

Wojciech GRZEGORZEK
Politechnika Śląska, Gliwice

OCENA WPŁYWU RODZAJU ŻYWICY NA WŁASNOŚCI CIERNE OKŁADZINY TYPU BAC DO HAMULCÓW MASZYN WYCIĄGOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań własności ciernych okładziny typu BAC do hamulców promieniowych, górniczych maszyn wyciągowych. Badania wykonano na stanowisku bezwładnościowym do badań procesu tarcia statycznego i kinetycznego hamulcowych okładzin ciernych. Celem badań była ocena, w jakim stopniu zmiana rodzaju i ilościowego udziału żywicy w okładzinie typu BAC wpłynęła na jej własności cierne. Analizie poddano przebiegi zmian współczynnika tarcia statycznego i kinetycznego w funkcji parametrów tarcia: prędkość poślizgu, nacisk jednostkowy, temperatura na powierzchni tarczy hamulcowej.

THE TYPE OF RESIN EFFECT ON FRICTION CHARACTERISTICS OF BAC BRAKE LININGS FOR WINDING MACHINES

Summary. The paper presents results of experimental investigation of friction characteristics of BAC type brake linings for winding machine radial brakes. Tests were made on tribotester specially designed for modelling static and kinetic friction in brakes. The main purpose of the investigation was to find out how the resin type and its percentage are influencing frictional characteristic of BAC brake linings. The coefficients of static and kinetic friction were tested as function of friction parameters: sliding velocity, pressure and temperature on friction surface.

1. Wprowadzenie

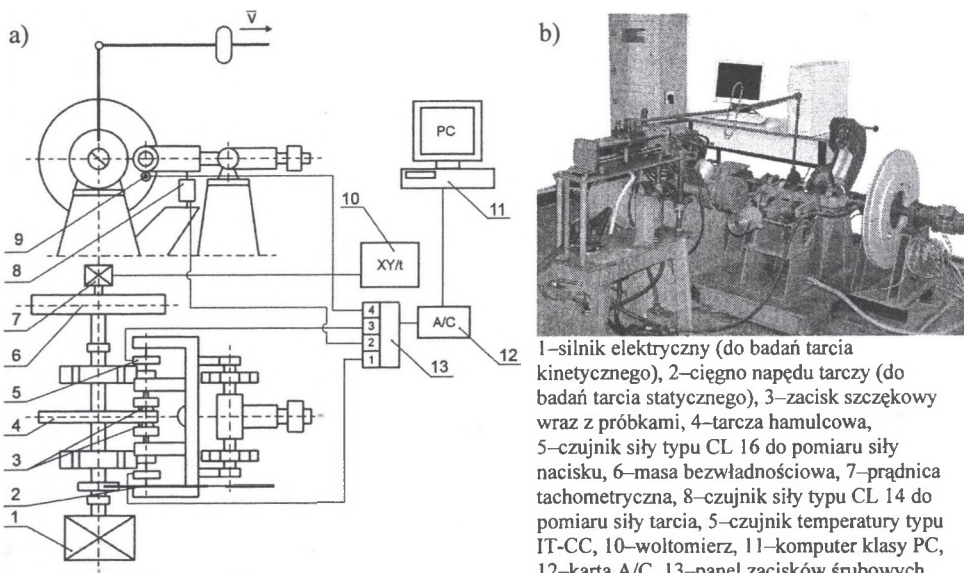
Na obecnym etapie rozwoju konstrukcji hamulców promieniowych (walcowych) z napędem pneumatyczno-obciążnikowym główne zastosowanie, jako element cierny (okładzina mocowana na szcegłach hamulcowych), mają taśmy hamulcowe tkane [1, 2]. Wytwarzane są z przędzy ceramicznej (kaolinowej) o wielowarstwowym splocie, zbrojone drutem mosiężnym i impregnowane kompozycją żywic naturalnych i syntetycznych.

Taśmy hamulcowe tkane, dopuszczone do stosowania w maszynach wyciągowych są oferowane przez kilku producentów. Jednym z nich jest firma GAMBIT Lubawka Sp. z o.o., która decyzją Prezesa Wyższego Urzędu Górniczego z dnia 22 grudnia 1998 r. uzyskała dopuszczenie dla taśmy BAC-347 do stosowania w hamulcach górniczych maszyn wyciągowych, pracujących w pomieszczeniach niezagrażonych wybuchem. W ramach prac rozwojowych producent dokonał modyfikacji taśmy hamulcowej, poprzez zastąpienie dotychczas stosowanej żywicy kalafoniowej żywicą mocznikowo-formaldehydową. Aby ocenić, w jakim stopniu zmiana rodzaju żywicy i jej ilościowego udziału wpłynęła na własności cierne taśmy, należało wykonać badania laboratoryjne. Program badań obejmował pomiary i oszacowanie wartości liczbowych współczynnika tarcia statycznego i kinetycznego taśmy hamulcowej BAC-347 oraz czterech wersji jej modyfikacji.

2. Stanowisko badawcze i aparatura pomiarowa

Badania doświadczalne tarcia statycznego i kinetycznego wykonano w Zakładzie Transportu i Tribotechniki Instytutu Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej na stanowisku bezwładnościowym, odwzorowującym procesy tribologiczne, zachodzące w hamulcach maszyn wyciągowych [3-5]. Schemat stanowiska wraz z wyszczególnieniem jego zasadniczych części składowych przedstawiono na rysunku 1, a zakres parametrów badań zawarto w tabeli 1. Badania wykonano przy użyciu komputerowego systemu pomiarowego, co zapewniało bieżącą wizualizację i archiwizację wielkości mierzonych. W skład systemu pomiarowego wchodzi:

- A. Stacja robocza akwizycji danych (komputer klasy PC).
- B. Oprogramowanie akwizycji danych do ciągłej rejestracji wielkości mierzonych w czasie rzeczywistym z równoczesną ich archiwizacją.
- C. Karta A/C APCI 3300 Dual, umożliwiająca bezpośrednie podłączenie do jej wejść tensometrycznych czujników siły.
- D. Tyrystorowy regulator prędkości obrotowej silnika napędowego MENTOR II 45.
- E. Przenośny miernik do pomiaru temperatury i wilgotności TES 1361, zapewniający ciągły pomiar wilgotności i temperatury oraz zapis do pliku wielkości mierzonych za pomocą złącza RS – 232.



Rys. 1. Stanowisko do badań tarcia statycznego i kinetycznego: a) schemat kinematyczny, b) zdjęcie
 Fig. 1. The test rig for static and kinetic friction investigation: a) schematic diagram of the experimental set-up,
 b) Tribotester during laboratory experiments

Tabela 1

Charakterystyka stanowiska i zakres parametrów badań

Parametr i oznaczenie	Wartość	Wymiar
Prędkość poślizgu, v	$8,0 \div 16,0$	m/s
Prędkość narastania stycznego obciążenia, Q	1,5	N/s
Nacisk jednostkowy, p	$0,6 \div 1,2$	MPa
Temperatura początkowa tarczy hamulcowej, T	$323 \div 473$	K
Wymiary tarczy hamulcowej, D_1, g_1	$\phi 320 \times 20$	mm
Wymiary próbki, D_2, g_2	$\phi 20 \times 15$	mm
Średni promień tarcia, r_t	140	mm
Układ obciążający – hydrauliczny	Pomiar prędkości – tachometryczny	
Pomiar temperatury – termoelektryczny	Pomiar sił docisku i tarcia – tensometryczny	

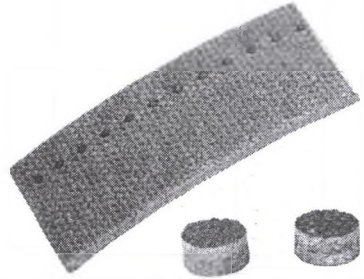
3. Przebieg badań procesu tarcia kinetycznego i statycznego

Z dostarczonych przez producenta taśm hamulcowych typu BAC (rys. 2) wycięto w losowo wybranych miejscach, po trzy fragmenty taśm, z których wytoczono zestawy próbek cylindrycznych o wymiarach $\phi 20 \times 15$ mm i oznaczono numerami 1, 2 i 3. Tak przygotowane próbki umieszczano w zacisku szczękowym 3 na stanowisku badawczym (rys. 1) i poddawano docieraniu. Proces ten polegał na wprowadzeniu w ruch obrotowy silnikiem prądu stałego 1 masy bezwładnościowej 6, umieszczonej na wspólnym wale

z tarczą hamulcową 4, a po ustaleniu wartości liniowej prędkości poślizgu uruchamiano docisk próbek 3 do tarczy hamulcowej. Docieranie prowadzono w kilku etapach na drodze tarcia równej 5000 m każdy, do momentu, aż co najmniej 90% całkowitej powierzchni próbki wykazywało ślady współpracy z powierzchnią tarczy hamulcowej. Pozostałe parametry tarcia to:

- nacisk jednostkowy $p = 0,8$ MPa,
- prędkość poślizgu $v = 16$ m/s,
- temperatura na powierzchni tarczy hamulcowej $T < 373$ K.

Pomiędzy kolejnymi etapami docierania stosowano przerwy na chłodzenie tarczy hamulcowej i oceniano wygląd próbki w zakresie stopnia dotarcia jej powierzchni styku z tarczą.



Rys. 2. Próbkę i okładzina ciemna typu BAC
Fig. 2. BAC type friction lining and two samples for laboratory testing

Badania doświadczalne tarcia kinetycznego realizowano poprzez wprowadzenie w ruch obrotowy silnikiem prądu stałego masy bezwładnościowej. Po uzyskaniu określonych programowo warunków tarcia: temperatury oraz prędkości poślizgu odłączano napęd i uruchamiano docisk próbek do tarczy hamulcowej o zadanej wartości aż do zahamowania układu. Badania doświadczalne tarcia statycznego realizowano w tym samym, niezmiennym układzie próbka–przeciwpróbka. W trakcie każdej z prób komputerowy system pomiarowy rejestrował wartości chwilowe: siły tarcia, sił docisku próbek do tarczy hamulcowej oraz temperaturę na powierzchni tarczy (rys. 4). Badania prowadzono przy następujących parametrach początkowych procesu tarcia:

- nacisk jednostkowy $p = 0,6; 0,8; 1,2$ MPa,
- prędkość poślizgu $v = 8; 12; 16$ m/s,
- temperatura na powierzchni tarczy hamulcowej $T = 323; 373; 423; 473$ K.

Dla każdej kombinacji parametrów tarcia pomiary powtarzano pięciokrotnie – podczas badań tarcia kinetycznego i trzykrotnie – podczas badań tarcia statycznego.

Określenie współczynnika tarcia kinetycznego $(\mu_k)_i^j$, dla i -tej próbki w j -tym hamowaniu, dokonano w oparciu o zarejestrowane przez komputerowy system pomiarowy wartości chwilowe siły tarcia kinetycznego F_{Tk} oraz wartości sił docisku próbek do tarcz hamulcowych F_{N1} i F_{N2} według zależności:

$$(\mu_k)_i^j = \frac{0,75 \cdot (\overline{F_{Tk}})_i^j}{F_{N1} + F_{N2}}, \quad (1)$$

gdzie:

F_{N1}, F_{N2} – siła docisku próbek do tarczy, N

$(\bar{F}_{Tk})_i$ – średnia siła tarcia kinetycznego dla i -tej próbki w j -tym hamowaniu, N.

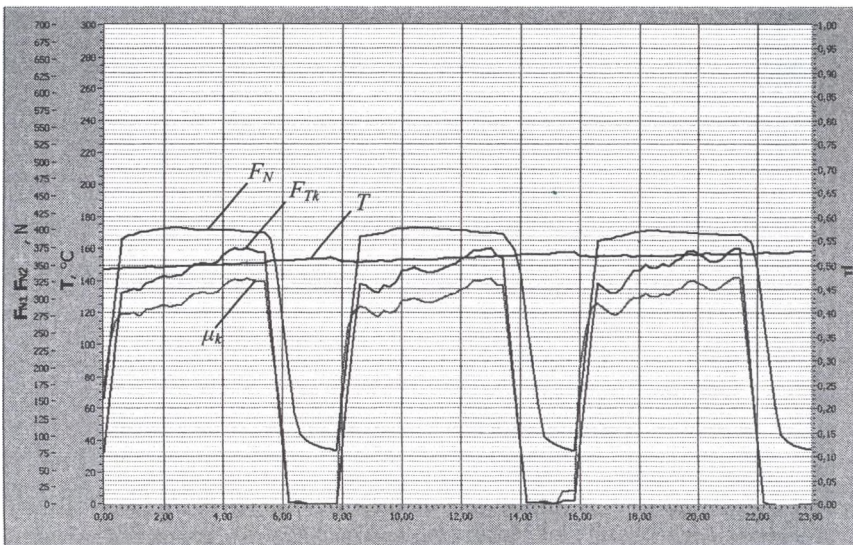
Przy czym, średnią wartość siły tarcia kinetycznego $(\bar{F}_{Tk})_i$, dla i -tej próbki w j -tym hamowaniu (rys. 3), obliczono według zależności:

$$(\bar{F}_{Tk})_i = \frac{\int_{t_1}^{t_2} F_{Tk}(t) dt}{t_2 - t_1}, \quad (2)$$

gdzie $F_{Tk}(t)$ – siła tarcia w funkcji czasu t , N.

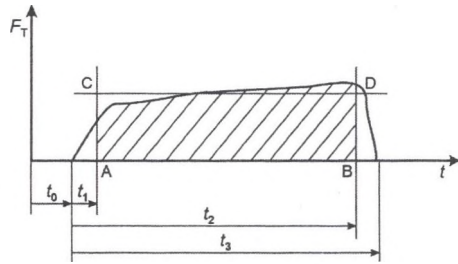
Z kolei wartość współczynnika tarcia kinetycznego $(\bar{\mu}_k)_i$ dla i -tej próbki, która jest średnią arytmetyczną wartości współczynników tarcia $(\mu_k)_i$ z pięciu kolejnych hamowań, obliczono według zależności:

$$(\bar{\mu}_k)_i = \frac{1}{5} \sum_{j=1}^5 (\mu_k)_i \quad (3)$$



Rys. 4. Wielkości rejestrowane w trakcie badań tarcia kinetycznego (siła nacisku F_N , siła tarcia kinetycznego F_{Tk} , temperatura T , współczynnik tarcia kinetycznego μ_k)

Fig. 4. Measured and recorded quantities during kinetic friction testing (normal force F_N , temperature T , coefficient of kinetic friction μ_k)



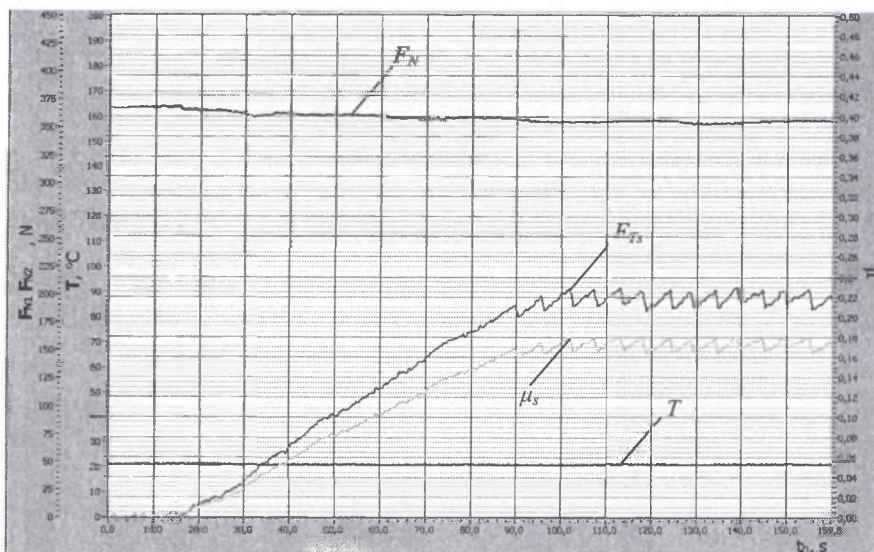
Rys. 3. Wykres siły tarcia w funkcji czasu, t
Fig. 3. Friction force as function of time, t

Obliczeń wartości współczynnika tarcia statycznego μ_s , dla pojedynczej próby zerwania nieruchomego styku pomiędzy próbką a tarczą hamulcową, dokonano w oparciu o zarejestrowaną przez komputerowy system pomiarowy wartość rozwiniętej siły tarcia statycznego F_{Ts} oraz wartości sił docisku próbek do tarczy hamulcowej F_{N1} i F_{N2} (rys. 5), według zależności (4), a średnią (z serii prób) wartość $\bar{\mu}_s$ według zależności (5):

$$\mu_s = \frac{0,75 \cdot F_{Ts}}{F_{N1} + F_{N2}}, \quad (4)$$

$$\bar{\mu}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_s, \quad (5)$$

gdzie n – liczba serii prób zerwania nieruchomego styku.



Rys. 5. Wielkości rejestrowane w trakcie badań tarcia statycznego (siła nacisku F_N , siła tarcia statycznego F_{Ts} , temperatura T , współczynnik tarcia statycznego μ_s)

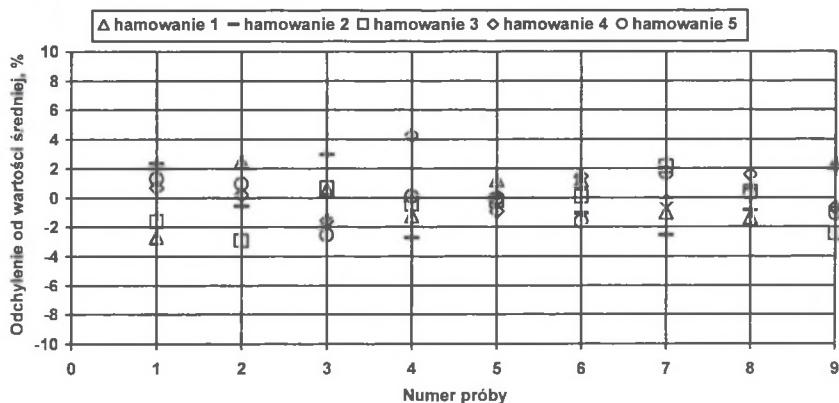
Fig. 5. Measured and recorded quantities during static friction testing (normal force F_N , temperature T , coefficient of static friction μ_s)

4. Analiza i prezentacja wyników badań

Analizę wyników badań przeprowadzono zgodnie z zaleceniami PN-ISO 5725-3, a polegało to na identyfikacji potencjalnych wartości odstających. Oceniano, czy uzyskane w kolejnych hamowaniach oraz z 3 próbek wartości współczynnika tarcia, dla poszczególnych kombinacji parametrów tarcia, są istotnie od siebie różne. Jeżeli dla postawionej hipotezy, zwanej hipotezą jednorodności, nie ma podstaw do jej odrzucenia,

istnieje możliwość połączenia wyników badań. Jest to korzystne, gdyż wzrasta liczebność próby, a stąd maleje wariancja. Analizę przeprowadzono osobno zarówno w odniesieniu do każdej grupy wyników (i -tej próbki), jak i w odniesieniu do wszystkich połączonych grup wyników (n próbek).

Dysponując wynikami przeprowadzonych obliczeń sporządzono wykresy odchyłeń współczynnika tarcia od wartości średniej z kolejnych hamowań dla wszystkich kombinacji parametrów tarcia (numer próby). Przykładowy wykres przedstawiono na rysunku 6.



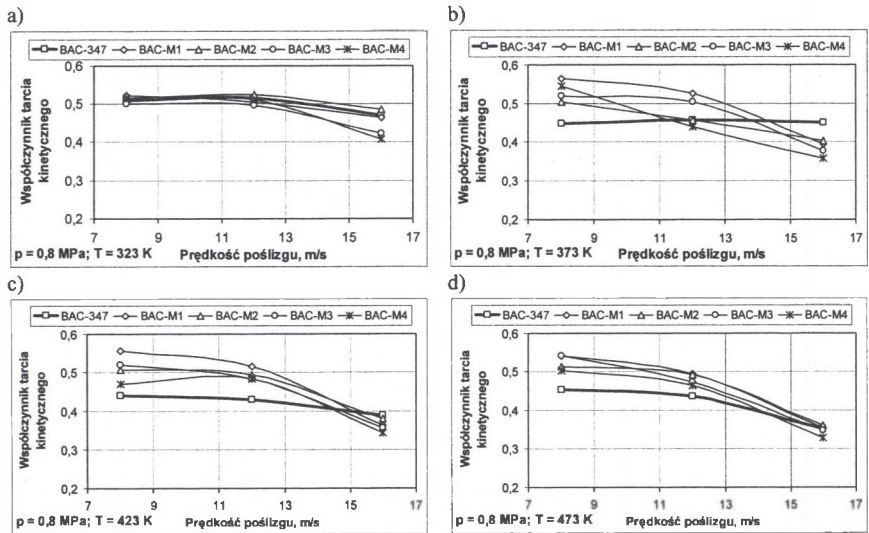
Rys. 6. Odchylenie współczynnika tarcia kinetycznego okładziny BAC-M1 od wartości średniej z pięciu kolejnych hamowań przy $T=323$ K, dla kombinacji parametrów tarcia (numer próby):

1. $p=0,6$ MPa, $v=8$ m/s,
2. $p=0,6$ MPa, $v=12$ m/s,
3. $p=0,6$ MPa, $v=16$ m/s,
4. $p=0,8$ MPa, $v=8$ m/s,
5. $p=0,8$ MPa, $v=12$ m/s,
6. $p=0,8$ MPa, $v=16$ m/s,
7. $p=1,2$ MPa, $v=8$ m/s,
8. $p=1,2$ MPa, $v=12$ m/s,
9. $p=1,2$ MPa, $v=16$ m/s

Fig. 6. Coefficient of kinetic friction mean deviations for friction brake material BAC-M1 tests repeated five times at $T=323$ K and at following combination of friction parameters (test number)

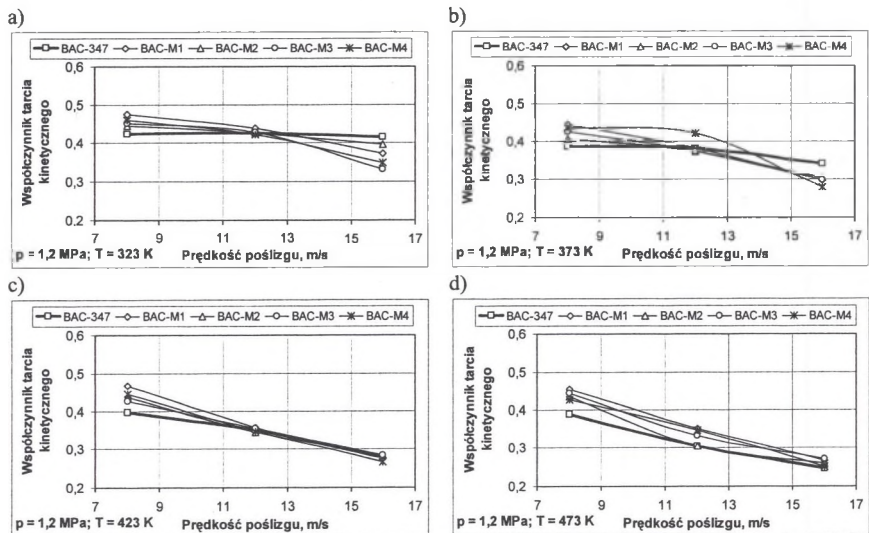
1. $p=0,6$ MPa, $v=8$ m/s,
2. $p=0,6$ MPa, $v=12$ m/s,
3. $p=0,6$ MPa, $v=16$ m/s,
4. $p=0,8$ MPa, $v=8$ m/s,
5. $p=0,8$ MPa, $v=12$ m/s,
6. $p=0,8$ MPa, $v=16$ m/s,
7. $p=1,2$ MPa, $v=8$ m/s,
8. $p=1,2$ MPa, $v=12$ m/s,
9. $p=1,2$ MPa, $v=16$ m/s

Oceniając wyniki sporządzonych obliczeń można było stwierdzić, że różnice pomiędzy wartościami współczynnika tarcia kinetycznego z 5 powtórzeń (hamowań) a ich wartością średnią oraz różnice pomiędzy wartością średnią każdej z 3 próbek a średnią z wszystkich próbek, w ramach poszczególnych kombinacji parametrów tarcia, nie przekraczają 10%. Zadowalający poziom powtarzalności wyników przeprowadzonych badań umożliwił połączenie współczynników tarcia kinetycznego z 5 powtórzeń i 3 próbek w jedną wartość średnią, dla każdej z kombinacji parametrów tarcia. Wyniki obliczeń współczynnika tarcia kinetycznego i statycznego przedstawiono na rysunkach 7 ÷ 10 w funkcji parametrów tarcia.



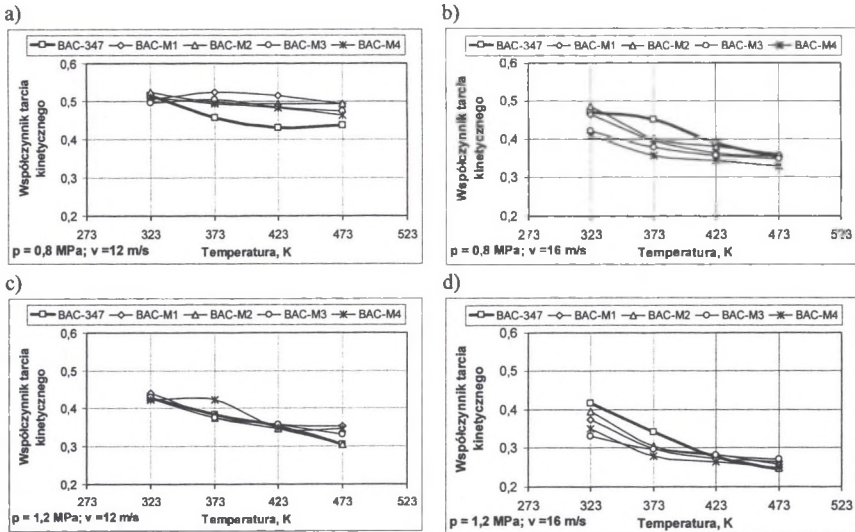
Rys. 7. Przebieg zmian współczynnika tarcia kinetycznego taśm hamulowych typu BAC w zależności od prędkości poślizgu (v), przy nacisku jednostkowym $p = 0,8 \text{ MPa}$ i temperaturze: a) $T = 323 \text{ K}$, b) $T = 373 \text{ K}$, c) $T = 423 \text{ K}$, d) $T = 473 \text{ K}$

Fig. 7. The effect of the sliding velocity (v) on the coefficient of kinetic friction for BAC type friction brake lining under constant pressure $p = 0,8 \text{ MPa}$ and various temperature conditions: a) $T = 323 \text{ K}$, b) $T = 373 \text{ K}$, c) $T = 423 \text{ K}$, d) $T = 473 \text{ K}$



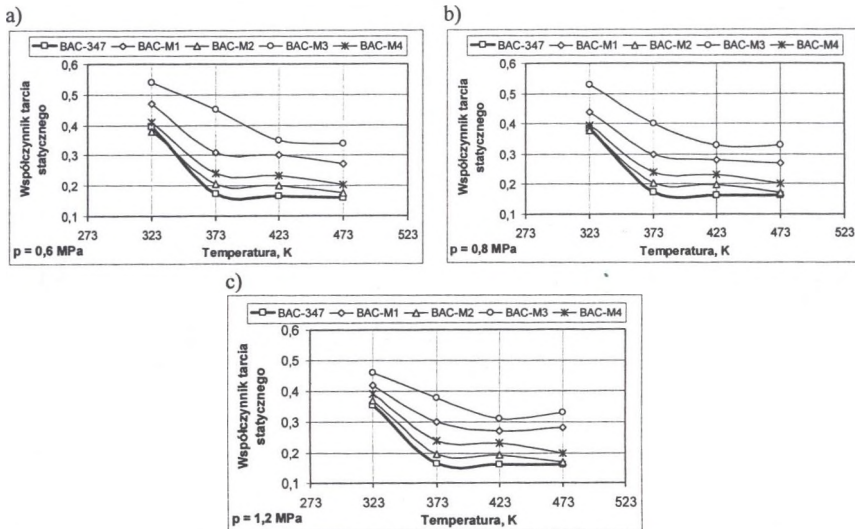
Rys. 8. Przebieg zmian współczynnika tarcia kinetycznego taśm hamulowych typu BAC w zależności od prędkości poślizgu (v), przy nacisku jednostkowym $p = 1,2 \text{ MPa}$ i temperaturze: a) $T = 323 \text{ K}$, b) $T = 373 \text{ K}$, c) $T = 423 \text{ K}$, d) $T = 473 \text{ K}$

Fig. 8. The effect of the sliding velocity (v) on the coefficient of kinetic friction for BAC type friction brake lining under constant pressure $p = 1,2 \text{ MPa}$ and various temperature conditions: a) $T = 323 \text{ K}$, b) $T = 373 \text{ K}$, c) $T = 423 \text{ K}$, d) $T = 473 \text{ K}$



Rys. 9. Przebieg zmian współczynnika tarcia kinetycznego taśm hamulcowych typu BAC w zależności od temperatury (T), przy $p=0,8 \text{ MPa}$ i: a) $v=12 \text{ m/s}$, b) $v=16 \text{ m/s}$ oraz $p=1,2 \text{ MPa}$ i: c) $v=12 \text{ m/s}$, d) $v=16 \text{ m/s}$

Fig. 9. The effect of the temperature (T) on the coefficient of kinetic friction for BAC type friction brake lining under pressure $p=0,8 \text{ MPa}$ and: a) $v=12 \text{ m/s}$, b) $v=16 \text{ m/s}$ and under pressure $p=1,2 \text{ MPa}$ and: c) $v=12 \text{ m/s}$, d) $v=16 \text{ m/s}$



Rys. 10. Przebieg zmian współczynnika tarcia statycznego taśm hamulcowych typu BAC w zależności od temperatury (T), przy: a) $p=0,6 \text{ MPa}$, b) $p=0,8 \text{ MPa}$, c) $p=1,2 \text{ MPa}$

Fig. 10. The effect of the temperature (T) on the coefficient of static friction for BAC type friction brake lining at following pressure conditions: a) $p=0,6 \text{ MPa}$, b) $p=0,8 \text{ MPa}$, c) $p=1,2 \text{ MPa}$

5. Wnioski

Na podstawie wykonanych badań własności ciernych taśm hamulcowych typu BAC oraz analizy sporządzonych wykresów przebiegu zmian współczynnika tarcia statycznego i kinetycznego można stwierdzić, że zmiana rodzaju żywicy spowodowała obniżenie stabilności współczynnika tarcia kinetycznego okładzin w funkcji prędkości poślizgu, w całym zakresie uwzględnionego w badaniach nacisku jednostkowego (rys. 7 i 8). Objawia się to wzrostem własności ciernych okładzin dla prędkości poślizgu $v=8$ i 12 m/s oraz ich obniżeniem dla prędkości $v=16$ m/s (rys. 7b, c i d). Wynika stąd konieczność ograniczenia zakresu stosowania okładziny dla parametrów tarcia: nacisk jednostkowy $p=1,2$ MPa, prędkość poślizgu $v=12$ m/s z uwagi na znaczny spadek współczynnika tarcia kinetycznego poniżej $0,4$ dla prędkości $v=16$ m/s (rys. 8 i 9). Okładzinę typu BAC można stosować dla prędkości poślizgu $v=16$ m/s, pod warunkiem ograniczenia nacisku jednostkowego do wartości $p=0,8$ MPa (rys. 7 i 9b). Na szczególną uwagę zasługuje fakt znacznego podwyższenia odporności termicznej okładzin w warunkach tarcia statycznego (rys. 10). Za najbardziej korzystną modyfikację okładzin typu BAC pod względem wartości współczynnika tarcia kinetycznego i statycznego należy uznać taśmę BAC-M3.

LITERATURA

1. Ścieszka S. F.: Hamulce cierne. Zagadnienia materiałowe, konstrukcyjne i tribologiczne. Radom: ITE, 1998.
2. Zmysłowski T., Mijał T.: Hamulce maszyn wyciągowych. Zeszyty problemowe maszyn górniczych, 1995, nr 1.
3. Grzegorzek W. i inni: Sprawozdanie z realizacji pracy NB-180/RG-2/2002 na temat: Badania własności ciernych taśmy hamulcowej typu BAC-M oraz BAC-347. 2003, s. 57 maszyn., Politechnika Śląska, Gliwice.
4. Janusz M.: Praca magisterska na temat: Badanie własności ciernych okładziny BAC-M1 dla hamulców promieniowych górniczych maszyn wyciągowych. 2005, s. 90 maszyn., Politechnika Śląska, Gliwice.
5. Stępień T.: Praca magisterska na temat: Badanie własności ciernych okładziny BAC-M3 dla hamulców promieniowych górniczych maszyn wyciągowych. 2006, s. 71 maszyn., Politechnika Śląska, Gliwice.
6. PN-ISO 5725-3. Dokładność (poprawność i precyzja) metod pomiarowych i wyników pomiarów. Część 3: Pośrednie miary precyzji standardowej metody pomiarowej.