

# Własności mechaniczne kompozytów odlewanych na podstawie stopu Al-Si zbrojonych fazami międzymetalicznymi

M. Cholewa, P. Wróbel, T. Wróbel\*

Politechnika Śląska, Katedra Odlewnictwa, Towarowa 7, 44-100 Gliwice, PL,

\*Kontakt korespondencyjny. E-mail: tomasz.wrobel@polsl.pl

Otrzymano 30.08.2010; zaakceptowano do druku 30.09.2010

## Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań mikrostruktury oraz wybranych własności mechanicznych kompozytu na osnowie stopu EN AC- $\text{AlSi11}$  ze zbrojeniem w postaci cząstek stopu Cr-Fe-C (kompozyt ex situ) oraz węglikoazotków Ti, Zr, V (kompozyt in situ). Badania mikrostruktury prowadzono zarówno przy użyciu mikroskopu świetlnego, jaki i elektronowego skaningowego z systemem EDS. W ramach badań własności użytkowych określono twardość, odporność na zużycie ściernie typu metal-minerał, udarność oraz wytrzymałość na rozciąganie, granicę plastyczności i wydłużenie wytworzonego kompozytu. Dodatkowo w celu poprawy wybranych własności użytkowych kompozytu na osnowie siluminu okołoeutektycznego wykonano obróbkę cieplną tj. utwardzanie wydzieleniowe oraz wyżarzanie.

**Słowa kluczowe:** Kompozyt, Aluminium, Krzem, Węgliki, Azotki, Własności mechaniczne

## 1. Wprowadzenie

Kompozyty z osnową aluminiową są bardzo atrakcyjnym materiałem konstrukcyjnym, który charakteryzuje się wysokimi właściwościami trybologicznymi i mechanicznym w połączeniu z bardzo korzystnym stosunkiem wytrzymałości do gęstości. Właściwości użytkowe tych kompozytów zależą od rodzaju, wielkości i udziału objętościowego cząstek fazy wzmacniającej, a także od doboru osnowy oraz techniki wytwarzania. Najczęściej używaną metodą otrzymywania kompozytów MMC (Metal Matrix Composite) jest technika ex situ, polegająca na przygotowaniu w odrębnym procesie fazy zbrojącej, którą następnie wprowadza się do materiału osnowy np. metodą mieszania. Natomiast w technice in situ faza wzmacniająca powstaje w wyniku reakcji chemicznych zachodzących pomiędzy składnikami stopu w ciekłej kąpieli metalowej [1-7].

Kompozyty na osnowie stopów aluminium zbrojone cząstkami ceramicznymi i fazami międzymetalicznymi znajdują

zastosowanie w przemyśle maszynowym, motoryzacyjnym oraz lotniczym [2 i 6].

Istotnie na własności mechaniczne kompozytów wpływają rodzaj, wielkość i kształt faz zbrojących oraz struktura osnowy. W związku z tym istnieje możliwość kształtowania własności użytkowych odlewu kompozytowego na osnowie stopów Al-Si zarówno poprzez dobór techniki wytwarzania np. ex situ i/lub in situ, jak i poprzez obróbkę cieplną np. utwardzanie wydzieleniowe.

## 2. Zakres badań

Celem pracy było określenie wpływu rodzaju zbrojenia w postaci węglików i azotków Cr, Ti, Zr oraz V, wprowadzanych w technice ex situ i/lub in situ, na wybrane własności mechaniczne kompozytu odlewane na osnowie stopu EN AC- $\text{AlSi11}$  w stanie surowym oraz po obróbce cieplnej.

W ramach pracy wykonano kompozytowe odlewy próbne walcowe o średnicy 20mm i wysokości 180mm, wprowadzając zbrojenie w postaci 10% aktywowanych powierzchniowo związkami boru i sodu cząstek ex situ ze stopu Cr-Fe-C o granulacji 1mm i składzie chemicznym Cr  $\approx$  66,5%, Fe  $\approx$  8%, C  $\approx$  8,65% oraz w technice in situ w postaci zapraw AlTiC (Ti = 3%, C = 0,15%), AlTiB (Ti = 5%, B = 1%), AlZr (Zr = 10%) i AlV (V = 10%). Dodatkowo do wytworzenia kompozytu in situ zastosowano przedmuchiwanie kapelel metalowej zdysocjowanym termicznie azotem.

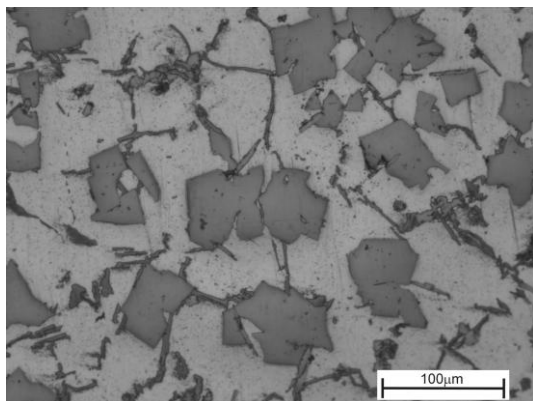
Dla wykonanych odlewów kompozytowych przeprowadzono obróbkę cieplną tj. w pierwszym wariantcie utwardzanie wydzieleniowe polegające na przesycaaniu z temperatury 520°C i starzeniu w temperaturze 180°C oraz w drugim wariantcie wyżarzanie w temperaturze 520°C z chłodzeniem na wolnym powietrzu.

Przeprowadzono badania metalograficzne mikroskopowe zarówno przy użyciu mikroskopu świetlnego Nikon, jaki i elektronowego skaningowego InspectF z systemem EDS. Zgłady metalograficzne trawiono w odczynniku [8]: Mi1Al o składzie: 0,5cm<sup>3</sup> kwasu fluorowodorowego i 90,5cm<sup>3</sup> wody.

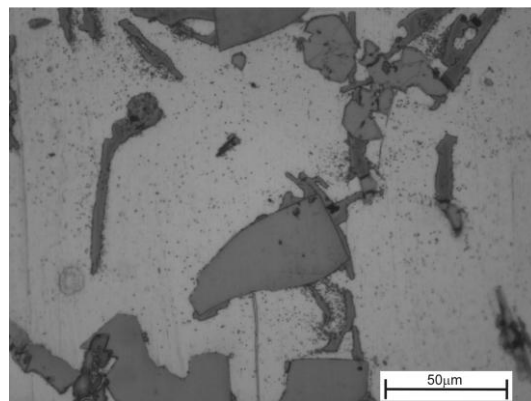
W ramach badań własności użytkowych odlanych kompozytów, określono wytrzymałość na rozciąganie R<sub>m</sub>, umowną granicę plastyczności R<sub>p0,2</sub> oraz wydłużenie A na podstawie statycznej próby rozciągania. Dodatkowo wyznaczono udarność, twardość oraz odporność na zużycie ściernie typu metal-minerał wg ASTM G65-00 [9].

### 3. Wyniki badań i ich analiza

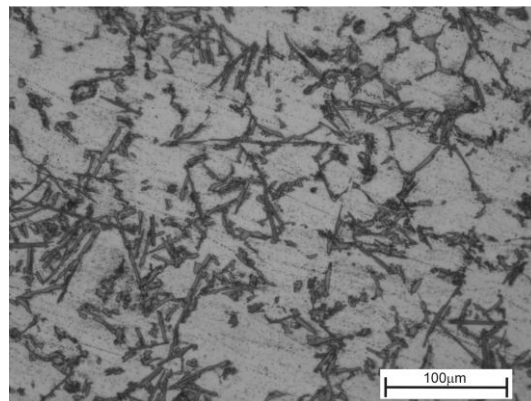
Na rysunkach 1-4 przedstawiono mikrostruktury kompozytu odlewane go na osnowie stopu EN AC-ALSi11 ze zbrojeniem w postaci cząstek stopu Cr-Fe-C o strukturze węglkowej, głównie Cr<sub>x</sub>C<sub>y</sub> oraz rzadziej Fe<sub>x</sub>C<sub>y</sub> (kompozyt ex situ) i/lub węglikoazotkami Ti, Zr oraz V (kompozyt in situ).



Rys. 1. Mikrostruktura kompozytu odlewane go na osnowie stopu EN AC-ALSi11 –  $\alpha(\text{Al}) + (\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si}))$  – zbrojone go cząstkami węglkowymi stopu Cr-Fe-C oraz węglikoazotkami Ti, Zr i V  
Fig. 1. Microstructure of casting composite on EN AC-ALSi11 alloy matrix –  $\alpha(\text{Al}) + (\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si}))$  – with carbides particle of Cr-Fe-C alloy and carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement

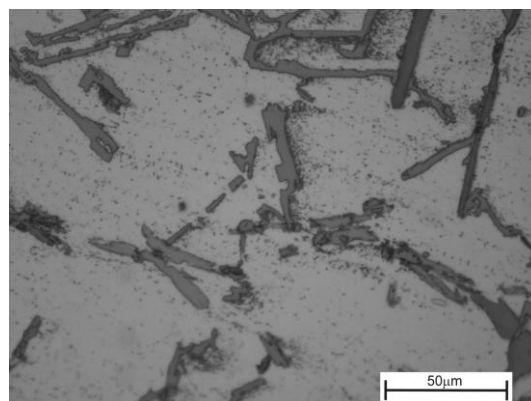


Rys. 2. Mikrostruktura z rysunku 1  
Fig. 2. Microstructure from figure 1



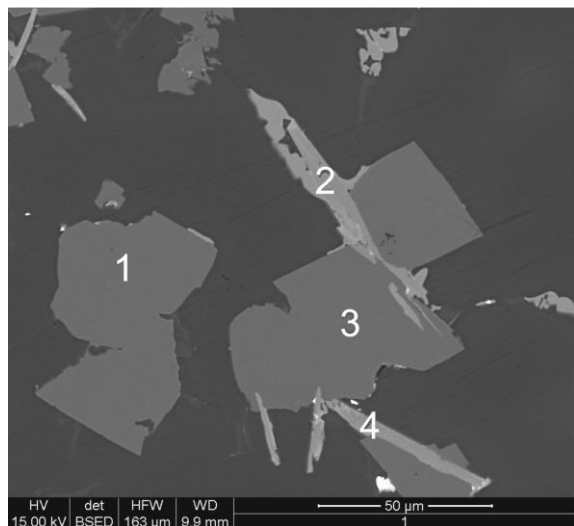
Rys. 3. Mikrostruktura kompozytu odlewane go na osnowie stopu EN AC-ALSi11 –  $\alpha(\text{Al}) + (\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si}))$  – zbrojone go węglikoazotkami Ti, Zr i V

Fig. 3. Microstructure of casting composite on EN AC-ALSi11 alloy matrix –  $\alpha(\text{Al}) + (\alpha(\text{Al})+\beta(\text{Si}))$  – with carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement

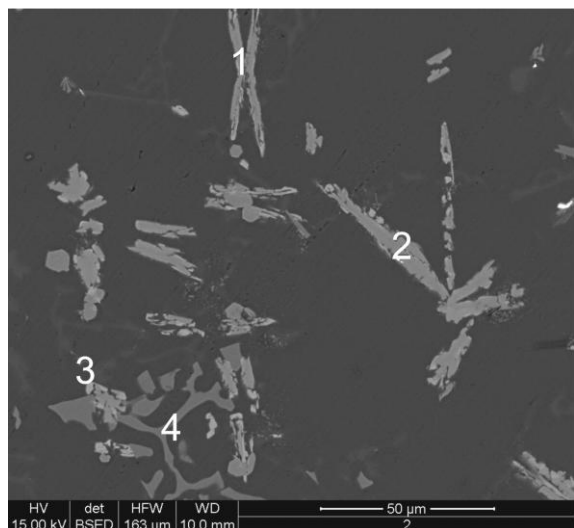


Rys.4. Mikrostruktura z rysunku 3  
Fig.4. Microstructure from figure 3

Natomiast na rysunkach 5 i 6 oraz w tabelach 1 i 2 przedstawiono mikrostrukturę badanych kompozytów odlewanych wraz z wynikami punktowej mikroanalizy składu chemicznego w wybranych, charakterystycznych obszarach.



Rys. 5. Mikrostruktura kompozytu odlewane go na osnowie stopu EN AC-AlSi11 zbrojonego cząstkami węglkowymi stopu Cr-Fe-C oraz węglikoazotkami Ti, Zr i V  
Fig. 5. Microstructure of casting composite on EN AC-AlSi11 alloy matrix with carbides particle of Cr-Fe-C alloy and carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement



Rys. 6. Mikrostruktura kompozytu odlewane go na osnowie stopu EN AC-AlSi11 zbrojonego węglikoazotkami Ti, Zr i V  
Fig. 6. Microstructure of casting composite on EN AC-AlSi11 alloy matrix with carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement

Tabela 1.

Wyniki mikroanalizy składu chemicznego w obszarach widocznych na rysunku 5.

Table 1.

Results of microanalysis of chemical composition in fields from figure 5.

Pierwiastek	Stężenie składników, % mas. w obszarze nr			
	1	2	3	4
Al	63,4	47,6	63,2	43,2
Si	9,0	6,1	8,6	12,7
Zr	-	29,1	-	30,2
Ti	-	12,7	-	11,6
V	1,6	1,7	1,6	1,4
Cr	13,5	0,9	14,8	1,0
Fe	12,5	1,9	11,8	-

Tabela 2.

Wyniki mikroanalizy składu chemicznego w obszarach widocznych na rysunku 6.

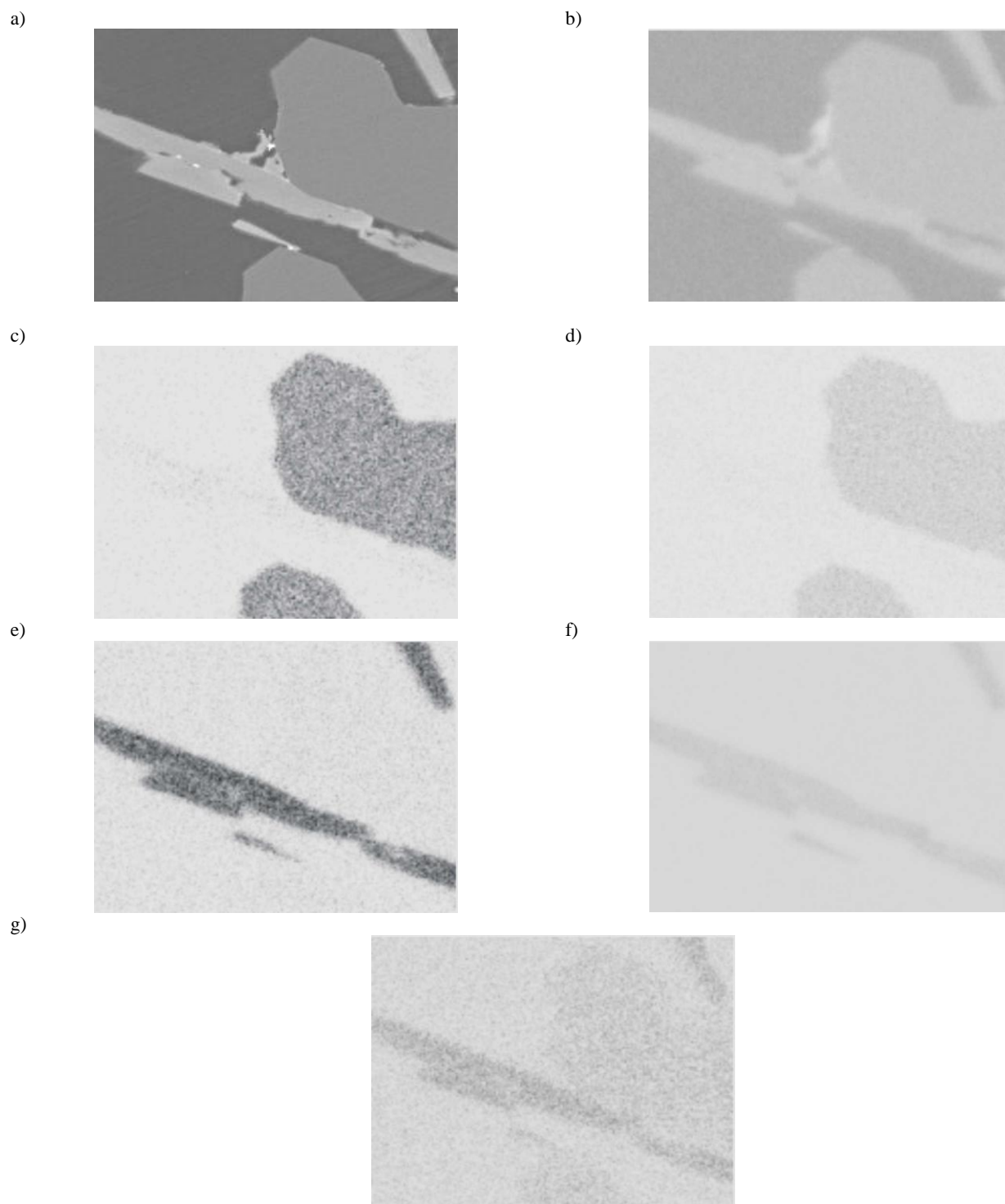
Table 2.

Results of microanalysis of chemical composition in fields from figure 6.

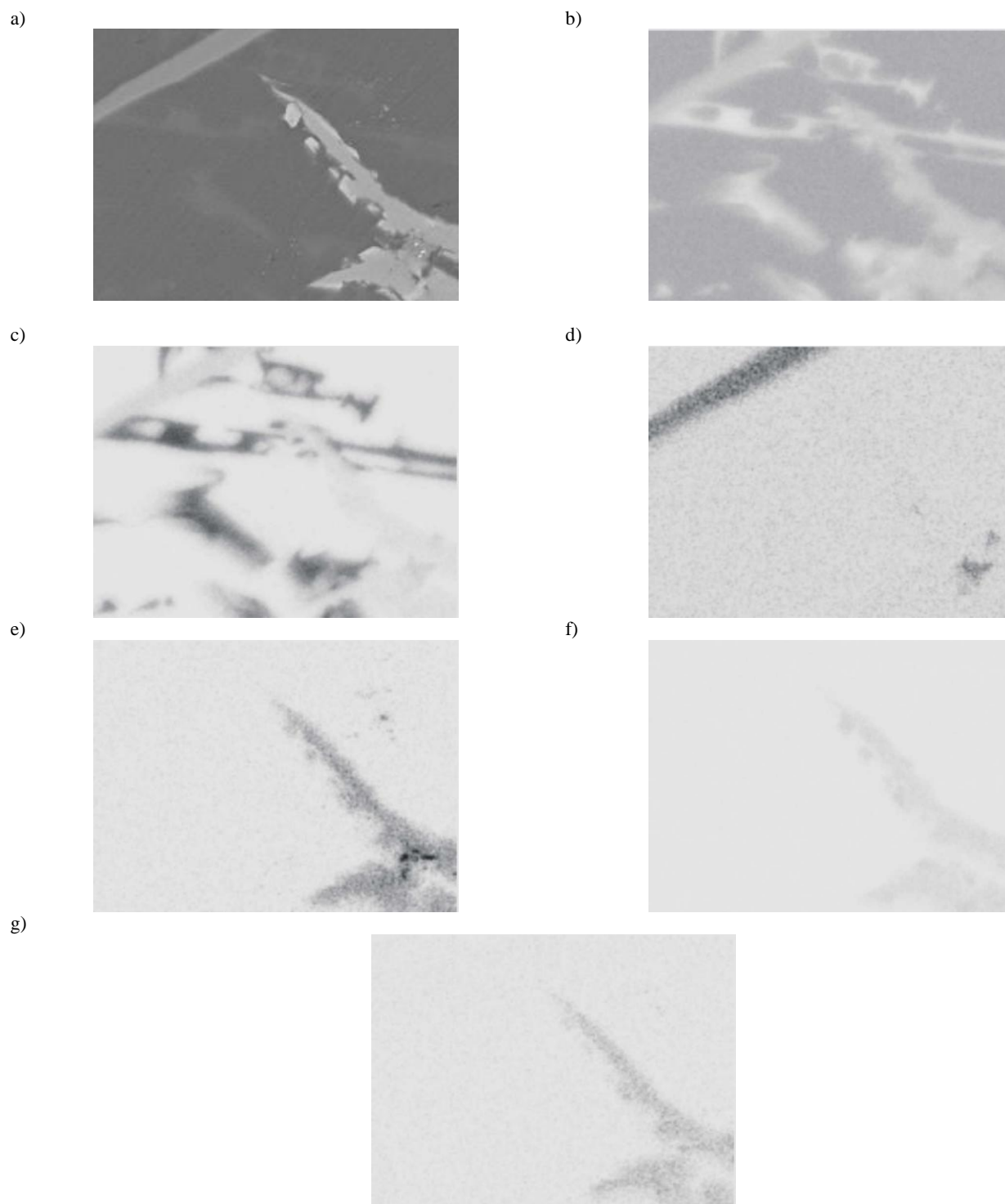
Pierwiastek	Stężenie składników, % mas. w obszarze nr			
	1	2	3	4
Al	50,3	50,4	52,4	63,4
Si	6,2	6,6	7,6	9,6
Zr	21,9	21,8	31,7	-
Ti	14,3	14,1	6,6	-
V	7,3	7,2	1,7	7,6
Mn	-	-	-	1,1
Fe	-	-	-	18,3

Natomiast na rysunkach 7 i 8 przedstawiono wynik powierzchniowej mikroanalizy składu chemicznego. Obok osnowy widoczne są fazy zbrojące w postaci cząstek węglkowych stopu Cr-Fe-C i/lub węglikoazotków Ti, Zr oraz V.

Technika wytworzenia kompozytu tj. ex-situ lub/i in-situ wpływając na rodzaj, wielkość oraz kształt faz zbrojącej istotnie oddziałuje również na własności użytkowe (rys.9). Wytworzone kompozyty odlewane charakteryzują się wyższymi własnościami wytrzymałościowymi w porównaniu do stopu EN AC-AlSi11. Jednakże jednocześnie obecność zbrojenia, szczególnie ex situ decyduje o obniżeniu własności plastycznych w stosunku do stopu bazowego Al-Si. Szczególnie wysoka wytrzymałość na rozciąganie, granica plastyczności oraz twardość możliwa jest do uzyskania w wyniku jednoczesnego użycia zbrojenia w postaci cząstek węglkowych stopu Cr-Fe-C oraz węglikoazotków Ti, Zr i V. Natomiast najwyższą odporność na zużycie ściernie typu metal-minerał uzyskano w kompozycie, w którym fazę zbrojącą stanowiły jednie cząstki stopu Cr-Fe-C. Ponadto stwierdzono, że własności wytrzymałościowe wytworzonych kompozytów można nieznacznie zwiększyć stosując zabieg utwardzania wydzieleniowego. Z kolei zastosowanie zabiegu wyżarzania badanych kompozytów zapewnia wzrost ich własności plastycznych, bez pogorszenia wytrzymałości.

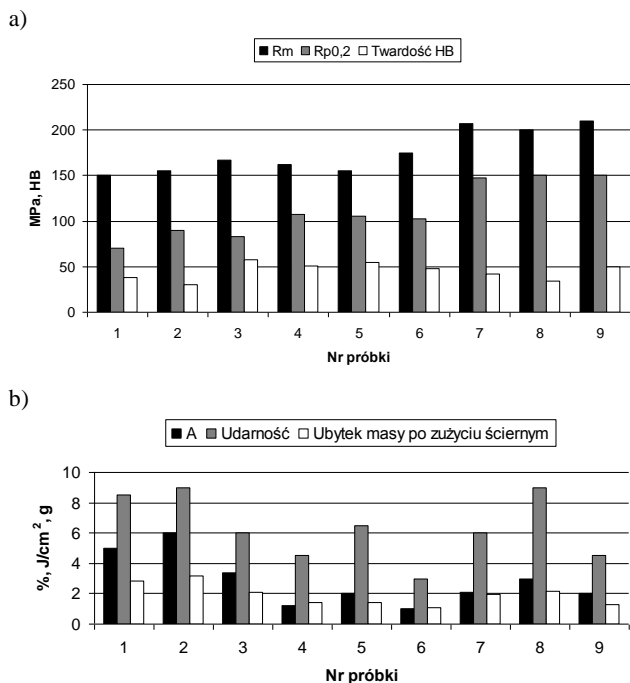


Rys. 7. Powierzchniowy rozkład pierwiastków w kompozycie odlewanym na podstawie stopu EN AC- $\text{AlSi11}$  zbrojonego cząstkami węglowymi stopu Cr-Fe-C oraz węglikoazotkami Ti, Zr i V: a) obszar badany, b) Al, c) Cr, d) Fe, e) Ti, f) Zr i g) V  
 Fig. 7. Surface distribution of elements in casting composite on EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy matrix with carbides particle of Cr-Fe-C alloy and carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement: a) investigated field, b) Al, c) Cr, d) Fe, e) Ti, f) Zr and g) V



Rys. 8. Powierzchniowy rozkład pierwiastków w kompozycie odlewany na osnowie stopu EN AC-AlSi11 zbrojonego węglikoazotkami Ti, Zr i V: a) obszar badany, b) Al, c) Si, d) Fe, e) Ti, f) Zr i g) V

Fig. 8. Surface distribution of elements in casting composite on EN AC-AlSi11 alloy matrix with carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement: a) investigated field, b) Al, c) Si, d) Fe, e) Ti, f) Zr and g) V



Rys. 9. Własności mechaniczne badanych próbek: 1 - stop EN AC- $\text{AlSi11}$  w stanie surowym, 2 - stop EN AC- $\text{AlSi11}$  po wyżarzaniu, 3 - stop EN AC- $\text{AlSi11}$  po utwardzaniu wydzieleniowym, 4 - kompozyt odlewany na osnowie stopu EN AC- $\text{AlSi11}$  zbrojony cząstkami węglkowymi stopu Cr-Fe-C oraz węglikoazotkami Ti, Zr i V w stanie surowym, 5 - tj. próbka nr 4 ale po wyżarzaniu, 6 - tj. próbka nr 4 ale po utwardzaniu wydzieleniowym, 7 - kompozyt odlewany na osnowie stopu EN AC- $\text{AlSi11}$  zbrojony węglikoazotkami Ti, Zr i V w stanie surowym, 8 - tj. próbka nr 7 ale po wyżarzaniu, 9 - tj. próbka nr 7 ale po utwardzaniu wydzieleniowym

Fig. 9. Mechanical properties of studied samples: 1 - EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy in initial state, 2 - EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy after annealing, 3 - EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy after precipitation hardening, 4 - cast composite on EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy matrix with carbides particle of Cr-Fe-C alloy and carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement in initial state, 5 - i.e. sample 4 but after annealing, 6 - i.e. sample 4 but after precipitation hardening, 7 - cast composite on EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy matrix with carbonitrides Ti, Zr and V reinforcement in initial state, 8 - i.e. sample 7 but after annealing, 9 - i.e. sample 7 but after precipitation hardening

## Mechanical properties of cast composites on Al-Si alloy matrix with intermetallic phases reinforcement

### Abstract

In paper is presented research results of microstructure and selected mechanical properties of composite on EN AC- $\text{AlSi11}$  alloy matrix with reinforcement in form of particle of Cr-Fe-C alloy (composite ex situ) and carbonitrides Ti, Zr, V (composite in situ). Metallographic studies were made with use of light microscopy and with scanning electron microscope with EDS. In range of studies of usable properties were made measurements of hardness, abrasive wear resistance of type metal-mineral, impact resistance, tensile strength, yield point and elongation.

### 4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że połączone oddziaływanie wprowadzanego zbrojenia ex situ z przedmuchiwaniem kąpieli metalowej zdysocjowanym termicznie azotem, pozwoliło na uzyskanie kompozytu o wysokich własnościach wytrzymałościowych w porównaniu do tradycyjnego stopu Al-Si. Dodatkowo wykazano, że zastosowanie odpowiedniej obróbki cieplnej umożliwia zwiększenie własności mechanicznych wytworzonych kompozytów ex situ i/lub in situ.

Dalsze badania ukierunkowane na zastosowanie specjalnych technologii topienia i odlewania powinny umożliwić dalszy wzrost własności użytkowych tego typu kompozytów.

### Literatura

- [1] T. Rajnesh: Synthesis and terminological characterization of in situ cast Al-TiC composites, *Wear*, No. 259 (2005).
- [2] E. Fraś, A. Kolbus, A. Janas: Wpływ rodzaju fazy wzmacniającej na naprężenie płynięcia plastycznego wybranych kompozytów MMCs o osnowie aluminiowej, *Kompozyty*, Nr 6 (2003).
- [3] E. Fraś, A. Janas, A. Kolbus: Odlewany kompozyt aluminiowy in situ umacniany cząstkami borków i tytanu, *Kompozyty*, Nr 1 (2002).
- [4] J. Gawroński, J. Szajnar, M. Cholewa, P. Wróbel: Krzepnięcie i krystalizacja kompozytów z cząstkami oraz kompozytów powierzchniowych, *Przegląd Odlewnictwa*, Nr 4 (2005).
- [5] M. Cholewa: kształtowanie struktury osnowy kompozytu z osnową aluminiowo - krzemową, *Krzepnięcie Metali i Stopów*, Nr 40 (1999).
- [6] M. Perzyk, D. Myszka, M. Cholewa: Opis metody wprowadzania i osadzania elementów zbrojących do osnowy technicznie użytecznych odlewów kompozytowych, *Krzepnięcie Metali i Stopów*, Nr 44 (2000).
- [7] M. Cholewa, B. Formanek: Kompozyty z metaliczną osnową I dyspersyjnym wzmocnieniem wytwarzane w połączonych procesach in i ex situ, *Archiwum Odlewnictwa*, Nr 22 (2006).
- [8] K. Sękowski, J. Piaskowski, Z. Wojtowicz: Atlas struktur znormalizowanych stopów odlewniczych, WNT, Warszawa (1972).
- [9] Norma ASTM G 65 - 00: Standardowy test metody pomiaru ścierania przy użyciu suchego piasku - przyrząd koło gumowe.