

Jacek Jackowski<sup>1</sup>, Michał Szweyca<sup>2</sup>, Tomasz Tomaszewski<sup>3</sup>  
 Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, ul. Piotrowo 3, 60-138 Poznań

## WPŁYW WŁÓKNA WĘGLOWEGO NA ZARODKOWANIE FAZ STOPU AlSi11 JAKO OSNOWY KOMPOZYTU

Na podstawie analizy właściwości powierzchniowych układu: podłoże węglowe-zarodek krystalizacji-ciekły stop AlSi11 stwierdzono możliwość zarodkowania krzemu na podłożu węglowym oraz roztworu  $\alpha$  na podłożu krzemowym. Problematiczna jest możliwość zarodkowania fazy  $\alpha$  na podłożu węglowym oraz niemożliwa krzemu na podłożu roztworu  $\alpha$ . Stwierdzenia te potwierdzono doświadczalnie dla odlewów z kompozytu włókno węglowe-stop AlSi11. Obserwacje metalograficzne wykazały istnienie w nich pierwotnych wydzieleni fazy krzemowej, zlokalizowanych wokół lub przylegających do włókien zbrojenia, natomiast nie stwierdzono podobnie zlokalizowanych pierwotnych dendrytów fazy  $\alpha$ .

Słowa kluczowe: zarodkowanie, kompozyty

### THE EFFECT OF CARBON FIBRE ON NUCLEATION OF THE PHASES OF AlSi11-ALLOY AS A COMPOSITE MATRIX

Analysis of surface properties of the system composed of carbon bed-crystallization nucleus-liquid AlSi11 alloy has shown that silicon may nucleate at the carbon bed and the  $\alpha$ -solution on the silicon bed. On the other hand, nucleation of the  $\alpha$ -phase at the carbon bed seems be doubtful, while silicon on the  $\alpha$ -solution bed is not possible. These findings were experimentally confirmed for the castings made of the carbon fibre-AlSi11 alloy composite. Metallographic observations have shown occurrence of preliminary precipitations of silicon phase therein, located about or adjacent to the reinforcement fibres, while no primary dendrites of the  $\alpha$ -phase were found in these places.

Key words: nucleation, composites

## WSTĘP

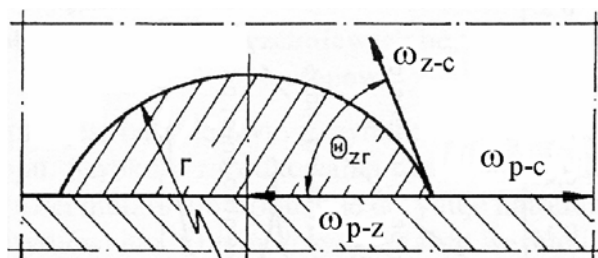
Obecność w ciekłej osnowie kompozytu fazy stałej w postaci zbrojenia wymaga określenia jego wpływu na przebieg krystalizacji osnowy. Autorzy wykazali wcześniej [2] na podstawie analizy warunków zarodkowania faz osnowy, potwierdzonych doświadczalnie, że w kompozycie złożonym z włókien glinokrzemianowych i stopu AlSi11 na włóknach zbrojenia zarodkują i wzrastają kryształy krzemu. Postanowiono zbadać warunki zarodkowania faz także w stopie AlSi11, ale stanowiącym osnowę kompozytu zbrojonego włóknem węglowym.

## ROZWAŻANIA TEORETYCZNE

O warunkach heterogenicznego zarodkowania fazy można wnioskować z wartości stosunku pracy tworzenia zarodka heterogenicznego do pracy tworzenia zarodka homogenicznego o takiej samej wielkości promienia.

Zgodnie z rysunkiem 1 oraz ogólnie przyjętą zależnością [7], określającą wartość krytyczną promienia zarodka homogenicznego, można napisać, że

$$\frac{L_{Kr(het)}}{L_{Kr(hom)}} = \frac{(2 + \cos\theta_{zr})(1 - \cos\theta_{zr})^2}{4} \quad (1)$$

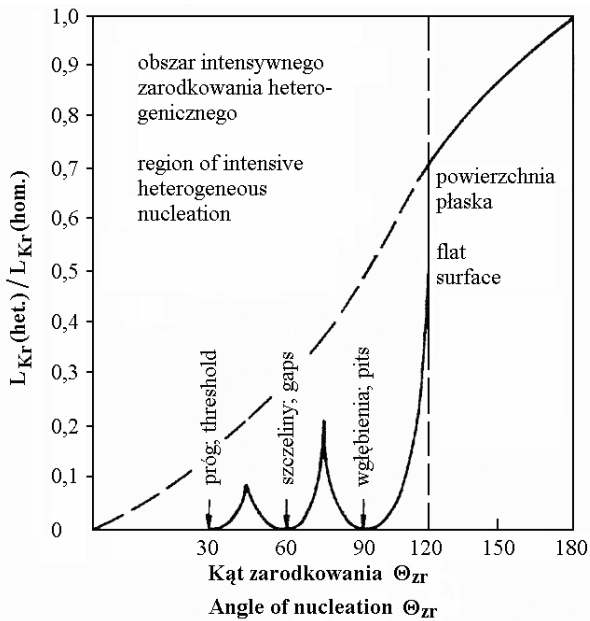


Rys. 1. Schemat zarodkowania heterogenicznego [7]

Fig. 1. Schematic representation of heterogeneous nucleation [7]

Badania holenderskie, cytowane przez polskich autorów [6, 7], wykazały, że ze względu na skomplikowany kształt powierzchni rozdziału fazy stałej, na której tworzy się zarodek, intensywne zarodkowanie może zachodzić wówczas, gdy kąt zarodkowania  $\theta_{zr}$  jest mniejszy od  $120^\circ$  (rys. 2).

<sup>1</sup> dr inż., <sup>2</sup> prof. dr hab. inż., <sup>3</sup> mgr inż.



Rys. 2. Stosunek pracy tworzenia zarodka heterogenicznego na powierzchniach podłoża o różnych kształtach do pracy tworzenia zarodków homogenicznych [7]

Fig. 2. The quotient of work of forming heterogeneous nucleus on the surface of the mould bed shaped differently to work of forming homogeneous nuclei [7]

Wartość tego kąta może zatem być podstawą oceny warunków heterogenicznego zarodkowania faz osnowy kompozytu. W kompozycie, będącym przedmiotem badań, oszacowano wartości kątów zarodkowania faz  $\alpha$  i krzemu wzajemnie na sobie oraz na podłożu węglowym. Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Warunki zarodkowania faz podczas krystalizacji osnowy kompozytu włókno węglowe-stop AlSi11  
TABLE 1. Condition of phases nucleation in crystallization process of matrix composites carbon fibres-AlSi11 alloy

Lp.	Faza			Energia powierzchniowa, mN/m			$\cos\theta_r$	$\theta_r$
	Podłoże	Zarodek	Ciecz	$\omega_{p-c}$	$\omega_{p-z}$	$\omega_{z-c}$		
1	Si	Al	AlSi11	1000	950	182	0,2747	74,05°
2	Al	Si	AlSi11	182	950	1000	-0,7680	140,17°
3	C	Al	AlSi11	4845 <sup>1)</sup>	4857 <sup>1)</sup>	182	-0,0659	93,78°
4	C	Si	AlSi11	4845 <sup>1)</sup>	3468 <sup>2)</sup>	1000	1,3770	0°

Wartości energii międzyfazowych nieopatrzone odnośnikiem - wg [6]

1 - wartości obliczone z wykorzystaniem danych [5, 6]

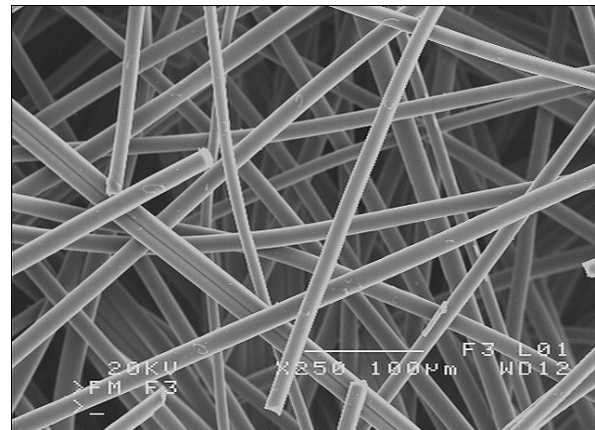
2 - wartości obliczone z wykorzystaniem danych [6, 7]

Wskazują one, że istnieje możliwość zarodkowania krzemu na podłożu węglowym oraz fazy  $\alpha$  na kryształach krzemu, przy czym drugi przypadek jest powszechnie znany. Możliwość zarodkowania fazy  $\alpha$  na podłożu węglowym jest problematyczna. W eutektycznych stopach aluminium, na skutek nierównowagowych warunków krystalizacji, istnieje tendencja do wydzielania się pierwotnych kryształów krzemu [3]. Wobec stwierdzonej możliwości zarodkowania krzemu na włóknach zbrojenia można spodziewać się obecności pierwotnych

wydzieleń tej fazy, zlokalizowanych na włóknach zbrojenia węglowego.

## BADANIA EKSPERYMENTALNE

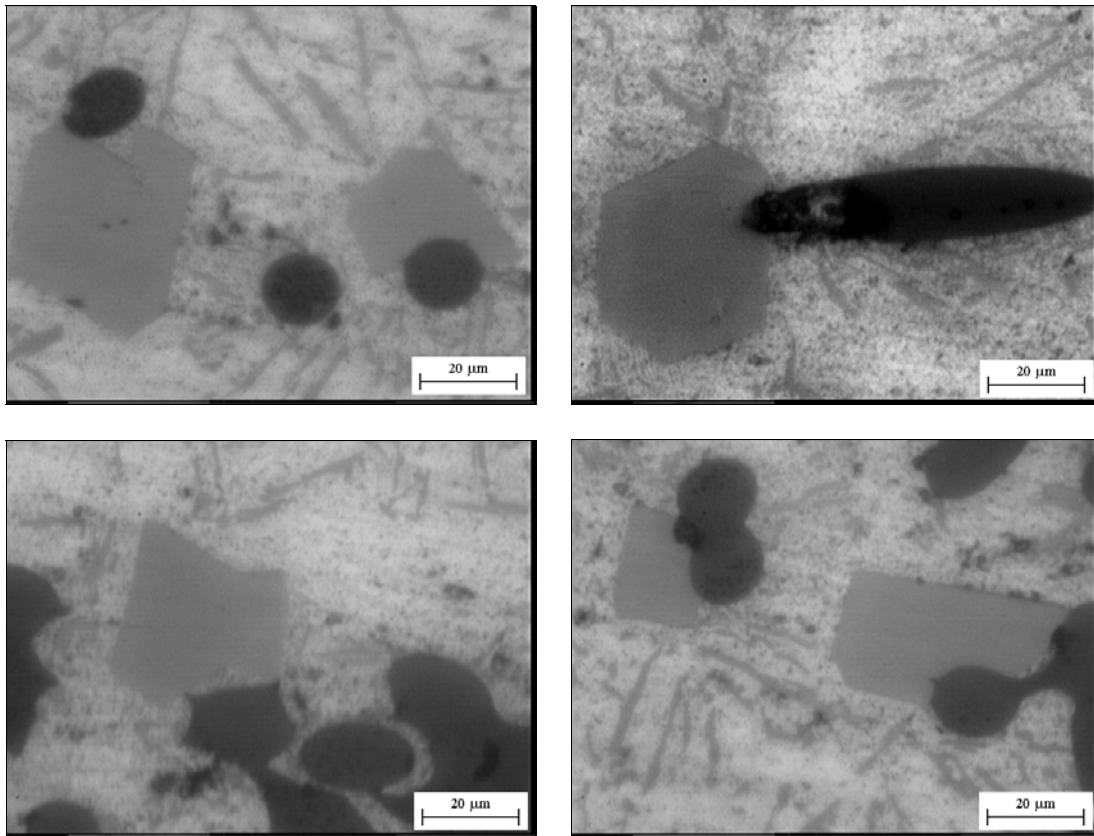
Próbne odlewy kompozytowe (włókno węglowe-stop aluminium AlSi11) miały kształt walców o średnicy 60 mm i wysokości 15 mm. Uzyskano je przez nasycanie zbrojenia w postaci maty z włókien węglowych wyprodukowanych przez zwęglenie polimerowych włókien poliakrylonitrylowych (PAN) [8]. Strukturę zbrojenia przeznaczanego do nasycania przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Struktura węglowego zbrojenia kompozytu

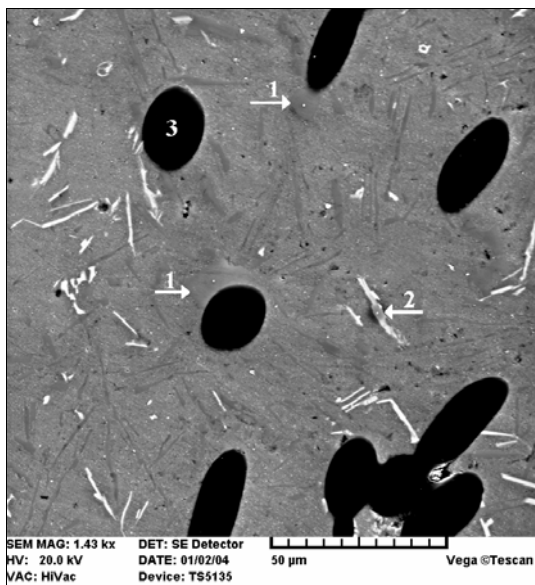
Fig. 3. Structure of carbon composites reinforcement

Zbrojenie przed zabiegiem nasycania nie było podgrzewane, w związku z czym metal osnowy nasycającej (przed nasycaniem) był podgrzewany do temperatury 750°C. Bilans cieplny układu zbrojenie-ciekły metal wykazał, że w metalu osnowy nie powinna rozpocząć się krystalizacja przed zakończeniem procesu nasycania [4]. Nasycanie próbek zbrojenia przeprowadzono, stosując ciśnienie 5 MPa. Próbne odlewy kompozytowe przecinano w płaszczyźnie symetrii, a na uzyskanych przekrojach wykonywano zglądy.

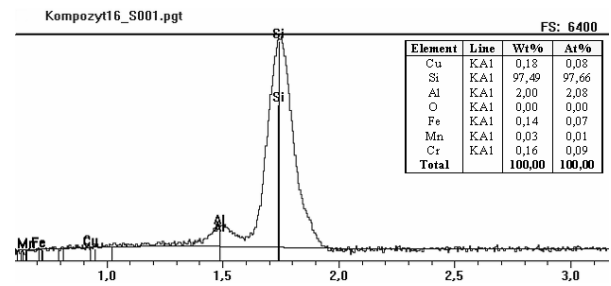


Rys. 4. Mikrostruktura odlewu kompozytowego [9]  
 Fig. 4. Microstructures of composites casting [9]

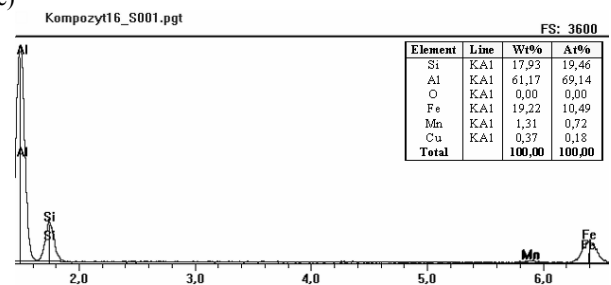
a)



b)

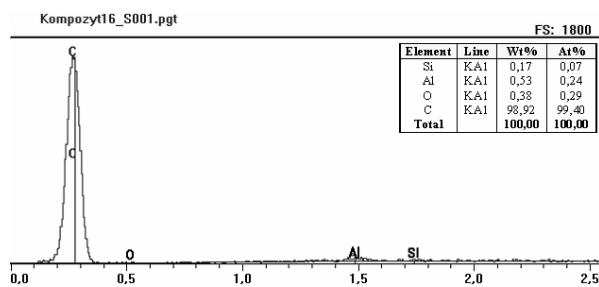


c)



d)

Rys. 5. Obraz skaningowy struktury kompozytowej (a), wyniki mikroanalizy rentgenowskiej faz oznaczonych numerami 1 (b), 2 (c), 3 (d)  
 Fig. 5. Scanning structures of composites casting (a), effect of roentgen microanalyses phases noticed numbers 1 (b), 2 (c), 3 (d)



Obserwacje struktury kompozytowej przeprowadzono na nietrawionych zglądach, stosując mikroskop metalograficzny firmy Nikon sprzężony z cyfrowym analizatorem obrazu [9]. Na rysunku 4 przedstawiono mikrostrukturę zaobserwowaną na zglądach kompozytu. Wydzielenia zlokalizowane wokół włókien zbrojenia lub stykające się z włóknami widoczne na fotografiach mikrostruktury kompozytowej są kryształami krzemu. Fakt ten potwierdzony został drogą mikroanalizy rentgenowskiej wykonanej techniką EDS (energy dispersive spectrometry) [1] za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego firmy Tesla. Na rysunku 5 pokazano zaobserwowane składniki struktury oraz wyniki analiz.

Przedstawione wyniki metalograficznej oceny materiału kompozytowego potwierdziły wniosek wynikający z rozważań teoretycznych dotyczących warunków zarodkowania faz metalowej osnowy kompozytu będącego przedmiotem badań.

## WNIOSKI

1. Teoretyczna analiza warunków zarodkowania faz osnowy kompozytowej oparta o wartości parametrów opisujących właściwości powierzchniowe układu: podłoże węglowe-zarodek-ciekły metal osnowy, potwierdzona wynikami eksperymentu, wykazała możliwość zarodkowania pierwotnego krzemu na węglowych włóknach zbrojenia.

2. Przedstawione wyniki pracy w zestawieniu z efektami wcześniejszych badań dotyczących zarodkowania krzemu w osnowie AlSi11 na włóknach

zbrojenia glinokrzemianowego wykazują, że rola zbrojenia w kształtowaniu struktury osnowy kompozytu może być znacząca.

## LITERATURA

- [1] Barbacki A. i in., *Mikroskopia elektronowa*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2003.
- [2] Chmiel J., Grabian J., Jackowski J., Szweycer M., Wpływ zbrojenia kompozytu na zarodkowanie faz osnowy ze stopu AlSi11, *Materiały Konf. nt. Odlewnictwa Metali Nieżelaznych Perspektywy - Technologie*, Kraków-Dobrzyce-Praszka, 81-84.
- [3] Górny Z., *Odlewnicze stopy metali nieżelaznych*, WNT, Warszawa 1992.
- [4] Grabian J., Nasycanie zbrojenia z ceramicznych włókien nieuporządkowanych podczas wytwarzania odlewów z kompozytów metalowych, *Wydawnictwo WSM w Szczecinie, Studia nr 35*, Szczecin 2001.
- [5] Korol'kow A.M., *Litiejnyje swojstwa mietalłow i spławow*, Izd. Akademii Nauk, SSSR, Moskwa 1960.
- [6] Missol W., *Energia powierzchni rozdziału faz w metalach*, Wyd. Śląsk, Katowice 1975.
- [7] Szweycer M., *Zjawiska powierzchniowe w procesach odlewniczych*, Wyd. Instytutu Odlewnictwa, Kraków 1996.
- [8] Ślężiona J., *Podstawy technologii kompozytów*, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998.
- [9] Tomaszewski T., *Zarodkowanie faz metalowych w obecności zbrojeń kompozytowych*, Praca magisterska, Politechnika Poznańska WBMiZ, Poznań 2003.

Recenzent  
Zbigniew Górny