

WPŁYW POSTACI MIEDZI W MATERIALE CIERNYM HAMULCÓW TARCZOWYCH NA WSPÓŁCZYNNIK TARCIA I ZUŻYCIE W BADANIACH STANOWISKOWYCH

ANDRZEJ WOJCIECHOWSKI¹, ARTUR GOŁOWICZ², RYSZARD MICHALSKI³

Institut Transportu Samochodowego

Streszczenie

W materiałach ciernych stosowanych na nakładki hamulców tarczowych występuje przeszło 15 komponentów. Miedź w postaci proszku lub włókien zaliczana jest do grupy wzmacniaczy i spełnia w procesie hamowania istotną rolę. Nakładki cierne wzmocnione włóknem i proszkiem miedzi w ilości 2% (wagowo), wykonano w procesie produkcyjnym w firmie Tomex. Badania przeprowadzono na małych próbkach na stanowisku T-11 (pin on disc) i na nakładkach ciernych na stanowisku Krauss w warunkach zbliżonych do eksploatacyjnych. Tarcze hamulcowe stanowiące przeciwpróbkę wykonano z żeliwa szarego z grafitem w postaci płatkowej.

Wyniki badań na obu stanowiskach wykazały, że dla materiału wzmocnionego włóknem uzyskano wyższe wartości współczynnika tarcia i większe zużycie niż dla materiału wzmocnionego proszkiem.

Obserwacje struktur na mikroskopie skaningowym JOEL JSM – 6360LA oraz charakter zużycia obserwowany na profilometrze optycznym firm BRUKER Contour GT, potwierdzają uzyskane wyniki badań.

Słowa kluczowe: materiały cierne, para cierna, tarcie, zużycie

1. Wprowadzenie

W materiałach ciernych stosowanych w pojazdach samochodowych stosuje się komponenty zaliczane do 5 grup: wzmacniacze, spoiwa, wypełniacze, materiały cierne (ścierne) i smary. Miedź najczęściej zaliczana jest do grupy wzmacniaczy, które zapewniają odpowiednią wytrzymałość mechaniczną materiału ciernego. Poza miedzią stosuje się też inne materiały takie jak: włókno szklane aramidowe, metale (stal, mosiądz), materiały ceramiczne. Miedź występuje w materiałach ciernych w postaci włókien lub proszku, posiada dobre

¹ Institut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, e-mail: andrzej.wojciechowski@its.waw.pl, tel. 22 438 51 37

² Institut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, e-mail: artur.golowicz@its.waw.pl, tel. 22 438 53 36

³ Institut Transportu Samochodowego, ul. Jagiellońska 80, 03-301 Warszawa, e-mail: ryszard.michalski@its.waw.pl, tel. 22 4385 236

właściwości przewodnictwa cieplnego, które wpływa na obniżenie temperatury w strefie kontaktu, oraz posiada dobre właściwości antykorozyjne w przeciwieństwie do włókien stalowych.

2. Cel pracy

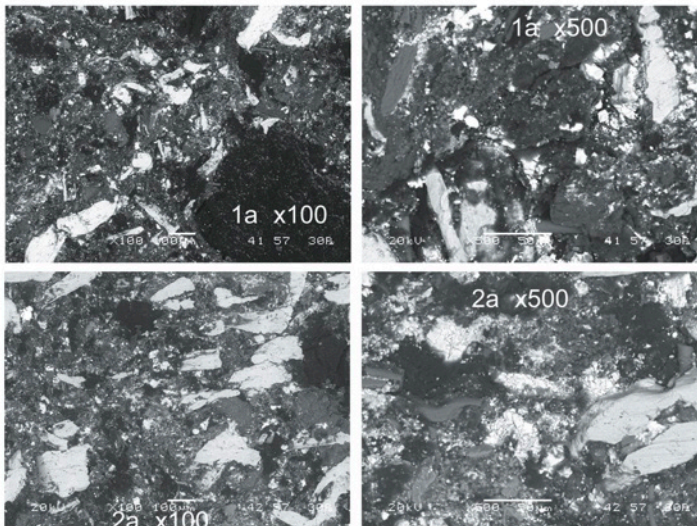
Celem pracy było określenie warunków współpracy materiału ciernego z tarczą hamulcową wykonaną z żeliwa szarego (z grafitem płatkowym) w zależności od zastosowanej postaci miedzi w materiale ciernym.

3. Materiały stosowane w badaniach

3.1 Materiał próbek

Próbki zostały wykonane na linii produkcyjnej firmy TOMEX na bazie z materiału ciernego I4A wzmocnionego włóknami Cu (próbka 1a) oraz proszkiem Cu (próbka 2a).

Przygotowane i wykonane próbki poddano identyfikacji za pomocą mikroskopu skaningowego JEOL JSM-6360LA umożliwiającym obserwacje przy 30 kV z rozdzielczością 3nm w trybie próżni wysokiej oraz 4nm w trybie próżni niskiej (rys. 1) [1].



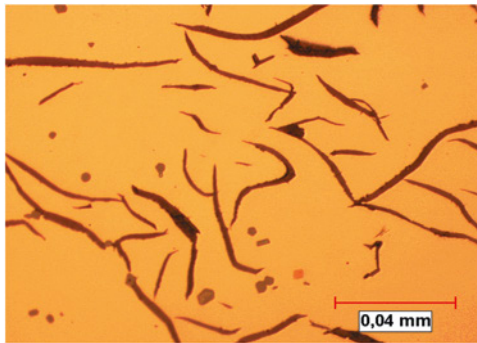
Rys. 1. Struktury próbek 1a i 2a pow. x100 i x500

3.2 Materiał przeciwpróbki

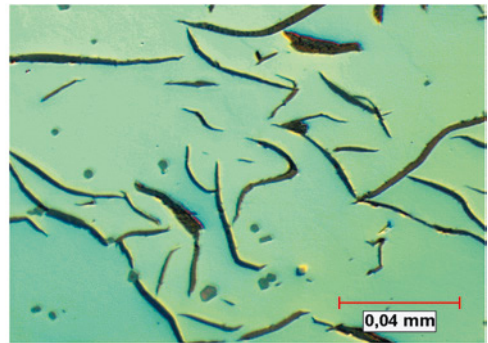
Najczęściej stosowanym materiałem na tarcze hamulcowe jest żeliwo, będące stopem na bazie żelaza o zawartości węgla 2,0–3,8% i zawierającym dodatki: Si, Mn, P i S.

Najbardziej klasycznym spośród zastosowanych gatunków żeliwa na tarcze hamulcowe jest żeliwo szare z grafitem płatkowym.

Przygotowane próbki poddano obserwacjom mikroskopowym w stanie nie trawionym (rys. 2).



światło zwykłe, pow. 500x, stan nie trawiony



kontrast fazowy, pow. 500x, stan nie trawiony

Rys. 2. Żeliwo szare z grafitem płatkowym (Br)

4. Badania

Badania charakterystyk ciernych wykonano w skali mikro na stanowisku T11 (pin on disc) oraz w skali rzeczywistej na stanowisku Krauss.

4.1 Badania charakterystyk ciernych w skali mikro na stanowisku T-11 (pin on disc)

Urządzenie T-11 typu trzpień-tarcza używane jest w celu określania tribologicznych właściwości materiałów stosowanych na węzły tarcia. Badania prowadzi się w skali mikro, w celu wstępnej oceny np. materiałów ciernych. Obciążenie pionowe próbki realizowane było przez obciążniki a pomiar siły tarcia za pomocą dynamometru. Wartości te pozwalają określić współczynnik tarcia w węzle. Ponadto w trakcie badania rejestrowano w sposób ciągły siłę tarcia, temperaturę oraz drogę tarcia pary cierniej. W celu zbliżenia warunków badań do rzeczywistych zmieniono poprzez zaprojektowany adapter średnicę próbki do 8 mm oraz przeciwpróbki uzyskując promień tarcia 9,5 mm (rys. 3). Próbkę obciążono maksymalną siłą pionową wynoszącą 50N.

Badania na stanowisku T 11 [2] przeprowadzono według ustalonych parametrów badań (Tabela 1).

Tabela 1. Parametry badań

Wymiary		Powierzchnia tarcia	Parametry badań	
Średnica próbki	Promień tarcia			
8 mm	9.5 mm	50.26 mm ²	prędkość obrotowa:	525 obr/min
			prędkość tarcia:	0.522 m/s
			droga tarcia:	3130 m
			naciski jednostkowe:	ok. 1 N/mm ²
			temp. otoczenia:	25±5 °C



Rys. 3. a – próbka (trzcień); b – przeciwpróbka (krążek)

4.1.1 Program badań

Program badań na urządzeniu T-11 przewidywał ciągłą współpracę pary ciernej. Czas pojedynczej próby został, na podstawie wcześniejszych doświadczeń określony na 6000 s w tym przez 2000 s następowało docieranie.

4.2 Badania charakterystyk ciernych w skali rzeczywistej na stanowisku Krauss

Badania właściwości tarcowych wykonano w firmie TOMEX na stanowisku Krauss. Stanowisko posiada konstrukcję, która umożliwia badania pełnowymiarowego hamulca. Symulowanie warunków obciążenia badanego materiału ciernego w mechanizmie hamującym następuje za pomocą silnika prądu stałego. Stanowisko Krauss jest powszechnie stosowane przez producentów materiałów ciernych dla oceny jakości bieżącej produkcji, zgodnie z wymaganiami opisanymi w Załączniku 9 Regulaminu ONZ nr 90 [4]. Badania na stanowiskach dynamicznych bezwładnościowych umożliwiające uzyskanie szerokiej skali parametrów badań, prowadzone są zwykle w procesie opracowywania nowych materiałów ciernych.

Parametry badań na stanowisku (Załącznik 9 Regulaminu ONZ nr 90):

prędkość obrotowa tarczy/bębna bez obciążenia	660 ± 10 obr/min
prędkość obrotowa tarczy/bębna z obciążeniem	min. 600 obr/min
prędkość poślizgu	ok. 7 m/s
ciśnienie hydrauliczne przed tłokiem	0,9 MPa
ilość zahamowań	50 (w cyklu fadingu)
wydatek chłodzenia powietrzem	600 ± 60 m ³ /h

4.2.1 Program badań

Program badań obejmuje cztery cykle badawcze (docieranie, na zimno, fading, regeneracja). Każde zahamowanie trwa 5 sekund, po którym hamulec zostaje zwolniony i pozostaje w takim stanie przez 10 sekund.

Program badań na stanowisku Krauss przedstawiono w Tabeli 2.

Podczas każdego zahamowania rejestrowana jest temperatura tarczy hamulcowej oraz moment hamowania przeliczony na współczynnik tarcia. Ocenę właściwości ciernych badanych par przeprowadzono w cyklu fadingu. Ocenianymi parametrami były: operacyjny współczynnik tarcia – μ_{op} ; maksymalny – μ_{max} ; minimalny – μ_{min} .

Tabela 2. Program badań

Nr cyklu	Cykl	Liczba hamowań w cyklu	Temp. tarczy na początku pierwszego hamowania [°C]	Temp. maksymalna tarczy [°C]	Wymuszone chłodzenie
1	D - docieranie	2×(5×3)	100	300	tak
2	Z - na zimno	1×10	50	-	nie
3	F - fading	5×10	100	-	nie
4	R - regeneracja	1×10	100	-	tak

Parę cierną stanowiła nakładka do samochodu Daewoo Lanos o powierzchni tarcia 2275 mm² oraz wentylowana tarcza hamulcowa o średnicy 239 mm (rys. 4).



Rys. 4. Nakładka cierna i tarcza hamulcowa do samochodu Daewoo Lanos

4.3 Badania zużycia

Stanowisko T-11 umożliwiło rejestrację liniowego zużycia pary ciernej. Ocenę zużycia wykonano po dotarciu w zakresie 2000-6000 s.

Na stanowisku Krauss oceniono masowe zużycie materiału cierneho.

4.4. Badania jakościowe powierzchni pary ciernej

Badania jakościowe powierzchni pary ciernej wykonano dla próbek T-11 za pomocą profilometru firmy BRUKER typ Contour GT w Instytucie Transportu Samochodowego (rys 5).



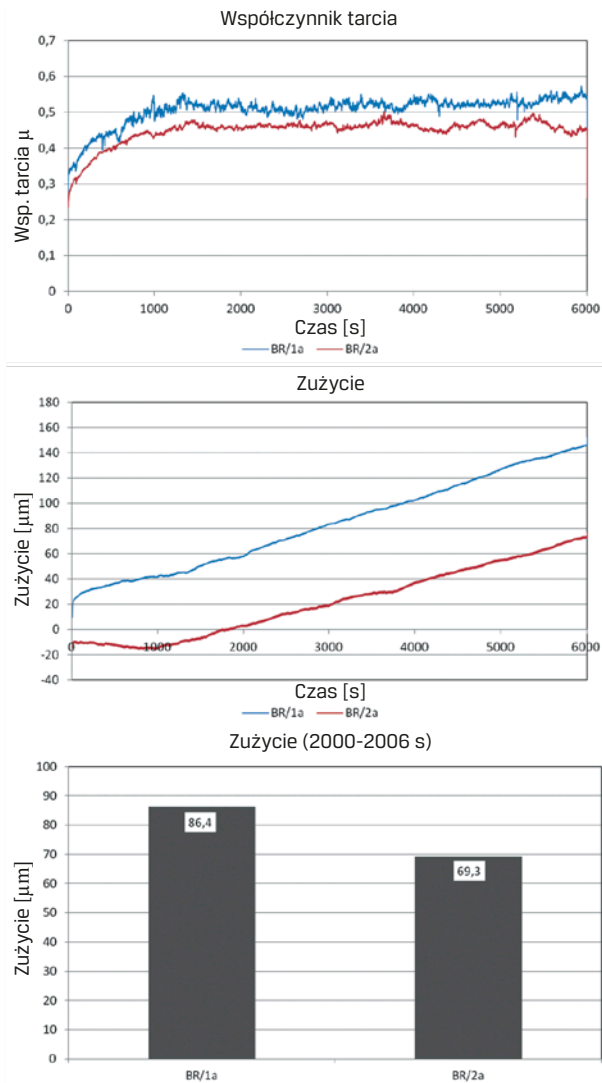
Rys 5. Profilometr optyczny BRUKER Contour GT

5. Wyniki badan

5.1 Stanowisko T-11

Ocenę charakterystyki ciernej i zużycia dokonano w oparciu o średnie wartości z zarejestrowane w przedziale czasu między 2000 a 6000 s. Ocenianymi parametrami był współczynnik tarcia μ oraz zużycie sumaryczne pary.

Wyniki badan przedstawiono na rysunku 6.



Rys 6. Wyniki badan zużycia na stanowisku T11

Zaobserwowany na wykresach (rys. 6.) charakter przebiegu współczynnika tarcia jest podobny w obu przypadkach. Wartości współczynnika tarcia są wyższe dla materiału z miedzią w postaci włókien o ok. 10%. Zmierzone zużycie linowe (sumaryczne próbki i przeciwpróbki) wykazało o 20% wyższe wartości zużycia dla materiału ciernego z włóknami miedzi [3], [4].

5.2 Stanowisko Krauss

Ocenę pary ciernej przeprowadzono w cyklu fadingu z uwagi na najcięższe warunki pracy występujące podczas tej próby. Ta część badań polegała na wykonaniu 5 cykli po 10 zahamowań przy stałej prędkości poślizgu wynoszącej $v = \text{ok.} 7 \text{ m/s}$ oraz przy stałym ciśnieniu w układzie hamulcowym wynoszącym $p = 0,9 \text{ MPa}$. Temperatura tarczy hamulcowej na początku każdego cyklu zahamowań wynosiła 100°C . Podczas każdego zahamowania rejestrowano: temperaturę tarczy hamulcowej oraz współczynnik tarcia.

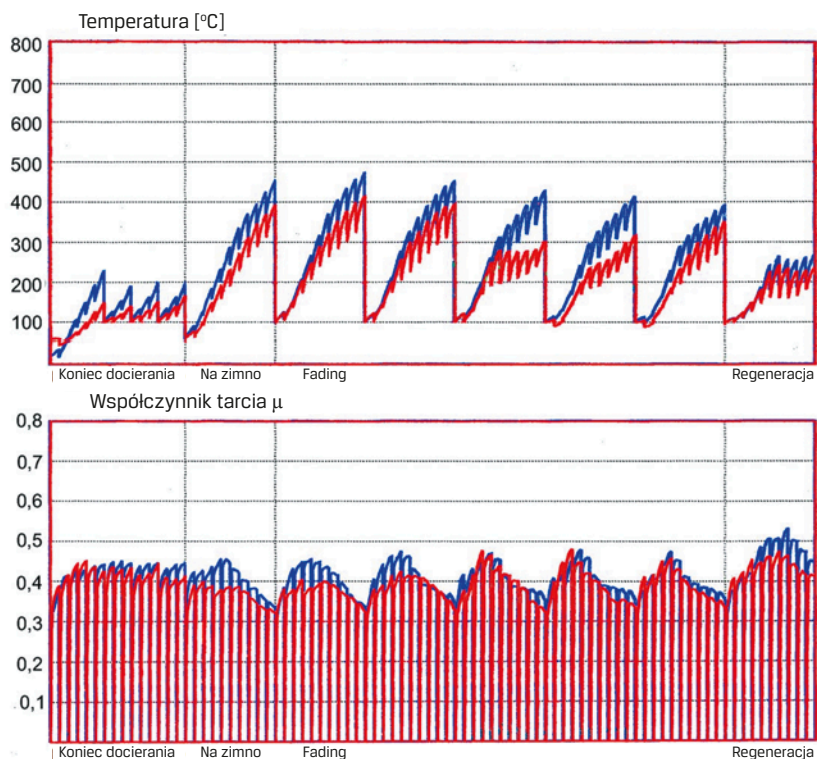
Prezentowane wyniki badań na rys 7 pokazują na wykresie przebieg charakterystyk ciernych, a w tablicy wartości współczynników tarcia.

Wyniki badań potwierdzają obserwowane w skali mikro wyższe wartości współczynnika tarcia dla materiału ciernego z dodatkiem włókien miedzi w stosunku do dodatku miedzi w postaci proszku.

Przeprowadzono pomiary masowe zużycia materiału ciernego. Materiał cierny z dodatkiem włókien wykazał ubytek masy wynoszący 0,89% a z proszkiem był niższy o ok. 30%.

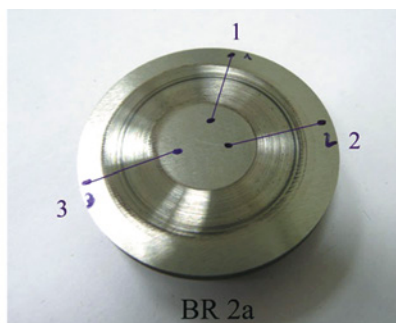
5.3 Badania powierzchni przeciwpróbki

W celu określenia wpływu postaci miedzi w materiale ciernym na zużycie przeciwpróbki przeprowadzono badania za pomocą profilometru firmy BRUKER Contour GT (rys. 5). Wykonano pomiar chropowatości powierzchni w wybranych przekrojach oraz ocenę ilościową chropowatości powierzchni śladu (S_a). Prezentowane wyniki odnoszą się do przekroju 1 (rys. 8). Wyniki przedstawiono na rys 9 i 10.

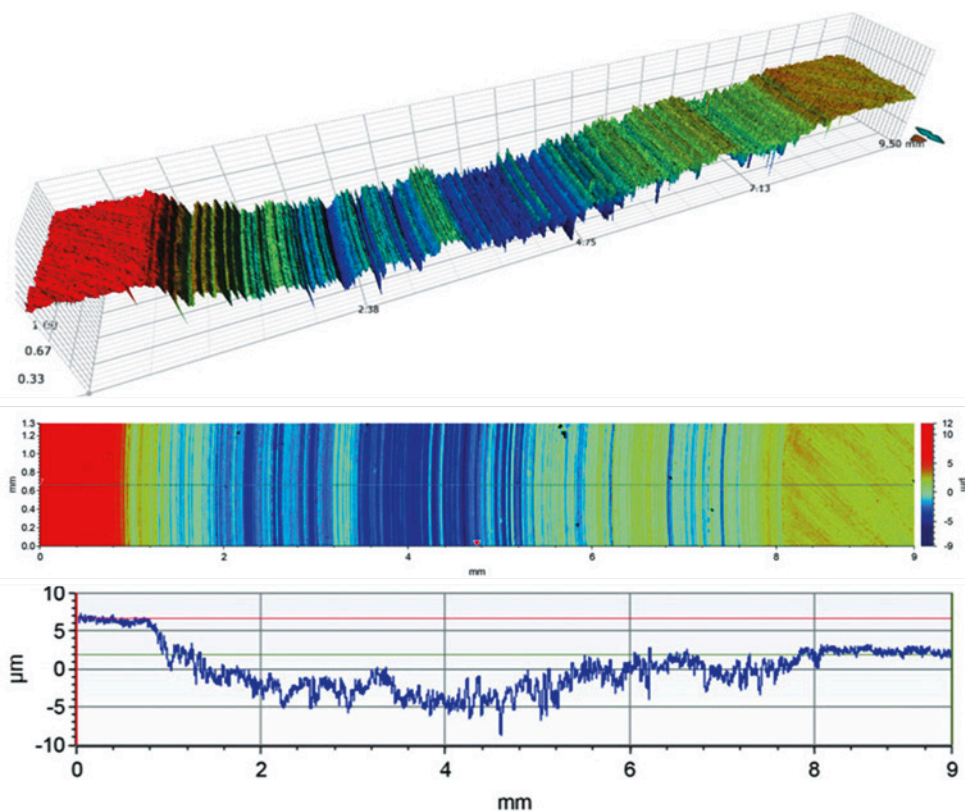


Współczynnik tarcia		Próbka 1a	Próbka 2a	Różnica (1a - 100%)
operacyjny	μ_{op}	0,322	0,321	-0,3%
na zimno	μ_{zimno}	0,369	0,325	-12%
minimalny	μ_{min}	0,311	0,311	0%
maksymalny	μ_{max}	0,531	0,480	-10%

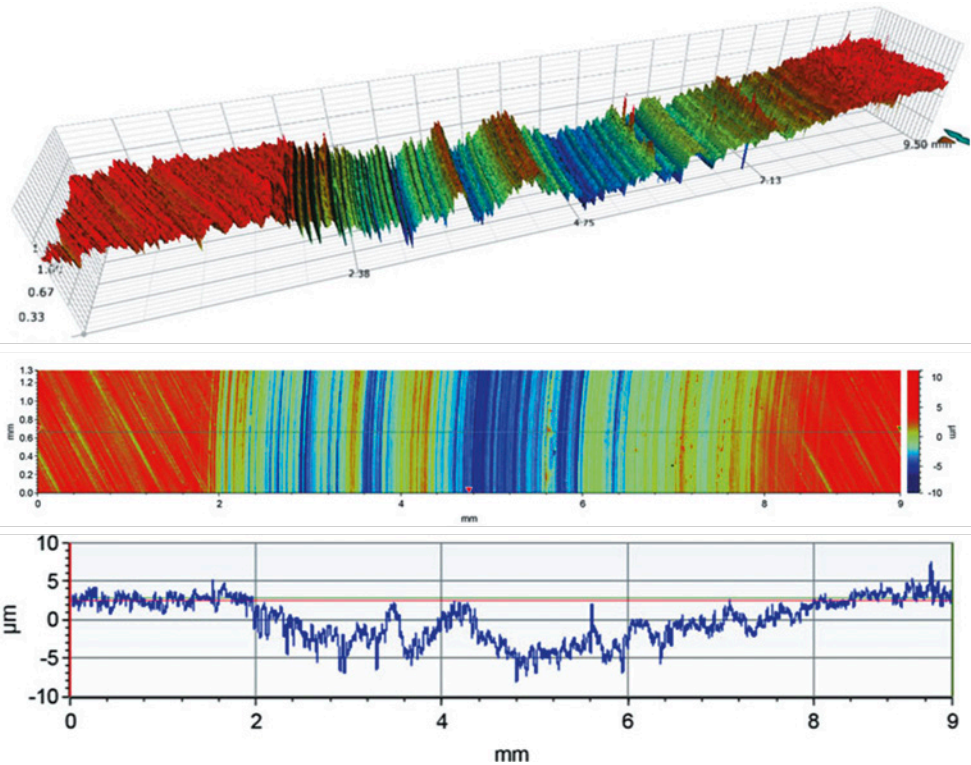
**Rys 7. Wyniki badań na stanowisku KRAUSS:
próbka 1a - kolor niebieski; próbka 2a - kolor czerwony**



Rys 8. Przeciwpróbki po badaniu z próbką 1a i 2a



Rys 9. Przeciwpróbka po badaniu z próbką 1a – struktura powierzchni



Rys 10. Przekiwna próbka po badaniu z próbką 2a – struktura powierzchni

Badania stopnia zużycia powierzchni wykazują mniejsze zużycie przeciwności współpracującej z próbką z miedzią w postaci proszku. Chropowatość oszacowana na podstawie analizy profilu powierzchni wynosiła ok. 5 μm , a dla przeciwności z miedzią w postaci włókien ok. 8 μm .

6. Wnioski końcowe

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono:

- mniejszy współczynnik tarcia (na zimno) dla pary ciernej z miedzią w postaci proszku o ok. 10-12% na stanowisku KRAUSS i T-11;
- mniejszy maksymalny współczynnik tarcia dla pary ciernej z miedzią w postaci proszku o ok. 10% na stanowisku KRAUSS i T-11;
- mniejsze zużycie próbki i przeciwności dla pary ciernej z miedzią w postaci proszku o ok. 30% na stanowisku KRAUSS i ok. 20% na stanowisku T-11.

Literatura

- [1] K. PIETRZAK, K. MAKOWSKA, D. RUDNIK, A. WOJCIECHOWSKI, A. EMINGER, R. MICHALSKI: *Mikrostrukturalne uwarunkowania odporności na zużycie wybranych par ciernych stosowanych w układach hamulcowych* Transport Samochodowy, 3/2011, s. 51-63, Wydawnictwo ITS.
- [2] A. WOJCIECHOWSKI, R. MICHALSKI, A. GOŁOWICZ, A. EMINGER: *Badanie procesów tarciovych na urządzeniu T-11 metodą trzpień-tarcza wybranych skojarzeń ciernych w hamulcach tarczowych pojazdów samochodowych*. XXXII Ogólnopolska Konferencja Tribologiczna, Kudowa Zdrój 2012.
- [3] Praca zbiorowa, Sprawozdanie Nr 6821/CBM/ITS: *Optymalizacja materiałów w węzle tarcia hamulca tarczowego kompozytowego w samochodzie kategorii M1*. s. 30-32, ITS 2009 r.
- [4] Regulamin EKG Nr 90 dotyczący homologacji zamiennych zespołów okładzin hamulcowych do pojazdów o napędzie silnikowym kategorii M1 i N1.
- [5] M. IDZIOR, *Kierunki zmian materiałowych w motoryzacji w świetle wymagań ekologii*, MOTROL, 2007, 9, 72-87 Pol. Pozn.
- [6] PN-EN ISO 945:2009 Określenie mikrostruktury żeliwa. Część 1, Klasyfikacja grafitu na podstawie analizy wizualnej.
- [7] J. SOBCZAK, A. WOJCIECHOWSKI *Atlas of cast metal-matrix composites structures*, ITS, IOD, Warszawa 2007.
- [8] www.hamulcebosch.pl