

Jakub Wieczorek¹, Anna Dolata-Grosz², Maciej Dyzia³, Józef Ślezionek⁴
 Politechnika Śląska, Zakład Kompozytów, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE KOMPOZYTOWYCH MATERIAŁÓW O OSNOWIE STOPU ALUMINIUM AK12 ZBROJONYCH CZĄSTKAMI CERAMICZNYMI

Przedstawiono wyniki badań tribologicznych, wyznaczenie wartości współczynnika tarcia i odporności na zużycie ściernie skojarzenia ślizgowego: żeliwo-stop aluminium zbrojony cząstkami ceramicznymi Al_2O_3 , w warunkach tarcia suchego. Badania prowadzono na stanowisku testowym tarcza-trzpień T-01M, wykorzystując materiał kompozytowy wytworzony metodą mechanicznego mieszania, zbrojony 15% udziałem objętościowym cząstek tlenku aluminium o ziarnach wielkości 15, 30, 50 μm , oraz żeliwo ferrytyczno-perlityczne z grafitem. Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na zaobserwowanie, iż wraz ze zmniejszeniem średnicy cząstek zbrojących spada wartość współczynnika tarcia i intensywność zużycia w analizowanym układzie tribologicznym.

TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF AK12 METAL MATRIX COMPOSITES REINFORCED WITH CERAMIC PARTICLES

Industry wishes to develop more efficient materials for use in severe and complex conditions. Thus, not only are new materials continually developed, but also a better understanding of these materials is sought.

This study was undertaken in order to evaluate basic tribological characteristics wear and friction coefficient value in dry sliding conditions. Material used for researches were disks taken from centrifugal casting composite suspension which constitution is shown in Tab. 1.

Composites containing 10 % Al_2O_3 - particles (size 50, 30, 15 μm) were subjected under tests in pin-on-disc machine and counter sample for tests was pearlitic ferritic cast iron. Matrix alloy which was a reference point in examination effects was also tested. In order to evaluate friction coefficient each of the materials was examined in dry sliding conditions in five cycles at variable sliding velocity at a speed range 1-10 m/s and load 2-5 N. Wear tests were made on roadway-track equal 8000 m at load 3.5 kg and velocity 5 m/s. Tests pointed out that reinforcement which had been used raised wear resistance and its wear resistance intensity (depended on applied reinforcing particles size). The biggest was found for particles 50 μm size, the smallest for particles 15 μm size. Similarly in case of friction coefficient evaluating dependence between coefficient value and particle size was observed. Friction coefficient tests results are presented at Figs 2 and 3 presents wear abrasive results.

On the ground of investigations that were carried out it can be concluded that there is a dependence between reinforced particles size and tribological character of the materials. Changes of the friction coefficient at speed increase that were observed need further tests in order to explain this phenomenon.

WSTĘP

Kompozyty o osnowach aluminiowych znajdują coraz szersze zastosowanie jako zamienniki dotychczas stosowanych stopów aluminiowo-krzemowych i aluminiowo-miedziowych. Są to materiały, z którymi szczególnie nadzieje wiąże przemysł: motoryzacyjny, precyzyjny i lotniczy [1]. W stosunku do tradycyjnych stopów aluminium kompozyty charakteryzują się szeregiem korzystnych właściwości, np. relatywnie wysoką wytrzymałością w stosunku do ich gęstości, odpornością na korozję, podwyższoną odpornością na zużycie [2].

Kompozyty Al + cząstki ceramiczne znajdują coraz szersze zastosowanie, szczególnie w konstrukcjach mocno obciążonych i o najwyższych parametrach eksploatacyjnych. Dla przykładu można tu wymienić: korbowody silników spalinowych (Honda), tuleje cylindro-

we, koła zębate, tarcze hamulcowe (Toyota), odporne na zużycie elementy ploterów, drukarek [3].

Główną cechą omawianych materiałów jest umocnienie lekkiego, ciągliwego i wytrzymałego metalu (stopu) wtrąceniami ceramicznymi o żądanej morfologii. Łatwość produkcji i przetwarzania sprawiają, że kompozyty na osnowie aluminium są coraz chętniej stosowane tam, gdzie zmniejszenie ciężaru części podzespołu, przy jednoczesnym zachowaniu parametrów mechanicznych, jest bardzo istotne, pożądane i opłacalne. Kompozyty na osnowie metalicznej wykazują także podwyższoną odporność na zużycie w stosunku do jednolitych struktur ceramicznych lub konwencjonalnych stopów metali ze względu na atrakcyjną kombinację własności mechanicznych (wysoka wytrzymałość i

^{1,2,3} mgr inż., ⁴ dr hab. inż., prof. PŚ

moduł sprężystości w podwyższonej temperaturze), połączonych z niską gęstością i niskim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej [4]. Biorąc pod uwagę tylko wymagania przemysłu samochodowego: coraz wyższe ciśnienie cylindrowe i temperatury pracy komory spalania, podwyższenie sprawności, trwałości przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów oraz masowości produkcji, wybór do analizy zespołu pierścieni tłokowych-tłok (rowek tłoka) wydaje się być uzasadniony w świetle stosowanych i możliwych rozwiązań konstrukcyjnych. Zatem poznanie zależności pomiędzy rodzajem, postacią, wielkością, morfologią, rozmieszczeniem zbrojenia w kompozytach metalowych a ich właściwościami tribologicznymi pozwoli na projektowanie składu i budowy materiałów z myślą o zastosowaniu ich w konkretnych układach mechanicznych.

CEL I ZAKRES BADAŃ

Cel przeprowadzonych badań określono jako ocenę własności tribologicznych materiałów kompozytowych w warunkach tarcia suchego. Ocenie podlegał współczynnik tarcia oraz intensywność zużycia układu tribologicznego.

Zakres badań obejmował:

- wytworzenie materiałów kompozytowych,
- przygotowanie próbek do badań w postaci kompozytowych pierścieni i żeliwnych trzpieni,
- wyznaczenie współczynnika tarcia skojarzenia tribologicznego kompozyt-żeliwo w warunkach tarcia suchego,
- wyznaczenie intensywności zużycia obu badanych materiałów w warunkach tarcia suchego.

MATERIAŁY DO BADAŃ

Materiał do badań stanowił kompozyt o osnowie z odlewniczego stopu aluminium AK12, zbrojony cząstkami tlenku aluminium Al_2O_3 o ziarnach wielkości 15, 30, 50 μm . Kompozyt wytworzono metodą mechanicznego mieszania, a tak powstałą zawiesinę poddano odlewaniu odśrodkowemu w temperaturze $750^\circ C$ do kokili wirującej ze stałą prędkością 1500 obr/min, otrzymując tuleje o średnicy 68 mm [5]. Z odlanych tulei wycięto pierścienie, które po szlifowaniu i polerowaniu na papierze ściernym o ziarnistości 500, stanowiły próbki poddane badaniom. Skład fazowy kompozytów użytych w badaniach przedstawiono w tabeli 1.

Jako materiał przeciwpróbki zastosowano żeliwo K12, ferrytyczno-perlityczne z równomiernie rozłożonym grafitem płytkowym, z seryjnie produkowanych pierścieni tłokowych w FT „Prima” Łódź, z których wycięto trzpień o przekroju kołowym $\phi = 3$ mm i długości 20 mm.

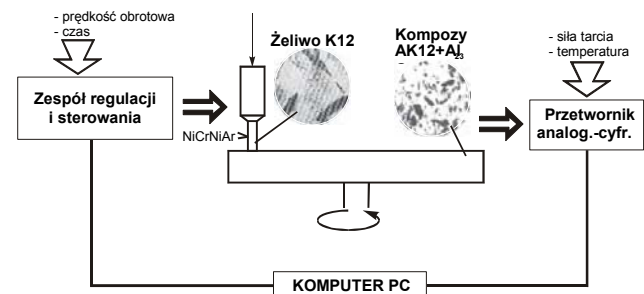
TABELA 1. Skład fazowy kompozytów AK12+ Al_2O_3 użytych w badaniach

TABLE 1. Phase composition AK12+ Al_2O_3 used in test

Oznaczenie	Stop osnowy	Rodzaj cząstek zbrojących	Wielkość cząstek zbrojących, μm	Udział objętościowy cząstek zbrojących, %
AK12+ Al_2O_3 (15)	AK12	Al_2O_3	15	15
AK12+ Al_2O_3 (30)	AK12	Al_2O_3	30	15
AK12+ Al_2O_3 (50)	AK12	Al_2O_3	50	15

BADANIA

Badania przeprowadzono, używając testera tribologicznego typu trzpień-tarcza T-01M. Próby prowadzono zgodnie z normami zalecanym przez producenta (Instytut Technologii Eksploatacji Radom) metodą stałego obciążenia. W próbie wykorzystano próbki w kształcie pierścienia o średnicy 65 mm (kompozyt), przeciwpróbkę stanowił trzpień o średnicy 3 mm (żeliwo). W trakcie próby rejestrowano w sposób ciągły temperaturę węzła tarcia za pomocą termoelementu NiCrNiAr umieszczonego w przeciwpróbce. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego trzpień-tarcza T-01M

Fig. 1. Schematic pin-on-disc wear test apparatus

TABELA 2. Warunki próby wyznaczenia wartości współczynnika tarcia

TABLE 2. Friction coefficient evaluation test conditions

Droga tarcia jednego cyklu, m	Obciążenie w cyklu, N	Zakres prędkości w cyklu, m/s
200	20	$1 \div 10$ co 1
200	30	$1 \div 10$ co 1
200	40	$1 \div 10$ co 1
200	50	$1 \div 10$ co 1
Całkowita droga tarcia wyniosła 800 m.		

Warunki prób wyznaczenia wartości współczynnika tarcia skojarzenia żeliwo-kompozyt w warunkach tarcia suchego przedstawiono w tabeli 2.

Badania intensywności zużycia ściernego w warunkach tarcia suchego przeprowadzono na próbkach tak samo przygotowanych i z wykorzystaniem tego samego

stanowiska pomiarowego, jak w przypadku wyznaczania wartości współczynnika tarcia. Do scharakteryzowania procesu zużywania przyjęto miarę masową intensywności zużycia. Badania prowadzono przy stałym obciążeniu równym 35 N, stałej prędkości obrotowej równej 5 m/s, na drodze tarcia 3000 m. Ważeniu podlegała przeciwpółka żeliwna, każdorazowo po ścieraniu na drodze 500 m. Dodatkowo ważono próbkę kompozytową przed i po ścieraniu na całym dystansie. Intensywność zużycia ściernego materiałów kompozytowych obliczono, korzystając z zależności

$$I_m = \frac{m_z}{l_t} \quad (1)$$

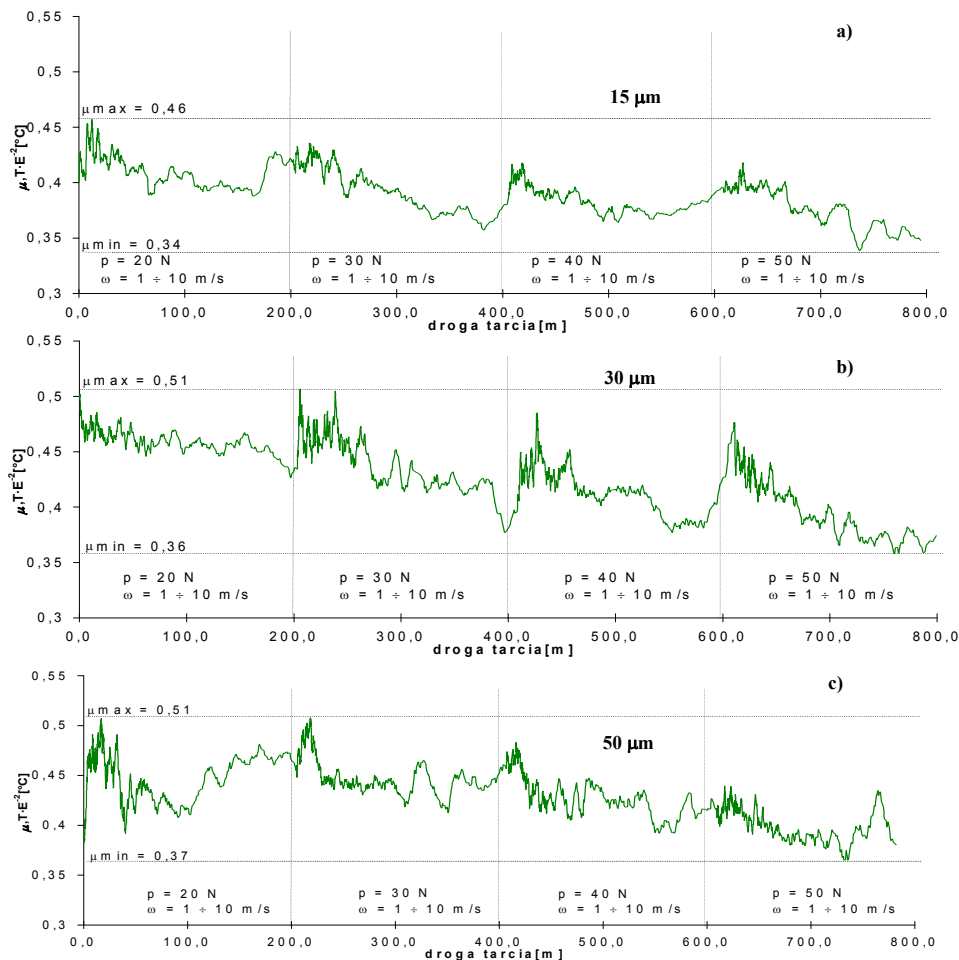
gdzie I_m - intensywność zużywania mierzona masą zużytego materiału (m_z) w odniesieniu do drogi tarcia (l_t) [6].

ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Uzyskane wyniki badań współczynnika tarcia w skojarzeniu kompozyt AK12+Al₂O₃-żeliwo przedstawiono w formie wykresu na rysunku 2. Analizując wyniki pomiarów, zaobserwowano największą wartość współczynnika tarcia równą $\mu = 0,51$ dla kompozytów

zbrojonych cząstkami o średnicy 30 i 50 μm (rys. 2b, c). Minimalną wartość współczynnika tarcia $\mu = 0,34$ zarejestrowano dla kompozytu zbrojonego cząstkami o średnicy 15 μm (rys. 2a). We wszystkich analizowanych przypadkach obserwowano spadek współczynnika wraz ze wzrostem obciążenia. Tak działo się zarówno w każdym z 4 cykli pomiarowych, jak i w skali całego testu. Ponadto zaobserwowano, iż wartość współczynnika tarcia podobnie jak przy wzroście obciążenia, tak i przy wzroście prędkości wyraźnie ulega zmniejszeniu. Porównując przebieg zmienności współczynnika tarcia w funkcji drogi, zaobserwowano zależność pomiędzy jego stabilnością a wielkością cząstek zbrojących. Dla cząstek o najmniejszej średnicy 15 μm rozrzut wartości współczynnika tarcia był najmniejszy (stabilny przebieg) (rys. 2a), tymczasem dla cząstek o średnicy największej 50 μm miał on rozrzut największy (najmniej stabilny przebieg) (rys. 2c).

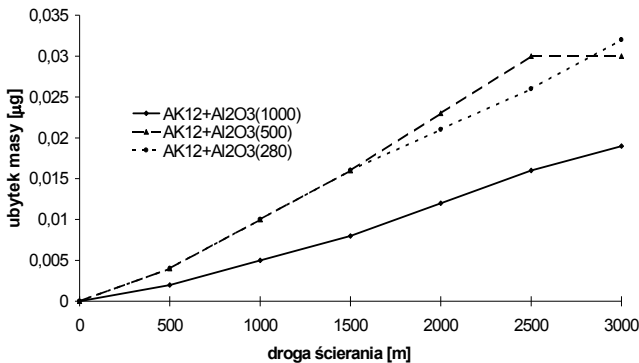
Przebieg zmian temperatury węzła tarcia we wszystkich analizowanych przypadkach miał zbliżony schodkowy charakter, odzwierciedlający wzrost prędkości obrotowej próbki w każdym cyklu. Maksymalną temperaturę równą 70°C zarejestrowano dla prędkości obrotowej równej 10 m/s bez względu na wielkość cząstek zbrojących i wartość obciążenia



Rys. 2. Wartość współczynnika tarcia w funkcji drogi tarcia dla różnych wartości obciążenia i prędkości obrotowej
Fig. 2. Sliding distance function to friction coefficient value in dependence from load rotational speed

węzła.

Wyniki pomiaru stopnia zużycia próbki żeliwnej w funkcji drogi tarcia przedstawiono w formie wykresu (rys. 3). Zaobserwowano najmniejszy stopień zużycia w przypadku współpracy z kompozytem zbrojonym cząstkami o najmniejszej średnicy 15 μm . W kompozytach zbrojonych cząstkami o średnicy 30 i 50 μm różnice w stopniu zużycia żeliwa zaobserwowano dopiero po 1500 m ścierania i dla skojarzonej pary żeliwo-kompozyt zbrojony cząstkami o średnicy 30 μm ; stopień zużycia osiągnął mniejszą wartość.



Rys. 3. Zużycie żeliwnej przeciwpróbki w skojarzeniu z kompozytem AK12+Al₂O₃ (15; 30; 50 μm)

Fig. 3. Cast iron sample wear in cooperation with MMCs

Wyniki obliczeń intensywności zużycia (równanie 1) materiałów kompozytowych wskazują na podobną zależność jak w przypadku zużycia żeliwa. Najmniejszą wartość zużycia $I_m = 0,014 \mu\text{g}/\text{m}$ zanotowano dla kompozytów zbrojonych cząstkami o średnicy 15 μm , natomiast kompozyty zbrojone cząstkami 30 i 50 μm charakteryzowały się tą samą wartością intensywności zużycia na poziomie $I_m = 0,018 \mu\text{g}/\text{m}$.

WNIOSKI

1. Wartość współczynnika tarcia dla badanych skojarzeń zależy od wielkości cząstek użytych jako zbro-

jenie kompozytów. Wraz ze zmniejszeniem średnicy cząstek spada wartość współczynnika tarcia.

2. Na wartość współczynnika tarcia obok wielkości cząstek zbrojących ma również wpływ charakter obciążenia węzła tarcia. W badanych układach stwierdzono zmniejszenie współczynnika tarcia wraz ze wzrostem obciążenia i prędkości obrotowej w węźle.
3. Wielkość cząstek zbrojących wpływa również znacząco na stopień zużycia partnera tarcia (żeliwa). Stosowanie cząstek o małej średnicy może znacznie zmniejszyć stopień zużycia przeciwpróbki, jak również wpływa korzystnie na intensywność zużycia samego kompozytu.
4. Charakter zużycia materiałów w analizowanych układach może wskazywać na abrazyjny charakter zużywania tego rodzaju układów. Jednakże dla ustalenia charakteru zużycia należy kontynuować badania z zastosowaniem profilografii i technik mikroskopowych.

LITERATURA

- [1] Cao L., Wang Y., Yao C.K., Wear 1990, 140, 237-277.
- [2] Broutman L., Krock R., Modern Composites Materials, A.D. Publishing Company, California 1967.
- [3] Biało D., Wpływ własności przeciwpróbek na przebieg procesu zużycia kompozytów aluminiowych, Tribologia 1998, 4, 427.
- [4] Dragone T.L., Nix W.D., Acta Metall. Mater. 1992, 40, 10, 2781-2791.
- [5] Śleżiona J., Kształtowanie właściwości kompozytów stop Al-cząstki ceramiczne wytwarzanych metodami odlewniczymi, ZN Politechniki Śląskiej 41, Gliwice 1994.
- [6] Lawrowski Z., Tribologia - tarcie, zużywanie, smarowanie, PWN, Warszawa 1993.

Recenzent
Michał Szweycer