

Tadeusz KRUCZEK¹, Leszek KOWAL², Krzysztof TUREWICZ², Stanisław F. ŚCIESZKA³, Marcel ŻOŁNIERZ³

¹ INSTYTUT TECHNIKI CIEPLNEJ, POLITECHNIKA ŚLĄSKA, ul. Konarskiego 22, 44-100 Gliwice

² INSTYTUT TECHNIKI GÓRNICZEJ „KOMAG”, ul. Pszczyńska 37, 44-101 Gliwice

³ INSTYTUT MECHANIZACJI GÓRNICTWA, POLITECHNIKA ŚLĄSKA, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice

Wybrane aspekty termowizyjnych pomiarów temperatury tarczy podczas eksperymentalnych badań hamulców tarczowych

Dr inż. Tadeusz KRUCZEK

Studia oraz doktorat na Wydziale Mechanicznym Energetycznym Politechniki Śląskiej. Ciągłe, praca w Instytucie Techniki Ciepłej (ITC). Działalność naukowa w obszarze doskonalenia gospodarki energetycznej w przemyśle, techniki pomiarów cieplnych i termowizyjnych, diagnostyki cieplnej obiektów. Autor lub współautor ponad 140 publikacji. Staże w kilkunastu zagranicznych ośrodkach naukowych. Członek Komisji Energetyki PAN O/Katowice, Kierownik Laboratorium Techniki Ciepłej w ITC.

e-mail: tadeusz.kruczek@polsl.pl



Dr inż. Leszek KOWAL

Studia na Wydziale Górnictwa i Geologii, doktorat na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. Ciągłe, praca w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach, Kierownik Zakładu Transportu Pionowego, specjalizacja w zakresie mechaniki maszyn wyciągowych. Realizator projektów nowych i wielu modernizacji eksploatowanych maszyn. Autor lub współautor kilkudziesięciu publikacji. Członek Rady Naukowej ITG KOMAG. Członek Komisji Górniczej PAN O/Katowice.

e-mail: lkowal@komag.eu



Dr inż. Krzysztof TUREWICZ

Studia oraz doktorat na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej. Ciągłe, praca w Instytucie Techniki Górniczej KOMAG w Gliwicach na stanowisku adiunkta. Działalność naukowa w dziedzinie numerycznych metod obliczeniowych zwłaszcza MES oraz transportu pionowego górnictwami wyciągami szybowymi. Współautor wdrożonych projektów nowych maszyn wyciągowych. Autor lub współautor 22 publikacji.

e-mail: kturewicz@komag.eu



Prof. dr hab. inż. Stanisław F. ŚCIESZKA

Studia w Politechnice Śląskiej na specjalności Maszyn Górnicze ukończone w 1967 roku, doktorat w 1972 roku, w 1977 praca habilitacyjna. Od 1999 profesor zwyczajny w Instytucie Mechanizacji Górnictwa w Zakładzie Transportu i Tribotechniki. Specjalizacja w zakresie budowy i eksploatacji maszyn górniczych oraz w zagadnieniach tribologicznych w niesmarowanych węzłach tarcia. Łącznie opublikował ponad 160 publikacji, w tym monografię i podręcznik akademickie.

e-mail: stanislaw.scieszka@polsl.pl



Dr inż. Marcel ŻOŁNIERZ

Studia oraz doktorat na Wydziale Górnictwa i Geologii Politechniki Śląskiej. Praca w Instytucie Mechanizacji Górnictwa. Działalność naukowa w obszarze górnictwa szybkiego, badania laboratoryjne, modelowanie numeryczne, analizy MES. Autor i współautor ponad 40 publikacji. Kierownik studiów podyplomowych „Transport szybki”, Kierownik Laboratorium Metrologii oraz Laboratorium Transportu Linowego w Instytucie Mechanizacji Górnictwa.

e-mail: marcel.zolnierz@polsl.pl



Streszczenie

Przedstawiono wybrane wyniki badań hamulca tarczowego na stanowisku laboratoryjnym. W trakcie doświadczeń mierzone były główne parametry procesu hamowania oraz rozkład temperatury w kloku i na powierzchni tarczy hamulcowej za pomocą kamery termowizyjnej. Zebrane dane pomiarowe stanowią materiał do weryfikacji modeli matematycznych przy numerycznej symulacji działania tego typu hamulców. Głównym tematem tej pracy jest analiza zmian współczynnika emisyjności powierzchni tarczy w warunkach prowadzenia eksperymentów. Znajomość stwierdzonych prawidłowości jest przydatna przy planowaniu i prowadzeniu tego typu badań.

Słowa kluczowe: hamulec tarczowy, temperatura tarczy, pomiary termowizyjne, emisyjność tarczy.

Some aspects of IR temperature measurements of a disc during experimental investigations of disc brakes

Abstract

Selected results of testing a disc brake on the laboratory stand, Fig. 1, are presented. There were measured the parameters of braking mechanics as well as the temperature distribution in a brake block and on the disc surface. The temperature distribution was determined with use of an infrared camera. The obtained measurement data were used for verification

of the mathematical models for numerical simulations of brakes operation. The problems in determination of the disc surface emissivity coefficient and the character of its changeability during experiments at different braking parameters, Figs. 5÷8, were the objectives of the project. The measurements of the emissivity coefficient on the entire disc surface were taken repeatedly, Figs. 2, 3. A correlation between the disc emissivity coefficient and the mechanical parameters of braking was found. Despite the fact that these correlations are qualitative rather than quantitative, they are interesting from the point of view of identification of the braking process as well as of planning such experiments. During the measurements, some interesting practical experience in the field of infrared measurements of temperature of the surface of not high emissivity coefficient was gained. In the project an isothermal protective screen was applied to normalize the radiation impact of the environment on the measurements, Figs 1, 4.

Keywords: disc brake, disc temperature, infrared camera measurements, disc emissivity coefficient.

1. Wstęp

Maszyny wyciągowe w polskich kopalniach transportują ładunki o masach 20 – 30 Mg z prędkościami 16 – 20 m/s. Rosnące wymagania stawiane przez inwestorów podnoszą te parametry do udźwignię 40 Mg i prędkości nawet do 25 m/s, a instalowane w tego typu maszynach silniki napędowe charakteryzują się mocami wynoszącymi 6 ÷ 9 MW [1].

W niektórych specyficznych warunkach urządzenie wyciągowe musi zostać zatrzymane hamulcem mechanicznym, w który wyposażona jest maszyna. W nowoczesnych maszynach wyciągowych są to hamulce tarczowe wyposażone w hydrauliczne siłowniki hamulcowe, które są zdolne zatrzymać będącą w ruchu maszynę wyciągową o wysokiej energii kinetycznej oraz potencjalnej. Suma tych energii sięga nawet 150 MJ i w sytuacjach awaryjnych musi zostać przejęta przez hamulec mechaniczny. Energia ta w trakcie hamowania jest praktycznie w 100% przekształcana w ciepło, które jest przejmowane przez tarcze oraz okładziny hamulcowe powodując ich nagrzewanie. W przypadku tarcz hamulcowych, nadmierna temperatura może powodować ich defor-

macje. W przypadku okładzin szczęk hamulcowych może natomiast spowodować utratę ich własności ciernych, a tym samym skuteczności hamowania [2]. Może to być powodem awarii urządzenia, które stanowi często jedyną drogę transportową pomiędzy podziemnymi wyrobiskami kopalni, a powierzchnią. Zatrzymanie wyciągu z powodu awarii może być przyczyną wstrzymania wydobycia, powstania zagrożeń jak również strat ekonomicznych.

W przypadku projektowania maszyn wyciągowych o dużych mocach istotne jest więc prognozowanie zjawisk cieplnych jakie mogą wystąpić podczas hamowania maszyny hamulcem mechanicznym. Nowoczesne narzędzia obliczeniowe dają duże możliwości prognozowania tych zjawisk. W Instytucie Techniki Górniczej w Gliwicach podjęto prace mające na celu wykorzystanie nowoczesnych narzędzi obliczeniowych opartych na metodzie elementów skończonych do analizowania zjawisk cieplnych w hamulcach mechanicznych maszyn wyciągowych. Prace te realizowane są wspólnie z Instytutem Techniki Ciepłej i Instytutem Mechanizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej. Harmonogram prowadzonych prac obejmował swoim zakresem między innymi przeprowadzenie badań procesu hamowania na stanowisku doświadczalnym. Zastosowanie kamery termowizyjnej do badań hamulców ciernych jest techniką pomiarową stosowaną bardzo często [1, 3, 4, 5]. Wyniki prezentowanych pomiarów stanowiły materiał doświadczalny do weryfikacji modeli numerycznych opisujących zjawiska cieplne zachodzące podczas hamowania [4, 5]. Prowadzenie eksperymentów na stanowisku doświadczalnym, w porównaniu z rzeczywistym obiektem, ma swoje wady i zalety. Do wad należy zaliczyć konieczność przenoszenia otrzymanych rezultatów na obiekt rzeczywisty. Wśród zalet można wymienić możliwość zmierzenia wartości większej liczby parametrów i lepszego zorganizowania pomiarów. Kolejną zaletą jest możliwość względnego uproszczenia zagadnienia w aspekcie przyszłych obliczeń numerycznych (mniejsza objętość modelowanego obiektu i przez to mniejsze siatki numeryczne w sensie liczby elementów) co daje skrócenie, z natury długotrwałych, obliczeń numerycznych.

W pomiarach termowizyjnych bardzo istotną sprawą jest znajomość współczynnika emisyjności badanej powierzchni [6]. W trakcie pomiarów stwierdzono, że emisyjność powierzchni tarczy zmienia się w trakcie realizacji kolejnych sesji pomiarowych [1]. Niniejsza praca zawiera analizę związków występujących pomiędzy emisyjnością roboczej powierzchni tarczy i parametrami procesu hamowania. Jej celem jest przedstawienie ogólnych wyników i praktycznych spostrzeżeń zebranych w trakcie prowadzonych eksperymentów. Uzyskane rezultaty i wynikające z pracy wnioski mogą znaleźć bezpośrednie zastosowanie w przypadku planowania jak również realizacji w przyszłości podobnych badań hamulców ciernych z wykorzystaniem termowizyjnej techniki do pomiaru rozkładów temperatury na powierzchniach elementów hamulców.

2. Stanowisko pomiarowe

Na rys. 1 przedstawiono stanowisko doświadczalne na którym wykonywano wymienione pomiary.



Rys. 1. Widok stanowiska doświadczalnego
Fig. 1. View of the experimental stand

Stanowisko to posiadało tarczę hamulcową z dwustronnym zaciskiem klocków hamulcowych. Średnica podziałowa na której jednostronnie były umieszczone zaciski hamulcowe wynosiła 280 mm. Cały układ był napędzany przez system przekładni silnikiem elektrycznym prądu stałego. Stanowisko posiadało skomputeryzowany system sterowania z możliwością ciągłej rejestracji poszczególnych parametrów hamowania. Dzięki temu istniały możliwości przeprowadzania eksperymentów o różnych scenariuszach realizacji [2]. W szczególności było możliwe niezależne zadawanie i ciągły pomiar z równoczesną rejestracją siły docisku klocków hamulcowych oraz prędkości ruchu tarczy. Równocześnie możliwy był pomiar siły tarcia poprzez pomiar momentu siły hamowania.

3. Opis pomiarów

Zasadniczym celem doświadczeń było zebranie danych pomiarowych umożliwiających weryfikację opracowanych matematycznych modeli zjawisk cieplnych zachodzących podczas hamowania w celu umożliwienia symulacji numerycznej działania hamulca o innej geometrii oraz w innych warunkach niż występujące podczas eksperymentów.

W trakcie prowadzonych eksperymentów realizowano różne scenariusze badań. Scenariusz pomiarów opisany w niniejszej pracy zakładał pracę hamulca przy zadanej sile docisku klocków oraz prędkości ruchu tarczy. W czasie pracy hamulca występowały jednak pewne oscylacje wartości tych parametrów spowodowane niedoskonałościami powierzchni tarczy oraz stanem dopasowania klocków hamulcowych do powierzchni tarczy, rys. 2. W związku z tym każdy z tych parametrów był mierzony w sposób ciągły w celu ustalenia rzeczywistej uśrednionej ich wartości. Ponadto mierzony i rejestrowany był moment hamujący oraz wartości temperatury w osi klocka hamulcowego za pomocą termoelementów płaszczyznowych o małej bezwładności cieplnej. Pierwszy termoelement był umieszczony w odległości 2,0 mm, a drugi 4,0 mm od powierzchni kontaktu klocka z powierzchnią tarczy hamulca. Klocki hamulcowe miały kształt walcowy. Termoelementy te były umieszczone w nawierconych promieniowo otworach na taką głębokość, aby spoina pomiarowa termoelementu znajdowała się w osi klocka. Za pomocą kamery termowizyjnej ThermoCam SC2000 w sposób ciągły mierzony był rozkład temperatury na powierzchni tarczy.

Klocki hamulcowe wykonane były z materiału MICKE 1203 stosowanego na okładziny ciernie hamulców kopalnianych maszyn wyciągowych. W ramach prowadzonych pomiarów zbadano również właściwości cieplne tego materiału. W zakresie temperatury $25^{\circ}\text{C} \div 140^{\circ}\text{C}$ materiał ten charakteryzował się ciepłem właściwym $0,9 \div 1,1 \text{ kJ}/(\text{kg K})$ oraz współczynnikiem przewodności cieplnej wynoszącym $2,3 \div 2,5 \text{ W}/(\text{K m})$.

Proces hamowania był kontynuowany każdorazowo do momentu wskazania przez pierwszy termoelement temperatury klocka wynoszącej około 200°C . W okresie tego czasu były rejestrowane wartości wszystkich wymienionych wyżej parametrów.

Stwierdzono występowanie wahań wartości emisyjności powierzchni tarczy w czasie kolejnych pomiarów. Dlatego po zasadniczym pomiarze przeprowadzano pomiar współczynnika emisyjności powierzchni tarczy w celu poprawnego wyznaczenia jej temperatury w oparciu o zarejestrowane obrazy termowizyjne.

Pomiar ten przeprowadzano metodą pomiaru rzeczywistej temperatury powierzchni tarczy za pomocą termoelementu dotykowego i równocześnie za pomocą kamery termowizyjnej. W wybranym do pomiaru punkcie dotykano termoelementem nagrzaną tarczę i odczekiwano, aż wskazywana przez miernik temperatura osiągnie stabilną wartość. Wartości tej temperatury były rejestrowane z częstotliwością 1 Hz. Równocześnie uruchomiona była ciągła rejestracja obrazów termowizyjnych z częstotliwością 5 Hz. W momencie ustabilizowania się temperatury wskazywanej przez termoelement, odrywano go od badanej powierzchni nadal rejestrując tę temperaturę i obrazy termowizyjne. Do obliczeń wykorzystywano ostatnią zarejestrowaną wartość temperatury przed

oderwaniem oraz wynik pomiaru temperatury w punkcie przyłożenia termoelementu odczytany z pierwszego termogramu po oderwaniu termoelementu od badanej powierzchni. Pomiar był wykonywany w obszarze roboczej strefy tarczy w czterech wytypowanych przekrojach A, B, C, D na obwodzie tarczy, rys. 3. Natomiast w każdym przekroju pomiar powtarzano czterokrotnie wzdłuż promienia tarczy. Jako wynik pomiaru przyjmowano wartość średnią współczynnika emisyjności obliczoną w oparciu o wszystkie uzyskane w ten sposób wartości.

W wyniku poczynionych w trakcie pomiarów obserwacji stwierdzono, że dłuższa praca hamulca powoduje zużywanie się materiału klocków i odkładanie cząstek tego materiału na roboczej powierzchni tarczy hamulca oraz nadawanie powierzchni tarczy obwodowej pasmowej struktury, rys. 2. Proces ten wywołuje zauważalne zmiany wartości emisyjności tej powierzchni. Niniejszy artykuł poświęcono bliższemu rozpoznaniu tego zjawiska.



Fig. 2. Fotografia roboczej powierzchni tarczy hamulcowej
Fig. 2. Photo of the working surface of the brake disc

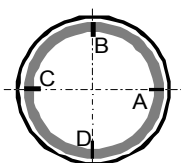


Fig. 3. Schemat tarczy hamulcowej z miejscami pomiaru emisyjności powierzchni
Fig. 3. Scheme of the brake disc with the places of surface emissivity measurements

Ze względu na charakter pracy powierzchni robocze tarcz hamulców ciemnych charakteryzują się na ogół niewysokimi wartościami współczynnika emisyjności [5]. Fakt ten stwarza problemy pomiarowe związane z dokładnością uzyskanych wyników. Im niższa jest bowiem emisyjność badanego obiektu tym większy wpływ na wynik termowizyjnego pomiaru temperatury ma niepewność jej wyznaczenia jak również większy wpływ na wynik ma radiacyjna temperatura otoczenia [7, 8]. Wyznaczenie w sposób właściwy temperatury reprezentującej radiacyjny wpływ otoczenia jest na ogół utrudnione, ponieważ otoczenie często składa się z wielu elementów mających zróżnicowane temperatury. W takich przypadkach dobrym rozwiązaniem jest zastosowanie ekranu ochronnego, rys. 4. W przedstawionym przypadku stworzone jest sztuczne izotermiczne otoczenie o możliwej do zmierzenia temperaturze T_o . W opisywanych pomiarach zastosowano przedstawione rozwiązanie stosując ekran w postaci „rękawa” wykonanego z nieprzepuszczalnego materiału charakteryzującego się wysoką wartością współczynnika emisyjności, rys. 1, 4.

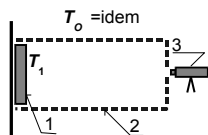


Fig. 4. Sposób na ograniczenie wpływu promieniowania otoczenia przez osłonięcie ekranem badanego obiektu; 1-badany obiekt, 2-osłona, 3-kamera IR
Fig. 4. Method for diminution of the influence of ambient radiation by shielding the object under consideration; 1-considered object, 2-protection shield, 3- IR camera

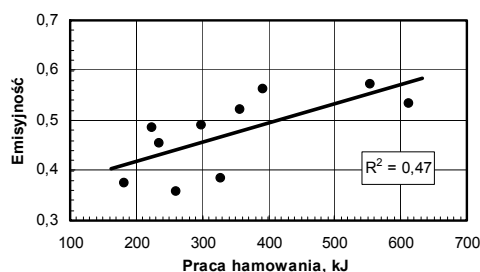
4. Analiza wyników pomiarów

Generalnie powierzchnie robocze tarcz hamulców ciemnych charakteryzują się niskimi wartościami współczynnika emisyjności [5].

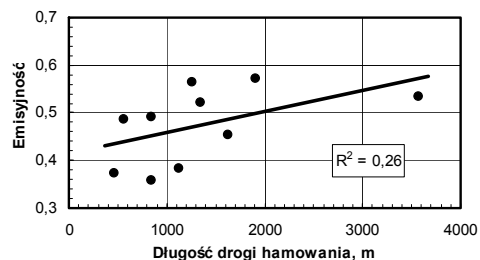
W przypadku jednorazowych dłuższych okresów działania hamulca dochodzi do znacznego wzrostu temperatury współpracujących powierzchni ciemnych co chwilowo zwiększa zdolność cząstek zużytego materiału klocków do ich przyklejania się do roboczej powierzchni tarczy. Zjawisko to powoduje zwiększenie się chropowatości powierzchni tarczy i równoczesny wzrost emisyjności. Zakładając iż przyczyną zmian emisyjności jest zjawisko odkładania się zużytych cząstek materiału klocka hamulcowego na roboczej powierzchni tarczy hamulca można by przyjąć, że im zjawisko to przyjmie większą skalę, tym wyższa powinna być emisyjność badanej powierzchni. Proste rozumowanie prowadzi zatem do wniosku, że wielkość zużycia materiału klocka hamulcowego jest bezpośrednio funkcją pracy hamowania czyli powinna tu istnieć dość ścisła zależność przede wszystkim z pracą tarcia wykonaną w czasie hamowania lub z innym parametrem jak droga hamowania, lub z innymi mechanicznymi parametrami procesu hamowania.

Z powyższych względów w dalszej części pracy poddano analizie współzależności pomiędzy współczynnikiem emisyjności tarczy i poszczególnymi parametrami procesu hamowania jak praca, droga hamowania, moc hamowania, prędkość tarczy.

Wyniki tej analizy przedstawiono na rys. 5, 6, 7, 8. Na wymienionych wykresach, dla potrzeb analizy wyników pomiarów zostały naniesione linie wyznaczone metodą najmniejszych kwadratów. We wszystkich przypadkach zaobserwowano słabsze lub silniejsze korelacje pomiędzy badanymi parametrami. W oparciu o analizę fizycznej strony zjawiska, najbardziej wytłumaczalną i uzasadnioną współzależnością wydaje się być związek pomiędzy emisyjnością i pracą hamowania, rys. 5. Jak wynika z rys. 5 związek ten istnieje i ma oczekiwany charakter funkcji rosnącej, jednakże współzależność ta nie jest szczególnie silna bowiem współczynnik korelacji wynosi około 0,47, rys. 5. Również w przypadku współczynnika emisyjności i drogi hamowania pomiędzy tymi parametrami istnieje pewien związek o tendencji rosnącej, rys. 6. Współczynnik korelacji jest jednak tutaj stosunkowo niski. Można powiedzieć, że współzależność ta wykazuje oczekiwaną tendencję ale może być ona traktowana tylko w sensie jakościowym, a nie ilościowym.



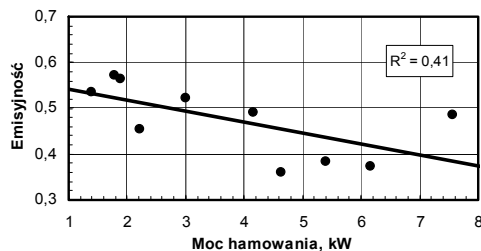
Rys. 5. Związek pomiędzy współczynnikiem emisyjności powierzchni tarczy i pracą hamowania
Fig. 5. Relationship between the emissivity coefficient of the disc surface and mechanical work of braking



Rys. 6. Związek pomiędzy współczynnikiem emisyjności powierzchni tarczy i długością drogi hamowania
Fig. 6. Relationship between the emissivity coefficient of the disc surface and the path length of braking

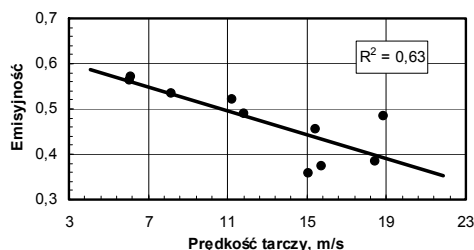
Na rys. 7, 8 przedstawiono związek pomiędzy emisyjnością, a mocą tarcia i prędkością ruchu tarczy. W każdym z przypadków zależność ta ma charakter malejący. Najprawdopodobniej wynika to stąd, że w przypadku wzrostu prędkości ruchu tarczy pogarszają się warunki osadzania bardziej schłodzonych i przez to mniej przyczepnych cząstek materiału klocka na tarczy hamulcowej. Zmiany mocy tarcia były zadawane przez zmianę siły nacisku klocków oraz przez zmiany prędkości tarczy. Wartości współczynników korelacji dla przyjętych liniowych zależności pomiędzy tymi parametrami wynoszą odpowiednio 0,41 oraz 0,63, rys. 7, 8. Jak widać, nie są to wysokie wartości tych współczynników, dlatego współzależności te także należy traktować bardziej w sensie istnienia związków jakościowych, a nie ilościowych.

Na rysunku 9 przedstawiono zależność pomiędzy mocą hamowania, a czasem hamowania. Do aproksymacji zastosowano funkcję wykładniczą. Punkty pomiarowe dość dobrze rozkładają się wzdłuż krzywej wyznaczonej metodą najmniejszych kwadratów. Jest to wytłumaczalne, ponieważ każdorazowo proces hamowania prowadzony był do osiągnięcia założonej minimalnej granicznej temperatury klocka hamulcowego równej 200 °C. W rzeczywistości istniał tu pewien rozrzut jeśli chodzi o osiągnięte w czasie eksperymentów wartości tej temperatury spowodowany warunkami technicznymi realizacji poszczególnych doświadczeń.



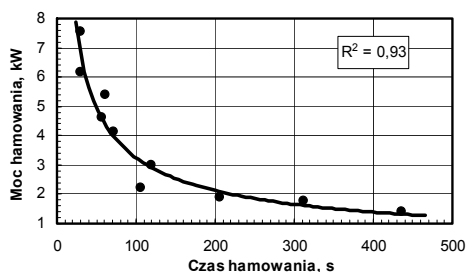
Rys. 7. Związek pomiędzy współczynnikiem emisyjności powierzchni tarczy i mocą hamowania

Fig. 7. Relationship between the emissivity coefficient of the disc surface and mechanical power of braking



Rys. 8. Związek pomiędzy współczynnikiem emisyjności powierzchni tarczy i prędkością ruchu tarczy

Fig. 8. Relationship between the emissivity coefficient of the disc surface and linear speed of the brake disc



Rys. 9. Współzależność pomiędzy mocą hamowania i czasem trwania poszczególnych eksperymentów

Fig. 9. Relationship between the mechanical power of braking and the duration time of the considered experiments

5. Wnioski i uwagi końcowe

W artykule przedstawiono wybrane wyniki pomiarów zrealizowanych na doświadczalnym stanowisku tarczowego hamulca ciernego. W przeprowadzanych eksperymentach mierzone były główne parametry mechaniki procesu hamowania takie jak siła docisku klocków, siła tarcia i prędkość ruchu tarczy. Dodatkowo badano rozkłady temperatury na powierzchni tarczy i w klocku hamulcowym. Rozkład temperatury na powierzchni tarczy hamulca badano za pomocą kamery termowizyjnej mającej możliwość rejestracji szybkozmiennych pól temperatury.

W trakcie kolejnych sesji pomiarowych zaobserwowano zmienność współczynnika emisyjności roboczej powierzchni tarczy hamulcowej. Ze względu na duże znaczenie tego parametru dla pomiarów termowizyjnych i jakości uzyskiwanych wyników, tendencje tych zmian zostały poddane bardziej szczegółowej analizie. W niniejszym artykule przedstawiono zasadnicze wyniki i wnioski wynikające z tej analizy.

Głównym celem prowadzonych eksperymentów było zebranie danych doświadczalnych użytecznych przy weryfikacji modeli matematycznych do symulacji numerycznej zjawisk cieplnych występujących podczas pracy hamulców tarczowych [4, 5]. Planuje się przenieść zebrane doświadczenia na hamulce o większej skali, w tym hamulce kopalnianych maszyn wyciągowych. Niezależnie od omawianych powyżej badań laboratoryjnych, prowadzone były również badania eksperymentalne na obiektach rzeczywistych.

Z przeprowadzonych termowizyjnych pomiarów rozkładów temperatury na powierzchni tarczy hamulcowej wynikają praktyczne wnioski dotyczące pewnych prawidłowości w zmianach emisyjności powierzchni tarczy w zależności od parametrów hamowania. Ze względu na skromność materiału doświadczalnego, w sensie liczebności przeprowadzonych doświadczeń i użycie tylko jednego zestawu materiałów ciernych, stwierdzone prawidłowości na obecnym etapie badań należy traktować głównie w sensie jakościowym. Niemniej ocenia się, że uczynione sprostowania są interesujące i bardzo użyteczne przy planowaniu i realizacji podobnych badań hamulców ciernych w przyszłości.

Praca zrealizowana w ramach projektu badawczego N R03 0006 06 wspieranego finansowo przez NCBiR ze środków na lata 2009-2012.

6. Literatura

- [1] Kowal L., Turewicz K., Kruczek T.: Measurements of temperature of brake disks in hoisting machines of mine shaft hoists. Proceedings of the 11-th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Naples, Italy, 2012, CD-ROM 10 pages, Book of abstracts, ID-383, s. 30.
- [2] Ścieszka S. F.: Hamulce cierne. Zagadnienia materiałowe, konstrukcyjne i tribologiczne. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1998.
- [3] Orzechowski T., Stańczyk T., Zuska A.: Analiza termograficzna zewnętrznej powierzchni bębna hamulcowego dla różnych rodzajów jego zużycia. Mat. Konf. XVII Zjazdu Termodynamików, Kraków, 1999, s. 1045-1051.
- [4] Piątkowski T., Polakowski H., Małachowski J., Damaziak K.: Modelowanie numeryczne i pomiary termograficzne parametrów procesu hamowania. PAK, nr 10, 2011, 1210-1213.
- [5] Kastek M., Piątkowski T., Polakowski H., Małachowski J., Damaziak K.: Thermographics measurements and numerical simulation of a car brakes. Proceedings of the 11-th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography, Naples, Italy, 2012, CD-ROM 10 pages, Book of abstracts, ID-228, s. 29.
- [6] Praca zbiorowa (red. Madura H.): Pomiary termowizyjne w praktyce. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa, 2004.
- [7] Minkina W., Dudzik S.: Infrared thermography. Errors and uncertainties. John Wiley & Sons, Chichester, UK, 2009.
- [8] Kruczek T.: Znaczenie temperatury otoczenia oraz jej określanie przy pomiarach termowizyjnych. Mat. Konf. „VIII Konferencja Krajowa Termografia i Termometria w Podczerwieni TTP2009”, Ustroń-Jaszowiec, 2009, s. 61-71.