

# Własności trybologiczne materiałów kompozytowych na osnowie stopu aluminium 7075 umacnianych włóknami $Al_2O_3$

K. Naplocha, J.W. Kaczmar

Politechnika Wrocławska, Instytut Technologii Maszyn I Automatykacji,  
ul. Łukasiewicza 5, 50-371 Wrocław  
e-mail:

Received 11.04.2011; Approved for print on: 26.04.2011

## Streszczenie

Badano odporność na zużycie ściernie materiałów kompozytowych na osnowie stopu aluminium 7075 umacnianych włóknami  $Al_2O_3$  Saffil. Pomiar przeprowadzono metodą pin-on-disc w warunkach tarcia suchego dociskając próbki do obracającej się żeliwnej tarczy. Określono wpływ ciśnienia wywieranego przez próbki oraz ukierunkowania włókien, w stosunku do powierzchni ściernianej na stopień zużycia. Materiały wytwarzano metodą prasowania w stanie ciekłym nasycając stopem aluminium 7075 kształtki ceramiczne z włókien Saffil o porowatości 80-90%. Odporność na zużycie materiałów kompozytowych, w stosunku do nieumocnionego stopu 7075, była nieznacznie gorsza przy mniejszym ciśnieniu 0,8MPa wywieranym przez próbkę z kompozytu na żeliwną tarczę. Pod większym ciśnieniem 1,2 MPa odporność stopu nieumocnionego była jeszcze lepsza, a ukierunkowanie włókien w materiałach kompozytowych nie miało większego znaczenia na zużycie. Zaobserwowano również znaczne zużycie przeciwpróbki, gdyż zużyty materiał kompozytowy wraz z rozdrobnionymi włóknami  $Al_2O_3$  pełnił rolę ścierniwa. Wzrost odporności na ścieranie materiałów kompozytowych na osnowie stopu 7075 uzyskano po zastosowaniu umocnienia zawierającego oprócz włókien  $Al_2O_3$  również włókna C.

**Słowa kluczowe:** kompozyt, stop 7075, włókna  $Al_2O_3$ , tarcie suche

## 1. Wprowadzenie

Umocnienie stopów aluminium cząstkami lub włóknami powoduje wzrost twardości, właściwości wytrzymałościowych w podwyższonych temperaturach oraz polepszenie odporności na zużycie ściernie. Uzyskane właściwości

mechaniczne i użytkowe zależą od głównie od zastosowanej metody wytwarzania, składu kompozytu, jakości połączenia na granicy międzyfazowej osnowa-umocnienie oraz innych czynników technologicznych i materiałowych. Zwykle następuje poprawa właściwości mechanicznych materiałów kompozytowych, natomiast udarność czy przewodność cieplna ulegają pogorszeniu. W związku z

tym bardzo dokładnie kontroluje się parametry procesu wytwarzania mając na celu uzyskanie dobrych połączeń na granicach międzyfazowych a niektórych przypadkach stosuje się umocnienie złożone z kilku faz [1, 2]. Umocnienie włóknami ceramicznymi stopu aluminium 7075 wykorzystywanego w przemyśle lotniczym, w produkcji silnie obciążonych elementów narażonych na korozję może być trudne do osiągnięcia [3-5]. Prasowanie w stanie ciekłym pozwala na zastosowanie wysokich ciśnień infiltracji, skrócenie kontaktu ciekłej osnowy z umocnieniem i ewentualne niedopuszczenie do reakcji wzajemnej reakcji. Ponadto stosowane w tym przypadku porowate kształtki mogą posiadać niemal dowolny skład i strukturę. Niestety bardzo utrudnione jest utrzymanie temperatur procesu i atmosfery ochronnej.

W prezentowanej pracy zastosowano kształtki z włókien  $Al_2O_3$ , które uzupełniono włóknami grafitowymi. Pozwoliło to osiągnąć korzystny efekt umocnienia i zwiększyć odporność na zużycie materiałów kompozytowych na osnowie stopu aluminium 7075.

## 2. Metodyka badań

Prostopadłościennie kształtki o wymiarach 40x60x10 mm wykonano z włókien ceramicznych Saffil (96-97%  $Al_2O_3$ , 3-4%  $SiO_2$ ). Włókna Saffil lasyfikowane są jako krótkie o długości 200 $\mu$ m i średnicy 3-6 $\mu$ m. Charakteryzują się wytrzymałością na rozciąganie równą 1600MPa oraz modułem Younga 300GPa. Włókna mieszano w wodnym roztworze spoiwa na bazie krzemionki następnie suszono i formowano. W celu wytworzenia wytrzymałych, odpornych na wysoką temperaturę połączeń między włóknami C wypalano je w atmosferze ochronnej argonu aby zapobiec ich utlenianiu, które jest bardzo intensywne w atmosferze powietrza powyżej temperatury 560°C. Kształtki wykazują porowatą strukturę z częściowym uporządkowaniem w płaszczyznach prostopadłych oraz przypadkowym ułożeniem w płaszczyznach zgodnych z kierunkiem sedimentacji włókien podczas odsączania spoiwa.

Materiały kompozytowe wytwarzano metodą prasowania w stanie ciekłym (direct squeeze casting) nasycając stopem 7075 (Tabela 1) o temperaturze 700°C podgrzane do 600-700°C kształtki o porowatości 80-90%. Ciśnienie prasowania 100MPa utrzymywano do momentu zakrzepnięcia stopu.

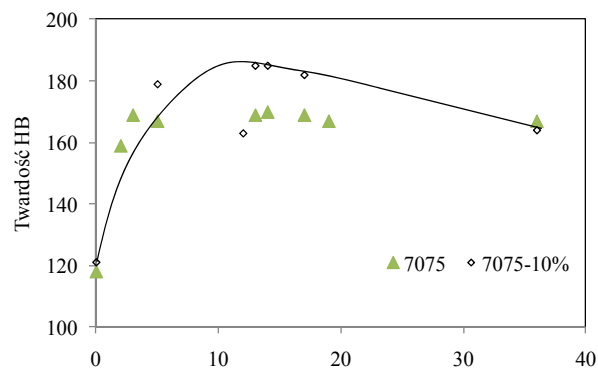
Z umocnionego strefowo odlewu wycinano cylindryczne próbki o średnicy 8 mm. Ciśnienie dociskające próbki do żeliwnej przeciwpróbki wynosiło 0,8 oraz 1,2 MPa. Badania odporności na ścieranie wykonano na stanowisku pin-on-disc ze stałą prędkością obrotową tarczy 1m/s. Ubytek masy próbki określano z dokładnością 1mg na drodze tarcia 1000m.

Tabela 1. Skład chemiczny stopu aluminium 7075

stop	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Al
<b>7075</b>	5,10- 6,10	2,10- 2,90	1,20- 2,00	<0,50	<0,40	reszta

## 3. Wyniki badań

Badania odporności na zużycie ściernie przeprowadzono na materiałach poddanych obróbce cieplnej T6. Standardową temperaturę przesycań (482°C) podwyższono do 510°C. Po starzeniu w 120°C obserwowano znaczący wzrost twardości zarówno stopu nieumocnionego jak i materiałów kompozytowych, rys.1. Powstawanie stref GP powinno następować poniżej 200°C, a ze względu na większą zawartość Zn w wyższych temperaturach może formować się faza  $Al_2Mg_3Zn_3$  ( $\tau$ ) [6-7]

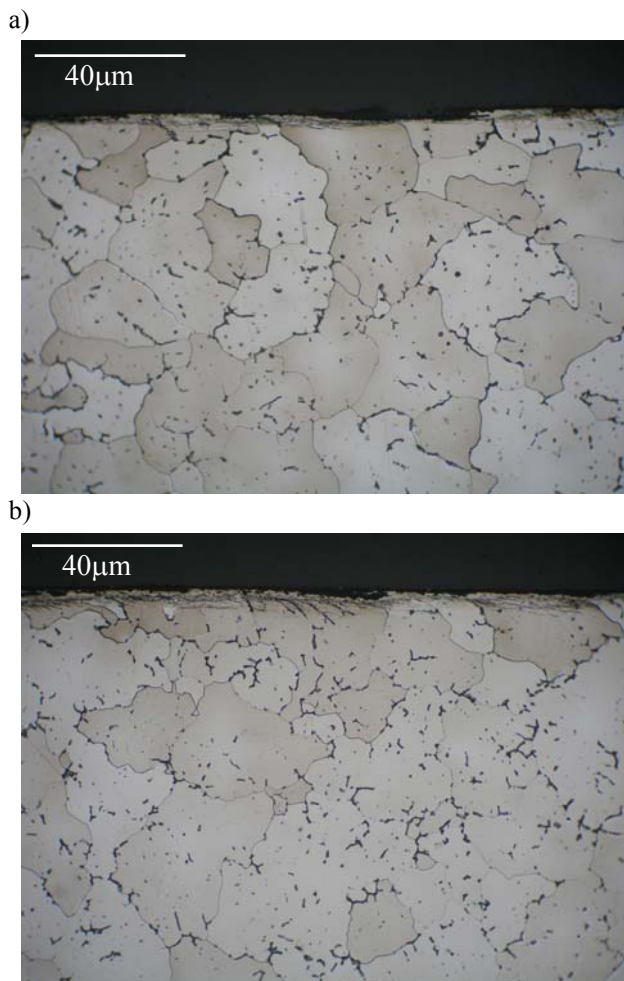


Rys. 1. Twardość stopu nieumocnionego 7075 oraz materiałów kompozytowych 7075-10 %  $Al_2O_3$  w funkcji czasu starzenia

Gdy stop jest umocniony włóknami i materiały kompozytowe są poddane obróbce cieplnej przemiana GP2->  $Zn_2Mg(\eta')$  lub  $(Mg,Cu)Zn_2$  [3] może być przesunięta i występować w wyższych temperaturach [8]. Podobny efekt może wywołać również prasowanie w stanie ciekłym z ciśnieniem 75MPa [9]. Jednakże, wpływ zawartości umocnienia ceramicznego na położenie piku twardości jest niejednoznaczny. W badaniach materiałów kompozytowych 7075/TiC [10] nie zaobserwowano żadnego oddziaływania umocnienia na zmianę położenia piku twardości, natomiast przy materiałach 7075/SiC [8] maksymalne twardości występują w szerokim zakresie czasu starzenia.

W celu zdefiniowania mechanizmu zużycia, pod różnymi ciśnieniami, przeprowadzono badania mikroskopowe powierzchni tarcia oraz warstw przypowierzchniowych. Ziarna powierzchniowe stopu nieumocnionego ścierane pod mniejszym naciskiem 0,8MPa były nieznacznie odkształcone (rys. 2a). Ze wzrostem nacisku do 1,2MPa pla-

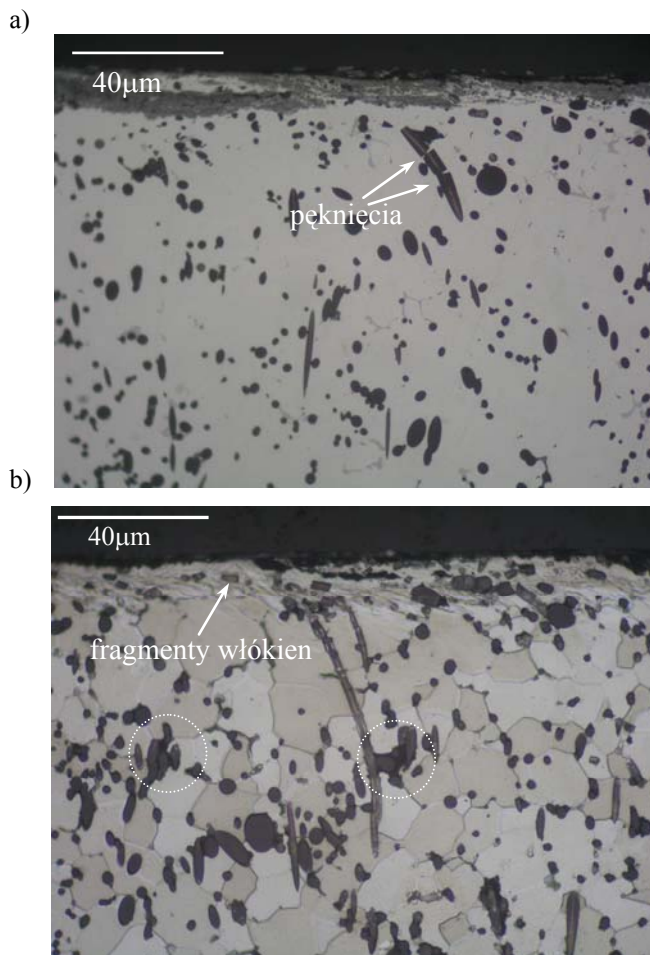
styczna deformacja była wyraźna (rys. 2b), chociaż można stwierdzić, że twarda i wytrzymała osnowa dobrze przenosi obciążenie i jest powoli ścierana przez żeliwną przeciwpróbkę.



Rys. 2. Warstwa przypowierzchniowa stopu nieumocnionego 7075-T6 ścieranego z ciśnieniem 0,8MPa (a) oraz 1,2 MPa (b)

Warstwa wierzchnia materiałów kompozytowych umocnionych włóknami, szczególnie ścierana pod większym ciśnieniem jest wyraźnie odkształcana. Na osnowę z włóknami działają znaczne naprężenia co prowadzi do pęknięcia włókien i rozdrabniania na małe segmenty (rys.3a). Można stwierdzić, że warstwa wierzchnia nie jest umacniana całymi włóknami, a jedynie zawiera kawałki włókien i inne wtarte produkty zużycia. Ponadto, produkty zużycia zawierające znaczne ilości twardych cząstek z włókien  $Al_2O_3$  działając jak luźne ścierniwo przyczyniają się do wzrostu tempa zużycia materiałów kompozytowych. Ważną rolę odgrywają również różnego rodzaju wady strukturalne. Na rysunku 3b zakreślono często obserwowane w materiałach kompozytowych nie nasycone sploty włókien.

Gdy przeciwpróbką ściera materiał i odsłania takie wady wciskane są w nie produkty zużycia, które następnie rozprężają i powiększają istniejące porowatości.

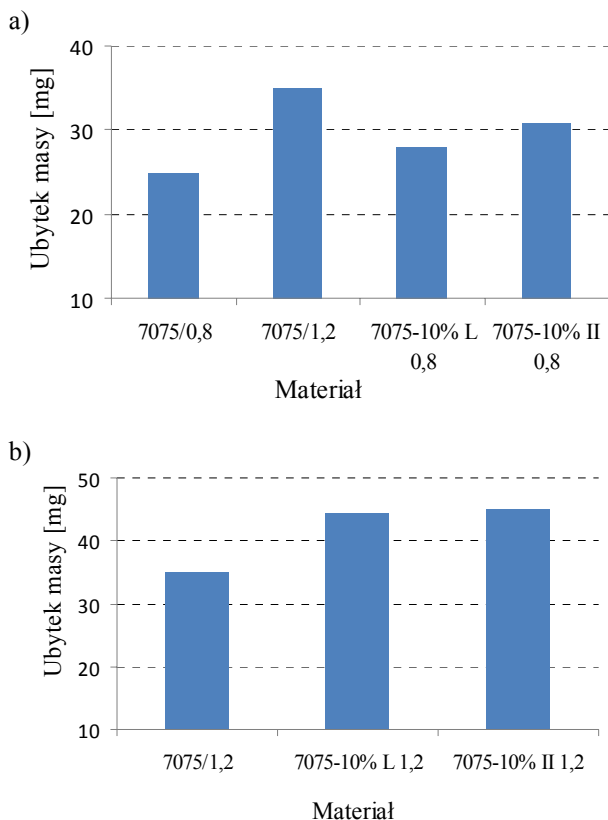


Rys. 3. Powierzchnia tarcia materiału kompozytowego 7075-T6+10%  $Al_2O_3$  ścieranego z ciśnieniem 1,2 MPa

Pomiary zużycia badanych materiałów wykonano dla próbek nieumocnionych wykonanych ze stopu 7075 oraz materiałów kompozytowych z przewagą włókien ułożonych prostopadle (L) oraz równoległe (II) do powierzchni tarcia. Przy ciśnieniu 0,8MPa stop nieumocniony zużywa się w mniejszym stopniu aniżeli materiały kompozytowe (rys.4a). Najmniejszą odporność na zużycie ścierne wykazywały próbki z przewagą włókien ułożonych równoległe do powierzchni tarcia (7075-10% II). W stosunku do osnowy zużycie to było o około 20% większe.

Ze wzrostem ciśnienia do 1,2MPa zużycie stopu 7075 zwiększa się z 25mg na 35mg (rys.4a). Podobnie, wzrost zużycia niezależnie od orientacji włókien, wykazywały materiały kompozytowe. Niestety tu również nieumocniona

osnowa charakteryzuje się o około 25% lepszą odpornością na zużycie ściernie.

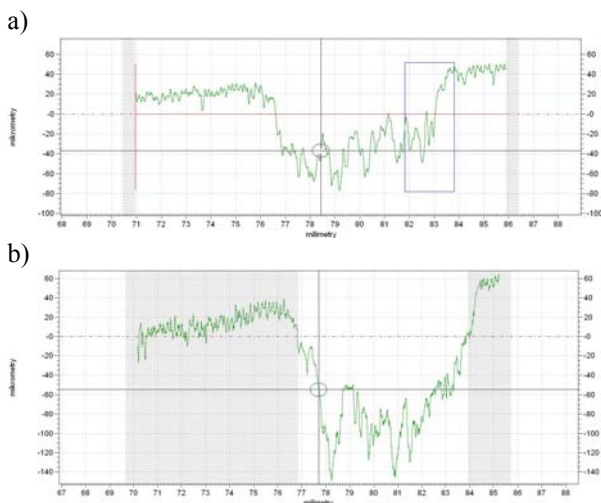


Rys. 4. Wpływ ciśnienia oraz orientacji włókien na zużycie niemocnionego stopu 7075 oraz materiałów kompozytowych 7075-10%  $Al_2O_3$ . Próbki z przewagą włókien ułożonych prostopadłe (L) oraz równoległe (II) do powierzchni ścierniej

Dodatkowym czynnikiem podważającym sens umacniania stopu 7075 jest intensywne ścieranie przeciwpróbki. Ze wzrostem udziału włókien obserwowano coraz głębsze żłobienie żeliwnej tarczy. Przy współpracy przeciwpróbki ze stopem niemocnionym i kompozytem 7075-10%  $Al_2O_3$  głębokość rowka była podobna i jeszcze stosunkowo niewielka (około  $20\mu m$ ). Gwałtowny wzrost zużycia i pogłębianie rowka obserwowano przy 20% zawartości włókien, (rys.5b). Przypuszczalnie zużywany materiał kompozytowy dostarczał duże ilości rozkruszonych włókien pomiędzy parę trącą.

Pomiary współczynników tarcia pokazały ich niewielkie zróżnicowanie, (tabela 2). Najmniejszą wartość 0,375 uzyskano dla materiału kompozytowego 7075-10%  $Al_2O_3$  z równoległym ułożeniem włókien. Biorąc pod uwagę obserwacje mikroskopowe powierzchni tarcia i powstawanie warstwy z rozkruszonym umocnieniem oraz wtartymi pro-

duktami zużycia można sądzić, że budowa materiału wyjściowego nie odgrywa istotnego znaczenia.



Rys. 5. Profilogram powierzchni ściernia przeciwpróbki po próbie tarcia w parze z materiałem kompozytowym 7075-15% (a) oraz 7075-20% (b)

Tabela 2. Współczynniki tarcia próbek ze stopu niemocnionego 7075 oraz materiałów kompozytowych 7075-10%  $Al_2O_3$  (T6) z prostopadłym (L) oraz równoległym ułożeniem włókien (II).

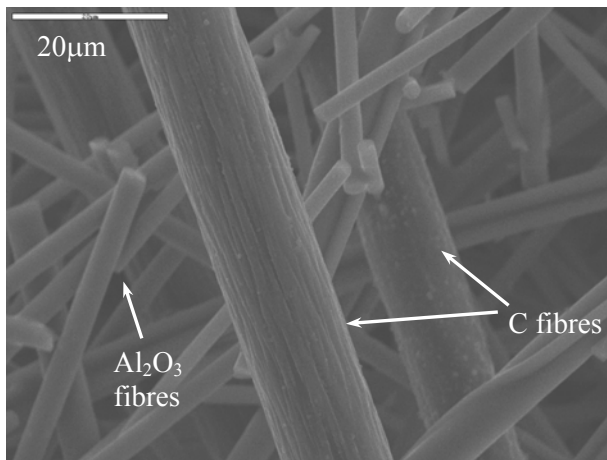
Materiał	Współczynnik tarcia f
7075	0,387
7075-10% L	0,392
7075-10% II	0,375

Poprawę odporności na zużycie ściernie uzyskano poprzez zastosowanie w kształtce ceramicznej włókien  $Al_2O_3$  oraz włókien grafitowych. Wykonano hybrydowe kształtki zawierające 3-5% włókien C (rys.6). W ten sposób wytworzono stały środek smarujący i skutecznie rozdzielono parę trącą. Podobnie jak wcześniej podczas tarcia pod dużym ciśnieniem włókna są rozkruszane już pod powierzchnią tarcia, (rys.7). Pozwala to jednak zmniejszyć zużycie materiału kompozytowego o około 20-30% w stosunku do stopu 7075.

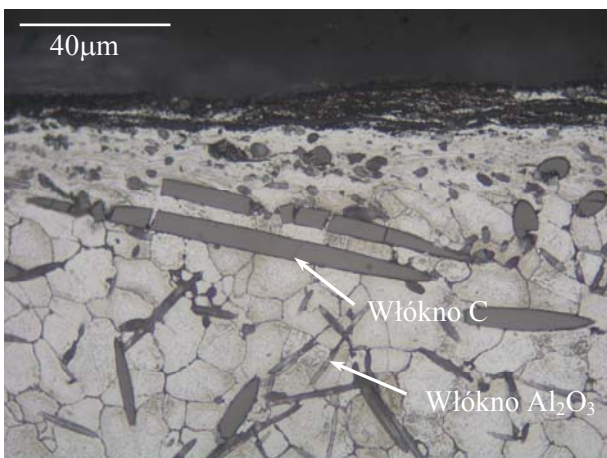
## Wnioski

Stosując metodę pin-on-disk próbki z materiałów kompozytowych na osnowie stopu 7075 zawierające 10-20% włókien  $Al_2O_3$  Saffil dociskano do żeliwnej przeciwpróbki z siłą odpowiadającej ciśnieniom 0,8MPa oraz 1,2

MPa. Próbkę nieumocnioną oraz materiał kompozytowy poddano obróbce T6 co przyniosło znaczący wzrost twardości do odpowiednio 170HB oraz 190HB. Umocnienie stopu aluminium 7075 włóknami ceramicznymi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Saffil nie przyniosło poprawy odporności na zużycie ścierne. Powierzchnia tarcia nieumocnionego stopu aluminium nie ulegała większym odkształceniom i była łagodnie ścierała pod zastosowanymi ciśnieniami w parze trącej. W materiałach kompozytowych wraz z postępowaniem procesu ścierania i odsłaniania kolejnych warstw materiału powierzchnia tarcia nie zawierała całych włókien lecz pod znacznym obciążeniem włókna pękały pod warstwą wierzchnią, a jedynie ich fragmenty były osadzone na powierzchni tarcia. Zatem włókna nie wiązały osnowy i nie przeciwdziałały w istotny sposób ścieraniu osnowy. Dopiero zastosowanie niewielkiej ilości (3-5%) włókien grafitowych zwiększa odporność na zużycie ścierne.



Rys. 6. Struktura kształtki wykonanej z włókien Saffil  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oraz włókien grafitowych



Rys. 7. Powierzchnia tarcia materiału kompozytowego 7075+10%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Saffil+5%C z równoległym ułożeniem włókien.

*Praca została wykonana w ramach projektu badawczego „KomCerMet” (POIG.01.03.01-00-013/08) finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego*

#### Literatura

1. M. Łągiewka, Z. Konopka, A. Zyska, M. Nadolski, Examining of abrasion resistance of hybrid composites reinforced with SiC and  $\text{C}_{gr}$  particles, Archives of Foundry Engineering, Volume 8, Special Issue 3/2008 59 – 62
2. A. Dolata-Grosz, M. Dyzia, J. Śleżiona: Structure and technological properties of AlSi12 –( $\text{SiC}_p + \text{C}_{gp}$ ) composites, Archives of Foundry Engineering, Volume 8 Issue 1/2008, 43 – 46
3. E. Cerri, E. Evangelista, A. Forcellese, H. J. McQueen: Comparative hot workability of 7012 and 7075 alloys after different pretreatments Original Research Article, Materials Science and Engineering A, Volume 197, Issue 2, 1 July 1995, Pages 181-198
4. F. Rikhtegar, M. Ketabchi: Investigation of mechanical properties of 7075 Al alloy formed by forward thixoextrusion process, Materials & Design, Volume 31, Issue 8, September 2010, Pages 3943-3948
5. Mun-Yong Lee, Sung-Man Sohn, Chang-Yong Kang, Dong-Woo Suh, Sang-Yong Lee: Effects of pretreatment conditions on warm hydroformability of 7075 aluminum tubes Original Research Article Journal of Materials Processing Technology, Volumes 155-156, 30 November 2004, Pages 1337-1343
6. A. Zyska, Z. Konopka, M. Łągiewka, M. Nadolski: Heat treatment of squeezed AlZnMg alloy, Archives of Foundry Engineering, Volume 8, 3/2008, 123 – 126
7. H.V. Atkinson, K. Burke, G. Vaneetveld: Recrystallisation in the semi-solid state in 7075 aluminium alloy, Original Research Article, Materials Science and Engineering: A, Volume 490, Issues 1-2, 25 August 2008, Pages 266-276
8. Chai-Yuan Sheu, Su-Jien Lin: Ageing behaviour of SiCp-reinforced AA 7075 composites, Journal of Materials Science 32 (1997) 1741-1747
9. S.W. Kim, D.Y. Kim, W.G. Kim, K.D. Woo: The study on characteristics of heat treatment of the direct squeeze cast 7075 wrought Al alloy, Materials Science and Engineering A304–306 (2001) 721–726
10. A.Sahin: Effect of reinforcements on precipitation behaviour in Al 7075/TiC composite, Scripta Materialia, Vol 37, (1997) 1117-1121

## Tribological properties of Al 7075 alloy based composites strengthened with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fibres

### Abstract

Wear resistance of 7075 aluminium alloy based composite materials reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Saffil fibres was investigated. The measurements of wear were performed applying the pin-on-disc method at dry friction conditions with the gray iron counterpart. The effects of pressure of composite samples on the counterpart made of gray iron and the orientation of fibers in relation to the friction surface on wear rate were determined. The materials were produced by squeeze casting method where 80-90% porous ceramic preform were infiltrated.

After T6 heat treatment hardness increased about 50-60% both for unreinforced alloy and composites containing strengthening Saffil fibres. Wear resistance of composite materials in relation to the unreinforced 7075 alloy was slightly worse at lower pressure of 0.8 MPa. Under higher pressure of 1.2 MPa wear resistance of unreinforced 7075 alloy was even better whereas no effect of orientation of fibers on wear in composite materials was observed. Additionally, significant wear of counterface in the presence of debris with fragmented Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fibres as abrasives was observed. Wear resistance improvement of composite materials was obtained when with alumina Saffil fibres Carbon C fibres in the preforms were applied.

**Keywords:** composite, 7075 alloy, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fibres, dry sliding