

Artur Gołowicz
artur.golowicz@its.waw.pl
Instytut Transportu Samochodowego

WPLYW POSTACI WĘGLA W ŻELIWIE SZARYM STOSOWANYM NA TARCZE HAMULCOWE NA WSPÓLCZYNNIK TARCIA

W artykule przedstawiono wpływ postaci i zawartości węgla w żelowie szarym stosowanym na tarczy i bębny hamulcowe samochodów osobowych i lekkich użytkowych na wartość współczynnika tarcia w badaniach stanowiskowych przeprowadzonych na urządzeniu dynamicznym trzpień-tarcza T-11. Badaniom poddano skojarzenia materiałów powszechnie stosowanych na tarcze hamulcowe, takich jak żeliwo szare z grafitem płatkowym, żeliwo sferoidalne z materiałami standardowo stosowanymi na nakładki cierne w hamulcach tarczowych samochodów osobowych i użytkowych.

Badania przeprowadzono na urządzeniu dynamicznym trzpień-tarcza (T-11) skonstruowanym i wykonanym przez Instytut Technologii Eksploatacji w Radomiu PIB. Zastosowana metodyka badawcza pozwoliła określić różnice właściwości badanych materiałów tarczy hamulcowej w aspekcie charakterystyk ciernych i efektów zużycia w zależności głównie od postaci oraz zawartości węgla w próbkach materiału tarczy hamulcowej.

Słowa kluczowe: układ hamulcowy, materiały cierne, charakterystyki cierne

INFLUENCE OF FORM OF CARBON IN GREY CAST IRON ON THE FRICTION COEFFICIENT

The article presents the influence of the form and consent of carbon n grey cast iron used on brake discs and drums of passenger cars and light commercial vehicles on the friction coefficient in bench tests on dynamic test stand pin on disc (T-11). Subjects of the tests were matching pairs materials, commonly used for the disc brakes, such as grey cast iron with the flake graphite and ductile, with the material commonly used for the friction pads in the brakes of the passengers cars and light commercial vehicles.

The tests have been carried out on the pin-on-disk T-11 dynamic testing device made by the Institute for Sustainable Technologies in Radom. The testing method applied allowed to determine the differences in the properties of the tested brake disc materials in the aspect of friction characteristics and wear depending on the form and carbon content in the brake disc material.

Keywords: brake system, friction materials, frictions characteristics

1. Wprowadzenie

O jakości samochodu decyduje wiele cech, ale na pewno musi on być względnie komfortowy i bezpieczny, stosunkowo lekki, wytrzymały, ekonomiczny w eksploatacji i niezawodny, tani w produkcji i dynamiczny. Jednym z podstawowych podzespołów samochodowych z punktu widzenia zarówno bezpieczeństwa użytkownika jak i ogólnego poziomu technicznego pojazdu jest układ hamulcowy. Elementy układów hamulcowych, w tym tarcze hamulcowe i okładziny cierne podlegają stałemu rozwojowi wraz z ulepszaniem konstrukcji samochodów. Zmienne obciążenia dynamiczne wywołane hamowaniem z różną intensywnością w różnorodnych warunkach atmosferycznych wpływają niekorzystnie na elementy pary ciernej, powodując znaczne niszczenie powierzchni, co w efekcie zmniejszenie skuteczności hamowania. Ważne jest, aby zasadnicze elementy układu hamulcowego, zwłaszcza pary cierne, podlegały podczas pracy minimalnemu zużyciu, a cały układ hamulcowy w czasie eksploatacji, wymagał zminimalizowanych czynności obsługowych i regulacyjnych. [1].

Największy udział materiałów stosowanych na tarcze hamulcowe pojazdów samochodowych ma żeliwo szare. Obecnie najczęściej stosuje się na tarcze hamulcowe dwa rodzaje żeliwa szarego z grafitem: sferoidalnym (żeliwo sferoidalne) oraz płatkowym (żeliwo płatkowe).

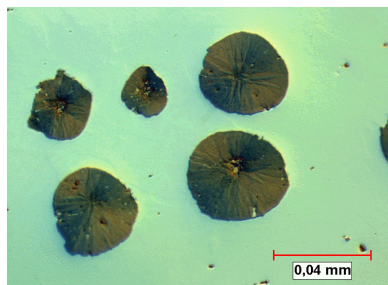
Prowadzone badania na urządzeniu trzpień-tarcza (T-11) stanowią wstępne określenie wpływu postaci i zawartości węgla oraz innych składników w żeliwach stosowanych na tarcze hamulcowe na jakość współpracy skojarzonych materiałów w zakresie własności tribologicznych i zużycia.

2. Materiał badawczy

2.1. Żeliwo szare

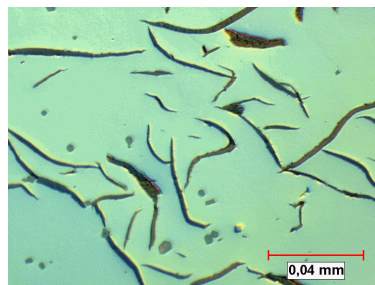
Badane materiały metalowe pochodzą ze standardowych tarcz hamulcowych, które znalazły zastosowanie zarówno w pojazdach osobowych jak i ciężarowych: żeliwo szare z grafitem płatkowym (Br), żeliwo szare sferoidalne (Żsf) PN-EN 1561:2000-Odlewnictwo – Żeliwo szare. Budowa mikrostrukturalna została przedstawiona na Rys. 1 i 2 zgodnie z normą PN-EN ISO 945:2009-Określenie mikrostruktury żeliwa–Część 1 [2].

Badania mikrostruktury przeprowadzono w Instytucie Transportu Samochodowego za pomocą mikroskopu optycznego OLYMPUS PMG3 w stanie nie trawionym przy powiększeniu 500x.



Rys. 1. Żeliwo sferoidalne. pow. 500x, stan nie trawiony

Fig. 1. Grey cast iron with the spheroidal graphite (Żsf)



Rys. 2. Żeliwo szare z grafitem płatkowym. pow. 500x, stan nie trawiony

Fig. 2. Grey cast iron with the flake graphite (Br)

Żeliwo będące stopem na bazie żelaza o zawartości węgla $2,0 \div 3,8\%$ i zawiera Si, Mn, P i S. Najbardziej klasycznym spośród zastosowanych gatunków żeliwa jest **żeliwo szare** z grafitem płatkowym (Rys 2), którego wytrzymałość i twardość rosną wraz ze wzrostem zawartości perlitu w osnowie. Ważnym problemem stanowi tu postać i dyspersja grafitu. Im większy jest udział grafitu i im grubsze są płatki tym niższa jest wytrzymałość i ciągliwość żeliwa [1]. Badanie składu chemicznego próbek tarcz hamulcowych (Żsf, Br) wykonano w Instytucie Mechaniki Precyzyjnej metodą emisyjnej spektrometrii optycznej (OES) ze wzbudzeniem łukiem przerywanym prądu stałego, przy użyciu spektrometru typ ARC-MET 930SP firmy METOREX. Wyniki badania zamieszczono w tablicy 1.

Tablica 1

Skład chemiczny materiałów tarcz hamulcowych

Table 1

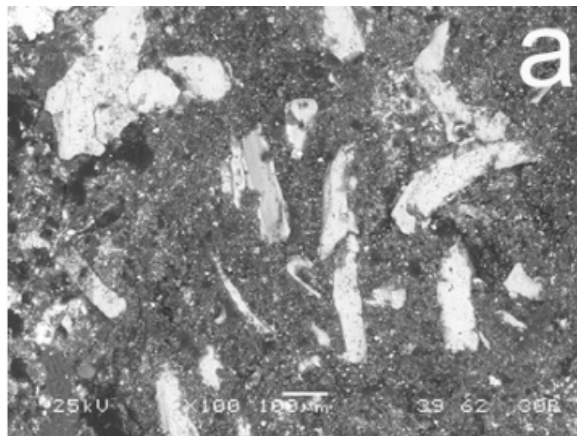
Chemical composition brake disc materials

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

2.2. Nakładka cierna

Materiały cierne nakładek (tzw. klocki hamulcowe) wytypowano do badań uwzględniając standardową aplikację do pojazdów osobowych i lekkich użytkowych. Badaniom poddano standardowy materiał kompozytowy organiczny zaliczony do materiałów ciernych o niskiej zawartości dodatków wiórków stalowych - włókien (low – steel), którego spoiwem jest żywica fenolowa (TC). Badany materiał nakładek ciernych spełnia wymagania Regulaminu ONZ nr 90 ONZ.

Badania strukturalne materiału ciernego przeprowadzono w Instytucie Transportu Samochodowego za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego JEOL JSM-6360LA, który umożliwiającą obserwację przy 30kV z rozdzielczością do 3nm w trybie wysokiej próżni oraz 4nm w trybie niskiej próżni (low vacuum). Otrzymane fotografie mikrostruktur badanych materiałów ciernych przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura materiału ciernego - TC
Fig.3. Structures of friction material TC

Skład chemiczny materiału ciernego w odniesieniu do grup komponentów przedstawiono w tablicy 2

Tablica 2

Skład chemiczny materiałów okładzin ciernych

Table 2

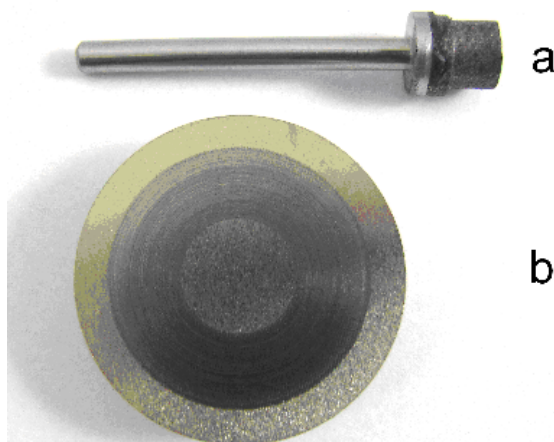
Chemical composition of friction brake materials

Podstawowe składniki	Material
Spoiwo	Żywica fenolowa
Włókna wzmacniające	Włókna organiczne i nieorganiczne, włókna metalowe
Materiały cierne	Krzemiany, tlenki metali
Wypełniacze	Mika, kauczuk
Smary	Grafit, siarczki metali

2.3. Wyposażenie badawcze do badań skojarzenia ciernego

Urządzenie do badania charakterystyk ciernych (stanowisko T-11)

Badania przeprowadzono na stanowisku T-11 według ustalonego programu badań [3]. W trakcie badania rejestrowano w sposób ciągły siłę tarcia, zużycie, temperaturę oraz drogę tarcia pary cierniej (Tablica 3). Rysunek próbki i przeciwpróbki przedstawiono na rys. 4.

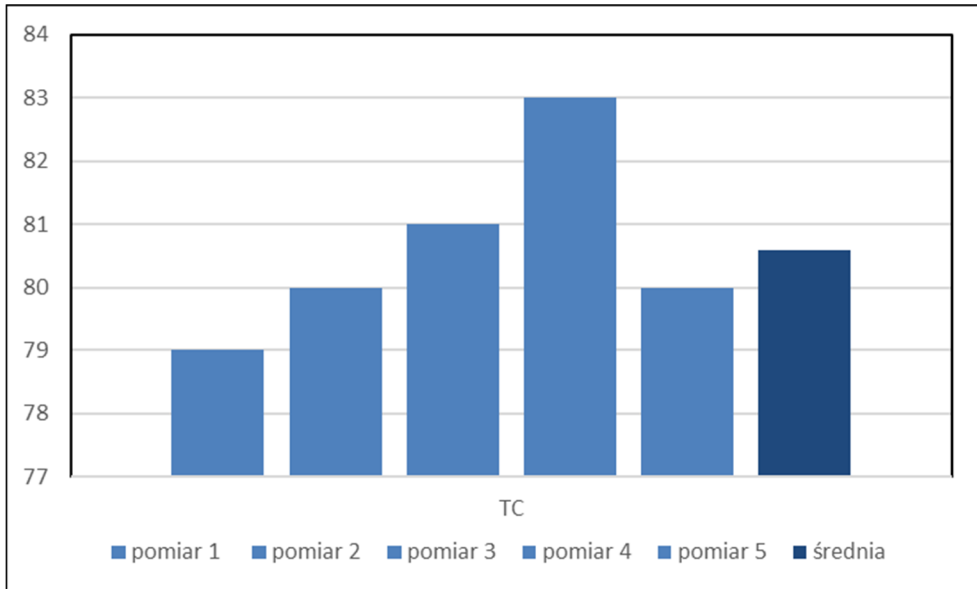


Rys. 4. a - próbka (trzczeń); b - przeciwpróbka (krążek)
 Fig.4. a – sample (pin); b – countersample (disc)

3. Wykonane pomiary i badania

3.1. Pomiary twardości nakładek ciernych.

Pomiary twardości wykonano w Instytucie 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.5.

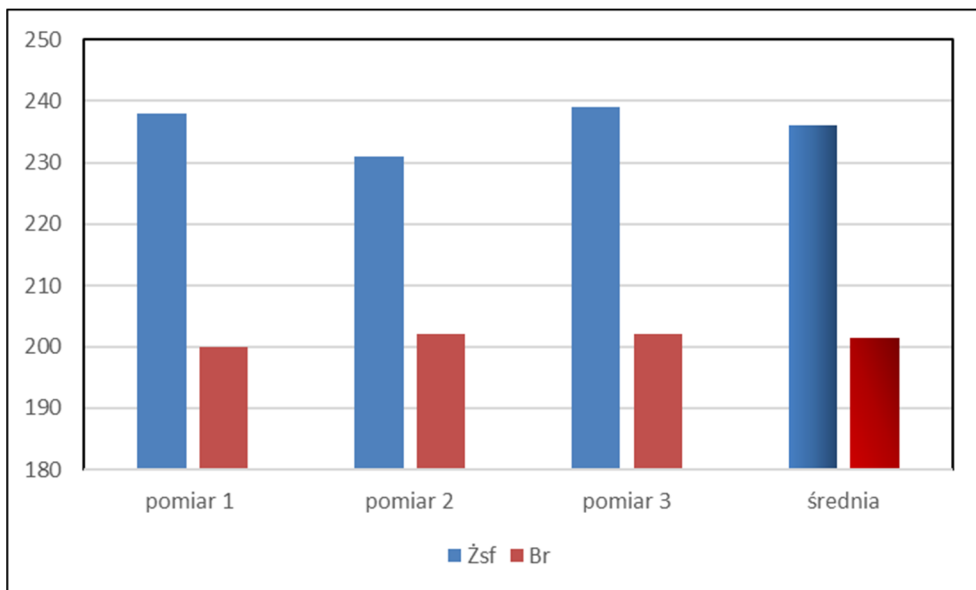


Rys. 5. Twardość materiału ciernego nakładek. Metoda Rockwella, skala HRR
Fig. 5. Hardness of friction material brake pads. Rockwell method, scale HRR

3.2. Pomiary twardości żeliwa .

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

Uzyskane wyniki pomiarów twardości tarcz hamulcowych przedstawiono na rys.6.



Rys. 6. Twardość tarcz. Metoda Brinella, skala HB
Fig. 6. Hardness of disc. Brinell method, scale HB

3.3. Badania charakterystyk ciernych

Badania porównawcze charakterystyk ciernych na stanowisku T11 wykonano z zastosowaniem przeciw-próbek z żeliwnych tarcz hamulcowych (Br, Żsf), które kojarzono z typowym materiałem stosowanym na nakładki cierne (TC). Zestawienie badanych par ciernych przedstawiono w tabelicy 3.

Tablica 3

Badane pary cierne

Table 3

Tested friction pairs

Material cierny - nakładka (próbka –trzpień)	Material tarczy hamulcowej (przeciwpróbka – krążek)
TC	Żsf
TC	Br

Parametry badań charakterystyk ciernych przedstawione zostały w tabelicy 4.

Tablica 4

Parametry badań

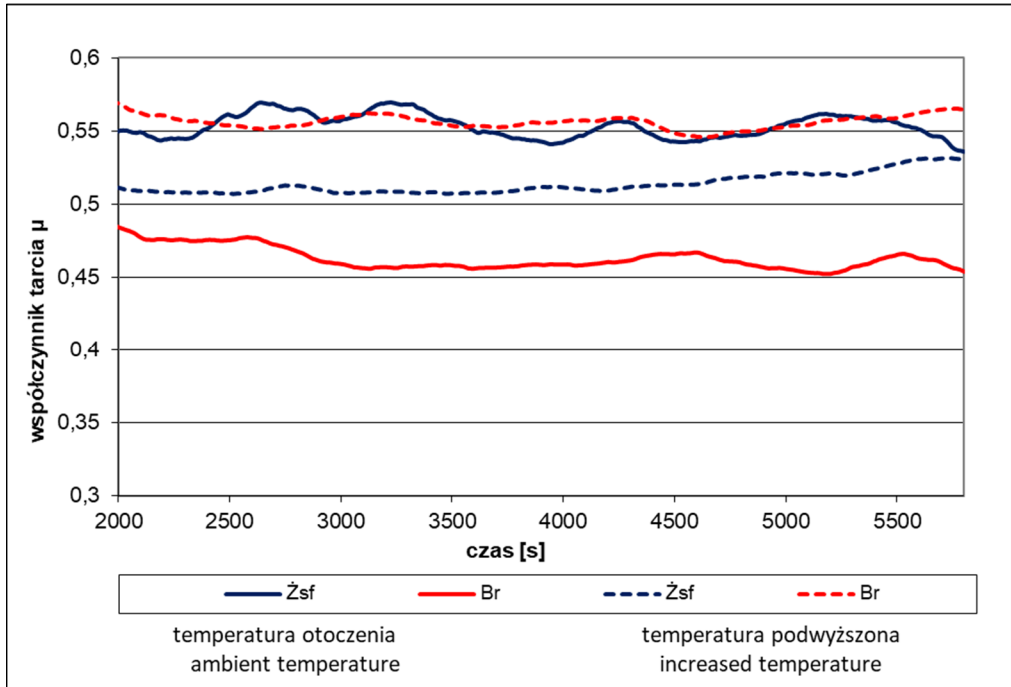
Table 4

Test parameters

Wymiary [mm]		Powierzchnia tarcia	Parametry badań
próbka	przeciwpróbka		
Ø8	ø 20,5	50,24 mm ²	prędkość obrotowa: 340 obr/min prędkość tarcia: 0,363 m/s, droga tarcia: 2200 m, naciski jednostkowe: 1,043 N/mm ² , temp. otoczenia: 25 ±5 °C, temp. podwyższona: 130 °C

4. Wyniki badań

Na podstawie pozyskanych wyników badań tribologicznych stworzono wykres, który przedstawia wartość współczynnika tarcia w zależności od czasu oraz zastosowanych materiałów. Linia ciągłą przedstawione są charakterystyki uzyskane w temperaturze otoczenia (22 – 23 °C), a linią przerywaną – w podwyższonej temperaturze (130 °C). Każdą próbę powtórzono 2 razy a wyniki uśredniono. Przy każdym badaniu powierzchnia przeciwpróbki była obrobiona mechanicznie poprzez szlifowanie i odtłuszczone a przeciwpróbka była zastosowana nowa. Przed dokonaniem pomiaru średniego współczynnika tarcia μ pary ciernej dokonywano tzw. docierania badanej pary w czasie 2000 s. Taką wartość dobrano doświadczalnie poprzez obserwację stabilności współczynnika tarcia i zużycia. Zaobserwowano stabilizację tych parametrów po czasie od 1000 s do 1500 s. Przyjęto zatem czas dotarcia na poziomie 2000 s. Do oceny pod względem średniego współczynnika tarcia μ i zużycia przyjęto przedział badań pary ciernej od 2000 s do 5800 s.



Rys. 7. Przebiegi charakterystyk tribologicznych badanych materiałów tarczy hamulcowej (Br, Żsf) w skojarzeniu z materiałem nakładki czarnej TC
 Fig. 7. Tribological characteristic of tested brake disc materials (Br, Żsf) and friction material TC.

Średnie wartości współczynnika tarcia μ pary czarnej przedstawiono w tabelicy 5.

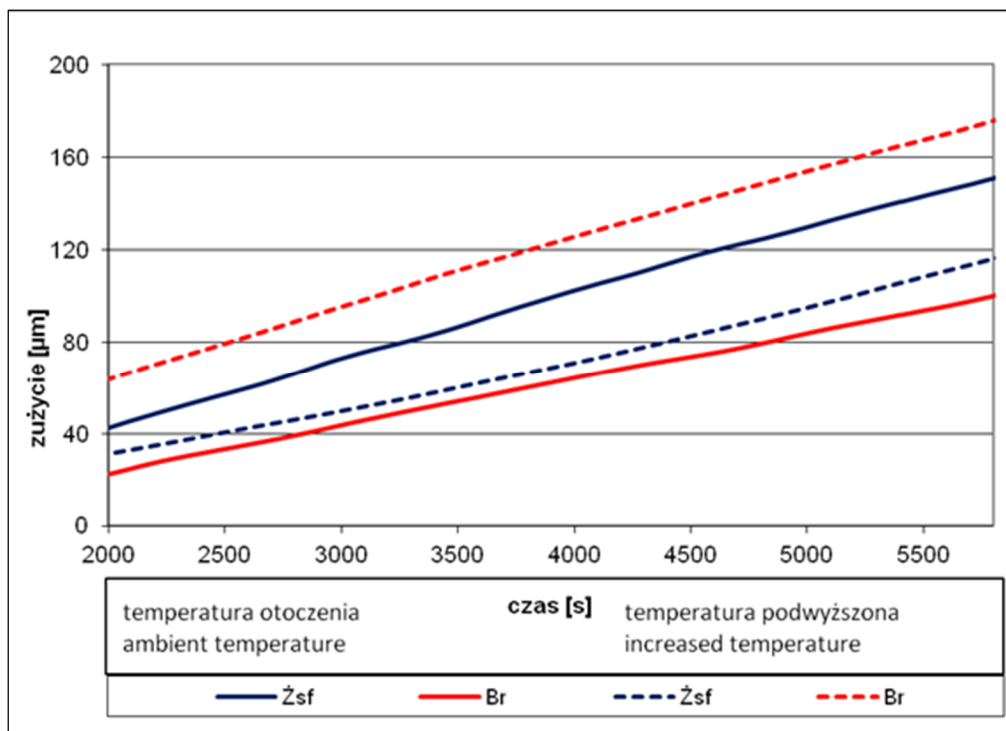
Średnie wartości współczynnika tarcia μ
Average value of friction coefficient μ

Tablica 5

Table 5

Współczynnik tarcia μ badanych materiałów Friction coefficient μ tested materials	temperatura otoczenia ambient temperature	temperatura podwyższona increased temperature
Żsf / TC	0,55	0,51
Br / TC	0,46	0,56

Przebiegi charakterystyk zużycia badanych materiałów tarczy hamulcowej (Br, Żsf) i materiału nakładki czarnej TC przedstawiono na rys. 8.



Rys. 8. Przebiegi charakterystyk zużycia badanych materiałów tarczy hamulcowej (Br, Żsf) i materiału nakładki ciernej TC

Fig. 8. Wear characteristic of tested brake disc materials (Br, Żsf) and friction material TC.

Średnie zużycie pary ciernej tarcia przedstawiono w tabelicy 6.

Średnie zużycie pary ciernej [µm]

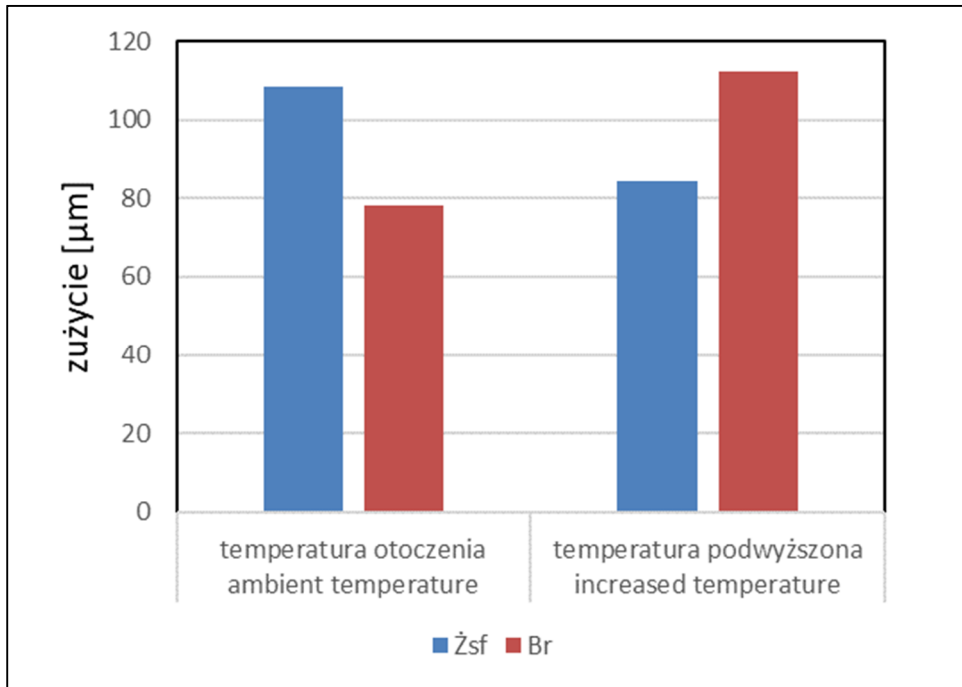
Tablica 6

Average wear of friction pair [µm]

Table 6

Zużycie [µm] Wear [µm]	temperatura otoczenia ambient temperature	temperatura podwyższona increased temperature
Żsf / TC	108,28	84,35
Br / TC	78,25	112,31

Średnie zużycie badanych materiałów ciernych w skojarzeniach Br/TC i Żsf/TC w zależności od temperatury przedstawiono na rys. 9.



Rys. 9. Zużycie badanych materiałów ciernych w skojarzeniach Br/TC i Żsf/TC w zależności od temperatury

Fig. 9. Wear of tested materials in pairs Br/TC and Żsf/TC depending on temperature.

5. Wnioski

Skład chemiczny badanych próbek tarcz hamulcowych różni się między sobą zawartością C i postacią grafitu oraz innymi dodatkami w zakresie zgodnym z wymaganiami dla zastosowanego żeliwa.

Badania metalograficzne materiału tarczy wykazują występowanie różnic w rodzaju i ilości występującego grafitu płatkowego i sferycznego charakterystycznych dla badanego danego gatunku żeliwa.

Skojarzenie cierne okładziny z żeliwem szarym z grafitem płatkowym wykazało w temperaturze podwyższonej najwyższą wartość średniego współczynnika tarcia μ wynoszące 0,56.

Para cierna okładziny z żeliwem szarym z grafitem sferoidalnym wykazała mniejsze różnice w wartości średniego współczynnika tarcia μ w zależności od temperatury niż dla pary cierniej z żeliwem płatkowym.

Skojarzenie cierne okładziny oraz żeliwa szarego z grafitem płatkowym wykazuje wzrost o 22% średniej wartości współczynnika tarcia μ wraz ze wzrostem temperatury.

W przypadku pary cierniej okładziny z żeliwem szarym sferoidalnym wzrost temperatury spowodował obniżenie średniego współczynnika tarcia μ o 7%.

Para cierna okładziny z żeliwem z grafitem płatkowym wykazała w temperaturach podwyższonych wyższy średni współczynnik tarcia μ w stosunku do pary cierniej okładziny z żeliwem z grafitem sferoidalnym o ok. 10%.

W temperaturze otoczenia para cierna okładziny z żeliwem z grafitem sferoidalnym wykazała większe zużycie o 38% w stosunku do skojarzenia ciernego okładziny z żeliwem z grafitem płatkowym.

W podwyższonej temperaturze para cierna okładziny z żeliwem z grafitem płatkowym wykazywała większe o 33% zużycie w stosunku do skojarzenia ciernego okładziny z żeliwem z grafitem sferoidalnym.

Współczynniki tarcia μ dla obu skojarzeń ciernych zawierają się w granicach od 0,4 do 0,6. Wartości te uważa się za prawidłowe i o optymalnych wartościach dla zastosowań par ciernych w układach hamulcowych pojazdów samochodowych.

LITERATURA:

- [1] A. Wojciechowski, J. Sobczak, „Kompozytowe tarcze hamulcowe pojazdów drogowych” Warszawa 2001 r. Publikacja ITS, s. 1-162. ISBN 83-913045-6-6
- [2] K. Pietrzak, K. Makowska, D. Rudnik, A. Eminger, R. Michalski. „Mikrostrukturalne uwarunkowania odporności na zużycie wybranych par ciernych stosowanych w układach hamulcowych”, Transport Samochodowy ITS , 3-2011
- [3] A. Wojciechowski, R. Michalski, A. Gołowicz, A. Eminger. „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 r.

Dokumenty związane:

- [1] PN-EN ISO 945:2009 - Określenie mikrostruktury żeliwa – Część 1.
- [2] PN-EN 1561:2000 - Odlewnictwo – Żeliwo szare.
- [3] PN-EN ISO 6506-1:2008 - Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella Część 1.
- [4] PN-EN ISO 2039-2:2002 - Tworzywa sztuczne – Oznaczanie twardości - Część 2.