

**Stanisław GUZOWSKI\***

## **MECHANIZM ZUŻYCIA FRETTINGOWEGO W POŁĄCZENIU WCISKOWYM**

### **A MODEL OF FRETTING WEAR IN CLAMPED JOINTS**

#### **Słowa kluczowe:**

połączenie wciskowe, zużycie, fretting

#### **Key-words:**

clamped joint, wear, fretting

#### **Streszczenie**

W artykule na podstawie wyników badań, prowadzonych na modelu połączenia wciskowego, zaproponowano mechanizm rozwoju zużycia frettingowego w tym połączeniu. Podkreślono, że procesem inicjującym rozwój zużycia są zjawiska adhezji.

#### **WPROWADZENIE**

Pojęcie frettingu obejmuje skutki działania złożonych zjawisk, zachodzących na powierzchniach dociskanych do siebie i obciążonych zmienną siłą elementów. Obecnie panuje zgodność, że fretting jest zjawiskiem o bardzo złożonym

---

\* Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Pojazdów Szynowych, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, tel. (12) 628 36 58, e-mail: wojtek@mech.pk.edu.pl.

mechanizmie zużywania, w którym nakładają się lub następują po sobie: zużycie adhezyjne, zmęczenie powierzchniowe, odwarstwianie, utlenianie, ścieranie wierzchołkami nierówności i luźnymi produktami zużycia [L. 1]. Rozbieżności pomiędzy poszczególnymi badaczami wynikają głównie z przyjęcia jednego z tych procesów jako inicjującego rozwój zużycia frettingowego. Badania zużycia frettingowego prowadzone były przede wszystkim dla skojarzeń o styku skoncentrowanym lub płaskim i również ich dotyczyły proponowane modele zużycia [L. 3, 4].

Zdecydowana większość autorów, wymieniając przykłady elementów lub połączeń, w których występuje zużycie frettingowe, wskazuje najczęściej na połączenia wciskowe. Należy podkreślić, że jest to przykład bardzo trafny. Połączenia wciskowe kumulują w sobie wszystkie niezbędne do rozwoju frettingu warunki. Istnieje stały, określony docisk połączonych powierzchni elementów oraz mogą występować przemieszczenia względne tych powierzchni w przypadku obciążenia jednego z elementów zmienną siłą styczną lub gdy całe połączenie pracuje w warunkach obrotowego zginania.

Montaż połączeń wciskowych wykonuje się najczęściej na drodze wtłoczenia jednego elementu w drugi lub poprzez ogrzanie elementu zewnętrznego. Efektem tego będzie przede wszystkim złożony, różny stan warstwy wierzchniej na styku połączonych elementów, który w znacznym stopniu będzie decydował o rozwoju zużycia frettingowego. Nośność połączenia wciskowego zależy przede wszystkim od trzech czynników: sposobu wykonania połączenia, wartości wcisku oraz chropowatości powierzchni montażowych. Badania wykonane przez autora wykazały, że również te czynniki mają istotny wpływ na inicjację i rozwój zużycia frettingowego [L. 2].

## WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA ZUŻYCIE FRETTINGOWE

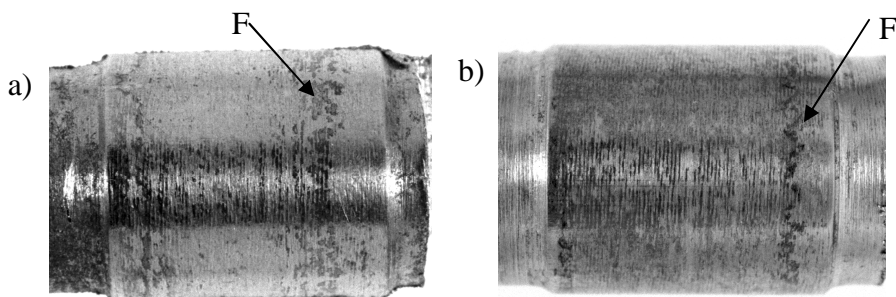
Badania zużycia frettingowego przeprowadzono na połączeniu wciskowym typu wałek-tulejka (Rys. 1) w warunkach obrotowego zginania. Tak przyjęty sposób obciążenia próbki determinował wystąpienie poślizgów względnych pomiędzy połączonymi powierzchniami o zerowej amplitudzie poślizgu w środku połączenia do maksymalnej na jego brzegu. Program badań obejmował m.in. zbadanie wpływu wymienionych wyżej czynników (sposobu wykonania połączenia, wartości wcisku oraz chropowatości powierzchni montażowych) na rozwój i intensywność zużycia frettingowego.

Na kolejnych zdjęciach (Rys. 2 do 5) przedstawiono charakterystyczny obraz powierzchni wałeczka po badaniach zmęczeniowych dla różnych wariantów wykonania połączenia.



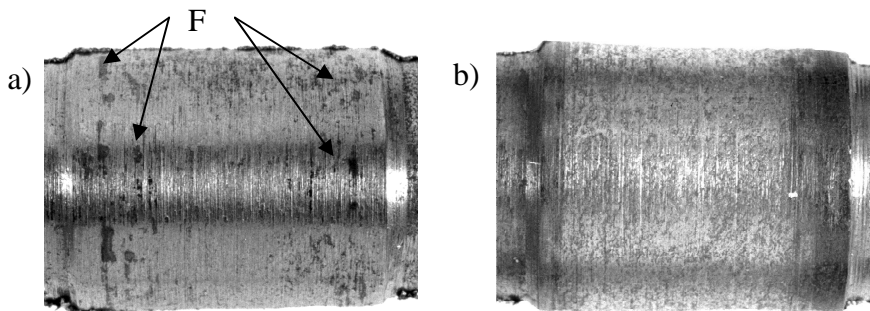
**Rys.1. Połączenie wciskowe wałek-tulejka (pow. 2,5x)**

Fig. 1. Clamped joints shaft-sleeve (magn. 2,5x)



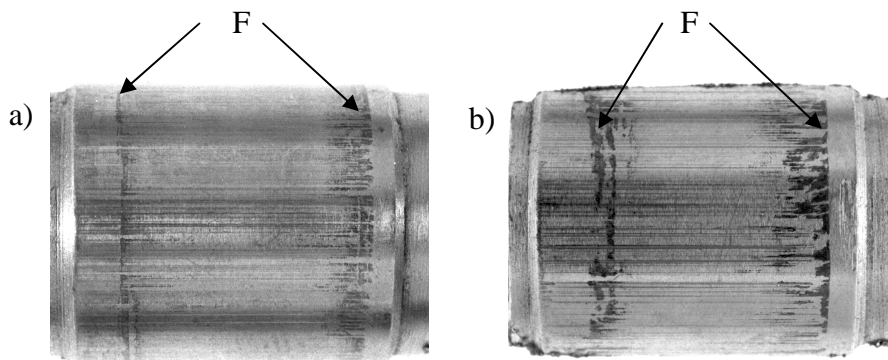
**Rys. 2. Fotografie powierzchni podpięcia wałków toczonego po badaniach zużyciowych, połączenie wtłaczane, pow. 4x, wcisk: a) – 0,01 mm, b) – 0,04 mm; F – zużycie frettingowe**

Fig.2. Photographs of rolled shafts seat surfaces after wear tests, forced-in joint, magn. 4x, clamp: a) – 0.01 mm, b) – 0.04 mm; F – fretting wear



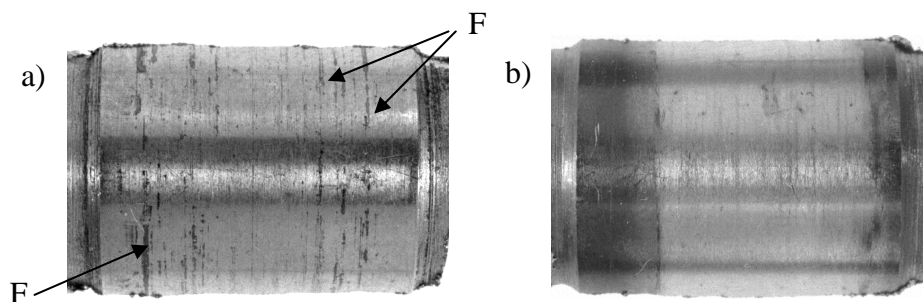
**Rys. 3. Fotografie powierzchni podpięcia wałków toczonego po badaniach zużyciowych, połączenie skurczowe, pow. 4x, wcisk: a) – 0,01 mm, b) – 0,02 mm**

Fig. 3. Photographs of rolled shafts seat surfaces after wear tests, heat assembly, magn. 4x, clamp: a) – 0.01 mm, b) – 0.02 mm



**Rys. 4. Fotografie powierzchni podpięcia wałków szlifowanych po badaniach zużyciowych, połączenie wtlaczane, pow. 4x, wcisk: a) – 0,02 mm, b) – 0,04 mm**

Fig. 4. Photographs of ground shaft seat surfaces after wear tests, forced-in joint, magn. 4x, clamp: a) – 0.02 mm, b) – 0.04 mm



**Rys. 5. Fotografie powierzchni podpięcia wałków szlifowanych po badaniach zużyciowych, połączenie skurczowe, pow. 4x, wcisk: a) – 0,01 mm, b) – 0,02 mm**

Fig. 5. Photographs of ground shaft seat surfaces after wear tests, heat assembly, magn. 4x, clamp: a) – 0.01 mm, b) – 0.02 mm

Obserwacje powierzchni podpięcia wałków po badaniach zużyciowych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

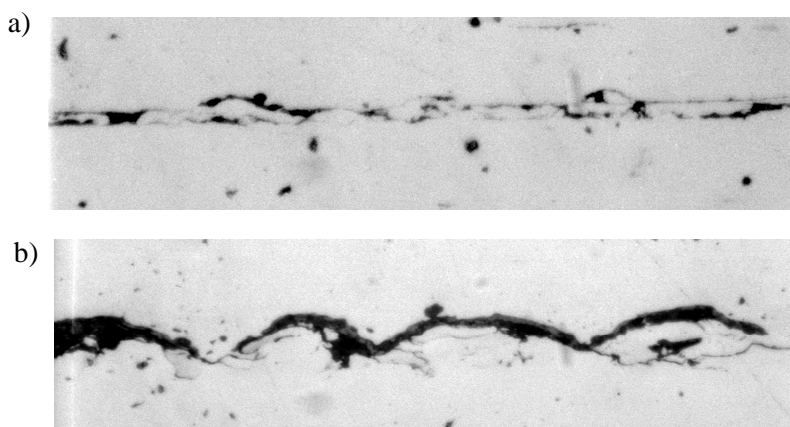
- połączenie wciskowe jest bardzo podatne na rozwój zużycia frettingowego,
- czynnikiem decydującym o miejscu i zasięgu rozwoju zużycia frettingowego jest przede wszystkim sposób wykonania połączenia wałka i tulejki, który jest odmienny dla połączenia wtlaczanego i skurczowego,
- zużycie w połączeniu wtlaczanym ma charakterystyczny obraz w postaci pierścienia na całym obwodzie wałka o niewielkiej szerokości (ok. 1÷2 mm) po obu stronach połączenia przy brzegu tulejki. Również charakterystyczną



- cechą zużycia frettingowego w połączeniu wślaczanym jest znacznie większe zużycie po stronie przeciwnej do wślaczania tulejki na wałek,
- intensywność i obszar zużycia frettingowego w połączeniu wślaczanym są zdecydowanie większe dla powierzchni o mniejszej chropowatości oraz dla połączeń o większej wartości wcisku,
  - w połączeniu skurczowym miejsca zużycia frettingowego występują losowo na całej długości połączenia, z większą intensywnością przy brzegu tulejki, ale tylko dla małych wartości wcisku,
  - w połączeniu skurczowym zużycie jest większe dla powierzchni o mniejszej chropowatości oraz zdecydowanie zmniejsza się ze wzrostem wartości wcisku.

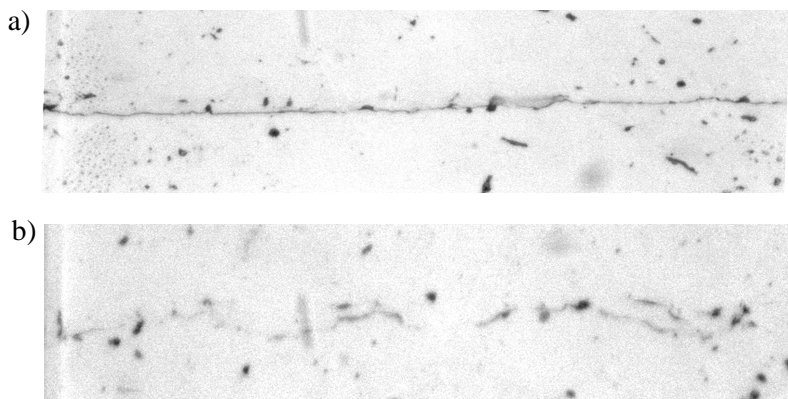
Przytoczony obraz zużycia frettingowego, różny dla obu sposobów wykonania połączenia, ma źródło przede wszystkim w stanie powierzchni na styku połączenia obu elementów. Charakterystyczny obraz powierzchni styku dla obu sposobów łączenia przedstawiono na **Rys. 6 i 7**. Wpływ badanych czynników na rzeczywistą powierzchnię styku jest bardzo złożony. Decydującą rolę spełnia tu przede wszystkim sposób wykonania połączenia. Pozostałe dwa czynniki, chropowatość wyjściowa powierzchni oraz wartość wcisku, mają jedynie wpływ podrzędny, zwiększając lub zmniejszając intensywność zmian na powierzchni styku.

Wynikiem połączenia wślaczanego jest nierównomierna powierzchnia styku na długości połączenia. Rzeczywisty styk ciał pierwszych ma miejsce



**Rys. 6. Obraz powierzchni styku wałka toczonego i tulejki, a) połączenie wślaczane, b) połączenie skurczowe, wcisk 0,04 mm, pow. 320x**

Fig. 6. Contact surface of rolled shaft and sleeve, a) forced-in joint, b) heat assembly, clamp 0.04 mm, magn. 320x



**Rys. 7. Obraz powierzchni styku wałka szlifowanego i tulejki, a) połączenie wtlaczone, b) połączenie skurczowe, wcisk 0,04 mm, pow. 320x**

**Fig. 7. Contact surface of ground shaft and sleeve, a) forced-in joint, b) heat assembly, clamp 0.04 mm, magn. 320x**

głównie w części środkowej połączenia. Praktycznie nie występuje na jego brzegu. Pozostałe obszary połączenia są z kolei miejscem, w których gromadzi się ciało trzecie jako produkt ścięcia mikronierówności w trakcie wtlaczania. Wzrost chropowatości łączonych powierzchni zwiększa długość powierzchni styku zawierającej ciało trzecie, a zmniejsza obszar rzeczywistego styku ciał pierwszych. Wzrost wartości wcisku zwiększa natomiast obszar rzeczywistego styku ciał pierwszych.

Połączenie skurczowe charakteryzuje się równomierną powierzchnią styku na całej długości połączenia. Mniejsza chropowatość wyjściowa łączonych powierzchni oraz większa wartość wcisku zwiększa obszar rzeczywistego styku ciał pierwszych. Wzrost wartości wcisku wpływa również na zwiększenie chropowatości połączonych powierzchni, co ma istotne znaczenie dla wartości sił tarcia na styku obu powierzchni.

## WNIOSKI

Istotnym wnioskiem z przeprowadzonych badań i analizy zużycia w połączeniu wciskowym jest, że rozwój zużycia będzie ściśle uzależniony od spełnienia dwóch warunków, a mianowicie:

- wystąpienia rzeczywistego styku ciał pierwszych,
- wystąpienia oscylacyjnych przemieszczeń stycznych (OPS) pomiędzy nimi.

W rozwoju zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym dominującą rolę w inicjacji zużycia spełnia zjawisko adhezji. Pozostałe rodzaje zużycia, jak deformacja plastyczna, utlenienie, mikroskrwanie spełniają funkcję podrzęd-

ną, intensyfikując powstałe wcześniej uszkodzenia w wyniku rozerwania szczepień adhezyjnych.

Zaproponowano mechanizm rozwoju zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym jako kilkuetapowy proces, którego najważniejszymi elementami są:

- utworzenie obszarów rzeczywistego styku ciał pierwszych,
- generowanie OPS na styku powierzchni elementów,
- tworzenie szczepień adhezyjnych, które następnie ulegają rozerwaniu, tworząc na powierzchniach styku wyrwy i narosty,
- utlenienie uszkodzonego wcześniej obszaru,
- mikroskrawanie utlenionymi wierzchołkami narostów przeciwległej powierzchni,
- tworzenie produktów zużycia jako wynik m.in. mikroskrawania – powstanie ciała trzeciego i stabilizacja procesu zużycia.

## LITERATURA

1. Neyman A.: Fretting w elementach maszyn. Wyd. Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2003.
2. Guzowski S.: Analiza zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych na przykładzie osi zestawów kołowych pojazdów szynowych. Monografia 284, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2003.
3. Шевеля В.В., Калда Г.С.: Фреттинг-усталость металлов. Изд. Хмельницький „Поділля”, 1998.
4. Waterhouse R.B.: Fretting fatigue. Applied Science Publishers Ltd., London, 1981.

## Summary

**The article proposes a mechanism for the development of fretting wear in clamped joint, based on the results of research conducted on the model of such a joint. The significant influence of such parameters as: the method of making this joint, the interference value and surface roughness on the development of this kind of wear was highlighted. These parameters determine the condition of the surface layer in the contact zone. It was stressed that the process of initiating the development of wear are adhesion phenomena.**

