

ANALIZA PROCESU KRZEPNIĘCIA KOMPOZYTU HETEROFAZOWEGO

A. DOLATA-GROSZ¹, M. DYZIA², J. ŚLEZIONA³, J. MYALSKI⁴
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii,
Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów
Katowice 40-019, ul. Krasińskiego 8

STRESZCZENIE

Badania dotyczące krystalizacji i krzepnięcia odlewów to ostatni etap wytwarzania zawiesin kompozytowych. Opis i poznanie zjawisk towarzyszących tym procesom pozwala na kształtowanie zróżnicowanej struktury wytwarzanych materiałów, od której ściśle zależą właściwości finalnego wyrobu.

W pracy przedstawiono i porównano wyniki badań procesu krzepnięcia zarówno dla zastosowanej osnowy ze stopu aluminium (AK12Mg2), jak i kompozytów zawierających jeden rodzaj cząstek (Al_2O_3) oraz zbrojenie heterofazowe (mieszanka cząstek Al_2O_3 + węgiel szklisty).

Key words: PAMMC, solidification, ceramic particles, glass carbon particles.

1. WPROWADZANIE

Kompozyty zbrojone cząstkami ceramicznymi (tj. SiC, Al_2O_3) wytwarzane są najczęściej metodami odlewniczymi z wykorzystaniem procesów zawiesinowych. Względy ekonomiczne przyczyniły się do szerokiego zastosowania metody mechanicznego mieszania komponentów (*stirring metod*) [1,2]. Kształtowanie struktury kompozytów stop Al-cząstki ceramiczne z wykorzystaniem technik odlewniczych wielu autorów wiąże z dwoma zagadnieniami. Pierwsze z nich dotyczy zachowania się

¹ dr inż., anna.dolata-grosz@polsl.pl

² dr inż., maciej.dyzia@polsl.pl

³ prof. dr hab. inż., jozef.sleziona@polsl.pl

⁴ dr inż., jerzy.myalski@polsl.pl

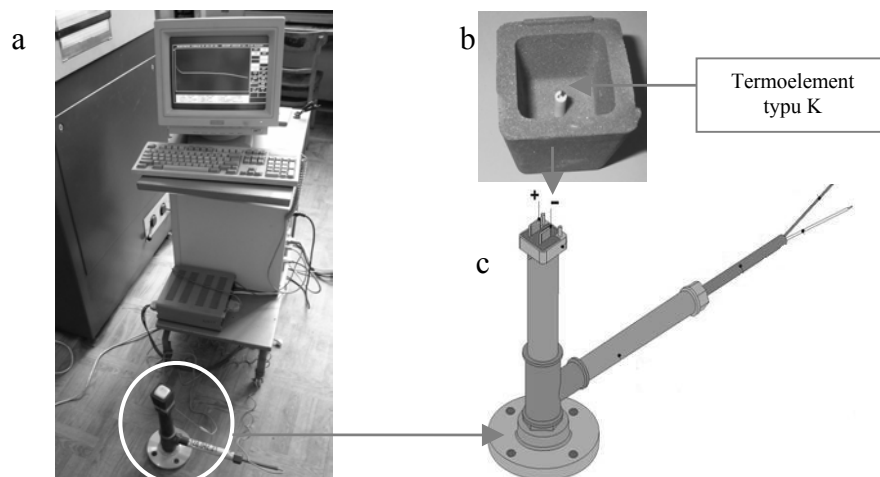
cząstek w ciekłym metalu do chwili rozpoczęcia krystalizacji (wypływanie, sedymentacja, aglomeracja), w którym istotnym i dominującym czynnikiem jest zwilżanie ceramiki przez ciekłą osnowę. Drugie z kolei to opis czynników związanych z bezpośrednim oddziaływaniem rosnącego frontu krystalizacji z cząstkami fazy zbrojącej [1-12]. Od momentu rozpoczęcia procesu krystalizacji i krzepnięcia następuje wzrost fazy krystalicznej. Jej narastanie przebiega w kierunku przeciwnym do ruchu cząstek. Stąd, obok czynnika geometrycznego, tj. rodzaj, udział objętościowy i rozmiar cząstek umacniających, o uzyskanej strukturze i rozmieszczeniu cząstek w osnowie, decyduje również prędkość krystalizacji, a zatem i czas krzepnięcia odlewu [6,8,10].

Przeprowadzone badania miały na celu wyznaczenie i porównanie krzywych chłodzenia uzyskanych dla osnowy (AK12Mg2) oraz dla kompozytów zawierających jeden rodzaj cząstek zbrojących (Al_2O_3) i kompozytów heterofazowych, w których jako zbrojenie zastosowano dwa rodzaje cząstek, mieszaninę tlenku aluminium i węgla szklanego.

2. METODYKA BADAŃ

Jako osnowę kompozytu zastosowano odlewniczy stop aluminium AK12 modyfikowany 2% dodatkiem magnezu. W kompozytach jednofazowych na zbrojenie zastosowano tlenek aluminium (Al_2O_3) o 15% udziale i wielkości cząstki $25\mu m$. W kompozytach heterofazowych, zastosowano dwa rodzaje cząstek w postaci mieszaniny $25\mu m$ tlenku aluminium i węgla szklanego o wielkości $100\mu m$. Dla tej grupy materiałów zastosowano 10% udziały każdego z proszku. Zawiesiny kompozytowe, wytworzone tradycyjną metodą mechanicznego mieszania, opisaną szczegółowo m.in. w pracy [1], poddano następnie procesowi odgazowania i homogenizacji przy obniżonym ciśnieniu. Do tego celu wykorzystano stanowisko skonstruowane i zbudowane w Zakładzie Kompozytów i Metalurgii Proszków Politechniki Śląskiej. Jak wykazały wcześniejsze badania [13,14] zastosowanie techniki próżniowej z równoczesną homogenizacją zawiesiny kompozytowej zmienia właściwości ciekłej suspensji, przede wszystkim jej lejność i pozwala usunąć zagazowanie powstałe podczas wytwarzania kompozytu.

Przebieg procesu krzepnięcia rejestrowano przy pomocy systemu, który umożliwił ciągłą kontrolę i pomiar temperatury metalu podczas krzepnięcia zawiesiny kompozytowej (rys. 1). System wyposażono w termoelektryczny czujnik kubkowy QC4080 z wbudowaną termoparą typu K (NiCr-Ni). Czujnik kubkowy umieszczono na statywie i trwale połączono zespołem stykowym oraz przewodem termoelektrycznym z analogowo-cyfrowym układem pomiarowym, na bazie modułu MC201, skonfigurowanym z komputerem PC. Zastosowanie jednorazowych, termoelektrycznych czujników kubkowych o identycznym współczynniku odprowadzania ciepła, znanych i znormalizowanych wymiarach, zapewniło jednakowe warunki i szybkość odprowadzania ciepła podczas stygnięcia odlewów



Rys. 1. System pomiarowy, zastosowany do rejestracji krzywych krzepnięcia kompozytu a), kubek termoelektryczny z termoparą typu K b), kolumna c).

Fig. 1. Measurement system used for register of solidification curves a), thermo-electric cup with thermocouple type K b), column c).

Wyeliminowano tym samym wpływ materiału formy na proces krzepnięcia badanych kompozytów, co pozwoliło na ocenę wpływu rodzaju cząstek zbrojących na przebieg krzywych chłodzenia dla stosowanych układów.

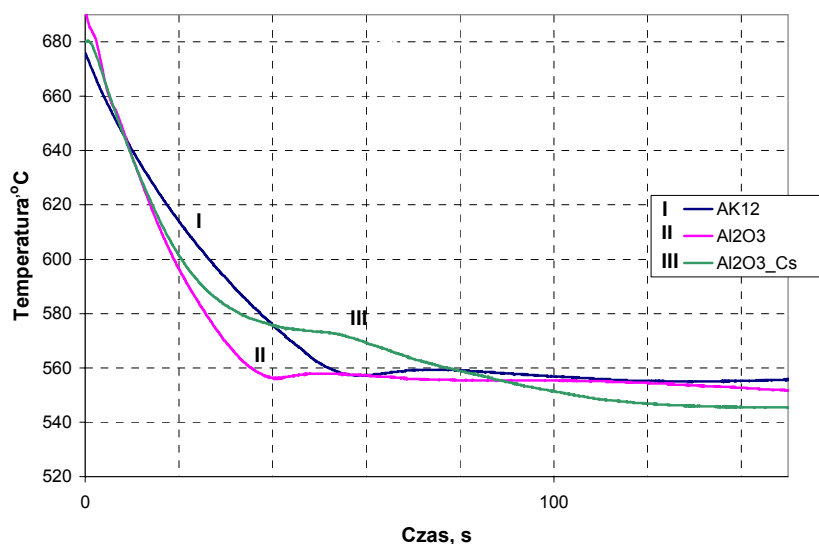
Strukturę otrzymanych wlewków kompozytowych badano na mikroskopie świetlnym MeF-2 firmy Reichert i elektronowym Hitachi typ S-4200, stosując odpowiednio przygotowane preparaty.

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

Uzyskane dane pozwoliły na wykreślenie krzywych chłodzenia osnowy i kompozytów, które po obróbce numerycznej przedstawiono na rysunku 2. Pojawiające się różnice w przebiegu krzywych krzepnięcia materiałów kompozytowych są szczególnie widoczne dla kompozytu heterofazowego, w którym obok cząstek tlenku aluminium użyto również cząstki amorficznego węgla szklanego. Różnice te dotyczą zarówno czasu, jak i temperatury początku krystalizacji. Materiał osnowy krzepł w zakresie temperatury 559-558°C w czasie 20s. Kompozyt zawierający mieszaninę cząstek Al_2O_3 + węgiel szklisty krzepł w zakresie temperatury 574-571°C w czasie 7s. Natomiast temperatura początku krystalizacji kompozytu zawierającego cząstki tlenku aluminium wynosiła 557°C, kompozyt krzepł w czasie 18s w zakresie temperatury 557-556°C. Z uzyskanych danych wynika, że cząstki węgla szklanego znacznie podnoszą temperaturę początku krystalizacji i skracają jej czas, zarówno w porównaniu do kompozytu zawierającego jeden rodzaj cząstek (Al_2O_3), jak i w odniesieniu do osnowy. Świadczy to o istotnym wpływie cząstek węgla szklanego na przebieg procesu

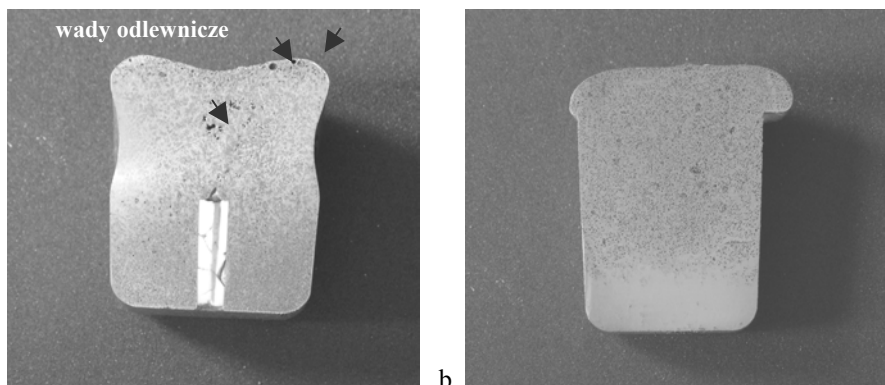
krzepnięcia, a tym samym o odmiennym charakterze krystalizacji kompozytu heterofazowego. O różnicach w czasie i temperaturze krzepnięcia kompozytów mogą decydować różne współczynniki przewodnictwa cieplnego zastosowanych cząstek, które wynoszą odpowiednio dla: Al_2O_3 - $35\text{W}/(\text{mK})$, węgla szklanego – $200\text{W}/(\text{mK})$, osnowy AK12Mg – $180\text{W}/(\text{mK})$ [12].

Na przekroju poprzecznym wlewka kompozytu heterofazowego stwierdzono sedymentację i segregację (rys. 4b), co w konsekwencji dało możliwość utworzenia się struktury gradientowej. Dolna część wlewka nie zawiera cząstek, a granica rozdziału osnowa-kompozyt jest płaska, równoległa do jego podstawy. Mikrostrukturę obszaru rozdziału osnowa-zbrojenie i obszaru z górnej części wlewka z widocznym zbrojeniem pokazano na rysunku 3. Ponadto, kompozyt heterofazowy charakteryzuje się znacznie mniejszym skurczem w obszarze nadlewu i brakiem wad odlewniczych, które zidentyfikowano w kompozycie z jedną fazą zbrojącą.



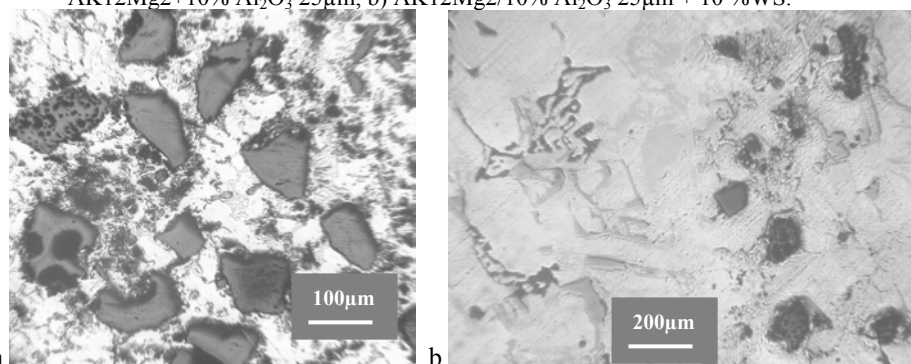
Rys. 2. Krzywe chłodzenia osnowy i kompozytów: I-AK12Mg₂, II-AK12Mg₂+10% Al_2O_3 25 μm , III- AK12Mg₂/10% Al_2O_3 25 μm + 10 %WS.

Fig. 2. Solidification of matrix and composites: I-AK12Mg₂, II-AK12Mg₂+10% Al_2O_3 25 μm , III- AK12Mg₂/10% Al_2O_3 25 μm + 10 %WS.



Rys. 3. Makrostruktura kompozytów z widocznym rozmieszczeniem cząstek w osnowie: a) AK12Mg2+10% Al₂O₃ 25µm, b) AK12Mg2/10% Al₂O₃ 25µm + 10 %WS.

Fig. 3. Macrostructure of composites with particles displacement visible in the matrix: a) AK12Mg2+10% Al₂O₃ 25µm, b) AK12Mg2/10% Al₂O₃ 25µm + 10 %WS.



Rys. 4. Mikrostruktura kompozytu AK12Mg2/10% Al₂O₃ 25µm + 10 %WS, mikroskop świetlny; a) obszar zbrojenia, a) obszar granicy rozdziału zbrojenie osnowa.

Fig. 4. Microstructure of AK12Mg2/10% Al₂O₃ 25µm + 10 %WS, OM; a) reinforced area, b) matrix-reinforced interface area.

4. PODSUMOWANIE

Jak wykazały przeprowadzone badania, cząstki ceramiczne w postaci amorficznego węgla szklatego wpływają zarówno na zmianę temperatury, jak i czasu krzepnięcia odlewów kompozytowych. Zmiana ta wynika przede wszystkim z odmiennych właściwości fizycznych zastosowanych cząstek węgla szklatego (przewodnictwo cieplne, masa właściwa) w porównaniu z cząstkami tlenku aluminium (Al₂O₃). Ponadto cząstki węgla szklatego zmniejszają skurcz odlewu i zmieniają charakter jego krystalizacji. Ich mała masa właściwa (1,4 g/cm³) prowadzi do segregacji i sedymentacji w osnowie, co skutkuje pojawieniem się struktury gradientowej

w kompozycie heterofazowym. Przedstawione wyniki badań są badaniami wstępnymi i wymagają uzupełnienia. Kontynuowane badania dotyczą wpływu rodzaju, wielkości i udziału objętościowego cząstek zbrojących na proces krzepnięcia i krystalizacji kompozytów heterofazowych.

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2005-2007, projekt badawczy KBN 3 T08D 024 28

LITERATURA

- [1] J. Śleziona: *Kształtowanie właściwości kompozytów stop Al-cząstki ceramiczne wytwarzanych metodami odlewniczymi*, Z. 47, Gliwice 1994.
- [2] J. Śleziona: *Wpływ cząstek ceramicznych na krzepnięcie kompozytów Al - SiC i Al - Al₂O₃*, *Archiwum Nauki o Materiałach*, T. 16, Nr 2, 1995, s. 163-178.
- [3] D.J. Lloyd: *Solidification microstructure of particulate reinforced aluminum / SiC composites*, *Comp. Sci. Techno.*, vol. 35 (1989), s. 159-179.
- [4] M.K. Surappa: *Microstructure evolution during solidification of DRMMCs: state of art*, *Journal of Material Processing Technology* 63, (1997), s. 325-333.
- [5] B. Dutta, M.K. Surappa: *Microstructure evolution during multidirectional solidification of Al.-Cu-SiC composites*, *Composites Part A* 29A, (1998), s. 565-573.
- [6] Braszczyński J., Zyska A.: *Analysis of the influence of ceramic particles on the solidification process of metal matrix composites.*, *Materials Science. and Engineering.*, Vol. 278 A, 2000, s. 195-203.
- [7] Nagarajan S., Dutta B., Surappa M.K.: *The effect of SiC particles on the size and morphology of eutectic silicon in cast A356/SiCp composites*, *Composite Science and Technology*, Vol. 59, 1999, s. 897-902.
- [8] J.W. Garvin, H.S. Udaykumar: *Particle-solidification front dynamics using a fully coupled approach, part II: comparison of drag expressions*, *Journal of Crystal Growth* 252, (2003), s. 467-479.
- [9] M. Dyzia, A. Dolata-Grosz, J. Śleziona, J. Wieczorek: *Struktura kompozytów AK12-cząstki ceramiczne otrzymanych w różnych warunkach studzenia*, *Archiwum Odlewnictwa*, R. 1, Nr 1 (2/2), 2001, s. 88-93.
- [10] E. Fraś: *Oddziaływanie cząstek z frontem krystalizacji*, *Archiwum Odlewnictwa*, R. 6, Nr 18 (1/2), 2006, s. 339-344.
- [11] J. Braszczyński, M. Cisowska: *Próba oceny krzepnięcia kompozytów hybrydowych AlMg/SiC+Cgr*, *Krzepnięcie Metali i Stopów*, nr. 40, 1999.
- [12] J. Myalski, J. Śleziona, M. Dyzia: *Charakterystyka krzepnięcia kompozytów o osnowie aluminium zbrojonych cząstkami ceramicznymi*, *Archiwum Odlewnictwa*, R. 3, Nr 10, 2003, s. 61-66.
- [13] A. Dolata-Grosz, J. Wieczorek, J. Śleziona, M. Dyzia: *Możliwości wykorzystania technik próżniowych do podnoszenia jakości zawiesin kompozytowych*, *Archiwum Odlewnictwa*, R. 6, Nr 18 (1/2), 2006, s. 285-290.
- [14] J. Śleziona, J. Wieczorek, A. Dolata-Grosz: *Wpływ procesu odgazowania na strukturę kompozytów aluminiowych zawierających cząstki węgla szklanego i węgla krzemowego*, *Inżynieria Materiałowa* NR 3 (151), 2006, s. 665-667.

**INFLUENCE OF CERAMIC REINFORCEMENT KIND ON THE
SOLIDIFICATION PROCESS OF ALUMINUM MATRIX**

ABSTRACT

Research concerning crystallization and solidification of cast are last stage in composite suspension producing. Description and knowledge of phenomena accompanying these processes allows to forming of diversity structure of fabricated material, on which specificity depend strictly of final cast properties.

In this paper results of solidification process of research of aluminum metal matrix alloy (AK12Mg2), as well as of composites including homophase (Al_2O_3) and heterophase (Al_2O_3 + glass carbon) reinforcement were presented and compared.

Recenzował Prof. Jan Szajnar