

# Własności Trybologiczne Materiałów Kompozytowych na Bazie Stopów EN AW-2024 i EN AW-7075

A. Kurzawa \*, K. Granat, E. Grodzka, K. Naplocha, J.W. Kaczmar

Institute of Machine Engineering and Automation, Wrocław University of Technology  
Łukasiewicza 5, PL-50-371 Wrocław, Poland

\*Corresponding author. E-mail address: adam.kurzawa@pwr.wroc.pl

Received 24.04.2013; accepted in revised form 08.05.2013

## Streszczenie

W pracy zostały przedstawione wyniki badań intensywności zużycia ściernego materiałów kompozytowych na bazie stopów EN AW-2024 i EN AW-7075 umacnianych cząstkami ceramicznymi  $Al_2O_3$ . Materiały zawierające 10÷40%obj. cząstek umacniających wytworzone metodą squeeze casting poddano ścieraniu z zastosowaniem metody pin-on-disc. Pozytywny efekt wzrostu odporności na zużycie ściernie potwierdzono dla materiałów opartych na stopie 7075 umocnionych od 10 do 30%obj.  $Al_2O_3$ . Umocnienie cząstkami stopu 2024, chociaż nieznacznie podniosło ich odporność na ścieranie przy zawartościach objętościowych cząstek ceramicznych 10 i 20%obj. to nie jest jednak satysfakcjonujące. Siła docisku próbki wpływa w zasadniczy sposób na intensywność zużycia materiałów kompozytowych. Pod mniejszym ciśnieniem 0,2MPa pomiędzy próbką a tarczą materiały kompozytowe wykazały ok 2-3 krotnie większą odporność na zużycie w porównaniu do stopu nieumocnionego. Zwiększenie ciśnienia do 1,0MPa i 1,2MPa spowodowało zwiększenie szybkości zużycia próbek, w szczególności dla materiałów zawierających 40%obj. cząstek  $Al_2O_3$ . Materiały kompozytowe na osnowie stopu AW-2024 generowały o ok 20÷25% większe opory tarcia od materiałów wytworzonych na osnowie stopu AW-7075. W wyniku analizy powierzchni ścierania stwierdzono, że wraz ze wzrostem zawartości objętości cząstek umacniających zmienił się charakter zużycia z mieszanego, adhezyjno-ściernego występującego w kompozytach z 10%obj. cząstek  $Al_2O_3$  w typowo ściernie występujące w materiałach zawierających 40% obj. udział umocnienia. Stopień zużycia przeciwpróbki silnie zależał od użytego materiału osnowy. Pomimo że stop nieumocniony AW-2024 wpływał na zużycie żeliwnej tarczy wolniej od stopu AW-7075, to jednak w materiałach zawierających umocnienie tendencja była odwrotna. Chropowatość  $R_a$  dna rowka przeciwpróbki potwierdza głębsze bruzdowanie przy ścieraniu kompozytów wytworzonych na osnowie stopu AW-2024. Największą chropowatość wykazały powierzchnie tarcz na których ścierano próbki z zawartością 10%obj. cząstek. Wraz ze wzrostem udziału cząstek w materiałach kompozytowych chropowatość przeciwpróbki maleje.

**Słowa kluczowe:** Materiały kompozytowe, Cząstki tlenku glinu, Własności trybologiczne

# 1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych etapów w procesie projektowania materiałów kompozytowych odpornych na zużycie ścierne, a przy tym charakteryzujących się założonymi własnościami mechanicznymi jest dobór materiału osnowy. Wśród występujących na rynku stopów aluminium materiały AW-7075 oraz AW-2024 wykazują wysokie własności mechaniczne [3,4]. Materiały te znajdują zastosowanie w wytwarzaniu silnie obciążonych elementów maszyn i urządzeń w sektorach przemysłu lotniczego i motoryzacyjnego [8-11]. Zakłada się, że umocnienie tych stopów preformami wykonanymi z cząstek ceramicznych w procesie ciśnieniowej infiltracji może przynieść dodatkowe korzyści i przyczynić się do podwyższenia własności trybologicznych. Próby osiągnięcia zadowalających efektów umocnienia cząstkami tych stopów nie zawsze przynosiły pożądany skutek. Pozytywny efekt zwiększenia odporności na ścieranie kompozytu AW-2024+15%obj. cząstek  $Al_2O_3$  (T6) przy współpracy z przeciwpróbką stalową uzyskano w pracy [3]. Niestety ten sam kompozyt nie poddany obróbce cieplnej wykazywał już stanowo większe zużycie aniżeli czysty stop AW-2024. Dużo lepsze efekty umocnienia stopu AW-2024 cząstkami tlenku glinu w ilości 10-30% wykazali autorzy pracy [7]. Uzyskali oni kilkukrotne zwiększenie odporności na ścieranie w odniesieniu do stopu nieumocnionego. Stopień zużycia zależał od rozmiaru i ilości cząstek umacniających. Jednak już w pracy [4] autorzy umacniając stop AW-7075 15%obj. cząstek SiC o wielkości 20-40 $\mu m$  wykazali poprawę odporności na ścieranie materiałów poddanych obróbce T6 tylko w przypadku stosowania dużych ciśnień 3,0MPa pomiędzy próbką a przeciwpróbką. Przy małych ciśnieniach 1,0MPa materiały te niestety ulegały zwiększonemu zużyciu w porównaniu do stopu nieumocnionego.

Oczekuje się, że wytworzone materiały będą mogły sprostać wysokim wymaganiom stawianym układom trybologicznym, w szczególności pracującym w trudnych warunkach tarcia suchego bez użycia środków smarujących.

## 2. Materiały i metodyka badań

Próbie ścieralności wykonano na aluminiowych materiałach kompozytowych umacnianych cząstkami ceramicznymi  $Al_2O_3$ . Materiały do badań wykonano w oparciu o technologię odlewniczą *squeeze casting* polegającą na infiltracji ciśnieniowej preform o porowatości otwartej [1,2,5]. Odlewy wykonano pod ciśnieniem prasowania 90±100 MPa.

Tabela 1.

Skład chemiczny i stopów zastosowanych na osnowę materiałów kompozytowych.

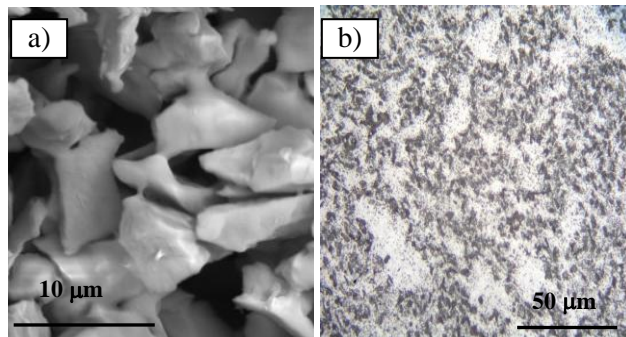
Weight fraction [%]	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Mg	Cr
<b>2024</b>	0,5	0,5	3,8-4,9	0,3-0,9	-	1,2-1,8	0,10
<b>7075</b>	0,4	0,5	1,2-2,0	0,3	5,1-6,1	2,1-2,9	1,18
Al - remainder							

Osnowę kompozytów stanowiły stopy EN AW-2024 i EN AW-7075 standardowo stosowane w silnie obciążonych elementach maszyn i urządzeń. Specyfikację chemiczną tych stopów podano w tabeli 1. Preformy ceramiczne wykonano z cząstek  $Al_2O_3$  frakcji F1200 o wielkości ziarna 3÷6 $\mu m$  i gęstości  $\rho=3,95g/cm^3$ . Skład chemiczny cząstek podano w tabeli 2. Przykładową strukturę preformy oraz materiału kompozytowego zawierającego 20%obj. cząstek  $Al_2O_3$  przedstawiono na rys 1.

Tabela 2.

Wybrane własności i skład chemiczny cząstek  $Al_2O_3$

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> content: 99,7%					
SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O
<0,03%	<0,04%	<0,19%	<0,01%	<0,01%	<0,01%
Density: 3,95 g/cm <sup>3</sup> , Hardness: > 9 in Mohs scale					
Diameter: 3-6 $\mu m$					



Rys. 1. Mikrostruktura: a) preformy, b) materiału kompozytowego z AW-7075+20 vol.%  $Al_2O_3$  cząstek

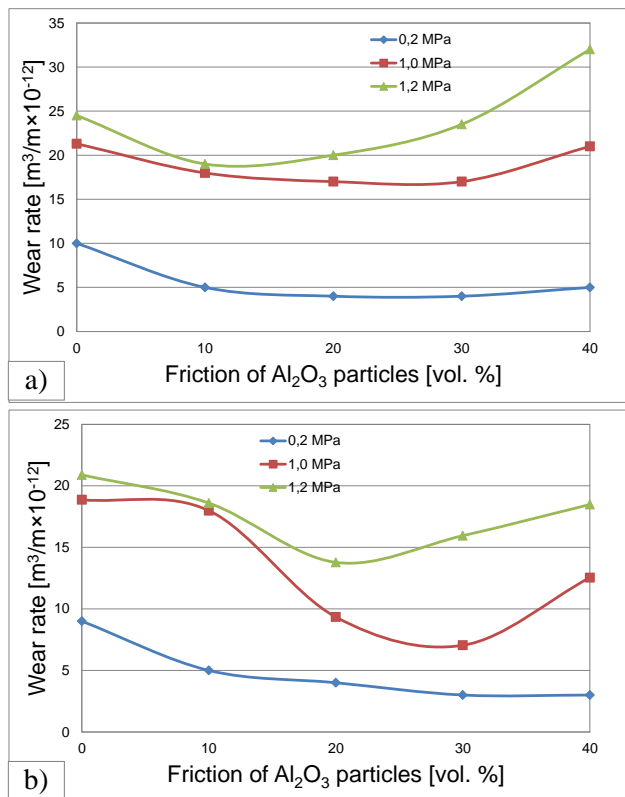
Badaniom zostały poddane próbki materiałów kompozytowych zawierających odpowiednio: 10, 20, 30 i 40%obj. cząstek umacniających. W celach porównawczych badania zostały wykonane również na materiałach stopów referencyjnych nie zawierających umocnienia. Przed badaniem ścieralności wszystkie materiały zostały poddane obróbce cieplnej T6 polegającej na przesycaniu i sztucznym starzeniu.

Badania ścieralności zostały przeprowadzone na stanowisku „pin-on-disc”. Próbki w kształcie walca o średnicy 7,1mm ścierano czołową powierzchnią na obracającej się z prędkością 318 obr/min tarczy przeciwpróbką pod ciśnieniem 0,2, 1,0 i 1,2MPa. Przeciwpróbkę stanowiła tarcza wykonana z żeliwa ferrytyczno-perlitycznego o twardości 180HB wytoczona z wycinka tarczy hamulcowej montowanej seryjnie w samochodach ciężarowych Scania. Intensywność zużycia ściernego określono na podstawie ubytku masy próbek po ich ścieraniu na drodze od 1,0 do 8,5km. W czasie wykonywania badań prowadzono bieżącą rejestrację siły tarcia, co pozwoliło na określenie współczynnika tarcia *f*. Ścieranie próbek realizowano na sucho bez użycia środków smarujących. Powierzchnie ścierne materiałów poddano obserwacjom mikroskopowym z wykorzystaniem mikroskopii optycznej i skaningowej. W ramach badań przeprowadzono również określenie stopnia zużycia przeciwpróbkę na podstawie pomiarów głębokości rowków zmierzonych przy pomocy

profilografometru Form Talysurf 120L firmy Rank Taylor Hobson Limited. Wykonano także analizę chropowatości powierzchni przeciwpróbki po próbie ścieralności.

### 3. Wyniki i dyskusja

Wyniki badań ścieralności wyrażono za pomocą średniej intensywności zużycia materiałów podczas ich ścierania na drodze 1÷8,5km. Intensywność zużycia kompozytów została przedstawiona na rys. 2.



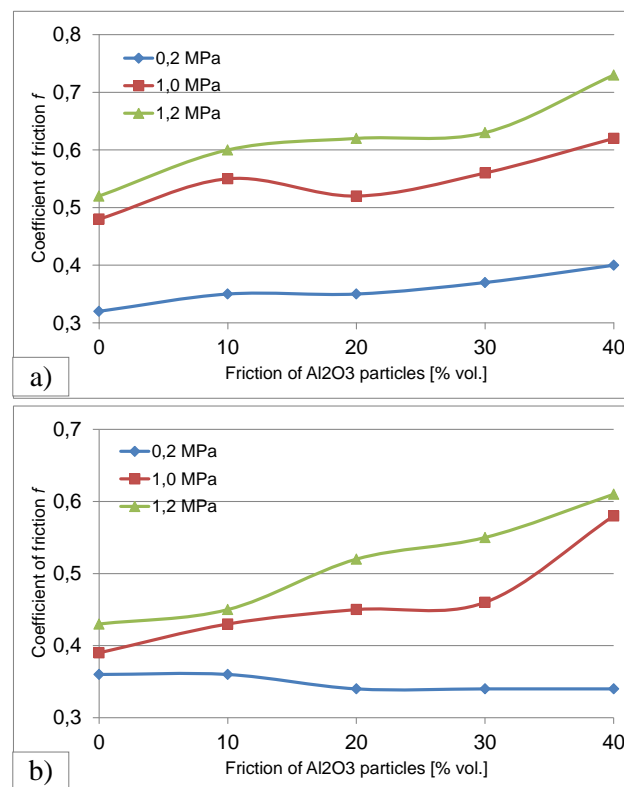
Rys. 2. Porównanie intensywności zużycia materiałów kompozytowych po ścieraniu na drodze 1÷8,5km. Osnowa: a) EN AW-2024, b) EN AW-7075

Ciśnienie pomiędzy próbką a tarczą wpływa w zasadniczy sposób na zużycie materiałów kompozytowych i ich odporność na zużycie ścierne w odniesieniu do materiałów nieumocnionych. Pod mniejszym ciśnieniem 0,2MPa materiały kompozytowe wykazują 2÷3 razy mniejsze tempo zużycia w porównaniu do stopów nieumocnionych. W przypadku kompozytów opartych na stopie AW-2024 zużycie niezależnie od zawartości objętościowej cząstek umacniających oscyluje na podobnym poziomie ok.  $4\div 5\text{m}^3/\text{m}^3 \times 10^{-12}$ . Zużycie pod tym naciskiem próbek z osnową stopu AW-7075 powoduje nieznaczną poprawę odporności wraz ze zwiększającą się zawartością objętościową umocnienia.

Zwiększenie wartości ciśnienia pomiędzy próbką a powierzchnią przeciwpróbki z 0,2MPa do 1,0MPa, a następnie do 1,2MPa wpływa silnie na zmianę intensywności zużycia

kompozytów. Umocnienie stopu AW-2024 cząstkami Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> z udziałem 10, 20 i 30%obj. powoduje zwiększenie odporności na ścieranie pod ciśnieniem 1,0MPa zaledwie o 10÷20% w porównaniu do stopu nieumocnionego. Umocnienie kompozytu 40%obj. cząstek ceramicznych nie przyniosło spodziewanej poprawy odporności. Zwiększenie ciśnienia pomiędzy próbką a tarczą do 1,2MPa wpływa zdecydowanie na zwiększenie zużycia próbek zawierających największą objętość umocnienia (30 i 40% obj.). W tych warunkach tempo zużycia kompozytów z zawartością 30%obj Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> jest porównywalne z materiałem nieumocnionym, natomiast zużycie kompozytów z zawartością 40% obj. jest już szybsze o 25%.

Nieznacznie lepszy efekt zwiększenia odporności na zużycie osiągnięto w kompozytach wytworzonych na bazie stopu AW-7075. W tym przypadku pomimo, że próbki nieumocnionego stopu zużywają się z intensywnością o 10÷15% większą w porównaniu do próbek stopu AW-2024, to w materiałach umocnionych cząstkami intensywność zużycia jest znacznie wolniejsza. Najkorzystniej prezentują się w tej grupie materiałów kompozyty z zawartością 20% i 30%obj. cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ścierane próbki tych materiałów pod ciśnieniem 0,2 i 1,0MPa wykazało przeszło dwukrotnie mniejsze tempo zużycia aniżeli próbki nieumocnionego stopu AW-7075. Podczas ścierania próbek z ciśnieniem 1,2MPa pozytywny efekt umocnienia zachowuje się w materiałach zawierających do 20%obj. cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Dalsze zwiększenie objętości cząstek do 30% obj. i następnie do 40% obj. powoduje już stopniowe zmniejszenie odporności na zużycie ścierne.



Rys. 3. Średni współczynnik tarcia podczas ścierania na drodze 3,5÷8 km kompozytów z osnową: a) EN AW-2024,

## b) EN AW-7075

Na rys. 3 przedstawiono zależność współczynnika tarcia  $f$  od ilości cząstek umacniających. Zmianę wartości współczynnika  $f$  wyrażono w odniesieniu do badań prowadzonych przy ciśnieniach 0,2, 1,0 i 1,2MPa.

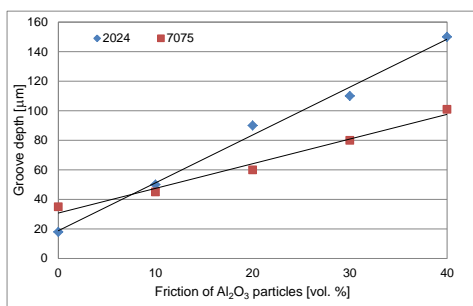
Opory tarcia silnie zależą zarówno od ilości cząstek umacniających jak również od warunków ścierania. W czasie ścierania prowadzonego pod ciśnieniem 0,2MPa kompozytów z osnową stopu AW-2024 współczynnik tarcia przyrasta średnio o 5% na każde kolejne 10%obj. cząstek  $Al_2O_3$ . Największe opory wykazują próbki z 40%obj. umocnienia, dla których wartość współczynnika  $f$  wynosi 0,4. Przy ścieraniu kompozytów z 10, 20 i 30%obj. cząstek pod obciążeniem 1,0MPa i 1,2MPa współczynnik  $f$  zachowuje podobną wartość.

Przy ciśnieniu 1,0MPa wartość  $f$  wynosi średnio 0,53, natomiast przy 1,2MPa  $f \approx 0,61$ . Zwiększenie udziału cząstek do 40% powoduje gwałtowne zwiększenie wartości  $f$  o ok. 25÷30%.

Podczas ścierania kompozytów na osnowie stopu AW-7075 pod ciśnieniem 0,2 MPa współczynnik tarcia  $f$  osiąga wartość 0,34÷0,36, przy czym tendencja jest malejąca wraz ze wzrostem objętości umocnienia. Wprowadzone do osnowy stopu AW-7075 cząstki ceramiczne w ilości 10, 20 i 30%obj. powodują przy ścieraniu pod ciśnieniem 1,0MPa zwiększenie wartości współczynnika  $f$  do 0,43÷0,46, co stanowi ok. 15% wzrost w odniesieniu do materiału nieumocnionego.

Współczynnik tarcia przy ścieraniu pod obciążeniem 1,0 i 1,2MPa jest o 15÷20% mniejszy dla kompozytów na osnowie stopu AW-7075 w porównaniu do materiałów na bazie stopu AW-2024.

Istotnym wskaźnikiem poprawy współpracy pary trącej jest stopień zużycia przeciwpróbki. Ocenę zużycia przeciwpróbki oparto na wynikach pomiaru głębokości rowka na jej czołowej powierzchni po ścieraniu materiałów kompozytowych pod obciążeniem 1,0MPa. Na rys. 4 przedstawiono zależność głębokości rowka powstałego na powierzchni przeciwpróbki od objętości cząstek umacniających w badanych kompozytach.

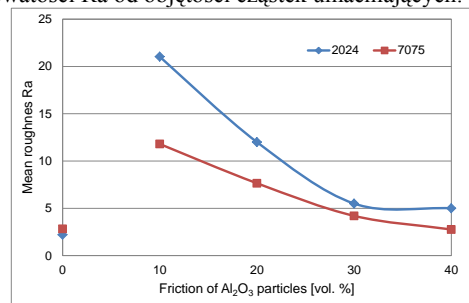


Rys. 4. Głębokość rowka tarczy przeciwpróbki po ścieraniu materiałów kompozytowych pod ciśnieniem 1,0MPa

Zarówno w przypadku materiałów kompozytowych opartych na osnowie stopu AW-2024 jak i AW-7075 badania wykazały w przybliżeniu liniowy charakter zależności zużycia przeciwpróbki od ilości cząstek umacniających w ścieranych kompozytach. Korzystniej w tym porównaniu klasyfikuje się proces ścierania przeciwpróbki z materiałami kompozytowymi wytworzonymi na bazie stopu AW-7075. Badania pokazują, że

głębokość rowka zużycia tarczy żeliwnej wzrasta ze wzrostem objętości cząstek  $Al_2O_3$  średnio o 18µm na każde kolejne 10% ich objętości. W czasie ścierania kompozytów na osnowie stopu AW-2024 głębokość rowka zużycia przyrasta już dwukrotnie szybciej, bo o ok. 35µm na każde dodatkowe 10%obj. cząstek w kompozycie.

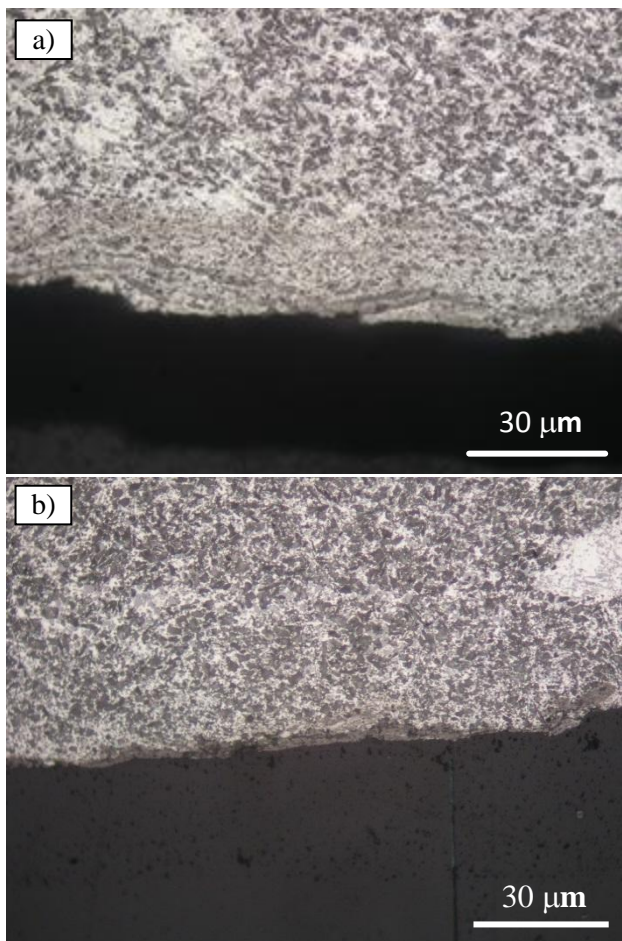
W celu ułatwienia interpretacji procesów zużycia występujących na powierzchni ścierania przeprowadzono również pomiary chropowatości powierzchni dna rowka zużycia przeciwpróbki. Pomiary oparto na określeniu parametru Ra. Wyniki przedstawiono graficznie na rys. 5 jako zależność chropowatości Ra od objętości cząstek umacniających.



Rys. 5. Chropowatość Ra dna rowka tarczy przeciwpróbki po ścieraniu materiałów kompozytowych pod ciśnieniem 1,0MPa

Chropowatość Ra powierzchni ścieranej przeciwpróbki przy współpracy z próbkami materiałów nie posiadających cząstek umacniających wynosi odpowiednio 2,20µm przy ścieraniu stopu AW-2024 i 2,82µm przy ścieraniu stopu AW-7075. Ścieranie kompozytów z 10%obj. cząstek  $Al_2O_3$  powoduje głębokie bruzdowanie powierzchni przeciwpróbki. Chropowatość Ra tarczy żeliwnej po ścieraniu tych materiałów jest największa i wynosi 21,03µm dla kompozytu AW-2024 + 10%obj.  $Al_2O_3$  i 11,8µm dla kompozytu AW-7075 + 10%obj.  $Al_2O_3$ . Wraz ze wzrostem zawartości objętościowej cząstek w kompozytach następuje wygładzanie powierzchni ścieranej na tarczy przeciwpróbki. W kompozytach z zawartością objętościową od 10%obj. do 30%obj. cząstek badania wykazały w przybliżeniu liniowy charakter tej zależności. Przy ścieraniu kompozytów z 40%obj. cząstek chropowatość Ra jest już tylko nieznacznie mniejsza od próbek z zawartością 30%obj.  $Al_2O_3$ .

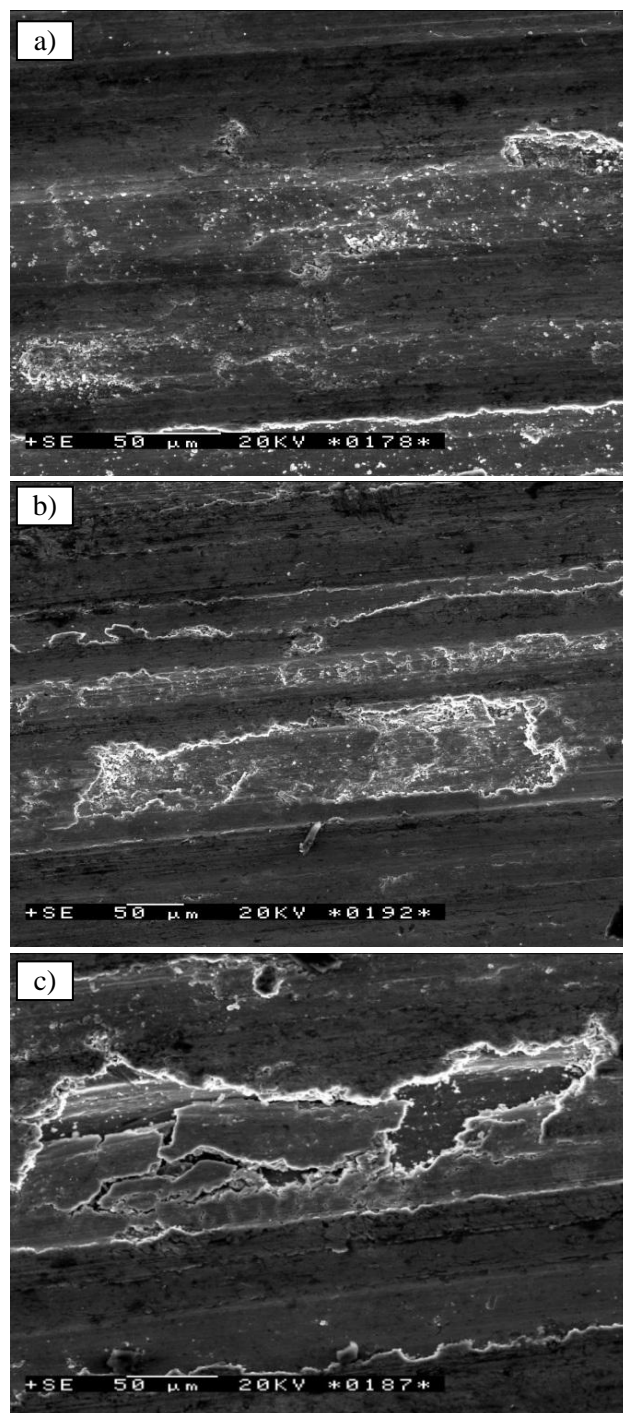
Obserwacje mikroskopowe warstwy przypowierzchniowej materiałów kompozytowych poddanych ścieraniu pod ciśnieniem 0,2 MPa nie wykazały wyraźnej zdeformowanej plastycznie warstwy MML – (*mechanically mixed layer*). Obserwuje się natomiast niewielkiej grubości warstewkę filmu separującego parę trącą zawierającego cząstki  $Al_2O_3$  i grafit pochodzący z przeciwpróbki. Na próbkach poddanych ścieraniu z większym ciśnieniem warstwa ta zaczyna wyraźnie się formować. Podczas ścierania pod ciśnieniem 1,2MPa ceramiczne cząstki umacniające ulegają intensywnemu rozdrabnianiu, a ich fragmenty mieszają się z osnową i produktami zużycia. Głębokość strefy MML silnie zależy od objętości umocnienia. W kompozytach AW-7075+20%obj. cząstek warstwa ta sięga w głąb materiału do ok. 30µm, natomiast w kompozycie z zawartością 40%obj. cząstek ceramicznych tlenku glinu nie więcej niż 7 µm – rys. 6.



Rys. 6. Mikrostruktura warstwy wierzchniej kompozytu po ścieraniu pod ciśnieniem 1,0MPa. Materiał kompozytowy: a) AW-7075+20%obj. $\text{Al}_2\text{O}_3$ , b) AW-7075+40%obj. $\text{Al}_2\text{O}_3$

Na przekroju próbek stwierdzono obecność przylegających warstw materiału o grubości  $3\div 10\mu\text{m}$  szczepionych adhezyjnie z podłożem. Niekiedy warstwy te separuje cienki film złożony z produktów zużycia takich jak: rozdrobnione cząstki tlenku glinu, grafit czy fragmenty przeciwpróbki. W czasie ścierania warstwy te ulegają stopniowej delaminacji. W kompozytach z osnową stopu AW-2024 podczas ścierania formuje się warstwa MML o grubości ok. 20% większej w porównaniu do materiałów kompozytowych wytworzonych na bazie stopu AW-7075.

Analiza mikroskopowa powierzchni tarcia wykazała znaczące różnice w sposobie zużycia próbek pod ciśnieniem 0,2MPa i pod większymi ciśnieniami 1,0MPa i 1,2MPa. Po ścieraniu pod obciążeniem 0,2MPa obserwacje potwierdzają na powierzchni ścieranej obecność szerokich lecz płytkich bruzd z niewielkimi kraterami w których stwierdza się obecność cząstek i produktów ścierania – rys. 7a.



Rys. 7. Mikrostruktura powierzchni tarcia materiału kompozytowego AW-2024 + 30%obj.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  poddanego ciśnieniu: a) 0,2MPa, b)1,0MPa, c)1,2 MPa

Zwiększenie ciśnienia pomiędzy próbką a przeciwpróbką do 1,0MPa powoduje głębsze i gęstsze bruzdowanie na powierzchni próbek. Zagłębienia w których osadzają się

produkty ścierania mają znacznie większe rozmiary a na ich obrzeżach widoczne są ślady postępującej delaminacji – rys.7b. Pod ciśnieniem 1,2MPa zluszczenie jest już tak silne, że dochodzi do odrywania się całych fragmentów materiału, których wielkość dochodzi do 100 $\mu$ m – rys 7c.

Przyczynia się to do zintensyfikowania procesów ścierania abrazyjnego. W miarę zwiększania w badanych materiałach zawartości objętościowej cząstek umacniających następuje znaczne ograniczenie procesu szepiania adhezyjnego. Twarde i kruche cząstki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> skutecznie wspomagają i intensyfikują zużycie, które przybiera charakter abrazyjny. Największe tempo zużycia obserwowane w kompozytach z zawartością 40%obj. cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i wynika to z wyrwania nie tylko pojedynczych cząstek z powierzchni ścierania lecz całych aglomeratów pozostawiających po sobie płytkie lecz bardzo rozległe kraterki.

## Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie jako osnowy materiałów AW-2024 i AW-7075 charakteryzujących się wysokimi własnościami mechanicznymi do wytwarzania materiałów kompozytowych na bazie procesów infiltracji ciśnieniowej porowatych preform z cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> przyniosło umiarkowane podwyższenie własności trybologicznych wytworzonych materiałów. Najkorzystniejszy efekt uzyskano dla kompozytów AW-7075 z zawartością 20 i 30%obj. cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, w których ponad dwukrotnie zostało ograniczone zużycie (przy ciśnieniu 1,0MPa) w porównaniu ze stopem nieumocnionym. Umocnienie z kolei cząstkami stopu AW-2024 nie przyniosło oczekiwanych efektów zwiększenia odporności na ścieranie. Przy zawartości 10-30% cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w kompozycie uzyskano zaledwie 10-20% podwyższenie odporności na ścieranie pod ciśnieniem 1,0MPa. Badania wykonywane pod ciśnieniem 0,2MPa wykazały nieznacznie lepsze efekty podwyższenia odporności. Otrzymane wyniki tłumaczyć można zastosowaniem w metodzie *squeeze casting* materiałów przeznaczonych stricte do procesów przeróbki plastycznej, co prowadzi do znacznego rozrostu ziarna i segregacji wtrąceń międzymetalicznych na ich granicy. W konsekwencji utrudniony zostaje proces infiltracji porowatych preform ceramicznych prowadzący do tworzenia porowatości szczątkowej, jak i słabej adhezji na granicy cząstki/osnowa. Ponadto wybrane materiały osnowy wykazują znaczną zdolność do kruchego pęknięcia, co prowadzi do zmniejszenia zdolności do adhezyjnego szepiania produktów zużycia na powierzchniach ścieranych materiałów. Zwiększa się tym samym ilość kruchych i twardych cząstek pomiędzy parą trącą zwiększając jednocześnie stopień zużycia abrazyjnego w stosunku do adhezyjnego, co intensyfikuje zużycie w szczególności materiałów z zawartością 40%obj. cząstek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Wartości współczynnika *f* dla materiałów kompozytowych na bazie stopów AW-2024 są średnio o 10-20% większe od kompozytów z osnową AW-7075. We wszystkich badanych materiałach proces zużycia ściernego intensyfikuje się wraz ze wzrostem ciśnienia w parze trącej i wzrostem udziału objętościowego cząstek umacniających. Proces zużycia żeliwnej tarczy przeciwpróbki ulega intensyfikacji wraz ze wzrostem zawartości objętościowej cząstek umacniających w osnowie kompozytu, przy czym jej zużycie w parze trącej z kompozytami na osnowie

stopu AW-2024 jest średnio o 30% większe aniżeli przy ścieraniu materiałów na bazie stopu AW-7075. Badania chropowatości Ra powierzchni ścierania przeciwpróbki potwierdzają głębsze bruzdowanie przy ścieraniu kompozytów wytworzonych na osnowie stopie AW-2024.

## Acknowledgements

The results presented in this paper have been obtained within the project “KomCerMet” (contract no. POIG.01.03.01-00-013/08 with the Polish Ministry of Science and Higher Education, Warsaw) in the framework of the Innovative Economy Operational Programme (POIG) 2007-2013.

## Literatura

- [1] Kurzawa, A., Grodzka, E., Janus A., Kaczmar J. W. (2012). Tribological properties of AC44200 based composites strength with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Archives of Foundry Engineering*. 12(spec. 2), 33-36.
- [2] Kaczmar, J. W., Janus, A., Kurzawa, A. (2002). Basic manufacturing technology for machine parts of aluminium-matrix composites zonally reinforced with ceramic particles. KBN Research Project No. 7 T07D 03018.
- [3] Narayan, M., Surappa M. K. & Pramila Bai B. N. (1995). Dry sliding wear of Al alloy 2024-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particle metal matrix composites. *Wear*. 181-183, 563-570.
- [4] Dasgupta, R. & Meenai, H. (2005). SiC particulate dispersed composites of an Al-Zn-Mg-Cu alloy: Property comparison with parent alloy. *Materials Characterization*. 54, 438– 445
- [5] Kurzawa, A. (2007). Wear properties of AW-AlCu4Mg2Mn – SiC composite materials. *Visnik Chmel'nickogo Nacional'nogo Universitetu*. 4(2), 44-47.
- [6] Lawrowski, Z. (1993). *Tribologia – tarcie, zużywanie i smarowanie*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [7] Kök, M. & Özdin, K. (2007). Wear resistance of aluminium alloy and its composites reinforced by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> particles. *Journal of Materials Processing Technology*. 183, 301-309.
- [8] Jayaganthan, R., Brokmeiera, H. G., Schwebke, B. & Panigrahi, S. K. (2010). Microstructure and texture evolution in cryorolled Al 7075 alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 496, 183–188.
- [9] Prasad, S. V. & Asthana, R. (2004). Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: tribological considerations. *Tribology Letters*. 17(3), 445-453.
- [10] Nakai, M. & Eto, T. (2000). New aspects of development of high strength aluminum alloys for aerospace applications. *Materials Science and Engineering*. A285, 62-68.
- [11] Sahin, Y. & Kiliçli, V. (2011). Abrasive wear behaviour of SiCp/Al alloy composite in comparison with ausferritic ductile iron. *Wear*. 271, 2766-2774.