

Stanisław Guzowski

WARUNKI ROZWOJU ŻUŻYCIA FRETING W POŁĄCZENIU KOŁO-OŚ ZESTAWU KOŁOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań wpływu wielkości wcisku oraz struktury chropowatości powierzchni na rozwój zużycia fretting. Badania przeprowadzono na modelu symulującym pracę zestawu kołowego.

FRETING WEAR EXPANSION IN AXLE-WHEEL JOINT OF A WHEEL SET

Summary. In the paper the investigation results of influence of clamping and surface roughness structure on fretting wear of clamped-joined elements have been presented. The investigation on a model simulating railway vehicle wheel set have been carried out.

1. WPROWADZENIE

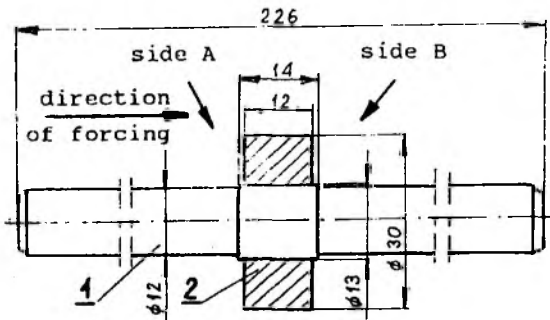
Pojęcie frettingu obejmuje skutki działania bardzo złożonych zjawisk zachodzących na powierzchniach dociskanych do siebie i zmiennie obciążonych elementów. Stąd fretting występuje przede wszystkim w miejscach styku połączeń wciskowych, wpustowych, sworzniowych itp.. Powszechnie przyjmuje się, że proces fretting ma miejsce w przypadku wystąpienia względnych poślizgów rzędu 0,025mm pomiędzy skojarzonymi powierzchniami, ale nie przekraczających 0,130mm. Rozwój zużycia fretting jest ściśle związany między innymi z metodą uzyskania połączenia skojarzonych elementów, rodzajem materiałów, wielkością i charakterem zmian obciążeń.

Przeprowadzone obserwacje połączenia koło-oś zestawu kołowego, wskazują na występowanie zużycia fretting w tym połączeniu. Charakterystyczne jest miejsce jego występowania na podpiąściu osi w obszarze do 10mm od krawędzi piasty koła od strony części środkowej osi [1]. Obrazem tego zużycia są między innymi wżery, ubytki materiału, narosty, wzrost chropowatości powierzchni. Tego rodzaju uszkodzenia powierzchni w przypadku działania obciążeń zmiennych mogą z kolei stać się ogniskiem pęknięć zmęczeniowych. Stąd istotnym zagadnieniem dla podniesienia bezpieczeństwa i niezawodności osi zestawów kołowych jest wyeliminowanie lub znaczne ograniczenie rozwoju zużycia fretting, a to z kolei wymaga dokładnego poznania mechanizmu jego rozwoju.

Według Mindlina warunkiem rozwoju zużycia fretting jest wzajemna relacja naprężeń normalnych i stycznych na powierzchni skojarzonych elementów [3]. W przypadku badanego połączenia wciskowego będą to odpowiednio naprężenia montażowe oraz naprężenia od obciążeń zewnętrznych. Część badaczy zajmujących się zużyciem fretting uważa, że czynnikiem inicjującym rozwój zużycia są również zjawiska adhezji w obszarze styku skojarzonych elementów. Technologia procesu montażu koła z osią poprzez wtlaczenie wskazuje, że w przypadku tego skojarzenia zarówno stan naprężeń, jak i deformacja warstwy wierzchniej łączonych elementów będą miały istotny wpływ na rozwój zużycia fretting.

2. BADANIA MODELOWE POŁĄCZENIA

Badanie zużycia fretting na rzeczywistym zestawie kołowym nastęrcza wiele trudności natury technicznej, ekonomicznej i badawczej. W związku z tym badania wykonano na modelu spełniającym warunki podobieństwa do rzeczywistego zestawu oraz symulując warunki eksploatacji (charakter i wielkość obciążeń). Na rys. 1 przedstawiono schemat próbki modelującej połączenie koło-oś zestawu kołowego [2]. Obciążenia eksploatacyjne zestawu symulowano na maszynie zmechanizowanej typu MUJ.



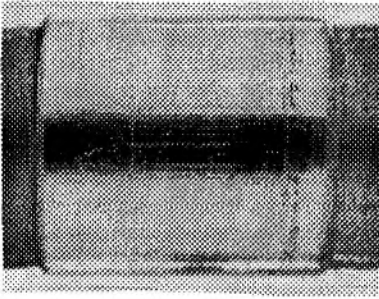
Rys. 1. Próbką do badań modelowych osi
Fig. 1. Specimen for model axle tests

W niniejszym opracowaniu przedstawiono wyniki badań wpływu na rozwój zużycia fretting tych czynników, które są ściśle związane z połączeniem wciskowym uzyskanym metodą wtlaczenia, a do których należy zaliczyć wielkość wcisku oraz strukturę geometryczną powierzchni przed wtlaczeniem.

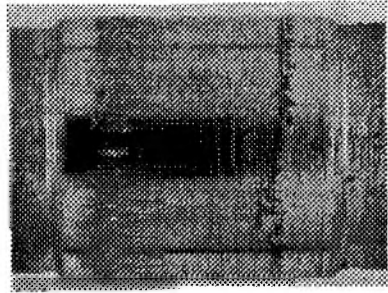
3. WPŁYW WIELKOŚCI WCISKU

W wyniku wtlaczenia tulejki na wałek następuje deformacja plastyczna łączonych powierzchni. Ma ona miejsce przede wszystkim po stronie A podpięcia (oznaczenie wg rys. 1), a więc od strony wtlaczenia tulejki na wałek i jest tym większa, im większa jest

wielkość wcisku (rys.2). Wzdłuż krawędzi styku obu elementów obserwuje się trzy wyraźnie rozgraniczone odcinki (rys.3), różniące się charakterem zmian na powierzchni styku oraz "stopniem" przylegania. Od strony A widać niewielki odcinek długości około 0,4mm, w którym występuje

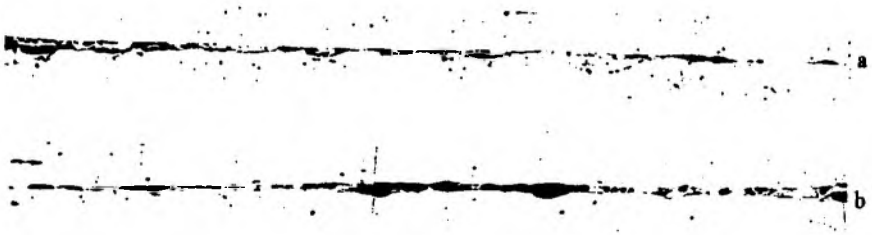


a



b

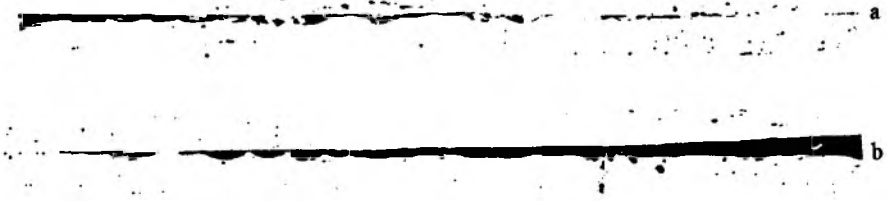
Rys.2. Obraz powierzchni podpięcia wałeczków (pow.3x); a) wcisk 0,020mm, b) 0,055mm
Fig.2. Picture on roller bearing surfaces (magn.3x); a) clamping 0,020mm, b) 0,055mm



Rys.3. Powierzchnia styku tulejki z wałkiem po wtłoczeniu (pow.250x);
a) od strony A, b) od strony B

Fig.3. Sleeve-shaft contact area after forcing-in (magn.250x); a) on side A, b) on side

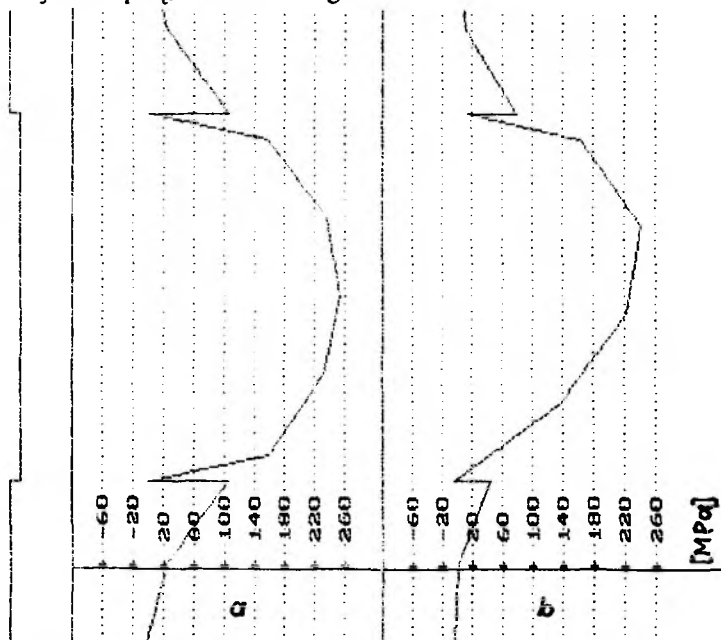
B



Rys.4. Powierzchnia styku tulejki z wałkiem po badaniach zmęczeniowych (pow.250x);
a) od strony A, b) od strony B

Fig.4. Sleeve-shaft contact area after fatigue testing (magn.250x); a) on side A, b) on side B

wyraźne rozgraniczenie powierzchni styku tulejki i wałka, pomiędzy którymi znajdują się cząsteczki metalu powstałe jako produkty zużycia podczas wtlaczania. Strefa ta przechodzi następnie w drugi odcinek, właściwego połączenia obu elementów, w którym tworzą one "jedną całość" ze słabo zarysowaną granicą styku. W strefie tej występują niekiedy niewielkie rozgraniczenia styku, wynikające z nierówności powierzchni i uszkodzeń w trakcie wtlaczania. Zbliżając się do strony B podpięcia obserwuje się ponownie powiększającą się szczelinę pomiędzy powierzchniami styku, również wypełnioną produktami zużycia. Długość szczeliny od strony B jest rzędu 1,0 do 1,5mm, natomiast szerokość szczeliny w skrajnym przypadku osiąga wartość 0,005 do 0,008mm. Ta część połączenia stanowi umownie trzeci odcinek. Z przedstawionego obrazu zużycia na styku łączonych elementów wynika, że w początkowym etapie procesu wtlaczania następuje znaczna deformacja przedniej części skojarzenia. Świadczą o tym m.in. ślady odkształceń plastycznych na powierzchni wałeczka (rys.2). Odkształceniom plastycznym oraz zmianom średnicy otworu (zwiększenie) ulega również wtlaczana tulejka, szczególnie w części przedniej. To powoduje, że połączenie charakteryzuje się nierównomiernym wciskiem na całej długości styku. Zmniejszenie wielkości wcisku następuje szczególnie po stronie B połączenia. Na rys.4 przedstawiono obraz podobnego przekroju próbki, ale po badaniach zmęczeniowych. Obserwuje się podobny układ stref styku, natomiast brak jest metalicznych produktów zużycia z procesu wtlaczania zarówno od strony A jak i B. Od strony B wyraźnie zwiększyła się szerokość szczeliny osiągając miejscami 0,012mm. Wydłużył się również odcinek styku, w którym brak bezpośredniego kontaktu wałka i tulejki do około 2,0÷2,5mm. Taki stan styku połączonych powierzchni będzie oddziaływał przede wszystkim na rozkład naprężeń w warstwie wierzchniej obu elementów, będących wynikiem połączenia wciskowego.



Rys. 5. Rozkład naprężeń normalnych na powierzchni wałeczka (wcisk 0,020mm);

a) styk niezdeformowany, b) styk zdeformowany

Fig. 5. Distribution of normal stresses on the shaft surface (clamping 0,020mm)

a) nondeformed contact surface, b) deformed contact surface

Na rys.5a przedstawiono rozkład naprężeń normalnych dla przypadku, gdy w wyniku wtłoczenia nie następuje deformacja powierzchni styku i elementy połączone są równomiernie na całej długości. Natomiast na rys.5b przedstawiono rozkład naprężeń w przypadku deformacji powierzchni styku i braku połączenia na długości 2,0mm od strony B. Dla obliczenia obu rozkładów naprężeń przyjęto tę samą wartość wcisku - 0,020mm.

4. WPLYW STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWIERZCHNI

Dla określenia wpływu struktury geometrycznej powierzchni na rozwój zużycia fretting powierzchnie podpięcia wałeczków wykonano stosując dwa rodzaje obróbki wykańczającej; dokładne toczenie i szlifowanie. W tabeli 1 zestawiono wyniki pomiarów parametru Ra na powierzchni podpięcia wałeczków przed i po wtłoczeniu dla obu rodzajów obróbki wykańczającej, a na rys.6 przedstawiono przebieg profilu zmierzonego na powierzchni podpięcia tych wałeczków. Obraz powierzchni wałeczków po badaniach zmęczeniowych przedstawiono narys.7 dla próbek szlifowanych a na rys.8 dla toczonech.

Tabela 1

Zestawienie wyników pomiarów Ra na powierzchni podpięcia wałeczków (wartości średnie)

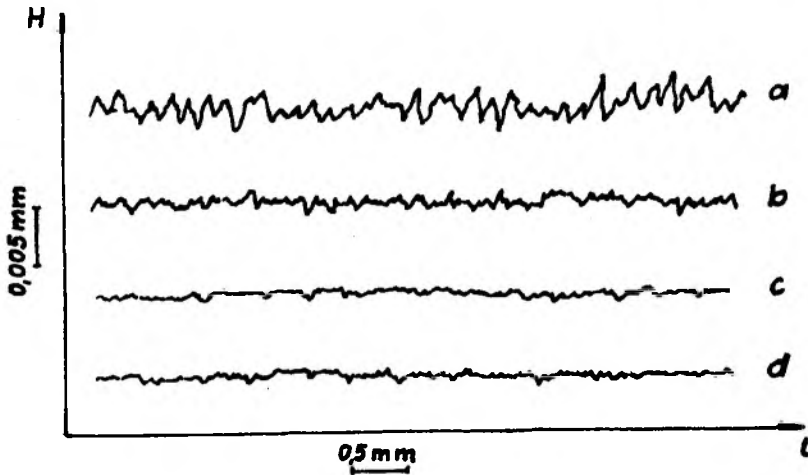
Pomiar	Rodzaj obróbki	
	szlifowanie	toczenie
przed wtłoczeniem	0,36	0,65
po wtłoczeniu (wcisk - 0,045mm)	0,25	0,24

Powierzchnie wałeczków wykonanych przez szlifowanie charakteryzują się znacznie mniejszą chropowatością. Parametr Ra jest prawie o 40% mniejszy od parametru Ra powierzchni toczonech. Świadczy o tym również profil zmierzony chropowatości dla obu wykonanych próbek (rys.6). W wyniku wtłoczenia tulejki na wałek następuje wyraźne zmniejszenie chropowatości powierzchni, przyjmując podobny obraz i wartości dla obu wykonanych powierzchni podpięcia wałeczków.

Obserwacje próbek po badaniach zmęczeniowych wskazują, że w przypadku próbek toczonech obraz zużycia fretting widoczny jest już przy wcisku 0,020mm i wyraźnie rośnie ze wzrostem wcisku. Natomiast w przypadku próbek szlifowanych zużycie fretting występuje wyraźnie dopiero przy wcisku 0,060mm.

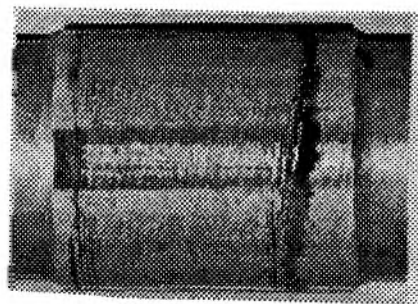
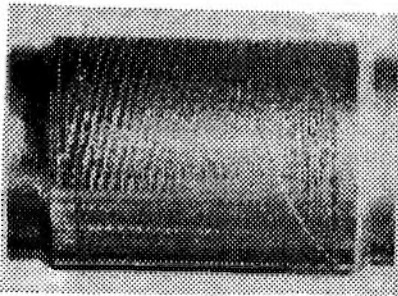
Z przytoczonych danych wynika jednoznacznie, że stan struktury powierzchni ma istotny wpływ na rozwój zużycia fretting. Wzrost chropowatości powierzchni wpływa na wzrost intensywności zużycia fretting. Może to świadczyć, że w początkowym okresie rozwoju

zużycia istotny wpływ mają procesy adhezji, których intensywność rośnie między innymi ze wzrostem chropowatości powierzchni.



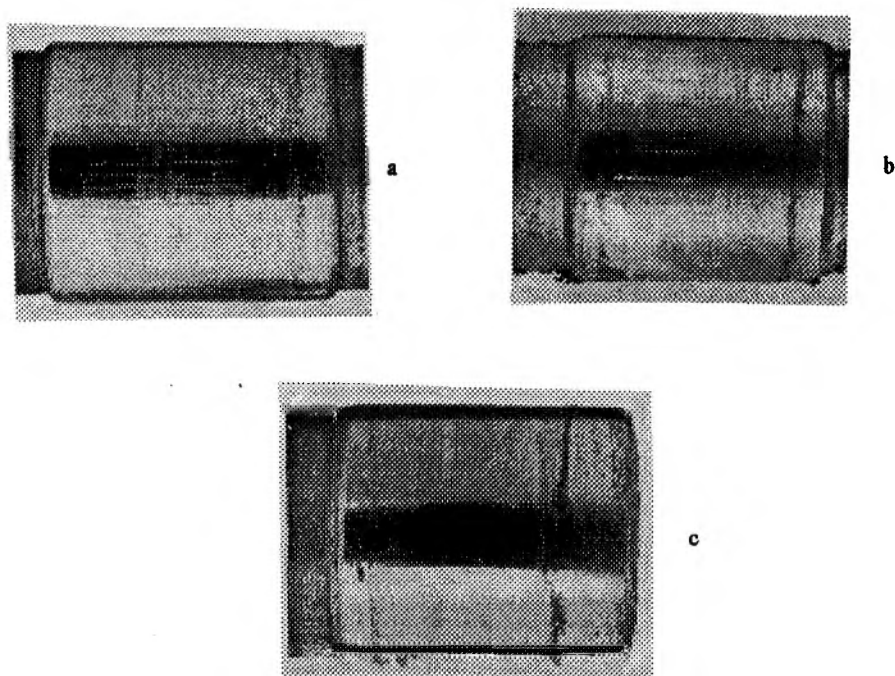
Rys. 6. Profilogramy powierzchni podpięcia wałeczków: a) toczony, przed wtłoczeniem; b) szlifowany, przed wtłoczeniem; c) toczony, wcisk 0,040mm; d) szlifowany, wcisk 0,045mm

Fig. 6. Profilograms of roller bearing surfaces: a) turning, before forcing-in; b) grinding, before forcing-in; c) turning, clamping 0,040mm; d) grinding, clamping 0,045mm



Rys. 7. Obraz zużycia fretting na powierzchni podpięcia wałeczków wykonanych przez szlifowanie (pow. 3x): a) wcisk 0,045mm, b) wcisk 0,060mm

Fig. 7. Picture of fretting wear on roller bearing surfaces made by grinding (magn. 3x): a) clamping 0,045mm, b) clamping 0,060mm



Rys.8. Obraz zużycia fretting na powierzchni podpięcia waleczków wykonanych przez toczenie (pow.3x): a) wcisk 0,020mm, b) wcisk 0,040mm, c) wcisk 0,055mm

Fig.8. Picture of fretting wear on roller bearing surfaces made by turning (magn.3x): a) clamping 0,020mm, b) clamping 0,040mm, c) clamping 0,055mm

5. ZAKOŃCZENIE

Na podstawie przytoczonych wyników badań można stwierdzić, że zarówno wielkość wcisku, jak i struktura chropowatości powierzchni mają istotny wpływ na miejsce i rozwój zużycia fretting w połączeniu wciskowym uzyskanym metodą wtlaczania. Zużycie fretting rozwija się przede wszystkim po stronie B (przeciwej do wtlaczania). Wraz ze wzrostem wcisku rośnie wielkość zużycia, a miejsce zużycia, przesuwa się w głąb połączenia. Decyduje o tym między innymi wzrost deformacji połączenia wraz ze wzrostem wcisku. Zwiększa się "trzeci odcinek" połączenia, wpływając na zmianę rozkładu naprężeń montażowych (bardziej łagodny po stronie B). Struktura chropowatości powierzchni będzie z kolei ściśle związana z procesami adhezji oraz zużycia ściernego i plastycznego podczas wtlaczania, na które będą

bardziej podatne powierzchnie o większej chropowatości. Na tej podstawie można między innymi stwierdzić, że zużycie fretting będzie miało intensywniejszy rozwój wraz ze wzrostem wcisku i chropowatości powierzchni.

Literatura

- [1] Guzowski S.: Problem zużycia fretting w zestawach kołowych pojazdów szynowych. Materiały Konferencyjne III Międzynarodowego Sympozjum "Insycont", AGH Kraków, 1990, s. 553-561.
- [2] Guzowski S.: Simulation of axle set fretting fatigue in model testing. The Proceedings of the 10th Congress on Material Testing, Budapest, 1991, vol.II, s. 478-483.
- [3] Waterhouse R.B.: Fretting fatigue. Applied Science Publ. Ltd., London, 1981.

Recenzent: dr hab. inż. prof. Pol. Śl. Piotr Adamiec

Wpłynęło do redakcji: 12.05.1995

Abstract

It is commonly known that fretting wear develops in conditions of relative slip of 0,025mm but not exceeding 0,130mm between two interacting elements. This type of wear also occurs in clamped joints if they are under variable loads. The wheel - road axle joint illustrates the clamped joint in which this type of wear occurs. The investigations the author carried out on a model simulating the axle-wheel joint has proved the occurrence of this effect. The mechanism itself of fretting wear expansion has not so far been formulated unequivocally. As is known, fretting expansion is affected by a number of factors connected with interaction of joined elements and the type of joint itself. In case of clamped joint the essential factors are: size of clamping, condition of the matched elements surfaces, methods of joining elements and load. In the paper the investigation results of influence of clamping and surface roughness structure on fretting wear have been presented. The tests show that the heavier the clamping and greater on rougher surfaces the greater the susceptibility of the joint to fretting wear.