

ZBIGNIEW CICHOCKI*, ZBIGNIEW JELEŚNIAŃSKI**, PAWEŁ URBAŃCZYK**

HAMULEC KLOCKOWY – ZACHOWANIE PAR CIERNYCH ŻELIWO–STAL, KOMPOZYT–STAL W WARUNKACH SKRAJNYCH OBCIĄŻEŃ CIEPLNYCH

SHOE BRAKE – BEHAVIOUR OF FRICTION PAIRS CAST-IRON–STEEL, COMPOSITE–STEEL UNDER EXTREME THERMAL CONDITIONS

Streszczenie

W artykule opisano wpływ wysokich obciążeń cieplnych na stan wstawek hamulcowych wykonanych z żeliwa i materiałów kompozytowych.

Słowa kluczowe: wstawka hamulcowa, test św. Gotarda

Abstract

In the paper an influence of high thermal loads on the condition of cast-iron and composite shoe-brake inserts has been shown.

Keywords: brake insert, St Gothard test

* Dr inż. Zbigniew Cichocki, Zakład Pojazdów Szynowych, Instytut Kolejnictwa.

** Inż. Zbigniew Jeleśniański, dr inż. Paweł Urbańczyk, Laboratorium Badań Taboru, Instytut Kolejnictwa.

Oznaczenia

- g_p – grubość wstawki hamulcowej przed testem św. Gotarda [mm]
 g_k – grubość wstawki hamulcowej po teście św. Gotarda [mm]
 Δg – liniowe zużycie ściernie wstawki hamulcowej w czasie testu św. Gotarda [mm]
 Δg_{sr} – średnie liniowe zużycie ściernie wstawki hamulcowej, dla badanego wagonu, w czasie testu św. Gotarda [mm]
 T1–8 – temperatura koła nr 1–8 [°C]
 T1.1 – temperatura wstawki hamulcowej nr 1.1 [°C]

1. Wstęp

W powszechnie stosowanym w kolejnictwie hamulcu klockowym źródłem siły hamującej jest siła tarcia między wstawką klocka hamulcowego i kołem. Hamulec ten stosowany jest w kolejnictwie od jego początków i w klasycznym wykonaniu posiada wstawki z żeliwa szarego. Wzrost prędkości kurowania pociągów w ruchu towarowym i przede wszystkim w ruchu pasażerskim wymusił wprowadzenie innych rodzajów hamulców, które zapewniałyby bezpieczne zatrzymanie pociągu na wynikającej z odstępów sygnałowych drodze hamowania. Jednocześnie prowadzone były prace nad usprawnieniem hamulca klockowego obejmujące między innymi dobór właściwych materiałów na wstawki hamulcowe. Prace te prowadzone były dwukierunkowo. Z jednej strony optymalizowano skład żeliwa na wstawki poprzez wprowadzanie różnego rodzaju składników stopowych, a z drugiej strony poszukiwano materiałów niemetalowych, które mogłyby zastąpić żeliwo. Prace nad wstawkami niemetalowymi doprowadziły w efekcie do uzyskania wstawek, które dopuszczono do stosowania i które są obecnie coraz bardziej rozpowszechnione.

2. Wymagania stawiane materiałom ciernym używanym do produkcji wstawek hamulcowych

Szczegółowa analiza warunków pracy pary cierniej wstawka–koło pozwala sformułować podstawowe kryteria dotyczące tworzyw ciernych przeznaczonych do produkcji wstawek hamulcowych pojazdów szynowych. Z zasady działania hamulca klockowego wynika, że materiał wstawki hamulcowej powinien się charakteryzować następującymi własnościami:

- wysoką odpornością na zużycie ściernie,
- małym wpływem na zużycie powierzchni tocznej kół,
- możliwie stałą wartością współczynnika tarcia, niezależnie od prędkości pociągu i warunków atmosferycznych,
- odpornością na działanie wytwarzanego w czasie hamowania ciepła,
- dobrą przewodnością cieplną warunkującą właściwe odprowadzanie ciepła,
- dostateczną wytrzymałością mechaniczną,
- brakiem niekorzystnego oddziaływania na stan powierzchni tocznej kół,
- brakiem szkodliwego oddziaływania na środowisko i infrastrukturę kolejową powstających podczas hamowania produktów zużycia,
- możliwie niską ceną.

Stosowane obecnie na wstawki hamulcowe materiały, to jest żeliwo P10 i różnego rodzaju materiały niemetalowe zwane kompozytowymi, w różnym stopniu spełniają te wymagania. Istotne różnice dotyczą zjawisk cieplnych zachodzących podczas hamowania hamulcem z wstawkami kompozytowymi i żeliwnymi.

Obowiązujące obecnie przepisy wynikające z Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE w sprawie interoperacyjności systemu kolei we Wspólnocie i Decyzji Komisji 2009/107/WE wymagają przeprowadzenia badań odporności cieplnej układu hamulcowego pojazdu przed jego dopuszczeniem do ruchu. Od momentu wejścia w życie tego wymogu Pracownia Hamulców Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa prowadzi takie badania. Niniejszy artykuł prezentuje wyniki takich badań wagonów węglarek o podobnych cechach konstrukcyjnych, z których jedna wyposażona była we wstawki z żeliwa P10, a druga w dopuszczone do stosowania wstawki kompozytowe typu K (o wysokim współczynniku tarcia).

3. Badania odporności hamulca na obciążenia cieplne

Zgodnie z TSI WAG układ hamulcowy powinien być skonstruowany tak, aby pojazd mógł poruszać się na wszystkich istniejących liniach transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych.

Układ hamulcowy powinien zatrzymać wagon załadowany i utrzymać prędkość wagonu bez jakichkolwiek uszkodzeń termicznych albo mechanicznych w następujących warunkach:

1. Dwa kolejne hamowania nagle od prędkości maksymalnej do zatrzymania na torze prostym i poziomym przy minimalnym wietrze i suchych szynach dla pojazdu maksymalnie obciążonego.
2. Utrzymanie prędkości 80 km/h na torze o przeciętnym nachyleniu 21‰ i długości 46 km (odcinkiem referencyjnym jest zjazd z przełęczy św. Gotarda między Airola i Biasca).

Test św. Gotarda umożliwia symulację warunków panujących podczas długotrwałego hamowania ciągłego. W czasie testu siła hamująca regulowana jest w taki sposób, aby realizowana moc hamowania wynosiła co najmniej 45 kW na koło.

Podczas badań wykonywane są pomiary:

- prędkości,
- drogi,
- siły na haku wagonu badanego,
- temperatury kół zestawów kołowych,
- ciśnienia powietrza w cylindrze hamulcowym i innych punktach układu pneumatycznego hamulca,
- liniowego zużycia ściernego wstawek hamulcowych.

Ponadto wykonywana jest szczegółowa dokumentacja fotograficzna stanu wstawek hamulcowych i kół zarówno przed rozpoczęciem, jak też po zakończeniu badań odporności na obciążenia cieplne.

Badania odporności układu hamulcowego na obciążenia cieplne wykonywane są w Pracowni Hamulców Laboratorium Badań Taboru Instytutu Kolejnictwa zgodnie z wymaganiami przepisów TSI [1, 2].

4. Obiekty badań

Przedstawione w niniejszym artykule obserwacje dotyczą wyników badań odporności układu hamulcowego na obciążenia cieplne przeprowadzonych dla klasycznych wagonów towarowych węglarek o następujących podstawowych cechach:

- liczba osi wagonu: 4,
- liczba wózków: 2,
- liczba klocków hamulcowych: 16,
- liczba cylindrów hamulcowych: 1,
- maksymalny nacisk zestawu kołowego na tor: 22,5 t,
- prędkość maksymalna w stanie ładownym: 100 km/h,
- dostosowanie siły hamującej do masy pojazdu: samoczynne, ciągłe,
- materiał cieni wstawek hamulcowych: żeliwo P10 lub dopuszczone do stosowania wstawki kompozytowe typu K.

5. Temperatury kół zestawów kołowych rejestrowane podczas testu św. Gotarda

Wywiązujące się w parze ciernej w czasie hamowania ciepło powinno być skutecznie odprowadzane. Miarą jakości tego odprowadzania są maksymalne temperatury, jakie osiągają zestawy kołowe w wyniku hamowania hamulcem klockowym. W tabelach 1 i 2 zestawiono wyniki pomiarów temperatur kół (w pobliżu ich powierzchni toczonej) w chwili zakończenia testu św. Gotarda dla wagonu ze wstawkami żeliwnymi i wagonu ze wstawkami typu K. Oba pomiary były wykonywane w podobnych warunkach, dotyczą wagonów o podobnych charakterystykach konstrukcyjnych i technicznych.

Tabela 1

Temperatury kół wagonu węglarki wyposażonego we wstawki kompozytowe w chwili zakończenia testu św. Gotarda

T1	T3	T6	T8
[°C]			
356,0	367,8	334,1	285,9

Tabela 2

Temperatury kół i jednej ze wstawek wagonu węglarki wyposażonego we wstawki żeliwne w chwili zakończenia testu św. Gotarda

T1.1	T1	T6	T7
[°C]			
496,5	287,9	329,9	334,9

Analizując wyniki zamieszczone w tabelach 1 i 2, jak również wyniki pozostałych przeprowadzonych przez Instytut Kolejnictwa badań, można stwierdzić, że temperatury kół współpracujących podczas testu św. Gotarda ze wstawkami kompozytowymi są wyraźnie wyższe od temperatury kół wagonu wyposażonego we wstawki żeliwne. Różnice te wynoszą od kilkudziesięciu do nawet 100°C i wynikają z faktu, że wstawki kompozytowe w przeciwieństwie do żeliwnych słabo przewodzą ciepło i tylko niewielka część ciepła tarcia wydzielanego podczas hamowania może być odprowadzona przez wstawki hamulcowe.

6. Stan kompozytowych wstawek hamulcowych po teście św. Gotarda

Kompozytowe wstawki hamulcowe charakteryzują się dużą wrażliwością na oddziaływanie wysokich obciążeń cieplnych, które mogą spowodować:

- zmianę właściwości ciernych materiału wstawek,
- uszkodzenia mechaniczne wstawek,
- destrukcję wstawek.

Najczęściej spotykanymi uszkodzeniami wstawek kompozytowych stwierdzanymi po przeprowadzeniu testu św. Gotarda są:

- pęknięcia promieniowe wstawek, w szczególności pęknięcia nawskrośne,
- wykruszenia wstawek,
- odpadanie fragmentów materiału ciernego,
- odbarwienie materiału wstawki,
- złuszczenie się materiału ciernego.

Ponadto można stwierdzić, że zużycie ściernie kompozytowych wstawek hamulcowych podczas testu św. Gotarda jest wyraźnie większe od zużycia w czasie eksploatacji. W czasie testu trwającego nieco ponad 30 minut liniowe zużycie ściernie wstawek kompozytowych najczęściej zawiera się w przedziale 3–30 mm. W tabeli 3 przedstawiono przykład wyników pomiaru grubości i zużycia kompozytowych wstawek hamulcowych podczas testu św. Gotarda przeprowadzonego dla wagonu węglarki. Mieszczą się one w tym przypadku w przedziale 6–19 mm.

Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowe zdjęcia kompozytowych wstawek hamulcowych po zakończeniu badań odporności układu hamulcowego na obciążenia cieplne. Na rysunku 1 widzimy (od lewej strony): strefę przegrzania, obwodowe złuszczenia materiału ciernego i wykruszenia obwodowe materiału ciernego. Natomiast na rys. 2 przedstawiono: pęknięcia promieniowe nawskrośne i strefę przegrzaną, wstawkę z odpadniętym fragmentem materiału ciernego oraz siatkę pęknięć na powierzchni cierniej.



Rys. 1. Kompozytowe wstawki hamulcowe po teście św. Gotarda

Fig. 1. Composite shoe-brake inserts after the St Gothard test



Rys. 2. Kompozytowe wstawki hamulcowe po teście św. Gotarda

Fig. 2. Composite shoe-brake inserts after the St Gothard test

Tabela 3

Liniowe zużycie ściernie kompozytowych wstawek hamulcowych podczas testu św. Gotarda dla wagonu węglarki

Nr wstawki	Przed testem g_p [mm]	Po teście g_k [mm]	Zużycie Δg [mm]
1.1	60	42	18
1.2	59	40	19
2.1	59	45	14
2.2	59	49	10
3.1	59	47	12
3.2	60	43	17
4.1	60	50	10
4.2	59	49	10
5.1	59	47	12
5.2	60	49	11
6.1	59	51	8
6.2	59	45	14
7.1	59	47	12
7.2	58	47	11
8.1	59	53	6
8.2	58	44	14
Średnie zużycie wstawki $\Delta g_{\bar{v}}$ [mm]			12

7. Stan żeliwnych wstawek hamulcowych po teście św. Gotarda

Żeliwne wstawki hamulcowe odznaczają się dużą odpornością na oddziaływanie wysokich obciążeń cieplnych. Z reguły nie odnotowuje się poważniejszych uszkodzeń wstawek żeliwnych wynikających z tego typu obciążeń. Sporadycznie stwierdza się pęknięcia wstawek (szczególnie niektórych ich odmian). Nie zauważono też trwałego wpływu obciążeń cieplnych na właściwości cierne wstawek żeliwnych.

Najczęściej po zakończeniu testu św. Gotarda dla wagonu wyposażonego we wstawki żeliwne stwierdza się:

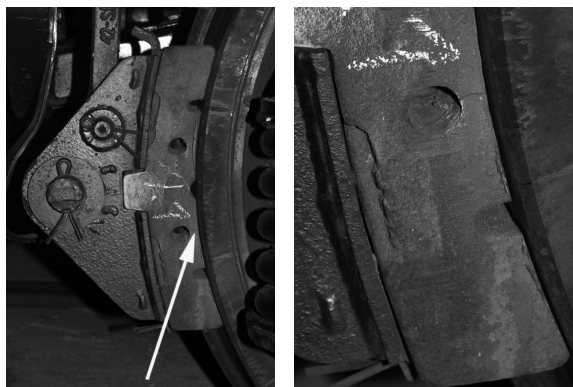
- pęknięcia promieniowe wstawek (sporadycznie i głównie dla wstawek z otworami),
- odbarwienie materiału wstawki.

Co ciekawe, ustalono, że wstawki żeliwne, które podczas normalnej eksploatacji zużywają się kilkakrotnie szybciej od wstawek kompozytowych, w czasie testu św. Gotarda zużywają się mniej intensywnie od swoich kompozytowych odpowiedników. Liniowe zużycie ściernie wstawek żeliwnych w czasie tego testu wynosi kilka milimetrów. W tabeli 4 przedstawiono przykład wyników pomiaru grubości i zużycia żeliwnych wstawek hamulcowych podczas testu św. Gotarda przeprowadzonego dla wagonu węglarki. Jak widać na rys. 5, po teście św. Gotarda wstawka jeszcze nie była w pełni dotarta.

Linowe zużycie ściernie klasycznych żeliwnych wstawek hamulcowych podczas testu św. Gotarda dla wagonu węglarki

Nr wstawki	Przed testem g_p [mm]	Po teście g_k [mm]	Zużycie Δg [mm]
1.1	58	56	2
1.2	58	57	1
2.1	60	57	3
2.2	58	55	3
3.1	58	56	2
3.2	59	58	1
4.1	59	59	0
4.2	59	59	0
5.1	57	55	2
5.2	59	59	0
6.1	59	56	3
6.2	59	59	0
7.1	59	59	0
7.2	60	59	1
8.1	60	57	3
8.2	60	58	2
Średnie zużycie wstawki Δg_{sr} [mm]			1

Na rysunkach 3–5 pokazano przykładowe zdjęcia żeliwnych wstawek hamulcowych po zakończeniu badań odporności układu hamulcowego na obciążenia cieplne. Jedynym stwierdzonym uszkodzeniem było pęknięcie promieniowe sięgające od powierzchni ścierniej do otworu wstawki. Spowodowane zostało koncentracją naprężeń wywołaną wprowadzeniem otworu, lecz z drugiej strony otwór ten zabezpiecza wstawkę przed dalszą propagacją pęknięcia. Pęknięcie to widoczne jest na rys. 3–5.



Rys. 3. Pęknięcie promieniowe żeliwnej wstawki hamulcowej po teście św. Gotarda

Fig. 3. The radial crack of cast-iron shoe-brake insert after St Gothard test



Rys. 4. Pęknięcie promieniowe żeliwnej wstawki hamulcowej po teście św. Gotarda

Fig. 4. The radial crack of cast-iron shoe-brake insert after St Gothard test



Rys. 5. Żeliwna wstawka hamulcowa po teście św. Gotarda

Fig. 5. The cast-iron shoe-brake insert after St Gothard test

8. Wnioski

Analiza przedstawionych wyników przeprowadzonych w Instytucie Kolejnictwa badań odporności na obciążenia cieplne układów hamulcowych wagonów towarowych pozwala sformułować następujące wnioski:

- temperatury kół zestawów kołowych w trakcie hamowania z użyciem wstawek kompozytowych typu K są o kilkadziesiąt do 100°C wyższe niż w przypadku wstawek żeliwnych,
- kompozytowe wstawki hamulcowe cechują się znacznie większą wrażliwością na wpływ obciążeń cieplnych w porównaniu ze wstawkami żeliwnymi,
- w warunkach wysokich obciążeń cieplnych wstawki żeliwne (w przeciwieństwie do normalnej eksploatacji) cechują się znacznie mniejszym od wstawek kompozytowych zużyciem ściernym,
- w warunkach wysokich obciążeń cieplnych żaden z porównywanych typów wstawek hamulcowych: żeliwnych i kompozytowych nie spełnia w zadowalającym stopniu wszystkich wymagań wymienionych w punkcie 2 niniejszego artykułu.

W trakcie opisywanego testu św. Gotarda nie można dokładnie zbadać wpływu tego rodzaju hamowania na koła zestawów kołowych (mierzy się jedynie ich temperaturę oraz obserwuje stan powierzchni i powłoki lakierniczej). Wyższe obciążenia termiczne obserwowane w przypadku wstawek typu K mogą powodować niekorzystne zmiany własności warstwy wierzchniej na powierzchniach toczyń kół. Ocena wpływu tego typu obciążeń na stan kół wymaga jednak przeprowadzenia długotrwałych badań symulacyjnych lub eksploatacyjnych.

Literatura

- [1] 2006/861/WE: Decyzja Komisji z dnia 28 lipca 2006 r. dotycząca technicznej specyfikacji dla interoperacyjności odnoszącej się do podsystemu „tabor kolejowy – wagony towarowe” transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych, Bruksela, 28 lipca 2006.
- [2] 2009/107/WE: Decyzja Komisji z dnia 23 stycznia 2009 r. zmieniająca decyzje 2006/861/WE i 2006/920/WE w sprawie technicznych specyfikacji interoperacyjności w zakresie podsystemów transeuropejskiego systemu kolei konwencjonalnych, Bruksela, 23 stycznia 2009.