

Marek Grabowski¹, Jerzy Cybo², Andrzej Posmyk³

Uniwersytet Śląski, Zakład Badań Warstwy Wierzchniej, ul. Śnieżna 2, 41-200 Sosnowiec

ZMIANY ZUŻYCIA KOMPOZYTÓW NA OSNOWIE ALUMINIUM WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z PIERŚCIENIEM ŻELIWNYM I ŻELIWNO-CERAMICZNYM

Przedstawiono wyniki badań właściwości tribologicznych walcowanych kompozytów AlMg4+Al₂O₃ o trzech zawartościach fazy zbrojącej we współpracy z partnerem żeliwno-ceramicznym i dla porównania z żeliwnym. Wyznaczono współczynniki tarcia i ubytki masy współpracujących elementów. Wykazano zdecydowaną przewagę skojarzenia, w którym oba elementy węzła są kompozytami zbrojonymi fazą Al₂O₃.

CHANGE OF WEAR OF THE COMPOSITES ON ALUMINIUM MATRIX COOPERATING WITH A CAST IRON RING AND A CAST IRON AND CERAMIC RING

The paper presents a change of tribological properties of rolled composites AlMg4+Al₂O₃ of the following reinforcement phase content: 0.4, 3.9, 4.3 volumetric %, co-acting with a cast iron and ceramic ring and a cast iron ring. The results of tribological examination of the pairing: composite/cast iron (Fig. 5, 6) show that even a small fraction of the reinforcing phase has a significant influence on mass decrements of both cooperating elements. The mass decrement of pure alloy AlMg4 (without Al₂O₃ addition) during the cooperation with a cast iron roll is larger when compared to the mass loss of the cast iron. This is caused by greater hardness of cast iron. An introduction of hard ceramic particles of Al₂O₃ transfers the cooperation onto the contact surface of ceramic particles and cast iron. This causes that with the increasing content of Al₂O₃ in the alloy AlMg4, mass loss of the cast iron ring increase, whereas they simultaneously decrease for a composite material. Already at the lowest phase content (variant A) the decrement of cast iron mass increases almost five times and that of the composite material decreases by about 70%. For composites of the largest reinforcement phase content this wear is lower by about 85%, whereas the wear of the cast iron ring grows 9 times (Fig. 5). The largest wear rate was noted in the initial period of the association's cooperation, lasting about 5 hours. This overlaps the period of the initial grinding-in phase (about 7 hours) recorded in the diagram of the friction coefficient changes (Fig. 6). After complete grinding-in of the pairing (about 12 hours), stabilization of the friction coefficient takes place, which fluctuates within the limits $\mu = 0.07 \pm 0.08$. Different are the changes of the friction coefficient and mass decrement during the cooperation of the pairing: composite/cast iron and ceramic material. The influence of the reinforcement phase on the wear of the pairing's elements is insignificant and does not exceed 0.0007 g (Fig. 3) for both materials, which in comparison to the pair composite/cast iron is a slight value. Such low wear can be explained by great hardness of both co-acting materials. The reinforcement phase content is of greater importance for the changes of the friction coefficient. With an increase of Al₂O₃ particles content in a composite the friction coefficient value goes down (Fig. 4). It reaches 0.015 for the lowest Al₂O₃ content (variant A) and about $\mu = 0.008$ for a composite of the highest Al₂O₃ content (variants B and C). An evident difference of the character of co-acting and wear of both compared associations is documented in Figure 2. Summing up, it must be said that the application of two composite materials reinforced with Al₂O₃ phase in a tribological association ensures the improvement of friction and wear characteristics by an order of magnitude in relation to the pair: composite/cast iron. A ten times smaller friction coefficient and mass decrements show the possibility of using such materials for working elements of piston machines.

WSTĘP

Jednym z ważniejszych sposobów poprawienia właściwości użytkowych (np. wytrzymałości, parametrów tribologicznych) stopów na osnowie aluminium jest wprowadzanie cząstek ceramicznych do strefy przypo-wierzchniowej części maszyn przeznaczonych do współpracy ślizgowej [1]. W ZBWW są prowadzone badania mające na celu określenie optymalnej charakterystyki stereologicznej fazy zbrojącej materiałów kompozytowych na bazie Al z jednoczesnym doбором najkorzystniejszego partnera do współpracy ślizgowej. W pracy przedstawiono wybrane właściwości tribologiczne skojarzenia ślizgowego materiał kompozytowy

AlMg4+Al₂O₃ z partnerem żeliwnym i żeliwno-ceramicznym.

MATERIAŁ I CEL BADAŃ

Materiał do badań został wytworzony metodą odlewania grawitacyjnego z preparacją fazy zbrojącej Al₂O₃ za pomocą NaOH. Proces wprowadzania cząstek do ciekłego metalu i mechanicznego mieszania odbywał się w atmosferze ochronnej argonu [2]. Otrzymano kompozyty o trzech wariantach zawartości fazy zbrojącej: A -

¹ mgr, ² prof. dr hab., ³ dr

0,4% obj. Al_2O_3 , B - 3,9% obj., C - 4,3% obj. i średniej średnicy $35 \mu\text{m}$ [3]. Uzyskane odlewy kokilowe poddano walcowaniu.

Do współpracy ślizgowej ze stopem kompozytowym wybrano na podstawie analizy teoretycznej i badań własnych [4] znajdujący od niedawna zastosowanie tribologiczne materiał żeliwno-ceramiczny (z powłoką $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$). Dla porównania przebadano również stosowane dotychczas na pierścieniu tłokowe żeliwo bez powłoki kompozytowej.

Celem badań było określenie ilościowych różnic w charakterystykach tribologicznych obu skojarzeń z myślą o przyszłym zastosowaniu na elementy robocze maszyn tłokowych.

Stosowany w badaniach pierścień żeliwny jest pokryty chromem zbrojonym ceramiką (Al_2O_3) w postaci włókien i sfer (rys. 1). Nanoszenie warstwy chromowo-ceramicznej odbywa się metodą elektrolityczną. Powierzchnia pierścienia przeznaczona do współpracy z gładzią tulei cylindrowej jest pokryta powłoką o grubości ok. 2 mm, a powierzchnie boczne o grubości ok. 1 mm. Zadaniem sferoidalnej fazy zbrojącej jest wykruszanie się i tworzenie mikroporowatości stanowiącej zasobniki dla środka smarnego. Wykruszone sfery tlenku aluminium mogą działać jako środek ułatwiający docieranie skojarzenia. Zadaniem włókien jest zwiększenie odporności na zacieranie, ponieważ tlenek aluminium działa antyadhezyjnie. Powłoka $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$ zawiera 9,8% fazy zbrojącej o średniej średnicy cząstek $d_{sr} = 3,37 \mu\text{m}$.

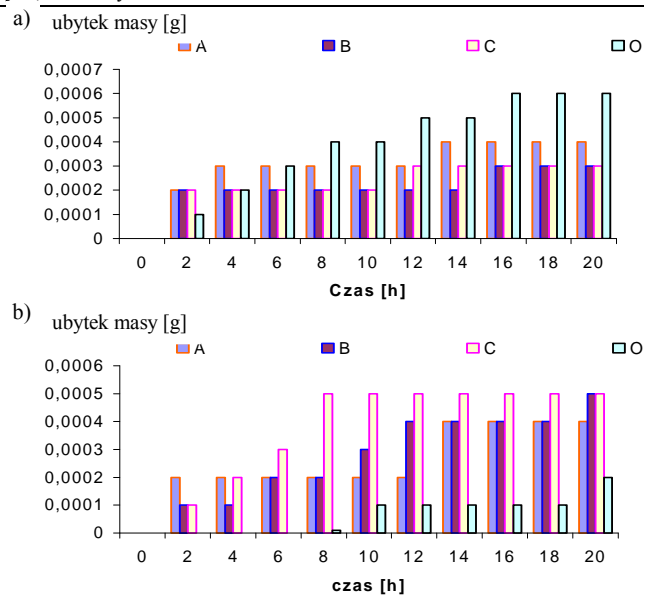


Rys. 1. Pierścień żeliwno-ceramiczny: a) warstwa żeliwa, b) warstwa $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$

Fig. 1. Ceramic-cust-iron piston ring: a) cust-iron part, b) $\text{Cr-Al}_2\text{O}_3$ -layer

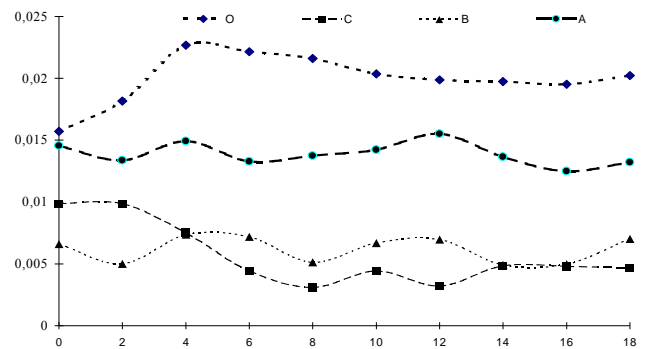
WYNIKI BADAŃ

W badaniach tribologicznych próbkę o kształcie pierścienia stanowił stop AlMg4, zawierający trzy różne udziały fazy zbrojącej w postaci cząstek Al_2O_3 . Klocki wykonano z wycinka pierścienia żeliwno-ceramicznego oraz z żeliwa. Skojarzenie pracowało ze stykiem skupionym i smarowaniem ciągłym olejem LOTOS SEMISYNTETIC. Badania przeprowadzono na stanowisku Tester T - 05 w następujących warunkach: nacisk jednostkowy $p = 3 \text{ MPa}$, prędkość względna $v = 1 \text{ m/s}$, czas pomiaru $t = 18 \text{ h}$.



Rys. 2. Zmiana ubytku masy kompozytu (a) i współpracującego z nim materiału żeliwno-ceramicznego (b) w funkcji czasu współpracy dla: O - osnowy, A, B, C - kolejne warianty udziału Al_2O_3

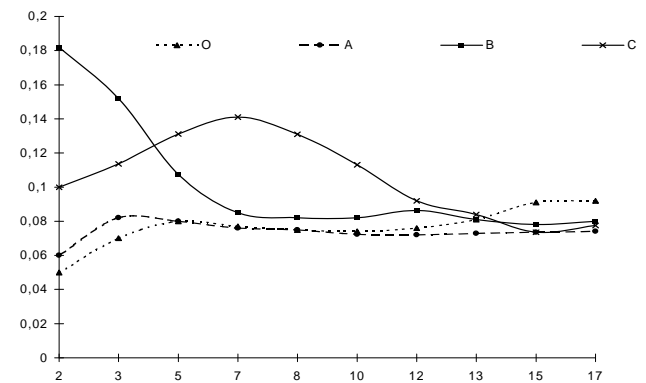
Fig. 2. The dependence of mass loss of the composite material (a) and of the CI-ceramic material (b) on sliding time: O - matrix, A, B, C - AlMC with different Al_2O_3 quantity



Rys. 3. Zmiana współczynnika tarcia w skojarzeniu kompozyt/materiał żeliwno-ceramiczny w funkcji czasu współpracy dla: O - osnowy, A, B, C - kolejne warianty udziału fazy Al_2O_3

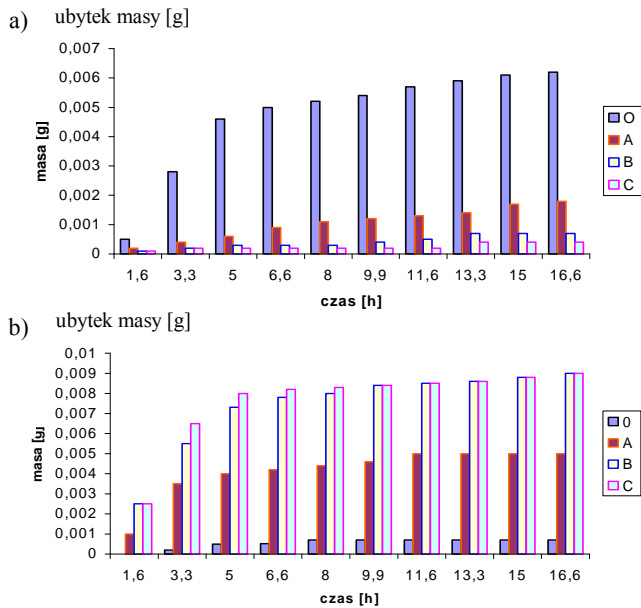
Fig. 3. The dependence of friction coefficient in sliding matching AlMC/CI-ceramic material on sliding time O - matrix, A, B, C - AlMC with different Al_2O_3 quantity

Rys. 4. Zmiana współczynnika tarcia w skojarzeniu kompozyt/żeliwo



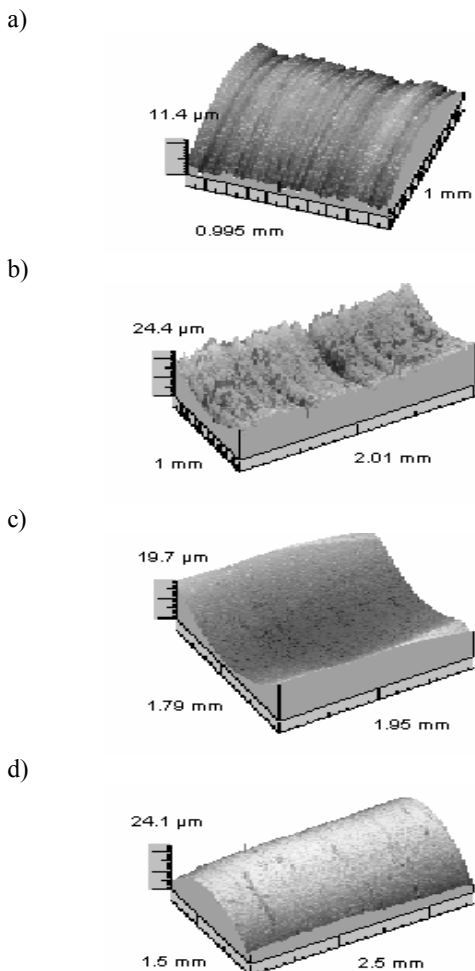
w funkcji czasu współpracy dla: O - osnowy (AlMg4); A, B, C - kolejne warianty udziału fazy Al_2O_3

Fig. 4. The dependence of friction coefficient in sliding matching AlMC/CI on sliding time O - matrix, A, B, C - AlMC with different Al_2O_3 quantity



Rys. 5. Zmiana ubytku masy kompozytu (a) i współpracującego z nim pierścienia żeliwnego (b) w funkcji czasu współpracy dla: O - osnowy (AlMg4); A, B, C - kolejne warianty udziału fazy Al_2O_3

Fig. 5. The dependence of mass loss of the composite material (a) and CI-ring (b) on sliding time: O - matrix, A, B, C - AlMC with different Al_2O_3 quantity



Rys. 6. Widok powierzchni po współpracy ślizgowej skojarzeń ZI (a)/AlMC(b) i ZI+CrAl $_2$ O $_3$ (c)/AlMC(d)

Fig. 6. View of the surface after sliding in pairings CI (a)/AlMC (b) i CI+CrAl $_2$ O $_3$ (c)/AlMC (d)

Wykresy ubytków masy i zmian współczynnika tarcia dla pary kompozyt/ZI+(Cr- Al_2O_3) przedstawiono na rysunkach 2 i 3, a na rysunkach 4 i 5 dla pary kompozyt/ZI. Topografię powierzchni elementów obu skojarzeń po współpracy pokazano na rysunku 6.

ANALIZA WYNIKÓW I WNIOSKI

Wyniki badań tribologicznych skojarzenia kompozyt/żeliwo (rys. rys. 4 i 5) wskazują, że już nieznaczny udział fazy zbrojącej ma istotny wpływ na ubytki masy obu współpracujących elementów. Ubytek masy czystego stopu AlMg4 (bez dodatku Al_2O_3) podczas współpracy z pierścieniem żeliwnym jest duży w porównaniu z ubytkiem masy żeliwa. Powodowane jest to większą twardością żeliwa. Wprowadzenie twardych cząstek Al_2O_3 przenosi współpracę na powierzchnię styku cząstki ceramiczne/żeliwo. Powoduje to, że wraz ze wzrostem zawartości Al_2O_3 w stopie AlMg4 zwiększają się ubytki masy żeliwa przy jednoczesnym ich zmniejszaniu dla materiału kompozytowego. Już przy najmniejszej zawartości fazy (wariant A) ubytek masy żeliwa zwiększa się prawie pięciokrotnie, a materiału kompozytowego maleje o ok. 70%. Dla kompozytów o największych zawartościach fazy zbrojącej zużycie to jest mniejsze o ok. 85%, przy jednoczesnym 9-krotnym wzroście zużycia pierścienia żeliwnego (rys. 5). Największe ubytki masy odnotowano w początkowym okresie współpracy skojarzenia, trwającym ok. 5 godz. Pokrywa się to z okresem wstępnej fazy docierania (ok. 7 godz.), zarejestrowanym na wykresie zmian współczynnika tarcia (rys. 4). Po całkowitym dotarciu skojarzenia (ok. 12 godz.) nastąpiła stabilizacja współczynnika tarcia w granicach $\mu = 0,07 \div 0,08$.

Inaczej kształtują się zmiany współczynnika tarcia i ubytków masy podczas współpracy skojarzenia kompozyt/materiał żeliwno-ceramiczny. Wpływ udziału fazy zbrojącej na zużycie elementów skojarzenia jest nieznaczny i dla obu materiałów nie przekracza 0,0007 g (rys. 2), co w porównaniu z parą kompozyt/żeliwo jest wartością znikomą. Tak małe zużycie można tłumaczyć dużą twardością obu współpracujących materiałów. Zawartość fazy zbrojącej ma większe znaczenie dla zmian współczynnika tarcia. Ze wzrostem zawartości cząstek Al_2O_3 w kompozycie wartość współczynnika tarcia maleje (rys. 3). Kształtuje się na poziomie 0,015 dla najmniejszej zawartości Al_2O_3 (wariant A) i ok. $\mu = 0,008$ dla kompozytu o największej zawartości Al_2O_3 (wariant B i C).

Ewidentną różnicę charakteru współpracy i zużycia obu porównywanych skojarzeń dokumentuje rysunek 6.

Podsumowując należy stwierdzić, że zastosowanie w skojarzeniu tribologicznym dwu materiałów kompozytowych zbrojonych fazą Al_2O_3 zapewnia poprawę charakterystyk tarciovo-zużyciowych o rząd wielkości w

stosunku do pary kompozyt/żeliwo. Dziesięciokrotnie mniejszy współczynnik tarcia i ubytki masy wskazują na możliwość zastosowania takich materiałów na elementy robocze maszyn tłokowych.

LITERATURA

- [1] Posmyk A., Tribologische Eigenschaften von ausgewählten faserverstärkten Aluminiumlegierungen, Tribologie und Schmierungstechnik 1999, 3, 42-46.
- [2] Ślężiona J., Podstawy technologii kompozytów, Wyd. Politechniki Śląskiej, Katowice 1998.
- [3] Grabowski M., Cybo J., Posmyk A., Właściwości tribologiczne kompozytu AlMg4+Al₂O₃ a charakterystyka stereologiczna fazy zbrojącej, IV Seminarium Kompozyty 2000 - Teoria i praktyka, Częstochowa 2000, 253-259.
- [4] Właściwości tribologiczne stopów aluminium zawierających fazę zbrojącą, Grant KBN Nr T08C 009 17, Zakład Badań Warstwy Wierzchniej, Katedra Materiałoznawstwa UŚI.

Recenzent
Izabella Hyla