

Jerzy MYALSKI*

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH ZAWIERAJĄCYCH WĘGIEL SZKLISTY

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS CONTAINING GLASSY CARBON

Słowa kluczowe:

węgiel szklisty, współczynnik tarcia, zużycie, materiały cierne, mechanizm zużycia

Key words:

glassy carbon, coefficient of friction, wear, frictional materials, mechanism of wear

Streszczenie

Przedmiotem badań był wpływ węgla szklistego jako dodatku pozwalającego kształtować właściwości tribologiczne w różnych grupach materiałów kompozytowych z osnową polimerową i metaliczną. Przeprowadzone badania wykazały, że dodatek węgla szklistego w kompozycie przy-

* Politechnika Śląska, Katedra Technologii Materiałów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice.

czynia się do zmiany współczynnika tarcia i zużycia. Decydują o tym udział masowy i rozmiary cząstek węgla szklanego. Dobre właściwości fizyczne i chemiczne węgla szklanego powodują również ograniczenie procesów związanych z termiczną degradacją struktury kompozytu. Dodatek około 6–10% węgla przyczynił się do ograniczenia obszarów warstwy wierzchniej materiałów ciernych, w których dochodziło do procesów degradacji termicznej, oraz podwyższył o około 50°C temperaturę, w której następował gwałtowny spadek współczynnika tarcia.

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły możliwość wpływu na zmianę właściwości tribologicznych w kompozytach zawierających węgiel szklany.

WPROWADZENIE

Materiały przeznaczone do pracy w warunkach tarcia powinny cechować się określonym zespołem właściwości tribologicznych, fizycznych i mechanicznych. Szczególnie istotne są odporność na zużycie ściernie, stabilność współczynnika tarcia, podwyższona zdolność odprowadzania ciepła, niska wartość współczynnika rozszerzalności cieplnej oraz stabilność właściwości mechanicznych.

Wśród tworzyw przeznaczonych na elementy węzłów tarcia występują także materiały kompozytowe. Odpowiedni dobór komponentów spełnia wymagania dotyczące temperatury i środowiska pracy (osnowa), natomiast umocnienie zapewnia określoną wytrzymałość mechaniczną, przewodnictwo i rozszerzalność cieplną oraz odporność na zużycie. Znanym przykładem są kompozyty z osnową aluminiową, wykorzystywane coraz częściej w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i kosmicznym [L. 1–3]. Właściwości komponentu umacniającego decydują o właściwościach kompozytu. Jeśli zastosowany zostanie grafit lub sadza, otrzymany kompozyt będzie charakteryzował się małą wartością współczynnika tarcia, co jest korzystne dla materiałów ślizgowych [L. 4, 7]. Natomiast wprowadzenie do osnowy cząstek twardych, odpornych na ścieranie zwiększy współczynnik tarcia, obniży zużycie. Wykorzystuje się to w materiałach ciernych i hamulcach [L. 5, 6].

MATERIAŁY DO BADAŃ

W celu określenia wpływu węgla szklanego (WS) na zmianę właściwości tribologicznych w badaniach użyto dwa rodzaje materiałów kompozyto-

wych, w których osnową była żywica fenolowo-formaldehydowa. W grupie badanych polimerowych kompozytów ciernych był bezazbestowy materiał cierny FO 701, używany do wytwarzania okładzin ciernych i zawierał typowe składniki napełniające: baryt, krede, proszki metali, grafit oraz składniki umacniające: włókna szklane i mineralne połączone żywicą fenolowo-formaldehydową. Materiał ten poddano modyfikacji polegającej na wprowadzeniu cząstek węgla szklistego (WS) o zmiennym udziale masowym (od 2–20%) i średnicy cząstek WS od 40–200 μm .

Natomiast jako materiał o właściwościach ślizgowych wykorzystano kompozyt zawierający od 50 do 75% wag. WS oraz napełniacze takie, jak grafit, mosiądz w ilości do 10% wag.

Wykonanie próbek kompozytowych polegało na bezpośrednim wymieszaniu wszystkich komponentów z ciekłą osnową fenolowo-formaldehydową FF oraz prasowaniu w temperaturze 160°C i ciśnieniu 20 MPa.

WYNIKI BADAŃ

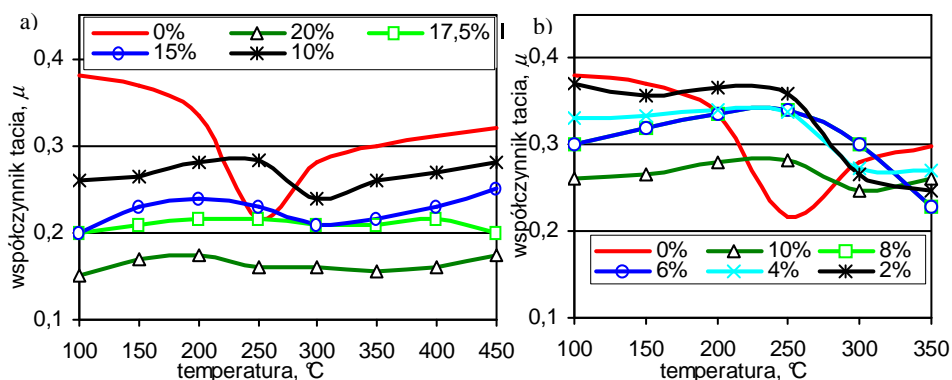
W przypadku kompozytów ciernych badania tribologiczne przeprowadzono na stanowisku bezwładnościowym. Próbę temperaturową wykonano przy stałym ciśnieniu 5,17 MPa i prędkości poślizgu 7,5 m/s, w przedziale temperatury 100–450°C, natomiast w przypadku materiałów ślizgowych badania realizowano na testerze T 11 przy prędkości poślizgu od 0,2 do 1 m/s, nacisku 1–7 MPa, w temperaturze 20, 100, 180 i 260°C.

Wyniki badań kompozytów ciernych zawierających węgiel szklisty o udziale masowym 20, 17,5, 15, 10, 8, 6, 4 i 2% wykazały, że udział węgla w kompozycie ciernym nie może być zbyt duży. Udział 15–20% (**Rys. 1a**) zapewnia stabilność temperaturową współczynnika tarcia, jednakże znacznie obniża jego wartość, co w przypadku materiałów ciernych nie jest pożądane.

Na tej podstawie stwierdzono, że dodatek węgla do materiału ciernego nie powinien przekraczać 10%, wtedy zapewnia stabilność termiczną do 450°C, a więc do temperatury wyższej niż dopuszczalna temperatura pracy bazowego materiału ciernego FO 701.

W przypadku materiału bazowego (FO 701) w temperaturze od 200°C następuje utrata stabilności termicznej okładziny i spadek wartości μ o około 25%. Dopiero po przekroczeniu 300°C wartość μ zwiększa się i stabilizuje. Krytyczny obszar zmian współczynnika tarcia, występujący

w zakresie temperatury od 200 do 300°C, jest spowodowany termiczną degradacją osnowy polimerowej materiału ciernego. Natomiast okładzina cierna FO 701 z 10% dodatkiem WS zapewnia stabilną i stosunkowo wysoką wartość współczynnika tarcia w zakresie temperatury od 100 do 350°C.

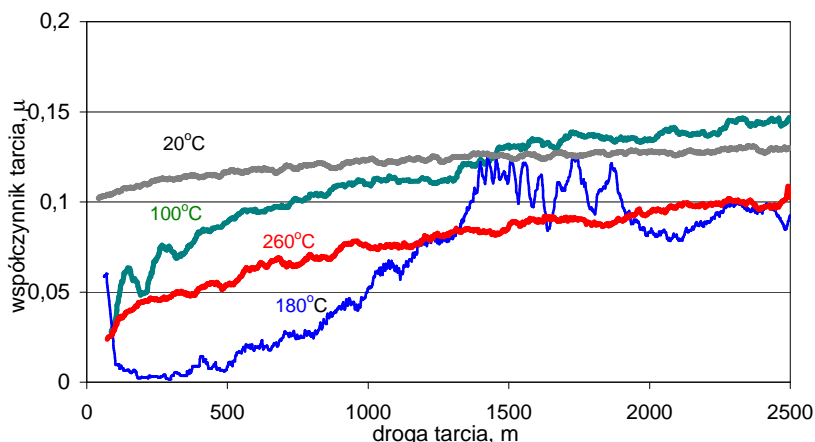


Rys. 1. Wpływ udziału węgla szklistego na zmianę współczynnika tarcia w funkcji temperatury materiału FO 701 i kompozytów na jego bazie

Fig. 1. Effect of mass fraction of glassy carbon on a change in friction coefficient, in dependence of temperature for FO 701 and composites on its basis

Dla kompozytów ciernych zawierających mniejszą ilość (do 10%) WS (**Rys. 1b**) również obserwuje się tendencję wzrostu μ z obniżeniem udziału WS. Przy 2% zawartości WS kompozyt osiąga wartości μ takie, jak materiał bazowy FO 701. Natomiast udziały WS wynoszące 8 i 6% zapewniają największą stabilizację współczynnika tarcia w całym zakresie temperatury. Utrata skuteczności hamowania następuje w wyższej temperaturze i rozpoczyna się dopiero powyżej 250°C.

Wyniki badań współczynnika tarcia kompozytów ślizgowych zawierających WS w ilości 50% wag. przedstawiono na **Rys. 2**. Wartości współczynnika tarcia w temperaturze podwyższonej i pokojowej są porównywalne. W temperaturze podwyższonej charakterystyka współczynnika tarcia jest mniej stabilna niż w temperaturze pokojowej. Szczególnie widać to w przypadku badań w temperaturze 180°C.



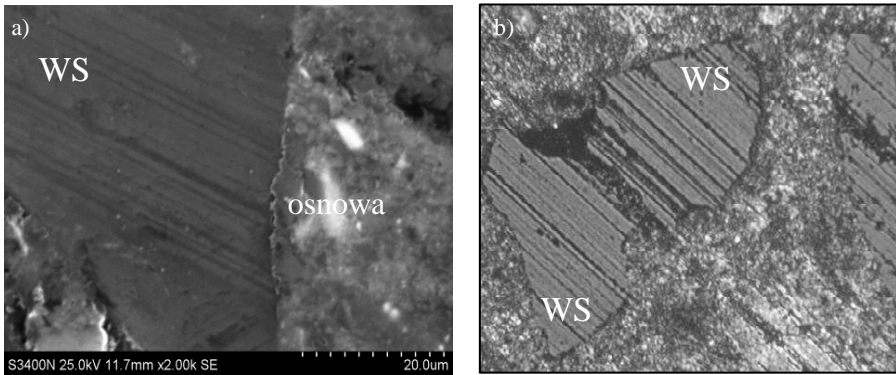
Rys. 2. Zmiana współczynnika tarcia kompozytu zawierającego 50% WS w temperaturze: 20, 100, 180 i 260°C ($p = 5$ MPa, $v = 0,5$ m/s)

Fig. 2. The change of friction coefficient of composite containing 50% of WS at temperature of: 20, 100, 180, 260°C ($p = 5$ MPa, $v = 0.5$ m/s)

W tej temperaturze współczynnik tarcia początkowo jest bardzo mały i stopniowo wzrasta, stabilizując się dopiero na końcu drogi tarcia. Powodem tego mogą być procesy związane z utwardzaniem i odszczepianiem wody z hydroksymetylowych pochodnych fenolu, poprzez tworzenie warstwy obniżającej współczynnik tarcia w początkowym okresie drogi tarcia [L. 8, 9].

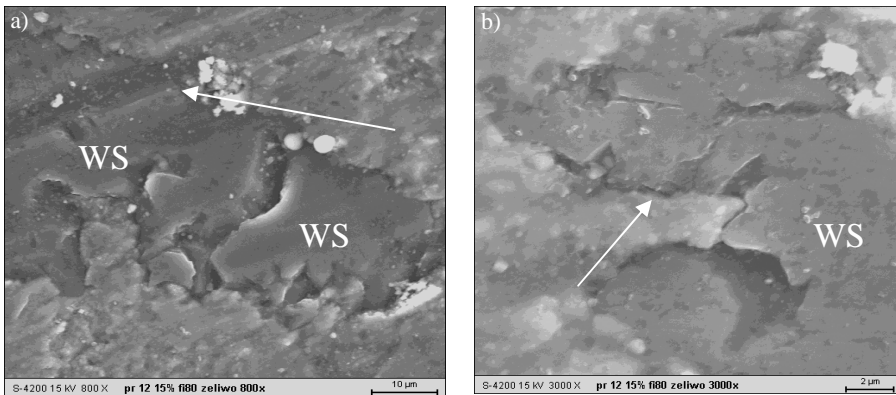
Wyniki badań stanu powierzchni próbek po badaniach tribologicznych wykazały, że cząstki węgla szklanego odgrywają decydującą rolę w zużyciu tribologicznym kompozytu. Wystające w skali mikro nad powierzchnię osnowy cząstki przejmują obciążenie i ulegają zużyciu w wyniku ścierania abrazyjnego. Procesy skrawania występują w osnowie, ale w obszarach oddalonych od cząstki (Rys. 3b). Po dłuższym okresie współpracy cząstki węgla ulegają zniszczeniu, które najczęściej rozpoczyna się od powierzchni rozdziału komponentów.

Zniszczeniu granic rozdziału osnowa–cząstka towarzyszą pęknięcia w cząstkach, głównie prostopadłe do kierunku ruchu współpracujących elementów, wykruszanie drobnych, wrzecionowatych fragmentów, a następnie całych cząstek. Końcowy etap zniszczenia cząstek WS to nie tylko pęknięcie, ale również ich fragmentacja z utworzeniem drobin w postaci płatków (Rys. 4), które mogą nanosić się na przeciwpróbkę zmniejszając tym samym współczynnik tarcia.



Rys. 3. Powierzchnia kompozytu ciernego po próbie tarcia: a) zarysowania i bruzdowanie w cząstce węgla szklanego, b) brak zużycia osnowy kompozytu, SEM

Fig. 3. Surface of the frictional composite after friction process: a) scratches and ridges on glassy carbon particle, b) insignificant effect of matrix wear, SEM



Rys. 4. Powierzchnia kompozytu ślizgowego po próbie tarcia: a) zarysowania i pęknięcia cząstki, b) pęknięcia na granicy rozdziału i fragmentacja cząstki, SEM

Fig. 4. Surface of sliding composite after friction test: a) scratch cracks and delamination in glassy carbon particle, b) cracks and fragmentation of particle visible, SEM

PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania tribologiczne wykazały korzystny wpływ węgla szklanego polegający na zapewnieniu stabilizacji wartości współczynnika tarcia ze wzrostem temperatury. W przypadku materiałów ciernych duży udział węgla szklanego przyczynia się do znaczącego obniżenia początkowej wartości współczynnika tarcia, nawet do 0,15–0,2 (przy udziale

$V_w = 15\text{--}20\%$ WS). Aby zachować właściwości cierne, ilość dodawanego węgla szklatego nie powinna być zbyt duża. Zawartość 6–8% węgla w materiale ciernym nie skutkuje znaczącym obniżeniem współczynnika tarcia. Jednakże jego obecność w okładzinie cierniej zapewnia stabilizację współczynnika. W krytycznym dla materiału ciernego zakresie temperatury 200–250°C, w przypadku materiału ciernego niezawierającego węgla szklatego, współczynnik tarcia gwałtownie obniża się, przez co następuje utrata skuteczności hamowania. Dla materiałów ciernych zawierających węgiel szklisty, spadek współczynnika tarcia jest mniejszy i rozpoczyna się dopiero po przekroczeniu 250°C. Pozwala to wnioskować, że materiały zawierające dodatek węgla szklatego mogą być wykorzystywane przy większych obciążeniach termicznych węzłów tarcia.

Większa zawartość węgla szklatego, w przypadku materiałów ślizgowych (50–60%), powoduje znaczne obniżenie współczynnika tarcia do około 0,1–0,12. Osiągnięte wartości μ mogą być wykorzystywane do projektowania materiałów o właściwościach ślizgowych. Duża ilość węgla szklatego w kompozycie (podobnie jak w przypadku materiału ciernego) pozwala na podwyższenie dopuszczalnej temperatury pracy tego rodzaju materiałów. Kompozyt z osnową żywicy fenolowo-formaldehydowej zawierający węgiel szklisty może być przeznaczony do pracy w temperaturze podwyższonej wynoszącej nawet 200–250°C, tj. temperatury znacznie przekraczającej dopuszczalną temperaturę pracy osnowy kompozytu – żywicy fenolowo-formaldehydowej. W podwyższonej temperaturze cząstki węgla szklatego decydują o procesach tarcia i zużycia, przejmując większą część obciążenia mechanicznego i cieplnego. Można zatem poprzez zmianę udziału WS modyfikować właściwości tribologiczne i uzyskać określoną wartość współczynnika tarcia w zależności od wymagań konstrukcyjnych i zastosowania materiałów ciernych.

Badania realizowane w ramach Projektu nr POIG.0101.02-015/08 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka.

LITERATURA

1. Nakada M.: Trends in engine technology and tribology. „Tribology International” 1994, vol. 27, nr 1, s. 3–7.
2. Neitzel B., Brath M., Matic M.: Weight reduction of brake system with the utilization of new aluminium material. „ABS/TCS and brake technology” (SP-1018), 1984.

3. Górny Z., Sobczak J.: Metal matrix composites brake rotors and drums. 14th Annual SAE Brake Colloquium, 1996.
4. Shibata K., Haideaki U.: Tribological application of MMC for reducing engine weight. "Tribology International" 1994, vol. 27, nr 1, s. 39–44.
5. Gomes J.R., Silva O.M., Silva C.M., Pardini L.C., Silva R.F.: The effect of sliding speed and temperature on the tribological behaviour of carbon–carbon composites. „Wear” 2001, vol. 249, s. 240–245.
6. Myalski J., Ślężiona J.: Kompozyty metalowe zbrojone cząstkami węgla szklatego. „Przegląd Odlewnictwa” 2005, nr 1, tom 55, s. 24–33.
7. Ślężiona J., Hyla I., Myalski J.: Formation of the layer structure in Al–ceramic particle composites. „Science and Engineering of Composite Materials” 1998, vol. 7, No. 4, s. 287–291,
8. Jaworski J.: Okładziny cierne do hamulców i sprzęgieł pojazdów mechanicznych. WKiŁ, Warszawa, 1984.
9. Jacko M.: Physical and chemical changes of organics disc pad in service. „Wear” 1998, vol. 46, s. 163–175.

Recenzent:
Wojciech PRZETAKIEWICZ

Summary

The study focuses on an influence of glassy carbon as an additive allowing the development of tribological properties of different polymer-matrix and metal-matrix composite materials. Conducted research has shown that addition of glassy carbon to the composite contributes to a change in the friction coefficient and in wear. Mass fraction and average particle diameter determine the change. Good physical and chemical properties of glassy carbon also cause a limitation of processes connected with thermal degradation of the composite structure. It especially concerns in the polymer-matrix composites. It could be observed in these materials that 6–10% addition of glassy carbon contributed to the reduction of surface areas in which thermal degradation processes occurred. Moreover, the temperature at which a violent decrease in the friction coefficient was increased by about 50°C.

The results of conducted research confirmed the possibility of control over the change of tribological properties in the composites containing glassy carbon.