, których intensywność wzrostu przewyższa intensywność zużywania się typu spalling. Przypadek taki prowadzi w konsekwencji do zmęczeniowego zniszczenia szyny poprzez rozprzestrzenianie się pęknięć podpowierzchniowych.

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań zużycia stali szynowej po obróbce cieplnej, jak i w stanie surowym po walcowaniu stwierdzono, że:

- Zużycie ścierne realizowane na stanowisku Timkena dla stali szynowej w stanie surowym po walcowaniu było większe w porównaniu do zużycia stali szynowej po obróbce cieplnej, co należy tłumaczyć korzystnym oddziaływaniem wyższej twardości szyn obrabianych cieplnie.
- Podobne zależności występują również w przypadku oceny zużycia stali szynowej na stanowisku Amslera, przy czym obszar dopuszczalnych nacisków i związanych z nim trwałości przesunięty jest do wyższych wartości.
- 3. Badania wytrzymałości zmęczeniowej niskocyklowej wskazują na zbliżenie wyników dopuszczalnych naprężeń i trwałości wyników zmęczenia do wyników zmęczenia kontaktowego (Amsler). Wskazuje to na możliwość zniszczenia eksploatacyjnego szyn poprzez rozprzestrzenianie się pęknięć podpowierzchniowych.
- 4. Trwałość zmęczeniowa wysokocyklowa szyn obrabianych cieplnie jest wyższa od trwałości szyn w stanie surowym po walcowaniu.

Literatura

- Adamiec P., Dziubiński J., John A.: Zużycie i trwałość szyn kolejowych. Przegląd Kolejowy, nr 7÷8, 2002.
- ERRI D 173/RP 15: A proposal for revision of the 1979 edition of the UIC Catalogue of Rail Defects. Utrecht, 1997.
- Adamiec P., Witaszek M.: Betriebsverschleiss und Daverfestigkeit von Eisenbahnradern. Proc. Of 12 th International Colloquium Tribology 2000-Plus Esslingen 2000, s. 1489÷1494.
- 4. Adamiec P., Dziubiński J., Lalik M.: Wytrzymałość zmęczeniowa szyn w stanie surowym po walcowaniu, obrobionych cieplnie i regenerowanych metodami spawalniczymi. VIII Seminarium Naukowe. Nowe technologie i materiały w metalurgii i inżynierii materiałowej. Katowice maj 2000.
- Bartyzel J.: Analiza wpływu makrostruktury i mikrostruktury na własności użytkowe szyn kolejowych wytwarzanych z wsadu odlewanego metodą ciągłą. Praca doktorska. Politechnika Śląska. Katowice 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Paweł Piec

Abstract

Wear investigations and fatigue tests of rail steels after heat treatment and without heat treatment have been carried out. Higher contact wear resistanced of rail steels after heat treatment has been found. Higher fatigue lifetime of rail after heat treatment has been found also.