

Marek SITARZ, Andrzej HEŁKA, Adam MAŃKA

ZAGADNIENIA CIEPLNE W SYSTEMIE KOŁO-KŁOCEK HAMULCOWY

Streszczenie. W artykule wymieniono najczęściej występujące problemy eksploatacji wstawek hamulcowych. Wskazano na sposoby zwiększenia trwałości elementów par ciernych oraz zwiększenia bezpieczeństwa w transporcie szynowym. Przedstawiono również stanowisko do kompleksowego wyznaczania własności termicznych ciał stałych w celu umożliwienia zamodelowania zarówno zjawisk mechanicznych jak i termicznych zachodzących w układzie koło kolejowe-kłoczek hamulcowy podczas hamowania pociągu.

THERMAL PROBLEMS IN WHEEL-BRAKE SHOE SYSTEM

Summary. In this article authors specify most often problems occurs during brake shoe exploitation. It present for the method to increasing level of durability and safety in railway transport of frictional couple elements. It present also the stand for determining value of thermal parameters of used materials for make possible modeling both thermal and mechanical phenomena preceding during braking in railway wheel-brake shoe subsystem during railway braking.

1. WSTĘP

Rosnące wymagania w transporcie szynowym, wynikające ze znacznego zwiększenia energii wytracanej w czasie hamowania pojazdu, mają wpływ na warunki eksploatacji kół kolejowych i wstawek hamulcowych. Jednocześnie, wymagania normatywne Unii Europejskiej, mające na uwadze redukcję hałasu, drgań oraz redukcję zanieczyszczeń środowiska naturalnego, wymuszają stosowanie nowych rozwiązań konstrukcyjnych kłoczków hamulcowych. Materiały cierne, mające zastąpić stosowane obecnie żeliwo P10, mają własności cieplne znacznie odbiegające od żeliwa. Powoduje to generowanie dodatkowych obciążeń cieplnych kół kolejowych, przyczyniając się do pojawiania nadmiernych naprężeń termicznych, pęknięć i ich katastroficznego zużycia. Duże gradienty temperatur w kole mogą również być przyczyną luzowania się połączenia koło bosc-obręcz. Z drugiej strony, jakościowe określenie obciążeń cieplnych jest trudne do zdefiniowania ze względu na brak wiarygodnych procedur obliczeniowych oraz modeli numerycznych. Problem ten wynika, z jednej strony, z trudności modelowania zjawisk sprzężonych (zagadnień kontaktowych z jednoczesnym uwzględnieniem zagadnień termicznych oraz mechanicznych) w programach wykorzystujących metodę MES, z drugiej strony, brak danych literaturowych dotyczących własności materiałowych (termicznych i mechanicznych) tak dla nowych, jak i dla obecnie eksploatowanych materiałów oraz danych umożliwiających zadanie warunków brzegowych i początkowych. Również na

etapie prowadzenia badań stanowiskowych w skali rzeczywistej oraz prób ruchowych brak jednoznacznych wytycznych dotyczących dopuszczalnych wartości temperatur, jakie mogą osiągnąć koło i klocek hamulcowy podczas hamowania. Wstępne analizy numeryczne oraz badania stanowiskowe i eksploatacyjne wykonane w ramach prac prowadzonych w Katedrze Transportu Szynowego wykazały, że już na drodze optymalizacji konstrukcji samych wstawek hamulcowych można znacznie zredukować gęstość strumienia ciepła obciążającego koło kolejowe podczas hamowania przy jednoczesnym zachowaniu własności trybologicznych pary ciernej. Odpowiednie ukształtowanie dylatacji we wstawce hamulcowej pozwala nie tylko na zmniejszenie obciążeń cieplnych koła kolejowego, ale również na istotną poprawę własności eksploatacyjnych wstawek. Połączenie odpowiedniej geometrii i materiału stosowanego na wstawki hamulcowe ma wpływ na znaczne zmniejszenie zużycia powierzchni koła i wstawki hamulcowej poprzez wprowadzenie bardziej równomiernego rozkładu naprężeń kontaktowych oraz zmniejszenie gradientów temperatur w układzie. Konstrukcja wstawki hamulcowej ma również wpływ na redukcję lub eliminację iskrzenia, redukcję generowanego hałasu, zarówno podczas hamowania, jak i w czasie ruchu pojazdu, co wynika z wad powierzchni tocznej koła.

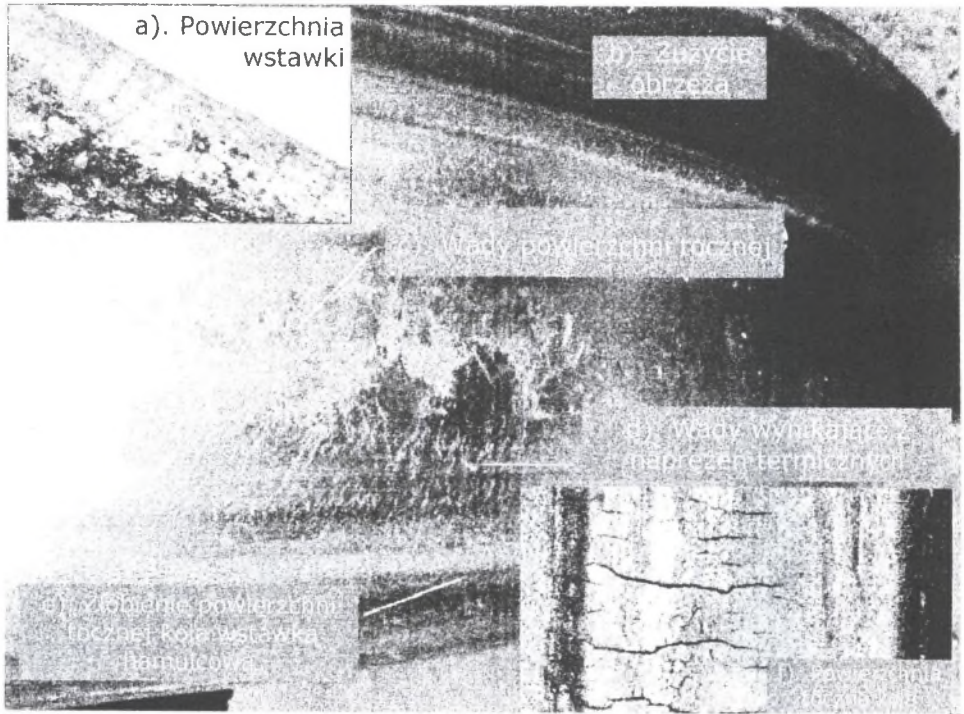
2. WYBRANE PROBLEMY EKSPLOATACJI WSTAWEK HAMULCOWYCH

Z doboru zarówno materiałów, jak i konstrukcji elementów wchodzących w skład pary ciernej koło-klocek hamulcowy wynika specyfika ich eksploatacji. Problemy wynikające z eksploatacji wstawek żeliwnych są nie mniejsze niż wstawek wykonanych z innych typów materiałów, lecz w związku z długotrwałym ich stosowaniem są one lepiej poznane. Chcąc zaprojektować nową wstawkę hamulcową stosowaną jako zamiennik typu LL, należy dopasować jej własności uwzględniając również konieczność zachowania tych wad. Powoduje to konieczność poszukiwania z jednej strony materiałów, które spowodują niewielkie zużycie elementów pary ciernej z jednoczesnym zachowaniem współczynnika tarcia pomiędzy kołem i klockiem hamulcowym oraz kołem i szyną. Niektóre materiały kompozytowe i ceramiczne mają w specyficznych warunkach skłonności do adhezyjnego nawarstwiania się materiału koła na powierzchnię wstawki hamulcowej. Powstała w ten sposób para czarna powoduje tworzenie dużych temperatur w układzie i miejscowej destrukcji materiału.

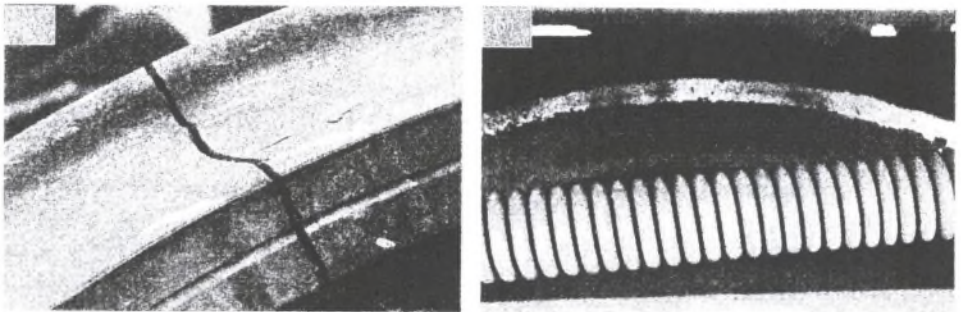
Część z wymienionych wad można zniwelować poprzez zmianę materiału pary ciernej bądź odpowiednie zaprojektowanie ich geometrii. Wprowadzenie odpowiedniego rozmieszczenia dylatacji we wstawce hamulcowej pozwala na zmniejszenie obciążeń termicznych koła, jak również wstawki hamulcowej. Umożliwia lepszy rozkład naprężeń kontaktowych, a poprzez to mniejsze zużycie elementów pary ciernej. Jednak rozmieszczenie dylatacji w sposób przypadkowy może wywołać zjawisko karbu i koncentrację naprężeń mechanicznych oraz termicznych (duże gradienty temperatur) w ich otoczeniu.

Pomimo że nadmierne obciążenia termiczne kół kolejowych były często bezpośrednią przyczyną wypadków kolejowych, to problematyka generowania i przepływu ciepła w układzie koło-klocek hamulcowy jest stosunkowo rzadko podejmowana w literaturze. Brak również jednoznacznych kryteriów oceny własności

termicznych wstawek oraz kryteriów pozwalających na stwierdzenie, czy występująca podczas prób stanowiskowych czy ruchowych temperatura koła i klocka hamulcowego jest dopuszczalna ze względu na bezpieczeństwo transportu.



Rys. 1. Powierzchnia toczna koła i wstawki hamulcowej z wadami powstałymi podczas eksploatacji
Fig. 1. Wheel tread and contact surface of brake shoe with exploitation defects



Rys. 2. Zdjęcia zużycia katastroficznego kół wynikających z nadmiernych obciążeń układu:
a). pęknięcie obręczy koła, b). przegrzanie powierzchni tocznej koła współpracującego ze wstawką P10

Fig. 2. Picture of disaster wear of railway wheel as result of excessive loads:
a). crack of tyre, b). overheating of wheel tread cooperated with brake shoe made from P10

W skrajnych przypadkach, wynikających np. z awarii układu hamulcowego lub nieprawidłowości wynikających z wytwarzania lub eksploatacji, obciążenia termiczne

układu koło-kłoczek hamulcowy powodują zużycie katastroficzne tego układu (rys. 2). Istotny jest tu już sam etap projektowania, podczas którego należy mieć na uwadze nie tylko konieczność zapewnienia odpowiedniej wartości i stabilności współczynnika tarcia i to w różnych warunkach eksploatacji, ale zapewnić również spełnienie przez wstawkę hamulcową funkcji bezpiecznika w warunkach ekstremalnych. O skali zjawisk termicznych występujących podczas hamowania świadczy rys. 3 obrazujący rozkład temperatur podczas hamowania długotrwałego nr 128 wg karty 541-4 UIC (wyd. 4) na stanowisku bezwładnościowym w skali rzeczywistej. Obecnie, własności termiczne wstawek hamulcowych wykonanych z nowych materiałów są pozyskiwane dopiero na etapie badań stanowiskowych i prób ruchowych (ewentualnie badań eksploatacyjnych). Wynika to z faktu, że obecnie brak jest wiarygodnych modeli numerycznych pozwalających na symulacje zjawisk termicznych i mechanicznych powstających w czasie hamowania. Brak tych modeli wynika nie tylko z faktu trudności modelowania zjawisk sprzężonych (zjawiska kontaktowe, przepływ ciepła, obciążenia mechaniczne), ale również z braku danych dotyczących własności termicznych materiałów.



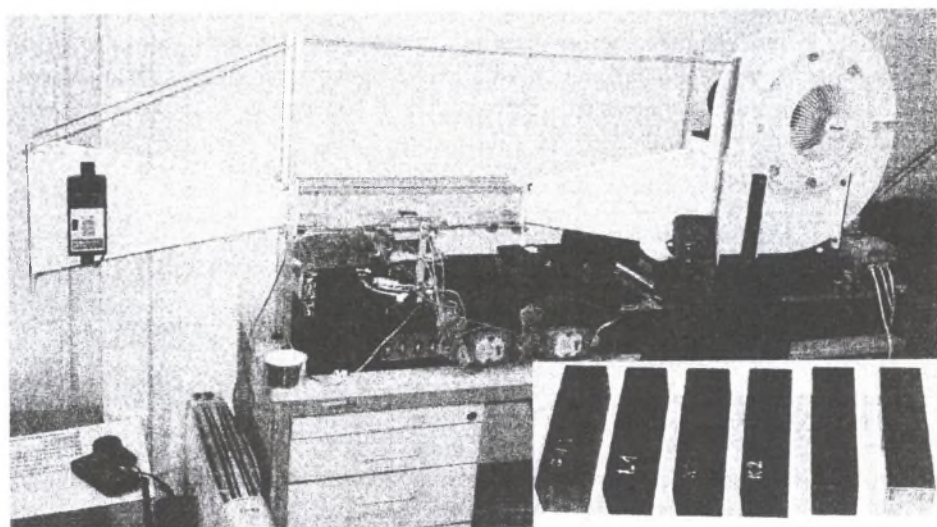
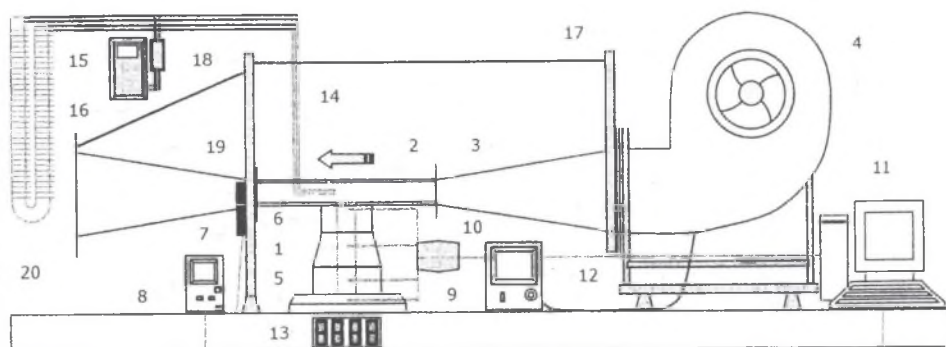
Rys. 3. Widok układu koło-kłoczek hamulcowy podczas hamowania długotrwałego (symulacja zjazdu z góry Gothard – program badań według karty 541-4 UIC)

Fig. 3. View of wheel-brake shoe system during long time braking (simulation of downhill drive from Gothard mountain – according to 541-4 UIC card)

Dlatego też, prace podjęte w Katedrze Transportu Szynowego w pierwszym etapie ukierunkowane były na opracowanie stanowiska do wyznaczania: współczynnika konwekcji w funkcji prędkości powietrza i temperatury materiału, współczynnika przewodności cieplnej, współczynnika rozszerzalności, emisji i pojemności cieplnej. Dopiero po wyznaczeniu tych wielkości dla materiałów układu koło-kłoczek hamulcowy oraz po wyznaczeniu własności mechanicznych, można przejść do etapu budowy modelu numerycznego i symulować zjawiska zachodzące podczas hamowania pociągu, określając w ten sposób przydatność eksploatacyjną nowych materiałów i konstrukcji wstawek i kół kolejowych. Ze względu na specyfikę układu koło-kłoczek hamulcowy, niezbędne było odwzorowanie przepływu ciepła w próbce i oddawanie go do otoczenia poprzez konwekcję w warunkach przepływu powietrza z dużą prędkością. Dlatego też zaprojektowano i utworzono stanowisko, które umożliwia wyznaczanie współczynnika konwekcji w funkcji temperatury próbki oraz prędkości "omywającego" ją powietrza z prędkością od 0 do 160 km/h. Na stanowisku tym możliwe jest również wyznaczenie współczynnika przewodności cieplnej badanego materiału oraz dzięki zastosowaniu dalmierza laserowego oraz baz pomiarowych wykonanych na płycie granitowej, również wyznaczanie współczynnika

rozszerzalności cieplnej. Po podgrzaniu próbki na płycie grzewczej stanowiska TC-01 i umieszczeniu jej w kalorymetrze możliwe jest wyznaczenie pojemności cieplnej próbki poprzez pomiar i rejestrację temperatury próbki i wody systemem IDAM 7000.

Dzięki zastosowaniu pirometru i precyzyjnej znajomości temperatury powierzchni próbki możliwe jest również wyznaczenie wartości współczynnika emisji cieplnej badanego materiału. Umożliwienie wyznaczania wszystkich tych wielkości opisujących własności termiczne na jednym stanowisku TC-01 pozwala na znaczne skrócenie czasu prowadzenia badań, redukcję kosztów i zwiększenie dokładności wyników poprzez zastosowanie jednego systemu do pomiaru i rejestracji temperatury. Dodatkowo napisany w środowisku Delphi program komputerowy pozwala na sterowanie pracą stanowiska, rejestrację wyników pomiarów, wizualizację i wstępną analizę otrzymanych wyników badań (poprzez porty RS232 i LPT).



Rys. 4. Schemat i widok stanowiska TC-01 oraz przykładowych próbek wykonanych z żeliwa P10, materiałów kompozytowych typu LL, K, spieków ceramicznych, stali B2N i P55A

Fig. 4. Scheme and view of TC-01 stand and example of samples made from cast iron P10, composite material type LL, K, sinter and ceramics, steel B2N i P55A

Szczegółowa analiza wyników badań stanowi oddzielne opracowanie, należy jednak zaznaczyć, że na wartość współczynnika konwekcji wiodący wpływ ma prędkość powietrza "omywająca" powierzchnię próbki z niewielkim wpływem

temperatury próbki. Stwierdzono również, że współczynnik przewodności maleje wraz ze wzrostem temperatury. W zakresie badanych temperatur wartość współczynnika emisji była stała i nie wykazywała zależności od temperatury próbki. Poza wyznaczaniem własności termicznych do budowy modelu numerycznego zjawisk mechanicznych, niezbędne było również wyznaczenie wartości modułu Younga i współczynnika Poissona.

Oprócz wyznaczenia własności termicznych i mechanicznych materiałów niezbędne jest również wyznaczenie obciążeń termicznych, mechanicznych oraz warunków brzegowych i początkowych układu, dla którego opracowano ogólny schemat rozkładu całkowitej energii wytracanej podczas hamowania pojazdu.

3. WNIOSKI I KIERUNKI DALSZYCH PRAC

Opracowane stanowisko do wyznaczania własności termicznych materiałów układu koło-kłoczek hamulcowy umożliwi na uwzględnienie zjawisk termicznych podczas tworzenia modeli numerycznych zjawisk zachodzących w układzie koło-kłoczek hamulcowy. Otrzymane wyniki badań własności materiału próbki pozwolą na określenie przydatności eksploatacyjnej badanego materiału już na etapie badań laboratoryjnych. Utworzenie modelu numerycznego zjawisk sprzężonych zachodzących podczas hamowania pojazdu pozwoli na pełniejszą analizę wpływu zarówno własności materiału, jak i geometrii konstrukcji na własności eksploatacyjne elementów układu. Badania prowadzone na opracowanym modelu numerycznym pozwolą określić graniczne wartości temperatur koła i wstawki hamulcowej, które zapewnią bezpieczeństwo w transporcie szynowym. W dalszych etapach prowadzonych prac planuje się utworzenie systemu, który bazując na opracowanym modelu numerycznym pozwoli, na optymalizację konstrukcji wstawki hamulcowej ze względu na minimum naprężeń termicznych i mechanicznych koła i wstawki hamulcowej.

Literatura

1. Sitarz M., Mańka A., Hełka A.: Wpływ geometrii dylatacji na własności eksploatacyjne wstawek hamulcowych. *Problemy Transportu*, 1/2006, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006, str. 73-81.
2. Piec P.: *Badania eksploatacyjne elementów i zespołów pojazdów szynowych*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
3. Markusik S., Sitarz M.: Nowe materiały cierne o wysokiej trwałości i skuteczności hamowania. *Maszyny Dźwigowo-Transportowe* nr 2/1997.
4. Grant Celowy KBN nr 6T12 078 2001 C/5667 „Opracowanie technologii i uruchomienie produkcji nowych wstawek kompozytowych klocka hamulcowego dla polskiego i zagranicznego taboru kolejowego”.
5. Grant Własny KBN nr "Badanie, modelowanie i weryfikacja zjawisk termicznych z optymalizacją konstrukcji elementów układu koło-kłoczek hamulcowy (zgodnie z nowymi zaleceniami i normami europejskimi)".

Recenzent: Dr hab. inż. Paweł Piec
Profesor Politechniki Krakowskiej