

**Andrzej WOJCIECHOWSKI\***, **Ryszard MICHALSKI\***,  
**Artur GOŁOWICZ\***, **Andrzej EMINGER\***

## **BADANIE PROCESÓW TARCIOWYCH NA URZĄDZENIU T-11 METODĄ TRZPIEŃ- -TARCZA WYBRANYCH SKOJARZEŃ CIERNYCH STOSOWANYCH W HAMULCACH TARCZOWYCH POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH**

**EXAMINING FRICTION-WEAR PROCESSES OF SELECTED  
FRICTION PAIRS USED IN THE DISC BRAKES  
OF THE MOTOR VEHICLES, USING A PIN-ON-DISK T-11  
TESTING DEVICE**

### **Słowa kluczowe:**

układ hamulcowy, materiały cierne, charakterystyki cierne

### **Key words:**

brake system, friction materials, frictions characteristics

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań tarciovych skojarzeń ciernych materiałów stosowanych w tarczowych mechanizmach hamulcowych pojazdów samochodowych. Badaniom poddano skojarzenia materiałów powszechnie

---

\* Instytut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa.

stosowanych na tarcze hamulcowe, takich jak żeliwo szare z grafitem płatkowym, żeliwo sferoidalne, żeliwo wysokowęglowe z kompozytami stosowanymi na nakładki cierne w hamulcach tarczowych samochodów przeznaczonych do pracy w różnych warunkach eksploatacji.

Badania przeprowadzono na zmodyfikowanym urządzeniu T-11 typu trzpień-tarcza wykonanym przez Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu. Zastosowana metodyka badawcza pozwoliła określić różnice właściwości badanych materiałów w aspekcie charakterystyk ciernych i zużyciowych w zależności od zastosowanych materiałów skojarzenia ciernego.

## **WPROWADZENIE**

Rozwój materiałów konstrukcyjnych, szczególnie kompozytowych, w wielu gałęziach przemysłu, wymaga prowadzenia prac badawczych w zakresie określenia ich właściwości i możliwych aplikacji. Przykładami aplikacji badanych materiałów są m.in. układy hamulcowe pojazdów. Rosnący w szybkim tempie udział materiałów kompozytowych spowodowany jest tym, że materiały te charakteryzują się możliwością sterowania w procesie wytwarzania oraz uzyskania pożądanych właściwości (np. określonym współczynnikiem tarcia, wysoką odpornością termiczną, równomiernym i niskim stopniem zużycia).

Prowadzone badania na urządzeniu T-11 (pin on disc) mogą stanowić wstępny dobór materiałów konstrukcyjnych na potrzeby finalnego produktu, jak również mogą służyć ocenie jakości współpracy skojarzonych materiałów.

Prowadzenie badań wybranego węzła ciernego w skali laboratoryjnej przy użyciu wspomnianego urządzenia przyczyni się do zredukowania kosztów badań w warunkach pracy zbliżonych do rzeczywistych. Dodatkowo możliwe będzie stworzenie bazy danych na potrzeby optymalizacji zastosowanych materiałów pary cierniej.

## **CEL PRACY**

Prowadzone badania na aparacie T-11 z zastosowaniem skojarzeń żeliwa szarego z materiałami ciernymi stosowanymi w hamulcach tarczowych pojazdów miały na celu określenie wpływu właściwości materiałów na charakterystyki tarciove.

## **MATERIAŁY STOSOWANE W BADANIACH**

Badane materiały metalowe pochodzą z tarcz hamulcowych, które znalazły zastosowanie zarówno w pojazdach osobowych, jak i ciężarowych: żeliwo szare z grafitem płatkowym, żeliwo szare sferoidalne, żeliwo szare „wysokowęglowe”.

Materiały kompozytowe współpracujące w parze ciernej pochodzą z nakładek hamulców tarczowych, które uzyskały pozytywny wynik w badaniach na zgodność z Regulaminem nr 90 ONZ. Zestawienie badanych materiałów ciernych przedstawiono w **Tabeli 1**.

**Tabela 1. Badane materiały cierne**

Table 1. Tested friction materials

Kraj producenta	Oznakowanie stosowane w badaniach.	Uwagi:
Polska	TC	nakładki przeznaczone do. standardowych samochodów osobowych
Anglia	EBC-BS	nakładki przeznaczone do stosowania w wyczynowych samochodach sportowych – najnowszej generacji
Chiny	SM	nakładki przeznaczone do standardowych samochodów osobowych i dostawczych
Niemcy	JU	nakładki do sam. ciężarowych

## MATERIAŁ PRZECIWPÓBK

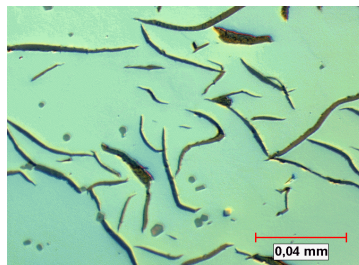
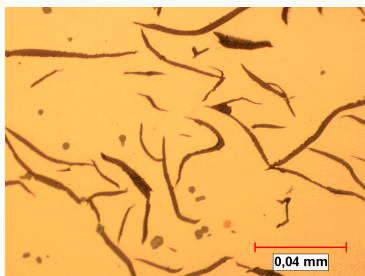
Żeliwo jest najczęściej stosowanym materiałem na tarczy hamulcowe do wszystkich samochodów, jest tanie i spełnia wszystkie minimalne założone wymagania. Żeliwo jest materiałem stosowanym w przemyśle od wielu lat.

Żeliwo będące stopem na bazie żelaza o zawartości węgla 2,0÷3,8% i zawierającym Si, Mn, P i S ma gęstość ponad 2,5 większą niż kompozyty o osnowie stopu aluminium.

Najbardziej klasycznym spośród zastosowanych gatunków żeliwa na tarczy hamulcowe jest **żeliwo szare** z grafitem płatkowym, którego wytrzymałość i twardość rosną wraz ze wzrostem zawartości perlitu w osnowie. Ważny problem stanowi tu postać dyspersji grafitu. Im większy jest udział grafitu i im grubsze są płatki, tym niższa jest wytrzymałość i ciągliwość żeliwa.

Jak wykazuje praktyka, w warunkach konieczności nagłego obciążenia części pracujących w warunkach tarcia suchego dobre wyniki daje stosowanie **żeliwa sferoidalnego** ferrytycznego. Pod względem odporności na cykliczne zmiany temperatury jest ono lepsze od perlitycznego żeliwa szarego. Dość duża wytrzymałość i plastyczność nadają mu doskonałą odporność na złożone działanie obciążenia zewnętrznego [L. 1].

Przygotowane w sposób standardowy próbki poddano obserwacjom mikroskopowym w stanie nietrawionym (**Rys. 1–3**), które ilustrują postać grafitu.

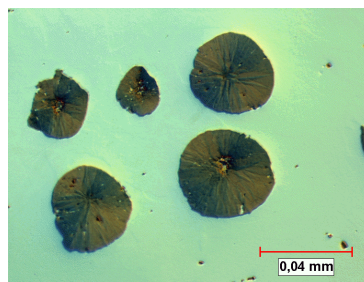
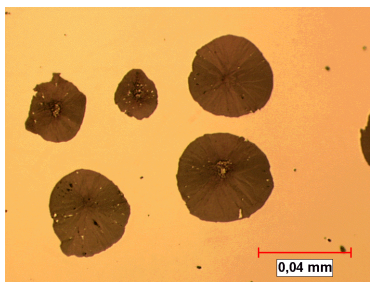


światło zwykłe, pow. 500x, stan nietrawiony

kontrast fazowy, pow. 500x, stan nietrawiony

**Rys. 1. Żeliwo szare z grafitem płatkowym (Br)**

Fig. 1. Grey cast iron with the flake graphite (Br)

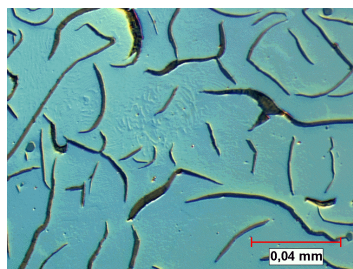
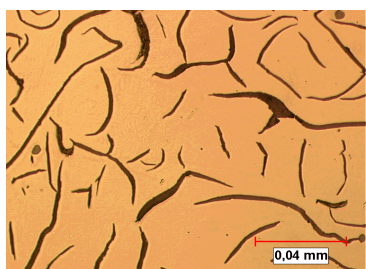


światło zwykłe, pow. 500x, stan nietrawiony

kontrast fazowy, pow. 500x, stan nietrawiony

**Rys. 2. Żeliwo szare z grafitem sferoidalnym (Zsf)**

Fig. 2. Grey cast iron with the spheroidal graphite (Zsf)



światło zwykłe, pow. 500x, stan nietrawiony

kontrast fazowy, pow. 500x, stan nietrawiony

**Rys. 3. Żeliwo „wysokowęglowe” (ww)**

Fig. 3. High-carbon cast iron (ww)

## ANALIZA SKŁADU CHEMICZNEGO MATERIAŁÓW NA TARCZE HAMULCOWE

Materiały stosowane na tarcze hamulcowe w badaniach poddano analizie chemicznej w celu identyfikacji składu chemicznego. Analizę wykonano w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie. Badanie składu chemicznego próbek tarcz hamulcowych (ww, Żsf, Br) wykonano metodą emisyjnej spektrometrii optycznej (OES) ze wzbudzeniem łukiem przerywanym prądu stałego, przy użyciu spektrometru typ ARC-MET 930SP firmy METOREX. Wyniki badania zamieszczono w **Tabeli 2**.

**Tabela 2. Analiza składu chemicznego materiałów tarcz hamulcowych**

Table 2. Chemical composition brake disc materials analysis

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mg	Ti	V	Co
<b>Br</b>	3,4	1,8	0,65	0,07	0,12	0,10	0,04	0,06	–	0,03	0,03	0,02
<b>Żsf</b>	3,7	2,1	0,17	0,40	>0,15	0,06	0,72	0,36	0,06	0,08	0,13	>0,11
<b>ww</b>	3,4	2,0	0,52	0,16	0,11	0,13	0,15	0,12	–	0,03	0,03	0,06

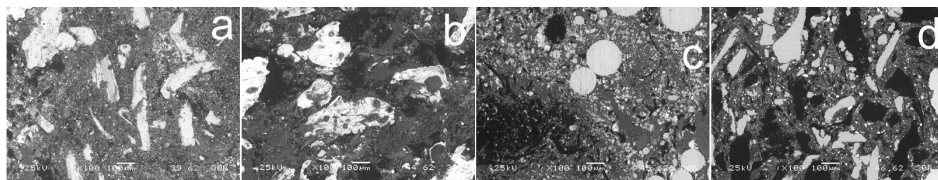
## KOMPOZYTOWE MATERIAŁY STOSOWANE NA NAKŁADKI CIERNE

Kompozytowe materiały cierne (OMC) wytypowano do badań, biorąc pod uwagę szeroką gamę aplikacji od pojazdów standardowych po ciężarowe i wyścigowe, o różnych właściwościach i od różnych producentów. Badaniom poddano okładziny: standardowe (TC) i semimetalowe (SM) do samochodów osobowych i lekkich dostawczych, okładziny do jazdy sportowej i wyścigowej (EBC-BS), oraz okładziny do samochodów ciężarowych (JU).

Okładziny standardowe (TC i SM) przeznaczone są do samochodów osobowych i lekkich dostawczych oraz ciężarowych (JU) spełniają wymagania Regulaminu nr 90 ONZ (R90). Materiał cierny do jazdy sportowej (EBC-BS) nie posiada homologacji (R90) i przewidziany jest do eksploatacji w trudnych warunkach i wysokich temperaturach.

## BADANIA STRUKTUR MATERIAŁÓW CIERNYCH

Badania materiałów ciernych przeprowadzona za pomocą mikroskopu skaningowego JEOL JSM-6360LA umożliwiającego obserwację przy 30 kV z rozdzielczością do 3 nm w trybie próżni wysokiej oraz 4 nm w trybie próżni niskiej. Otrzymane fotografie struktur badanych materiałów ciernych przedstawiono na **Rys. 4**.



**Rys. 4. Struktury materiałów ciernych (a – TC; b – SM; c – EBC-BS; d – JU)**

Fig. 4. Structures of friction materials (a – TC; b – SM; c – EBC-BS; d – JU)

## URZĄDZENIE DO BADANIA CHARAKTERYSTYK CIERNYCH – STANOWISKO T-11

Badania przeprowadzono na zmodyfikowanym stanowisku T-11 według ustalonego programu badań, w trakcie badania rejestrowano w sposób ciągły siłę tarcia, temperaturę oraz drogę tarcia pary cierniej (**Tablica 4**). Modyfikacja stanowiska polegała na zastosowaniu adaptera do próbki materiału ciernego w celu zwiększenia średnicy próbki do 8 mm (**Rys. 5**).



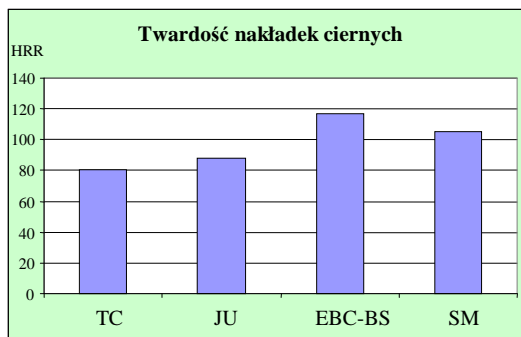
**Rys. 5. a – próbka (trzcpiel); b – przeciwpróbka (krążek)**

Fig. 5. a – sample (pin); b – countersample (disc)

## POMIAR TWARDOŚCI

### Pomiary twardości nakładek ciernych

Pomiary twardości wykonano w Laboratorium CBM – Instytutu Transportu Samochodowego zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 2039-2:2002 (Tworzywa sztuczne. Oznaczanie twardości. Część 2: Twardość Rockwella.) dla skali-R przy zastosowaniu kulki  $\varnothing 12,7 \pm 0,015$  mm i obciążenia 588,4 N. Średnią arytmetyczną zmierzonych twardość przedstawiono na **Rys. 6**.



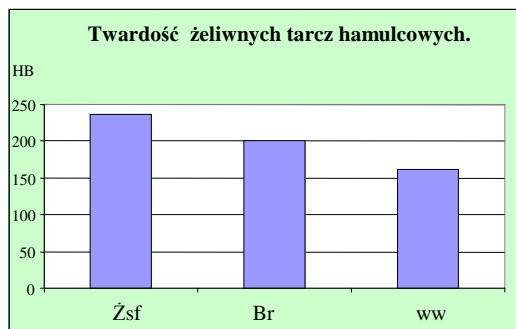
**Rys. 6. Twardość materiału ciernego nakładek. Metoda Rockwella, skala HRR**

Fig. 6. Hardness of friction material brake pads. Rockwell method, scale HRR

## POMIARY TWARDOŚCI ŻELIWNYCH TARCZ HAMULCOWYCH

Pomiary twardości wykonano metodą Brinella zgodnie z wymaganiami normy PN-EN ISO 6506-1:2008 (Metale. Pomiar twardości sposobem Brinella. Część 1: Metoda badań) z zastosowaniem kulki o średnicy 10 mm i obciążeniu 29420 N.

Uzyskane wyniki pomiarów twardości tarcz hamulcowych przedstawiono na **Rys. 7**.



**Rys. 7. Twardość tarcz. Metoda Brinella, skala HB**

Fig. 7. Hardness of disc. Brinell method, scale HB

## BADANIA CHARAKTERYSTYK CIERNYCH

Badania porównawcze charakterystyk ciernych na stanowisku T11 wykonano z zastosowaniem przeciwpróbek z żeliwnych tarcz hamulcowych, które kojarzono z materiałami ciernymi nakładek. Pary cierne stosowane w badaniach podano w **Tabeli 3**.

**Tabela 3. Badane pary cierne**

Table 3. Tested friction pairs

Materiał cierny (próbka – trzpień)	Materiał tarczy hamulcowej (przeciwpróbka – krążek)		
TC	Br	Żsf	ww
EBC-BS	Br	Żsf	ww
SM	Br	Żsf	ww
JU	Br	Żsf	ww

Parametry zastosowane do badań przedstawione zostały w **Tabeli 4**.

**Tabela 4. Parametry badań**

Table 4. Test parameters

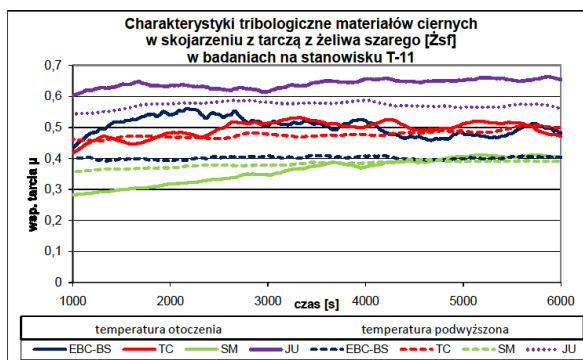
Wymiary [ mm ]		Powierzchnia tarcia	Parametry badań
próbka	przeciwpróbka		
ø8	ø 20,5	50,24 mm <sup>2</sup>	prędkość obrotowa: 340 obr./min prędkość tarcia: 0,363 m/s, droga tarcia: 2200 m, naciski jednostkowe: 1,043 N/mm <sup>2</sup> , temp. otoczenia: 25 ±5°C, temperatura podwyższona: 130°C

Przeprowadzone badania dotyczyły oceny i porównania właściwości tribologicznych materiałów ciernych stosowanych w hamulcach tarczowych współpracujących z materiałami tarcz hamulcowych wykonanymi z żeliwa szarego z grafitem sferoidalnym (Żsf) oraz płatkowym (Br) i z żeliwa „wysokowęglowego” (ww).

## WYNIKI BADAŃ

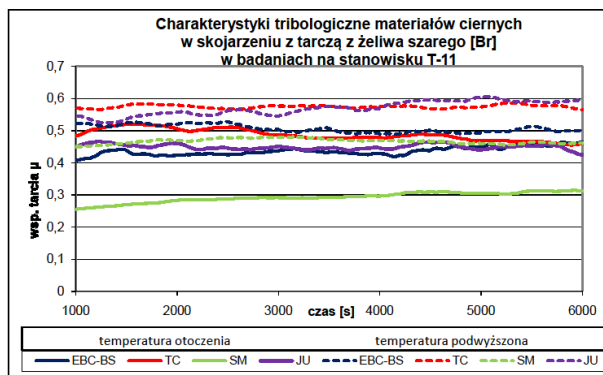
Poniższe wykresy przedstawiają wyniki badań materiałów ciernych w skojarzeniach z tarczami hamulcowymi wykonanymi z żeliwa szarego: sferoidalnego (Żsf) (**Rys. 8**), płatkowego (Br) (**Rys. 9**) i „wysokowęglowego” (ww) (**Rys. 10**). Linia ciągłą przedstawione są charakterystyki uzyskane w temperaturze otoczenia, a linią przerywaną – w podwyższonej temperaturze.





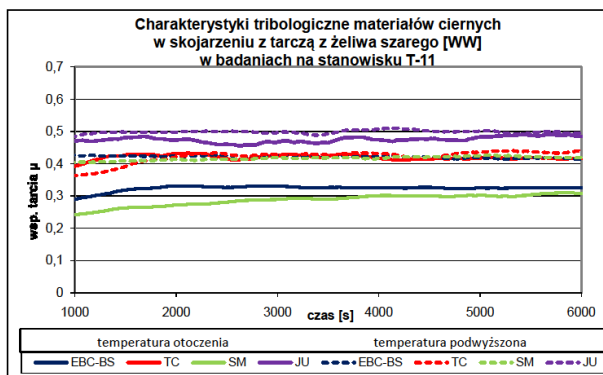
Rys. 8. Przebiegi charakterystyk tribologicznych badanych materiałów ciernych w skojarzeniu z materiałem tarczy – (Żsf)

Fig. 8. Tribological characteristic of tested friction materials and brake disc material – (Żsf)



Rys. 9. Przebiegi charakterystyk tribologicznych badanych materiałów ciernych w skojarzeniu z materiałem tarczy – (Br)

Fig. 9. Tribological characteristic of tested friction materials and brake disc material – (Br)



Rys. 10. Przebiegi charakterystyk tribologicznych badanych materiałów ciernych w skojarzeniu z materiałem tarczy – (ww)

Fig. 10. Tribological characteristic of tested friction materials and brake disc material – (ww)

## WNIOSKI KOŃCOWE

Skład chemiczny badanych tarcz hamulcowych różni się w między sobą zawartością C, Ni, Cu, Ti, i V.

Badania metalograficzne wykazują, że występują znaczące różnice w rodzaju występującego grafitu: płatkowy w materiałach tarcz (Br) i (ww) i sferyczny w tarczy (Żsf).

Najwyższe współczynniki tarcia uzyskano w skojarzeniach tarczy (Żsf) o najwyższej twardości (ok. 240 HRR) z badanymi materiałami ciernymi.

Najmniejsze różnice w wartości współczynnika tarcia w zależności od temperatury wykazywał standardowy materiał cierny (TC) dla każdego materiału tarczy.

Niskie wartości współczynnika tarcia wykazane w charakterystykach ciernych dla materiału okładziny cierniej (SM) wynoszące ok. 0,3 należy tłumaczyć tym, że semimetalowa okładzina cierna wymaga innej konstrukcji i parametrów układu hamulcowego.

Współczynniki tarcia  $\mu$  dla pozostałych badanych skojarzeń ciernych zawierają się w granicach od 0,4 do 0,6. Wartości te uważa się za optymalne dla zastosowań par ciernych w układach hamulcowych pojazdów samochodowych.

## LITERATURA

1. Wojciechowski A., Sobczak J.: Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych. Opracowanie ITS, Warszawa 2001.
2. Pietrzak K., Makowska K., Rudnik D., Eminger A., Michalski R.: Mikrostrukturalne uwarunkowania odporności na zużycie wybranych par ciernych stosowanych w układach hamulcowych, Transport Samochodowy ITS, 3-2011.
3. Wojciechowski A., Michalski R., Gołowicz A., Eminger A.: Charakterystyki cierno-zużyciowe pary cierniej, badane na urządzeniu Amsler i T-11 oraz przebiegi tych charakterystyk w różnych temperaturach na stanowisku T-11. Sprawozdanie z badań nr 6022-CBM – ITS, Warszawa 2012.

## Dokumenty związane

PN-EN ISO 945:2009 - Określenie mikrostruktury żeliwa. Część 1.

PN-EN 1561:2000 – Odlewnictwo – Żeliwo szare.

PN-EN ISO 6506-1:2008 – Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella. Część 1.

PN-EN ISO 2039-2:2002 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie twardości. Część 2.

## Summary

**This article presents the tests results of the friction matching pairs materials used in the disc braking mechanisms of motor vehicles.**

**Subjects of the tests were matching pairs materials, commonly used for the disc brakes, such as grey cast iron with the flake graphite, ductile**

**and high-carbon cast iron, with the composites used for the friction pads in the disc brakes of vehicles to be operated in various conditions.**

**The tests have been carried out on a modified pin-on-disk T-11 testing device made by the Institute for Sustainable Technologies in Radom. The testing method applied allowed the researcher to determine the differences in the properties of the materials examined with respect to the friction and wear characteristics according to materials used in the friction pair.**

