ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1987

Seria: TRANSPORT z. 7 Nr kol. 914

Jan BROŚ
Adam TUŁECKI

ZUŻYCIA I USZKODZENIA ELEMENTÓW POŁĄCZEŃ WCISKOWYCH W ZESTAWACH KOŁOWYCH

Streszczenie. W pracy scharakteryzowano zużycia i uszkodzenia elementów połączeń wciskowych w zestawach kołowych w czasie eksploatacji pojazdu szynowego. Przedstawiono mechanizm zużycia typu fretting oraz pęknięć o charakterze zmęczeniowym. Zamieszczono także statystyczne dane określające w sensie jakościowym ubytki i uszkodzenia.

W mechanizmie zniszczenia połączenia prowadzącym do złomu zmęczeniowego wydzielono etapy, dla których określono przybliżone liczby cykli.

1. WSTĘP

Połączenia wciskowe elementów zestawów kołowych pracują w szczególnie niekorzystnych warunkach. Przenoszą one obciążenia zmienne: momentem skręcającym, momentem gnącym oraz siłą osiową. W tym aspekcie należy podkreślić, że zestaw kołowy stanowi nieusprężynowaną masę pojazdu i wielkość obciążeń zmiennych bezpośrednio zależy od nierówności toru. Połączenia pracują ponadto w środowisku bardzo aktywnym korozyjnie. Na podstawie danych zamieszczonych w pracy [1] można stwierdzić, że trwałość zmęczeniowa zestawów kołowych wagonów osobowych wynosi $2{,}2 \times 10^9$ cykli, a dla zestawów wagonów towarowych $5{,}0 \times 10^8$ cykli.

W eksploatacji obserwuje się następujące zużycia i uszkodzenia elementów połączeń:

- zużycie typu fretting,
- pęknięcie o charakterze zmęczeniowym,
- uszkodzenie o charakterze adhezyjnym,
- przesunięcie kół jezdnych na czopie spoczynkowym osi.

2. ZUŻYCIE TYPU FRETTING

Zjawisko zużycia typu fretting występuje na dokładnie pasowanych powierzchniach poddanych ruchom drgającym o małej amplitudzie (rzędu ułamka mm). Zużycie to ma charakter zmęczeniowo-ścierny, ponieważ występujące drgania powodują zjawiska zmęczeniowe, a minimalne przemieszczenia - zjawiska ścierania. Fretting występuje najczęściej w połączeniach wciskowych,

charakteryzujących się naprężeniami montażowymi, które powodują wzrost energii powierzchniowej i zwiększają reaktywność chemiczną powierzchni (podatność na korozję). Produkty zużycia są zazwyczaj tlenkami metali.

Jak wykazały obserwacje poczynione na kolejach radzieckich [1], przy ilości cykli $1,6 \times 10^8$ na powierzchniach nośnych połączenia wciskowego pojawiają się objawy charakterystyczne dla zużycia typu fretting. Powyższe zjawisko potwierdzają również wyniki badań przeprowadzonych na kolejach japońskich [2] i francuskich [3].

Rys. 1. Czop spoczynkowy osi zestawu kołowego z widocznymi obszarami zużycia typu fretting, widoczne ciemnoszare plamy odpowiadają pierwszej fazie zużycia

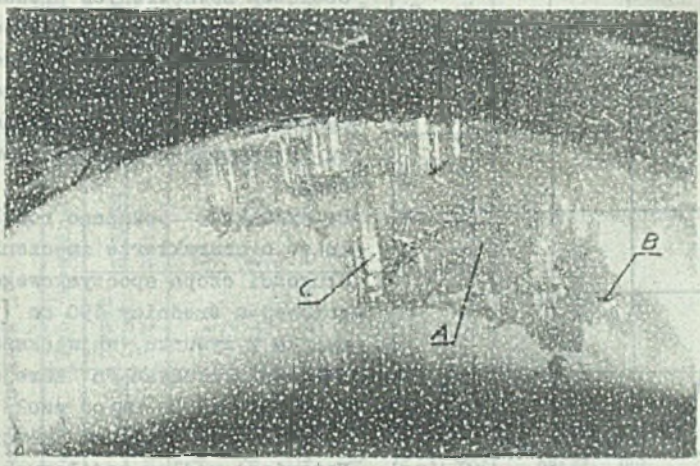
Fig. 1. A rest pivot of wheel set with a visible zones of fretting wear also visible patches corresponding to the first stage of wear

Zebrane przez autorów dane statystyczne, dotyczące zużyć i uszkodzeń zestawów kołowych na kolejach polskich, wskazują także na występowanie zużycia typu fretting w połączeniach wciskowych. Dotyczy to zwłaszcza zestawów wagonów towarowych po okresie eksploatacji 8-15 lat.

W początkowym okresie na powierzchniach nośnych zarówno czopa spoczynkowego, jak i piasty pojawiają się ciemnoszare plamy, którym towarzyszą produkty zużycia w postaci rozdrobnionego brązowego proszku. Odpowiada to ilości cykli $1,3 \times 10^8$ (rys. 1). W dalszej kolejności zaobserwowano wyrywania materiału z warstwy wierzchniej obu kojarzonych elementów w wyniku sczepiania się mikronierówności. Obszar tego zjawiska występuje na długości 5-50 mm od powierzchni czołowej piasty. Przykładowo na rys. 2 przedstawiono obszary zużycia typu fretting na powierzchni otworu w piaście koła jezdnego.

Następstwem opisywanego zużycia były mikropęknięcia o charakterze zmęczeniowym, zaobserwowane na powierzchni czopa spoczynkowego. Na podstawie poczynionych obserwacji oraz danych literaturowych [1, 2, 3, 4] należy sądzić, że dla większości przypadków w mechanizmie zniszczenia połączenia w wyniku złomu zmęczeniowego można wyodrębnić następujące etapy (w nawiasach podano przybliżoną liczbę cykli):

I - ścieranie mikronierówności, utlenianie produktów zużycia ($1,3 \times 10^8$ cykli),



Rys. 2. Obraz zużycia i uszkodzenia otworu piasty koła jezdnego
A - zużycie typu fretting, B - wyrwanie materiału w wyniku zużycia typu fretting, C - uszkodzenia w wyniku rozłączania połączenia

Fig. 2. An image of wear and failure of hub hole of wheel
A - fretting wear, B - broken out part of material as a result of fretting wear, C - damage as an effect of joint discountion

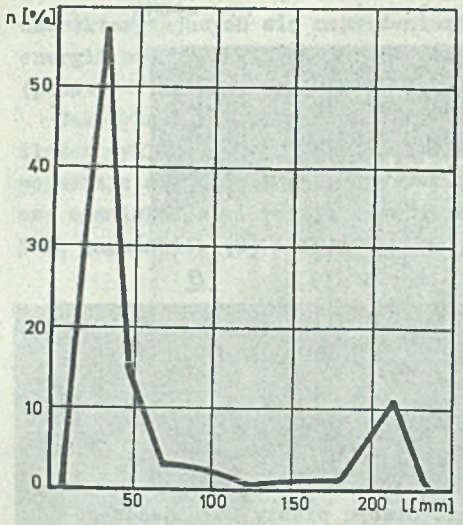
II - szczepienia i wyrwania materiału koła i osi ($1{,}5 \times 10^8$ cykli),
III - powstanie mikropęknięć zmęczeniowych ($2{,}4 \times 10^8$ cykli),
IV - rozwój mikropęknięć,
V - złom zmęczeniowy ($4{,}2 \times 10^8$ cykli).

Według pracy [4] na okres pojawienia się i rozwój zużycia typu fretting mają wpływ następujące czynniki: amplituda oraz częstość drgań i naprężeń kontaktowych, materiał elementów łączonych, aktywność chemiczna środowiska oraz temperatura.

W połączeniach wciskowych zestawów kołowych zasadniczą rolę odgrywa amplituda drgań, gdyż powoduje wzajemne przemieszczanie stykających się powierzchni. Amplitudę tę można w przybliżeniu określić jako $(10\text{-}30) \times 10^{-3}$ mm [2]. Duży wpływ na zużycie ma ponadto wartość naprężeń, przy których pracuje połączenie oraz aktywność środowiska.

3. PĘKNIĘCIA O CHARAKTERZE ZMĘCZENIOWYM

Połączenia wciskowe wywołują w elementach zestawu kołowego wewnętrzny stan naprężeń, który wywiera bardzo duży wpływ na ich wytrzymałość zmęczeniową. Istniejący w tym przypadku tzw. karb technologiczny charakteryzuje się wywołaniem za i przed czopem spoczynkowym osi niepożądanych normalnych naprężeń rozciągających. Naprężenia te wraz z naprężeniami



Rys. 3. Rozkład pęknięć na długości czopa spoczynkowego osi o średnicy 190 mm

Fig. 3. Distribution of cracks on the length of a rest pivot of axle diameter 190 mm

tego samego znaku pochodzącymi od obciążeń zewnętrznych prowadzą do obniżenia wytrzymałości zmęczeniowej. Dotyczy to w szczególności przekrojów osi w sąsiedztwie czopa spoczynkowego oraz na czopie w miejscu intensywnego zużycia typu fretting.

Na rysunku 3 pokazano rozkład pęknięć o charakterze zmęczeniowym na długości czopa spoczynkowego osi wagonowej o średnicy 190 mm [1]. Jak wynika z rysunku, największą częstotliwość uszkodzeń "n" zarejestrowano w odległości 30 mm od czoła piasty, co odpowiada obszarom frettingu. Natomiast według modelowych badań francuskich [3] lokalizacja pęknięcia zmęczeniowego uzależniona jest od wielkości średnic czopa spoczynkowego osi i części środkowej. Gdy stosunek tych średnic wynosi: K = D/d = 1,12 - 1,16, to pęknięcia zmęczeniowe występują na promieniu przejściowym za czopem spoczynkowym. Jeżeli natomiast współczynnik K jest mniejszy od 1,12, to pęknięcia zmęczeniowe zlokalizowane są na czopie spoczynkowym.

W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące badań defektoskopowych osi zestawów kołowych przeprowadzonych w ZNTK w latach 1975-1980. Z zamieszczonych danych wynika, że największą ilość pęknięć stwierdzono w osiach wagonów towarowych oraz spalinowych pojazdów trakcyjnych. Biorąc pod uwagę koszt wymiany uszkodzonej osi, to roczne straty z tego tytułu zamykały się kwotą około 12 mln zł. Należy zaznaczyć, że w rzeczywistości ilość stwierdzonych pęknięć osi jest ok. 2-krotnie wyższa od zamieszczonych w tabeli. Wynika to z faktu, że badania defektoskopowe prowadzone są również w jednostkach liniowych zaplecza technicznego (wagonownie, lokomotywownie), czego nie uwzględnia powyższa tabela.

4. USZKODZENIA O CHARAKTERZE ADHEZYJNYM

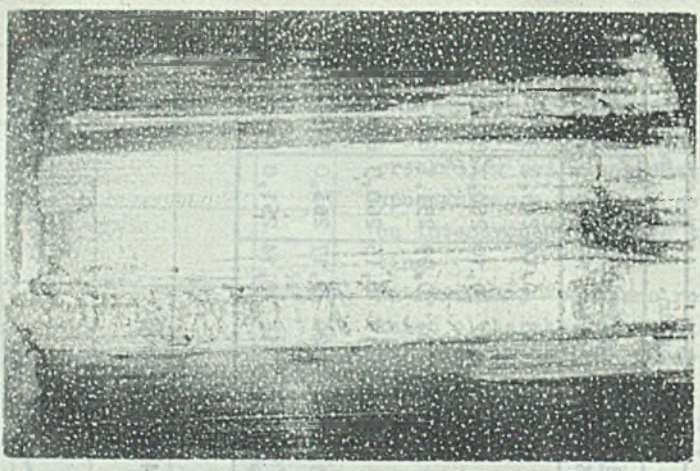
Uszkodzenia powierzchni nośnych połączenia wciskowego powstają w wyniku ściągania koła jezdnego z osi za pomocą prasy. Konieczność tej operacji związana jest z potrzebą wymiany uszkodzonej osi lub koła.

Tabela 1

Badania defektoskopowe osi przeprowadzone w ZNTK

Rok	Wagony towarowe			Wagony osobowe			Parowozy			Tab. elektr.			Tab. spalin.			Razem		
	przeb. tys. szt.	z wadą		przeb. tys. szt.	z wadą		przeb. tys. szt.	z wadą		przeb. tys. szt.	z wadą		przeb. tys. szt.	z wadą		przeb. tys. szt.	z wadą	
		szt.	%		szt.	%		szt.	%		szt.	%		szt.	%		szt.	%
1975	169,1	881	0,52	33,4	23	0,06	20,2	28	0,13	14,3	0	0	8,8	13	0,14	245,9	945	0,38
1976	175,6	705	0,40	31,9	52	0,16	18,2	34	0,18	13,9	0	0	11,1	12	0,10	250,7	803	0,32
1977	177,8	636	0,35	32,6	24	0,07	16,8	24	0,14	13,9	0	0	11,0	11	0,09	251,7	698	0,27
1978	189,5	603	0,31	30,6	22	0,07	12,6	16	0,12	16,4	0	0	11,2	17	0,15	260,3	658	0,25
1979	195,6	463	0,23	31,0	17	0,05	12,0	12	0,10	13,3	1	0,1	11,1	20	0,17	263,0	513	0,19
1980	197,9	617	0,31	29,7	14	0,04	10,8	2	0,02	12,7	0	0	10,5	15	0,14	261,0	648	0,24

Uwaga: w latach 1964-1980 przebadano 3.658 tys. osi, wykryto wady w 44.084 osiach.



Rys. 4. Powierzchnia czopa spoczynkowego osi uszkodzona podczas ściągania koła

Fig. 4. The surface of a rest pivot failured during drawing the wheel

Podczas ścigania koła na powierzchniach nośnych połączenia (powierzchnia tarcia) występuje tarcie ślizgowe suche, któremu często towarzyszą drgania samowzbudne. Powstają wówczas lokalne sczepienia metaliczne powierzchni trących i niszczenie tych połączeń (sczepień) wraz z odrywaniem cząstek metalu.

Zjawiska te są typowe dla zużycia adhezyjnego występującego przy tarciu ślizgowym o małych prędkościach względnych i dużych naciskach jednostkowych. W przypadku omawianych połączeń wciskowych prędkość ściągania koła z osi nie przekracza 0,02 m/s, a naciski wynoszą 130 MN/m^2.

Na rysunku 4 przedstawiono powierzchnię czopa spoczynkowego osi uszkodzoną w podany sposób. Wyraźnie widoczne są głębokie bruzdy oraz wyrwania. Uszkodzenia tego typu często całkowicie eliminują powtórne wykorzystanie jednego z elementów połączenia lub też znacznie powiększają koszty naprawy.

Dane uzyskane w zakładach naprawczych w odniesieniu do stanu powierzchni czopa spoczynkowego osi po ściągnięciu kół obręczowych wykazują, że

- 45% osi nadaje się do powtórnego montażu,
- 30% osi wymagało obróbki czopa przez szlifowanie,
- 17,5% wymagało obróbki czopa przez toczenie,
- 7,5% osi nie nadawało się do ponownego montażu.

Stwierdzono również, że średni wskaźnik zapasu wytrzymałości będący stosunkiem siły rozłączania do siły wtłaczania wynosi 1,3 [5].

Znacznie bardziej niekorzystne wyniki uzyskano w przypadku ściągania kół bezobręczowych. Dokonana analiza stanu technicznego powierzchni czopa

po rozłączeniu wykazała w 60% brak możliwości ponownego montażu w wyniku stwierdzenia głębokich rys i bruzd o głębokości do 2,3 mm. Ze względu na wymaganą tolerancję wymiarową, uszkodzonych czopów nie można naprawić przez toczenie.

5. PRZESUNIĘCIE KÓŁ JEZDNYCH NA OSI

Rozstaw kół jezdnych na osi zestawu kołowego wynika z szerokości toru i jego wymiar jest ściśle określony. W eksploatacji obserwuje się przypadki poosiowego przesunięcia kół jezdnych na osi, a tym samym zmiany rozstawu. Dotyczy to zwłaszcza kół bezobręczowych, w których sztywność promieniowa piasty jest niższa od analogicznej sztywności kół obręczowych.

Podczas napraw planowych stwierdzono, że 68% zestawów z bezobręczowymi kołami jezdnymi wykazuje przesunięcie i kwalifikuje się do demontażu [5]. Analiza połączeń wykazała, że zwiększenie wartości wcisku nie prowadziło do wyeliminowania opisanego uszkodzenia. W każdym przypadku zaobserwowano również uszkodzenia o charakterze adhezyjnym na powierzchniach nośnych połączenia. Wysoki wskaźnik wytrzymałości tych połączeń (2,9-4,2) był wynikiem głębokich wyrwań na powierzchni czopa i otworu piasty.

6. ZAKOŃCZENIE

Przedstawiona w niniejszej pracy charakterystyka zużyć i uszkodzeń elementów połączeń wciskowych wskazuje na pilną potrzebę podjęcia prac dla podniesienia ich jakości. Konieczność taką potwierdzają również zamieszczone dane statystyczne.

Szczególna rola w kształtowaniu jakości połączeń wciskowych przypada metodom technologicznym. Prace z tego zakresu zostały podjęte przez autorów.

LITERATURA

[1] Szkolnik L.M.: Powyszienije procznosti osiej żeleznodorożnovo podwyżnowo sostawa. Transport, Moskwa 1964.

[2] Tanaka S., Hirose F.: Fatique behavior of fretting cracks at the wheel seat of car axles. The Sixth International Wheelset Congress. Colorado Springs, October 1978.

[3] Revillon, Leluan A.: Recherches sur l' optimisation des essieux - axes de la SNCF. Revue Generale des Chemins de Fer, mars 1975.

[4] Bałackij L.T.: Ustałost wałov w sojedinienijach. Technika, Kijów 1972.

[5] Kozaczek Z.: Wpływ czynników technologicznych na trwałość połączeń koło-oś zestawu kołowego. Praca doktorska. Politechnika Krakowska 1981.

Recenzent: Doc. dr. inż. Roman BĄK

ИЗНОС И ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НАТЯЖНЫХ СОЕДИНЕНИИ КОЛЕСНЫХ ПАР

Р е з ю м е

В работе описан износ и повреждения элементов прессовой посадки колесных пар во время эксплуатации подвижного состава. Представлен механизм износа типа фреттинг а также усталостных трещин. Представлены также статистические данные определяющие износ и повреждения в качественном смысле. Механизме разрушения соединения ведущем к усталостной трещине выдалены этапы для которых определено приближенное количество циклов.

WEARS AND DAMAGING ELEMENT OF FORCE IN JOINT OF WHEEL SETS

S u m m a r y

This paper describes wears and demages of elements of force in joints of wheel sets which have occured during operating of railvehicles.

There has been shown mechanism of fretting wear, fatique cracks and adhesian failures. The statistical data of wear and failure have been presented for quintitive description.

The mechanism of damage of joint, which has been described as a fatique cracks, was divided for some stages and for every one of them was given a number of cycles.