

Stanisław GUZOWSKI

Instytut Pojazdów Szynowych

Politechnika Krakowska

WPLYW CZASU EKSPLOATACJI NA ZMIANĘ WYBRANYCH PARAMETRÓW WARSTWY WIERZCHNIEJ OSI ZESTAWÓW KOŁOWYCH

Streszczenie. Najniebezpieczniejszym uszkodzeniem osi zestawów kołowych są pęknięcia zmęczeniowe. Wyniki obserwacji eksploatacyjnych wskazują, że najczęściej stwierdza się je na podpięściu osi, w miejscu połączenia wciskowego z kołem. W pracy przedstawiono wyniki badań struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej oraz badań metalograficznych podpięcia osi o różnym czasie eksploatacji. Stwierdzono wyraźne zmiany w warstwie wierzchniej podpięcia, charakterystyczne w celu zużycia fretting, w strefie najczęściej występujących pęknięć zmęczeniowych.

1. Wprowadzenie

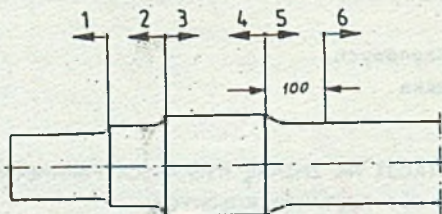
Osł zestawu kołowego jest tym elementem pojazdu szynowego, od którego wymaga się szczególnie wysokiej niezawodności i trwałości. Ma to swoje odbicie również w przepisach i normach dopuszczających osł do eksploatacji, według których praktycznie nie może mieć jakichkolwiek uszkodzeń i zużyć. Wiadomo natomiast z obserwacji eksploatacyjnych, że osie zestawów kołowych pomimo dokładnej rewizji ulegają uszkodzeniom, szczególnie w wyniku pęknięć zmęczeniowych.

W Instytucie Pojazdów Szynowych PK opracowano statystykę uszkodzeń osi na podstawie kart uszkodzeń stwierdzonych w okresie 1985 [4]. Statystyka dotyczyła wyłącznie osi łożysk tocznych. Miejsce występowania uszkodzeń podzielono na 6 stref jak na rys. 1. Ogółem wykryto 502 uszkodzone osie.

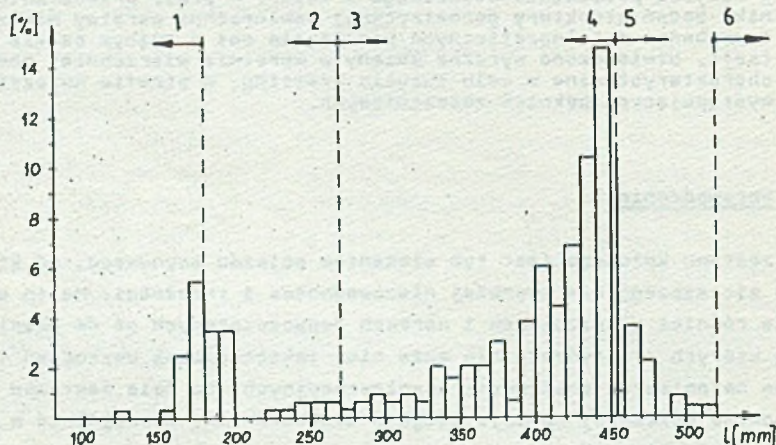
Procentowe zestawienie uszkodzeń osi ze względu na strefę jego wystąpienia i rodzaj uszkodzenia przedstawiono w tablicy 1. Z przytoczonych danych wynika, że dominującymi uszkodzeniami są pęknięcia zmęczeniowe osi (86,8%) w szczególności występujące na podpięściu osi w strefie 4 (46,2%).

Na rys. 2 przedstawiono procentowy udział pęknięć na długości osi, mierzonej od jej powierzchni czołowej, przy przyjęciu odcinka pomiarowego 10 mm. Miejscem osi szczególnie narażonym na rozwój pęknięć zmęczeniowych jest obszar położony przy krawędzi podpięcia od strony części środkowej osi (granica 1 przyległe obszary strefy 4 i 5). Jest to zarazem

miejsce połączenia wciskowego koła z osią. W obszarze tym mogą więc nastąpić pewne zmiany w warstwie wierzchniej będące wynikiem zmiennego obciążenia osi (rozkładu momentów zginających), połączenia wciskowego koła z osią oraz odpowiedniego czasu eksploatacji.



Rys. 1. Schemat wydzielenia stref na osi zestawu kołowego
Fig. 1. Diagram of the wheel set axle zones distinguish



Rys. 2. Rozkład ilości pęknięć (procentowy) na długości osi zestawu kołowego (mierzonej od powierzchni czołowej czopa)

Fig. 2. The distribution of the crack number percentage on the wheel set axle length (measured starting with the frontal area of the journal)

2. Wybór obiektu badań

Uwzględniając przedstawioną wyżej statystykę pęknięć zmęczeniowych osi a więc najbardziej niebezpiecznych uszkodzeń dla bezpiecznego funkcjonowania pojazdu, badaniami objęto jedynie podpiască osi. Do badań wytypowano dwie osie różniące się czasem eksploatacji, a mianowicie oś po zerowym okresie eksploatacji (oś nowa) oraz po 25 latach eksploatacji. Obie osie wykonane były ze stali St5P.

Tablica 1

Procentowe zestawienie uszkodzeń osi

Rodzaj uszkodzeń	Nr strefy						Razem
	1	2	3	4	5	6	
pęknięcie osi [%]	11,2	9,6	8,4	46,2	8,2	3,2	86,8
wady materiałowe [%]	1,2	1,8	1,0	6,2	1,6	1,4	13,2
Razem	12,2	11,4	9,4	52,4	9,8	4,6	100,0

Badania sprowadzały się do wykonania:

- badań struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej,
- badań metalograficznych.

W celu ułatwienia dalszej identyfikacji materiałów osi i wyników badań przyjęto następujące oznaczenia:

- oś nowa (0 lat eksploatacji) - A,
- oś po 25 latach eksploatacji - B.

3. Badania struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej

Dla oceny struktury geometrycznej powierzchni warstwy wierzchniej podpiera osi A i osi B wyznaczono następujące charakterystyki:

- średnie arytmetyczne odchylenie profilu R_a ,
- profil zmierzony powierzchni.

Pomiary wykonano przy wykorzystaniu profilu profilografometru Kalibr typ AL 252.

3.1. Średnie arytmetyczne odchylenie profilu R_a

Pomiaru parametru R_a dokonano na całej długości podpiera począwszy od strony części środkowej osi. Jako bazę pomiarową przyjęto odcinek o długości 6 mm, w tym długość odcinka elementarnego 2,5 mm. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy 2.

Prawie dwukrotnie większy parametr R_a dla podpiera osi nowej A jest wynikiem tego, że na oś nie były włączane koła. Natomiast mniejsza wartość parametru R_a dla podpiera osi B wynika z deformacji plastycznej w warstwie wierzchniej podczas włączania kół. Wartość tego parametru jest na całej długości podpiera w podobnym zakresie, jedynie na końcu od strony części środkowej osi, na długości ~12 mm, następuje

charakterystyczny (2-3 krotny) wzrost. Tak otrzymany rozkład parametru R_a na długości podpięcia osi podyktował odpowiednie postępowanie podczas pomiaru profilu zmierzonego powierzchni.

Tablica 2

Wyniki pomiarów parametru R_a powierzchni podpięcia osi A i B

Oś	Parametr R_a									
	odcinki pomiaru wzdłuż tworzącej podpięcia w [mm]									
	0-6	6-12	12-18	18-24	24-30	30-36	36-42	42-48	48-54	54-60
A	6,7	5,4	6,0	5,8	6,0	5,8	6,2	5,3	5,7	5,3
B	8,8	6,2	2,12	2,6	4,5	4,9	3,0	2,11	2,15	2,08

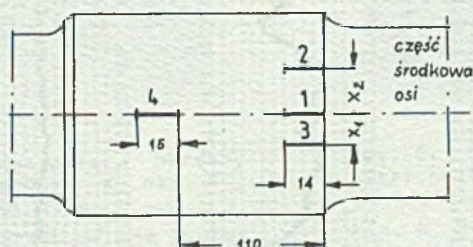
Oś	Parametr R_a								
	odcinki pomiaru wzdłuż tworzącej podpięcia w [mm]								
	60-66	66-72	72-78	78-84	84-90	90-96	96-102	102-108	108-114
A	5,3	5,1	6,3	6,9	5,8	5,0	6,4	5,1	5,6
B	2,02	2,49	2,7	2,09	1,92	1,93	2,7	4,3	2,06

Oś	Parametr R_a						
	odcinki pomiaru wzdłuż tworzącej podpięcia w [mm]						
	114-120	120-126	126-132	132-138	138-144	144-150	150-156
A	5,2	6,3	5,4	5,5	5,7	4,8	4,8
B	2,24	1,88	1,83	2,3	4,7	1,81	1,84

Oś	Parametr R_a			
	odcinki pomiaru wzdłuż tworzącej podpięcia w [mm]			
	156-162	162-168	168-174	174-180
A	7,1	6,7	6,6	6,9
B	1,7	1,76	1,4	1,94

3.2. Profil zmierzony powierzchni

Pomiaru profilu powierzchni dokonano wzdłuż tworzącej podpiaścia osi w losowo wybranych miejscach na obwodzie i na długości wg schematu przedstawionego na rys. 3.



Rys. 3. Schemat miejsca pomiaru profilu powierzchni na podpiaściu osi
Fig. 3. Diagram of the surface profile measurement of the wheel seat

Uwzględniono przede wszystkim obszar na końcu podpiaścia od strony części środkowej osi, gdzie wystąpiły największe wartości parametru R_a oraz w środku podpiaścia, dla którego wartość parametru R_a była charakterystyczna dla jego pozostałych części. Na rys. 4 zamieszczono charakterystyczne średnie profilogramy zmierzonych powierzchni. Przy rejestracji profilu przyjęto powiększenie poziome 20x, a pionowe 200x.

Przytoczone wyniki pomiarów struktury geometrycznej warstwy wierzchniej osi wskazują, że w wyniku eksploatacji na podpiaściu od strony części środkowej osi występują wyraźne zmiany badanych charakterystyk. Świadczy to o rozwoju określonych procesów zużycia w tym obszarze, a które zostaną omówione w dalszej części.

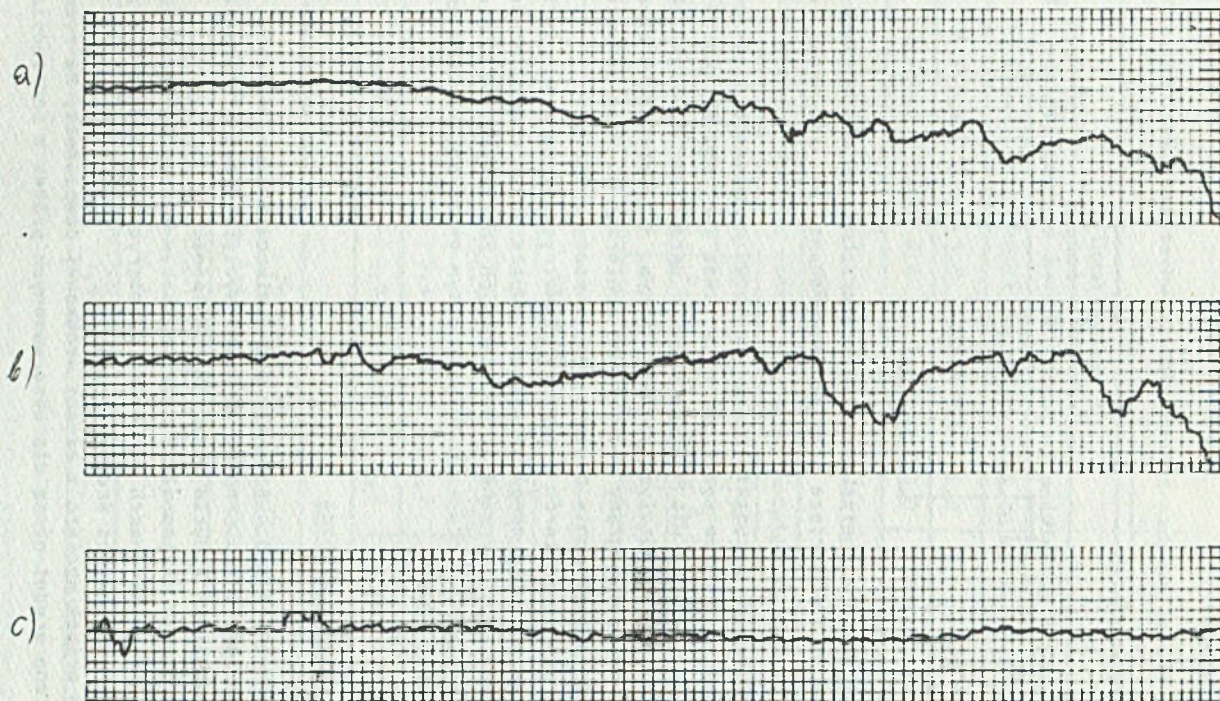
4. Badania metalograficzne

Badania metalograficzne obejmowały ocenę mikrostruktury warstwy wierzchniej podpiaścia osi. Próbkę do badań wycięto z dwóch charakterystycznych pod względem zużycia obszarów podpiaścia.

Jedną grupę próbek obejmowała obszar, w którym wystąpiły największe zmiany stwierdzone w badaniach struktury geometrycznej, a więc z brzegu podpiaścia od strony części środkowej osi.

Drugą grupę próbek wycięto z części środkowej podpiaścia. Na rysunkach 5-9 przedstawiono średni obraz dla obserwowanych próbek z podpiaścia osi A i B.

Obserwacje zglądów pozwalają stwierdzić, że w przypadku osi A występujące wady (zadziory, odkształcenia plastyczne) są wynikiem m.in. obróbki



Rys. 4. Profil zmierzony podpięcia osi B w miejscu według rys. 3

a) - 1, b) - 3, c) - 4

Fig. 4. The wheel seat surface profile of the B-axle measured in the place shown in Figure 3

a) - 1, b) - 3, c) - 4



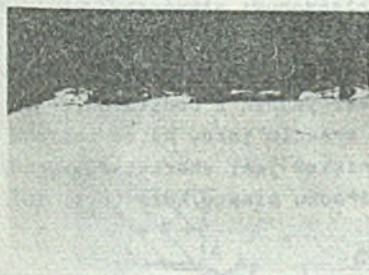
Rys. 5. Mikrostruktura warstwy wierzchniej próbki z osi A pow. 200x

Fig. 5. Micrograph of the surface layer of the specimen made from the axle A, magnification 200x



Rys. 6. Mikrostruktura warstwy wierzchniej próbki z osi A pow. 320 x

Fig. 6. Micrograph of the surface layer of the specimen made from the axle A; magnification, 320x



Rys. 7. Mikrostruktura warstwy wierzchniej próbki z osi B (z brzegu podpiaścia), pow. 200x

Fig. 7. Micrograph of the surface layer of the specimen made from the axle B (edge of the wheel seat) magnification, 200x



Rys. 8. Mikrostruktura warstwy wierzchniej próbki z osi B (z brzegu podpiaścia), pow. 400x

Fig. 8. Micrograph of the surface layer of the specimen made from the axle B (edge of the wheel seat) magnification, 400x



Rys. 9. Mikrostruktura warstwy wierzchniej próbki z osi B (z części środkowej podpiaścia), pow. 320x

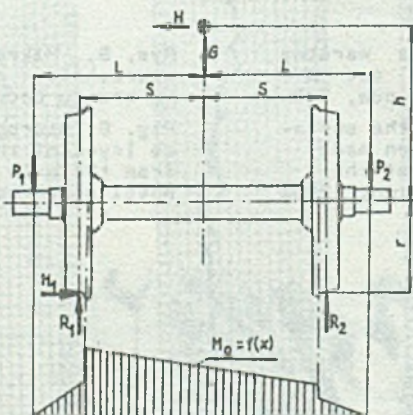
Fig. 9. Micrograph of the surface layer of the specimen made from the axle B (middle part of the wheel seat); magnification, 320x

mechanicznej (toczenie). Natomiast dla próbek z osi B obserwuje się wyraźne różnice w warstwie wierzchniej w poszczególnych obszarach osi. Próbki z obszaru położonego na brzegu podpięcia, charakteryzują się największymi uszkodzeniami powierzchni, wśród których można wyróżnić wżery oraz mikropęknięcia.

5. Analiza zużycia podpięcia osi

Przytoczone wyniki badań struktury geometrycznej oraz badań metalograficznych świadczą, że w wyniku zdeterminowanego okresu eksploatacji w warstwie wierzchniej podpięcia, szczególnie na jego końcu od strony części środkowej, występują znaczne zmiany w postaci tworzenia się wżerów i mikropęknięć. Obraz zmian świadczy, że w tym obszarze osi mają miejsce przede wszystkim procesy zużycia fretting. Warunkiem rozwoju tego zużycia jest wystąpienie mikropoślizgów pomiędzy połączonymi elementami, a w tym przypadku piasty z podpięciem [3].

Połączenie koła z osią jest połączeniem wtłaczanym z wciskiem uniemożliwiającym jakikolwiek ruch względny, co jest jednym z podstawowych warunków bezpiecznej jazdy pojazdu szynowego. W trakcie jazdy na oś zestawu działają obciążenia zewnętrzne, których wynikiem jest charakterystyczny przebieg momentu zginającego z uskokiem w środku piasty koła (rys. 10).

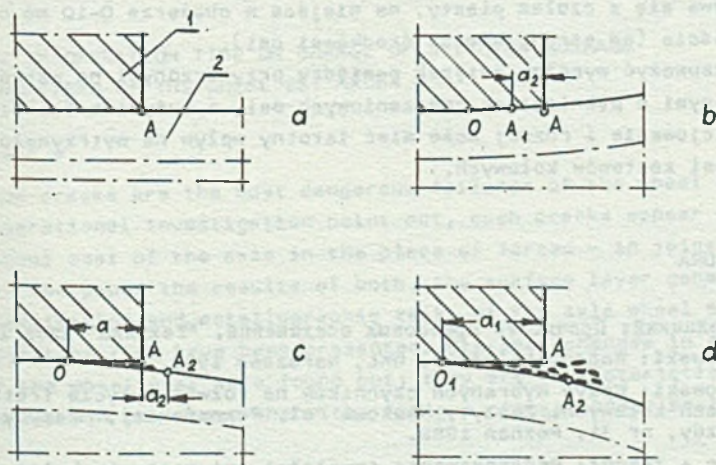


Rys. 10. Schemat obciążenia zewnętrznego i rozkład momentu gnącego w osi
Fig. 10. Diagram of the external load and the distribution of the axle bending moment

Maksymalna wartość momentu również występuje na podpięciu osi. Pod wpływem działania siły P górne włókna podpięcia są rozciągane wzdłuż osi, natomiast dolne są ściskane w tym samym kierunku. Odkształceniom tym

przeciwdziałając siły tarcia, występujące na powierzchniach łączących koło z osią [2]. Podczas obrotu zestawu kołowego następuje zmiana kierunku przesuńnięcia się włókien. Przy dużych siłach P wartość odkształceń będzie tak duża, że przy jednoczesnym obrocie może spowodować wystąpienie poślizgów względem piasty. Prawdopodobieństwo wystąpienia względnych poślizgów, będzie największe od strony części środkowej osi. Maksymalna amplituda poślizgu będzie u czoła piasty, zmniejszając się następnie w stronę czopa osi. Zakres występowania poślizgów w początkowym okresie będzie miał miejsce na niewielkim obszarze podpięcia (do 10 mm).

Na rys. 11 przedstawiono prawdopodobny przebieg rozwoju zużycia fretting w połączeniu czop-podpięcie wg Bałackiego [1].



Rys. 11. Schemat tworzenia się uszkodzeń w wyniku procesu fretting w połączeniu koło-osi [1]

a - stan po wtłoczeniu, b - przy obciążeniu momentem zginającym, c - tworzenie się produktów fretting-korozji po obrocie osi o 180° , d - usunięcie produktów zużycia spod piasty; 1 - piasta, 2 - podpięcie

Fig. 11. Diagram of failures formation as a result of fretting process of wheel-axle joint

a - after force in, b - under bending moment load, c - the fretting corrosion wear products formation after a turn of the axle of 180° , d - removal of wear products from under the hub; 1 - hub, 2 - wheel seat

W obszarze a_1 w wyniku zużycia fretting i usunięcia produktów zużycia następuje zmniejszenie wciśnięcia, a tym samym naprężeń w warstwie wierzchniej. W związku z tym należy oczekiwać, że pęknięcia zmęczeniowe mogą pojawić się dopiero w odległości większej od a_1 od koła piasty.

6. Zakończenie

Połączenie koła z osią jest miejscem szczególnie podatnym na powstanie zjawiska fretting. Decyduje o tym rodzaj stosowanego połączenia oraz charakter obciążeń zewnętrznych. Czynniki te wpływają na duże prawdopodobieństwo wystąpienia poślizgów w tym połączeniu. Przytoczone wyniki badań warstwy wierzchniej świadczą o występowaniu tego bardzo szkodliwego zjawiska, a w jego następstwie zużyciu i uszkodzeń. Ma ono zawsze miejsce na podpiąściu począwszy od czoła piasty. Wyniki badań przeprowadzonych w Japonii potwierdzają te spostrzeżenia [5]. Badając w warunkach laboratoryjnych osie w skali 1:1, przy symulacji rzeczywistych warunków eksploatacyjnych stwierdzono, że zużycie fretting, w przypadku gdy krawędź podpięcia pokrywa się z czołem piasty, ma miejsce w obszarze 0-10 mm od krawędzi podpięcia (od strony części środkowej osi).

Można zauważyć wyraźny związek pomiędzy przytoczonymi na wstępie opracowaniami danymi o pęknięciach zmęczeniowych osi, a zużyciem fretting, którego zainicjowanie i rozwój może mieć istotny wpływ na wytrzymałość zmęczeniową osi zestawów kołowych.

LITERATURA

- [1] Л.Т. Балацкий: Прочность прессовых соединений. "Техника" Киев 1982.
- [2] W. Gąsowski: Wagony kolejowe. WKŁ, Warszawa 1988.
- [3] S. Guzowski: Wpływ wybranych czynników na rozwój zużycia fretting w zestawach kołowych. Zeszyty Naukowe Pol. Poznańskiej, Maszyny Robocze i Pojazdy, nr 31, Poznań 1988.
- [4] P. Pięć + zespół: Prognozowanie trwałości osi zestawów kołowych wagonów kolejowych (część I). Temat w ramach CPBP 02.10.04. 16, Instytut Pojazdów Szynowych PK, Kraków 1987.
- [5] S. Tanaka, K. Hatsuno, D. Mohri, S. Yaguchi: Fretting Corrosion and Fatigue Strength of Wheel-Seat of Car-Axle. Quarterly Reports, vol. 17, No 1, 1976.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Włodzimierz Gąsowski

Wpłynęło do druku w styczniu 1990

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ ИЗБРАННЫХ ПАРАМЕТРОВ
ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОСЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР

Р е з ю м е

Очень опасными повреждениями осей колесных пар находятся усталостные трещины. Результаты эксплуатационных наблюдений показывают, что эти повреждения очень частые на подступичной части осей, в месте прессового соединения с колесом. В работе представлено результаты исследований геометрической структуры поверхностного слоя и металлографических испытаний подступичной части осей у которых различные времена эксплуатации. Установлено четкие изменения в поверхностном слое подступичной части, характерные для Фреттинга в зоне очень часто выступающих усталостных повреждений.

INFLUENCE OF OPERATION TIME ON CHANGE OF SELECTED SURFACE
LAYER PARAMETERS OF THE WHEEL SET AXLES

S u m m a r y

Fatigue cracks are the most dangerous failures of the wheel set axles. As the operational investigation point out, such cracks appear most often on the wheel seat of the axle in the place of forced - in joint of the wheel. In the paper the results of both, the surface layer geometric structure investigation and metallographic tests of the axle wheel seat of various operation time have been presented. Distinct changes in the surface layer of the wheel seat were found out; they are characteristic of the fretting wear in the zone, where the fatigue cracks appear most often.