

Badania wstawek hamulcowych

W artykule opisano podstawowe zjawiska cieplne występujące podczas hamowania wstawką żeliwną oraz nową koncepcję wstawki z dylatacjami otworowymi, opracowaną na podstawie analizy tych zjawisk. Nowa konstrukcja wstawki poprawiła jej zachowanie się, szczególnie podczas hamowań z dużymi mocami lub energiami hamowania. Pozytywne wyniki badań tej wstawki (z otworowymi dylatacjami), uzyskane na bezwładnościowym stanowisku do symulowania procesów hamowania w skali 1:1, potwierdzone zostały pozytywną opinią z rocznego okresu eksploatacji nowych wstawek na PKP.

1. Wprowadzenie

W wagonach towarowych nadal najczęściej stosowanym typem hamulca jest hamulec klockowy z żeliwa szarego fosforowego. PKP stosuje przede wszystkim wstawki hamulca klockowego z żeliwa P10, o zawartości fosforu około 1%. Wstawki te rozpraszają energię pojazdu podczas hamowania współpracując z powierzchnią toczną kół. Większość energii pojazdu zamieniana jest na ciepło wnikające w koło i klocek, podgrzewając je i deformując. Rozdział strumieni cieplnych pomiędzy koło i klocek wynika podstawowo ze stopnia przykrycia koła przez wstawki oraz z parametrów cieplnych materiału koła i materiału wstawki.

Współczynniki rozdziału strumieni cieplnych dla pary czarnej związane są zależnością [1]:

$$\alpha_{koa} + \alpha_{kl} = 1$$

przy czym współczynnik rozdziału strumienia cieplnego dla koła wyniesie [1]:

$$\alpha_{koa} = \frac{1}{1 + \frac{A}{A_K} \sqrt{\frac{\lambda_{kl} \cdot \gamma_{kl} \cdot c_{kl}}{\lambda \cdot \gamma \cdot c}}}$$

gdzie: A – powierzchnia klocków współpracujących z kołem,
 A_K – powierzchnia koła współpracująca z klockami,
 λ, γ, c – przewodność cieplna, masa właściwa i ciepło właściwe materiału koła,

$\lambda_{kl}, \gamma_{kl}, c_{kl}$ – przewodność cieplna, masa właściwa i ciepło właściwe materiału klocków.

Średnie strumienie cieplne wpływające do koła i klocka można określić z parametrów ruchowych pojazdu (masa, prędkość, ilość zestawów hamowanych), z parametrów zastosowanego hamulca (nacisk wstawki, współczynnik tarcia) znając współczynniki rozdziału strumieni cieplnych pomiędzy koło i klocek.

Wielkość tych strumieni oraz energii wpływających do koła i wstawki ma bezpośredni wpływ na deformacje koła i wstawki podczas hamowania. Deformacja koła jest praktycznie osiowo symetryczna i ma niewielki wpływ na współpracę klocka z kołem. Deformacja wstawki prowadzi do zaburzenia pierwotnego styku dotartej wstawki z kołem, prowadząc do istotnych zmian parametrów hamowania. Zjawiska te są powszechnie znane i opisane [2].

Szczególnie niekorzystne zjawiska w procesie hamowania występują przy dużych mocach i energiach hamowania, które występują podczas hamowań pełnych z dużych prędkości (100 i 120 km/h) pojazdów o dużej masie (np. 20 i 22,5 t/oś). Deformacje cieplne wstawek prowadzą wówczas do istotnego zmniejszenia rzeczywistej powierzchni styku z kołem, tym samym do zwiększenia nacisków jednostkowych i do dużego wzrostu wartości rzeczywistego strumienia cieplnego wnikającego do wstawki w trakcie hamowania, który można opisać zależnością:

$$q_{kl} = \mu_j \cdot p_r \cdot v \cdot \alpha_K$$

gdzie: μ_j – chwilowy współczynnik tarcia,
 p_r – rzeczywisty nacisk jednostkowy klocka na koło (w obszarach rzeczywistego kontaktu),
 v – prędkość poślizgu koło-wstawka,
 α_K – współczynnik rozdziału strumienia cieplnego dla klocka.

Z obserwacji przeprowadzonych podczas badań i z obliczeń [2] wynika, że powierzchnia rzeczywistego kontaktu zmniejsza się może trzy do czterech razy. Prowadzi to do istotnego wzrostu rzeczywistych nacisków jednostkowych p_r i tym samym zwiększenia strumienia cieplnego, który powoduje miejscowe podgrzanie materiału wstawki do temperatury nawet powyżej 1000°C. Prowadzi to do katastrofального miejscowego zużycia wstawki, a wytworzona wysoka temperatura wstawki - do procesu intensywnego iskrzenia, który może być powodem awarii pojazdu, pożaru pojazdu lub otoczenia. Zjawisko to występuje dla wstawek o dużej grubości, tj. od stanu nowego do ok. 2/3 ich zużycia, gdyż wówczas sztywność wstawki na zginanie jest na tyle duża, że siła nacisku, wytworzona w układzie hamulcowym, nie jest w stanie jej odkształcić i zdeformowanej cieplnie wstawki dopasować do koła.

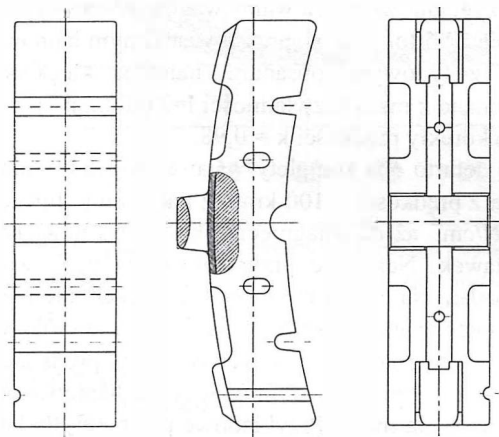
W celu ograniczenia deformacji cieplnych wstawek, które występują podczas hamowań z dużymi obciążeniami cieplnymi stosuje się powszechnie wstawki z dylatacjami poprzecznie otwartymi. W praktyce dylatacje te powodują istotne zwiększenie rzeczywistej powierzchni kontaktu wstawki z kołem podczas procesu hamowania [3]. Zwiększenie rzeczywistej powierzchni kontaktu niektórych tych wstawek z kołem podczas intensywnego hamowania, w porównaniu ze wstawkami pełnymi, prowadzi do zmniejszenia miej-

scowego strumienia ciepłego wnikaącego do wstawki, zmniejszenie miejscowych temperatur wstawki a co za tym idzie, likwiduje jej intensywne zużywanie się ograniczając przyczynę powstawania iskrzenia wstawek.

Uboczną zaletą stosowanych dylatacji we wstawkach jest wychwytywanie ewentualnie powstałych niewielkich iskier, które w procesie hamowania z dużymi obciążeniami cieplnymi wstawki zawsze mogą wystąpić.

2. Obiekt i zakres badań

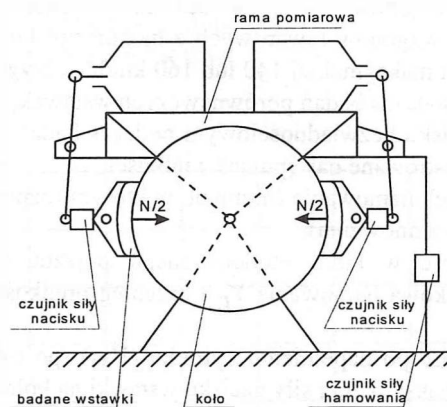
Na podstawie analizy zjawisk cieplnych i deformacji występujących we wstawkach podczas procesu hamowania i w ramach prac badawczych OBRPS prowadzonych w latach 1997-98, opracowano i zgłoszono do opatentowania nową konstrukcję wstawki z dylatacjami otworowymi przedstawioną na rys. 1 [4].



Rys. 1. Wstawka z dylatacjami według pomysłu OBRPS.

Budowa wstawki z dylatacjami została opracowana tak by z jednej strony wstawka spełniała wymagania odpowiedniej udarność wstawki [5], która zapewnia odpowiednią wytrzymałość na pęknięcie w eksploatacji, a z drugiej strony tak by zastosowane dylatacje zapewniły wstawce relatywnie małe deformacje cieplne podczas nagrzewania warstw wstawki leżących w pobliżu powierzchni tarcia. Ze względu na stawiane wstawkom wymagania udarność, dylatacje nie mogły być zbyt głębokie. Po to, by ich działanie zmniejszające cieplne deformacje mogły być skuteczne aż do zużycia około 2/3 grubości wstawki, wprowadzono specjalnie ukształtowane otwory, które po pewnym zużyciu wstawki zostają otwarte zanim nie znikną jeszcze dylatacje powierzchniowe. Tym samym otwory te spełniają rolę kolejnych, otwierających się w trakcie eksploatacji, dylatacji cieplnych i przeciwickrowych.

Badania wstawki z dylatacjami otworowymi przeprowadzono w listopadzie i grudniu 1998 r. w OBRPS-Poznań na homologowanym przez ORE (ERRI) stanowisku bezwładnościowym do badań hamulców kolejowych w wielkości naturalnej (wpisanego do Karty UIC 541-3 zał. 5, pkt 6.3 [6]).



Rys. 2. Schemat układu kinematycznego stanowiska badawczego.

Wstawki badane były na stanowisku w układzie kinematycznym pokazanym na rys. 2.

Każda wstawka zamocowana była w typowej obsadzie stosowanej w taborze kolejowym. Jest to niezwykle ważne, gdyż jej sztywność posiada istotny wpływ na rzeczywistą powierzchnię kontaktu wstawki z kołem podczas hamowań, w których występują deformacje cieplne wstawek.

Przedmiotem badań były tradycyjne wstawki hamulca klockowego DO-320-B według ZN-94/PKP-3517-04 i wstawki P10-320 z otworowymi dylatacjami przeciwickrowymi (rys. 1) produkcji „Spomel” w Łęborku. Oba rodzaje wstawek wykonano zgodnie z przedmiotowymi normami lub rysunkami, z materiału P10 (z jednego wytopu) oraz oba rodzaje wstawek przeszły z wynikiem pozytywnym badania według PN-92/K-88151 [5], co zostało potwierdzone przez dział Kontroli Jakości producenta i przez komisarza odbiorczego Użytkownika (PKP). Oba rodzaje wstawek poddano na stanowisku bezwładnościowym badaniom porównawczym według tego samego programu badań.

Celem badań porównawczych wstawek hamulcowych było:

- sprawdzenie wpływu zaproponowanych dylatacji przeciwickrowych na pojawienie i rozprzestrzenienie się iskrzenia podczas hamowań w porównaniu z zachowaniem się wstawek według ZN-94/PKP-3517-04;
- określenie zmian parametrów trybologicznych pary ciernej wstawka-koło spowodowanych tymi dylatacjami.

Badania porównawcze wykonano według programu badań obejmującego rzeczywistość występujące w eksploatacji parametry hamowanych wagonów i stosowanych układów hamulcowych. Dla obciążenia zestawu kołowego 22,5 t/oś wykonano po 10 hamowań z prędkości 70, 100 i 120 km/h (odpowiednio 19,4, 27,8 i 33,3 m/s) przy naciskach jednostkowych (obliczeniowych) 2, 4, 8 i 10 daN/cm², oraz hamowanie długotrwałe symulujące zjazd przez przełęcz Św. Gothard'a (dla tego zjazdu przyjęto następujące parametry próby: prędkość 70 km/h, czas zjazdu 30 min., stała moc hamowania 50 kW).

Na podstawie zdobytych doświadczeń zrezygnowano z prób z niewielkim obciążeniem cieplnym (np. z prędkości mniej-

szych niż 70 km/h), gdyż wówczas nie obserwuje się nawet dla wstawek pełnych iskrzenia. Ze względu na brak w eksploatacji wagonów z bardzo dużymi naciskami, np. 20 daN/cm² i wagonów towarowych z hamulcami klockowymi o prędkości maksymalnej 140 lub 160 km/h, zrezygnowano z tych prób podczas badań porównawczych wstawek.

Na stanowisku bezwładnościowym podczas badań były mierzone i rejestrowane następujące wielkości:

- początek hamowania (moment, w którym rozpoczyna się proces hamowania),
- prędkość w km/h modelowanego pojazdu (prędkość początkowa hamowania V_p i przebieg prędkości w czasie),
- prędkość po napełnieniu cylindra (V_{4s}) (po osiągnięciu 95% maksymalnej siły nacisku wstawki na koło),
- całkowita droga hamowania (S_1) od początku hamowania do zatrzymania,
- droga hamowania od momentu napełnienia cylindra hamulcowego do momentu zatrzymania (S_2),
- całkowity czas hamowania (t_h),
- siła nacisku wstawek na koło (N_j) w funkcji czasu,
- siła hamująca (F_{Hj}),
- temperatura w kole na głębokości ok. 10mm pod powierzchnią toczną koła (T_p – temperatura początkowa, T_k – temperatura końcowa, T_{max} – temperatura maksymalna),
- chwilowy współczynnik tarcia jako:

$$\mu_j = \frac{F_{Hj}}{N_j}$$

- maksymalny i minimalny chwilowy współczynnik tarcia (μ_{min} , μ_{max}) oraz prędkość przy jakiej one wystąpiły
- średni współczynnik tarcia w procesie hamowania jako:

$$\mu_{min} = \frac{1}{S_2} \int_{S_2} \mu_j \cdot dS_2 = \frac{1}{S_2} \sum_{j=1}^n \mu_j \cdot S_j ,$$

- średnie opóźnienie hamowania pojazdu:

$$a_m = \left(\frac{V_p}{3,6} \right)^2 \cdot \frac{1}{2S_1} ,$$

- średnia prędkość hamowania ze stałą mocą (V_m).

Pomiary wyżej wymienionych parametrów w poszczególnych próbach zostały zapisane w protokołach z prób. Przykład takiego protokołu przedstawiono w tabeli 1. Poza tym mierzone było zużycie wstawek poprzez ich ważenie przed i po określonej sekwencji prób.

3. Przebieg prób i uzyskane wyniki z badań

Próby porównawcze obu wstawek przeprowadzono w OBRPS na stanowisku bezwładnościowym do badań hamulców w wielkości naturalnej, z przetoczonym kołem monoblokowym 920 o średnicy 864 mm. W trakcie prób hamowania do zatrzymania zamodelowano wagon towarowy obciążony o masie 22,5 tony na oś, przy dwustronnym hamowaniu wstawkami z typowymi obsadami hamulca klockowego. Próby wykonano z masą bezwładności $I=2186 \text{ kgm}^2$ i współczynnikiem korekty prędkości $k = 0,98$.

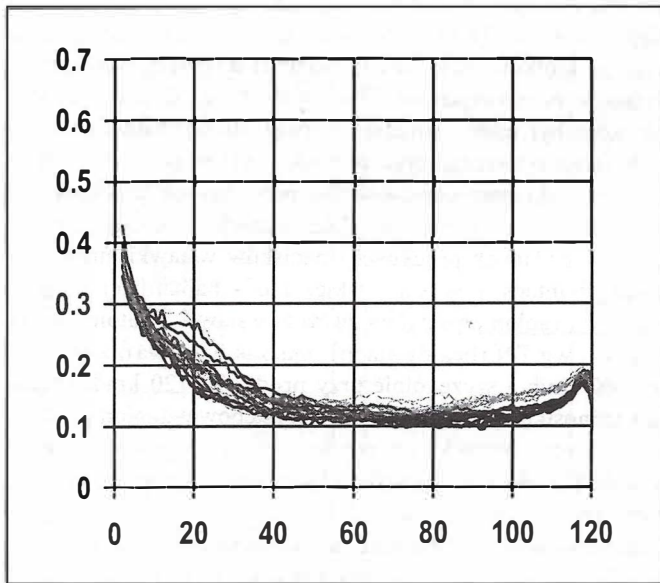
Na wstępie dotarto oba komplety wstawek hamowaniami do zatrzymania z prędkości 100 km/h z naciskami obliczeniowymi 8 daN/cm² aż do osiągnięcia około 80% powierzchni czarnej wstawek. Następnie przystąpiono do prób według programu badań. Na podstawie zarejestrowanych mierzonych wielkości opracowano przebiegi chwilowych współczynników tarcia dla obu rodzajów wstawek w funkcji prędkości dla hamowań do zatrzymania i w funkcji czasu hamowania dla hamowania ze stałą mocą. Przykładowe przebiegi dla hamowań z prędkości 120 km/h dla nacisków 4, 8 i 10 daN/cm² przedstawiono na rys. 3, 4 i 5. Przebiegi temperatur koła i chwilowych współczynników tarcia podczas hamowań ze stałą mocą przedstawiono na rys. 6. Uzyskane wyniki średnich współczynników tarcia w funkcji obliczeniowego nacisku jednostkowego wstawek na koło przedstawiono na rys. 7. Zgodnie z programem prób wstawek, ważono je przed i po każdej sekwencji 10-ciu hamowań. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2. Przebieg zużycia wstawek obu rodzajów w funkcji nacisku jednostkowego dla prędkości początku hamowania 70, 100 i 120 km/h przedstawiono na rys. 8.

Hamowania klockiem wg ZN-94/PKP-3517-04

Nr : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hamowania klockiem z dylatacjami

Nr : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



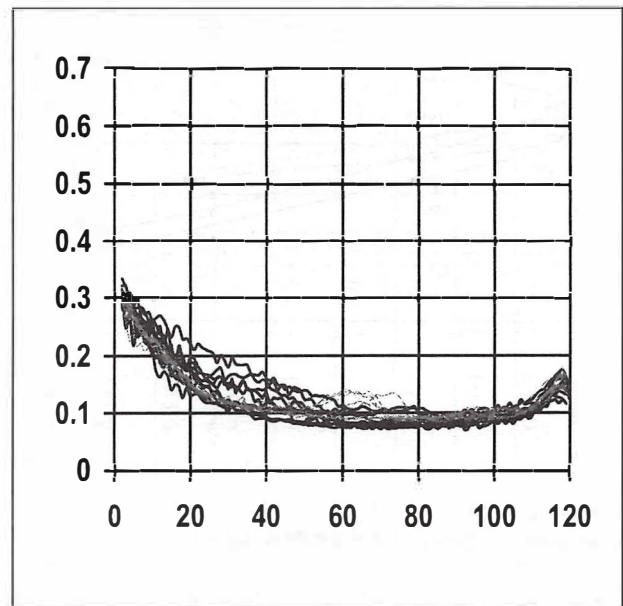
Rys. 3. Przebieg współczynnika tarcia wstawki pełnej i z dylatacjami w funkcji prędkości podczas hamowań do zatrzymania z prędkością 120 km/h z obliczeniowym naciskiem jednostkowym 4 daN/cm².

Hamowania klockiem wg ZN-94/PKP-3517-04

Nr : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Hamowania klockiem z dylatacjami

Nr : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



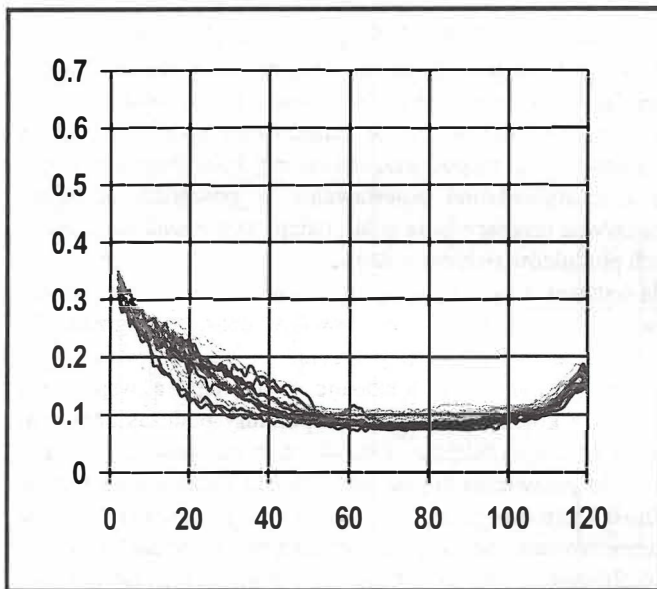
Rys. 5. Przebieg współczynnika tarcia wstawki pełnej i z dylatacjami w funkcji prędkości podczas hamowań do zatrzymania z prędkością 120 km/h z obliczeniowym naciskiem jednostkowym 10 daN/cm².

Hamowania klockiem wg ZN-94/PKP-3517-04

Nr : 1 2 3 4 5 6 8 9 10

Hamowania klockiem z dylatacjami

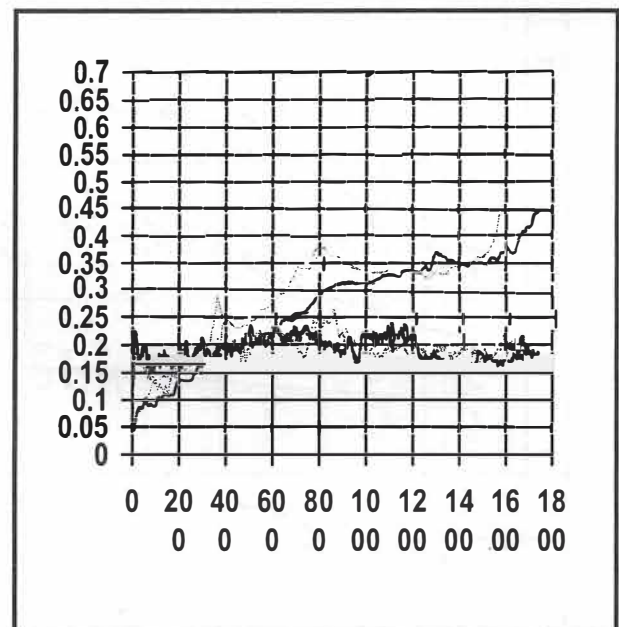
Nr : 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10



Rys. 4. Przebieg współczynnika tarcia wstawki pełnej i z dylatacjami w funkcji prędkości podczas hamowań do zatrzymania z prędkości 120 km/h z obliczeniowym naciskiem jednostkowym 8 daN/cm².

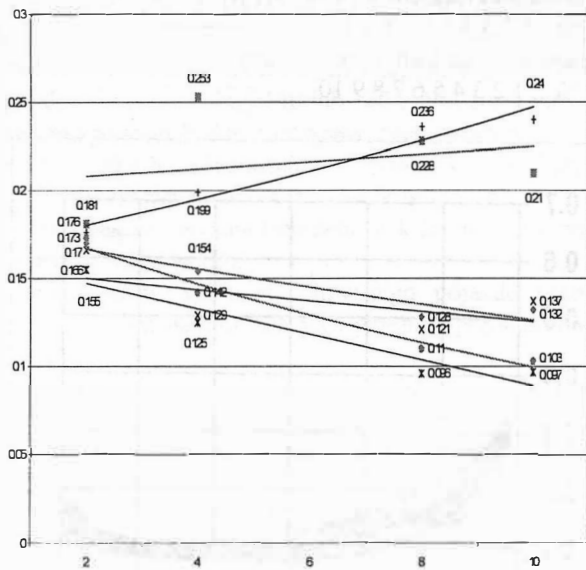
Hamowania klockiem wg ZN-94/PKP-3517-04

Hamowania klockiem z dylatacjami



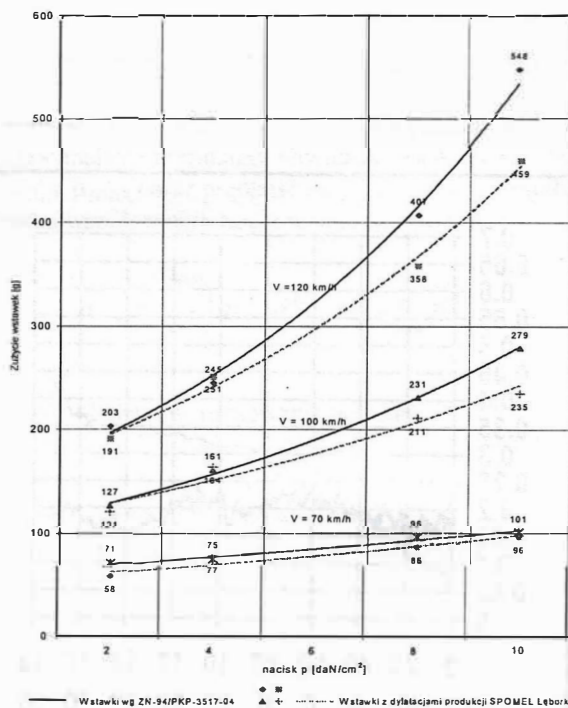
Temperatura x1000 = °C

Rys. 6. Przebieg temperatur i współczynnika tarcia wstawki pełnej i z dylatacjami podczas hamowania ze stałą mocą (symulacja zjazdu z przełęczy Św. Gotharda).



x wstawa wg ZN-94/PKP-3517-04
o wstawa z dylatacjami produkcji SPOMEL Lębork

Rys. 7. Średnie współczynniki tarcia w funkcji obliczeniowego nacisku jednostkowego wstawk na koło, uzyskane podczas prób hamowania do zatrzymania z prędkości 70, 100 i 120 km/h.



Rys. 8. Przebieg zużycie wstawk hamulcowych pełnych i z dylatacjami w funkcji nacisku dla prób hamowania do zatrzymania z prędkości 70, 100 i 120 km/h.

4. Obserwacje iskrzenia podczas badań

Na początku każdego hamowania, w czasie napełniania cylindrów hamulcowych i bezpośrednio po nim, obserwowano dla obu rodzajów badanych wstawk występowanie niewielkiego iskrzenia. Te nieliczne iskry dla wstawk z dylatacjami były po krótkim czasie (ok. 5 sekund) wychwytywane przez dylatacje przeciwiskrowe. Dla wstawk bez dylatacji proces iskrzenia był intensywniejszy i trwał dłużej. Również wielkość isker opuszczających wstawkę była większa. Szczególnie duże iskrzenie obserwowano przy dużych prędkościach jazdy z dużymi naciskami. Dla wstawk z dylatacjami w zakresie badanych prędkości i nacisków wstawk, nigdy nie wystąpił intensywny snop isker lub - najbardziej niebezpieczny - zapłon produktów zużycia wstawk. Natomiast dla wstawk wg ZN (bez dylatacji) podczas hamowań z prędkości 100 km/h a szczególnie przy prędkości 120 km/h i nacisku jednostkowym 10 daN/cm² występował zapłon produktów zużycia wstawk na powierzchni tocznej koła tuż za wstawką. Powyższe zjawisko obserwowano przed zatrzymaniem przy prędkości około 15 km/h.

Generalnie można stwierdzić, że wstawa z dylatacjami podczas hamowań do zatrzymania z prędkości 100 i 120 km/h z dużymi naciskami (8 i 10 daN/cm²) wykazywała dużo mniejszą skłonność do pojawienia się iskrzenia, a jeżeli się ono pojawiło, to były to iskry drobne, skutecznie wychwytywane przez dylatacje przeciwiskrowe.

Proces hamowania wstawkami bez dylatacji rozpoczął się kontaktem wstawk z kołem w górnej i dolnej części wstawk i w trakcie hamowania obszary kontaktu wstawk, w postaci rozgrzanych do czerwoności obszarów wstawk, przemieszczały się do środka wstawk łącząc się na koniec w jeden obszar długości około 1/4 długości wstawk. Dla prędkości 120 km/h występowały na powierzchni koła obszary niestabilności termosprężystej tj. intensywne przegrzania miejscowe obserwowane w czasie hamowania jako intensywnie czerwone smugi na powierzchni tocznej koła. Po zatrzymaniu na kole stwierdzono powstawanie w obszarach przegrzań intensywne przebarwienia koła i nalepy utworzone ze spieczonych produktów zużycia wstawk.

Dla wstawk z dylatacjami proces przemieszczania się obszarów rozgrzanych był bardzo powolny, obszary rozgrzane do czerwoności o większej powierzchni i o bardziej wiśniowym kolorze (ciemniejsze). Wskazuje to na lepszą współpracę wstawk z kołem i na niższe temperatury podczas hamowania. A co najważniejsze, wstawk z dylatacjami nie prowadziły do pojawienia się na powierzchni tocznej koła niestabilności termosprężystej (miejscowych przegrzań) oraz nie zaobserwowano pojawienia się nalepów z produktów zużycia. Również podczas hamowań symulujących zjazd przez przełęcz St. Gothard'a pojedyncze drobne iskry wychwytywane były przez dylatacje, a dla klocka pełnego występowały większe iskry i opuszczały płaszczyznę styku koło-klock. Po próbach ze stałą mocą ze wstawkami bez dylatacji (wg ZN) stwierdzono pojawienie się nalepów na powierzchni tocznej koła, natomiast po próbach z wstawkami z dylatacjami koło było gładkie.

Protokół z prób hamowania na stanowisku bezwładnościowym 12SB

Tabela1

Firma produkująca wstawki hamulcowe SPOMEL Data produkcji 46 / 98		Wymiary wstawki z dylatacjami wymiarowo zgodna z DO-320-B		Materiał wstawki P10		Rodzaj koła Koło walcowane 920 o \varnothing 864mm		Program badań wg wytycznych CNTK Warszawa		Średnica koła $2r_k = 864$ mm Promień hamowania $R_H = 432$ mm		Masa pojazdu przypadająca na koło $m = 11.25$ t		Moment bezwładności stanowiska 2186 kgm ² Współczynnik kor. $k = 0.98$		Czas napełniania cylindra hamulcowego 4s \pm 0.2s	
Hamowanie Nr	$V_p (V_m)$ ----- V_{4s}	Średnia siła nacisku N (Średnia siła hamowania F_H)	T_p ----- T_k	T_{max1} ----- T_{max1}	----- ----- T_{4s}	S_1 ----- S_2	t_h	a_m	μ_{min} ----- V ; (t)	μ_{max} ----- V ; (t)	μ_m	Uwagi					
Nr	km/h	daN	°C	°C	°C	m	s	m / s ²	*\km/h(s)	*\km/h(s)	*						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
1	120.4 118.8	1023.8	50.2 115.0	131.8 131.8	---- 55.3	2922.9 2790.4	173.0	0.191	0.143 41.1	0.439 1.6	0.171						
2	120.2 118.3	1023.8	51.4 119.9	126.1 126.1	---- 57.0	3037.7 2902.6	175.6	0.183	0.134 73.5	0.416 1.6	0.172						
3	120.4 118.6	1023.8	48.3 117.7	129.6 129.6	---- 51.0	2984.1 2848.9	173.1	0.187	0.144 53.5	0.426 1.8	0.176						
4	120.2 118.7	1023.8	48.6 113.3	119.6 119.6	---- 53.4	3018.6 2883.4	175.6	0.185	0.136 58.3	0.437 1.5	0.174						
5	120.3 118.4	1023.9	48.9 110.1	114.7 114.7	---- 52.4	3008.1 2872.9	174.6	0.186	0.147 41.8	0.446 1.5	0.174						
6	120.3 118.7	1023.8	46.8 111.3	114.5 114.5	---- 50.1	3035.8 2900.8	177.0	0.184	0.136 52.2	0.423 1.7	0.172						
7	120.3 118.5	1023.8	49.9 114.2	116.0 116.0	---- 51.2	3094.7 2959.6	178.9	0.181	0.136 45.8	0.455 1.4	0.168						
8	120.3 118.7	1023.8	35.7 99.3	107.5 107.5	---- 39.3	3097.4 2962.2	179.4	0.180	0.138 57.5	0.441 1.5	0.168						
9	120.4 118.7	1023.9	49.4 113.8	126.9 126.9	---- 53.7	3014.2 2879.0	173.9	0.186	0.135 45.2	0.438 1.6	0.174						
10	120.3 118.4	1023.8	50.0 129.0	129.9 129.9	---- 41.4	2990.1 2854.9	172.4	0.187	0.132 64.7	0.435 1.6	0.176						

nacisk p [daN/cm ²]	V = 70 km/h		V = 100 km/h		V = 120 km/h	
	wg ZN	z dylatacjami	wg ZN	z dylatacjami	wg ZN	z dylatacjami
2	71	58	127	121	203	191
4	75	77	161	164	245	251
8	96	86	231	211	407	358
10	101	96	279	235	548	459

	wg ZN	z dylatacjami
P = 50 kW, V = 70 km/h, czas próby = 1741 s	405	322

5. Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników i zaobserwowanych zjawisk wskazuje na większą powierzchnię rzeczywistego kontaktu wstawki z dylatacjami podczas hamowania w porównaniu ze wstawką wg ZN, co prowadzi do mniejszych rzeczywistych nacisków jednostkowych, niższych temperatur w płaszczyźnie tarcia, ograniczenia iskrzenia, mniejszych zużyć i stabilniejszego współczynnika tarcia. Korzystne zachowanie się wstawki z dylatacjami otworowymi spowodowane jest mniejszą deformacją cieplną wstawek, przy równoczesnym spełnieniu wymagań odpowiedniej udarności wstawki. Nieliczne i drobne iskry powstające czasami podczas hamowań wychwytywane były przez dylatacje. Przebieg chwilowych współczynników tarcia obu rodzajów wstawek jest podobny, przy czym daje się zauważyć nieco większe wartości dla wstawki z dylatacjami, szczególnie dla większych prędkości chwilowych (rys. 3, 4, 5). Dzięki temu wartości średnich współczynników tarcia wstawek z dylatacjami są również nieco większe niż dla wstawek wg ZN. Prowadzić to będzie w eksploatacji do skrócenia dróg hamowania (polepszenie bezpieczeństwa), szczególnie dla dużych prędkości przy równoczesnym mniejszym obciążeniu cieplnym kół i wstawek hamulcowych. Dla niewielkich mocy chwilowych hamowania (przy niewielkich prędkościach i naciskach) zużycia obu rodzajów wstawek są porównywalne. Wraz ze wzrostem obciążenia cieplnego wstawek wyraźnie ujawniają się zalety wstawki z dylatacjami otworowymi. Zużycie tej wstawki w porównaniu z wstawką wg ZN jest mniejsze nawet o około 20%. Również w próbach symulujących zjazd przez przełęcz St. Gothard'a zużycie wstawek z dylatacjami było mniejsze o około 25% (tabela 2). Zmniejszone zużycie wstawki z dylatacjami w porównaniu do zużycia wstawki pełnej uzyskane w tych badaniach można przyjąć jako miarę zwiększonej powierzchni rzeczywistego kontaktu wstawki z dylatacjami występującej w procesie hamowania a tym samym lepszej współpracy z kołem. Spowodowane jest to tym, że zużycie wstawki silnie zależy od jej temperatury w płaszczyźnie tarcia (szczególnie przy dużych obciążeniach cieplnych). Mniejsza powierzchnia rzeczywistego kontaktu pełnej wstawki (bez dylatacji) z kołem prowadzi do większego strumienia cieplnego i tym samym do pojawienia się większych temperatur w płaszczyźnie tarcia i co za tym idzie większych zużyć wstawki.

Reasumując można stwierdzić, że wstawki z otworowymi dylatacjami przeciwwiskrowymi według rozwiązania OBRPS [4], wyprodukowane przez Odlewnię Żeliwa i Metali Nieżelaznych „Spomel” w Łęborku w porównaniu z wstawkami wg ZN-94/PKP-3517-04 (bez dylatacji) wykazują się następującymi zaletami:

- niższe temperatury w płaszczyźnie tarcia tzn. mniejsze obciążenie cieplne koła, które, jeżeli jest duże, może być przyczyną pęknięcia kół,
- mniejsze zużycie wstawek, szczególnie dla dużych prędkości i nacisków wstawek na koło,
- istotne ograniczenie powstawania iskrzenia,
- dobra współpraca z powierzchnią toczną koła (brak przegrzań podczas hamowań i nie tworzenie nalepów na jej powierzchni),
- uzyskiwanie nieco większych i stabilniejszych współczynników tarcia, szczególnie dla hamowań z dużych prędkości i z dużymi naciskami (np. w eksploatacji dla hamowań pełnych i nagłych), co prowadzi do zwiększenia bezpieczeństwa jazdy,
- skuteczne wychwytywanie nielicznych i drobnych iskier przez dylatacje.

Biorąc pod uwagę tak pozytywne wyniki badań wstawek z otworowymi dylatacjami, producent „Spomel”-Łębork wystąpił i uzyskał w Centrum Naukowo-Technicznym Kolejnictwa w Warszawie „Świadectwo Kwalifikacji Wyrobu do stosowania w Przedsiębiorstwie Państwowym PKP” (nr 090/99 wydane 28.06.1999r.).

Od początku 1999 roku „Spomel” dostarcza wstawki hamulcowe z otworowymi dylatacjami do dziewięciu Zakładów Taboru PKP w całej Polsce. Po rocznej eksploatacji wszystkie te Zakłady wydały pozytywną opinię o pracy tych wstawek w eksploatowanym taborze kolejowym.

Literatura

- [1] Kazarinov V. M., Inozemcev V. G., Jasiencov V. F.: *Teoreticheskie osnovy projektirovaniya i ekspluatatsii tormozov*. Izdatelstvo „Transport” 1968.
- [2] Dżuła S., Urbańczyk P. *Wpływ odkształceń termicznych klocka hamulcowego na współpracę z powierzchnią toczną koła*. XIII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe'98”. ZN Politechniki Śląskiej 1998. Seria: TRANSPORT z.32 nr kol. 1393.

[3] Chmurawa M., Markusik S., Pypno C.: Nieiskrzące wstawki hamulcowe z żeliwa fosforowego do pojazdów szynowych. XIII Konferencja Naukowa „Pojazdy Szynowe '98”. ZN Politechniki Śląskiej 1998. Seria: TRANSPORT z.32 nr kol. 1393

[4] Zgłoszenie wynalazku do ochrony nr P330171: Element hamulcowy, zwłaszcza do hamulców pojazdów szynowych. Zgłaszający: OBRPS-TABOR, twórca: M. Kaluba.

[5] Norma PN-92/K-88151

[6] Karta UIC 541-3VE Wydanie 4 01.07.1993.

prof. dr hab. inż. Włodzimierz Gąsowski
Politechnika Poznańska
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”
mgr inż. Marek Sobaś
Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR”

O pewnych możliwościach zastosowania koncepcji probabilistycznej skrajni kinematycznej pojazdów szynowych (3)

Niniejsza praca kontynuuje cykl artykułów ujmujących nowe podejście do określenia skrajni kinematycznej pojazdów szynowych. W tej części pracy przedstawiono próbę oszacowania przemieszczenia poprzecznego na drodze statystycznej na przykładzie wagonów towarowych czteroosiowych wyposażonych w układy biegowe z zawieszeniem typu „Y25”.

CZĘŚĆ III

ZASTOSOWANIE RACHUNKU PRAWDOPODOBIENSTWA W OBLICZENIACH PRZEMIESZCZENIA POPRZECZNEGO W STREFIE PRZYMAŹNICZNEJ

1. Wprowadzenie

Poprzeczne przemieszczenia pojazdu w torze mają dwójaki charakter: kinematyczny i dynamiczny. W konsekwencji na wartość zwiężeń zarysu odniesienia skrajni kinematycznej, określających maksymalne wymiary pojazdu w przekroju poprzecznym, mają wpływ, obok przemieszczeń geometrycznych pojazdu względem toru, także przemieszczenia dynamiczne wynikające z możliwości wyczerpania luzu w konstrukcji układu biegowego pojazdu. Analizie powinno więc podlegać przemieszczenie ostoju lub ramy wózka pojazdu wózkowego względem zestawu kołowego (oznaczone w obliczeniach zwiężeń skrajni jako q). W żadnym z dotychczasowych opracowań dotyczących skrajni nie analizowano, czy wymiar ten podczas eksploatacji może być wyczerpany wskutek oddziaływania dynamicznego. Niniejsza część pracy obejmuje zagadnienia dynamicznych przemieszczeń poprzecznych. W analizie oddziaływań dynamicznych istotne jest ustalenie wartości przyspieszenia odśrodkowego, które może jako ekstremalne, działać na wagon znajdujący się w łuku toru, ze wszystkimi konsekwencjami tego procesu. Następnie wyznaczono wartość przyspieszenia odśrodkowego metodą statystyczną. W oparciu o tak wyznaczone przyspieszenie określono wartość prawdopodobnego ugięcia.

2. Analiza wielkości przyspieszenia niezrównoważonego

Jak wynika z [11] wartością przyspieszenia poprzecznego, przyłożonego w środku ciężkości, w kierunku poprzecznym, którą przyjmuje się do obliczeń wytrzymałościowych zestawów kołowych wagonów towarowych, jest tzw. $\beta = 0,15g = 1,47 \text{ m/s}^2$. Według przepisów krajowych [14] największe dopuszczalne, niezrównoważone przyspieszenie w ruchu towarowym nie może przekroczyć $a_n \leq 0,6 \text{ m/s}^2$. Zbliżoną wartość niezrównoważonego przyspieszenia odśrodkowego, wynoszącą $0,7 \text{ m/s}^2$ dla łuków $R = 250 \text{ m}$, przyjmuje się również do analiz układów sterowania pudła [3]. Jest to maksymalna wartość, która w rzeczywistości rzadko jest osiągnięta. Z reguły wartość niezrównoważonego przyspieszenia jest znacznie mniejsza. Dobór wartości dopuszczalnego przyspieszenia niezrównoważonego ma związek z efektywną przechyłką zastosowaną na łuku. W celu uzyskania możliwie małych różnic w odkształceniu i zużyciu obu toków szyn na liniach o różnych prędkościach pociągów towarowych i pasażerskich należy zastosować przechyłkę uwzględniającą:

- największą prędkość pociągów pasażerskich na danym szlaku,
- prędkość pociągów towarowych,
- natężenie przewozów.