https://doi.org/10.62753/ctp.2003.01.8.8

Jerzy Myalski[1]

Politechnika Śląska, Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

WPŁYW DODATKU WĘGLA SZKLISTEGO NA CHARAKTERYSTYKI TRIBOLOGICZNE MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH Z OSNOWĄ METALICZNĄ

Przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych materiałów kompozytowych zawierających cząstki ceramiczne Al_2O_3 oraz cząstki węgla o strukturze amorficznej. Dokonano oceny wpływu różnych cząstek na wartość współczynnika tarcia i zużycie zarówno kompozytów, jak i materiału współpracującego w węźle tarcia. Pomiaru współczynnika tarcia oraz zużycia dokonano w warunkach ograniczonego smarowania. Przeprowadzone badania współczynnika tarcia wykazały, że dodatek węgla zmniejsza wartość współczynnika tarcia w porównaniu z kompozytami zawierającymi tradycyjne cząstki ceramiczne (rys. 1). Po wprowadzeniu węgla szklistego zmniejsza się również ich zużycie. Ubytek masy kompozytu z cząstkami węgla jest o połowę mniejszy niż w przypadku cząstek Al_2O_3 (rys. 2). Węgiel szklisty nie powoduje intensywnego zużywania materiału partnera współpracującego z nim podczas tarcia. Zmierzone wartości ubytku masy żeliwa współpracującego z kompozytem węglowym były prawie dziesięciokrotnie mniejsze niż po współpracy z kompozytem zawierającym cząstki tlenku aluminium (rys. 3). Przyczyną takiego zachowania się kompozytu jest odmienny mechanizm tarcia. W kompozytach zbrojonych cząstkami węgla szklistego w tarciu biorą udział cząstki węgla i nie zaobserwowano zużywania materiału osnowy (rys. 4a). Dominującym mechanizmem jest zużycie ścierne obserwowane w postaci mikrozarysowań wyłącznie w węglu szklistym. W kompozycie AK12-Al_2O_3 w tarciu udział biorą zarówno osnowa, jak i cząstki ceramiczne. W obszarze tarcia (rys. 4b) zaobserwowano procesy mikroskrawania w obu komponentach.

Słowa kluczowe: **kompozyty z osnową aluminiową, cząstki zbrojące, węgiel szklisty, cząstki Al_2O_3, współczynnik tarcia, zużycie, właściwości tribologiczne**

INFLUENCE OF GLASS CARBON ADDITION ON TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF METAL MATRIX COMPOSITE MATERIALS

In this paper the investigations results of tribological properties of composite materials containing ceramics particles Al_2O_3 and carbon particles with amorphous structure have been presented. Composite on the metal matrix reinforced with particles was made using mixing technology. The influence of different particles on coefficient of friction and wear resistance of composite materials and materials co-operating with composite in tribological system has been defined. Coefficient of friction and wear resistance was examined in friction with limited supply of lubricant. The results of investigation have shown that the glass carbon in metal matrix materials leads to decreasing coefficient of friction comparison to composite containing conventional particles (Fig. 1). The result of glass particle addition in this composite is decrease of abrasive wear resistance. Loss mass decrease in composite reinforced with glass carbon was about two times less then in composite materials containing Al_2O_3 particles (Fig. 2). Glass carbon particles do not lead to intensive wear of materials co-operating with them in friction. The loss mass of cast iron co-operating with carbon was about ten times less as in composite containing alummina particles (Fig. 3). The basic reason of composite behaviour was another mechanism of friction, which was observed when analysing the condition of the surface area in the examined materials. Composites reinforced with glass carbon particles did not show the intensive destruction of the friction surface. Only particles take part in friction, the visible signs of destruction of the surface in metal matrix are not observed (Fig. 4a). In structure of the friction area of AK12-Al_2O_3 composite the friction signs are visible as abrasive wear of particles and matrix (Fig. 4b).

Key words: **metal matrix composite, reinforced particles, glass carbon, Al_2O_3 particles, coefficient of friction, wear, tribological properties**

WSTĘP

Opracowanie materiałów kompozytowych na osnowie stopów aluminium stworzyło możliwość zmiany warunków współpracy układów tribologicznych pracujących w warunkach intensywnego tarcia i zużycia. Przyczyniają się do tego z jednej strony właściwości materiału osnowy (przewodność cieplna aluminium przekraczająca prawie pięciokrotnie przewodność żelaza i jego stopów) oraz właściwości cząstek zbrojących (wysoka twardość i odporność na ścieranie) [3]. Odpowiedni dobór komponentów pozwala na uzyskanie tworzyw kompozytowych pracujących przy bardzo dużych naciskach jednostkowych, w wysokiej temperaturze przy ograniczonym odprowadzeniu ciepła z węzła tarcia [4]. W grupie materiałów przeznaczonych do pracy w wa-

[1] dr inż.

runkach tarcia znaczną rolę odgrywają materiały ślizgowe. Zastosowanie w osnowie aluminiowej cząstek grafitu zapewnia uzyskanie kompozytu o dobrych właściwościach ślizgowych [5]. Można również w przypadku tej grupy materiałów wykorzystać do zbrojenia inne odmiany alotropowe węgla, a mianowicie węgiel o strukturze amorficznej, określany potocznie jako węgiel szklisty (WS). Materiał ten, mimo iż charakteryzuje się wysoką twardością i odpornością na zużycie [6], po wprowadzeniu do osnowy aluminiowej przyczynia się do obniżenia współczynnika tarcia [7]. Wynika to przede wszystkim z procesu technologicznego otrzymywania węgla szklistego. Podobnie jak grafit i inne materiały węglowe posiadające konfigurację elektronową sp^2, węgiel szklisty może wykazywać zupełnie różne właściwości cierne i zużycie w zależności od warunków pracy (nacisk i prędkość poślizgu), jak i otaczającego środowiska (próżnia, wilgotność). Materiały na bazie węgla szklistego mogą zachowywać się jak materiały ślizgowe o współczynniku tarcia μ = = 0,1÷0,2 i niskim zużyciu lub jak materiały cierne o współczynniku tarcia μ = 0,35÷0,9 i dużym zużyciu. Czynnikiem decydującym o takim zachowaniu się materiałów wykonanych z węgla szklistego jest zastosowanie określonego rodzaju obróbki cieplnej, mającej na celu uzyskanie struktury amorficznej. Stwierdzono, iż współczynnik tarcia węgla szklistego jest zależny od stopnia jego grafityzacji. Wraz ze wzrostem temperatury obróbki cieplnej powyżej 1000°C zwiększa się stopień grafityzacji i rośnie współczynnik tarcia. Jednak po przekroczeniu optymalnej temperatury (1000÷1400°C) następuje stopniowe obniżanie się współczynnika tarcia na skutek przekształcania się struktury amorficznej w strukturę zbliżoną do grafitu. Stwierdzono również, że wzrost stopnia grafityzacji powoduje zwiększenie przewodnictwa cieplnego węgla szklistego. Dzięki temu można uniknąć przegrzewania powierzchni tarczy, a w szczególnych przypadkach zapalenia się np. tarcz hamulcowych z osnową węgla szklistego, stosowanych w samolotach [8].

Warunki wprowadzenia cząstek węgla szklistego do ciekłego metalu wymagają jednak dodatkowych operacji technologicznych pozwalających na uzyskanie właściwej zwilżalności cząstek przez ciekły metal oraz odpowiedniej wstępnej preparacji cząstek węgla w celu ochrony jego struktury i właściwości przed procesem degradacji termicznej [11].

W niniejszej pracy zostały przedstawione wyniki badań kompozytów z osnową aluminiową, zawierających cząstki węgla o strukturze amorficznej.

METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano nowy rodzaj materiału kompozytowego z osnową aluminiową, zawierającego jako zbrojenie cząstki węgla szklistego. Materiał do badań został wytworzony poprzez wprowadzenie cząstek węgla szklistego (WS) do ciekłego stopu AK12 modyfikowanego 2% dodatkiem magnezu. Przyjęte warunki procesu otrzymywania kompozytu zostały opracowane na podstawie parametrów zawartych w pracach [9, 10]. Cząstki węgla szklistego przed wprowadzeniem do ciekłego metalu były pokryte warstwą Ni, zabezpieczającą przed negatywnymi skutkami destrukcji termicznej. Uzyskany kompozyt zawierał 15% wagowych węgla szklistego.

W badaniach wykorzystano również kompozyt AK12-15%Al_2O_3 otrzymany w technologii mieszania cząstek do ciekłej osnowy. Miało to na celu porównanie właściwości tribologicznych kompozytu AK12-węgiel szklisty z coraz częściej stosowanymi w przemyśle samochodowym materiałami kompozytowymi zawierającymi cząstki ceramiczne.

Oprócz podstawowych badań właściwości tribologicznych dokonano oceny wpływu cząstek węgla szklistego na procesy zużycia materiału współpracującego z kompozytem.

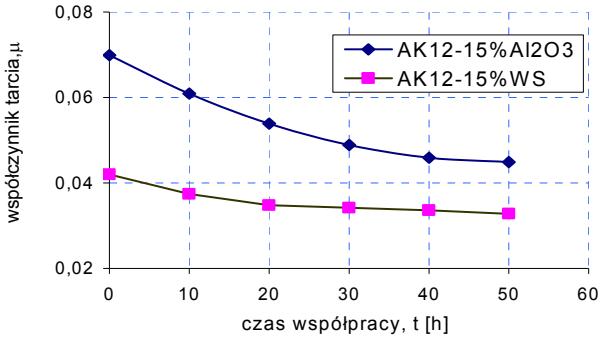
Badania tribologiczne zostały przeprowadzone przy zachowaniu następujących warunków:

- nacisk jednostkowy: p = 3 MPa,
- prędkość poślizgu: v = 2,4 m/s,
- czas współpracy: t = 50 h, w sześciu replikacjach,
- rodzaj tarcia: ślizgowe przy ograniczonym smarowaniu.

Warunki takie panują w skojarzeniu pierścienie tłokowe-gładź tulei cylindrowej podczas rozruchu zimnego silnika spalinowego lub sprężarki tłokowej. Użyte do badań stanowisko symuluje pracę elementów grupy tłokowej w silniku lub sprężarce. Materiał badany (próbka) miał kształt prostopadłościanu o wymiarach 14x8x65 mm, przeciwpróbkę stanowił sześcian o boku 10 mm wykonany z żeliwa szarego.

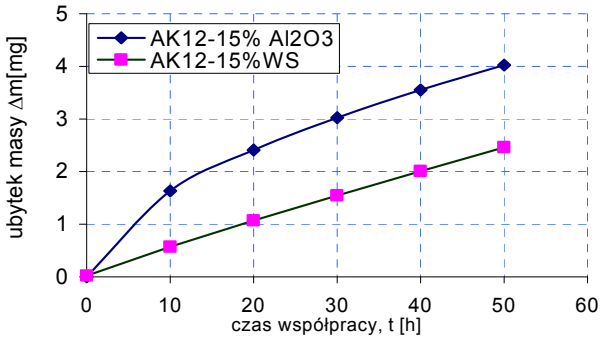
Skojarzenie było smarowane mgłą olejową (olej Lotos Semisynthetic w ilości 2 mg/cm^2 podawany co 30 min), wtryskiwaną bezpośrednio na powierzchnię ślizgową (badany kompozyt) z dwóch dysz umieszczonych w odległości około 30 mm. Wtryskiwany olej jest częściowo zatrzymywany na powierzchni kompozytu, częściowo usuwany poza strefę tarcia przez ślizgające się wycinki pierścienia, co modeluje warunki rozruchu silnika (chwilowy niedobór środka smarnego). Stanowisko do badań umożliwiło ciągłą rejestrację siły tarcia dwóch skojarzeń jednocześnie przy dużej częstotliwości próbkowania i jednorazowym zapisie sygnału, co gwarantuje dokładny zapis i obróbkę statystyczną mierzonej wielkości. Otrzymane wyniki zmian współczynnika tarcia i zużycia badanego kompozytu oraz materiału porównawczego, będące średnią z 6 pomiarów, przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Podano również wyniki badań zużycia przeciwpróbki (żeliwa). Miało to na celu określenie oddziaływania badanego kompozytu na zmia-

nę właściwości warstwy wierzchniej i szacunkowe określenie mechanizmów jej zużycia.



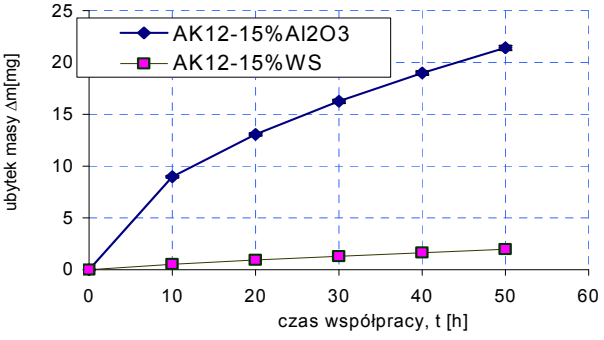
Rys. 1. Zmiana współczynników tarcia skojarzeń żeliwo 300 z kompozytem AK12-15%WS i kompozytem AK12-15%Al_2O_3 w warunkach ograniczonego smarowania mgłą olejową (p = 3 MPa, v = 2,4 m/s)

Fig. 1. Dependence of friction coefficient as a function of friction time for cast iron sliding against a composite AK12-15% WS (glass carbon) and composite AK12-15%Al_2O_3 in limited lubrication with oil mist (p = 3 MPa, v = 2.4 m/s)



Rys. 2. Zmiana ubytku masy kompozytów AK12-15% WS i AK12-15% Al_2O_3 w warunkach ograniczonego smarowania mgłą olejową (p = 3 MPa, v = 2,4 m/s)

Fig. 2. Dependence of wear resistance (mass lose) as a function of friction time for composites AK12-15% WS and composites AK12-15%Al_2O_3 (b) in limited lubrication with oil mist (p = = 3 MPa, v = 2.4 m/s)



Rys. 3. Zmiana ubytku masy żeliwa po współpracy z kompozytem AK12-15% WS (a) i kompozytu AK12-15%Al_2O_3 (b) w warunkach ograniczonego smarowania olejem Lotos Semisynthetic (p = 3 MPa, v = 2,4 m/s)

Fig. 3. Dependence of wear resistance (mass loss) of cast iron sliding as a function of friction time against composite materials AK12-15% WS (a) and composites AK12-15%Al_2O_3 (b) in limited lubrication with oil mist (p = 3 MPa, v = 2.4 m/s)

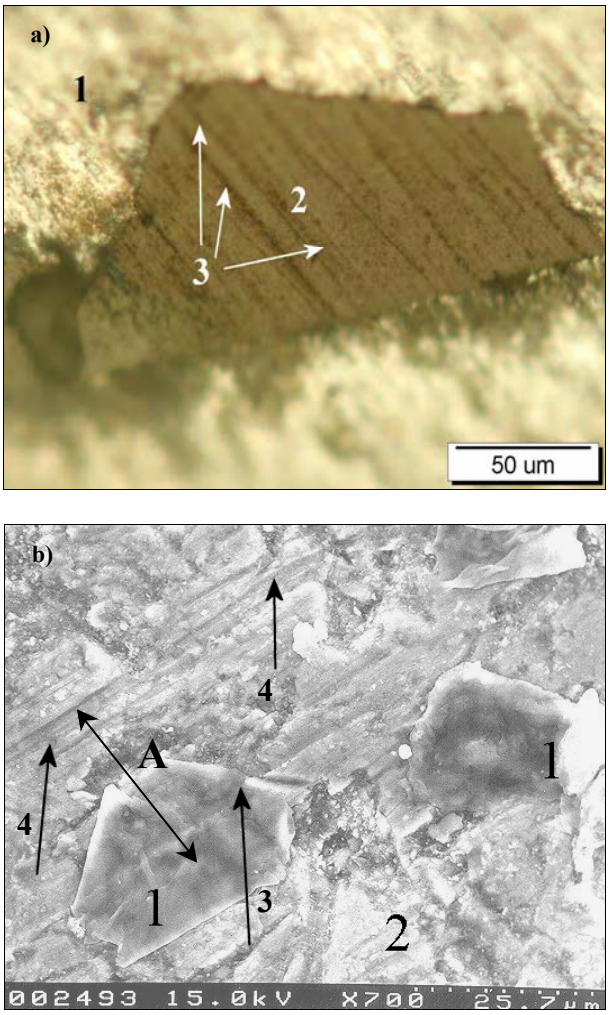
Materiały kompozytowe przed i po współpracy ślizgowej poddano badaniom mikroskopowym i profilometrycznym. Pomiary chropowatości i badania topografii powierzchni wykonano na profilografometrze Talysurf 4.

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Z porównania wartości współczynnika tarcia i ubytku masy badanego kompozytu AK12-15%WS oraz, przyjętego za wzorcowy, kompozytu AK12-15%Al_2O_3 wynika, że zastosowanie węgla szklistego jako fazy zbrojącej poprawia właściwości tribologiczne. Zarówno współczynnik tarcia, jak i zużycie kompozytu tradycyjnego są większe od kompozytu zawierającego cząstki węgla szklistego. Wartości współczynników tarcia po odpowiednio długim czasie współpracy stabilizują się. Różnica pomiędzy wartościami μ jest niewielka i wynosi około 10% (rys. 1). Natomiast w początkowym okresie tarcia wartości μ różnią się prawie o 40% (AK12-15%Al_2O_3: 0,07; AK12-15%WS: 0,043). Decydować o tym mogą dobre właściwości ślizgowe węgla szklistego, który obniża współczynnik tarcia w początkowej fazie rozruchu, gdy smar nie został właściwie rozprowadzony na powierzchni próbki. Wprowadzone cząstki węgla szklistego były karbonizowane w temperaturze około 1000^{o}C, a więc ich stopień grafityzacji jest niewielki. W związku z tym wartość współczynnika tarcia cząstek węgla jest niewielka i według danych literaturowych [7] wynosi około 0,15÷0,2. Dodatek węgla szklistego zmniejsza również zużycie kompozytu (rys. 2). Ubytek masy kompozytu AK12-15%Al_2O_3 po 50 godzinach współpracy z żeliwem wynosił 4,0 mg i był prawie 2 razy większy niż w przypadku kompozytu AK12-15%WS, dla którego zużycie wyniosło 2,4 mg. Równocześnie zawartość węgla szklistego w kompozycie powoduje znaczne ograniczenie zużywania się materiału współpracującego w węźle tarcia - żeliwa. Węgiel szklisty obniża w większym stopniu niż cząstki tlenku glinu zużycie żeliwa. Zużycie żeliwa w przypadku współpracy z kompozytem zawierającym węgiel szklisty jest prawie dziesięciokrotnie mniejsze niż przy współpracy z kompozytem zbrojonym konwencjonalnymi cząstkami ceramicznymi (rys. 3).

Wynika to między innymi z różnic we właściwościach mechanicznych cząstek fazy zbrojącej. Węgiel szklisty, w porównaniu do tlenku glinu, ma znacznie mniejszą wytrzymałość na ścinanie przy zbliżonej twardości. Węgiel szklisty jest materiałem charakteryzującym się twardością HV, wynoszącą około 300÷330 MPa,
i wytrzymałością na ścinanie τ = 30÷50 MPa (dane z badań własnych [11] i danych literaturowych [7]).

Z punktu widzenia mechanicznej hipotezy tarcia Bowdena [12, 14] materiałem korzystniejszym na skojarzenia ślizgowe będzie węgiel szklisty. Potwierdzone to zostało również w badaniach profilometrycznych. Stwierdzono, że zużycie liniowe obydwóch kompozytów po 50 h współpracy ślizgowej z żeliwem jest niewielkie i wynosi dla AK12-15%WS: Z_L = 0,37 μm oraz dla AK12-15%Al_2O_3: Z_L = 0,48 μm. Badania te wykazały również, że dodatek węgla szklistego zmniejsza chropowatość powierzchni po współpracy ślizgowej. Dla AK12-15%WS maksymalna wysokość chropowatości R_m = 3,8 μm, a średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości R_a = 0,18 μm, w przypadku kompozytu AK12-15%Al_2O_3 R_m = 4,9 μm, R_a = 0,87 μm.



Rys. 4. a) Powierzchnia tarcia kompozytu AK12-15%WS po współpracy ślizgowej z żeliwem; 1 - materiał osnowy, 2 - cząstka węgla szklistego, 3 - ślady zużycia cząstek, pow. 1000x; b) powierzchnia kompozytu AK12-15%Al_2O_3 po współpracy ślizgowej z żeliwem; 1 - cząstki zbrojące, 2 - materiał osnowy, A - obszar tarcia, 3 i 4 - ślady zużycia cząstek oraz osnowy, pow. 700x

Fig. 4. a) Friction surface of AK12-15% WS after a sliding against cast iron; 1 - matrix, 2 - particle of glass carbon, 3 - place of abrasive wear in particle, mag. 1000x; b) Friction surface of AK12-15% Al_2O_3 after a sliding against cast iron; 1 - particles, 2 - matrix, A - friction area, 3 - signs of abrasive wear in particles, 4 - sings of abrasive wear in matrix, mag. 700x

Przyczyną takiego zachowania się kompozytu w węźle tarcia jest fakt, iż w tarciu biorą udział przede wszystkim cząstki węgla. Jedynie na powierzchni węgla zaobserwowano ślady mikroskrawania z drobnymi rysami wzdłuż kierunku ruchu (rys. 4a). Osnowa kompozytu praktycznie nie bierze udziału w tarciu. Zaobserwowano ponadto, że połączenie pomiędzy osnową a cząstką węgla szklistego jest stosunkowo słabe, co skutkuje wyrywaniem i usuwaniem ich z powierzchni styku podczas współpracy ślizgowej. Z tribologicznego punktu widzenia miejsca po usuniętych cząstkach mogą stanowić zasobniki środka smarnego, przyczyniając się do obniżenia współczynnika tarcia. Natomiast w kompozycie zawierającym cząstki ceramiczne obszar współpracy z żeliwem charakteryzował się dość wyraźnymi śladami bruzdowania i zarysowania powierzchni. Ślady zużycia szcze- gólnie wyraźnie pojawiają w osnowie, w mniejszym stopniu w cząstkach zbrojących (rys. 4b). Świadczy to o tym, że w tarciu biorą udział zarówno cząstki, jak i osnowa.

PODSUMOWANIE

Kompozyt zawierający jako zbrojenie cząstki węgla o strukturze amorficznej charakteryzuje się korzystnymi właściwościami tribologicznymi - niewielką wartością współczynnika tarcia oraz dużą odpornością na zużycie. Wysoka twardość i duża odporność na ścieranie węgla szklistego nie przyczynia się do intensyfikacji procesów zniszczenia i zużywania współpracujących z nim materiałów. Zużycie żeliwa współpracującego z kompozytem zawierającym węgiel szklisty jest o wiele mniejsze niż w przypadku tradycyjnych cząstek ceramicznych stosowanych w materiałach kompozytowych. Wynika to przede wszystkim ze zróżnicowania mechanizmów zużycia, które w przypadku kompozytu zbrojonego węglem szklistym ograniczają się do procesów zniszczenia w głównej mierze cząstek węgla szklistego, bez uszkadzania materiału osnowy. W przypadku kompozytów konwencjonalnych, zawierających cząstki tlenku glinu, proces zużycia następuje zarówno w materiale osnowy, jak i zbrojenia.

Kompozyt zawierający cząstki węgla szklistego może być wykorzystany na elementy skojarzeń ślizgowych, pracujących w warunkach tarcia suchego lub tarcia z ograniczonym smarowaniem.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego nr 7T08E 044 21 finansowanego przez KBN.
Dziękuję za pomoc przy realizacji badań tribologicznych panu drowi Andrzejowi Posmykowi.

LITERATURA

[1] Górny Z., Sobczak J., Metal matrix composites fabricated by the squeeze casting process, Transformation of the Foundry Research Institute 1995, XLV, 42, Special Issue, 99.

[2] Rudnik D., Sobczak J., Tłoki kompozytowe do silników spalinowych, Wyd. Instytutu Transportu Samochodowego, Warszawa 2001.

[3] Ścieszka F., Hamulce cierne, Politechnika Śląska, Instytut Technologii i Eksploatacji Maszyn, Gliwice-Radom 1998.

[4] Nakada M., Trends in engine technology and tribology, Tribology International 1994, 27, 1, 3-7.

[5] Konopka Z., Cisowska M., Mikrostruktura grawitacyjnie odlewanych kompozytów na osnowie stopu AlMg10 z cząstkami grafitu, Kompozyty 2001, 1, 1, 86-88.

[6] Hutton T., McEnaney B., Crelllling J., Structural studies of wear debris from carbon-carbon composite aircraft brakes, Carbon 1999, 37, 907-916.

[7] Blanco F., Bermejo J., Menendez R., Chemical and physical properties of carbon an related to brake performance, Wear, 213.1W, s 1-13.

[8] Myalski J., Kompozyty cierne z osnową aluminiową o niskim współczynniku tarcia, Kompozyty 2002, 2, 4, 191-194.

[9] Śleziona J., Hyla I., Aluminium-ceramic particles composites, CIATF Commission Cast Composites 1996.

[10] Śleziona J., Hyla I., Myalski J., Formation of layers structure in Al-ceramic particles composites, Science and Engineering of Composite Materials 1998, 7, 4, 287-29.

[11] Myalski J., Posmyk A., Zum Einfluß der verkohlten Additive auf das tribologische Verhalten der in der Automobilindustrie verwendeten Friktionswerkstoffe, Proc. of 12th International Colloquium Tribology 2000 - Plus, Vol. III, Esslingen 2000, 1591-1598.

[12] Ernst H., Merchant M.E., Surface friction between metals. A basic factor in the metal cutting process, Proc. Special Summer Conf. Friction and Surface Finish, MIT Press, Cambridge 1940, 76-85.

[13] Garcia-Cordovilla C., Narciso J., Louis E., Abrasive wear resistance of aluminium alloy/ceramic particulate composites, Wear 1996, 129, 170-177.

[14] Posmyk A., Myalski J., Śleziona J., Grabowski M., Influence of component material properties on tribological behaviour of composite materials, Proc. EUROMAT, Monachium 2002.

Recenzent
Zbigniew Bojar