

MACIEJ MICHNEJ\*

PROCES ZUŻYCIA W POŁĄCZENIU OBROTOWYM  
NA PRZYKŁADZIE MODELU ZESTAWU KOŁOWEGO  
Z SAMOCZYNĄ ZMIANĄ ROZSTAWU KÓŁ

FRETTING WARE PROCESS IN SWIVEL JOINTSON  
EXAMPLE OF AUTOMATIC WHELLSET GAUGE  
CHANGING SYSTEM

Streszczenie

W artykule dokonano analizy problemu zużycia wstępującego w węźle tarciovym oś-tuleja na przykładzie zestawu kołowego z samoczynną zmianą rozstawu kół. Opisano mechanizm powstawania zużycia typu fretting, przedstawiono wstępne wyniki badań modelowych związanych z oceną własności tribologicznych wybranych materiałów zastosowanych w analizowanym węźle tarciovym.

*Słowa kluczowe: połączenie obrotowe, zużycie, zestaw kołowy*

Abstract

The paper have analyzed the problem of wear, existing in friction par axle-sleeve on example of automatic wheelset gauge changing system. Author present mechanism of fretting wear development and preliminary results of the model tests, related to the evaluation of tribological properties of selected materials used in the analyzed contact node.

*Keywords: swivel joints, wear, wheelset*

\* Mgr inż. Maciej Michnej, Instytut Pojazdów Szynowych, Wydział Mechaniczny, Politechnika Krakowska.

## 1. Wstęp

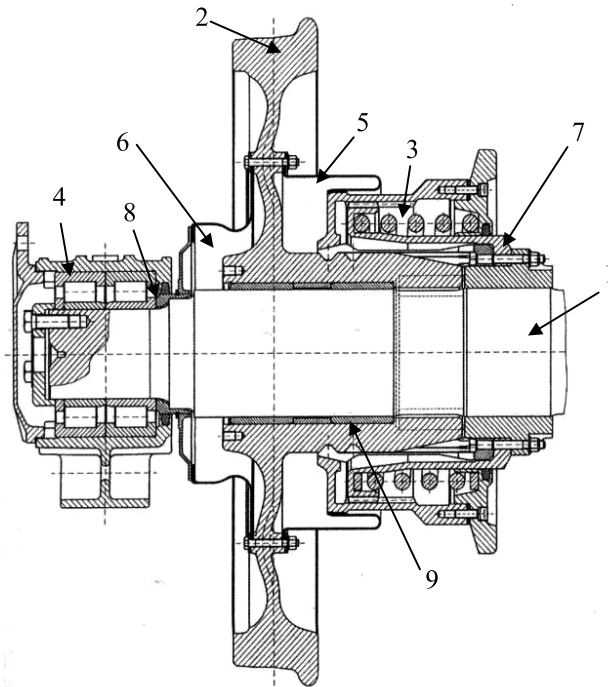
Rozwijający się w szybkim tempie handel zagraniczny pomiędzy państwami Europy i Azji wymaga elastycznych i niezawodnych łańcuchów logistycznych, dla których transport kolejowy jest jedyną gałęzią zapewniającą wysoką przepustowość w przewozie pasażerów i ładunków. Główną przeszkodą rozszerzania interoperacyjności systemu kolejowego na państwa Europy Wschodniej jest bariera techniczna polegająca na istnieniu na granicach państw dróg kolejowych, charakteryzujących się różnymi szerokościami torów. Bariery tę pokonuje się, stosując system oparty na przeladunku towarów lub system przestawczy, który realizowany jest za pomocą wymiany wózków wagonowych, wymiany zestawów kołowych lub z zastosowaniem zestawów kołowych z samoczynną zmianą rozstawu kół.

Jednym z niewielu rozwiązań zestawu kołowego z automatyczną zmianą rozstawu kół, który został w praktyce zastosowany, jest zaprojektowany na początku lat 90. przez polskiego konstruktora Ryszarda Marię Suwalskiego zestaw kołowy SUW 2000. Początkowa eksploatacja tego zestawu wykazywała pewne problemy konstrukcyjne, które polegały głównie na niekontrolowanym blokowaniu koła w momencie zmiany szerokości toru, w wyniku powstawania zjawiska zużycia frettingowego na styku połączenia tuleja–oś. Obecnie problem zużycia frettingowego w przedmiotowym zestawie kołowym został rozwiązany dzięki zagranicznej technologii pokrycia tulei ślizgowej włókniną PTFE, jednak nie jest to optymalne rozwiązanie, szczególnie pod względem kosztów technologii wytwarzania.

Wyniki badań zużycia frettingowego w połączeniach elementów i zespołów maszyn pracujących w warunkach obrotowego zginania wskazują, że zużycie to ma istotny wpływ na obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej połączenia, a także może być ogniskiem rozwoju pęknięć zmęczeniowych. Zestaw kołowy pojazdów szynowych ze względu na specyficzne warunki pracy jest szczególnie narażony na rozwój zużycia frettingowego. Ze względu na rolę, jaką odgrywa w prowadzeniu pojazdu w torze i zapewnieniu bezpieczeństwa ruchu kolejowego, niedopuszczalne są jego uszkodzenia, w tym również w połączeniu obrotowym tuleja–oś. W przypadku połączeń obrotowych w zestawach kołowych brakuje zarówno badań doświadczalnych, jak i analiz teoretycznych, które byłyby podstawą do wyjaśnienia zagadnień wpływu różnych czynników konstrukcyjno-technologicznych na mechanizm rozwoju zużycia frettingowego. Duże wymiary rzeczywistego zestawu kołowego stwarzają trudności badawcze natury technicznej, co wymusza prowadzenie badań na modelach rzeczywistego układu [4].

## 2. Charakterystyka zestawu kołowego z samoczynną zmianą rozstawu kół

Zestawy kołowe o zmiennym rozstawie kół (SUW 2000) są przeznaczone do eksploatacji na torach kolejowych o szerokości 1435 mm, 1520 mm, 1668 mm. Zmiana rozstawu kół odbywa się w trakcie przejazdu przez torowe stanowisko przestawcze, podczas którego koła zestawu są przesuwane samoczynnie na wymaganą szerokość. Przebieg zmiany rozstawu nie wymaga odciążania zestawu kołowego.



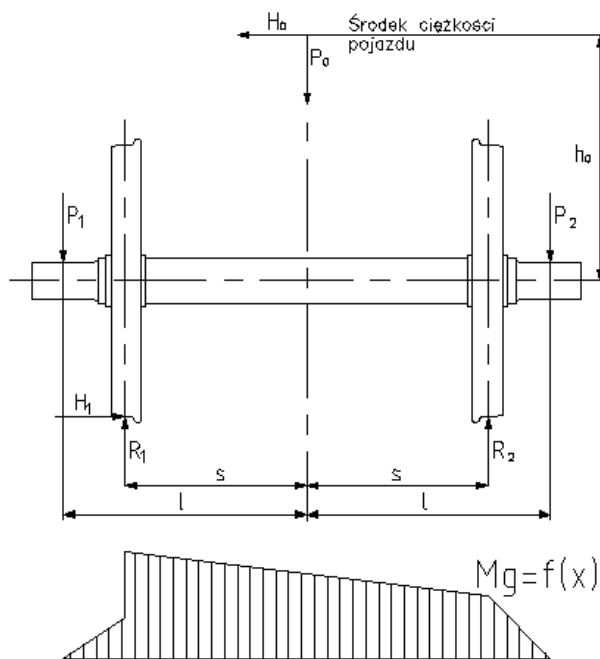
Rys. 1. Podstawowe elementy zestawu kołowego SUW 2000 na styk torów 1435/1520 mm:  
 1 – podzespół osi, 2 – koło, 3 – mechanizm blokujący, 4 – łożysko osiowe, 5 – osłona wewnętrzna,  
 6 – osłona zewnętrzna, 7 – nakrętki samozabezpieczające, 8 – pierścień oporowy, 9 – tuleja ślizgowa [5]

Fig. 1. Basic elements of wheelset SUW 2000 for 1435/1520 mm gauge: 1 – axle sub assembly,  
 2 – wheel, 3 – locking mechanism, 4 – axle bearing, 5 – internal cover,  
 6 – external cover,  
 7 – self lock nuts, 8 – stopper ring, 9 – slide sleeve [5]

Koła połączone są z osią w sposób uniemożliwiający im względne przemieszczanie się w kierunku poosiowym i obwodowym, co zapewnia centrowanie zestawu kołowego w ruchu po torze kolejowym. Podstawowe elementy zestawu kołowego SUW 2000 przedstawiono na rys. 1. Koło bezobrzęczowe (2) o średnicy okręgu toczonego 920 mm jest wykonane z materiału R9E wg wymagań karty UIC 812-3. Koło jest hartowane indukcyjnie i odpuszczone (twardość min. 50 HRC).

Koło posiada wydłużoną piastę zakończoną zabierakami przeznaczonymi do współpracy z piastą ustalającą. Na zewnętrznej powierzchni wydłużonej piasty koła wykonano dwa rowki trapezowe do współpracy z tuleją rozprężną mechanizmu blokującego (3). Odległość pomiędzy dwoma rowkami odpowiada połowie różnicy szerokości toru, ponieważ oba koła są przesuwane o tę samą wartość. Pasowanie obrotowe koła uzyskuje się za pomocą tulei ślizgowych (9) wciśniętych w piastę koła. W rozwiązaniu przedstawionym na rys. 1 zastosowano tuleje stalowe, pokryte od wewnątrz teflonową warstwą ślizgową PTFE, przygotowaną do pracy bez potrzeby smarowania połączenia.

Oś zestawu kołowego (1) wykonana jest ze stali A1N wg karty UIC 811-1. W aktualnym rozwiązaniu na powierzchni podpiaścia zastosowano powłokę molibdenową nałożoną metodą płomieniowej metalizacji natryskowej o grubości warstwy 0,5–1,4 mm. Twardość powłoki wynosi 800 HV (62HRC). Dla zwiększenia wytrzymałości zmęczeniowej oś poddano obróbce rolkowania na całej długości z wyjątkiem powierzchni molibdenowanych.



Rys. 2. Schemat obciążenia zestawu kołowego i odpowiadający mu rozkład momentu zginającego [1]

Fig. 2. Diagram of the wheelset load and the corresponding bending moment distribution [1]

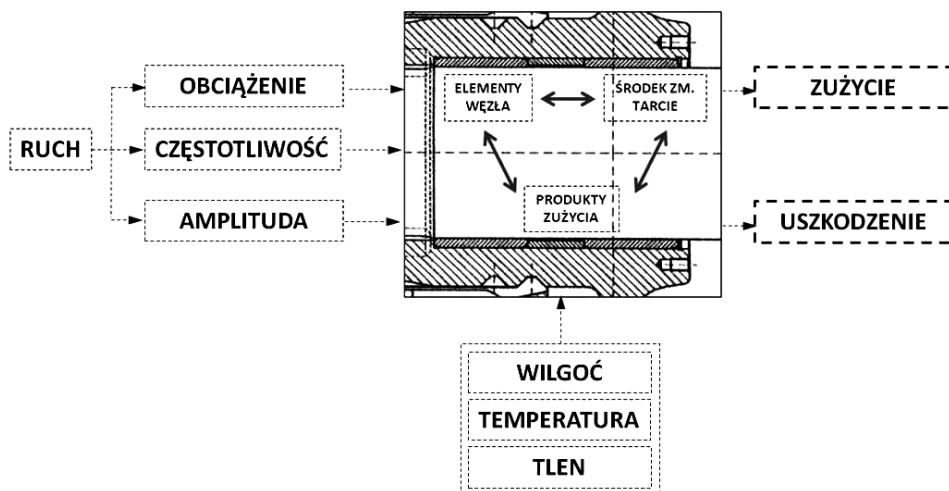
Podczas eksploatacji na zestaw kołowy działają obciążenia zewnętrzne, jak i obciążenia ciepłe powstające podczas hamowania, które mają niekorzystny wpływ na trwałość zestawów kołowych. Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat obciążenia zestawu kołowego pojazdu szynowego podczas jazdy. Zestaw kołowy poddany jest działaniu: obciążeń pionowych pochodzących od ciężaru pojazdu szynowego ( $P_1$  i  $P_2$ ), sił bocznych na styku obrzeża koła i główki szyny ( $H_1$ ) powstających w wyniku nabiegania obrzeża na powierzchnię boczną główki szyny.

Pod wpływem obciążeń zewnętrznych oś zestawu kołowego ulega odkształceniom. Obciążenia pionowe przyłożone do korpusu łożyska są zrównoważone reakcją pionową przyłożoną w miejscu styku koła z szyną, dając moment zginający powodujący w efekcie wygięcie środka osi ku górze. W górnych warstwach osi występują naprężenia rozciągające, a w dolnych ściskające, w wyniku czego w obszarze styku podpiaścia i osi mogą wystąpić mikropoślizgi względne. Prawdopodobieństwo rozwoju mikropoślizgów w tradycyjnym zestawie kołowym zostało opisane w pracach [3, 6].

W zestawie kołowym SUW 2000 pomiędzy tuleją ślizgową a osią występuje pasowanie obrotowe, a więc ze względu na brak dużych nacisków powierzchniowych i montażowych istnieje znacznie większe prawdopodobieństwo wystąpienia oscylacji pomiędzy skojarzonymi powierzchniami elementów.

### 3. Identyfikacja zużycia węzła styku oś–tuleja

Przedstawiony w poprzednim punkcie charakter obciążeń działających na zestaw kołowy oraz związane z nimi odkształcenie osi zestawu kołowego stwarzają warunki do występowania oscylacyjnych przemieszczeń stycznych (OPS) pomiędzy skojarzonymi powierzchniami tulei oraz osi. Występowanie OPS oraz przedstawiony na rys. 3 schemat węzła tarcowego jako systemu tribologicznego charakteryzuje powstałe zużycie jako fretting. Świadczy o tym również obraz zużycia współpracujących powierzchni osi zestawu kołowego w postaci śladów korozji oraz wzrostu chropowatości powierzchni. W literaturze fretting opisany jest jako proces niszczenia warstwy wierzchniej współpracujących elementów, zachodzący przy bardzo niewielkich wzajemnych przemieszczeniach stykających się ciał spowodowanych drganiami o amplitudzie  $25\ \mu\text{m}$ . Autor pracy [2] uważa, że największy wpływ na proces frettingu wywiera struktura węzła tarcowego oraz jego otoczenie.



Rys. 3. Schemat węzła styku jako systemu tribologicznego

Fig. 3. Scheme of contact node on example of tribology system

### 4. Badania doświadczalne

Badania doświadczalne dotyczą badań laboratoryjnych połączenia tulejki z wałkiem, które modeluje połączenie rzeczywiste tulei ślizgowej koła z osią. Ze względu na wymiary zestawów kołowych badania na obiekcie rzeczywistym są kosztowne i czasochłonne z uwagi na konieczność zastosowania specjalistycznego stanowiska badawczego, a także odpowiednio długiego czasu badań. Z tego względu do badań zużyciowych próbek modelujących po-

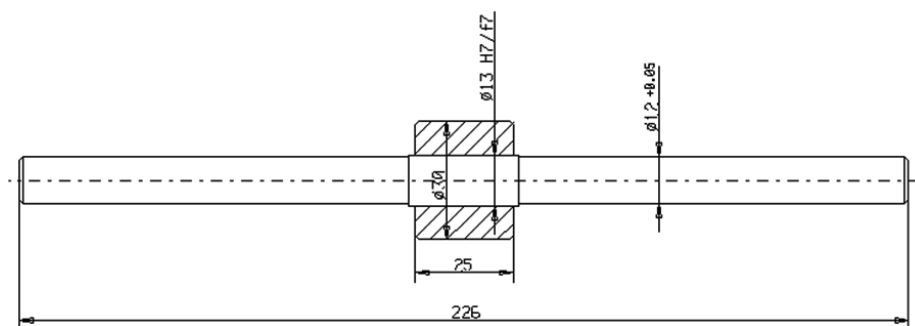
łączenie tuleja-oś wykorzystano maszynę zmęczeniową typu MUJ. Badania zmęczeniowe próbki w warunkach obrotowego zginania zapewniają symulację rzeczywistych obciążeń zestawu kołowego w warunkach eksploatacji.

Badania doświadczalne dotyczyły:

- określenia rzeczywistego stanu warstwy wierzchniej w obrębie połączenia tulejki z wałkiem po wykonaniu połączenia i po badaniach zużyciowych dla wytypowanych procesów technologicznych, materiałów tulejki i środków smarnych,
- określenia wpływu wybranych procesów technologicznych i materiału tulejki na rozwój oraz intensywność zużycia frettingowego.

Na podstawie analizy literatury dotyczącej mechanizmu rozwoju zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych koła z osią zaproponowano takie procesy technologiczne, które ograniczą inicjację zużycia frettingowego na powierzchni wałka oraz zapewnią odpowiedni stan powierzchni podpięcia, zapewniający tę samą siłę potrzebną do przesuwu tulei po podpięciu przed i po badaniach zużyciowych.

Przy doborze próbki modelującej połączenie tuleja ślizgowa–oś zestawu kołowego kierowano się zachowaniem podobieństwa wymiarowego w strefie połączenia. W tym celu zachowano proporcję długości połączenia i średnicy osi oraz wielkości luzu.



Rys. 4. Wymiary próbki do badań modelowych

Fig. 4. Dimensions of the sample

Do badań wstępnych wałek wykonano ze stali 45, a tulejkę ze stali 36HNM. Taki dobór materiałów zapewniał zbliżone własności do materiałów, z których wykonany był obiekt rzeczywisty w wersji prototypowej.

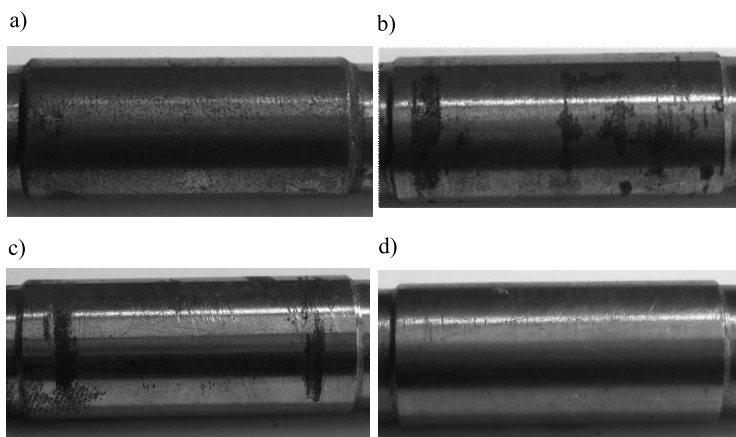
## 5. Wybrane przykłady badań zużycia frettingowego

Poniżej przedstawiono przykładowe wyniki badań zużycia frettingowego powierzchni wałka. Badania polegały na obserwacji makroskopowej wałków przed i po badaniach zużyciowych. Badania makroskopowe wykonano po zdjęciu tulejki z wałka. Powierzchnie wałków obserwowano przy powiększeniu ok. 8 x.

Na fotografiach a-d (rys. 5) przedstawiono wybrane obrazy powierzchni wałków dla próbek o symbolach:

- a) PR/002 – molibden (w) – stal (t);
- b) PR/004 – stal (w) – stal (t);
- c) PR/007 – stal (w) – ertalon (t);
- d) PR/011 – stal (w) – stal (t) – środek smarny.

Próbkę PR/004 oznaczono jako próbkę bazową mającą na celu weryfikację doboru modelu poprzez uzyskanie podobnego obrazu zużycia, jak w obiekcie rzeczywistym oraz jako odniesienie do proponowanych zmian.



Rys. 5. Próbkę modelowe po badaniu zużyciowym

Fig. 5. Model samples after wear tests

W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów: chropowatości powierzchni tulei i wałka przed badaniami zużyciowymi, siły przesuwu tulei po wałku oraz liczbę cykli wykonanych w trakcie badań zużyciowych. Uzyskane wyniki z badań doświadczalnych będą podstawą do przeprowadzenia analizy rozwoju zużycia frettingowego w badanych połączeniach ze względu na rodzaj obróbki wykańczającej podpięcia wałeczka, materiał tulei oraz środek smarny.

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarów

Lp.	Numer próbki	Siła niezbędna do zsunienia tulejki [N]		Chropowatość pow. [Ra] – tuleja [um]	Chropowatość pow. [Ra] – wałek [um]	Liczba cykli 10 <sup>6</sup>
		przed badaniami	po badaniach			
1	PR/002	8,1	12,2	0,8866	0,5525	6,57
2	PR/004	1,4	24,3	3,3895	0,3317	6,71
3	PR/007	0,3	0,3	2,6069	0,2493	6,17
4	PR/011	2,1	2,0	2,9657	0,3948	7,9

## 6. Wnioski

Na podstawie przytoczonych powyżej wyników badań zmęczeniowych próbek modelujących połączenie tuleja ślizgowa–oś zestawu kołowego można stwierdzić, że warunki pracy skojarzonych elementów sprzyjają rozwojowi zużycia typu fretting. Molibdenowanie powierzchni wałeczka jest skuteczną metodą eliminowania zużycia typu fretting, a z przedstawionych skojarzeń najlepsze efekty dało naniesienie smaru Glacier na powierzchnię współpracujących elementów. Zastosowanie tulei z tworzywa kompozytowego nie zapobiegło rozwojowi zużycia typu fretting na powierzchni wałka.

## Literatura

- [1] Guzowski S., Kowalski S., *Wpływ procesów technologicznych na zużycie frettingowe w połączeniu wciskowym*, Tribologia 3/2010, 85-94.
- [2] Guzowski S., *Zużycie frettingowe osi zestawów kołowych pojazdów szynowych*, Problemy Eksploatacji, z. 1, 2002, 67-75.
- [3] Helmi Attia, *On the thermal origin of the antagonistic and synergistic effects of fretting and crevice corrosion processes in multi-phase flow environment*, Tribology International, 42/2009, 1263-1268.
- [4] Piec P., *Selected methods of investigation of rail vehicle elements wear processes*, Archives of transport, Vol. 16, issue 3, Warsaw 2004, 2139.
- [5] Suwałski R.M., *System samoczynnej zmiany rozstawu kół pojazdów szynowych*, Monografia, AGH, Kraków 2006.
- [6] Volchok A., Halperin G., Etsion I., *The effect of surface regular microtopography on fretting fatigue life*, Wear, 253, 2002, 509-515.