

Wybrane uszkodzenia i zużycia zestawów kołowych pojazdów szynowych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.437
Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

W artykule zaprezentowano przykładowe zużycia i uszkodzenia zestawów kołowych pojazdów szynowych. Obok zużycia i uszkodzeń kół i osi, które są identyfikowane podczas codziennej obsługi diagnostycznej wskazano na zużycie frettingowe, rozwijające się w połączeniu włączanym koło-os. Ten rodzaj zużycia jest trudny do rozpoznania, a przyczynia się do rozwoju zużycia zmęczeniowego, które może doprowadzić do pęknięcia osi lub poluzowania połączenia, doprowadzając w konsekwencji do wykolejenia pojazdu.

Słowa kluczowe: zużycie frettingowe, transport szynowy, zestawy kołowe,

Wstęp

Zestawy kołowe są jednymi z najważniejszych elementów pojazdu szynowego ze względu na funkcje, jakie w nim pełnią. Najprostszym zestawem kołowym jest składający się z osi i dwóch kół połączonych metodą włączania. Obecnie w pojazdach szynowych zastosowanie znajduje wiele rozwiązań konstrukcyjnych zestawów kołowych. Różnica polega między innymi na wymiarach koła lub osi, a także kształcie osi (osie tylko z podpięciami na koła, osie z dodatkowymi podpięciami pod zabudowę tarcz hamulcowych lub elementów układu napędowego).

Niemniej jednak bez względu na rozwiązania konstrukcyjne od prawidłowego stanu technicznego zestawów kołowych zależy bezpieczeństwo podróży. Z roku na rok zauważalne jest coraz większe zainteresowanie przewozami kolejowymi. Według statystyk w każdym roku przewożone są miliony osób i miliardy ton towarów. Tak duży rynek zapotrzebowania na przewozy kolejowe powoduje, że obecnie konstruowane pojazdy szynowe osiągają prędkość 160 km/h i więcej. Stąd wymagana, wysoka niezawodność zestawów kołowych nabiera szczególnego znaczenia, tym bardziej, że zestawy kołowe umożliwiając ruch pojazdu wpływają bezpośrednio na bezpieczeństwo podróży. Na przestrzeni czasów można wskazać wiele przykładów zdarzeń kolejowych, których bezpośrednią przyczyną był zły stan techniczny zestawów kołowych. Jednak do największej katastrofy kolejowej doszło w niemieckim Eschede w 1998 roku. Zginęło wówczas 101 osób, a wiele zostało rannych.

Zestaw kołowy podczas eksploatacji współpracuje z wieloma innymi układami i zespołami pojazdu szynowego, a także infrastruktury kolejowej (Rysunek 1), co powoduje, że działają na niego obciążenia zewnętrzne, które wpływają na jego trwałość. Wśród nich są:

- obciążenia wynikające z masy pojazdu,
- obciążenia wywołane ruchem pojazdu, do których można zaliczyć: siły prowadzące i odśrodkowe, siły wywołane hamowaniem oraz siły boczne,
- obciążenia dynamiczne powstające w wyniku zaburzeń ruchu pojazdu, do których można zaliczyć: uderzenia na stykach szyn i ich nierównościach, obciążenia spowodowane geometrycznymi nieprawidłowościami kształtu i niewyważeniem zestawu oraz obciążenia wywołane nabieganiem obrzeża na szynę.

Zestawy kołowe trakcyjnych pojazdów szynowych obciążone są dodatkowo siłami pochodzącymi od układu napędowego i zależą od rodzaju przekładni oraz sposobu zawieszenia silnika trakcyjnego.

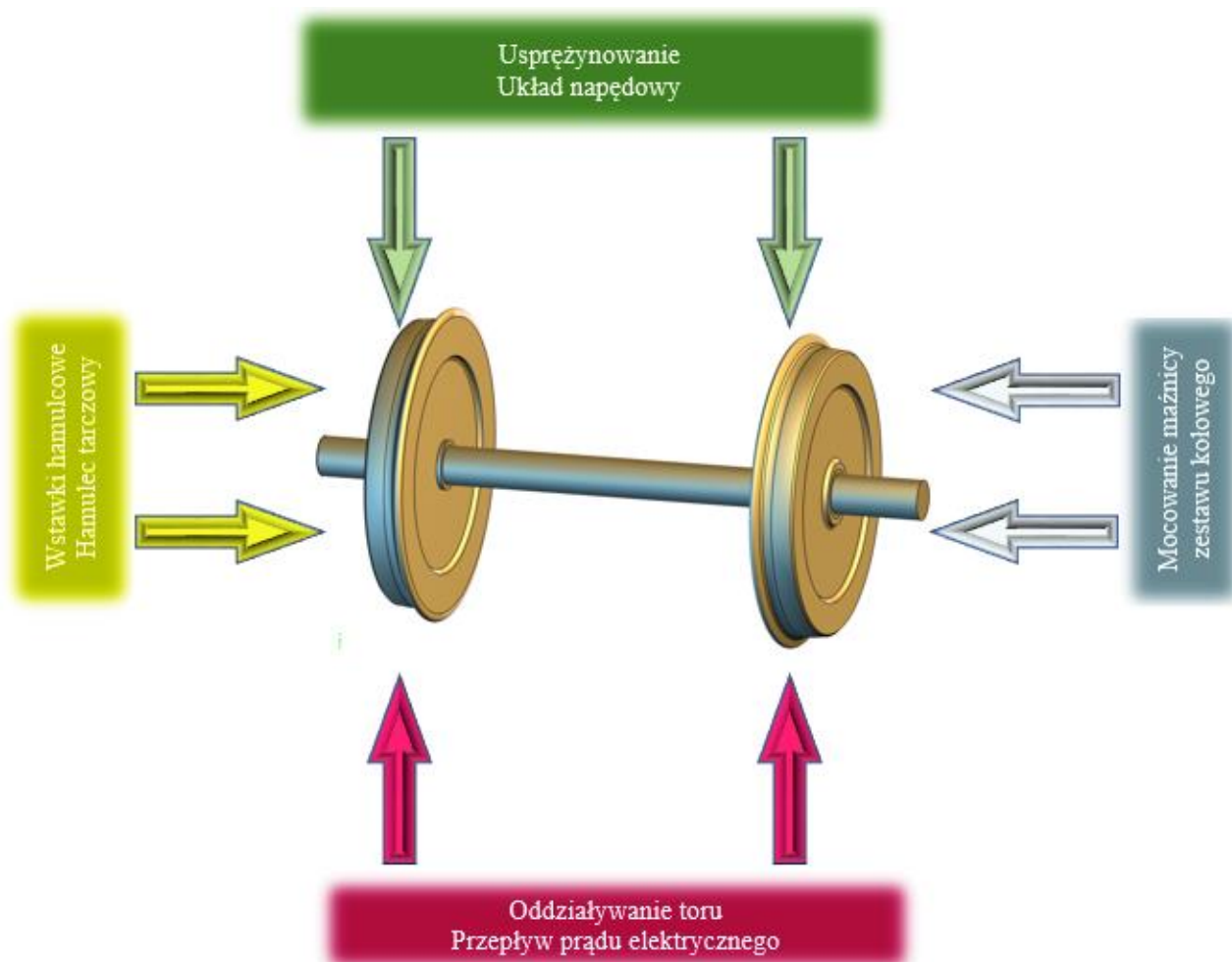
Kolejnym niekorzystnym czynnikiem wpływającym na obniżenie trwałości zestawów kołowych, a w szczególności połączenia koło – oś są zmienne warunki atmosferyczne, różna wilgotność oraz praca w zapyłonym środowisku [9].

Przy przejeździe przez łuk na zestaw kołowy działa dodatkowa siła na styku obrzeża koła – powierzchnia boczna szyny, której efektem jest dodatkowy moment siły na promieniu koła, co w efekcie zwiększa dla nabiegającego koła wartość momentu zginającego w punkcie styku koła z szyną. To z kolei zwiększa strzałkę ugięcia osi zestawu kołowego a w konsekwencji może zwiększyć amplitudę poślizgu względem koła.

Obciążenia wewnętrzne występujące zarówno w kołach jak i w osiach również wpływają na trwałość tych elementów. Obciążenia te powstają pod wpływem procesu włączania, a także ciepła wywołanego procesem hamowania. Proces łączenia wciśkowego prowadzi do powstawania naprężeń, których wartości przekraczają niejednokrotnie dopuszczalne naprężenia sprężyste, wywołując tym samym trwałe odkształcenia plastyczne w warstwie wierzchniej elementów połączenia. Podczas hamowania w kołach jezdnych powstają naprężenia cieplne, których wartość zależy od prędkości jazdy pojazdu, mocy, czasu hamowania i materiału wykorzystywanego w budowie wstawek hamulcowych. Wymienione obciążenia wywołują określony rozkład naprężeń w zestawie kołowym, którego znajomość jest bardzo istotna podczas wyznaczania jego wytrzymałości i trwałości [11].

Ze względu na pełnioną funkcję w pojeździe przy jednoczesnym działaniu niekorzystnych czynników zewnętrznych zestawy kołowe są obiektem wielu badań, których celem jest wytworzenie jak najbardziej niezawodnego zespołu. Poczynając od zastosowania najnowszych materiałów konstrukcyjnych, poprzez procesy technologiczne, kończąc na nowatorskich metodach diagnostycznych. Technologia w procesie wytwarzania elementów zestawu kołowego powinna zapewnić nadanie im odpowiednich własności użytkowych. Własności te zależą przede wszystkim od własności fizyko-chemicznych zastosowanych materiałów oraz czynników występujących w poszczególnych etapach procesu technologicznego. W początkowym etapie produkcji, są to operacje obróbki plastycznej oraz cieplnej, a w końcowym, obróbki mechaniczne czasami uzupełnione wzmacniającymi obróbkami powierzchniowymi.

Pomimo wykorzystania najnowszych metod wytwarzania zestawów kołowych, do których można zaliczyć między innymi zastosowanie materiałów konstrukcyjnych o wysokich parametrach, czy metod numerycznych przy projektowaniu oraz programów wyznaczających trwałość i niezawodność, w dalszym ciągu spotyka się przypadki uszkodzenia i zużywania się zestawów kołowych. Występujące w eksploatacji, te niekorzystne zmiany zestawów kołowych można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej zalicza się uszkodzenia wynikające z działania obciążeń zewnętrznych i wewnętrznych. Do drugiej grupy natomiast można zaliczyć uszkodzenia wynikające ze współpracy zestawów kołowych ze wstawkami hamulcowymi i infrastrukturą kolejową.



Rys. 1. Układy i zespoły współpracujące z zestawem kołowym podczas eksploatacji

1. Uszkodzenia i zużycia osi

Oś zestawu kołowego narażona jest na działanie znacznych obciążeń, które z jednej strony pochodzą od masy pojazdu, a z drugiej strony od oddziaływania szyny na koła. Długotrwała praca w takich warunkach sprzyjać będzie rozwojowi zużycia zmęczeniowego, którego mechanizmy podobne będą do mechanizmu tworzenia się karbu.

Siły działające na oś powodują jej zgięcie z jednoczesnym powstawaniem stref poślizgu wzdłuż włókien. W wyniku działania tych sił powstawać będą różnego rodzaju uszkodzenia powierzchni oraz korozja stykowa, co w dalszej eksploatacji może być źródłem pęknięć zmęczeniowych.

Wśród innych uszkodzeń i zużyć osi zestawów kołowych można wskazać:

- błędy kształtu osi takie jak: walcowość, kołowość, nierównoległość,
- wżery, wtrącenia metaliczne i rysy,
- wytarcia kołnierza czopa,
- wytarcia przedpiaścia osi,
- wytarcia środkowej części osi,
- pęknięcia czopa,
- pęknięcia przedpiaścia,
- zgięcia czopa osi

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe uszkodzenia osi zestawów kołowych w postaci wżerów oraz rys. uszkodzenia przedstawione na rysunku 3 powstały podczas demontażu koła z osi. Dyskwalifikują one oś z dalszej eksploatacji.



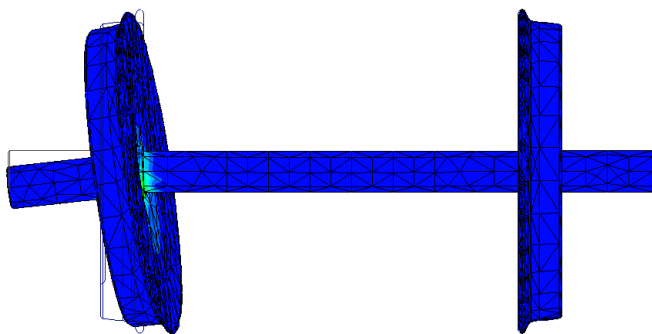
Rys. 2. Uszkodzenia powierzchni osi – wżery



Rys. 3. Uszkodzenia powierzchni osi – rysy, bruzdy

Coraz rzadziej spotykane są uszkodzenia związane ze zgięciem czopa osi i związane z tym pęknięcia podpiaścia. Do tego uszkodzenia dochodzi w wyniku przeciążenia jednostronnego osi. Przyczyną mogą być na przykład niesymetrycznie rozmieszczone ładunki lub częste pokonywanie luków z nadmierną prędkością.

Na rysunku 4 zaprezentowano wynik symulacji obciążenia jednostronnego siłą dwukrotnie większą od sił działających po przeciwnej stronie. Doszło do ugięcia czopa osi, które spowodowało przesunięcie koła. Konsekwencją tej sytuacji będzie wykolejenie pojazdu.



Rys. 4. Wynik symulacji jednostronnego przeciążenia osi

Przykładem katastrofy kolejowej związanej z przeciążeniem jednostronnym osi może być wypadek, który wydarzył się w 1917 roku w Saint Michel-de-Maurienne. Skład pociągu przewożącego żołnierzy zestawiony był z jednej lokomotywy i 19 wagonów. Podczas zjazdu ze stoku góry, pociąg nie był w stanie utrzymać zadanej prędkości obowiązującej na tym odcinku szlaku. Zamiast z prędkością 40 km/h pojazd poruszał się z prędkością 135 km/h, co doprowadziło do przeciążenia odśrodkowego i odkształcenia osi. Konsekwencją tego uszkodzenia było pęknięcie osi i wykolejenie pojazdu. Zginęło wówczas 675 osób.

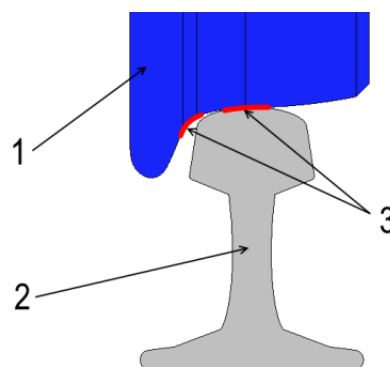
2. Uszkodzenia i zużycia kół

Większość pojazdów szynowych wyprodukowanych w XX wieku wyposażonych jest w zestawy kołowe składające się z osi i dwóch kół obręczowych. Koła takie składają się koła bosego wtlaczanego na podpiaście osi, obręczy i pierścienia zaciskowego.

Częstym uszkodzeniem kół obręczowych jest poluzowanie obręczy objawiające się jego przesunięciem na tarczy koła bosego. W trakcie eksploatacji tego typu uszkodzenia skutkować będą wykolejeniem pojazdu. Główną przyczyną tych uszkodzeń są obciążenia cieplne powstające podczas procesu hamowania hamulcem klockowym. Szczególnie niebezpieczne są długotrwałe procesy hamowania, np. podczas zjazdu z pochylenia, a także w przypadku nagłego hamowania, ponieważ nasilają one proces nagrzewania. Inną przyczyną poluzowania obręczy może być nieprawidłowo dobrana wartość naprężeń montażowych oraz jakość powierzchni elementów łączonych.

Zdolność poruszania się pojazdów szynowych z dużymi prędkościami wymusiło na konstruktorach zaproponowanie nowych rozwiązań w budowie zestawów kołowych, które zminimalizują ryzyko wykolejenia pojazdu. Dlatego też obecnie produkowane są koła bezobrzęczowe. Dzięki takiemu rozwiązaniu zwiększyło się nie tylko bezpieczeństwo ruchu, ale również zmniejszyła się pracochłonność przy produkcji kół oraz zmniejszyła się ilość odpadów technologicznych.

Zarówno koła obręczowe, jaki i bezobrzęczowe ulegają uszkodzeniom wynikającym z użytkowania pojazdu. Na rysunku 5 wskazano miejsca ewentualnego występowania zużycia i uszkodzeń. Są nimi powierzchnia toczna i obrzeże.



Rys. 5. Schemat współpracy koła z szyną
1. koło, 2. szyna, 3. miejsca występowania uszkodzeń.

Wśród najczęściej występujących zużyć i uszkodzeń kół można wskazać [11]:

- zużycie ścierne powierzchni tocznej i obrzeża,
- zużycie plastyczne,
- utwardzenia cieplne,
- zużycie zmęczeniowe,
- zużycie faliste,
- płaskie miejsca i nalepy.

Intensywność zużycia ściernego zależy zarówno od warunków współpracy koła z szyną jak i z klockami hamulcowymi. Intensywność zużycia ściernego zależy między innymi od rodzaju i jakości materiałów konstrukcyjnych stosowanych do budowy elementów współpracujących, geometrii układu biegowego, czy też warunków otoczenia (zanieczyszczenie środowiska, warunki atmosferyczne).

Utwardzenia cieplne powstają wskutek szybkiego chłodzenia powierzchni tocznych wcześniej nagranych podczas hamowania lub podczas zerwania przyczepności. Propagacja defektów w głąb materiału może spowodować nagłe pęknięcie zmęczeniowe obręczy koła. Powstające w wyniku tych procesów pęknięcia mają układ nieregularny, siatkowy a przy propagacji pęknięć w kierunku promieniowym lub obwodowym, mogą być przyczyną pęknięcia obręczy [10].

Zużycie faliste występuje zarówno na powierzchni tocznej kół jak i na szynach. Obrazem tego rodzaju zużycia są cykliczne powtarzające się wzniesienia i wgłębienia w wyniku niepożądanego zmian warstwy wierzchniej. Główną przyczyną tego rodzaju zużycia są drgania o częstotliwości 800Hz powstające w określonych warunkach hamowania [4].

Płaskie miejsca i narosty występują na powierzchni tocznej i są wynikiem poślizgu koła tocznego po szynie. Wynikają najczęściej z nieprawidłowego funkcjonowania układu hamulcowego lub nieumiejętnego prowadzenia pojazdu przez obsługę. Nalepy natomiast mają najczęściej kształt ułożonych szeregowo łusek częściowo pokrywających się. Grubość nalap w może wynosić nawet kilka milimetrów.

Występowanie płaskich miejsc może generować duże obciążenia uderzeniowe szyny, jak również prowadzić do owalizacji koła. Płaskie miejsca można sklasyfikować w następujący sposób [5]:

- pojedyncze spłaszczenie w postaci owalnego obszaru uszkodzenia, spowodowane zablokowaniem koła w jadącym pojeździe - obserwowane często na kołach tocznych,
- plamkowe spłaszczenie, jako zbiór pojedynczych spłaszczeń,
- spłaszczenie ciągle - długie i wąskie powstające, gdy koło zestawu ślizga się wzdłuż szyny bez blokady kół.

Następstwem występowania płaskich miejsc i nalep najczęściej jest zużycie typu shelling, które charakteryzuje się utratą części powierzchni tocznej na wskutek działania naprężeń kontaktowych.

Na tej powierzchni można również zidentyfikować zużycia w postaci wyrwania materiału. Przykład takiego zużycia zaprezentowano na rysunku 6.

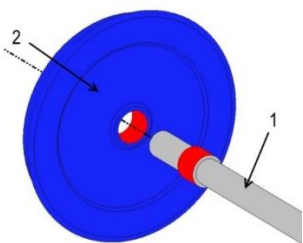


Rys. 6. Uszkodzenia powierzchni tocznej koła w postaci wyrwania materiału

Na powierzchni tocznej koła można zaobserwować również zużycie typu spalling, polegające na występowaniu niewielkich ubytków powierzchni tocznej koła. Podczas poślizgu koła po szynie, energia tarcia może doprowadzić do gwałtownego wzrostu temperatury powierzchni tocznej. Następnie podczas ochłodzenia z austenitu tworzy się martenzyt, który jest fazą twardą i kruchą, łatwo oddzielającą się od materiału wieńca koła podczas kontaktu z szyną, inicjując pęknięcia powierzchniowe i doprowadzając do uszkodzeń typu spalling [6]. Do najczęstszych przyczyn inicjujących rozwój zużycia typu spalling zalicza się nierówności na powierzchni toru, poślizg koła na łukach, a także intensywne hamowanie.

3. Uszkodzenia i zużycie w strefie połączenia koło-oś

Wcześniej wymienione uszkodzenia są łatwe do zdiagnozowania podczas codziennych przeglądów, co pozwala je wyeliminować w odpowiednim momencie. W przypadku połączenia właczanego koło-oś zadanie to jest utrudnione ze względu na brak możliwości monitorowania na bieżąco stanu struktury warstwy wierzchniej elementów. Jednym z uszkodzeń rozwijających się w połączeniu właczanym jest zużycie frettingowe, które może doprowadzić do rozwoju zużycia zmęczeniowego lub do poluzowania połączenia. Na rysunku 7, kolorem czerwonym, zaznaczono miejsca podatne na rozwój zużycia frettingowego.



Rys. 7. Miejsce rozwoju zużycia frettingowego. 1. oś, 2. koło

Zużycie frettingowe jest to rodzaj zużycia tribologicznego elementów maszyn. Termin „fretting” pochodzi z języka angielskiego i oznacza zużywać, uszkadzać lub wykonywać wzór na czymś poprzez ciągle pocieranie lub gryzienie [2]. Po raz pierwszy terminu fretting użył G.A. Tomlinson w roku 1927 do określenia charakterystycznego uszkodzenia pojawiającego się na stalowych powierzchniach.

Ze względu na złożoność zjawisk fizykochemicznych, jakie towarzyszą zużyciu frettingowemu, do dnia dzisiejszego nie podano jednoznacznej definicji tego rodzaju zużycia. Również w literaturze nie ma precyzyjnie określonej wartości amplitudy przemieszczeń względnych. Wartość ta według różnych autorów oscyluje w granicach od 0,02 do 150 μm .

Obrazem zużycia frettingowego mogą być ślady korozji na powierzchni elementów, wzrost chropowatości powierzchni, mikropęknięcia w warstwie wierzchniej, wżery, itd., a konsekwencją tego jest m. in. zmniejszenie nacisków montażowych w przypadku połączenia wciwkowego.

Na zużycie frettingowe wpływa bardzo wiele czynników. Trudność w określeniu dokładnej liczby czynników wynika między innymi ze złożoności i nie do końca zbadanego mechanizmu zużycia.

Bill R.C. w swojej pracy [3] dokonał podziału czynników wpływających na zużycie frettingowe i sklasyfikował je w trzech grupach. Czynniki te związane są z:

- warunkami przemieszczeń względnych skojarzonych elementów,
- warunkami otoczenia,
- własnościami materiałów.

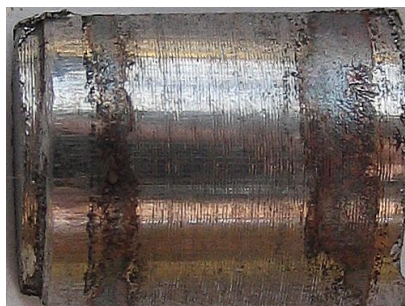
W połączeniach wciwkowych obciążonych obrotowym momentem zginającym, na zużycie frettingowe ma wpływ między innymi struktura geometryczna powierzchni styku oraz zjawiska zachodzące podczas montażu. Wpływ takich czynników jak: sposób wykonania połączenia (połączenie skurczowe, połączenie właczane), wartość wciску, chropowatość powierzchni na rozwój zużycia frettingowego w połączeniu koło- oś zestawu kołowego pojazdu szynowego badał w swojej pracy Guzowski S. [9]. Autor zauważył, że oddziaływanie tych czynników jest współzależne, za przykład podaje wpływ wartości wciску. W przypadku połączenia skurczowego wzrost wartości wciску zmniejsza intensywność zużycia, a w połączeniu właczanym zwiększa. Na inicjację i rozwój zużycia frettingowego mają także wpływ produkty zużycia powstające w procesie frettingu.

Mechanizm inicjacji i rozwoju zużycia frettingowego jest trudny do opisanego, między innymi ze względu na nieokreśloną liczbę czynników jak i dużą liczbę procesów zużyciowych towarzyszących zjawiskowi frettingu, do których należy zaliczyć: adhezję, zjawiska zmęczeniowe, mikroskrwanie, korozję, czy odkształcenia plastyczne.

Waterhouse R.B. [7,8,12] przypuszcza, że istnieją trzy podstawowe grupy procesów mających wpływ na rozwój zużycia frettingowego tj.: oddziaływania mechaniczne, które niszczą warstewkę tlenkową na powierzchni; usunięcie produktów zużycia z powierzchni styku w postaci rozdrobnionych cząstek metalicznych; uszkodzenia powierzchni utlenionymi produktami zużycia. I dlatego proponuje następujący mechanizm zużycia frettingowego:

- nagromadzenie produktów zużycia między nierównościami powierzchni,
- łączenie mniejszych obszarów w większe,
- przenoszenie produktów zużycia z jednej powierzchni na drugą,
- oddzielanie powierzchni współpracujących w wyniku powstającego złoża produktów zużycia podczas intensywnego ścierania.

Badania prowadzone przez autorów publikacji [1,9,13] na modelu połączenia właczanego koło-oś składającego się z wałka i tulejki wykazały, że zużycie frettingowe występuje zawsze po obu stronach podpięcia w postaci pierścienia o pewnej szerokości obejmującego cały obwód podpięcia. Na rysunku 8 przedstawiono przykładowy obraz zużytego podpięcia.



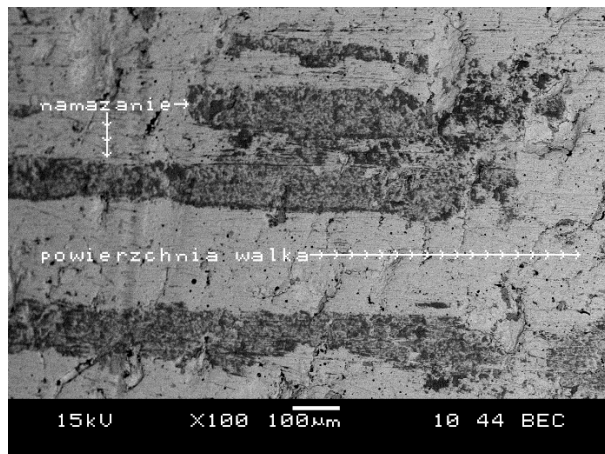
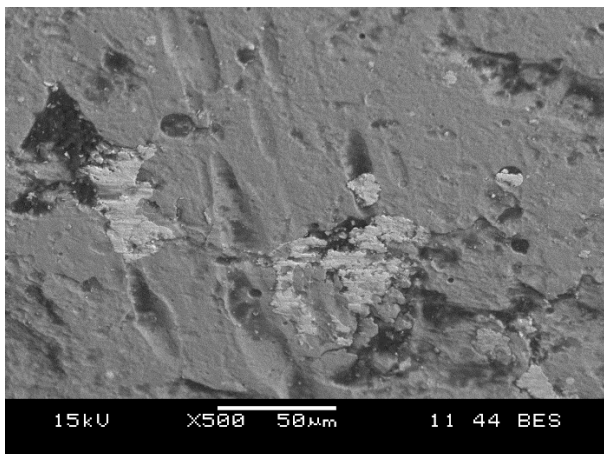
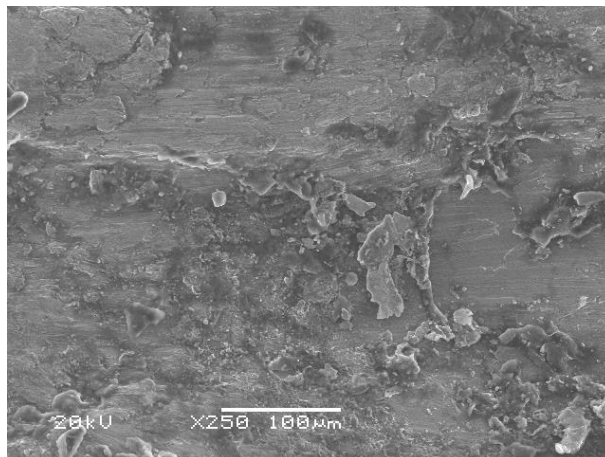
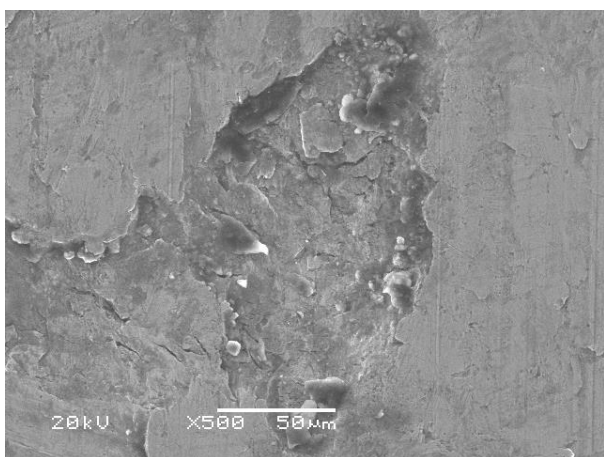
Rys. 8. Obraz makroskopowy podpięcia z widocznym zużyciem frettingowym

Na brzegach połączenia, ze względu na ograniczone występowanie ciała trzeciego oraz dużą powierzchnię rzeczywistego styku ciał pierwszych, będą sprzyjające warunki do tworzenia szczepień adhezyjnych, a następnie do tworzenia uszkodzeń frettingowych. Kolejnym warunkiem rozwoju zużycia frettingowego w tym miejscu będzie wystąpienie stycznych przemieszczeń względnych pomiędzy po-

wierzchniami obu połączonych elementów. Przy przyjętym w badaniach zmęczeniowych obciążeniu próbki (odpowiadającym rzeczywistym warunkom pracy zestawu kołowego) maksymalna amplituda oscylacji pomiędzy powierzchnią wałka i tulejki będzie miała miejsce na brzegu połączenia a wartość zero w części środkowej [9].

Podczas obserwacji makroskopowych zaobserwowano również, że na powierzchniach wałków w obszarze występowania zużycia frettingowego występuje brązowe zabarwienie typowe dla korozji atmosferycznej żelaza. Tworzenie się tlenków w tym obszarze świadczy o tym, że powstała w wyniku ugięcia próbki szczelina pomiędzy powierzchniami wałka i tulejki umożliwia kontakt uszkodzonego obszaru z tlenem.

Po wykonaniu dokumentacji makrograficznej przeprowadzono też badania powierzchni wałka w miejscu zużycia frettingowego przy użyciu mikroskopu skaningowego. Przykładowe, zaobserwowane wówczas obrazy zużycia powierzchni wałka przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 9. Obrazy mikroskopowe powierzchni wałka ze śladami zużycia frettingowego

Przedstawione obrazy skaningowe podpięcia wałków pokazują, że dominującym uszkodzeniem jest tworzenie się na powierzchni wałka narostów materiału. W trakcie badań zużyciowych narosty te ulegały deformacjom plastycznym, posiadają także tendencje do pęknięcia i przemieszczania. Obok narostów obserwuje się również miejscowe mikropęknięcia oraz wytarcia powierzchni.

Przeprowadzono również obserwacje styku połączenia, które wykazały, że na długości połączenia obserwuje się na przemian bezpośredni styk powierzchni wałka i tulejki oraz miejscowe uszkodzenia warstwy wierzchniej w szczególności tulejki. Ponadto widoczne są

szczeliny wypełnione produktami zużycia powstałymi w trakcie właczania tulejki na wałek. Źródłem tych uszkodzeń jest zjawisko adhezji przyczyniające się do powstawania szczepień i miejscowego wrywania fragmentów powierzchni łączonych elementów. Na powierzchni tulejki widoczne są również mikropęknięcia biegnące w głąb materiału pod kątem 18-20°.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano najczęściej występujące uszkodzenia i zużycia elementów zestawu kołowego pojazdów szynowych. Pomimo znacznego postępu technologicznego w konstruowaniu, wytwarzaniu i eksploatacji w dalszym ciągu obserwuje się uszkodzenia osi i kół, co wynika przede wszystkim z ich trudnych warunków pracy. O ile większość z wymienionych uszkodzeń i zużyć łatwych jest do identyfikacji i natychmiastowego wyeliminowania o tyle zużycia występujące w strefie połączenia wślazanego koło-os są trudne do rozpoznania i tym samym są dużym zagrożeniem dla bezpiecznej eksploatacji pojazdów.

Bibliografia:

1. Bill R.C. – „Fretting wear and fretting fatigue – how are they related”. Trans. ASME Journal of Lubrication Technology 1983, vol. 105
2. Guzowski S. – „Analiza zużycia frettingowego w połączeniach wciskowych na przykładzie osi zestawów kołowych pojazdów szynowych”. Monografia 284, Politechnika Krakowska. Kraków 2003
3. Karwala K., Kulikowski H., Tulecki A. – „Technologiczne problemy trwałości zestawów kołowych pod kątem przystosowania pojazdów szynowych do zwiększonych prędkości”. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, 1991
4. Kądziołka T., Kowalski S. – „Badania modelowe zużycia frettingowego w połączeniu koło-os”. Prace Instytutu Technicznego PWSZ, Nowy Sącz 2007
5. Kowalski S. – „Influence of molybdenum coating on fretting wear development in clamped joint”. Journal of the Balkan Tribological Association 2016, vol. 22 (2A-I)
6. Kwaśnikowski J., Małdziński L., Borowski J., Firlik B., Gramza G. – „Analiza przyczyn przyspieszonego zużycia powierzchni tocznych kół autobusu szynowego SA 108 (215M)”. Pojazdy Szynowe 2/2007
7. Ławrynowicz Z., Skibicki A. – Badanie wybranych przypadków uszkodzenia powierzchni tocznej kół monoblokowych w aspekcie ich mikrostruktury”. Studies & Proceedings of Polish Association for Knowledge Management 79/2016
8. Neyman A. – „Fretting w elementach maszyn”. Wydawnictwa Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2003
9. Piec P. – „Mechanizm powstawania zużycia falistego kół tocznych wagonów w warunkach hamowania klockowego oraz sposoby przeciwdziałania”. Monografia 71, Politechnika Krakowska 1988
10. Szudyga M. – „Diagnozowanie metodą magnetyczną procesów zmęczeniowych stali stosowanej do kół i obręczy kolejowych zestawów kołowych”. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, 2011
11. Waterhouse R.B. – „Fretting corrosion”. Pergamon Press Ltd. Oxford 1972
12. Waterhouse R.B. – „Fretting fatigue”. Applied Science Publishers Ltd. London 1981
13. Waterhouse R.B. – „Fretting wear”. Wear 1984, vol. 100

Selected damage and wear of wheelsets of rail vehicles

The article presents examples of wear and damage to wheelsets of rail vehicles. In addition to wheel and axle defects that are diagnosed during daily diagnostic service, fretting wear is indicated, which develops in a press-fit wheel-axle. This type of wear is difficult to recognize and contributes to the development of fatigue consumption, which can lead to axle breakage or loose connection, resulting in the derailment of the vehicle.

Keywords: Fretting wear, rail transport, wheel sets

Autorzy:

dr inż. **Stawomir Kowalski** – Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu

mgr inż. **Piotr Lachowski** – Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny. E-mail: pk.lachowski@gmail.com