

Marcin KRUPA, Roman KUZIĄK

## BADANIA ZMIAN ZACHODZĄCYCH W WARSTWIE WIERZCHNIEJ STALI SZYNOWEJ NA MASZYNI AMSLERA

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań zużycia próbek z perlitycznej stali szynowej za pomocą maszyny Amslera. Stopień zużycia próbek doświadczalnych w zależności od drogi toczenia skorelowano ze zmianami struktury warstwy wierzchniej. Stwierdzono, że w wyniku naprężeń ścinających warstwa wierzchnia w przeprowadzonych doświadczeniach podlegała dużym odkształceniom plastycznym, w trakcie których podstawowe składniki struktury obejmujące kolonie perlitu, granice ziaren byłego austenitu oraz wtrącenia siarczka MnS podlegały rotacji, zmierzając do orientacji równoległej do powierzchni próbki. Równocześnie kolonie perlitu zostały silnie wydłużone. Pęknięcia w sposób uprzywilejowany zarodkowały w granicach między koloniami, w granicach ziaren byłego austenitu oraz na powierzchni rozdziału siarczek MnS/osnowa. Rozwój pęknięcia następował pod niewielkim kątem do powierzchni próbki, powodując w końcowym etapie łuszczenie się tej powierzchni.

## INVESTIGATION OF CHANGES IN THE SUBSURFACE LAYER OF PEARLITIC RAIL STEEL DURING TESTS ON AMSLER MACHINE

**Summary.** In this article, results of wear tests employing Amsler stand conducted on pearlitic rail steel are presented. The wear of the experimental samples depending on rolling path was correlated with the changes occurring in the subsurface layer. It was found that due to the development of shear stresses the subsurface layer underwent a severe plastic deformation resulting in rotation of the essential microstructural components, comprising pearlite colonies, prior austenite grain boundaries as well as non-metallic inclusions of MnS, to the orientation parallel to the surface. At the same time, pearlite colonies were undergoing a substantial elongation. The cracks initiated at the colony and prior austenite boundaries, and also on the phase interface MnS/matrix. The cracks propagated at some acute angle with respect to the samples' surface, eventually causing the occurrence of flakes.

### 1. WSTĘP

Transport szynowy jest wciąż jednym z głównych systemów przewozu towarów i ludzi, szczególnie na długodystansowych drogach. Dlatego konieczne jest dążenie do poprawy technicznych i ekonomicznych warunków przewozu oraz bezpieczeństwa i wygody pasażerów[1].

Jednym z podstawowych elementów kolejowego systemu transportowego jest tor kolejowy, którego główną częścią jest szyna. Wzrost obciążenia torów oraz prędkości pociągów pasażerskich powoduje, że stalom szynowym stawiane są coraz wyższe wymagania dotyczące zarówno własności wytrzymałościowych, jak i odporności na zużycie ścierne i zmęczeniowe[2].

Stosowanie szyn surowych w liniach kolejowych wysoko obciążonych powodowało ich szybkie zużycie ścierne, narażając kolej na straty spowodowane częstą wymianą zużytych odcinków szyn. W liniach obciążonych korzystniejsze staje się stosowanie szyn umacnianych

cieplnie o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych, które charakteryzują się znacznie zredukowaną intensywnością zużycia ściernego, a związany z tym proces ma charakter zużycia kontaktowo – zmęczeniowego. Z tego powodu szczególnie ważnym zagadnieniem ze względu na bezpieczeństwo transportu kolejowego jest poznanie mechanizmów zużywania się szyn umacnianych cieplnie [3].

W pracy przedstawiono wyniki badań zużycia perlitycznej stali szynowej w gatunku 900A obrabianej cieplnie, kładąc szczególny nacisk na zmiany stanu struktury warstwy wierzchniej zachodzących podczas cyklicznie powtarzających się obciążeń kontaktowych.

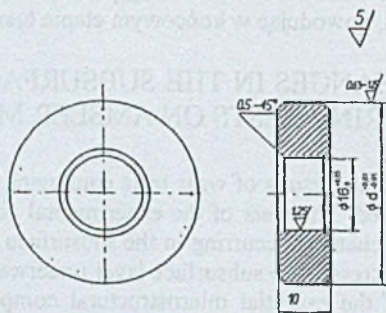
## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. Materiał stosowany w badaniach

Próbki wykonane były ze stali szynowej w gatunku 900A obrabianej cieplnie o składzie chemicznym: C – 0,78; Mn – 1,01; Si – 0,2; P – 0,016; S – 0,016; Ni – 0,03; Cu – 0,02; Al. – 0,003 i właściwościach wytrzymałościowych:  $R_{0,2}$  – 911[MPa];  $R_m$  – 1258[MPa];  $A_5$  – 11,0[%];  $Z$  – 11,0[%].

Przeciwp próbki wykonane zostały ze stali łożyskowej ŁH15 o twardości 62 HRC zgodnie z wymogami normy PN-84/H-04332, dotyczącej badań toczno – ślizgowych.

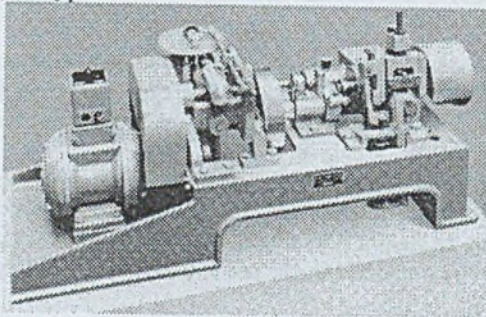
Próbki i przeciwp próbki były w kształcie walca (rys. 1). Średnice rolek zostały tak dobrane, aby uzyskać poślizg rzędu 5%.



Rys. 1. Wymiary geometryczne próbki  
Fig. 1. Geometrical dimensions of specimen

### 2.2. Urządzenie badawcze

Badania przeprowadzono na urządzeniu typu Amsler (rys.2). Układ badawczy tworzą wzajemnie po sobie toczące się próbki.



Rys.2. Stanowisko Amslera  
Fig.2. Amsler machine

Próbkę i przeciwpróbkę mocowano na dwóch wałkach, obracających się z różnymi prędkościami, odpowiednio wałek dolny z przeciwpróbką  $V_1 = 200$  obr/min, wałek górny z próbką  $V_2 = V_1/1,104$ .

### 2.3. Parametry badań

Badania prowadzono przy następujących parametrach:

- prędkość obrotowa 200 obr/min
- obciążenie 2000N
- poślizg 5%
- nacisk 915 MPa.

Ponieważ próbka i przeciwpróbka obracają się z różnymi prędkościami, to realizowany poślizg był funkcją parametrów geometrycznych rolek obliczonych z zależności [4,5]:

$$\gamma = \frac{2 \cdot (1,104 \cdot R_1 - R_2)}{1,104 \cdot R_1 + R_2} \cdot 100\%;$$

gdzie:

$R_1$  – promień przeciwpróbki w mm,  $R_2$  – promień próbki w mm,  $\gamma$  – poślizg w %.

W celu określenia maksymalnych nacisków Herza  $p_0$  zastosowano empiryczny wzór [4,5]

$$p_0 = 0,418 \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot E \cdot (R_1 + R_2)}{a \cdot R_1 \cdot R_2}},$$

gdzie:

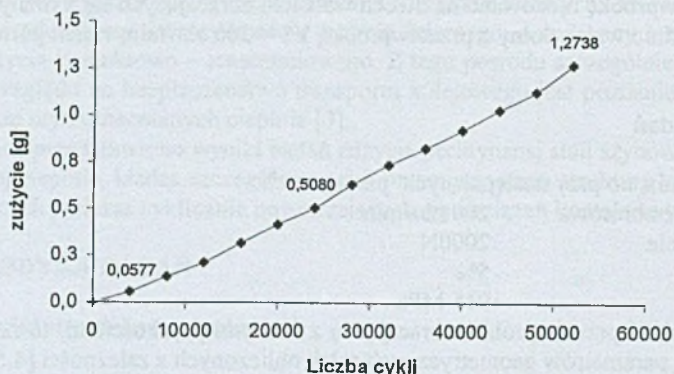
$Q$  – siła docisku = 200N,  $E$  – moduł Younga =  $2 \cdot 10^5$  MPa,  $R_1$  – promień przeciwpróbki w mm,  $R_2$  – promień próbki w mm,  $a$  – szerokość styku = 10 mm.

## 3. WYNIKI BADAŃ

Badania przeprowadzono w 4 etapach, obejmujących serie po 4000 cykli. Każdorazowo po zakończeniu serii demontowano próbkę, a następnie ważono i rejestrowano stan powierzchni tocznej (rys.4). Na każdy etap badań przypadła jedna próbka. Po zakończeniu etapów, tj. po wykonaniu 12 000, 28 000, 40 000, 52 000 cykli próbki cięto (rys.5) w celu wykonania zglądów metalograficznych umożliwiających obserwacje stanu warstwy wierzchniej próbki.

### 3.1. Pomiar zużycia

Na podstawie pomiaru liczby cykli i masy próbki sporządzono wykres ubytku masy próbki (rys.3).

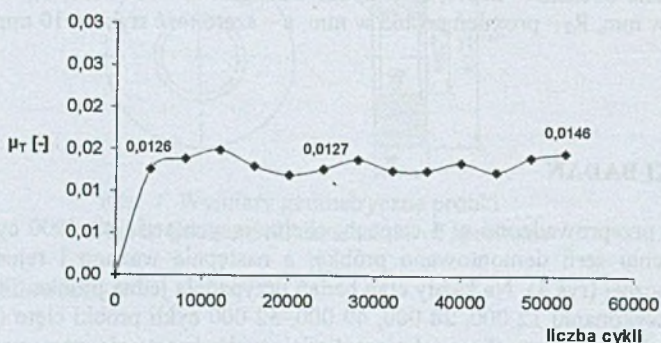


Rys. 3. Wykres intensywności zużycia w funkcji liczby cykli  
Fig.3. Wear of rail steel vs. number of cycles

Z wykresu wynika, że przebieg zużywania się próbek ma charakter liniowy. Proces zużycia jest typowy dla stali szynowej, co potwierdzają dane literaturowe [6,2]. Stale szynowe o podwyższonych właściwościach wykazują jedynie mniejszy przyrost zużycia w stosunku do stali surowych [6].

### 3.2. Pomiar współczynnika tarcia

Podczas badań rejestrowano zmiany wartości współczynnika tarcia (rys. 4).

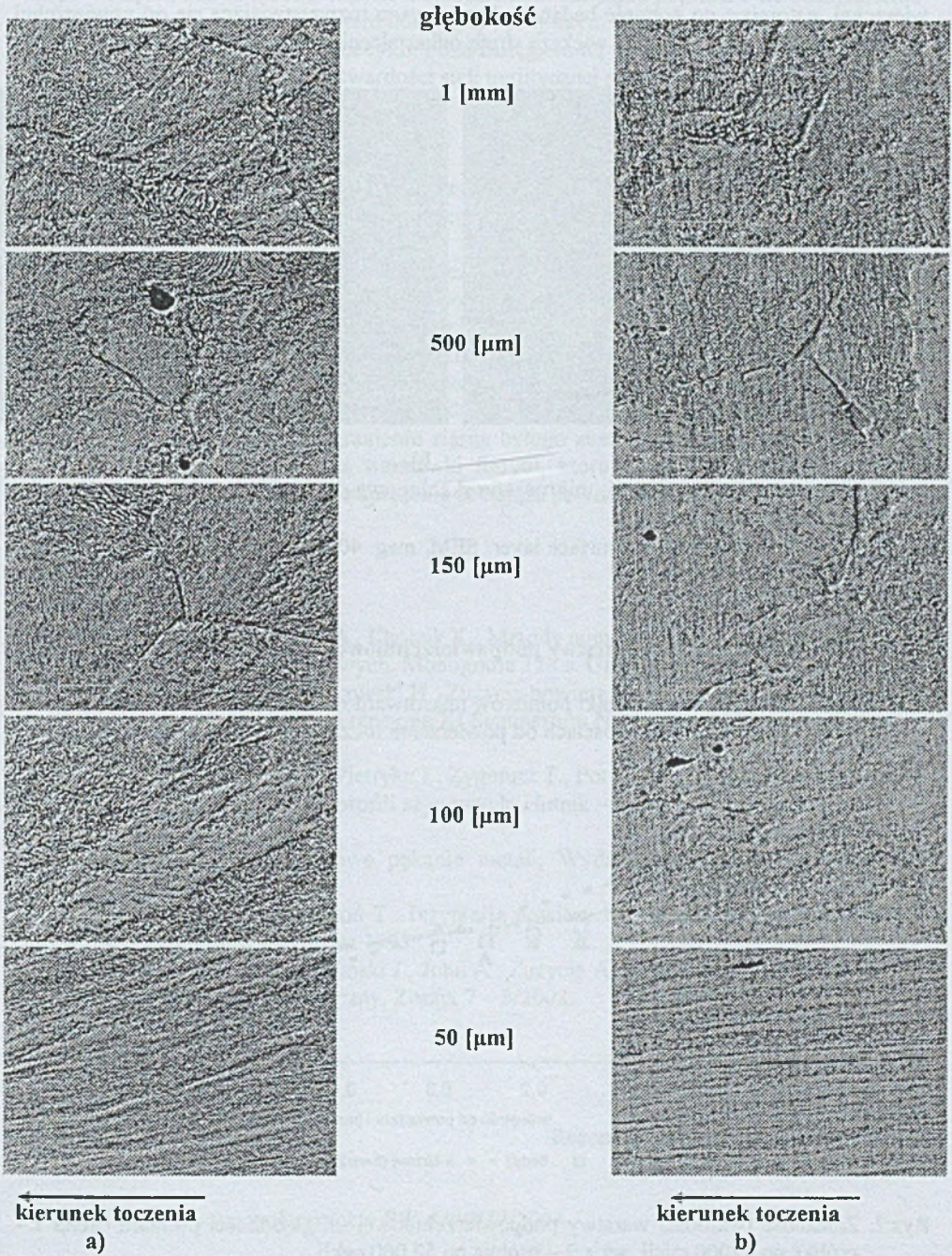


Rys.4. Wykres współczynnika tarcia  
Fig.4. Friction coefficient vs. number of cycles

W pierwszym etapie badań zauważono wzrost współczynnika tarcia związany z docieraniem próbki i przeciwpróbki, a następnie stabilizację na poziomie ok. 0,0135. Uzyskana wartość średnia współczynnika tarcia po okresie docierania wynika z ustabilizowanych warunków eksploatacyjnych pary trybologicznej.

### 3.3. Stan warstwy podpowierzchniowej próbek

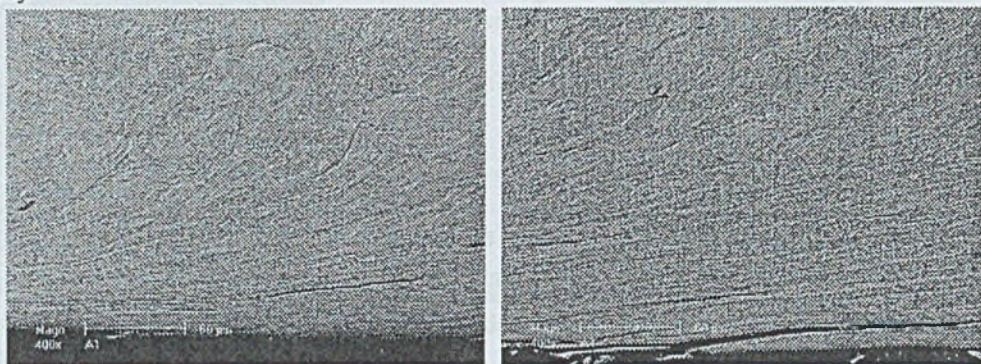
Po zakończeniu etapu 1 (12 000 cykli) i 4 (52 000 cykli) próbki zostały pocięte w celu wykonania zglądów metalograficznych, a następnie zostały poddane badaniom za pomocą mikroskopu skaningowego. Na rysunku 5 przedstawiono stan struktury próbek w zależności od głębokości obserwacji.



Rys. 5. Stan mikrostruktury pod powierzchnią toczną; mikrografia skaningowa powiększenia 2000x: a) próbka po 1 etapie; b) próbka po 4 etapie

Fig. 5. Microstructure as a function of distance from the samples' surface. SEM, mag. 2000x: a) sample after first stage; b) sample after fourth stage

Na rysunku 6 widać odkształconą warstwę wierzchnią próbek. W próbce po 1 etapie badań widać zapoczątkowane pęknięcie podpowierzchniowe propagujące w kierunku powierzchni, natomiast po 4 etapie badań zaobserwowano rozwarstwiająca się od powierzchni tocznej pęknięcia jak i znacznie większą strefę odkształcenia plastycznego warstwy wierzchniej.

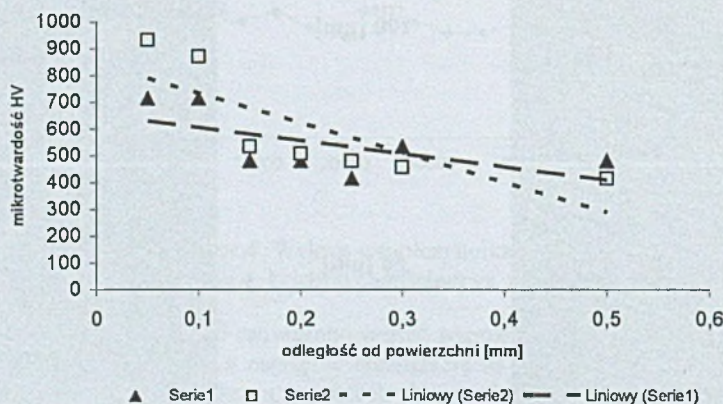


a) b)  
Rys.6. Stan warstwy wierzchniej; mikrografie skaningowe pow. 400x; a) próbka po 1 etapie, b) próbka po 4 etapie

Fig.6. Microstructure of the subsurface layer. SEM, mag. 400x: a) sample after first stage; b) sample after fourth stage

### 3.4. Pomiar mikrotwardości warstwy podpowierzchniowej

Na wykresie zestawiono wyniki pomiarów mikrotwardości próbek po 1 i 4 etapie badań wykonywane na różnych głębokościach od powierzchni tocznej.



Rys.7. Zależność twardości warstwy podpowierzchniowej od głębokości pomiaru. Seria 1 - próbka po 12000 cyklach, seria 2 - próbka po 52 000 cyklach

Fig.7. Changes in hardness as a function of distance from the samples' surface. Series 1 - sample after 12000 cycles; series 2 - sample after 52000 cycles

Jak widać na wykresie, wyższą o ok. 200 HV twardość przy powierzchni wykazuje próbka po 4 etapie badań. Jest to związane z umocnieniem materiału poprzez silne odkształcenie struktury, które narasta ze wzrostem ilości cykli, przy czym głębokość strefy umocnionej również rośnie ze wzrostem ilości cykli. Poza zasięgiem tej strefy, twardość stali jest w przybliżeniu taka sama i odpowiada twardości stali perlitycznej po procesie umacniania.

#### 4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań zużycia wynikają następujące wnioski:

1. Proces zużycia przebiega w ustabilizowany sposób i rośnie liniowo wraz ze wzrostem drogi toczenia,
2. Stan struktury warstwy wierzchniej zależy od liczby cykli. Im większa liczba cykli, tym warstwa wierzchnia jest silniej odkształcona, co potwierdzają badania mikrotwardości.
3. Uwidocznione pęknięcia warstwy wierzchniej przebiegają wzdłuż odkształconych kolonii perlitu i granic ziaren byłego austenitu, rozszerzając się i propagując ku powierzchni. Pęknięcia mogą również zarodkować na wtrąceniach siarczka MnS.
4. Z przeprowadzonych badań wynika, że dużą rolę w powstawaniu pęknięć i łuszczeniu się materiału można przypisać granicom ziarna byłego austenitu. Na granicach tych, bardzo często wydzielają się cienkie warstewki ferrytu, które układają się równolegle do powierzchni próbki, a następnie naprężenia ścinające powodują inicjowanie pęknięć.

#### Literatura

1. Sitarz M., Składkowski A., Chrużik K.: Metody numeryczne w projektowaniu kół kolejowych zestawów kołowych. Monografia 128 s. Gliwice 2003.
2. Lalik M., Krupa M., Bąkowski H.: Zużycie powierzchniowe stali szynowej w gatunku 900A. Materiały konferencyjne XI Seminarium Naukowego. Katowice, 16 maj 2003r.
3. Kuziak R., Molenda R., Pietryka J., Zygmunt T., Potworka A.: Nowa metoda umacniania cieplnego główki profili szynowych. Hutnik – Wiadomości Hutnicze Nr 2/2003.
4. Kocańda S.: Zmęczeniowe pękanie metali, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1985.
5. Burakowski T., Wierchoń T.: Inżynieria powierzchni metali, Wydawnictwa Naukowo Techniczne. Warszawa 1995.
6. Adamie Abstrakt., Dziubiński J., John A.: Zużycie Abstrakt trwałość szyn kolejowych. Przegląd Mechaniczny, Zeszyt 7 – 8/2002.

Recenzent: dr hab. inż. Bogdan Garbarz

### Abstract

The results of the wear tests employing Amsler stand conducted on pearlitic rail steel are presented. The samples for the tests were taken just below the running surface of the head hardened rail. The tests were conducted with the load of 200 N, and the number of rolling cycles were diversified. The complete test comprised 52000 cycles; however, the sequence of the tests were conducted in such a way that the revolution of the disks was stopped after every 4000 cycles for wear rate measurement and microstructure development investigation. The linear wear rate as a function of rolling cycles was observed. The wear of the experimental samples depending on rolling path was correlated with the changes occurring in the subsurface layer. It was found that due to the development of shear stresses, the subsurface layer underwent a severe plastic deformation resulting in a rotation of the essential microstructural components comprising pearlite colonies, prior austenite grain boundaries as well as non-metallic inclusions of MnS, to the orientation parallel to the surface. At the same time, pearlite colonies were undergoing a substantial elongation. The cracks initiated at the colony and prior austenite boundaries, and also on the phase interface MnS/matrix. Based upon the SEM investigation, it is reasonably to assume that the thin ferrite layers that precipitated along the austenite boundaries played major part in the process of the crack initiation. The cracks propagated at some acute angle with respect to the samples' surface, eventually causing the occurrence of flakes. The hardness measurements have shown a substantial hardening of the subsurface layer. The hardness, as well as the hardened layer depth increased as the number of the cycles increased.