

CHARAKTERYSTYCZNE USZKODZENIA ZESTAWU KOŁOWEGO POWODUJĄCE ZDARZENIA WYPADKOWE

SPIS TREŚCI

1. Wstęp
2. Charakterystyczne uszkodzenia zestawu kołowego
3. Zapobieganie awariom zestawów kołowych

STRESZCZENIE

Przedstawiono najczęściej występujące uszkodzenia zestawu kołowego, powodujące zdarzenia wypadkowe oraz określone — na podstawie badań — przyczyny uszkodzeń zestawów. Pokazano na zdjęciach wady poszczególnych elementów zestawu kołowego. Omówiono również sposoby zapobiegania podobnym przypadkom uszkodzeń.

1. WSTĘP

W zdecydowanej większości przypadków każde uszkodzenie zestawu kołowego powoduje powstanie zdarzenia wypadkowego, prowadzącego do wykolejenia pojazdu. Skutki takich zdarzeń są przeważnie bardzo dotkliwe, łącznie z odpowiedzialnością osobistą i znacznym obciążeniem finansowym.

Zestaw kołowy jest jednym z podstawowych elementów pojazdu szynowego. Właściwa eksploatacja oraz wykonywane przeglądy, naprawy i rewizje mogą znacznie przedłużyć okres żywotności pojazdu. Przeglądy te umożliwiają ujawnienie defektów między innymi w zespołach jezdnych wagonów, a szczególnie w elementach zestawu kołowego, tj. osiach, kołach, obręczach, łożyskach i hamulcach. Elementy te decydują o płynności i bezpieczeństwie jazdy pojazdów szynowych.

W artykule przedstawiono charakterystyczne uszkodzenia zestawu kołowego oraz mechanizmy ich powstawania. Wyjaśniono prawdopodobny przebieg zdarzeń, powodujący uszkodzenie elementów zestawu kołowego, co w konsekwencji doprowadza do wykolejenia się wagonów i pociąga za sobą duże straty, w postaci zniszczenia taboru kolejowego oraz podtorza. W wyjaśnianiu przyczyn zaistniałych zdarzeń oparto się na dokumentacji powypadkowej [1] oraz na przeprowadzonych badaniach materiałowych.

Uszkodzone elementy zestawów kołowych przedstawiono na licznych zdjęciach. Zostały sformułowane również uwagi dotyczące sposobu zapobiegania powstawaniu uszkodzeń lub ich ograniczania.

2. CHARAKTERYSTYCZNE USZKODZENIA ZESTAWU KOŁOWEGO

2.1. Uwagi ogólne

Spśród licznych uszkodzeń zestawu kołowego, występujących w czasie eksploatacji, należałoby wymienić następujące awarie zestawu kołowego, których główną przyczyną były wady:

- powierzchniowe łożysk czopów osi, prowadzące do zatarcia się łożysk,
- powierzchniowe osi, jako źródło powstania pęknięcia zmęczeniowego osi,
- eksploatacyjne obrcęzy, powodujące jej pęknięcie.

2.2. Wady powierzchniowe łożysk czopów osi

Łożyska czopów osi, za pośrednictwem mechanizmów amortyzujących pojazd, przejmują obciążenia statyczne i dynamiczne, działające na wagon podczas jazdy. Są to głównie obciążenia promieniowe łożysk, spowodowane ciężarem wagonu i przewożonego ładunku, a także siłami związanymi z przemieszczaniem się wagonu. Dodatkowo występują poosiowe obciążenia łożysk, spowodowane okresowo działającymi siłami odśrodkowymi i bocznymi. Obciążenia te wpływają na wytrzymałość elementów wagonów.

Długoletnia eksploatacja pojazdu prowadzi do zużywania się elementów zestawu kołowego wagonu. Widocznymi oznakami zużycia się łożysk są wady powierzchniowe pierścieni wewnętrznych oraz wałków łożysk. Są to wady w postaci wżerów, *pittingu* oraz miejscowej korozji. Są one łatwe do ujawnienia podczas przeglądów i napraw wagonów. Brak reakcji na występujące wady łożysk w niedługim czasie pociąga za sobą zdarzenie wypadkowe.

Skutki spowodowane wadami łożysk oraz ujawnione wady łożysk pokazano na licznych fotografiach (rys. 1÷7). Na podstawie dokumentacji fotograficznej, przedstawiającej zniszczony czop osi wagonu (rys. 1 i 7), zniszczoną maźnicę (rys. 2) oraz przeprowadzonych badań materiałowych można stwierdzić, że bezpośrednią przyczyną uszkodzenia łożyska zestawu kołowego były wady powierzchniowe, ujawnione na pierścieniach wewnętrznych (rys. 3 i 5), powstałe wskutek długiej pracy łożyska w warunkach działania sił kontaktowo-powierzchniowych. Wady powierzchniowe spowodowały: powstanie karbów na pierścieniach łożysk, nierównomierny rozkład sił przenoszonych przez łożysko, a także podwyższoną temperaturę pracy łożyska na skutek tarcia pomiędzy powierzchniami współpracującymi. Długotrwała praca łożyska w tych warunkach spowodowała rozwój karbu na powierzchni pierścienia łożyska skierowany w głąb materiału. Następnie powstaje pęknięcie pierścienia na wskroś (rys. 4) i zablokowanie się pierścienia wskutek działania obciążenia. Miejscowy wzrost temperatury rzędu 500—900 °C, który nastąpił na skutek tarcia obracającego się czopa, wywołuje jego deformację, spowodowaną wzrostem plastyczności materiału i powstanie nalepienia na pierścieniu wewnętrznym łożyska tylnego (rys. 6).



Rys. 1. Widok uszkodzonego czopa osi wagonu



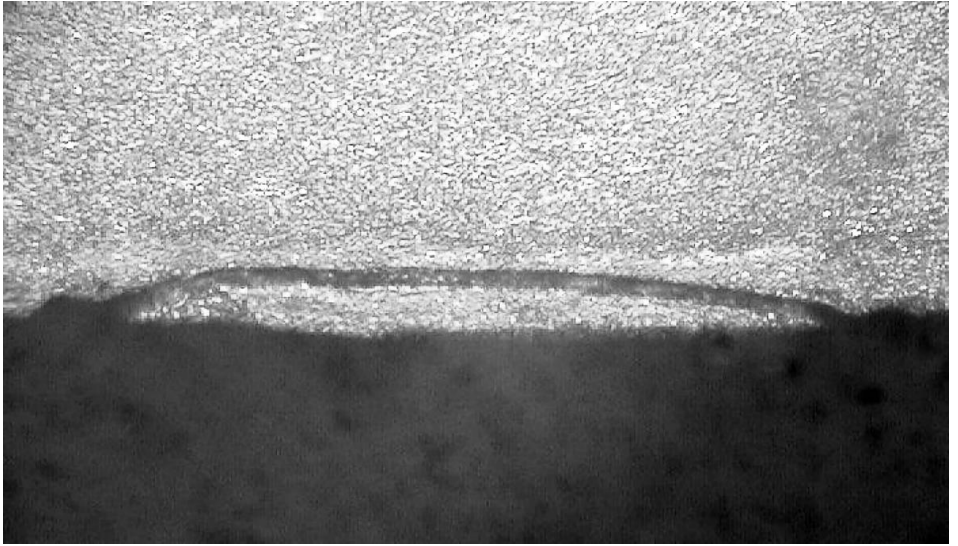
Rys. 2. Uszkodzone łożysko i korpus maźnicy



Rys. 3. Pęknięcie oraz wady powierzchniowe pierścienia łożyska



Rys. 4. Przełom pierścienia wewnętrznego pękniętego łożyska



Rys. 5. Wada powierzchniowa pierścienia wewnętrznego łożyska
(powiększenie 100 razy)



Rys. 6. Pęknięcie oraz powstałe nalepienia na pierścieniu wewnętrznym łożyska



Rys. 7. Wady czopa osi powstałe na skutek tarcia pierścieni łożysk

Podobny mechanizm spowodował pęknięcie pierścienia wewnętrznego łożyska przedniego, a bezpośrednią tego przyczyną również były wady eksploatacyjne powierzchni współpracujących.

W dalszej kolejności łożysko z luźnymi pierścieniami wewnętrznymi, działając na elementy zabezpieczające, tj. tarczę oraz blachę i śruby, powoduje zerwanie śrub i w efekcie tego — spadnięcie maźnicy z czopa osi.

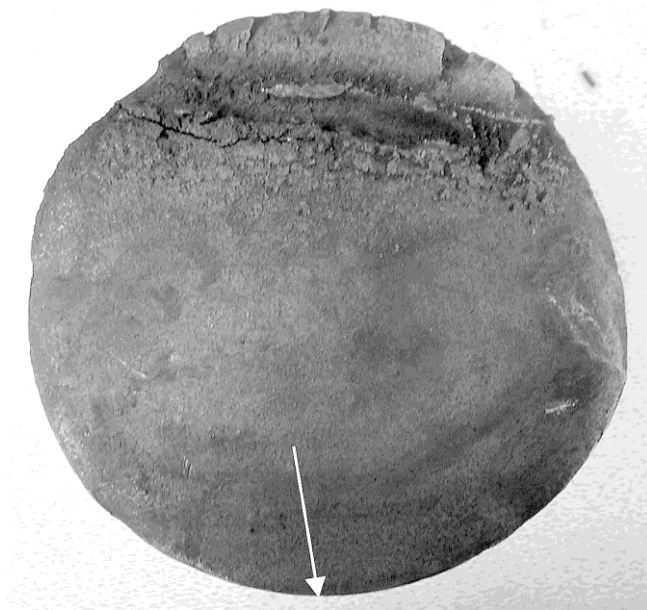
2.3. Wady powierzchniowe osi

Z powodu dużego obciążenia dynamicznego osi wagonów, szczególnie wagonów towarowych, osie zestawów kołowych powinny być wykonywane w sposób bardzo staranny, z zachowaniem parametrów technologicznych wytopienia stali, przeróbki plastycznej, obróbki cieplnej i obróbki mechanicznej. Obróbka wykańczająca osi drogą dokładnego toczenia i szlifowania powinna zabezpieczyć wymiary i parametry chropowatości powierzchni zgodnie z aktualnymi wymaganiami TSI oraz PN EN 13261:2007 [7]. Jest to niezwykle istotne, ponieważ w większości przypadków zniszczenie osi zachodzi wskutek mechanizmu zmęczeniowego, zapoczątkowanego przez wady powierzchniowe osi, na zasadzie powstania karbu. Ważnym czynnikiem jest również montaż zestawu kołowego, tj. wtlaczanie kół na oś. Na skutek odkształceń osi podczas jazdy występuje zjawisko zużycia typu *fretting* na powierzchni styku osi i koła [2, 3]. Siły działające na oś powodują jej zginanie z jednoczesnym powstaniem stref poślizgu wzdłuż włókien, ograniczając strefę stałego kontaktu koła i osi. Powierzchnia ta jest narażona na powstawanie wad typu zadarć oraz korozji stykowej. Długotrwała eksploatacja wagonu przyczynia się do rozwoju wad powierzchniowych, które w większości przypadków są źródłem pęknięć zmęczeniowych osi.

Na fotografiach (rys. 8 i 9) pokazano powierzchnie przelomu ukłóconego czopa osi zestawu kołowego. W dolnych częściach rysunków jest widoczne źródło pęknięcia, tj. ognisko, które prawdopodobnie powstało na powierzchni czopa wskutek wady powierzchniowej. Dalej zadziałał mechanizm zmęczeniowy i pęknięcie to rozwijało się w głąb materiału, tworząc strefę przyogniskową o gładkiej, błyszczącej powierzchni oraz linie zmęczeniowe. Działające obciążenia dynamiczne wpływały na powstanie mikro-pęknięć i ich propagację w głąb materiału osi. Łączenie się mikro-pęknięć powodowało powstawanie uskoków rozwijających się do wnętrza materiału i w efekcie — pęknięcie główne. Strefa reszkowa lub złomowa, która powstała w wyniku gwałtownego pęknięcia osi ma wyraźnie widoczną budowę ziarnistą.

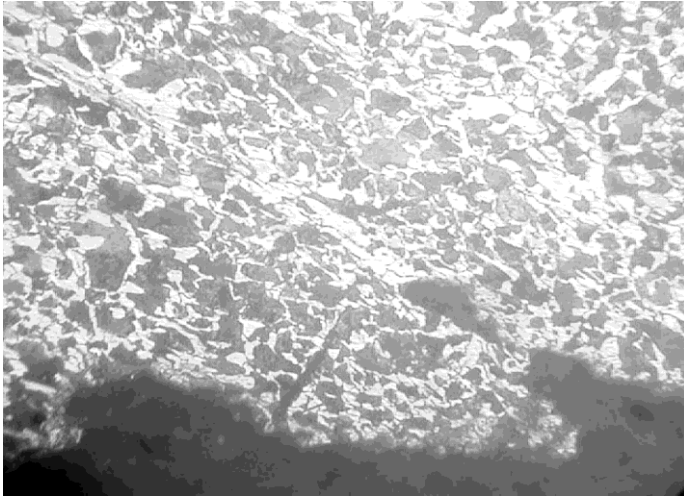


Rys. 8. Pęknięta oś w płaszczyźnie koła



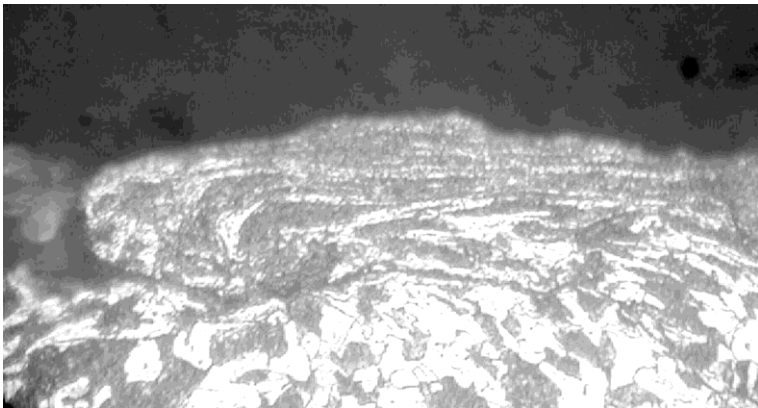
Rys. 9. Przełom pękniętego podpięcia osi zestawu kołowego

Na rysunku 10 przedstawiono wady w postaci rys i pozostałości wżerów korozji, ujawnione na powierzchni czopa tuż przy powierzchni przelomu w strefie linii zmęczeniowych. Tego rodzaju wada, jako efekt działania *frettingu*, mogła być źródłem powstania pęknięcia zmęczeniowego czopa osi.

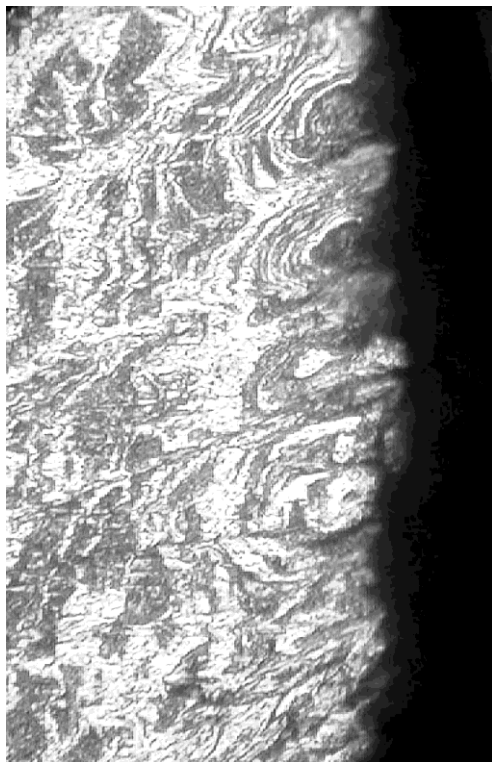


Rys. 10. Wady powierzchniowe podpięcia czopa
(powiększenie 100 razy)

Mechanizm zmęczeniowy pęknięcia plastycznego materiału o parabolicznym obrysie, tworzący obraz łusek w sąsiedztwie powierzchni przelomu osi, jak również plastyczne ścięcie, pokazano na rysunkach 11 i 12. Jest to mechanizm powstawania mikropęknięć — w postaci wgłębień i wypukłości — pod wpływem zmiennych obciążeń. W sąsiedztwie granicy przelomu struktura jest silnie zdeformowana. Tworzące się mikropustki na granicach wydzieleni lub wtrąceń niemetalicznych mechanizmem dyslokacyjnym, na skutek naprężeń rozrastają się tworząc mikropęknięcia, które z kolei pod wpływem zmiennych obciążeń, metodą poślizgu wzdłuż płaszczyzn łupliwości, rozwijają się w głąb materiału [4, 5].



Rys. 11. Mikrostruktura przelomu pęknięcia
(powiększenie 400 razy)



Rys. 12. Mikrostruktura przełomu pęknięcia
(powiększenie 400 razy)



Rys. 13. Widok powierzchni obręczy ze ściętym obrzeżem i śladami tarcia
w środkowej części powierzchni tocznej

W analizowanym przypadku przyczyną wystąpienia silnych zmiennych obciążeń czopa osi była prawdopodobnie awaria układu hamulcowego (działanie hamulca tylko na jednym kole). Podczas hamowania pociągu następowało nabieganie wagonu na wagon poprzedzający. Pod wpływem siły wzdłużnej i poprzecznej następowało uniesienie się jednostronne wagonu, z jednoczesnym skręceniem i hamowaniem tylko jednego koła. W tym momencie następował znaczny wzrost obciążeń czopa osi, wywołany silnym tarcieniem obrzeża obręczy o szynę, powodując ścinanie obrzeża obręczy (rys. 13). Te cykle powtarzały się wielokrotnie przyczyniając się do rozwoju pęknięcia powierzchniowego w głąb materiału wskutek mechanizmu zmęczeniowego, co w konsekwencji doprowadziło do ukręcenia się czopa osi.

2.4. Wady powierzchniowe obręczy koła

Pękniętą obręcz koła bosego zestawu kołowego jednostki elektrycznej ezt EN57 pokazano na rysunku 14, a na rysunku 15 — wady występujące na powierzchni toczonej obręczy. Są to pęknięcia o różnej długości i głębokości, leżące na całym obwodzie koła w obszarze działania kompozytowej wstawki hamulcowej. Rysunek 16 przedstawia przełom pękniętej obręczy, na którym są widoczne dwa ogniska wad rozpoczynających się od powierzchni obręczy — tj. pęknięć spowodowanych prawdopodobnie oddziaływaniem kompozytowej wstawki hamulcowej — oraz ich rozwojem na skutek cyklicznych naprężeń o charakterze zmęczeniowym. Na rysunku 17 pokazano kompozytową wstawkę hamulcową, z widocznymi uszkodzeniami na powierzchni oraz miejscowymi nalepieniami materiału, która była używana w momencie pęknięcia obręczy.



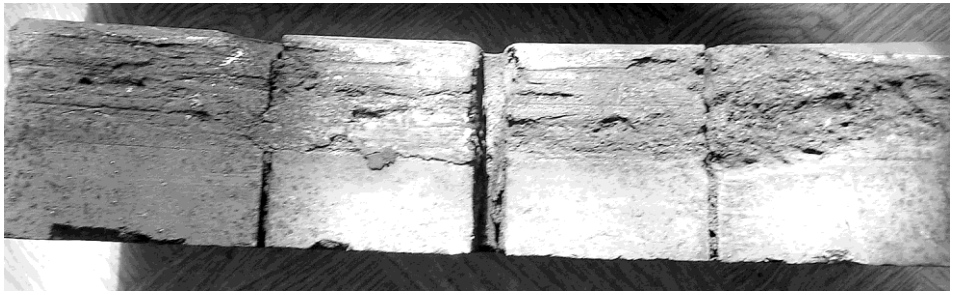
Rys. 14. Widok pękniętej obręczy



Rys. 15. Wady na powierzchni tocznej obręczy

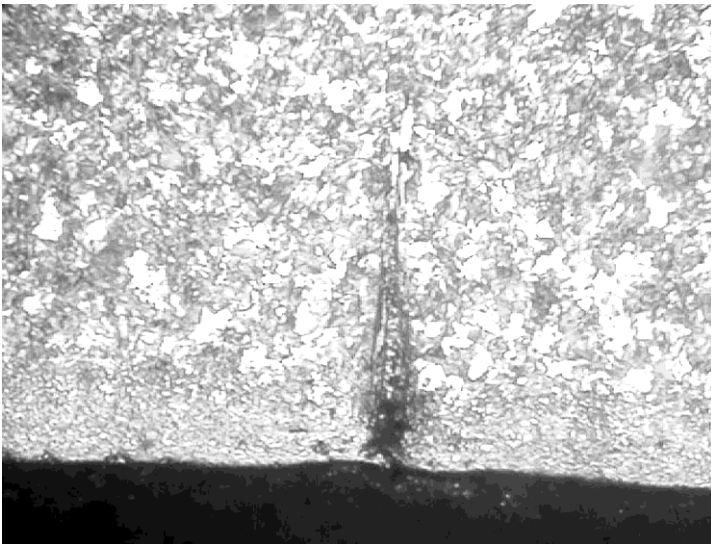


Rys.16. Przełom pękniętej obręczy

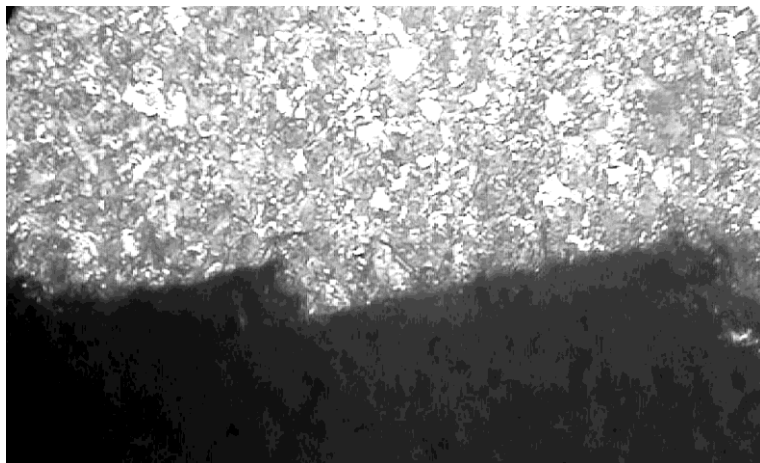


Rys. 17. Kompozytowa wkładka hamulcowa z nalepieniem stali

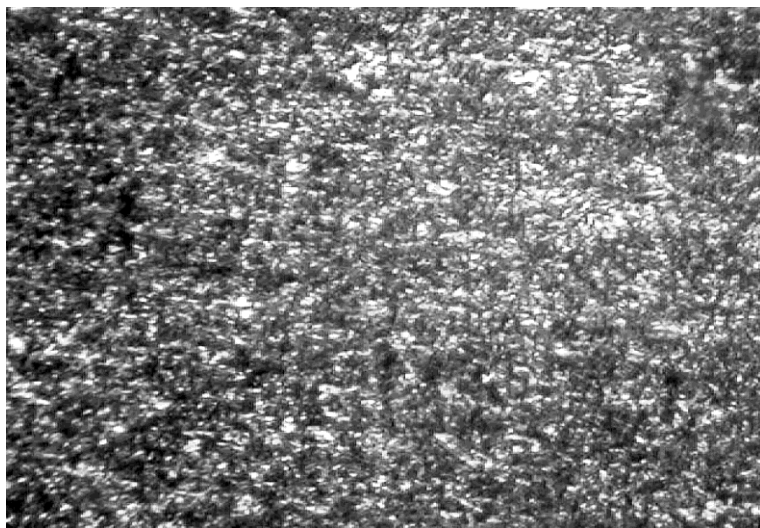
Badanie mikrostruktury pękniętej obręczy przeprowadzono na próbkach wyciętych z przelomu. Na rysunku 18 pokazano wadę w postaci płytkiego pęknięcia powierzchniowego, które obejmuje dwie warstwy materiału: powierzchniową twardą warstwę o strukturze sorbitycznej oraz głębszą perlityczno-ferrytyczną. Podczas hamowania na skutek tarcia kompozytowej wstawki hamulcowej, a szczególnie powstałego nalepiania, i powierzchni tocznej obręczy, wytworzona wysoka temperatura na powierzchni i gwałtowne chłodzenie (niskie temperatury w dniu zdarzenia) powodowały przemiany fazowe i zmienne naprężenia w powierzchniowej warstwie obręczy, przyczyniając się do powstania mikropęknięć termicznych. Dalszy rozwój tych pęknięć polegał na powiększaniu się ich wymiarów wskutek mechanizmu zmęczenia. W wyniku eksploatacji, cykliczne zmiany obciążenia powodowały przemieszczanie się pęknięcia do wnętrza materiału obręczy. Na rysunku 19 pokazano mikrostrukturę przelomu w postaci uskoków jako jeden z głównych mechanizmów rozwoju pęknięć zmęczeniowych. Rysunek 20 przedstawia sorbityczną mikrostrukturę nalepionego metalu na kompozytowej wstawce hamulcowej. Nalepiania te są wynikiem nabierania materiału szyn przez koło podczas hamowania i kumulowanie tego materiału w kompozytowej wstawce. Następnie metal ten powoduje tarcie i wzrost temperatury powierzchni podczas hamowania pojazdu oraz powstawanie mikropęknięć termicznych na powierzchni obręczy.



Rys. 18. Początek pęknięcia na powierzchni tocznej obręczy (powiększenie 200 razy)



Rys. 19. Pęknięcie w postaci uskoków na powierzchni przelomu
(powiększenie 200 razy)



Rys. 20. Mikrostruktura nalepionego metalu
(powiększenie 300 razy)

3. ZAPOBIEGANIE AWARIOM ZESTAWU KOŁOWEGO

Przebieg omówionych awarii zestawów kołowych umożliwia przedstawienie niektórych działań zapobiegających zdarzeniom wypadkowym.

Podstawowym sposobem kontroli łożysk czopów osi wagonów powinna być szczegółowa kontrola wizualna, z jednoczesnym pomiarem luzów łożysk i sprawdzeniem osadzenia ich na czopie. Dotyczy to łożysk w wagonach, które mają duży przebieg lub łożysk, które nie były wymieniane od momentu zamontowania. W porę ujawnione wady łożysk, tj. pierścieni, elementów tocznych czy koszyka, kwalifikują każde łożysko do

wymiany. Stosowane bieżące przeglądy lub naprawy znacznie eliminują zdarzenia wypadkowe wagonów. Również służby kolejowe poprzez obserwację przejeżdżających pociągów, a szczególnie obserwację maźnic wagonów, mogą przyczynić się do wychwycenia stanów wskazujących na niebezpieczeństwo zdarzenia wypadkowego.

Natomiast podstawowym sposobem kontroli wad osi zestawu kołowego są badania ultradźwiękowe. Badania te mogą wykryć płytkie wady powierzchniowe, jak również wady wewnętrzne osi. Opracowana w CNTK instrukcja [6], dotycząca badania ultradźwiękowego osi, wskazuje, jak ujawniać i oceniać głębokość zalegania wad na wybranych typach osi. Właściwie zastosowane nakładki kątowe głowicy na fale podłużne umożliwiają spenetrowanie różnych obszarów osi, z zastosowaniem wybranego zakresu obserwacji. Metoda uproszczonych badań ultradźwiękowych, jako najmniej pracochłonna, wymaga jednak najwyższych umiejętności i doświadczenia przy interpretacji otrzymanych oscylogramów. Dzięki tej metodzie można ujawnić wady typu zmęczeniowego na różnym etapie ich rozwoju. Wobec tego badania ultradźwiękowe osi zestawu kołowego, oprócz badań obowiązujących podczas rewizji okresowych, powinny być przeprowadzane jako badania dodatkowe. Prowadzenie dokładnych zapisów wykonanych badań ultradźwiękowych osi jest również bardzo istotne, ponieważ eliminuje przypadki pominięcia wad wykrytych wcześniej.

Obserwacje wizualne oraz dźwiękowe obręczy kół zestawów ujawniają wady obręczy, natomiast w trakcie przeglądów lub napraw jest możliwe także stwierdzenie głębokości zalegania pęknięć na powierzchni tocznej za pomocą badań ultradźwiękowych, z zastosowaniem głowicy kątowej. Badanie to umożliwi ocenę grubości warstwy do regeneracji drogi toczenia profilu koła.

BIBLIOGRAFIA

1. Dokumentacja powypadkowa dotycząca trzech zdarzeń wypadkowych, CNTK.LK.
2. *Gąsowski W.*: Wagony kolejowe. Konstrukcja i badania. Warszawa WKŁ, 1988.
3. *Guzowski S.*: Problemy zużycia frettingowego w pojazdach szynowych. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów PW, 2007, nr 1 (64).
4. *Kocańda S.*: Zmęczeniowe niszczenie metali. Warszawa, WNT, 1978.
5. *Neimitz A.*: Mechanika pękania. PWN, Warszawa 1998.
6. Opracowanie instrukcji technologicznej badań ultradźwiękowych osi zestawów kołowych wybranych serii lokomotyw elektrycznych i spalinowych. Praca CNTK, temat nr 4249/22, Warszawa 2007.
7. TSI; PN EN 13261:2007/Kolejnictwo—Zestaw Kołowy—Osie—Wymagania.