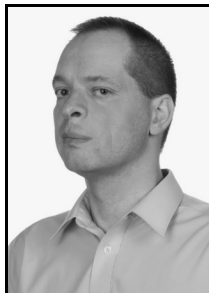


Arkadiusz TRĄBKA, Jarosław JANUSZ, Jacek KŁOSIŃSKI, Marcin SIDZINA

AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU-BIAŁEJ,
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

Porównanie własności ciernych klocków hamulcowych różnych producentów**Dr inż. Arkadiusz TRĄBKA**

Absolwent Wydziału Budowy Maszyn Filii Politechniki Łódzkiej w Bielsku-Białej. Pracę doktorską obronił na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej w 2003r. Pracuje na stanowisku adiunkta w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki maszyn, modelowania i symulacji układów automatyki oraz programowania robotów.



e-mail: atrabka@ath.bielsko.pl

Dr hab. inż. Jacek KŁOSIŃSKI

Ukończył studia na Wydziale Maszyn Górniczych i Hutniczych Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obronił pracę doktorską na tym samym wydziale a kolokwium habilitacyjne złożył przed Radą Wydziału Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami dynamiki i sterowaniem maszyn oraz automatyką procesów przemysłowych.



e-mail: jklosinski@ath.bielsko.pl

Dr inż. Jarosław JANUSZ

Ukończył studia na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Łódzkiej Filii w Bielsku-Białej. Obronił pracę doktorską na Wydziale Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku Białej. Zajmuje się zagadnieniami związanymi z dynamiką i sterowaniem maszyn roboczych.



e-mail: jjanusz@ath.bielsko.pl

Dr inż. Marcin SIDZINA

Absolwent Wydziału Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Od 2004 roku zatrudniony w Katedrze Podstaw Budowy Maszyn na stanowisku naukowo-dydaktycznym. Pracę doktorską obronił na Wydziale Automatyki Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach w 2008 r. W pracy zawodowej zajmuje się analizą rozproszonych systemów sterowania czasu rzeczywistego. Interesuje się programowaniem w szczególności sterowników PLC oraz robotów przemysłowych.



e-mail: msidzina@ath.bielsko.pl

Streszczenie

W pracy przedstawiono metodę oraz wyniki badań współczynnika tarcia dla okładzin ciernych wytwarzanych przez różnych producentów. Badania przeprowadzono na odpowiednio zmodyfikowanym stanowisku aktywnej obciążania silnika. Do pomiarów wykorzystano przemiennik częstotliwości, sterownik PLC oraz system pomiarowy Spider 8. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresach. Stwierdzono, że tylko okładziny cierne jednego producenta spełniają wymaganie zapewnienia relatywnie stałego współczynnika tarcia niezależnie od prędkości poślizgu.

Słowa kluczowe: tarcie, współczynnik tarcia, pomiary.

Comparison of frictional properties of brake blocks from different manufacturers**Abstract**

A method and laboratory test results of the friction coefficient in a couple: brake block – brake disk are presented in the paper. A modified stand for active loading an asynchronous motor was used for tests of the brake linings from different manufacturers (Fig. 1, 2a, 2b). A frequency converter, PLC programmer and Spider 8 measurement system were used. On the basis of the stored courses there were calculated the pressure forces of the brake blocks to the brake disk, the friction forces and the brake disk rotational speeds and the average friction coefficients. Figs. 3-10 show the friction coefficients as a function of the friction path and rubbing speed. It was found that the average friction coefficients are in the range 0.25-0.35 in case of manufacturers 1, 2 and 3 and in the range 0.3-0.4 for the fourth of them. Only the brake linings of the first manufacturer meet the requirement of assuring the constant friction coefficient apart from the rubbing speed.

Keywords: friction, friction coefficient, measurements.

1. Wstęp

Kłoczek hamulcowy to jeden z dwóch elementów pary trącej składającej się na tzw. hamulec tarczowy. Choć wizualnie wszystkie klocki są do siebie bardzo podobne, to jednak mogą się od siebie znacznie różnić. Różnice występują zarówno w konstrukcji, jak i rodzaju użytych do ich budowy materiałów [1].

Pod względem konstrukcyjnym klocki można podzielić na popularne oraz profesjonalne. Z kolei biorąc pod uwagę stosowane materiały wyróżnimy klocki ekonomiczne, standardowe oraz wyczynowe.

Klocki popularne składają się z materiału ciernego oraz stalowej lub żeliwnej płytki bazowej. Materiał cierny dla lepszego zespolenia z podłożem jest zatapiający w otworach ustalających płytki. Klocki profesjonalne wykonuje się natomiast głównie w układzie czterowarstwowym. Warstwę pierwszą stanowi płytka bazowa. Z płytką, metodą zgrzewania, łączona jest stalowa siateczka, która ma poprawić przyczepność materiału ciernego do jej powierzchni. Trzecią warstwę stanowi materiał cierny o własnościach tłumiących drgania oraz niskim współczynnikowi przewodnictwa cieplnego. Warstwa czwarta – wierzchnia – to materiał cierny właściwy (roboczy), którego ukształtowanie (fazy czołowe i boczne oraz nacięcia) zależne są od wymagań producenta układu hamulcowego. Do wymagań jakie powinien spełniać materiał cierny należą także:

- duży i relatywnie stały współczynnik tarcia, niezależnie od temperatury, prędkości poślizgu oraz nacisków jednostkowych;
- odporność na przegrzanie;
- duża trwałość;
- mała głośność pracy (brak pisków).

Elementem decydującym o możliwości spełnienia wymagań stawianych klockom hamulcowym jest skład oraz struktura materiału ciernego. Okładziny cierne wykonywane są z materiału kompozytowego zawierającego w swym składzie środki adhezyjne, wypełniacze, spoiwa oraz włókna i ścierniwa. Proporcje poszczególnych składników decydują o własnościach użytkowych klocków hamulcowych, w związku z czym stanowią pilnie strzeżoną tajemnicę każdego wytwórcy [2].

W zależności od wymaganego współczynnika tarcia okładziny cierne klocków hamulcowych wytwarzane mogą być jako mieszanina od dwóch do około piętnastu komponentów. W wariacie ekonomicznym (zwłaszcza klocków hamulcowych oferowanych na rynku polskim) materiał cierny pozwala na osiągnięcie współczynnika tarcia o wartości ok. 0,25-0,35. Klocki standardowe powinny zapewniać współczynnik tarcia w zakresie 0,35-0,55. Materiał cierny stosowany w tzw. klockach wyczynowych pozwala na osiągnięcie współczynnika tarcia o wartości nawet 0,8 (np. Ferodo DS2.11).

W pracy przedstawiono metodę oraz wyniki badań laboratoryjnych współczynnika tarcia w parze trącej: klocek-tarcza dla okładzin ciernych wytwarzanych przez różnych producentów.

2. Przebieg badań współczynnika tarcia kinetycznego dla skojarzenia: materiał cierny-tarcza hamulcowa

Zgodnie z obowiązującym w Polsce od wejścia do Unii Europejskiej regulaminem ECE R90, klocki hamulcowe poddaje się wyłącznie badaniom zależności współczynnika tarcia od:

- zmiany prędkości podczas hamowania;
- prędkości początkowej hamowania;
- zmiany siły docisku klocka do tarczy podczas hamowania.

2.1. Zakres badań

W celu porównania własności ciernych klocków hamulcowych wytwarzanych przez różnych producentów, przeprowadzono stanowiskowe badania laboratoryjne zależności współczynnika tarcia (w parze materiał cierny-tarcza hamulcowa) od:

- drogi tarcia przy stałej prędkości poślizgu;
- prędkości poślizgu.

Wymienionym badaniom poddano cztery fabrycznie nowe zestawy klocków hamulcowych pochodzące od różnych producentów. Dla każdej pary klocków wykonano trzydzieści prób (po pięć dla każdej prędkości poślizgu). Wszystkie próby wykonano ze stałą siłą docisku klocków do tarczy, którą dobrano tak, aby uzyskać jednakowe wartości nacisków jednostkowych dla każdego zestawu klocków.

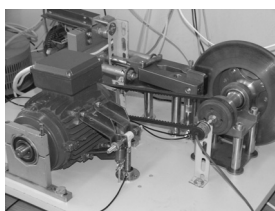
Ze względu na długi czas trwania każdego z pomiarów oraz niską moc zabudowanego na stanowisku silnika, przyjęto warunki badań odpowiadające tzw. łagodnemu hamowaniu. Dobierając parametry stosowane w trakcie badań (tab. 1) brano pod uwagę konieczność ograniczenia nadmiernego wzrostu temperatury w odniesieniu do skuteczności zastosowanego na stanowisku układu chłodzenia.

Tab. 1. Główne parametry badań
Tab. 1. The main parameters of the tests

Parametr	Wartości	Jednostka
Nacisk jednostkowy	0.3	MPa
Prędkość poślizgu	4, 6, 8, 10, 12, 14	m*s ⁻¹
Droga tarcia dla pojedynczej próby	200	m
Wymiary tarczy hamulcowej	φ238x6.5	mm
Średni promień tarcia	0.1	m

2.2. Stanowisko badawcze

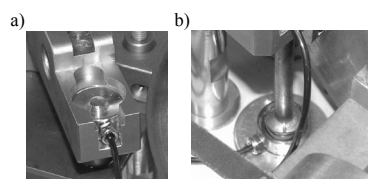
Badania zostały przeprowadzone na stanowisku aktywnego obciążania silnika asynchronicznego [3], które poddano modyfikacjom w celu zabudowy dodatkowych czujników, niezbędnych dla przeprowadzenia pomiarów (rys. 1).



Rys. 1. Stanowisko badawcze
Fig. 1. The test stand

Wyjściowy układ pomiarowy, w skład którego wchodziły enkodery „Megatron” typu MOZ30/500/24/K przeznaczone do pomiaru prędkości obrotowych: wimika silnika oraz tarczy hamulcowej, został uzupełniony o dwa czujniki siły HBM typu C9B.

Jeden z czujników umieszczono w gnieździe wyfrezowanym w korpusie zacisku hamulca (rys. 2a). Za pomocą tego czujnika prowadzono pomiar siły docisku klocków hamulcowych do tarczy. Sygnał zawierający informację o aktualnej sile docisku był przetwarzany w sterowniku PLC w taki sposób, aby układ odpowiedzialny za regulację siły zaciskania klocków hamulcowych utrzymywał stałą wartość siły, odpowiednią do założonych nacisków jednostkowych. Drugi z czujników siły umieszczono w gnieździe przykręconym do podstawy stanowiska (rys. 2b) i połączono wspornikiem z gniazdem, w których umieszczano klocki hamulcowe. Czujnikiem tym dokonywano pomiaru siły tarcia. W przypadku zabudowy obu czujników zwracano szczególną uwagę na takie ich umieszczenie, aby oś pomiarowa znajdowała się zawsze w płaszczyźnie działającego obciążenia.



Rys. 2. Zabudowa czujników siły: a) w gnieździe zacisku hamulca, b) w podstawie stanowiska

Fig. 2. Location of force sensors: a) at seat disk brake calliper, b) at stand base

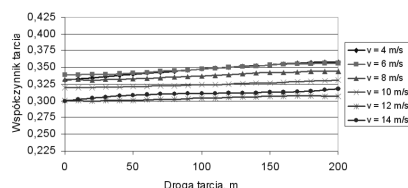
Prędkość obrotową tarczy regulowano za pomocą przemiennika częstotliwości oraz współpracującego z nim i odpowiedzialnego za utrzymywanie stałej prędkości obrotowej sterownika PLC.

Sygnały z czujników poddawano wzmocnieniu oraz przetworzeniu w systemie pomiarowym Spider 8 [4, 5]. Następnie zapisywano je w pamięci komputera, na którym był zainstalowany przeznaczony do analizy sygnałów program Catman.

2.3. Wyniki badań

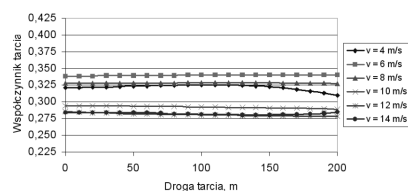
W trakcie każdej z prób komputerowy system pomiarowy rejestrował: siłę docisku klocków do tarczy hamulcowej, siłę tarcia oraz prędkość obrotową tarczy. Wszystkie pomiary wykonano z częstotliwością 50 Hz. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów sił dokonano w programie EXCEL obliczeń średnich wartości współczynnika tarcia, po czym przedstawiono go w funkcji przebytej drogi tarcia oraz prędkości poślizgu.

Na rys. 3-6 przedstawiono zależności pomiędzy średnimi wartościami współczynników tarcia a przebytą z różnymi prędkościami poślizgu drogą tarcia dla każdego z badanych zestawów klocków hamulcowych.



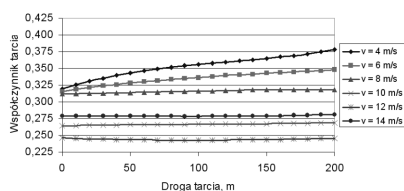
Rys. 3. Średnie współczynniki tarcia w funkcji drogi tarcia dla różnych prędkości poślizgu klocków hamulcowych producenta 1

Fig. 3. Average friction coefficients vs. friction path for different rubbing speeds of brake blocks from manufacturer 1



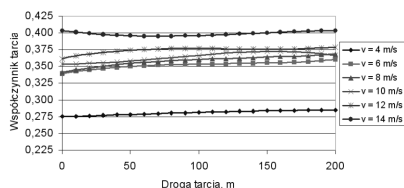
Rys. 4. Średnie współczynniki tarcia w funkcji drogi tarcia dla różnych prędkości poślizgu klocków hamulcowych producenta 2

Fig. 4. Average friction coefficients vs. friction path for different rubbing speeds of brake blocks from manufacturer 2



Rys. 5. Średnie współczynniki tarcia w funkcji drogi tarcia dla różnych prędkości poślizgu klocków hamulcowych producenta 3

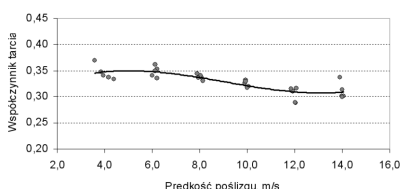
Fig. 5. Average friction coefficients vs. friction path for different rubbing speeds of brake blocks from manufacturer 3



Rys. 6. Średnie współczynniki tarcia w funkcji drogi tarcia dla różnych prędkości poślizgu klocków hamulcowych producenta 4

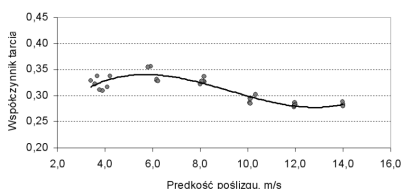
Fig. 6. Average friction coefficients vs. friction path of friction for different rubbing speeds of brake blocks from manufacturer 4

Z kolei na rys. 7-10 zobrazowano jakie wartości średnie współczynników tarcia otrzymano dla każdej z badanych próbek podczas hamowania przy różnych prędkościach poślizgu. Na wykresach tych poprowadzono także linie trendu.



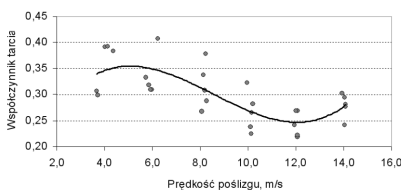
Rys. 7. Średnie współczynniki tarcia w funkcji prędkości poślizgu – producent 1

Fig. 7. Average friction coefficients vs. rubbing speed – manufacturer 1



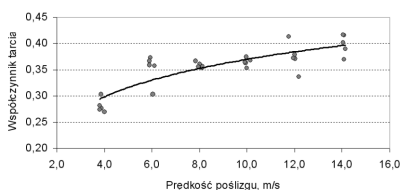
Rys. 8. Średnie współczynniki tarcia w funkcji prędkości poślizgu – producent 2

Fig. 8. Average friction coefficients vs. rubbing speed – manufacturer 2



Rys. 9. Średnie współczynniki tarcia w funkcji prędkości poślizgu – producent 3

Fig. 9. Average friction coefficients vs. rubbing speed – manufacturer 3



Rys. 10. Średnie współczynniki tarcia w funkcji prędkości poślizgu – producent 4

Fig. 10. Average friction coefficients vs. rubbing speed – manufacturer 4

3. Analiza wyników badań

Z przedstawionych na rys. 3-6 zależności współczynnika tarcia od drogi tarcia, które wyznaczono obliczeniowo na podstawie zarejestrowanych w układzie pomiarowym sił docisku, sił tarcia oraz prędkości obrotowych tarczy hamulcowej wynika, że każdej prędkości poślizgu odpowiada inna wartość współczynnika tarcia. Współczynnik tarcia niemal zawsze zwiększa się z upływem czasu. Wyjątek stanowią pod tym względem przebiegi współczynnika tarcia obliczone dla klocków producenta 2 oraz przebieg zmian współczynnika tarcia przy prędkości poślizgu wynoszącej 14 m/s w przypadku producenta 4. Wzrost prędkości poślizgu w przypadku klocków producentów 1-3 wiąże się zasadniczo ze spadkiem wartości współczynnika tarcia, co potwierdzają także zależności średnich wartości współczynników tarcia od prędkości poślizgu, które przedstawiono na rys. 7-10. W przypadku klocków producenta 4 zwiększaniu prędkości poślizgu towarzyszy wzrost współczynnika tarcia. Zależność tą szczególnie wyraźnie możemy zaobserwować na rys. 10.

Położenie punktów reprezentujących średnie wartości współczynników tarcia w funkcji prędkości poślizgu (rys. 7-10), pozwala na stwierdzenie, że jedynie klocki 1-go i 2-go producenta wykazują powtarzalność parametrów współpracy w parze kłosek hamulcowy – tarcza w trakcie kolejno wykonywanych pomiarów (w liczbie pięciu dla każdej prędkości poślizgu).

4. Wnioski

Stanowisko aktywne obciążania silnika asynchronicznego po modyfikacji polegającej na uzupełnieniu układu pomiarowego o czujniki siły oraz system pomiarowy Spider 8 (pierwotnie stanowisko zawierało wyłącznie enkodery do pomiaru prędkości obrotowej), pozwala na prowadzenie badań różnych typów kłosek hamulcowych.

Otrzymane na podstawie badań stanowiskowych wartości sił tarcia, sił docisku oraz prędkości obrotowe tarczy pozwalają na prawidłowe określenie m. in. zależności współczynnika tarcia w parze tarczej: kłosek – tarcza od drogi tarcia (czasu hamowania) oraz prędkości poślizgu.

Pośród przebadanych kłosek tylko okładziny czarne pierwszego producenta spełniają wymaganie zapewnienia relatywnie stałego współczynnika tarcia niezależnie od prędkości poślizgu.

Średnie wartości współczynników tarcia dla kłosek producentów nr 1, 2 i 3 zawierają się w przedziale 0,25 – 0,35, czym potwierdzają swą przynależność do segmentu ekonomicznego. Jedynie klocki producenta nr 4 przekraczają granicę pomiędzy segmentami ekonomicznym i standardowym, a ich współczynnik tarcia zawiera się w przedziale 0,3 – 0,4.

5. Literatura

- [1] Łyżński M.: Klocki hamulcowe – podobne a inne. Świat motoryzacji. Migut-Media S.A., Nr 10/2006, s.46-48.
- [2] Ścieszka S. F.: Hamulce czarne. Zagadnienia materiałowe, konstrukcyjne i tribologiczne. Wyd. ITE, Radom 1998.
- [3] Rupniewski P.: Projekt stanowiska aktywnego obciążania silnika asynchronicznego. Praca dyplomowa magisterska, promotor dr inż. Marcin Sidzina, ATH w Bielsku-Białej, 2010.
- [4] Janusz J., Kłosiński J., Maczyński A., Majewski L.: Metodyka badania współczynnika tarcia. Metody doświadczalne w budownictwie i eksploatacji maszyn. IKiEM PWr. T.2, 2001, s.9-19.
- [5] Janusz J., Majewski L.: Doświadczalne wyznaczanie kinetycznego współczynnika tarcia. Zeszyty naukowe ATH w Bielsku-Białej, Publikacje z.4, ser. 3/2002, s.44-53.

otrzymano / received: 06.09.2011

przyjęto do druku / accepted: 02.11.2011

artykuł recenzowany