

Stanisław GUZOWSKI*, Sławomir KOWALSKI*

WPLYW PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH NA ZUŻYCIE FRETINGOWE W POŁĄCZENIU WCISKOWYM

THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON FRETING WEAR IN A CLAMPED JOINT

Słowa kluczowe:

połączenie wciskowe, zużycie frettingowe

Key words:

clamped joints, fretting wear

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu wybranych procesów obróbki wykańczającej warstwy powierzchniowej (rolowanie, azotowanie, hartowanie powierzchniowe i molibdenowanie) na rozwój zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym. Badania zostały przeprowadzone na modelu połączenia koło-oś zestawu kołowego. Wykazano, że dodatkowa obróbka powierzchni poprzez azotowanie, hartowanie lub mo-

* Instytut Pojazdów Szynowych Politechniki Krakowskiej, al. Jana Pawła 37, 31-864 Kraków.

libdenowanie w znacznym stopniu ogranicza rozwój zużycia frettingowego.

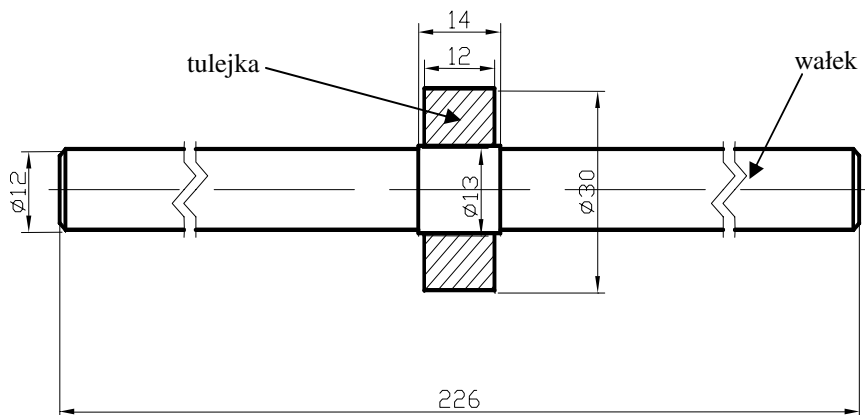
WPROWADZENIE

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 uszkodzanie i zużywanie warstwy wierzchniej. Fretting jest zjawiskiem o bardzo złożonym mechanizmie zużywania, w którym nakładają się lub następują po sobie; zużycie adhezyjne, zmęczenie powierzchniowe, odwarstwianie, utlenianie, ścieranie wierzchołków nierówności oraz erozji luźnymi produktami zużycia [L. 5, 6, 7, 8, 9]. Elementem szczególnie narażonym na zużycie frettingowe jest połączenie wciskowe. Połączenie to kumuluje w sobie wszystkie czynniki warunkujące rozwój tego zużycia, a w szczególności nacisk pomiędzy skojarzonymi elementami oraz możliwość wystąpienia oscylacji pomiędzy nimi w przypadku pracy połączenia np. w warunkach obrotowego zginania. Przykładem zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym jest m.in. połączenie koło–oś zestawu kołowego pojazdu szynowego. Dotychczasowe wyniki badań nad zużyciem frettingowym wskazują, że procesem inicjującym rozwój zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym jest przede wszystkim adhezja [L. 3]. Stąd nasuwa się wniosek, że ograniczenie warunków do tworzenia szczytów adhezyjnych może również ograniczyć rozwój zużycia frettingowego. Jednym ze sposobów ograniczenia zjawiska adhezji jest zwiększenie twardości warstw powierzchniowych jednego z elementów połączenia. W artykule przedstawione zostały wyniki badań wpływu wybranych procesów obróbki wykańczającej warstw przypowierzchniowych (rolkowanie, azotowanie, hartowanie powierzchniowe i molibdenowanie), której efektem było zwiększenie twardości powierzchni, a tym samym wpływ na rozwój zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym. Wybór procesów podyktowany był doбором prostej i taniej technologii, mogącej mieć praktyczne zastosowanie m.in. w przypadku zestawów kołowych pojazdów szynowych [L. 2].

METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono na próbkach typu wałek–tulejka, modelujących rzeczywiste połączenie wciskowe koło–oś zestawu kołowego (Rys. 1).

Wartość wcisku w połączeniu wałka z tulejką przyjęto 0,02 mm. Wymiary wałka były podyktowane wymaganiami stanowiska badawczego.



Rys. 1. Schemat próbki do badań zużyciowych

Fig. 1. Scheme of sample for wear experiments

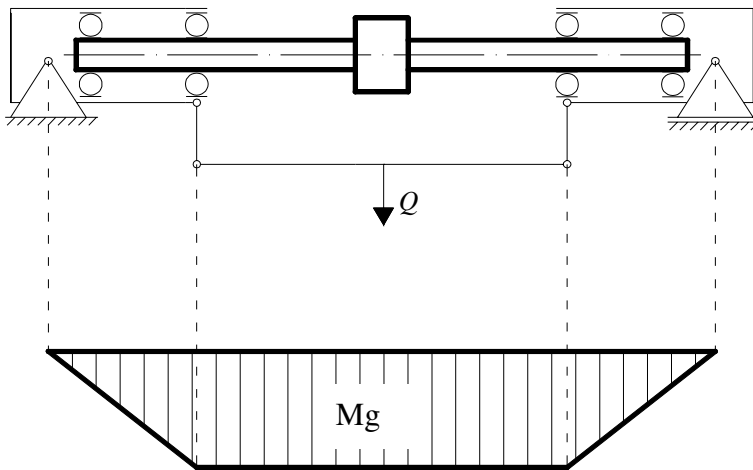
Powierzchnie podpięcia wałków poddano obróbce wykańczającej poprzez wykonanie: rolkowania, azotowania, hartowania powierzchniowego i molibdenowania. Efekt badań zużyciowych dla poszczególnych wariantów wykonania obróbki wykańczającej porównywany był do powierzchni wykonanej tylko przez toczenie. Wyniki pomiarów twardości i chropowatości powierzchni po wykonaniu obróbki wykańczającej zamieszczono w **Tabeli 1**.

Tabela 1. Wyniki pomiarów twardości i chropowatości na powierzchni podpięcia wałków

Table 1. Results of measurement of hardness and roughness on seat surface

Rodzaj obróbki wykańczającej	Badany parametr	
	Twardość HB	Chropowatość Ra [μm]
powierzchnia tylko toczona	170	1,7
rodkowanie	193	0,5
azotowanie	302	2,1
hartowanie powierzchniowe	powyżej 600	0,8
molibdenowanie	powyżej 600	1,4
otwór tulejki	162	0,3

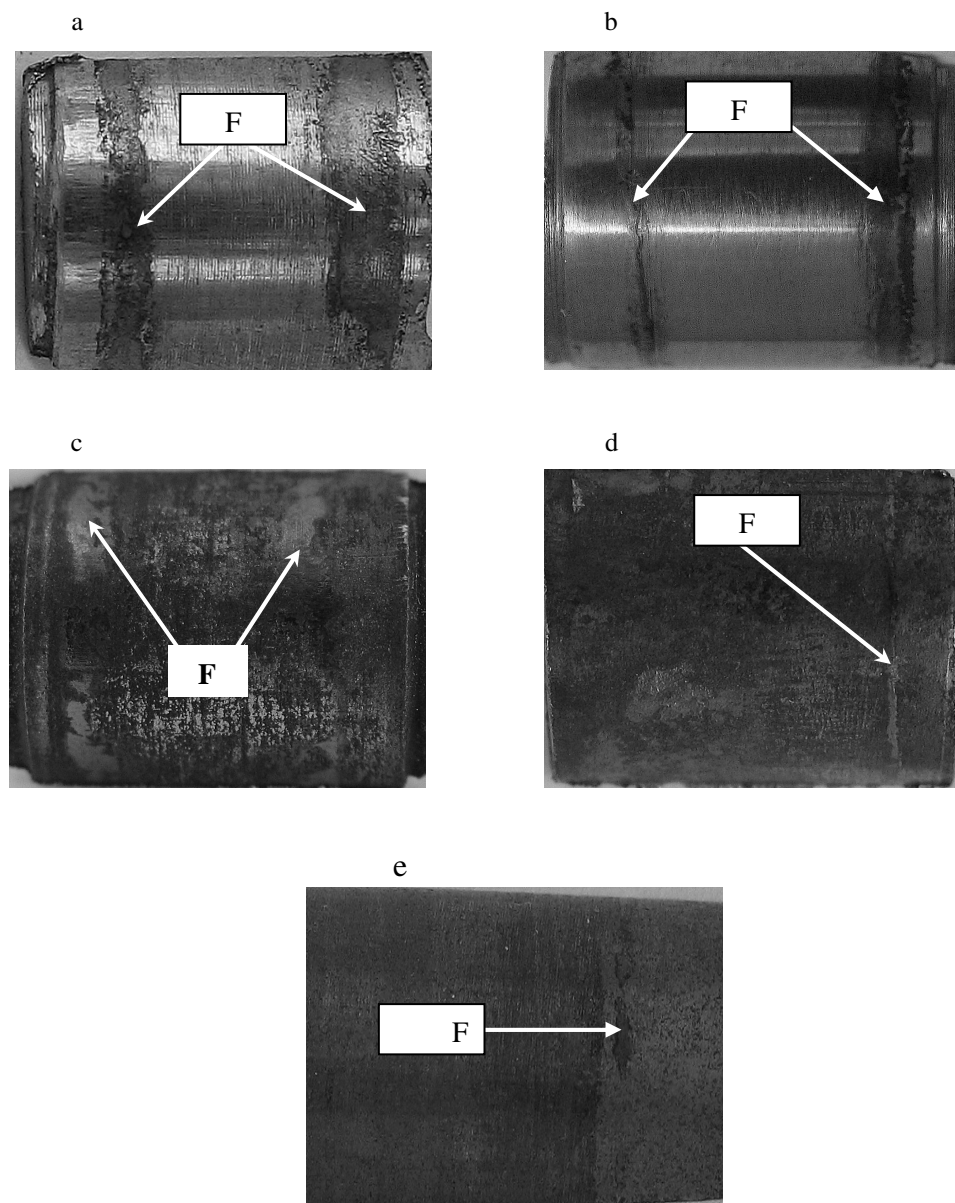
Badania zużyciowe przeprowadzono na maszynie zmęczeniowej typu MUJ, umożliwiającej symulację rzeczywistego obciążenia zestawu kołowego. Konstrukcja maszyny umożliwiała uzyskanie obciążenia okresowo zmiennego przy czystym zginaniu obracającej się próbki (**Rys. 2**). Parametry badań zużyciowych na maszynie zmęczeniowej były następujące: obroty badanego wałka $n = 1360$ obr./min, obciążenie badanego obiektu $Q = 400$ N. W badaniach przyjęto dla wszystkich próbek taką samą liczbę cykli obciążeń około 7×10^6 .



Rys. 2. Schemat obciążenia próbki na maszynie zmęczeniowej typu MUJ
 Fig. 2. Scheme of load of sample on fatigue machine type MUJ

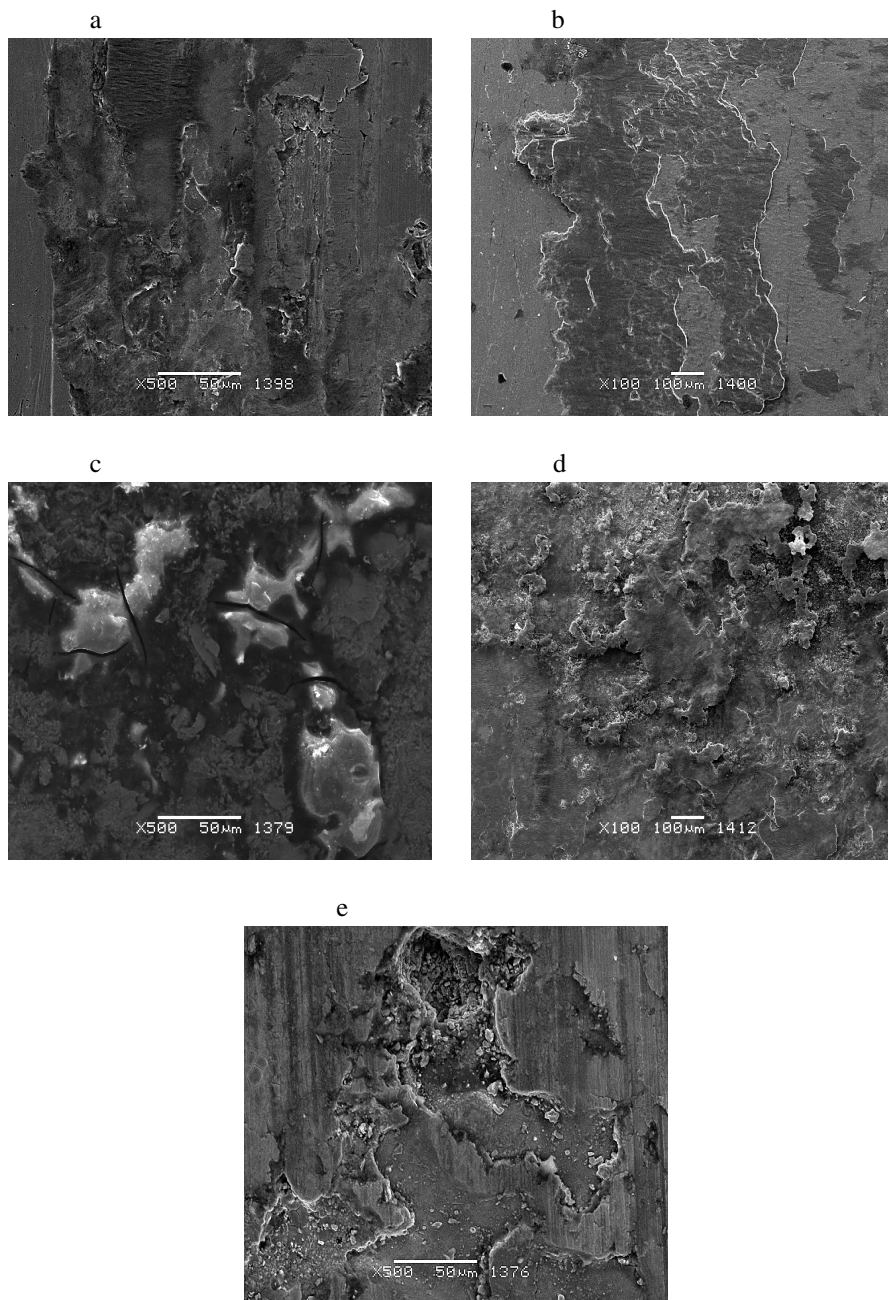
WYNIKI BADAŃ ZUŻYCIOWYCH

Po przeprowadzeniu badań zużyciowych na maszynie zmęczeniowej i odpowiednim demontażu połączenia, które nie powodowałyby deformacji obrazu powstałego zużycia frettingowego, wykonano badania laboratoryjne. Obejmowały one m.in. badania makroskopowe powierzchni wałków, badania na mikroskopie skaningowym obszaru uszkodzeń oraz powierzchni przekroju połączenia w obszarze styku. Zarejestrowane charakterystyczne obrazy uszkodzeń powierzchni wałków i styku powierzchni połączonych elementów przedstawiono na kolejnych **Rys. 3, 4 i 5**.

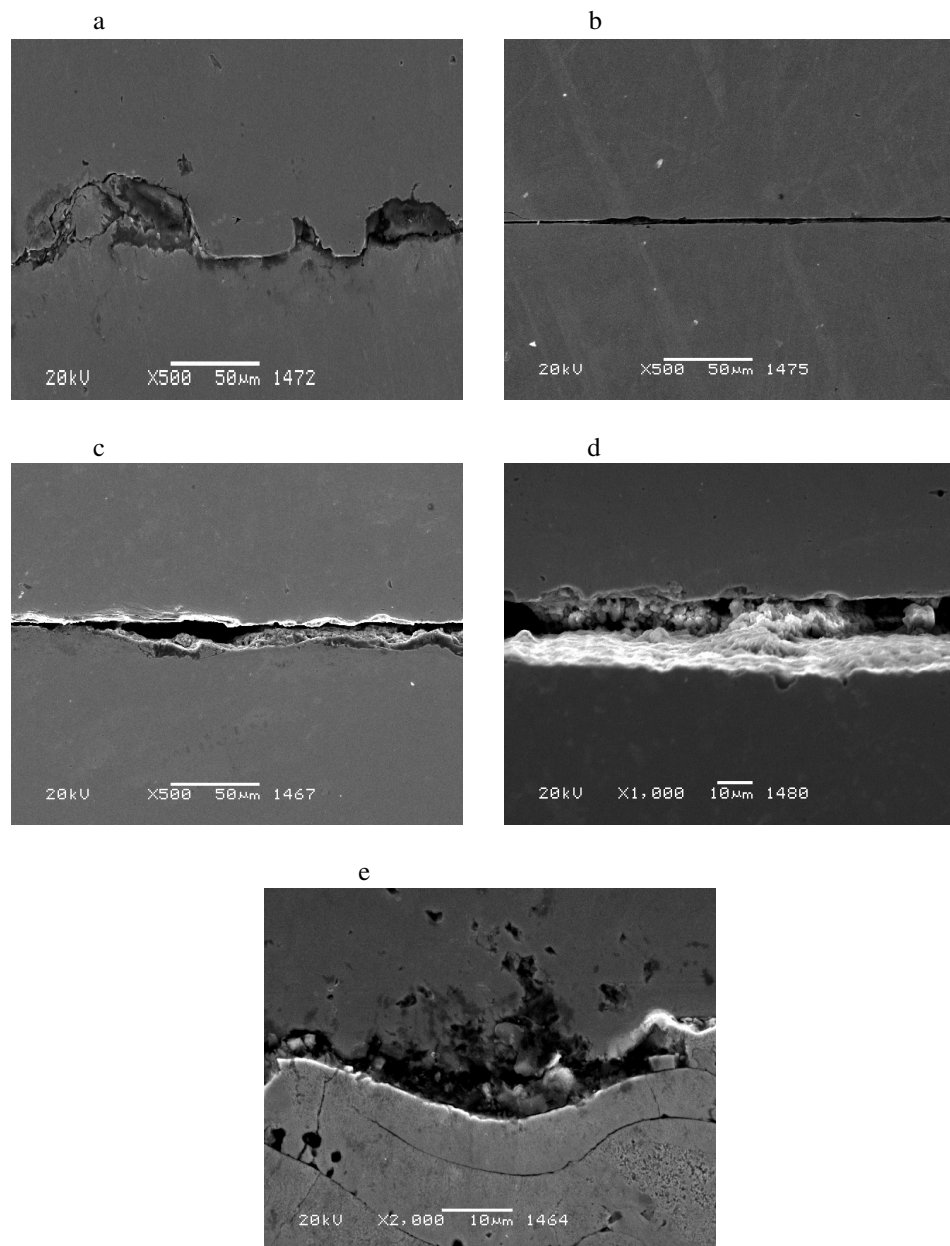


Rys. 3. Fotografie powierzchni podpięcia wałka po badaniach zużyciowych, pow. 10x: a) powierzchnia tylko toczonej, b) powierzchnia rolkowana, c) powierzchnia azotowana, d) powierzchnia hartowana powierzchniowo, e) powierzchnia z powłoką molibdenową

Fig. 3. Photos of seat surface after fretting wear, magnification 10x: surface only turned, b) finish rolling surface, c) nitriding surface, d) hardening surface, e) surface with molybdenum layer



Rys. 4. Obrazy skaningowe zużycia frettingowego: a) powierzchnia tylko toczone, b) powierzchnia rolkowana, c) powierzchnia azotowana, d) powierzchnia hartowana powierzchniowo, e) powierzchnia z powłoką molibdenową
Fig. 4. SEM images of fretting wear surface only turned, b) finish rolling surface, c) nitriding surface, d) hardening surface, e) surface with molybdenum layer



Rys. 5. Obrazy z mikroskopu skaningowego styku powierzchni połączonych elementów: a) wałek tylko toczone, b) wałek rolkowany, c) wałek azotowany, d) wałek hartowany powierzchniowo, e) wałek z powłoką molibdenową

Fig. 4. SEM images of surface joint: a) shaft only turned, b) finish rolling shaft, c) nitriding shaft, d) hardening shaft, e) shaft with molybdenum layer

ZAKOŃCZENIE

Przytoczony na **Rys. 3a** obraz uszkodzeń frettingowych na powierzchni podpięcia wałka wykonanego tylko przez toczenie jest bardzo charakterystyczny dla tego typu uszkodzeń w połączeniu wciskowym wykonywanym przez wtlaczanie. Jego charakterystyczne cechy to przede wszystkim:

- zużycie w postaci pierścienia o określonej szerokości na całym obwodzie podpięcia,
- zużycie zlokalizowane jest tylko przy brzegu połączenia z tulejką po obu jej stronach,
- obszar zużycia jest zdecydowanie większy po stronie przeciwnej do kierunku wtlaczania tulejki na wałek.

W przypadku powierzchni poddanych dodatkowej obróbce wykańczającej, poza rolkowaniem, obserwuje się zdecydowanie mniejsze zużycie frettingowe. Jest ono ograniczone do bardzo niewielkich obszarów, występuje sporadycznie i często tylko po jednej stronie brzegu tulejki. Przyczyny tego stanu należy tłumaczyć przyjęciem procesu inicjującego rozwój zużycia frettingowego. Jeżeli założymy, że jest nim zjawisko adhezji, to wzrost twardości powierzchni jednego ze skojarzonych elementów będzie przeciwdziałał tworzeniu się szczipień adhezyjnych. W przypadku procesów molibdenowania i hartowania powierzchniowego następuje co najmniej trzykrotne zwiększenie twardości powierzchni, a azotowania o 50% w stosunku do powierzchni tylko toczonej.

W przypadku powierzchni rolkowanej obraz zużycia frettingowego ma podobny charakter jak na powierzchni toczonej tylko o nieco mniejszej intensywności. Obróbka rolkowaniem zwiększa w niewielkim stopniu twardość powierzchni, ale z kolei następuje znaczne zmniejszenie jej chropowatości (**Tabela 1**). Z wyników badań przedstawionych w pracy [**L. 3**] wynika natomiast, że intensywność zużycia frettingowego szczególnie zwiększa się wraz ze zmniejszaniem się chropowatości powierzchni.

Według danych w pracy [**L. 1**] podatność skojarzonych powierzchni na zjawisko adhezji można również zmniejszyć poprzez dobór materiałów o dużym gradiencie własności mechanicznych i składzie chemicznym. Ten efekt w przypadku badanych procesów technologicznych uzyskuje się dla powierzchni molibdenowanych i azotowanych, które skojarzone są ze stalową tulejką. Korzystny wpływ na ograniczenie zużycia frettingowego w połączeniu wciskowym ma również obecność ciała trze-

ciego pomiędzy połączonymi powierzchniami [L. 4]. Przytoczone na **Rys. 5c, d, e** obrazy powierzchni styku połączonych elementów wskazują na obecność ciała trzeciego. Stanowią go produkty zużycia powstałe podczas właczania tulejki na wałek charakteryzujące się dużą różnicą twardości oraz tlenki powstałe szczególnie na powierzchniach hartowanych.

Na podstawie przeprowadzonych badań można jednoznacznie stwierdzić, że dodatkowa obróbka wykańczająca warstwy powierzchniowej podpięcia wałka poprzez molibdenowanie, azotowanie i hartowanie powierzchniowe zdecydowanie ogranicza rozwój zużycia frettingowego, natomiast podobnego efektu nie uzyskuje się w przypadku rolowania powierzchni.

LITERATURA

1. Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WN-T, Warszawa 1980.
2. Fajkoš R., Karwala K., Zima R.: The new technologies for increase fatigue strength of railways wheel sets and methods for verification a quality proceedings. Problemy Eksploatacji 1/2009.
3. Guzowski S.: Analiza zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych na przykładzie osi zestawów kołowych pojazdów szynowych. Monografia 284, Politechnika Krakowska, Kraków 2003.
4. Guzowski S.: Rola ciała trzeciego w zużyciu frettingowym. Tribologia, nr 3, 2005.
5. Hills D.A., Nowell D.: What features are needed in a fretting fatigue test? Tribology International 42/2009.
6. Kalin M., Vižintin J.: A tentative explanation for the tribochemical effects in fretting wear. Wear 250/2001.
7. Neyman A.: Fretting w elementach maszyn. Wyd. Pol. Gdańskiej, Gdańsk 2003.
8. Pytko S., Szczerek M.: Fretting – forma niszczenia elementów maszyn. Tribologia nr 6, 1994.
9. Zhu M.H., Zhou Z.R., Kapsa Ph., Vincent L.: Radial fretting fatigue damage of surface coatings. Wear 250/2001.

Recenzent:
Stanisław PYTKO

Summary

The article presents the results of research on the effect of some surface finishing processes (rolling, nitriding, surface hardening, and molybdenum hardening) on fretting wear development in a clamped joint. The tests were conducted on the model of a wheel-axle joint of an axle set. It was proved that nitriding, hardening, or molybdenum hardening significantly restricts fretting wear expansion.