https://doi.org/10.62753/ctp.2004.07.1.0

Jerzy Myalski[1]

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

WPŁYW WIELKOŚCI I UDZIAŁU ZBROJENIA NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW AK12-WĘGIEL SZKLISTY

Przedstawiono wyniki badań właściwości fizykomechanicznych materiałów kompozytowych zawierających cząstki węgla o strukturze amorficznej. Dokonano oceny wpływu wielkości i udziału zbrojenia na wytrzymałość na rozciąganie i udarność oraz charakterystyki tribologiczne (współczynnik tarcia i zużycie). Stwierdzono, że o właściwościach mechanicznych decyduje przede wszystkim udział zbrojenia. Zwiększenie ilości cząstek obniża wytrzymałość na rozciąganie (rys. 1) i udarność (rys. 2b). Wielkość cząstek w mniejszym stopniu wpływa na zmianę właściwości mechanicznych. Na rysunku 2a można zauważyć, że energia zniszczenia kompozytów zawierających cząstki o wielkości powyżej 100 µm jest porównywalna pomimo zwiększenia udziału cząstek w kompozycie. Badania współczynnika tarcia wykazały, że ze wzrostem ilości zbrojenia następuje obniżenie współczynnika tarcia z 0,4 dla udziału 5% do około 0,12 dla udziału 20% (rys. 3). Również wielkość cząstki (rys. 3b) ma wpływ na współczynnik tarcia. Cząstki o wielkości 200 µm pozwalają na uzyskanie porównywalnych wartości współczynnika tarcia, w niewielkim stopniu zależnych od udziału zbrojenia. Wielkość cząstki decyduje jednak o charakterze zmian współczynnika tarcia. W przypadku małych cząstek współczynnik tarcia jest mały i stabilny, a po dłuższym okresie współpracy staje się niestabilny i gwałtownie wzrasta (rys. 4). Jest to spowodowane zmianami w warstwie wierzchniej kompozytu wynikającymi z wyrywania i wykruszania zbrojenia z osnowy.

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

INFLUENCE OF SIZE AND REINFORCEMENT VALUE ON PROPERTIES OF COMPOSITE AK12-GLASSY CARBON

The results of the physicochemical properties of composite materials containing ceramic particles of carbon of amorphous structure have been presented. The influence of size and reinforcement value on tensile strength, impact and tribological characteristics (coefficient of friction and wear) were estimated. It has been found that above all the reinforcement value decide on mechanical properties. Enlargement of particles value leads to decreasing of tensile strength (Fig. 1) and impact strength (Fig. 2). It has been shown that particle size has small influence on studied properties. Figure 2a presented, that the destruction energy for the composites with particles of size above 100 µm is comparable, when increase the particles value in composites. The research of coefficient of friction proved, that increase of reinforcement value leads to decreasing of coefficient of friction from 0.4 for 5% value to about 0.12 for 20% of particle value (Fig. 3). It has been also proved that the size of particles (Fig. 3b) has some influence on coefficient of friction. The coefficient of friction is comparable for the composites containing particles of 200 µm size and is small dependent on reinforcement value. However size of the particles decide on the character of coefficient of friction changes. Coefficient of friction is low and stable for composites with small particles, but after long cooperation time it become unstable and rapidly increases (Fig. 4). The reason are the changes in surface area of composite, being the result of pulling out and crumbling out the reinforcement from the matrix.

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

WSTĘP

Materiały kompozytowe na osnowie aluminium stanowią ważną grupę wśród nowoczesnych materiałów, zdobywających od kilku lat coraz bardziej wymagające światowe rynki. Dane literaturowe wskazują, że materiały kompozytowe są jednym z najbardziej perspektywicznych tworzyw konstrukcyjnych do współczesnych zastosowań w technice [1, 2]. Dzięki swoim własnościom materiały te spełniają wymagania przemysłu: samochodowego, lotniczego, kosmicznego, elektronicznego. Łatwość produkcji i przetwarzania sprawia, że kompozyty na osnowie metalicznej są coraz chętniej stosowane w przemyśle samochodowym i lotniczym, tam, gdzie zmniejszenie ciężaru części, przy jednoczesnym zachowaniu parametrów mechanicznych, jest bardzo istotne, pożądane i opłacalne. Kompozyty na osnowie aluminiowej charakteryzują się niską gęstością i współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, zdolnością tłumienia drgań, dużą sztywnością i zapewniają podwyższenie odporności na zużycie w stosunku do jednolitych struktur lub konwencjonalnych metali [3].

[1] dr inż.

Wysoki poziom właściwości mechanicznych i fizycznych powoduje, że stanowią one grupę materiałów interesującą nie tylko pod względem poznawczym, ale przede wszystkim aplikacyjnym [4]. Kompozyty te mogą być stosowane zarówno w elementach narażonych na działanie wysokich temperatur, układach poddawanych dużemu zużywaniu, jak również w układach napędowych, zapewniających uzyskanie małego współczynnika tarcia i dużej zdolności do pochłaniania drgań. Takie zróżnicowane zastosowania wiążą się z możliwością wprowadzania różnych rodzajów cząstek ceramicznych jako komponentu zbrojącego. Wybór zbrojenia odpowiedniego materiału zbrojenia przyczynia się do uzyskania określonych właściwości użytkowych [4, 5]. Wprowadzenie cząstek o dużej twardości i odporności na ścieranie (Al_2O_3, SiO_2) zapewnia uzyskanie kompozytu charakteryzującego się podwyższoną wartością współczynnika tarcia, odpornego na ścieranie i zużycie. Cząstki charakteryzujące się małą twardością (mika, grafit) zapewniają małą wartość współczynnika tarcia, dobre właściwości cieplne, bezsmarowność, odporność na zatarcie. Z tego powodu obszarem zastosowania metalowych materiałów kompozytowych w urządzeniach transportowych są części (elementy) pracujące w podwyższonej temperaturze (bloki silników, tłoki), w warunkach tarcia (łożyska ślizgowe, układy hamulcowe), mechanizmy napędowe silnika, układy kierownicze i zawieszenia [2].

W pracy przedstawiono wyniki badań materiałów kompozytowych z osnową metalową zawierających jako zbrojenie węgiel o strukturze amorficznej. Komponent wzmacniający został wprowadzony do osnowy ze stopu aluminium w zróżnicowanej wielkości cząstek węgla, w ilości od 5 do 20% wag. Przeprowadzone badania właściwości mechanicznych oraz charakterystyk trybologicznych pozwoliły na kompleksową ocenę nowej grupy materiałów z osnową metaliczną, zawierających jako zbrojenie węgiel o strukturze amorficznej (WS). Dotychczas niestosowany materiał zbrojenia, jakim jest ta odmiana alotropowa węgla, charakteryzuje się wysoką twardością i odpornością na zużycie [6], pomimo tego po wprowadzeniu do osnowy aluminiowej powoduje obniżenie współczynnika tarcia. Jest to związane głównie z procesem technologicznym otrzymywania węgla szklistego. Zastosowanie określonego rodzaju obróbki cieplnej, mającej na celu uzyskanie struktury amorficznej, pozwala na otrzymanie materiału charakteryzującego się małym współczynnikiem tarcia i niskim zużyciem bądź też materiału o dużym współczynniku i dużym zużyciu. W pracy wykorzystano jako komponent zbrojący materiał o małym stopniu grafityzacji, zaliczany do grupy węgli o małym współczynniku tarcia.

CZĘŚĆ DOŚWIADCZALNA

Materiały do badań

Materiał do badań stanowił kompozyt o osnowie z odlewniczego stopu aluminium AK12, zbrojony cząstkami węgla szklistego o różnej wielkości ziaren (<80, 80, 100, 160, 200 μm) i różnym udziale wagowym (5, 10, 15, 20%).

Kompozyt wytworzono metodą mechanicznego mieszania [7]. Do stopu wprowadzono 2% Mg w celu polepszenia zwilżalności materiału zbrojenia. Podgrzane cząstki węgla szklistego z naniesioną powłoką zapewniającą poprawę zwilżalności i ograniczenie procesów destrukcji termicznej [8] były wprowadzane do osnowy w atmosferze argonu.

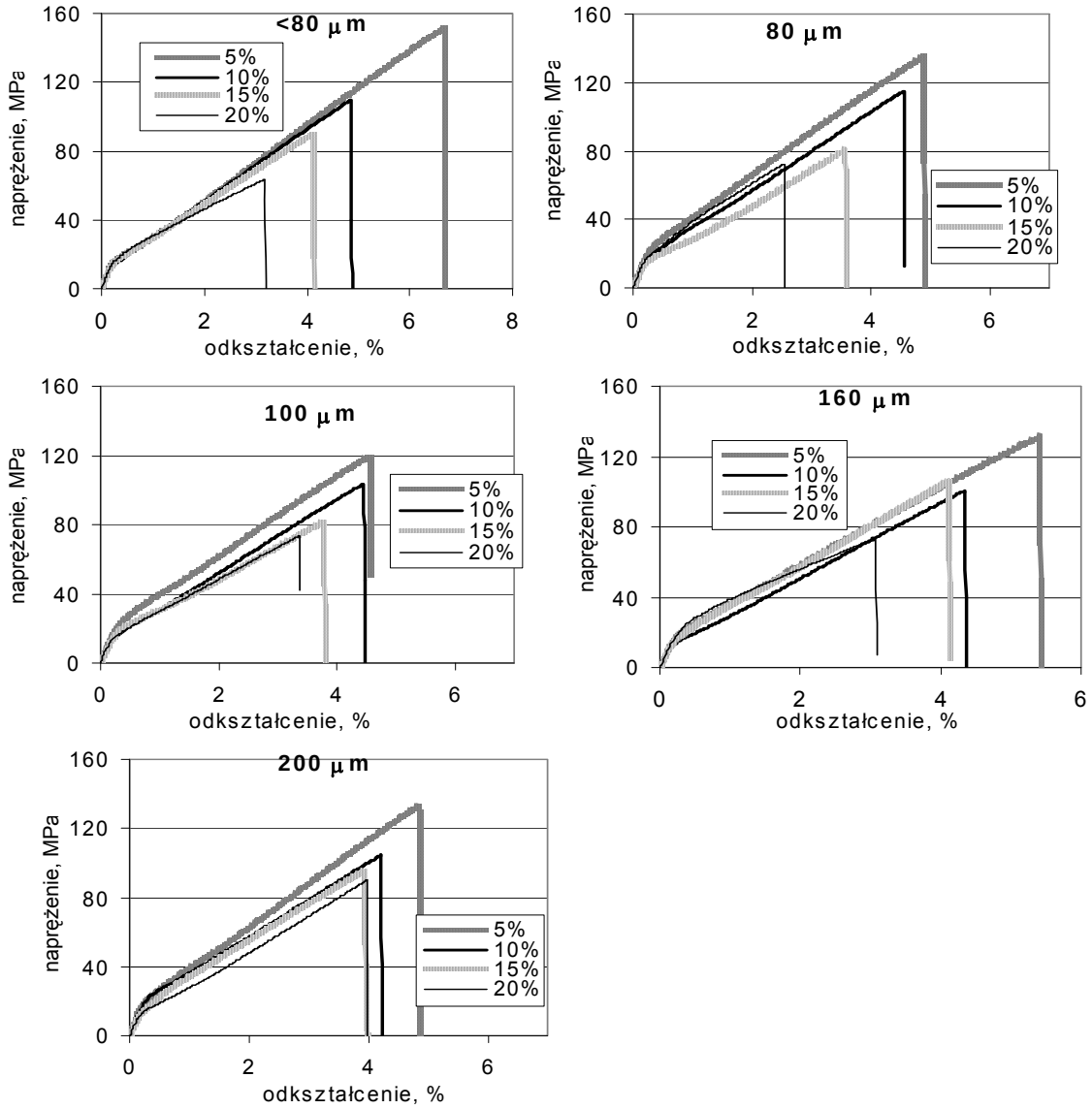
Oceny właściwości mechanicznych kompozytów dokonano na podstawie statycznej próby rozciągania oraz udarności. W próbie udarowej wykorzystano oprzyrządowany młot typu Charpy, rejestrujący przebieg zmian siły działającej podczas zginania udarowego. Uzyskane informacje pozwoliły określić energię całkowitą towarzyszącą zniszczeniu, z podziałem na energię stanu sprężystego oraz energię związaną z rozwojem pęknięcia. Energia stanu sprężystego odpowiada osiągnięciu siły maksymalnej do momentu rozwoju pęknięcia. Druga składowa energii (plastyczna) odpowiada energii związanej z rozwojem pojawiających się defektów aż do dekohezji materiału [9].

Badania współczynnika tarcia przeprowadzono, używając testera trybologicznego typu trzpień-tarcza T-01M. Badania przeprowadzono dla tarcia technicznie suchego. Przeciwpróbką materiału kompozytowego był trzpień wykonany z żeliwa 300 o średnicy 6 mm. Badanie współczynnika tarcia realizowano w następujących warunkach: prędkość obrotowa - 0,5 m/s, obciążenie - 35 N, droga tarcia - 2500 m.

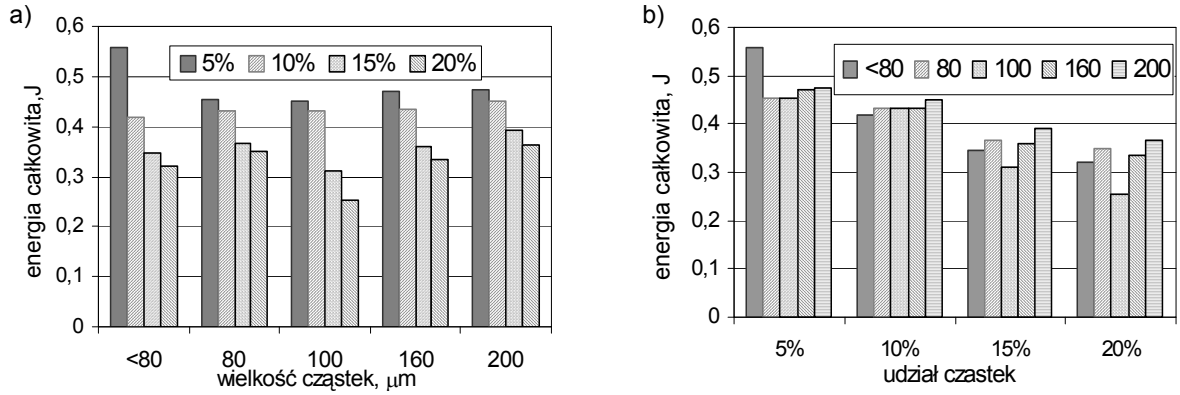
Analiza wyników badań

Analiza krzywych rozciągania wykazała, że wytrzymałość na rozciąganie jest przede wszystkim zależna od udziału węgla szklistego w kompozycie. Mniejszy wpływ na wytrzymałość ma wielkość cząstek zbrojących (rys. 1). Wzrost udziału wagowego węgla powoduje obniżenie wytrzymałości na rozciąganie, jak również odkształceń niszczących. Największą wytrzymałość uzyskuje się przy małym (5%) udziale WS. Wynosi ona około 130÷150 MPa przy odkształceniu 5÷7%. Zwiększenie udziału zbrojenia powoduje liniowy spadek R_m do wartości około 50÷80 MPa i odkształcenia do 2%. Zmiana właściwości mechanicznych w niewielkim stopniu jest zależna od wielkości zastosowanych cząstek. Cząstki małe o wielkości 80 μm i cząstki duże o średnicy 200 μm zapewniają uzyskanie porównywalnych naprężeń niszczących. Jedynie w przypadku

cząstek o średnicy 160 μm wytrzymałość nieznacznie



Rys. 1. Zależność wytrzymałości na rozciąganie kompozytu AK12-węgiel szklisty od wielkości cząstek zbrojących
Fig. 1. Dependence of tensile strength of metal matrix AK12-glassy carbon particles on different size particles



Rys. 2. Zmiana energii zniszczenia kompozytów AK12-węgiel szklisty w zależności od: a) wielkości cząstek, b) udziału zbrojenia
Fig. 2. Dependence of destruction energy composites AK12-glassy carbon as function of: a) size of particles, b) value of particles

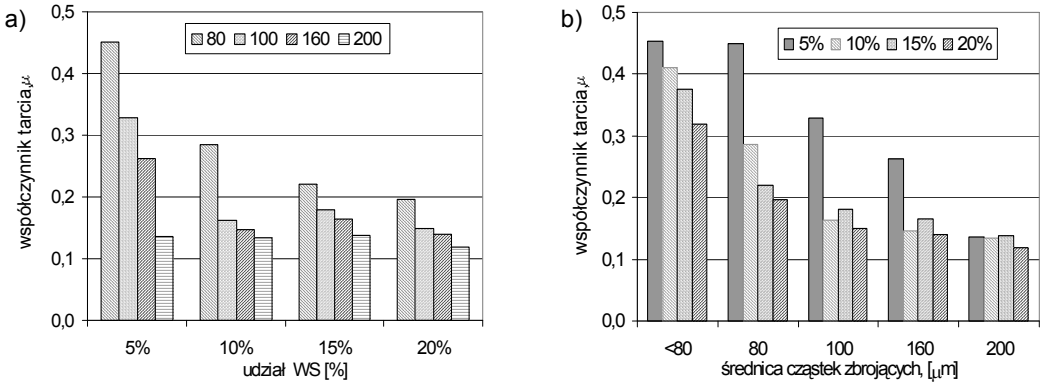
spada. Podobną zależność zaobserwowano na podstawie badań udarności. Przedstawione na rysunku 2 wartości całkowitych energii zniszczenia wykazały, iż większy wpływ ma udział zbrojenia niż wielkość cząstki. Energie

zniszczenia w funkcji wielkości cząstek są prawie takie same i niezależne od udziału objętościowego cząstek. Analizując zmiany energii powodującej rozwój pęknięcia i energii związanej z propagacją, stwierdzono, że energia sprężysta stanowi około 30% całkowitej energii, a stosunek energii sprężystej do plastycznej wynosi około 50%. Krzywe zmian siły podczas zniszczenia mają podobny charakter niezależny od wielkości cząstek zbrojących.

Na podstawie wyników z przeprowadzonych badań tribologicznych można stwierdzić, że wartość współczynnika tarcia zależy przede wszystkim od udziału zbrojenia. Analizując przebieg zmian wartości współczynnika tarcia w funkcji udziału procentowego węgla szklistego, można zauważyć, iż jego dodatek w znaczny sposób obniża współczynnik tarcia i zmniejsza zużycie (rys. 3).

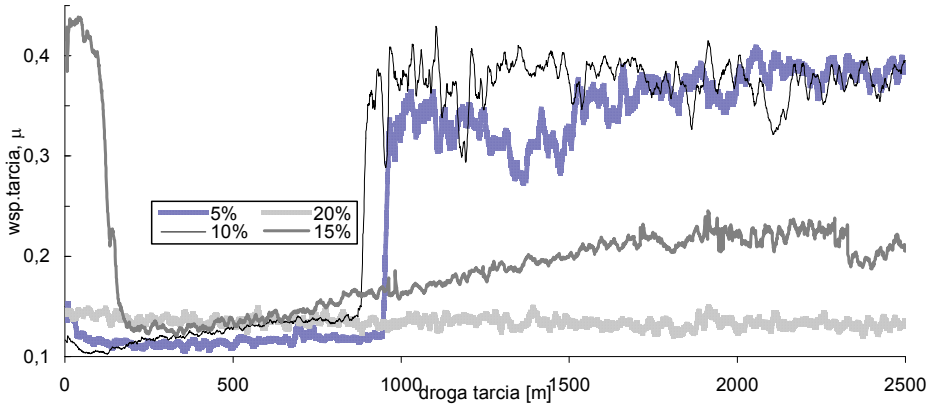
Wielkość cząstek zbrojących ma wyraźny wpływ na wartość współczynnika tarcia. Najkorzystniejsze wartości (tzn. najmniejsze, mieszczące się w przedziale 0,1÷0,12) współczynnik tarcia μ przyjmował dla średnicy cząstek 160÷200 μm przy udziale większym od 10%. W kompozytach, w których cząstki były mniejsze od 100 μm, nawet przy dużej zawartości komponentu zbrojącego współczynnik tarcia osiągał wartości od 0,3÷0,5 (rys. 4). Podane wartości dotyczą współczynnika tarcia określonego w końcowej fazie badań, a więc na drodze tarcia 2500 m.

Małe cząstki o wielkości do 80 μm zmieniają charakter przebiegu procesu tarcia, co potwierdzają między innymi badania zaprezentowane w pracy [10]. Jak widać na rysunku 4, w połowie drogi tarcia następuje gwałtowny wzrost współczynnika tarcia. Jest to spowodowane rozdrobnieniem i wykruszeniem cząstek węgla



Rys. 3. Zmiana współczynnika tarcia kompozytu AK12+WS w zależności od: a) udziału zbrojenia, b) od wielkości cząstek zbrojących

Fig. 3. Dependence of coefficient of frictions a composite materials AK12-glassy carbon as function of: a) value of particles, b) size of particles



Rys. 4. Zmiana współczynnika tarcia kompozytu w zależności od drogi tarcia dla kompozytu zawierającego cząstki o średnicy 80 μm

Fig. 4. Dependence of friction coefficient as a function of friction distance for composites containing size particles 80 μm

Największą wartość współczynnik tarcia μ = 0,46 przyjmuje dla kompozytu zbrojonego cząstkami <80 μm i udziale 5% WS. Minimalną wartość współczynnik tarcia μ = 0,12 zarejestrowano dla kompozytu zbrojonego cząstkami o średnicy 200 μm i udziale 20% WS.

[11, 12]. W przypadku większych cząstek nie zaobserwowano procesu wykruszania cząstek. Przebieg tarcia był stabilny, a współczynnik tarcia nie ulegał zmianie w funkcji drogi tarcia.

PODSUMOWANIE

Wyniki uzyskanych badań pozwalają stwierdzić, że właściwości fizykomechaniczne kompozytów można kształtować poprzez odpowiedni wybór udziału zbrojenia i wielkości zastosowanych cząstek. Zwiększenie udziału zbrojenia wpływa przede wszystkim na obniżenie wytrzymałości na rozciąganie i energii towarzyszącej zniszczeniu udarowemu. Mniej zauważalny jest wpływ wielkości cząstek na własności wytrzymałościowe. Również zwiększenie udziału cząstek węgla w stopie aluminium powoduje obniżenie współczynnika tarcia. Zauważono jednak, że przy małym udziale zbrojenia (5, 10%) wielkość cząstek wpływa wyraźnie na właściwości tribologiczne. Jest to spowodowane różnicami następującymi w warstwie wierzchniej kompozytu. W przypadku cząstek małych, w początkowym etapie, współczynnik tarcia jest stabilny i stosunkowo niski (około 0,12÷0,14), cząstki węgla nie są niszczone i wyrywane z osnowy i one biorą udział w tarciu. Po pewnym czasie cząstki te są wykruszane i usuwane z powierzchni tarcia. Na proces tarcia wpływ ma wtedy jedynie materiał osnowy. Dlatego też, w końcowej fazie tarcia następuje gwałtowny wzrost współczynnika tarcia (do około 0,4) i zmiana charakterystyki. Otrzymana charakterystyka jest podobna do charakterystyk uzyskiwanych w procesach zużycia awaryjnego. W przypadku cząstek większych nie następuje ich zniszczenie i wykruszanie z osnowy. Współczynnik tarcia jest stabilny i zależy jedynie od udziału cząstek. Stwarza to zatem możliwość uzyskania materiału o dobrych właściwościach wytrzymałościowych (mały udział zbrojenia), równocześnie charakteryzujący się niskim współczynnikiem tarcia i małym zużyciem, w wyniku zastosowania niewielkiej ilości cząstek o dużych rozmiarach.

LITERATURA

[1] Sobczak J., Współczesne tendencje praktycznego zastosowania kompozytów metalowych, Kompozyty (Composites) 2003, 2, 6, 24-37.

[2] Burcan J., Drużdżel A., Badanie tribologicznych właściwości materiałów kompozytowych na osnowie stopu aluminium, Tribologia 1996, 5, 652-660.

[3] Sobczak J., Kompozyty metalowe, Instytut Odlewnictwa i Instytut Transportu Samochodowego, Kraków-Warszawa 2001.

[4] Jachimowicz M., Zastosowanie kompozytów o osnowie metalicznej w konstrukcji samochodów, Przegląd Mechaniczny 2003, 6, 40-42.

[5] Śleziona J., Kompozyty, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 1998.

[6] Myalski J., Kształtowanie właściwości skojarzeń ciernych z wykorzystaniem materiałów ciernych zawierających węgiel o strukturze amorficznej, Kompozyty (Composites) 2001, 1, 2, 203-206.

[7] 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.

[8] Hyla I., Śleziona J., Myalski J., Technologia wytwarzania i własności wybranych stopów aluminium zbrojonych cząstkami ceramicznymi, Inżynieria Materiałowa 1993, 6, 180-184.

[9] Hyla I., Lizurek A., Zastosowanie badań dynamicznych do analizy mechanizmu pękania udarowego kompozytów warstwowych, Kompozyty (Composites) 2002, 2, 5, 375-377.

[10] Wieczorek J., Śleziona J., Myalski J., Dolata-Grosz A., Dyzia M., Zużycie i struktura powierzchni powspółpracy w warunkach tarcia technicznie suchego w kompozytach AK12-cząstki ceramiczne, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 6, 148.

[11] Myalski J., Wpływ dodatku węgla szklistego na charakterystyki tribologiczne materiałów kompozytowych z osnową metaliczną, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 8, 317-320.

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

Recenzent
Janusz Grabian