

Eksploatacja wagonów towarowych wyposażonych w koła bezbębrowe hamowane wstawkami kompozytowymi

Krzysztof Buszka, Tomasz Rozynek

Celem pierwszej części artykułu jest przedstawienie problemów techniczno-organizacyjnych pojawiających się podczas eksploatacji zestawów kołowych z kołami bezbębrowymi hamowanymi na powierzchni tocznej w aspekcie uszkodzeń termicznych i związanych z nimi skutkami dla operatora. Na samym początku podano definicje związane ze zjawiskiem nazywanym uszkodzeniem termicznym koła bezbębrowego. We wstępie przedstawiono opis techniczny zjawiska przegrzania kół. Opisano wymagania norm i przepisów kolejowych dotyczących bezpiecznej eksploatacji kół bezbębrowych w aspekcie uszkodzeń termicznych. Przedstawiono zaistniały problem na podstawie doświadczeń z eksploatacji w spółce PKP CARGO S.A., a na zakończenie opisano sytuację, w jakiej znaleźć się może każdy operator krajowy eksploatujący zestawy kołowe bezbębrowe. Część druga przedstawia zużycia oraz typowe uszkodzenia kół bezbębrowych hamowanych kompozytowymi wstawkami hamulcowymi oraz charakterystyczne uszkodzenia wstawek hamulcowych wraz z przykładami z pomiarów prowadzonych przez PKP CARGO S.A.



inż. Krzysztof Buszka
Biuro wsparcia Technicznego PKP CARGO S.A.
k.buszka@pkp-cargo.eu



mgr inż. Tomasz Rozynek
PKP CARGO S.A. Wydział Konstrukcyjno-Technologiczny
t.rozynek@pkp-cargo.eu

Uszkodzenia termiczne kół bezbębrowych hamowanych na powierzchni tocznej - definicje

- naprężenia własne – definiuje się jako naprężenia równoważące się wewnątrz przedmiotu, które zostały wprowadzone w rezultacie niektórych procesów technologicznych, jak i eksploatacji w wyniku niejednorodnych odkształceń plastycznych materiału sprężysto-plastycznego lub zmian wywołanych procesami cieplnymi. Jednostką naprężenia w układzie SI jest N/m^2 (Pa). W analizie naprężeń w stalach najczęściej używaną jednostką jest $1 MPa = 1 N/mm^2$,
- uszkodzenie termiczne – zmiana zwrotu i wartości naprężeń własnych dla materiału koła bezbębrowego skutkująca zmianą i utratą jego właściwości użytkowych,



1. Pęknięte koło

Tab.1: Maksymalne wartości dopuszczalnych rozciągających naprężeń własnych

Koła o nieznannej odporności termo-mechanicznej ¹⁾	Koła o potwierdzonej odporności termo-mechanicznej ²⁾
+300 MPa	+400 MPa

- farba termoczula – specjalna farba alki-dowa reagująca spieczeniem lub złuszczeniem pod wpływem temperatury ok. 300°C.

Co to są naprężenia własne i po co są one wprowadzane w kołach

Czas bezpiecznej eksploatacji kół bezbębrowych hamowanych na powierzchni tocz-

nej w taborze określa wiele czynników. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć zużycie powierzchni tocznej, płynięcie plastyczne materiału, uszkodzenia mechaniczne, uszkodzenie termiczne, deformację kształtu koła, mikropęknięcia cieplne na powierzchni tocznej i ostatecznie pęknięcie całego koła. W celu ograniczenia możliwości występowania ww. uszkodzeń, a w szczególności propagacji pęknięć cieplnych i zmęczenia-

wych, wprowadza się w procesie technologicznym produkcji kół bezobrzęczowych, poprzez zabieg ulepszenia cieplnego, obwodowe naprężenia ściskające.

Koło bezobrzęczowe wykonywane jest techniką kucia i walcowania. Następnie wieńiec koła jest poddawany obróbce cieplnej przez ulepszenie cieplne. Obróbka cieplna powinna wytworzyć równomierne naprężenia ściskające na całym obwodzie wieńca koła (działające promieniowo do środka koła - znak ujemny) i naprężenia te powinny wynosić od -80 do -150 N/mm² zgodnie z PN-EN 13262. Taki stan napięcia w wieńcu koła powoduje, że powstające podczas eksploatacji rysy i nadpęknięcia mają tendencje do samoistnego zamykania i spowolnienia procesu propagacji pęknięcia.

Co powoduje zmiany naprężeń własnych w wieńcach kół bezobrzęczowych i jakie są skutki tych zmian

Podczas eksploatacji zdarza się, że w wyniku długotrwałego hamowania z dużą mocą (jazda na długich spadkach w górach) lub nieprawidłowej pracy hamulca może dochodzić do udarów cieplnych kół. Nagrzewanie i stygnięcie wieńca koła w wyniku stosowania hamulców klockowych może doprowadzić do zmiany kierunku naprężeń obwodowych z korzystnych ściskających, które nie sprzyjają rozwojowi pęknięć, na niebezpieczne rozciągające, które mogą powodować rozwój pęknięć. Dodatkowo zmiany w budowie struktury warstwy wierzchniej spowodowane zjawiskami cieplnymi powoduje powstawanie poprzecznych pęknięć w wieńcu koła. Postępujące w czasie pogłębianie się pęknięć cieplnych lub zmęczeniaowych na skutek zmiennych obciążeń może doprowadzić w skrajnych przypadkach do nagłego pęknięcia koła (fot. 1 i 2 źródło PKP CARGO S.A.).

Jak pokazują doświadczenia nierównomierny rozkład naprężeń w wyniku przegrzania prowadzi również do deformacji kształtu koła i przekroczenia dopuszczalnych odchyłek geometrycznych rozstawu kół na osi zestawu kołowego (wymiar Az).

Przepisy i normy

W celu eliminacji zagrożenia pęknięcia kół w eksploatacji określono w dokumentach normatywnych PN-EN 15313 i Karcie UIC 510-2 maksymalne wartości dopuszczalnych rozciągających naprężeń własnych (tabela 1). Uwaga:

1) Koła o nie znanej odporności termo-mechanicznej to takie koła, które nie były poddane badaniom na odporność termo-mechaniczną wg normy PN-EN 13979-1, Karty UIC 510-2 i 510-5, i których kształt stwarza warunki powstawania dużych roz-



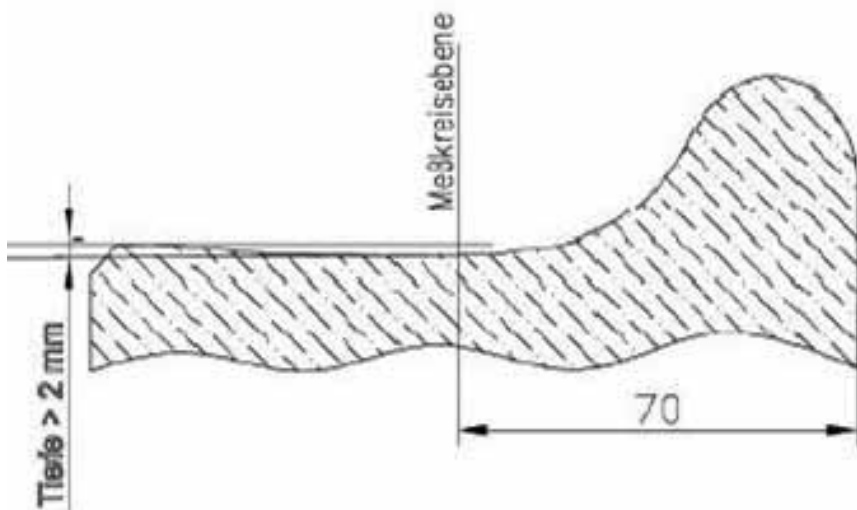
2. Pęknięty wieńiec koła



3. Oznaczenie koła o potwierdzonej odporności termo-mechanicznej



4. Przegrzany wieńiec koła



Kriterium: Tiefe > 2 mm

5. Zużycie powierzchni tocznej koła

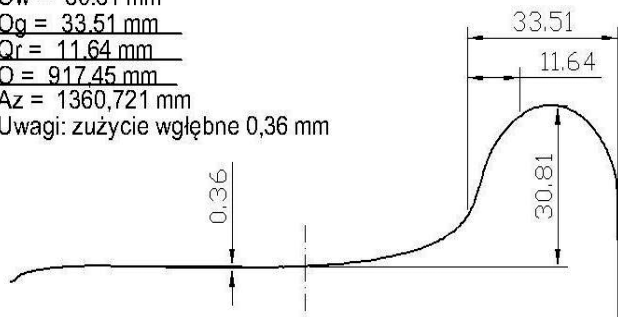


6. Zużycie powierzchni tocznej koła

Koło: lewe

Data pomiaru: 28.03.2012r.
Godzina pomiaru: 9.00.35

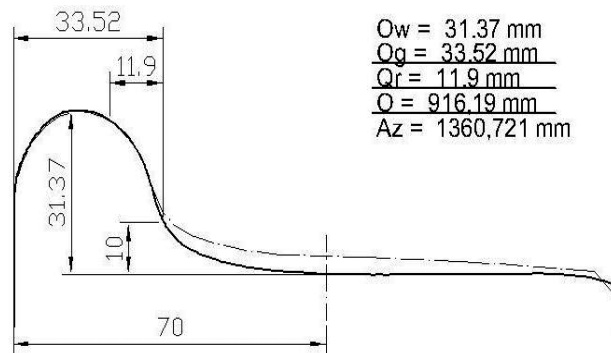
Ow = 30.81 mm
Og = 33.51 mm
Qr = 11.64 mm
Q = 917.45 mm
Az = 1360,721 mm
Uwagi: zużycie wgłębne 0,36 mm



Koło: prawe

Data pomiaru: 28.03.2012r.
Godzina pomiaru: 9.01.21

Ow = 31.37 mm
Og = 33.52 mm
Qr = 11.9 mm
Q = 916.19 mm
Az = 1360,721 mm



7. Karta pomiaru profilu zestawu kołowego

ciągających naprężeń własnych w wieńcu koła,

2) Koła o potwierdzonej odporności termomechanicznej to koła o kształcie redukującym naprężenia własne, i które przeszły cykl badań na odporność termomechaniczną wg normy PN-EN 13979-1, UIC 510-2 i 510-5, posiadają stosowne zaświadczenie z badań, a zestaw kołowy jest oznaczony przez producenta białymi paskami na pokrywie maźnicy (fot. 3 źródło przepisy AVV Załącznik 11 p.6.1).

Metody wykrywania przegrzanych kół bezobrózowych podczas eksploatacji w celu eliminacji tych kół ze względu na potencjalne stwarzanie zagrożenia dla bezpiecznego ruchu pociągów

W celu wizualizacji uszkodzenia termicznego kół tarcze są malowane specjalnymi farbami termoczułymi, które ulegają wypaleniu lub złuszczeniu, co jest łatwym do stwierdzenia dla rewidentów i personelu technicznego w zakładach utrzymania taboru wskaźnikiem zaistniałego przegrzania koła (fot. 4 źródło praca ERRI B 169/RP5).

Na podstawie badań przeprowadzonych przez European Rail Research Institute (ERRI) stwierdzono, że odpowiednie okazały się farby na bazie żywic alkidowych. Powłoki z tych farb twardnieją i odprowadzają w temperaturach ok. 300°C i złuszczone się. Pozbawiona w ten sposób ochrony powierzchnia tarczy koła koroduje i nabiera rdzawego koloru. Określenie maksymalnej wartości wielkości spiekania farby nie jest bezwzględnie konieczne, ponieważ wyraźnie wydzielone spiekanie farby sygnalizuje uszkodzenie termiczne koła bezobrózowego, a wraz z rozwojem techniki nieniszczącego pomiaru naprężenia, istnieją możliwości precyzyjnego określenia wartości tych naprężeń. Wytyczne odnośnie rodzaju farb spełniających rolę wskaźnika uszkodzenia termicznego koła zawiera praca ERRI B 169/RP5.

Postępowanie dla służb rewidenckich regulują przepisy o wzajemnym użytkowaniu wagonów AVV.

Postępowanie z kołami ze stwierdzonymi śladami charakterystycznego wypalenia lub skorodowania farby na przejściu z wieńca do tarczy koła

Zgodnie z Załącznikiem 9 do AVV wg Kodu 1.2 dla koła bezobrózowego w przypadku stwierdzenia uszkodzenia termicznego spowodowanego niewłaściwym działaniem hamulca objawiającym się:

- złuszczeniem lub wypaleniem farby 50 mm i więcej na przejściu wieńca w tarczę koła,
- obecnością nalotu tlenków na wieńcu (kolorowe barwy nalotów tlenków żelaza),
- nadtopione wstawki hamulcowe,
- uszkodzenia powierzchni tocznej z nalepami metalicznymi.

Postępowanie: należy zgodnie z ww. załącznikiem dokonać pomiarów geometrycznych i naprężeń własnych zgodnie z procedurą Kodu 1.7.1 i następnie kwalifikować zestaw do odpowiedniej kategorii błędu (kategoria 4 lub 5 wg AVV).

Są w tych przepisach jednak odstępstwa od wyłączania z ruchu wagonów z widocznymi śladami uszkodzeń termicznych kół. Dotyczy to zestawów kołowych oznaczonych jak na fotografii 2.

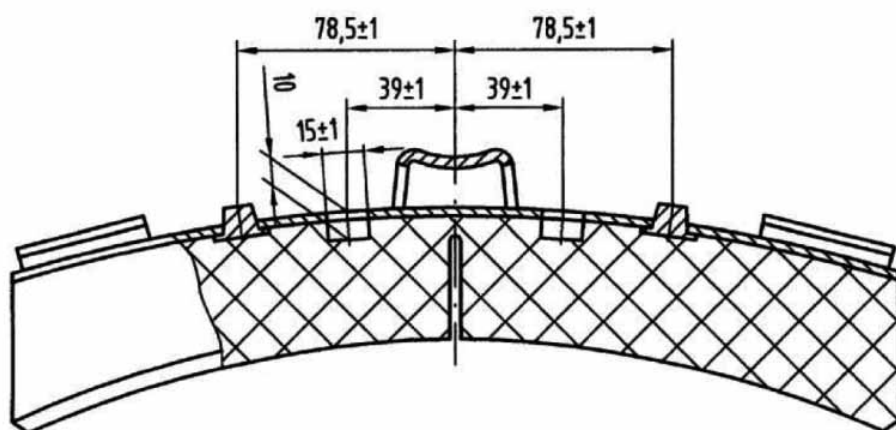
Treść tych odstępstw brzmi następująco:

1. W zał. 9 do AVV wg kodu 1.2 - „Nie dotyczy kół oznaczonych jako odporne na przeciążenia termiczne (fot. 2), i które hamowane są wstawkami żeliwnymi”.
2. Zgodnie z AVV p.1.18 nie należy poddawać sprawdzeniu kół przeciążonych termicznie zestawów kołowych oznaczonych jak na (fot. 2).

Zgodnie z zapisami jak w p.1, odstępstwo od konieczności wyłączania wagonu z ruchu po stwierdzeniu przegrzania kół (spalona farba) dotyczy tylko kół o podwyższonej odporności termo-mechanicznej (oznaczonych jak na fot. 3) hamowanych wstawkami żeliwnymi, a więc nie kompozytowymi.

Zgodnie z powyższym można wyciągnąć wniosek, że koła hamowane wstawką kompozytową bez względu na to, czy jest to koło o podwyższonej odporności termo-mechanicznej, czy nie, podlega reżimowi wyłączenia ze składu pociągu w przypadku widocznego uszkodzenia termicznego.

Wymontowane koło z nadpaloną farbą należy uznać za posiadające wadę, tzn. mogące nie spełniać założeń konstrukcyjnych i jego ewentualna przydatność do dalszej eksploatacji musi zostać potwierdzona za pomocą badania odpowiednią metodą nieniszczącą.



8. Wstawka kompozytowa typu K



9. Zużycie klinowe kompozytowej wstawki hamulcowej w układzie 2Bg



10. Zużycie klinowe kompozytowej wstawki hamulcowej w układzie 2Bgu



11. Wtrącenia metaliczne

Do tej pory badania naprężeń własnych były przywołane i wymagane w warunkach technicznych stosowanych w PKP CARGO S.A. WT-2 cz.3a opracowanych na podstawie przepisów PKP OW-309, ale dotyczyły konieczności przebadania kół bezobrózowych wykonanych z materiału R2, R3, R8 i R9

w przypadku przegrzania i przy każdej naprawie rewizyjnej. Badania powinny być wykonywane ze względu na gatunek stali ww. kół. Taki zapis znalazł się zgodnie z zaleceniem Karty UIC 510-2 mówiący, że koła z ww. gatunków stali należy przy każdym przeglądzie okresowym szczegółowo sprawdzać

Tab.2: Porównanie wielkości zużyć kół na ich średnicy dla wstawek typu K (C810 i J816M), typu LL (C952 i IB116*) i żeliwnych

Lp.	Źródło (dokument)	Gatunek wstawek hamulcowych	Seria oraz typ wagonów	Średnie zużycie kół na średnicy [mm/100 tys. km]
1.	Pomiary własne PKP CARGO S.A.	C810	Falns typu 441Va	5,7 mm (3,0÷13,9 mm)
2.	Raport UIC B126/RP24	C810	Sgns	3,7 mm
		J816M	Sgns	2,9 mm
3.	Raport UIC B126/DT400	C810	-	2,2 mm
		J816M	-	1,7 mm
4.	Europe Train UIC B126/RP43	Wstawki typu LL C952-1 IB116*	Eas, Eanos, HbbllnsShimmns, Remms, Rs, Sgms	3,0 mm
5.	Różne	Wstawki żeliwne	-	0,8÷2,0 mm

wizualnie i nieniszcząco pod kątem uszkodzeń mechanicznych i naprężeń własnych. Granica wartości naprężeń własnych dla ww. kół wynosi max. 250 MPa. Karta UIC 510-2 zakazuje od czerwca 1984 roku stosowania kół z ww. stali w nowobudowanych wagonach towarowych.

Dalej w Kartce UIC 510-2 jest sprecyzowana dopuszczalna wartość naprężeń własnych dla kół ze stali R6 i R7 czyli stosowanych obecnie. Dodatkowo ww. Karta UIC pokazuje sposób postępowania z zestawami kołowymi z kołami bezobrzęczowymi ze stali R6 i R7 po stwierdzonych uszkodzeniach termicznych. Postępowanie polega na podziale kół na kategorię 1 i 2 w zależności od stopnia uszkodzenia i wysokości naprężeń własnych w odniesieniu obu czynników do konstrukcji koła.

Kolejowi przewoźnicy europejscy przechodząc na eksploatację kół bezobrzęczowych wprowadzili specjalne przepisy dotyczące badań nieniszczących zestawów kołowych (kół i osi), w tym naprężeń własnych w kołach, np. w odniesieniu do kół Przepisy Niemieckiej Kolei Federalnej RIL 907.0801 pt. „Badania nieniszczące. Określenie wielkości naprężeń własnych w kołach metodą ultradźwiękową” i RIL 907.0402 pt. „Badanie ultradźwiękowe wieńca koła bezobrzęczowego na występowanie pęknięć poprzecznych” opracowane na podstawie ERRI B 169/RP6 ERRI B 169/RP7.

Do pomiaru naprężeń własnych kół bezobrzęczowych służy urządzenie ultradźwiękowe DEEBI firmy DEBRO UMS Warszawa. Urządzenie DEEBI np. zostało walidowane oraz przywoływane jest w przepisach Niemieckich Kolei Federalnych DB AG RIL 907.0801. Urządzenie DEEBI spełnia wymagania zawarte w dokumencie ERRI B 169/RP6 przywołanym w normie PN-EN 15313.

Działania podejmowane przez PKP CARGO S.A.

Problem w odniesieniu do postępowania z kołami pojawił się w momencie wyłączenia z ruchu na terenie Niemiec i Francji naszych

wagonów z przegrzаныmi kołami. Od tego momentu rozpoczęliśmy działania idące w kierunku zdobycia jak największej ilości informacji technicznych dotyczących problemów przegrzanych kół.

Niestety, brak jest krajowych kolejowych uregulowań technicznych dotyczących pomiarów naprężeń własnych i odpowiedniej kwalifikacji kół podczas eksploatacji i napraw wagonów. Aby sprostać wymaganiom techniki pomiarów zgodnie z obecnym stanem wiedzy w tej dziedzinie, korzystamy z przepisów kolejowych, norm, opracowań ERRI, ogólnej literatury technicznej i z raportów powypadkowych opracowanych przez jednostki bezpieczeństwa kolejowego takich krajów jak Niemcy, Francja, Austria, Szwajcaria i Czechy.

W przypadku wykrycia uszkodzonych termicznie kół wyłączamy wagony z takimi zestawami kołowymi z ruchu i poddajemy badaniom nieniszczącym. Jednak ze względu na brak aparatury pomiarowej jesteśmy zmuszeni do korzystania z usług instytucji lub zakładów naprawczych posiadających takie urządzenia.

W obecnej chwili jesteśmy w fazie zbierania doświadczenia w tym temacie z powodu coraz większego procentowego udziału kół bezobrzęczowych w eksploatowanych wagonach. Gromadzone dane posłużą w przyszłości do opracowania wewnętrznych procedur postępowania z eksploatowanymi zestawami kołowymi przez PKP CARGO S.A. w odniesieniu do wymagań ECM czyli podmiotu odpowiedzialnego za utrzymanie.

Największym jednak problemem, o którym już wspomnieliśmy, jest dla nas jako przewoźnika, brak polskich kolejowych przepisów technicznych w zakresie organizacji, konieczności, kryteriów i kompetencji pracowników dla badań nieniszczących przeprowadzanych podczas napraw na zestawach kołowych w odniesieniu, w tym przypadku do pomiarów naprężeń własnych w kołach. Mamy nadzieję, że nadchodzące regulacje związane z wprowadzeniem w Eu-

ropie wymagań ECM wobec jakości napraw zestawów kołowych i badań nieniszczących, doprowadzą w naszym kraju do opracowania jednolitych wymagań technicznych w tej dziedzinie dla sektora utrzymania ruchu kolei i będą obowiązywać jednakowo wszystkich przewoźników.

Kompozytowe wstawki hamulcowe typu K w taborze towarowym

Z uwagi na nałożoną przez KE konieczność ograniczenia hałasu dla kolejowego transportu towarowego, w nowobudowanych i przebudowywanych wagonach towarowych aktualnie stosuje się kompozytowe wstawki hamulcowe o wysokim współczynniku tarcia - typu K. Właściwości tych wstawek są odmienne niż wstawek żeliwnych. Materiały te mają współczynnik tarcia około dwukrotnie wyższy niż wstawki żeliwne, dlatego nie są wzajemnie zamienne. W eksploatacji można zauważyć odmienne, od wagonów z żeliwnymi wstawkami, zużywanie się kół, a także charakterystyczne uszkodzenia.

Zużycia kół bezobrzęczowych hamowanych kompozytowymi wstawkami hamulcowymi typu K

Inne właściwości pary ciernej koło-wstawka hamulcowa powodują odmienną charakterystykę zużywania się kół, w głównej mierze polegającą na szybszym zużywaniu się powierzchni tocznej koła. Porównanie wielkości zużyć kół na ich średnicy dla wstawek typu K (C810 i J816M), typu LL (C952 i IB116*) i żeliwnych przedstawiono w tabeli 2.

W wagonach wyposażonych w kompozytowe wstawki hamulcowe typu K zużycia kół na średnicy są dwu-, trzykrotnie większe niż dla kół hamowanych wstawkami żeliwnymi. Równolegle występuje zjawisko zużycia wgłębnego powierzchni tocznej koła, którego wartość graniczna z przepisów UIC „Wytyczne konstrukcyjne zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych typu K” wynosi 2 mm. (rys. 5 z ww. „Wytycznych konstrukcyjnych...”)

Poniżej (fot. 6) przykład zużycia wgłębnego koła w wagonie typu 627Za po przebiegu 68 tys. km. Zużycie na średnicy dla tego przebiegu wyniosło 8 mm, dodatkowo różnica średnic na jednym zestawie wyniosła 6 mm. (źródło PKP CARGO S.A.).

Tego typu zużycie prowadzi do zmiany parametrów obrzeża (z uwagi na obniżenie się punktu pomiarowego na powierzchni tocznej), a w szczególności na wzrost wartości parametru Og oraz Qr. Poniżej przedstawiono przykładową kartę z pomiaru profilu zestawu kołowego wagonu serii Falns po przebiegu 71 tys. km (rys. 7 źródło PKP CARGO S.A.).

W celu ograniczenia częstej reprofilacji kół (koniecznej ze względu na przekroczenie wartości dopuszczalnych przy naprawie parametrów obrzeża) stosuje się koła ze zmniejszoną grubością obrzeża, np. 30 mm (takie zalecenie znajduje się w dokumencie UIC „Wytyczne konstrukcyjne zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych typu K”).

Typowymi usterkami kół, które rzadko występowały w przypadku hamowania wstawkami żeliwnymi są rowki lub rysy na powierzchni tocznej koła, a także przekroczenie dopuszczalnej różnicy na średnicy kół jednego zestawu kołowego, które wystąpiło na ok. 20% badanych przez PKP CARGO S.A. zestawów kołowych.

Na podstawie powyższych informacji można zauważyć, że zużycia i uszkodzenia kół hamowanych wstawkami kompozytowymi prowadzą do skrócenia cyklu życia zestawu kołowego, co może prowadzić do zwiększenia kosztów utrzymania taboru w eksploatacji.

Typowe zużycia oraz uszkodzenia kompozytowych wstawek hamulcowych

Materiały kompozytowe na wstawki hamulcowe typu K mają współczynnik tarcia na około dwukrotnie wyższym poziomie niż wstawki żeliwne (nominalny współczynnik tarcia wynosi 0,25), o płaskiej charakterystyce, mniej zależny od obciążenia i prędkości hamowania

Wstawki typu K mają kształt i wymiary zgodne z kartą UIC 541-4 (rys. 8 z Karty UIC 541-4) i wyróżniają się charakterystycznym zabezpieczeniem w kształcie dwóch ściętych stożków na powierzchni przylegania do obsady hamulcowej uniemożliwiającym ich montaż na wagonach wyposażonych we wstawki żeliwne lub kompozytowe typu LL. Aktualnie do ruchu międzynarodowego dopuszczone przez UIC oraz ERA są dwa typy kompozytowych wstawek hamulcowych typu K, tj. C810 firmy Cofren oraz J816M firmy Honeywell.

W eksploatacji typowym zjawiskiem jest klinowe zużywanie się wstawek kompozytowych, którego przyczyną jest ciągłe opieranie się wstawki o koło podczas jazdy wagonu (Fot. 9 – źródło PKP CARGO S.A.). Takie zużycie nie wpływa negatywnie na właściwości hamowania, jednakże jest nieekonomiczne. Zmodernizowanie obsad hamulcowych polegające na przesunięciu otworu zawieszenia obsady na wieszaku (z uwagi na mniejszą masę wstawki kompozytowej) zapobiega zużyciu klinowemu.

W przypadku obsad podwójnych zużycie klinowe występuje tylko na wstawce górnej powodując nierównomierne zużycie wstawek w jednej obsadzie i tym samym zmniejszenie powierzchni ciernej. (Fot. 10 – Instytut Kolejnictwa)

Do typowych usterek wstawek kompozytowych zaliczają się pęknięcia i wykruszenia materiału, których opis oraz dopuszczalne wartości określone zostały przez UIC. Niedopuszczalne natomiast są jakiegokolwiek wtrącenia metaliczne. (Fot. 11 z przepisów UIC „Wytyczne konstrukcyjne zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych typu K”).

Dążenie do redukcji hałasu i masy własnej wagonów towarowych sprawia, że tradycyjne wstawki żeliwne będą w Europie zastępowane przez wstawki kompozytowe typu K oraz LL. Wprowadzenie obniżenia stawek dostępu do torów dla pociągów „cichych” spowoduje przyspieszenie tej tendencji. W PKP doświadczenie w eksploatacji wagonów z wstawkami kompozytowymi jest niewielkie. Najstarsze wagony osiągnęły dopiero ok. 100 tys. km przebiegu. Monitorowanie zużycia kół i wstawek pozwoli na optymalizację utrzymania taboru. Doświadczenia innych użytkowników wskazują także na celowość optymalizacji zastosowania wstawek różnych gatunków do różnych zastosowań oraz dywersyfikacji rynku producentów wstawek i na pozytywne efekty eksploatacyjno – ekonomiczne takiego podejścia. ◀

Materiały źródłowe

- [1] PN-EN 13262 pt. „Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła. Wymagania dotyczące wyrobu”.
- [2] PN-EN 13979-1 pt. „Kolejnictwo. Zestawy kołowe i wózki. Koła monoblokowe. Procedura dopuszczenia. Część 1: Koła kute i walcowane”.
- [3] PN-EN 15313 pt. „Kolejnictwo. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych. Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączonej z eksploatacji”.
- [4] Karta UIC 510-2 Wagony. Koła i zestawy kołowe. Warunki dla stosowania kół o różnych średnicach.
- [5] Karta UIC 510-5 Dopuszczenie techniczne kół bezobrotowych. Wniosek dla normy EN 13979-1.
- [6] Raport UIC ERRI B 169/RP 5 Metody nadzoru kół bezobrotowych (Natychmiastowe środki dla uniknięcia pęknięć kół).
- [7] Raport UIC ERRI B 169/RP 6 Nadzór kół bezobrotowych w eksploatacji. Metody ultradźwiękowe dla niezakłóconego wyznaczenia we wieńcach kół bezobrotowych.
- [8] Raport UIC ERRI B 169/RP 7 Granice cieplne kół i klocków hamulcowych. Nadzór kół bezobrotowych w eksploatacji. Niezakłócone metody dla stwierdzenia rys (nadpęknięć) we wieńcach kół.

- [9] Raport UIC ERRI B 169/RP 8 Określenie odporności na pęknięcie bezobrotowych kół ze stali R7, metody badania i określenie wartości charakterystycznych.
- [10] BN-85/3518-02/15 Badania ultradźwiękowe wieńców bezobrotowych kół wagonowych.
- [11] Załącznik 9 do AVV Ogólna umowa o użytkowaniu wagonów towarowych.
- [12] Defektoskopowe badanie elementów pojazdów szynowych – Praca zbiorowa WKŁ 1979.
- [13] Problemy kolejnictwa – CNTK zeszyt 110 Julian Deputat „Naprężenia własne i pęknięcie kół monoblokowych”.
- [14] Prace IPPT – Jacek Szelażek „Postępy w ultradźwiękowych badaniach naprężeń”.
- [15] Problemy kolejnictwa – CNTK zeszyt 141 Jacek Kukulski „Metody badań naprężeń własnych w szynach, rozjazdach i kołach monoblokowych”.
- [16] Railway wheelsets Marek Sitarz Politechnika Śląska Gliwice 2003.
- [17] Naprężenia własne Marek Adamski Biuro Gamma 1999.
- [18] METALLURGICAL AND NDT ASPECTS IN THE MANAGEMENT OF OVERHEATED RAILWAY WHEELS P. Laczko i P.J. Mutton MATERIALS FORUM VOLUME 30 – 2006.
- [19] Temperature and Stress State of the Block-Braked Solid Wheel in Operation on Yugoslav Railways Dušan Milutinović, Aleksandar Radosavljević i Vojkan Lučanin.
- [20] Raport VERSA ENTGLEISUNG DES ZUGES 54352 am 31. Oktober 2007.
- [21] ULTRASONIC MEASUREMENT OF HOOP STRESS IN THE RIM OF MONOBLOCK RAILROAD WHEEL Viktor Jemec, Janecz Grum, Silvo Božičko.
- [22] Hamulec – Hamowanie hamulcem klockowym ze wstawkami z materiału kompozytowego – Ogólne warunki certyfikacji kompozytowych wstawek hamulca klockowego
- [23] Wytyczne konstrukcyjne zastosowania kompozytowych wstawek hamulcowych typu K wyd. 7 UIC