

Jakub Wieczorek¹, Józef Ślezionea², Jerzy Myalski³, Anna Dolata-Grosz⁵, Maciej Dyzia⁶

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej Metalurgii i Transportu, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

Grzegorz Służalek⁴

Uniwersytet Śląski, Katedra Materiałoznawstwa ul. Śnieżna 2, 41-200 Sosnowiec

ZUŻYCIE I STRUKTURA POWIERZCHNI PO WSPÓŁPRACY W WARUNKACH TARCIA TECHNICZNIE SUCHEGO W KOMPOZYTACH AK12-CZĄSTKI CERAMICZNE

Przedstawiono korelacje pomiędzy strukturalnymi elementami budowy kompozytów a geometrią warstwy wierzchniej, tworzonej w warunkach tarcia technicznie suchego. Na podstawie przeprowadzonych badań profilografometrycznych struktury powierzchni kompozytów AK12- Al_2O_3 po współpracy opisano zależność pomiędzy wielkością cząstek zbrojących a geometrią warstwy wierzchniej kompozytu. Badania dowiodły możliwość sterowania geometrią powierzchni trących poprzez właściwy dobór geometrii komponentów.

SURFACE WEAR AND STRUCTURE AFTER COLLABORATION IN DRY SLIDING CONDITIONS IN MMCS AK12 AND CERAMIC PARTICLES Al_2O_3

Aluminum - based metal matrix composites are well - known for their high specific strength, stiffness and hardness. They are gaining further importance as their potential for wear resistance becomes established [1]. In general, for sliding against metal and abrasives, many studies have reported that composites exhibit better wear resistance than the unreinforced alloys [2].

In the article the results of the researches on the surface of composites MMCs reinforced Al_2O_3 particles after collaboration in technically dry friction conditions are presented. Investigations were made with the use of Taylor-Hobson profilograph. Tested materials were matrix alloy composites AK12 reinforced Al_2O_3 particles (10, 25.50 μm) (Tab. 1), after collaboration with cast iron. For all samples sliding distance was 5000 m, load 35 N and sliding velocity 0.5 m/s. Abrasion was carried out with the use of tribological tester T-01 pin-on-disc. Wear trace topography is presented in Figures 2-5.

Acquired results of measurement were analyzed with the use of parameters characterizing surface roughness and waviness (R_a , R_z , R_{max} , W_a , W_z , W_{max}). The values for particles materials are presented on the diagram (Fig. 10). For full characteristic of the consumed surface Abbot curves were determined for each of tested materials (Figs 6-9). Relationship between composite surface topography and particle value used for reinforcing materials was found. In case of small particle diameter wear profile is regular and loss is the smallest. Together with particle diameter wear, surface roughness and waviness increase.

Increase of surface load capacity goes together with reinforced particles diameter. It can be conducted that reinforced particles size let modify composite exploitation conditions, friction coefficient, load capacity, roughness and waviness.

WSTĘP

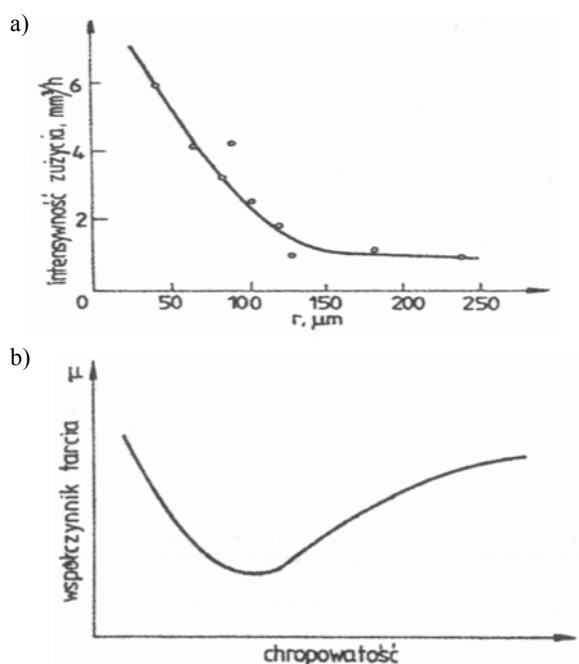
Możliwość wykorzystania materiałów kompozytowych w systemach tribologicznych zależy od zapewnienia wymaganej wartości i stabilności współczynnika tarcia oraz wysokiej odporności na zużycie cieerne, zarówno w warunkach tarcia technicznie suchego, jak i ze smarowaniem. Szczególnie podczas eksploatacji w warunkach tarcia technicznie suchego lub z ograniczonym smarowaniem utrzymanie wymienionych cech staje się istotnie ważne, jednocześnie trudne do osiągnięcia. Warunki takie występują w układach hamulcowych, sprzężarkach czy młynach, mogą także pojawić się podczas niewydolności czy awarii układu smarowania silników spalinowych lub przekładni. Tak sformułowanym w sposób ogólny wymaganiom użytkowemu odpowiadają materiały z grupy kompozytów o osnowie me-

talicznej zbrojone twardymi cząstkami ceramicznymi. Ważną cechą tych materiałów jest możliwość sterowania własnościami tribologicznymi, cieplnymi czy mechanicznymi na drodze doboru udziału objętościowego, wielkości i rozmieszczenia cząstek zbrojących, poprzez zabiegi technologiczne [4]. Dzięki możliwościom kształtowania warstw roboczych w kompozytach metalowych staje się ważne poznanie wzajemnych zależności pomiędzy cechami użytkowymi a elementami ich struktury.

W trakcie pracy w warunkach tarcia technicznie suchego na wartość współczynnika tarcia i intensywność zużycia istotny wpływ ma geometria powierzchni tarcia, która związana jest bezpośrednio ze strukturą materiału. Można zatem podejrzewać istnienie związku między rodzajem, wielkością i ilością cząstek zbrojących

¹ mgr inż., ² dr hab. inż., ³ dr inż., ⁴ dr, ⁵ mgr inż., ⁶ mgr inż.

a właściwościami warstwy wierzchniej. Trudno jest w literaturze odnaleźć jednoznaczną czy spójną teorię opisującą zależność pomiędzy własnościami tarciovo-zużyciowymi warstwy wierzchniej a parametrami struktury geometrycznej powierzchni. Istnieje jednak optymalna, różna dla różnych skojarzeń, chropowatość, przy której występuje minimalna wartość współczynnika tarcia i zużycia (rys. 1) [5]. Zasadne staje się podjęcie badań, będących próbą odpowiedzi na pytanie: jak wielkość, rodzaj czy ilość fazy zbrojącej wpływa na kształtowanie struktury geometrycznej powierzchni tarcia. Taka analiza pozwoli określić kryteria optymalizacji dla projektowania kompozytowych materiałów przeznaczonych na węzły tribologiczne.



Rys. 1. Zależność intensywności zużycia od promienia zaokrąglenia (a) i współczynnika tarcia od chropowatości (b) [5]

Fig. 1. Wear intensity dependence on Curie diameter (a) and friction coefficient on roughness (b)

ZAKRES I CEL BADAŃ

Celem podjętych badań było określenie podstawowych cech struktury geometrycznej powierzchni kompozytu po współpracy tribologicznej i skorelowanie ich z wielkością cząstek użytych jako zbrojenie.

Najczęściej stosowanym sposobem badania struktury geometrycznej jest metoda stykowa, realizowana za pomocą głowicy profilografometru z końcówką diamentową, przesuwającą się wzdłuż badanej powierzchni. Badania struktury geometrycznej wykonano z użyciem najnowszych technik profilograficznych trójwymiarowych. Wykorzystano w tym celu profilografometr firmy Taylor-Hobson z indukcyjną głowicą o rozdzielczości: pionowej = 0,6 nm, poprzecznej = 3 nm i wzdłużnej = 16 nm. Wizualizacji danych pomiarowych

dokonano w programach Tamlap i MountainsMap 3.0 z wykorzystaniem metod kartograficznych. Wynikiem jest uzyskanie mapy konturowej albo izometrycznego obrazu kartograficznego [6].

Badaniami objęto materiały kompozytowe o osnowie odlewniczego stopu aluminium AK12, zbrojone cząstkami ceramiki Al_2O_3 o różnej wielkości ziaren. Kompozyty wytworzono metodą mechanicznego mieszania i ukształtowano do postaci tulei, stosując technikę odlewania odśrodkowego [7]. Skład badanych materiałów, wielkość cząstek zbrojących i ich powierzchniowy udział w badanym fragmencie przekroju przedstawiono w tabeli 1. Z odlanych tulei wycięto pierścienie, które po szlifowaniu i polerowaniu na papierze ściernym o ziarnistości 500 stanowiły próbki poddane ścieraniu na testerze tribologicznym T-01 tarcza-trzpień.

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. Ścieranie prowadzono przy stałym obciążeniu równym 35 N, stałej prędkości 5 m/s, na drodze tarcia 5000 m. Promień śladu wytarcia przyjęty został tak, aby tarcie odbywało się w miejscu o największym powierzchniowym udziale cząstek zbrojących.

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

TABLE 1. Phase composition AK12- Al_2O_3 used in test

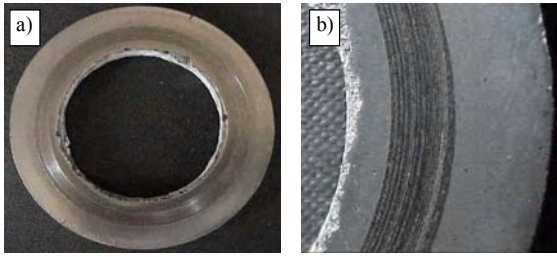
Stop osnowy	Rodzaj cząstek zbrojących	Średnica cząstek zbrojących μm	Udział objętościowy cząstek zbrojących %	Udział powierzchniowy cząstek zbrojących %
AK12	Al_2O_3	10	15	40
AK12	Al_2O_3	30	15	35
AK12	Al_2O_3	50	15	30
AK12	-	-	-	-

REZULTATY BADAŃ I ANALIZA WYNIKÓW

Badania profilograficzne przeprowadzono na fragmentach powstałego śladu współpracy. Wymiary pola pomiarowego wynoszą 3x4 mm. Przyjmując równomierne na obwodzie rozkład zbrojenia, fragmenty poddane pomiarom profilograficznym zostały wybrane przypadkowo. Dla wybranych obszarów wykonano pomiar techniką profilografometrii trójwymiarowej. Rysunki 2-5 przedstawiają widok pierścienia po ścieraniu i widok śladu wytarcia w powiększeniu 10x.

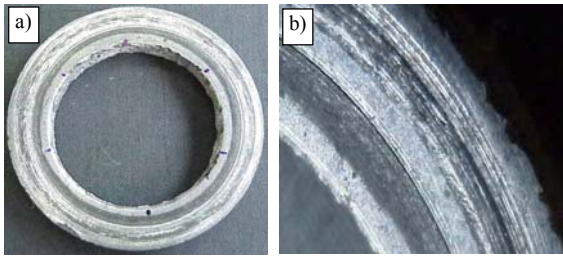
Uzyskane dzięki technice 3D mapy powierzchni trących wraz z wyznaczonymi na ich podstawie krzywymi

nośności oraz wygenerowanymi programowo obrazami dwuwymiarowymi przedstawiono na rysunkach 6-10.



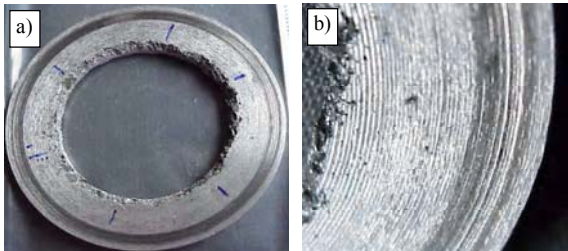
Rys. 2. Ślad zużycia pierścienia kompozytowego AK12-Al₂O₃ (10 μm): a) widok pierścienia, b) pow. 10x

Fig. 2. Wear composite AK12-Al₂O₃ ring trace (10 μm): a) ring view, b) zoom 10x



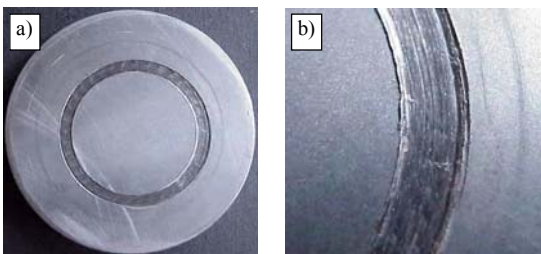
Rys. 3. Ślad zużycia pierścienia kompozytowego AK12-Al₂O₃ (30 μm): a) widok pierścienia, b) pow. 10x

Fig. 3. Wear composite AK12-Al₂O₃ ring trace (30 μm): a) ring view, b) zoom 10x



Rys. 4. Ślad zużycia pierścienia kompozytowego AK12-Al₂O₃ (50 μm): a) widok pierścienia, b) pow. 10x

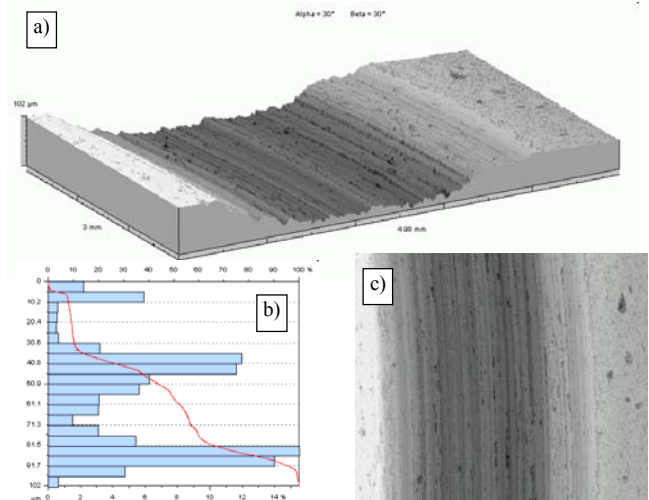
Fig. 4. Wear composite AK12-Al₂O₃ ring trace (50 μm): a) ring view, b) zoom 10x



Rys. 5. Ślad zużycia materiału osnowy AK12: a) widok próbki, b) pow. 10x
Fig. 5. Wear matrix AK12 trace: a) view, b) zoom 10x

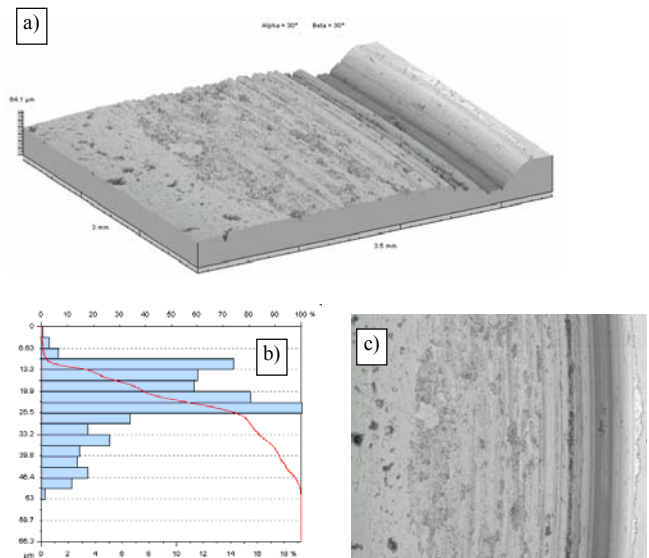
Wizualizacja typu 3D śladu wytarcia dla kompozytu zbrojonego cząstkami o średnicy 10 μm pozwala stwierdzić łagodny przebieg procesu zużycia. Na powierzchni

nie zaobserwowano żadnych wyraźnych oznak wrywania cząstek zbrojących i wywołanego tym bruzdowania. Ślad wytarcia ma regularny przebieg, o czym świadczy także niska wartość średniego arytmetycznego odchylenia profilu chropowatości R_a . Przyjmuje on wartość $R_a = 2,25 \mu\text{m}$. Maksymalna wysokość chropowatości R_{max} nie przekracza wartości $16,1 \mu\text{m}$, a wysokość falistości powierzchni W_{max} równa jest $3,62 \mu\text{m}$.



Rys. 6. Kompozyt AK12-Al₂O₃ (10 μm): a) obraz 3D śladu wytarcia, b) krzywa nośności, c) obraz 2D, pow. 120x

Fig. 6. AK12-Al₂O₃ (10 μm) composite: a) picture 3D wear trace, b) Abbot Curie, c) picture 2D, zoom 120x



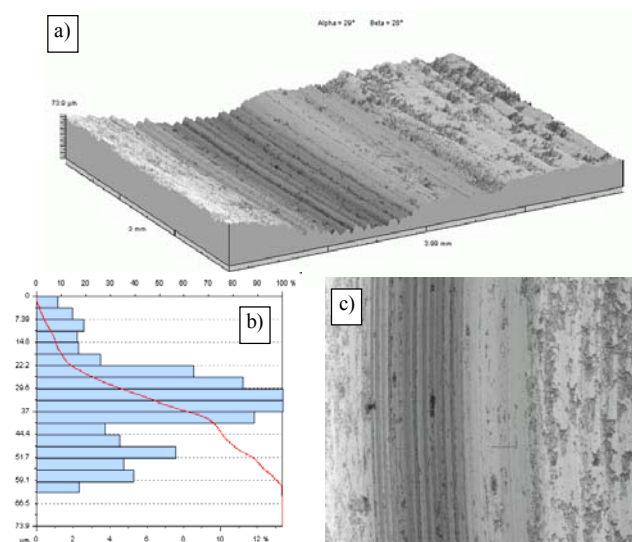
Rys. 7. Kompozyt AK12-Al₂O₃ (30 μm): a) obraz 3D śladu wytarcia, b) krzywa nośności, c) obraz 2D, pow. 120x

Fig. 7. AK12-Al₂O₃ (30 μm) composite: a) picture 3D wear trace, b) Abbot Curie, c) picture 2D, zoom 120x

Analizując widok 3D śladu wytarcia dla kompozytu zbrojonego cząstkami o średnicy 30 μm (rys. 7), można zaobserwować podobny łagodny charakter zużycia, tak jak w poprzednim przypadku. Zwiększają się jednak

wartości parametrów chropowatości i falistości powierzchni do $R_a = 2,27 \mu\text{m}$, co daje znikomo mały przyrost w stosunku do profilu chropowatości kompozytu zbrojonego cząstką o średnicy $10 \mu\text{m}$. Wyraźniej natomiast rośnie wysokość chropowatości R_{max} aż do wartości $20,1 \mu\text{m}$. Podobnie przyrasta wysokość falistości, osiągając wartość $W_{\text{max}} = 21,9 \mu\text{m}$.

Przedstawiony na rysunku 8 obraz 3D śladu wytarcia kompozytu zbrojonego cząstkami o średnicy $50 \mu\text{m}$ ma odmienny charakter od prezentowanych na rysunkach 6 i 7 charakterystyk geometrii powierzchni. Widać na nim głębsze nieregularne ślady zużycia (bruzdy). Ślad taki mógł powstać w wyniku wyrwania cząstki zbrojącej. Luźna cząstka stanowić będzie element skrawający powierzchnie kompozytu i przeciwpróbki. Liczbowe parametry opisujące geometrie powierzchni wzrosły w tym przypadku, zwiększając R_a do wartości $2,64 \mu\text{m}$, $R_{\text{max}} = 23,7 \mu\text{m}$, a $W_{\text{max}} = 33,9 \mu\text{m}$.



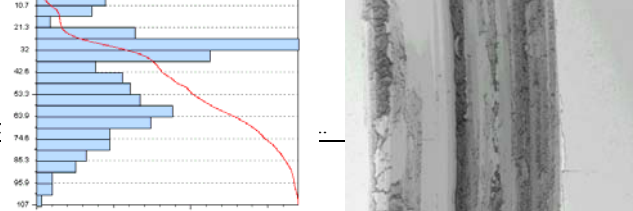
Rys. 8. Kompozyt AK12-Al₂O₃ (50 μm): a) obraz 3D śladu wytarcia, b) krzywa nośności, c) obraz 2D, pow. 120x

Fig. 8. AK12-Al₂O₃ (50 μm) composite: a) picture 3D wear trace, b) Abbot Curie, c) picture 2D, zoom 120x

a)

b)

c)



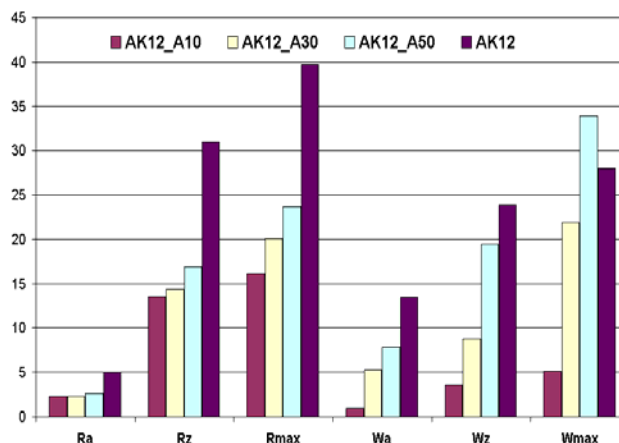
Rys. 9. Osnowa AK12: a) obraz 3D śladu wytarcia, b) krzywa nośności, c) obraz 2D, pow. 120x

Fig. 9. AK12 matrix: a) picture 3D wear trace, b) Abbot Curie, c) picture 2D, zoom 120x

Wyraźnie odmienny, z głębokim bruzdowaniem i fragmentami odkształceń plastycznych na brzegach, ślad wytarcia pojawia się w materiale AK12. Na rysunku 9 przedstawiono trójwymiarowy obraz śladu zużycia stopu AK12 stanowiącego osnowę badanych kompozytów. Powstałe tu głębokie zarysowania, opisane wartościami $R_a = 5,05$, $R_{\text{max}} = 39,7 \mu\text{m}$ i $W_{\text{max}} = 28 \mu\text{m}$, są dowodem intensywnego zużywania osnowy, pozbawionej korzystnego oddziaływania zbrojenia, tak jak to ma miejsce w kompozytach.

W tabeli 2 przedstawiono zestawienie podstawowych parametrów charakteryzujących geometrię badanych powierzchni. Na podstawie tych wartości narysowano wykres umożliwiający porównanie tych parametrów.

Porównując wielkości charakterystyczne dla geometrii powierzchni z wielkością cząstek zastosowanych do zbrojenia kompozytów, można zauważyć, że istnieje proporcjonalna zależność między średnicą zbrojenia a parametrami chropowatości. Zwiększają się też wielkości opisujące falistość wraz ze wzrostem średnicy zbrojenia. Porównując uzyskane wyniki pomiaru geometrii powierzchni z charakterystykami tribologicznymi badanych materiałów [8], widoczna jest korelacja między wielkością cząstek wpływających na stan powierzchni a poziomem współczynnika tarcia i wielkością zużycia. Wraz ze wzrostem średnicy cząstek zbrojących rośnie stopień rozwinięcia powierzchni, pociągający za sobą wzrost wartości współczynnika tarcia i zwiększający zużycie. W kompozytach zbrojonych cząstkami istnieje zatem zależność pomiędzy średnicą cząstek, topografią powierzchni a charakterystykami tribologicznymi. Widoczna jest również zmiana przebiegu krzywej nośności, opisującej rzeczywistą powierzchnię styku pary tarczej, dla kompozytów o różnej wielkości cząstek zbrojących.



Rys. 10. Graficzne porównanie wielkości charakteryzujących geometrię powierzchni dla kompozytów o różnej średnicy cząstek zbrojących (oznaczenia patrz tab. 1)

Fig. 10. Histogram of values characterized surface geometry of composites on the different size of particles (description see tab. 1)

właściwości tribologicznych skojarzenia cierne-
nego.

Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego KBN PBU-112/RM6/2001.

TABELA 2. Zestawienie parametrów geometrii powierzchni i podstawowych właściwości tribologicznych

TABLE 2. Surface geometry parameters compilation

Materiał	Właściwości tribologiczne		Chropowatość			Falistość		
	Zużycie $\mu\text{m} \cdot \text{mm}^2$	Współczynnik tarcia	R_a , μm	R_z , μm	R_{max} , μm	W_a , μm	W_z , μm	W_{max} , μm
AK12- Al_2O_3 (10 μm)	5,14	0,37	2,25	13,6	16,1	0,995	3,62	5,13
AK12- Al_2O_3 (30 μm)	6,24	0,41	2,27	14,32	20,1	5,3	8,77	21,9
AK12- Al_2O_3 (50 μm)	10,8	0,43	2,64	16,9	23,7	7,85	19,5	33,9
AK12	13,8	0,35	5,05	31	39,7	13,5	23,9	28
			R_a - średnie arytmetyczne odchylenie profilu chropowatości R_z - wysokość chropowatości wg 10 punktów R_{max} - maksymalna wysokość chropowatości			W_a - średnie arytmetyczne odchylenie profilu falistości W_z - wysokość falistości W_{max} - maksymalna wysokość chropowatości		

WNIOSKI

1. W materiałach kompozytowych zbrojonych cząstkami o różnej średnicy istnieje proporcjonalna zależność pomiędzy parametrami geometrii powierzchni a średnicą cząstek zbrojących.
2. Wielkość cząstek użytych do zbrojenia kompozytów decydować będzie o intensywności zużycia tribologicznego poprzez wpływ na geometrię powierzchni zużycia.
3. W układach tribologicznych pracujących w warunkach tarcia technicznie suchego istnieje możliwość sterowania wielkością współczynnika tarcia poprzez stosowanie cząstek o różnych średnicach mogących zmienić geometrię powierzchni trących.
4. Przedstawiona w literaturze teoria wiążąca geometrię powierzchni trących z charakterystykami tribologicznymi w przypadku materiałów kompozytowych znajduje potwierdzenie i związana jest ze średnicą cząstek zbrojących.
5. Charakterystyka tribologiczna materiałów kompozytowych zależna będzie nie tylko od geometrii komponentu zbrojącego, ale również od morfologii warstwy wierzchniej. Ustalenie wpływu geometrii cząstki w powiązaniu ze strukturą warstwy wierzchniej pozwoli na projektowanie i prognozowanie

LITERATURA

- [1] Narayan M., Surappa M.K., Pramila Bai B.N., Dry sliding wear of Al alloy 2024- Al_2O_3 particle mmc, *Wear* 1995, 181-183, 563.
- [2] Modi O.P., Prasad B.K., *Mater. Sci. Eng.* 1992, A151, 235.
- [3] Śleziona J., Grosz A., Wieczorek J., Centrifugal casting of the aluminium alloy - Al_2O_3 particle composites, *II Cast Composites Conference '98, Polanica Zdrój* 1998.
- [4] Sobczak J., Perspektywy rozwoju metalowych kompozytów kompozytów przemysłu samochodowym, *Przegląd Odlewnictwa* 1999, 4, 127.
- [5] Szumiak J., Budowa i właściwości warstwy wierzchniej, *Tribologia i Tribotechnika, Politechnika Radomska* 137.
- [6] Cybo J., Gołąb A., Służałek G., Badania struktury geometrycznej warstwy wierzchniej metodą 3D, *Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN Katowice-Opole* 2000, II, 44, 433.
- [7] Śleziona J., Grosz A., Wieczorek J., Wytwarzanie odlewów zbrojonych warstwowo cząstkami Al_2O_3 , *IV Międzynarodowa Konferencja nt. Zjawiska powierzchniowe w procesach odlewniczych, Poznań-Koło* 1998.
- [8] Wieczorek J., Dolata-Grosz A., Dyzia M., Śleziona J., Właściwości tribologiczne kompozytowych materiałów o osnowie stopu aluminium AK12 zbrojonych cząstkami ceramicznymi, *Kompozyty (Composites)* 2001, 1, 2, 207-210.

Recenzent
Zbigniew Konopka