

Stanisław NOSAL\*, Tomasz ORŁOWSKI\*\*

## WPLYW WYBRANYCH NAPEŁNIACZY NA WŁAŚCIWOŚCI CIERNYCH MATERIAŁÓW HAMULCOWYCH

### INFLUENCE OF THE SELECTED FILLERS ON THE PROPERTIES OF THE FRICTION MATERIALS

#### Słowa kluczowe:

materiał cierny, smary stałe, współczynnik tarcia, zużycie

#### Key-words:

friction material, solid lubricant, coefficient of friction, wear

#### Streszczenie

W referacie przedstawiono wpływ wybranych napełniaczy proszkowych – smarów stałych, na właściwości fizykomechaniczne i tarciovo-zużyciowe klocków hamulcowych do samochodów ciężarowych. Próbki kompozytowe różniły się zawartością i rodzajem napełniacza dodanego do materiału bazowego. Dodawano 2%, 4% i 8% następujących środków smarujących:

---

\* Politechnika Poznańska, Instytut Maszyn Roboczych i Pojazdów Samochodowych, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: stanislaw.nosal@put.poznan.pl, tel.: (061) 6652232.

\*\* Lumag Sp. z o.o, 64-840 Budzyń, e-mail: t.orlowski@lumag.pl, tel.: (067) 2844827.

siarczku antymonu o różnej zawartości metalu, siarczków: molibdenu, żelaza (II), manganu, żelaza i miedzi, smaru na bazie siarczku cynku oraz stearynianu wapnia. Badania tribologiczne wykonano ze stałym momentem hamowania na stanowisku Kraussa typu RWDC 136B z zamontowanym hamulcem (opisanym w Regulaminie 90 ECE, załącznik 8). Tarcza hamulcowa była wykonana z żeliwa szarego. Test tribologiczny trwał 4 godziny. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że rodzaj oraz ilość napełniacza dodanego do materiału bazowego ma istotny wpływ na właściwości ciernych materiałów hamulcowych. Najlepsze właściwości tribologiczne, zwłaszcza odporność na zużycie, wykazał materiał cierny zawierający dodatek siarczku molibdenu.

## WPROWADZENIE

Wzrost prędkości pojazdów, ich masy całkowitej, wymagania ochrony środowiska oraz nowe regulacje prawne wymagają ciągłej pracy nad doskonaleniem i rozwijaniem nowych ciernych materiałów hamulcowych. Rozwój nowych materiałów ciernych jest komplikowany przez wzajemne oddziaływania i efekt synergiczny tworzących je składników. Bardzo często dobór poszczególnych składników wynika z eksperymentów praktycznych. Podczas hamowania w strefie kontaktu pomiędzy klockiem a tarczą hamulcową dochodzi do przenoszenia energii i rozpraszania ciepła. W tym czasie z materiału ciernego oraz materiału tarczy hamulcowej tworzy się tzw. „third body layer” (TBL), czyli warstwa, która jest odpowiedzialna za skuteczność hamowania [L. 1].

Jedną z głównych grup składników tworzących materiały cierne i mającą duży wpływ na powstawanie TBL są smary stałe [L. 2], które można określić jako ciała stałe zmniejszające tarcie i zużycie trących się elementów. Do tej grupy należy zaliczyć m.in. siarczki metali, grafit i koks naftowy.

Siarczków metali używa się głównie w metalurgii, w spawalnictwie, w materiałach ogniotrwałych, w ceramice, w materiałach ciernych. Są one znane ze swoich właściwości smarujących, ale niektóre z nich zwiększają skuteczność hamowania w wysokich temperaturach. Siarczki takie, jak  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{SnS}_2$ ,  $\text{WS}_2$ ,  $\text{TiS}_2$  mają słabe oddziaływania Van der Waalsa pomiędzy warstwami, dzięki czemu jedna warstwa może się łatwo ślizgać po drugiej. Siarczki takie, jak:  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{S}_3$ ,  $\text{CuS}$ ,  $\text{MnS}$ ,  $\text{SnS}$  nie mają warstwowej budowy, ale są używane także jako środki smarujące.

Są to wyjątkowo miękkie siarczki, które są używane w materiałach ciernych jako składniki zmniejszające zużycie klocków i tarcz hamulcowych oraz poprawiające zachowanie komfortowe. Siarczki metali są generalnie bardziej miękkie niż powstałe z nich po utlenieniu tlenki z wyjątkiem siarczku ołowiu. Obecnie wiele siarczków metali podczas produkcji modyfikuje się w celu stabilizacji współczynnika tarcia, lepszej odporności na fading w szerokim zakresie temperatur, lepszej odporności na spadek współczynnika tarcia w zależności od prędkości i ciśnienia oraz poprawy właściwości komfortowych, zmniejszenia zużycia klocków i tarcz hamulcowych [L. 3].

Siarczki metali są drogie i nie stosuje się ich do okładzin ciernych hamulców bębnowych, natomiast ich użycie do klocków hamulców tarczowych jest uzasadnione, ale wymaga wiedzy jaki rodzaj i w jakiej ilości należy je zastosować.

Celem referatu jest przedstawienie wpływu wybranych środków smarujących i ich ilości na właściwości tarciovo-zużyciowe materiałów ciernych.

## **BADANIA**

### **Przedmiot badań**

Aby określić wpływ środków smarujących na właściwości tribologiczne materiałów ciernych, do materiału bazowego dodawano 2%, 4% i 8% następujących środków smarujących: siarczek antymonu o zawartości antymonu 66% i 70%, siarczki: molibdenu, żelaza (II), manganu, żelaza i miedzi, smar na bazie siarczku cynku oraz stearynian wapnia. Wielkość dodatku wynosiła 2–8%, była różna dla różnych składników i wynikała z charakteru ich działania, danych literaturowych oraz doświadczeń autorów.

Jako materiału bazowego (PB) użyto kompozytu ciernego o następującym składzie: wełna stalowa – 31% (wag.), grafit i koks naftowy – 20%, napełniacze nieorganiczne – 41,5%, żywica fenolowa – 7,5%. Powstałe kompozyty zawierały stałą ilość środka wiążącego (7,5%), dodatek odpowiednio 2%, 4% lub 8% badanego środka smarującego oraz pozostałe składniki materiału bazowego, proporcjonalnie pomniejszone. Sposób przygotowania materiałów ciernych do badań był taki sam, jak opisany w referacie [L. 4]. Materiały te zestawiono w **Tabeli 1**. Tarcza hamulcowa była wykonana z żeliwa szarego GH 190 wg DIN.

**Tabela 1. Materiały cierne użyte w badaniach**

Table 1. Friction materials used in studies

Lp.	Materiał cierny	Rodzaj siarczku i zawartość w nim metalu	Zawartość siarczku [%](wag)
1	PB-SB1-2	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> – 66% Sb	4,0
2	PB-SB1-3	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> – 66% Sb	8,0
3	PB-SB2-2	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> – 70% Sb	4,0
4	PB-SB2-3	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> – 70% Sb	8,0
5	PB-MO-1	MoS <sub>2</sub> – 56,5% Mo	2,0
6	PB-ZN-1	ZnS	2,0
7	PB-FE-2	FeS – 41% Fe	4,0
8	PB-MN-2	MnS – 40% Mn	4,0
9	PB-CUFE-2	Cu <sub>2</sub> S-FeS – 32% Cu i 26% Fe	4,0
10	PB-CUFE-3	Cu <sub>2</sub> S-FeS – 32% Cu i 26% Fe	8,0
11	PB-SW-1	stearynian wapnia o zawartości 8% Ca	2,0

### Metodyka badań

**Właściwości tribologiczne** badano na stanowisku firmy Krauss GmbH typu RWDC 136B, wykorzystując hamulec Tevesa SS 60. Opis stanowiska badawczego, zastosowanego hamulca oraz szczegółowego testu tribologicznego znajduje się w referacie [L. 4]. Podczas trwania testu rejestrowano: prędkość obrotową, moment tarcia i temperaturę na powierzchni tarczy hamulcowej za pomocą czujnika ślizgowego.

Na podstawie przeprowadzonych testów określano:

- 1) wartości zużycia liniowego oraz wagowego, na podstawie którego obliczano zużycie objętościowe,
- 2) wartości współczynnika tarcia: średnią, minimalną, maksymalną dla całego testu oraz średnie wartości dla kroków rozpoczynających się w temperaturze: 100°C, 200°C, 300°C i 400°C,
- 3) wskaźniki stabilności współczynnika tarcia  $\gamma_1$  i  $\gamma_2$ .

Wskaźniki stabilności współczynnika tarcia  $\gamma_1$  i  $\gamma_2$  obliczano z zależności:

$$\gamma_1 = 1 - \mu_{\min.} / \mu_{\max.},$$

$$\gamma_2 = 1 - \mu_{100} / \mu_{400},$$

gdzie:  $\mu_{\min.}$  i  $\mu_{\max.}$  – minimalna i maksymalna wartość współczynnika tarcia,  
 $\mu_{100}$  i  $\mu_{400}$  – wartości współczynnika tarcia uzyskane z zahamowań z temperatury początkowej 100°C i 400°C.

Jeśli wskaźniki  $\gamma_1$  i  $\gamma_2$  są bliskie 0, wówczas tarcie ma stabilny charakter. Dąży się do tego, aby wartości współczynnika tarcia  $\mu_{\min}$ ,  $\mu_{\max}$  oraz  $\mu_{100}$  i  $\mu_{400}$  były jak najbardziej zbliżone. Nie jest pożądany zbyt niski współczynnik tarcia  $\mu_{\min}$ , gdyż wówczas mamy do czynienia ze zjawiskiem fadingu i wyraźnym spadkiem skuteczności hamowania na gorąco. Zbyt duży współczynnik tarcia może mieć wpływ na generowanie pisków oraz intensyfikować zużycie. Gęstość wyznaczono metodą immersyjną, na podstawie normy PN – 92/C-89035 [L. 5].

Twardość mierzono metodą Rockwella w skali HRR wg normy PN – 93/C-89030/02 dla tworzyw sztucznych [L. 6]. Jako wgłębnik zastosowano kulkę stalową o średnicy 12,70 mm.

## REZULTATY BADAŃ I ICH Dyskusja

Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2. Wyniki badań tribologicznych materiałów ciernych**

Table 2. Data that has been retrieved after tribologic tests processing

Material cierny	$\mu_{\text{sr}}$	$\mu_{\text{min}}$	$\mu_{\text{max}}$	$\mu_{100}$	$\mu_{400}$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$Z_v$ [cm <sup>3</sup> ]	d [g/cm <sup>3</sup> ]	H [HRR]
PB	0,439	0,292	0,624	0,458	0,381	0,533	-0,204	2,17	2,83	64,18
PB-SB1-2	0,406	0,278	0,629	0,479	0,329	0,558	-0,454	2,94	2,89	71,33
PB-SB1-3	0,378	0,266	0,603	0,484	0,317	0,559	-0,525	2,58	2,91	68,13
PB-SB2-2	0,390	0,282	0,558	0,424	0,340	0,495	-0,249	2,64	2,88	69,33
PB-SB2-3	0,374	0,274	0,602	0,473	0,312	0,544	-0,518	2,06	2,94	63,63
PB-MO-1	0,426	0,291	0,570	0,406	0,405	0,489	-0,004	1,54	2,86	67,40
PB-ZN-1	0,411	0,266	0,601	0,409	0,382	0,558	-0,069	2,14	2,84	54,18
PB-FE-2	0,400	0,289	0,572	0,381	0,358	0,496	-0,064	1,91	2,87	66,88
PB-MN-2	0,437	0,246	0,701	0,455	0,359	0,649	-0,266	2,03	2,78	51,98
PB-CUFE-2	0,392	0,285	0,557	0,409	0,344	0,489	-0,189	2,24	2,87	66,70
PB-CUFE-3	0,408	0,306	0,584	0,414	0,372	0,476	-0,112	1,75	2,95	72,38
PB-SW-1	0,419	0,281	0,557	0,387	0,414	0,496	0,065	2,09	2,79	73,50

$\mu_{\text{sr}}$ ,  $\mu_{\text{min}}$ ,  $\mu_{\text{max}}$ ,  $\mu_{100}$ ,  $\mu_{400}$  – odpowiednio wartości współczynnika tarcia: średnia, minimalna, maksymalna, w temperaturze 100°C i 400°C;  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  – wskaźniki stabilności współczynnika tarcia;  $Z_v$  – zużycie objętościowe; d – gęstość; H – twardość Rockwella; PB – materiał bazowy.

Większość testowanych środków smarujących po dodaniu do materiału bazowego miało wpływ na średni współczynnik tarcia i spowodowało jego obniżenie, z wyjątkiem siarczku molibdenu, siarczku manganu i stearynianu wapnia.

Najniższą wartość  $\gamma_1$  uzyskano w przypadku materiałów zawierających siarczki żelaza i miedzi, siarczki molibdenu i stearynian wapnia. Wynikało to głównie z obniżenia maksymalnej wartości współczynnika tarcia. W tych materiałach minimalny współczynnik tarcia pozostał na niezmiennym poziomie. Najbardziej niekorzystny wpływ na  $\gamma_1$  miał dodatek siarczku manganu. Wynikało to ze wzrostu maksymalnego współczynnika tarcia i obniżenia współczynnika tarcia minimalnego.

Największą odporność na zużycie wykazał materiał cierny zawierający 2% siarczku molibdenu. Pozytywny efekt dał też dodatek siarczku żelaza i miedzi. Jednak tutaj istotna jest jego zawartość. Dodatek 4% siarczku żelaza i miedzi nie spowodował obniżenia zużycia, dopiero dodanie 8% spowodowało korzystny efekt. Niektóre środki smarujące wprowadzone do materiału bazowego nie spowodowały ani obniżenia, ani wzrostu zużycia, np. siarczki cynku, siarczki manganu i stearynian wapnia. Zdecydowanie negatywny wpływ miał dodatek siarczku antymonu. Generalnie spowodował on wzrost zużycia z wyjątkiem materiału zawierającego 8% siarczku o zawartości antymonu 70%. Wynika to prawdopodobnie z faktu, że składnik ten w stosunkowo niskiej temperaturze 380°C rozpoczyna proces utleniania. Siarek antymonu o większej zawartości metalu wykazał korzystniejszy wpływ na zużycie niż siarek zawierający 66% antymonu.

W przypadku trzech dodatków: siarczki antymonu o zawartości metalu 66% i 70% oraz siarczku żelaza i miedzi testowano wpływ ilości środka smarującego na jego właściwości. W każdym przypadku uzyskano lepsze rezultaty dla materiału o zawartości dodatku 8% niż w analogicznych materiałach zawierających tylko 4% środka smarującego.

W **Tabeli 2** zamieszczono także średnie wartości współczynnika tarcia z całego testu średnie wartości współczynnika tarcia z temperatury 100°C i 400°C oraz wskaźnik stabilności współczynnika  $\gamma_2$ . Idealny materiał cierny powinien mieć stały współczynnik tarcia przez cały przebieg testu. Najbardziej stabilne tarciowo materiały to te, które zawierały dodatki siarczku molibdenu, siarczku cynku, siarczku żelaza oraz stearynianu wapnia.

Dodatki siarczków metali i stearynianu wapnia nie spowodowały znaczących zmian twardości materiału ciernego. Uzyskane wyniki w porównaniu z materiałem bazowym różniły się o  $\pm 10$  HRR.

### PODSUMOWANIE

Smary stałe wywierają istotny wpływ na zużycie oraz współczynnik tarcia w całym zakresie temperatur. Niektóre z powszechnie używanych w materiałach ciernych siarczków, np. siarczek antymonu nie wykazały efektu poprawy odporności na zużycie, co potwierdza pogląd o efekcie synergicznym i wzajemnym oddziaływaniu składników. Najlepszy efekt poprawy odporności na zużycie oraz stabilności współczynnika tarcia uzyskano dla ciernego materiału hamulcowego zawierającego dodatek 2% siarczku molibdenu.

### LITERATURA

1. Gudman-Hoyer L., Bach A., Nielsen G.T., Morgen P.: Tribological properties of automotive disc brakes with solid lubricants, *Wear* 1999; 232, 168–175.
2. Kim S.J., Cho M.H., Cho K.H., Jang H.: Complementary effects of solid lubricants in the Automotive brake lining, *Tribology International* 2007; 40, 15–20.
3. Artigo T., Helou T.: Tribological behaviour of Eurolub 1009MX in friction materials, Materiały firmy Catalise Eurometals.
4. Nosal S., Orłowski T.: Wpływ miedzi i jej stopów wprowadzonych do ciernego materiału hamulcowego na jego właściwości tribologiczne, X Jubileuszowy Kongres Eksploatacji Urządzeń Technicznych, Stare Jabłonki 2005, 401–410.
5. PN-92/C-89035 Tworzywa sztuczne. Metody oznaczania gęstości i gęstości względnej tworzyw nieporowatych.
6. PN-93/C-89030/02 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości. Twardość Rockwella.

**Recenzent:**  
**Janusz JANECKI**

### Summary

The paper presents the influence of the selected fillers – solid lubricants on the physics-mechanics and the tribological properties of friction materials for brake pads for commercial vehicles. The composite materials were different in contents and the kind of solid lubricants added to the base material. There were added 2%, 4% and 8% the following solid lubricants:  $Sb_2S_3$  (with a various content of metal),  $MoS_2$ ,  $FeS$ ,  $MnS$ ,  $Cu_2S-FeS$ , lubricant on the base of the zinc sulphide, calcium stearate. All studies have been carried out on a Krauss Type RWDC 136B machine equipped with a special brake (described in Regulation 90 ECE, annex 8). The disc brake was made of grey iron. Wear test were conducted for 4 hours. Based on the carried out tests, it has been shown that the art and the quantity of the filler added to the basic material has an significant influence on the brake friction materials properties. It has been proved that the friction materials with an addition of molybdenum sulphide show a much higher wear resistance than friction materials without this lubricant.