

**Stanisław GUZOWSKI, Sławomir KOWALSKI**

Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, Kraków

## **WPLYW AZOTOWANIA NA ZUŻYCIE FRETINGOWE W POŁĄCZENIU WCISKOWYM**

### **Słowa kluczowe**

Fretting, połączenie wślazane, zestaw kołowy, azotowanie.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu azotowania powierzchni wałka na rozwój zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym. Badania zostały przeprowadzone na modelu połączenia koło-oś zestawu kołowego. Badania wykazały, że zastosowanie azotowania w znacznym stopniu ogranicza rozwój zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym.

### **1. Wprowadzenie**

Fretting jest jednym z procesów niszczenia warstw wierzchnich elementów maszyn. Jest to zjawisko oscylacyjnego ślizgania o małej amplitudzie elementów będących w styku, którego rezultatem jest uszkodzenie i zużywanie warstwy wierzchniej [3, 4]. Fretting jest zjawiskiem o bardzo złożonym mechanizmie zużywania, w którym nakładają się lub następują po sobie: zużycie adhezyjne, zmęczenie powierzchniowe, odwarstwianie, utlenianie, ścieranie wierzchołkami nierówności i luźnymi produktami zużycia. Rozbieżności pomiędzy poszczególnymi badaczami w opisie zjawiska wynikają głównie z przyjęcia jednego z tych procesów jako inicjującego rozwój zużycia frettingowego.

Problem zużycia frettingowego jest wciąż aktualny, pomimo znacznego postępu technicznego w budowie maszyn. Obrazem zużycia frettingowego mogą

być ślady korozji na powierzchni elementów, wzrost chropowatości powierzchni, mikropęknięcia w warstwie wierzchniej, wżery. Przykłady zużycia można znaleźć praktycznie we wszystkich dziedzinach techniki, gdzie mamy do czynienia z parą stykających się elementów, które mogą być narażone na oscylacje w miejscu styku. Ze zjawiskiem frettingu możemy spotkać się zarówno na powierzchni styków elektrycznych, w urządzeniach siłowni nuklearnych, linach nośnych kolei linowych, jak również w złączach sztucznych stawów i elementów ortopedycznych łączących złamane kończyny.

Charakterystyczne warunki rozwoju zużycia frettingowego powodują, że z tym zjawiskiem mamy szczególnie do czynienia w wielu połączeniach i skojarzeniach elementów w środkach transportu, a z czego nie zawsze zdajemy sobie sprawę. Uszkodzenia w warstwie wierzchniej elementów spowodowane frettingiem są często przypisywane innym rodzajom uszkodzeń. Wynika to z faktu, że uszkodzenia frettingowe, które inicjowane są już w początkowym okresie eksploatacji, stają się często źródłem innych uszkodzeń, np. zmęczeniowych, co stwarza duże trudności w ich identyfikacji.

Szczególnie podatne na rozwój zużycia frettingowego są połączenia wciskowe pracujące w warunkach obciążeń zmiennych. Konsekwencją wystąpienia uszkodzeń w tego typu połączeniach może być m.in. zmniejszenie nacisków montażowych, a w skrajnym przypadku pęknięcia zmęczeniowe elementów połączenia. Typowym przykładem występowania tego rodzaju uszkodzeń jest połączenie wciskowe koła z osią zestawów kołowych pojazdów szynowych.

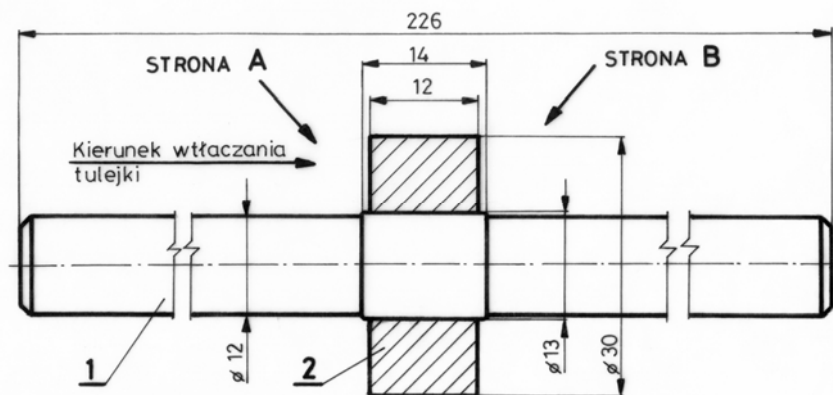
## **2. Zużycie frettingowe w połączeniu wciskowym**

Wyniki badań zużycia frettingowego na modelu połączenia koło–oś zestawu kołowego omówiono w monografii [2]. Dotyczyły one połączenia wciskowego wykonanego przez wtlaczanie pracującego w warunkach obrotowego zginania. Wykonany model połączenia (wałek–tulejka), jak również przyjęte warunki badań zmęczeniowych symulowały rzeczywiste połączenie koła z osią zestawu kołowego. Przeprowadzone badania wykazały charakterystyczny obraz uszkodzeń frettingowych występujących na wałku w postaci charakterystycznego pierścienia na całym obwodzie podpięcia, począwszy od krawędzi styku z tulejką w głąb połączenia (rys. 4a). Na podstawie przeprowadzonych badań opisano mechanizm rozwoju zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym. Stwierdzono, że procesem inicjującym rozwój zjawisk frettingowych w połączeniu wciskowym są głównie procesy adhezji. Tworzenie się lokalnych połączeń adhezyjnych, a następnie ich rozrywanie w wyniku występujących oscylacji pomiędzy połączonymi elementami generuje z kolei zużycie frettingowe. Stąd nasuwa się bezpośredni wniosek, że ograniczenie warunków do tworzenia połączeń adhezyjnych zmniejszy jednocześnie prawdopodobieństwo rozwoju zużycia frettingowego.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań wpływu procesu azotowania powierzchni wałka w obszarze połączenia z tulejką na rozwój zużycia frettingowego w tym połączeniu.

### 3. Metodyka badań

Badania miały na celu stwierdzenie, w jakim stopniu proces azotowania może wpływać na rozwój zużycia frettingowego w połączeniu właczanym. Badania zużyciowe przeprowadzono na próbkach składających się z wałka i tulejki (rys. 1). Jednak zachowanie odpowiednich kryteriów podobieństwa, o których mowa w pracy [1] pozwala na przeniesienie wyników badań na obiekt rzeczywisty połączenia właczanego koło-oś.



Rys. 1. Schemat próbki będącej modelem połączenia koło-oś; 1 – wałek, 2 – tulejka

Dla zapewnienia podobnych właściwości badanych próbek do obiektu rzeczywistego, wykonano je z materiałów, jakie zalecają odpowiednie normy dotyczące wytwarzania zestawów kołowych. Przyjęta wartość wcisku 0,02 mm w połączeniu tulejki z wałkiem zapewniała uzyskanie nacisków powierzchniowych odpowiadających naciskom w rzeczywistym połączeniu koło-oś. Program badań obejmował wykonanie dwóch wariantów modelu połączenia wałek-tulejka ze względu na obróbkę wykańczającą podpięcia wałka:

- powierzchnia tylko toczona,
- powierzchnia azotowana.

Azotowanie wałków przeprowadzono metodą kąpielową w stopionych solach zawierających cyjanki. Dzięki procesowi azotowania obrabiany element staje się bardziej odporny na ścieranie, a także następuje podwyższenie jego twardości i wytrzymałości zmęczeniowej. W tabeli 1 zestawiono wyniki pomia-

rów twardości i chropowatości powierzchni podpiaścia wałków dla obu wariantów wykonania.

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów twardości i chropowatości podpiaścia wałków

Stan powierzchni	Badany parametr	
	Twardość HB	Chropowatość Ra [ $\mu\text{m}$ ]
powierzchnia toczona	170	1,7
powierzchnia azotowana	300	2,1

Rzeczywiste obciążenie zestawu kołowego symulowano na maszynie zmęczeniowej typu MUJ. Konstrukcja maszyny umożliwiała uzyskanie obciążenia okresowo zmiennego przy czystym zginaniu obracającej się próbki. W badaniach zmęczeniowych przyjęto dla wszystkich próbek taką samą liczbę cykli obciążeń około  $7 \times 10^6$  oraz obciążenie  $Q = 400 \text{ N}$ .

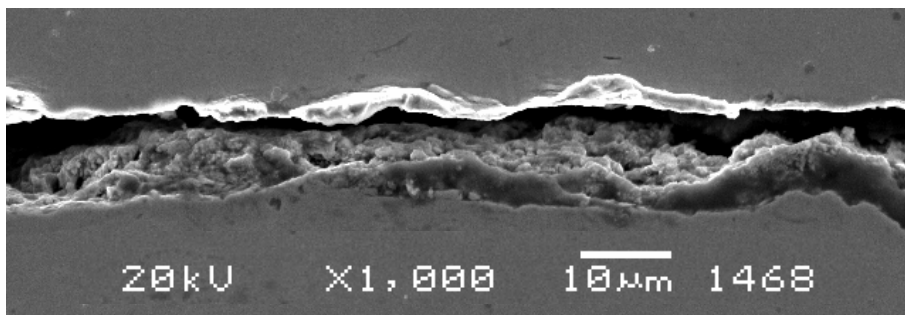
#### 4. Wyniki badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne przeprowadzone zostały na dwóch etapach.

Pierwszy etap badań obejmował obserwacje obrazu warstwy wierzchniej wałka i tulejki na styku połączenia. Były one wykonane przed badaniami użytkowymi. Ich celem było przede wszystkim stwierdzenie czy i w jakim stopniu na obraz styku łączonych powierzchni ma wpływ twardość i chropowatość powierzchni, będąca wynikiem azotowania podpiaścia wałka. Obserwacje obrazu styku przeprowadzono na mikroskopie optycznym na zglądach szlifowanych nietrawionych (rys. 2). Badania te pokazały rzeczywisty zarys styku obu połączonych elementów z jego wszystkimi deformacjami i uszkodzeniami. Obserwacje przeprowadzono również na mikroskopie skaningowym (rys. 3).



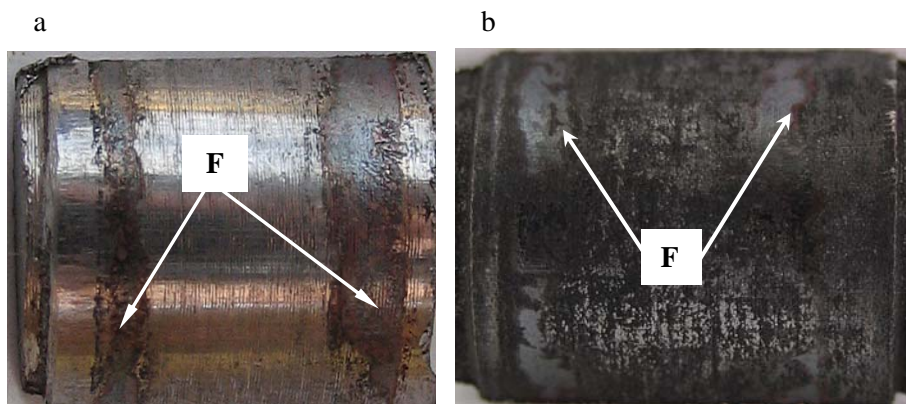
Rys. 2. Obraz powierzchni styku wałka z podpiaściem azotowanym i tulejki, pow. 400 $\times$ , próbka nietrawiona



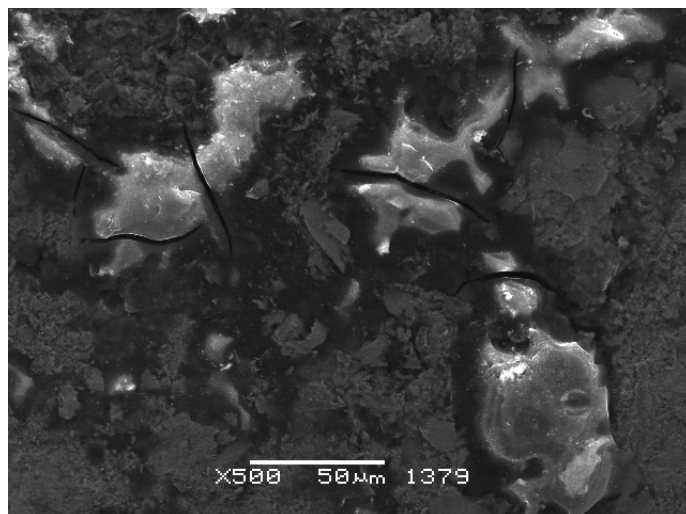
Rys. 3. Obraz skaningowy warstwy wierzchniej wałka z podpiąciem azotowanym i tulejki na styku połączenia

Drugi etap badań obejmował badania zużyciowe polegające na badaniach zmęczeniowych próbek w warunkach obrotowego zginania. Po określonej liczbie cykli obciążeń próbkę przecinano w celu zdjęcia tulejki z wałka. Ten sposób demontażu połączonych elementów pozwalał na otrzymanie nieuszkodzonej powierzchni wałka w strefie połączenia. Następnie przeprowadzono badania makrograficzne (rys. 4), które pozwoliły określić miejsce wystąpienia zużycia frettingowego na podpiąciu wałka oraz jego zasięg. Prawa strona każdej fotografii odpowiada stronie B na rys. 1.

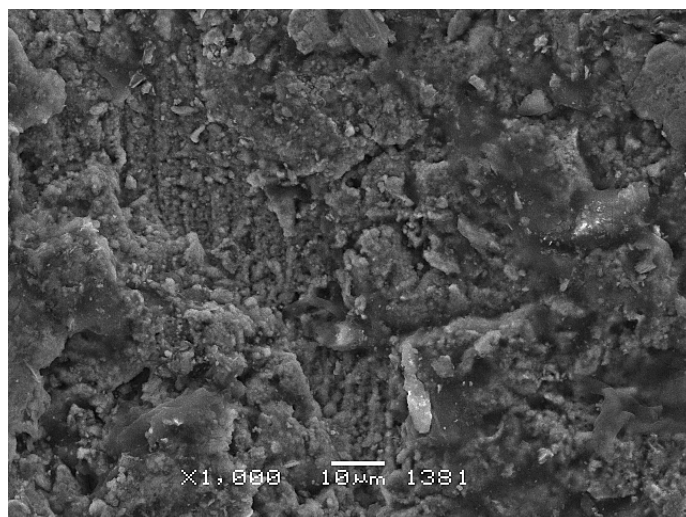
Na rys. 5 i 6 pokazano przykładowe obrazy skaningowe powierzchni wałka w obszarze zużycia frettingowego dla wałków azotowanych. Podczas tych badań obserwowano rzeczywisty obraz uszkodzeń powstających na powierzchni podpiąścia wałków. Co stanowiło podstawę do identyfikacji rodzajów zużycia składających się na zużycie frettingowe.



Rys. 4. Fotografie powierzchni podpiąścia wałka po badaniach zużyciowych, pow. 10 $\times$ , a) tylko toczzonego, b) azotowanego



Rys. 5. Obraz skaningowy azotowanej powierzchni wałka po badaniach zużyciowych



Rys. 6. Obraz skaningowy azotowanej powierzchni wałka po badaniach zużyciowych

## 5. Zakończenie

Przytoczone wyniki badań wskazują na bardzo korzystny efekt azotowania powierzchni montażowych wałka w połączeniu wciskowym dla ograniczenia zużycia frettingowego. Wyniki badań zmęczeniowych wskazują na śladowe objawy występowania zużycia frettingowego na powierzchni wałka azotowane-

go w porównaniu z powierzchniami wałka bez obróbki wykańczającej (rys. 4). Ten korzystny efekt procesu azotowania można tłumaczyć mechanizmem rozwoju zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym. Jeżeli przyjmiemy, że procesem inicjującym rozwój zużycia frettingowego będzie adhezja, to wszelkie działania mające na celu ograniczenie jej występowania również ograniczą rozwój frettingu.

Wiadomo, że czynnikami ograniczającymi tworzenie szczepień adhezyjnych są m.in. duży gradient twardości stykających się powierzchni oraz obecność tzw. ciała trzeciego na styku obu powierzchni. Oba te czynniki mają miejsce w przypadku badanych próbek. Twardość powierzchni azotowanej jest prawie dwukrotnie większa od twardości powierzchni tylko toczonej (tab. 1). Na styku obu połączonych elementów na całej długości połączenia występuje warstwa ciała trzeciego, którą stanowią m.in. produkty zużycia powstałe w trakcie włączania tulejki na wałek (rys. 3 i 6). W wyniku tego nie występuje bezpośredni kontakt ciał pierwszych, co z kolei uniemożliwia tworzenie lokalnych szczepień adhezyjnych.

## **Bibliografia**

1. Furmanik K., Guzowski S.: Analiza wymiarowa w badaniach modelowych zużycia frettingowego w połączeniu koło-oś. XV Konferencja Naukowo-Techniczna „Pojazdy Szynowe” Szklarska Poręba 2002.
2. Guzowski S.: Analiza zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych na przykładzie osi zestawów kołowych pojazdów szynowych, Monografia 284, Politechnika Krakowska, Kraków 2003.
3. Neyman A.: Fretting w elementach maszyn. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.
4. Pytko S., Szczerek M.: Fretting – forma niszczenia elementów maszyn. Tribologia nr 6, 1994.

Recenzent:  
**Antoni NEYMAN**

## **Influence of nitriding on fretting wear in clamped joint**

### **Keywords**

Fretting wear, clamped joint, wheel set, nitriding.

### **Summary**

The paper presents the results of research into the influence of a shaft surface nitriding process on the development of clamped joint fretting wear. Research was conducted on a model of a wheel-axle clamped joint of the railway wheel set. As the tests showed, the nitriding process limits the development of clamped joint fretting wear to a considerable degree.