

Marian Mitko<sup>1</sup>, Szczepan Tomczyński<sup>2</sup>

Politechnika Częstochowska, Katedra Odlewnictwa, al. Armii Krajowej 19, 42-200 Częstochowa

## STRUKTURA KOMPOZYTÓW AK7-SiC ODLEWANYCH GRAWITACYJNIE

Przedstawiono wyniki badań struktury kompozytu metalowego typu stop aluminium zbrojony cząstkami SiC, otrzymany metodą mieszania mechanicznego i odlewania do kokil. Badania obejmują mikroskopię optyczną oraz badania rentgenowskie (dyfrakcja, mikroanaliza, struktura przelomów) i uwzględniają szczególnie strefę połączenia osnowy metalowej z cząstkami SiC. Stwierdzono bardzo silne połączenie pomiędzy cząstkami a osnową oraz wyższe stężenie Mg na granicy osnowa-cząstka SiC. Grubość strefy o wyższej zawartości Mg dochodzi do kilku mikrometrów.

### STRUCTURE OF GRAVITY CAST AK7-SiC COMPOSITES

The work presents results of investigation concerning the structure of aluminium-silicon cast alloy matrix composite reinforced with SiC particles of dimensions 63÷100 µm. The composite has been prepared by mechanical mixing of the liquid alloy and the SiC particles. The protective argon atmosphere has been maintained over the melt surface, and during the mixing process the AlMg30 master alloy (1 wt. %) has been added on the melt surface. The mixture has been gravity cast into metal molds. Optical microscopy and fracture surface examination by means of scanning microscopy have confirmed the uniform distribution of the SiC particles in the composite matrix and revealed that the metal matrix closely adheres the particles (Fig. 1a). Examination of fractures reveals the existence of strong bonding between the particles and the matrix. Cracks which frequently go across the SiC particles, and not along the matrix-SiC interface, are clear evidence of this (Fig. 1b). Diffractometry has shown that the  $\alpha$  (Al) and  $\beta$  (Si) phases as well as silicon carbide (SiC) are present in the composite, i.e. the same phases as in the basic components: AK7 alloy and added particles (Fig. 2). Surface X-ray microanalysis reveals distinct boundaries between SiC particles and the matrix. The Al-rich  $\alpha$  phase grains are clearly visible, as well as ( $\alpha + \beta$ ) eutectic where the Si content is higher (Fig. 3). There can be also distinguished microregions enriched with Mn, Fe and Mg, characteristic for the used cast alloy (Fig. 3 and 4). Linear microanalysis performed across the SiC particle-metal matrix interface reveals the increased Mg content in the matrix layer several micrometers wide and adherent to the SiC particles (Fig. 4). The increased concentration of Mg in the bonding zone confirm the advantageous influence of applying magnesium master alloy on the melt surface during mixing the components. This allows for good wettability of particles by the liquid metal matrix and enables easy distribution of SiC particles in the liquid alloy while mixing.

### WPROWADZENIE

Kompozyty na bazie stopów Al z wprowadzonymi cząstkami SiC są szczególnie przydatne do pracy w warunkach tarcia suchego, gdy wymagana jest wysoka odporność na zużycie ścierne oraz wysoka wartość kinematycznego współczynnika tarcia suchego. Należy jednak pamiętać, że każdy kompozyt stanowi indywidualny materiał, dla którego należy określić wszystkie parametry procesu wytwarzania, aby móc kontrolować wiele czynników kształtujących strukturę i własności uzyskanego materiału. Powyższe właściwości w ogromnej mierze zależą od ukształtowania struktury kompozytu, ilości i kształtu cząstek zbrojących oraz charakteru i stabilności połączenia powierzchni cząstek ze stopem osnowy.

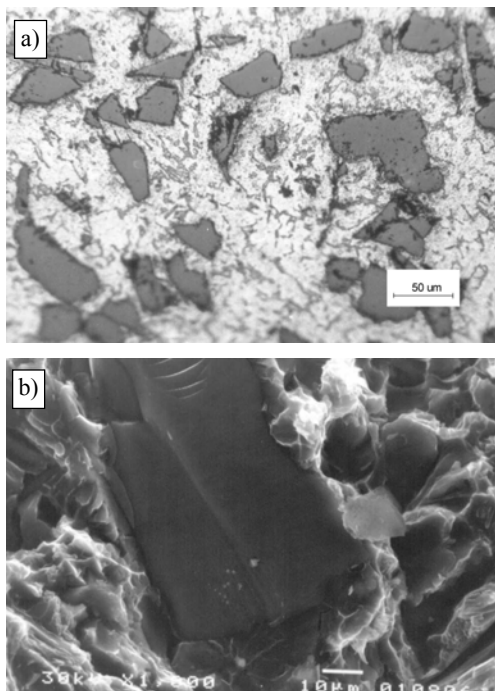
### MATERIAŁ DO BADAŃ

Materiałem do badań był kompozyt metalowy typu stop odlewniczy AK7 zbrojony cząstkami SiC w ilości 10% obj. Cząstki SiC, o frakcji 63÷100 µm, wygrzewano w temperaturze 750°C przez 60 minut, a następnie umieszczano w tyglu pieca mieszalnika [1]. Stop AK7 (7,2% Si, 0,38% Mg, 0,42% Mn, reszta Al) topiono i przegrzewano do temperatury 750°C pod żużlem ochronnym w tyglowym piecu indukcyjnym. Przegrzany metal w porcjach około 1,5 kg przelewano do mieszalnika i mieszano mechanicznie przez 1 minutę z prędkością obrotową mieszadła do  $\omega = 0,5 \text{ s}^{-1}$ , a na powierzchnię kąpieli dodawano zaprawę magnezową AlMg30 w ilości 1% mas. Temperaturę w tyglu mieszalnika utrzymywano na poziomie 700÷710°C. Nad lustrem utrzymywano atmosferę ochronną z argonu. Z tak wytworzonych kompozytów odlewano do kokili metalowej próbki prętowe  $\varnothing 20 \times 200 \text{ mm}$ , które następnie były przedmiotem badań.

<sup>1</sup> dr inż., <sup>2</sup> dr inż.

## METODYKA I WYNIKI BADAŃ

Badania struktury obejmowały obserwację zglądów na mikroskopie optycznym oraz badania rentgenowskie, takie jak dyfrakcja, mikroanaliza i badanie przelomów. Badania miały na celu identyfikację faz, rozkład pierwiastków w kompozycie oraz ocenę połączenia osnowy metalowej z cząstkami zbrojącymi. Badanie przelomów kompozytów po próbie rozciągania przeprowadzono przy zastosowaniu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM+EDX) typu JOEL JSM-5400, analizując obrazy elektronowe przy różnych powiększeniach.



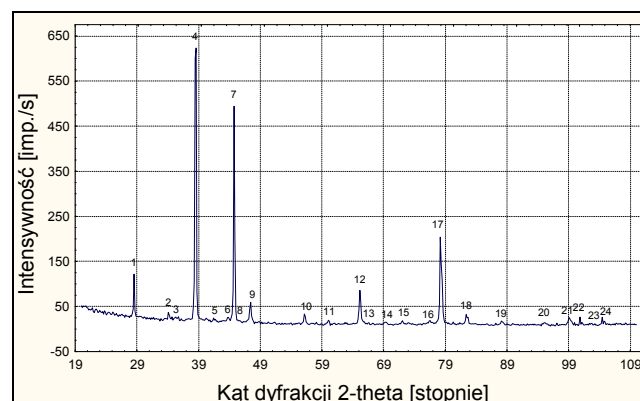
Rys. 1. a) Struktura kompozytu stop AK7-SiC (10% obj.), zgląd metalograficzny trawiony 3% HF, b) mikrografia przelomu, SEM

Fig. 1. a) Structure of AK7-SiC (10%) composite, etched with 3% HF, b) micrograph of the fracture, SEM

Obserwacje makroskopowe i mikroskopowe zglądów wykazały, że wprowadzone cząstki SiC rozmieszczone są równomiernie w osnowie stopu, a osnowa metalowa ściśle przylega do cząstek. Granice podziału pomiędzy cząstkami zbrojącymi a osnową metalową są wyraźne, ostre i nie obserwuje się tam gromadzenia zanieczyszczeń (rys. 1a). Struktury przelomów wskazują na tak silne połączenie cząstek z osnową, że pęknięcia występują bardzo często poprzez cząstki węgla SiC, a nie po granicach osnowa-SiC. Przelomy osnowy są mieszane, łupliwe z elementami ciągliwości. Przykład przelomu poprzez cząstkę SiC dobrze połączoną z osnową AK7, która wykazuje przelom mieszany z przewagą łupliwego, przedstawiono na rysunku 1b.

Analizę fazową kompozytu przeprowadzono na dyfraktometrze Seifert XRD 3003. Użyto lampy rentgenowskiej Cu o długości promieniowania  $\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$

oraz filtr Ni. Zakres kątowy pomiaru  $20 \div 110^\circ$ , krok kątowy  $0,15$  stopnia. Czas zliczania impulsów dla każdego kroku: 10 s. Na podstawie porównania kątów dyfrakcji  $\theta$  i intensywności pików uzyskanych na rentgenogramach z danymi ASTM dokonano identyfikacji poszczególnych faz. O obecności fazy  $\alpha$  (roztworu stałego Si w Al) o sieci krystalograficznej aluminium świadczą głównie piki 7 i 17 (rys. 2), fazy  $\beta$  (roztworu stałego Al w Si) o sieci krystalograficznej krzemu - piki 1 i 9, a o węglu SiC charakterystyczne piki, jak np.: 2, 3, 5, 6, 10, 11, 12, 15, 22, 23, 24. Intensywne piki 4 i 12 mogą być wynikiem nałożenia się refleksów od Al i SiC. Wykonane pomiary oraz ich analiza pozwala na stwierdzenie występowania w badanym kompozycie następujących składników strukturalnych: fazy  $\alpha$  (Al), fazy  $\beta$  (Si) oraz węgla krzemu SiC.



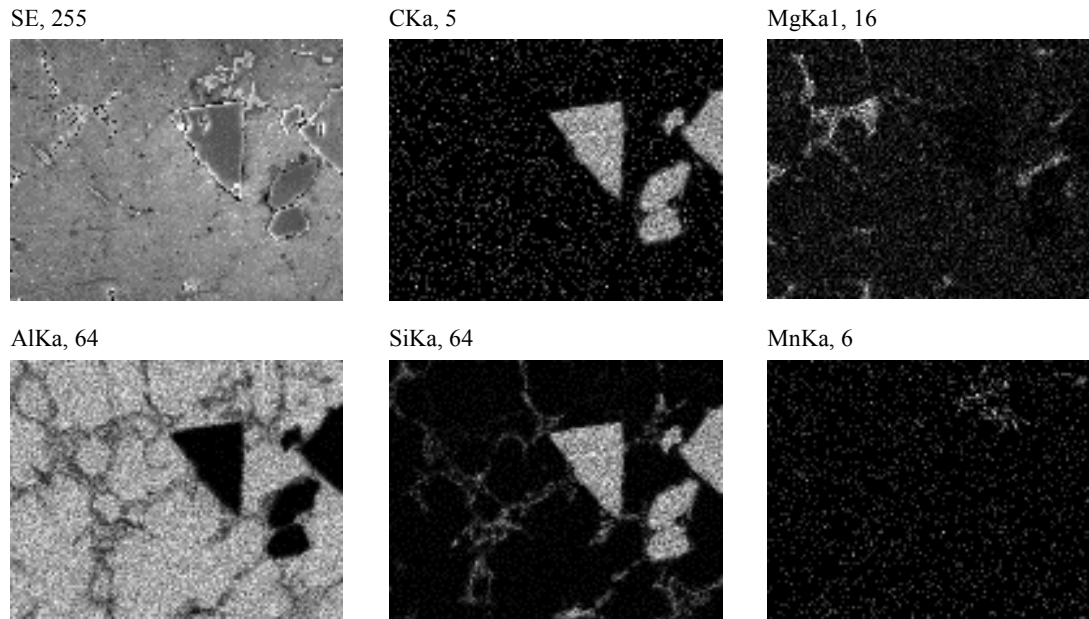
Rys. 2. Dyfraktogram kompozytu AK7 z cząstkami SiC

Fig. 2. Diffraction pattern for the AK7-SiC particles composite

Mikroanalizę rentgenowską EDX wykonano również na mikroskopie skaningowym JOEL JSM-5400. Analizy przeprowadzono na trawionych zglądach metalograficznych badanych kompozytów, wykonując rozkłady liniowe i powierzchniowe rentgenowskiego promieniowania charakterystycznego pierwiastków. Zastosowano wiązkę elektronów o energii 20 keV oraz program analizujący Link ISIS firmy Oxford.

Mikroanaliza rentgenowska (rozkład powierzchniowy i liniowy pierwiastków) wybranych obszarów kompozytów AK7-SiC wykazała, że granica pomiędzy cząstkami SiC jest ostra, a w jej obszarze nie ma istotnych różnic w stężeniu pierwiastków odpowiadających danej fazie. Widać wyraźnie ziarna fazy  $\alpha$  bogatej w Al oraz eutektyki ( $\alpha+\beta$ ) bogatszej w Si z fazy  $\beta$  (rys. 3). W osnowie kompozytu występują także mikroobszary bogatsze w Mn, Fe i Mg, charakterystyczne dla zastosowanego stopu odlewniczego (rys. 3 i 4). Mikroanaliza liniowa przeprowadzona na granicy cząstka SiC-osnowa metalowa wskazuje, że w warstwie o grubości kilku mikrometrów przylegającej do cząstek SiC wzrasta stężenie Mg (rys. 4). Może to świadczyć

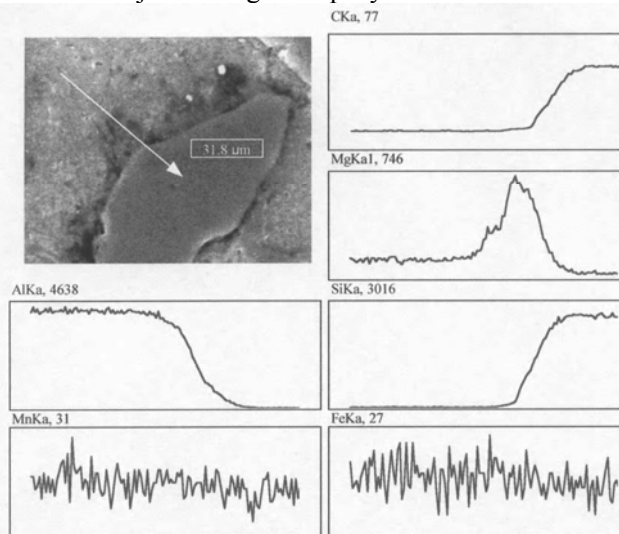
o spełnieniu roli zwilzacza cząstek SiC przez Mg przy i w całym kompozycie nie stwierdzono innych składni-



Rys. 3. Rozkład powierzchniowy pierwiastków w kompozycie AK7-SiC

Fig. 3. Surface distribution of elements in AK7-SiC composite

zastosowanej technologii kompozytów.



Rys. 4. Rozkład liniowy pierwiastków na granicy osnowa-cząstka w kompozycie AK7-SiC

Fig. 4. Linear distribution of elements across the matrix-particle interface in AK7-SiC composite

## PODSUMOWANIE

Badane kompozyty typu stop AK7-cząstki SiC charakteryzują się równomiernym rozłożeniem cząstek SiC w osnowie kompozytu. Połączenie pomiędzy komponentami jest silne (rys. 1b), a w strefie połączenia, jak

ków strukturalnych niż występujące w stopie AK7 oraz SiC. Magnez jest rozpuszczony w całej osnowie kompozytu, jednak obszary o bogatszym w niego wydzieleniach występują częściej na granicach fazy  $\alpha$  (rys. 3). Wyższe stężenie Mg występuje także na granicy osnowa-cząstka SiC, a grubość tej warstwy dochodzi do kilku mikrometrów (rys. 4). Wzrost stężenia Mg w strefie połączenia może świadczyć o korzystnym wpływie dodawania zaprawy magnezowej na lustro kąpeli podczas mieszania komponentów. Zapewnia to dobrą zwilżalność cząstek przez ciekłą osnowę metalową oraz umożliwia rozproszczenie cząstek SiC w ciekłym stopie podczas mieszania.

*Praca finansowana z grantu KBN nr 7T08B 039 15.*

## LITERATURA

- [1] Mitko M., Tomczyński S., Zastosowanie specjalnych metod odlewania do wytwarzania kompozytów metalowych, Krzepnięcie Metali i Stopów, PAN - Oddz. Katowice 1999, 40, 165-176.

Recenzent  
Edward Guzik