

WPLYW ODLEWANIA ODŚRODKOWEGO NA JAKOŚĆ KOMPOZYTÓW WZMACNIANYCH CZĄSTKAMI CERAMICZNYMI I FAZAMI MIĘDZYMETALICZNYMI – ASPEKT POROWATOŚCI

Anna DOLATA-GROSZ¹, Józef ŚLEZIONA²
Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii
Katedra Technologii Stopów Metali i Kompozytów
Katowice 40-019 ul. Krasińskiego 8

STRESZCZENIE

Porowatość jest jedną z wysoce niepożądanych cech wszelkich odlewów, w tym także odlewów kompozytowych. Jednym z powodów porowatości, występującej w kompozytach odlewanych jest zagazowanie suspensji kompozytowej. Pęcherze gazowe, powstałe w czasie mechanicznego mieszania, znacząco obniżają jakość wyrobów. Ich obecność wpływa niekorzystnie między innymi na właściwości mechaniczne, a także obniża odporność korozyjną odlewów. Ponadto, zagazowanie zawiesiny, powstałe wskutek mechanicznego mieszania powoduje powstawanie aglomeratów cząstek ceramicznych. Dlatego też, dla wytworzenia odlewu kompozytowego o optymalnych właściwościach, konieczna jest jego minimalna porowatość.

W pracy przebadano wpływ odlewania odśrodkowego zawiesin kompozytowych na porowatość odlewów.

Słowa kluczowe: metalowe kompozyty odlewane, stop aluminium, cząstki ceramiczne, fazy międzymetaliczne, wady odlewów, porowatość, odlewanie odśrodkowe

Dr inż. ¹, agrosz@polsl.katowice.pl

Dr hab. inż. Profesor Politechniki Śląskiej², sleziona@polsl.katowice.pl

1. WPROWADZANIE

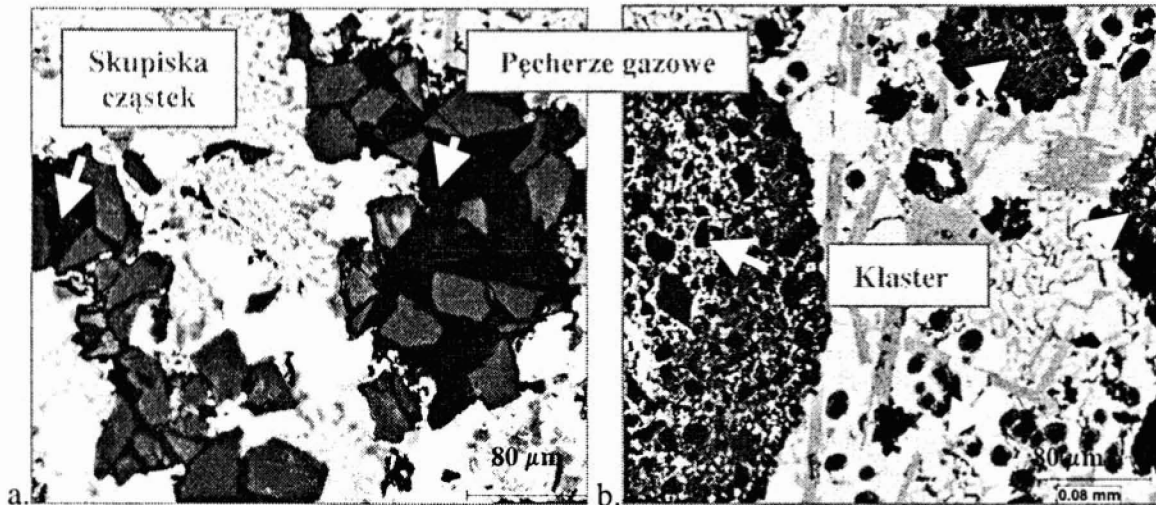
Technologie z udziałem fazy ciekłej są uprzywilejowaną pozycją wśród innych metod wytwarzania kompozytów zawdzięczają przede wszystkim wysokiej efektywności i ekonomiczności procesów. Stosując techniki odlewnicze można uzyskiwać strukturę kompozytów w różny sposób, m.in. dzięki reakcjom chemicznym zachodzącym wewnątrz kąpieli metalowej (tzw. kompozyty „*in situ*”) lub poprzez wprowadzenie zbrojenia „z zewnątrz” do ciekłego metalu (tzw. kompozyty „*in vitro*”) [1,2]. W procesach zawiesinowych, (*slurry casting*), wprowadzanie i rozprowadzanie zbrojenia w postaci cząstek ceramicznych, zarówno biernych jak i aktywnych chemicznie, do ciekłej metalowej osnowy może przyjmować różne formy. Do metod najczęściej stosowanych należy mechaniczne mieszanie komponentów (*stirring method*) [3,4]. Prostota tej metody naraża jednak na trudności w uzyskaniu jakościowo dobrych odlewów kompozytowych, których jedną z wad jest porowatość, czyli własność materiałów, polegająca na występowaniu w ich strukturze pustych przestrzeni, tzw. porów [5-9].

1.1. Wady odlewów kompozytowych w aspekcie porowatości i aglomeracji zbrojenia

Zła zwilżalność materiału ceramicznego zbrojenia przez ciekłą metalową osnowę wymaga wcześniejszego przygotowania suspensji kompozytowej przed jej zalaniem do form [1,3]. Właściwości komponentów i stosowane technologie odlewnicze powodują, że uzyskanie materiału kompozytowego, w którym nie obserwuje się porowatości i zjawisk z nią związanych (m.in. aglomeracja i niejednorodność rozkładu fazy zbrojącej), jest praktycznie niemożliwe [5-11]. Jednym ze sposobów zmniejszenia porowatości w odlewie jest prowadzenie procesu homogenizacji zawiesiny kompozytowej pod obniżonym ciśnieniem lub w próżni [4].

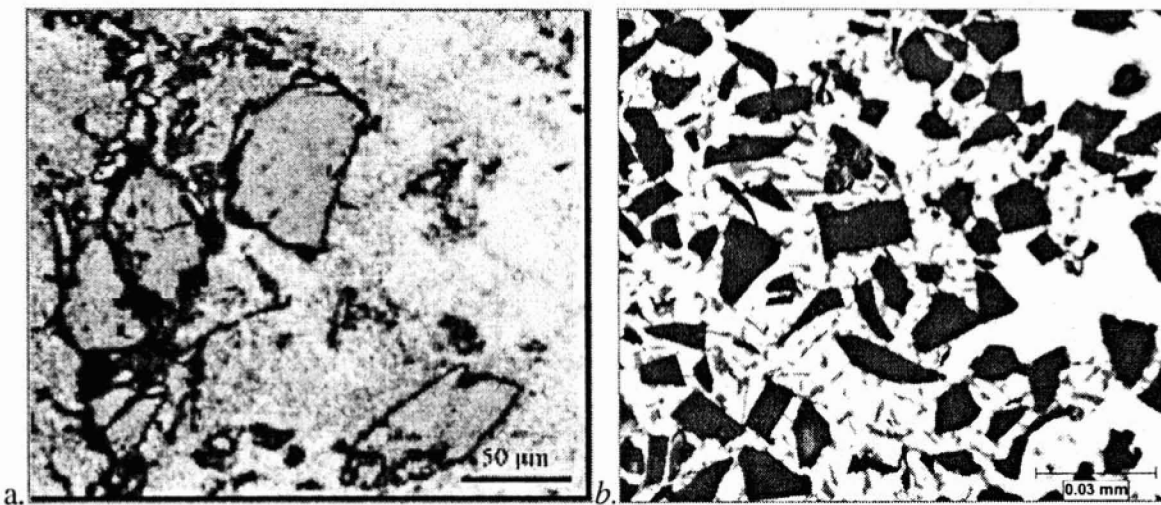
Zmiana krzywizny zwierciadła ciekłego metalu podczas mieszania i nadanie cząstkom pewnego wektora prędkości umożliwia ich wprowadzenie i dystrybucję w osnowie inicjując dodatkowo zjawiska zwilżania. Z drugiej strony, w czasie dozowania cząstek i mieszania, do kąpieli mogą zostać wprowadzone pęcherze gazowe, zarówno na skutek zaburzeń powierzchni suspensji kompozytowej (zbyt intensywne mieszanie), jak i aglomeracji pierwotnej lub wtórnej samych cząstek ceramicznych [1,2]. Aglomerację pierwotną zbrojenia, zachodzącą jeszcze przed jego wprowadzeniem do kąpieli, powodują m.in. zróżnicowanie wielkości energii powierzchniowej pojedynczych cząstek i sił Van der Waasa. W strukturze kompozytów obserwuje się wówczas aglomeraty i klastery cząstek, tworzące sieć wzajemnie połączonych porów i gazów (rys. 1a,b). Ponadto, cząstki niezwilżone przez ciecz wytwarzają pustkę gazową między sobą lub adsorbują gazy z kąpieli na swojej powierzchni i łącząc się w skupiska tworzą aglomeraty wtórne. Struktury, pokazane na rysunkach 1 i 2, charakteryzują rodzaj, kształt i sposób rozmieszczenia porowatości w kompozytach odlewanych grawitacyjnie o różnej wielkości i typie cząstek zbrojących (SiC, Al₂O₃, ilmenit - FeO·TiO₂).

Pęcherze gazowe oraz nieciągłość struktury w postaci skupisk cząstek, aglomeratów i klaserów, niezależnie od przyczyn ich powstawania, zmniejszają stabilność zawiesiny kompozytowej [6], co w konsekwencji obniża jakość odlewu i sprzyja skłonności do jego pęknięcia [8,13].



Rys. 1. Struktura kompozytów po odlewaniu grawitacyjnym z ujawnioną porowatością: a) AK12-SiC (30 μm), b) AK12-Al₂O₃ (10 μm); (badania własne) [14].

Fig. 1. Structure of composites with porosity after gravitational casting: a) AK12-SiC (30 μm), b) AK12-Al₂O₃ (10 μm); (own research) [14].



Rys. 2. Struktura kompozytu a) Al-FeO TiO₂ po procesie wytworzenia zawiesiny w temperaturze 700°C w atmosferze argonu (badania własne) [15], b) Duralcan-SiC po odlewaniu grawitacyjnym realizowanym w próżni [4].

Fig. 2. Structure of a) Al-FeO TiO₂ composite after producing by stirring method at 700°C in argon atmosphere [15], b) Duralcan-SiC after gravitational casting in vacuum [4].

Omówione, niekorzystne zjawiska stanowią ważne i trudne do rozwiązania zagadnienia w technologii wytwarzania zawiesin kompozytowych, są tematem prac podejmowanych w kraju i za granicą [5-12,16] Wprowadzanie cząstek Al_2O_3 do ciekłego aluminium poprzez zastosowanie mechanicznego mieszania, łącznie z rozpraszaniem ultradźwiękowym, zaproponował Genma wraz z współautorami [16]. Stosując oprócz mieszania dodatkowo energię ultradźwięków uzyskali w wytworzonych kompozytach wzrost jednorodności rozkładu zbrojenia, obniżenie kąta zwilżania oraz zmniejszenie porowatości gazowej. Wzbudzanie ultradźwiękowe jest jednak niezwykle trudne w realizacji na skalę produkcyjną.

Celem przeprowadzonych badań była ocena wpływu odlewania odśrodkowego na strukturę i rozmieszczenie porowatości w odlewach uzyskanych podczas odlewania zawiesiny kompozytowej do wirującej formy.

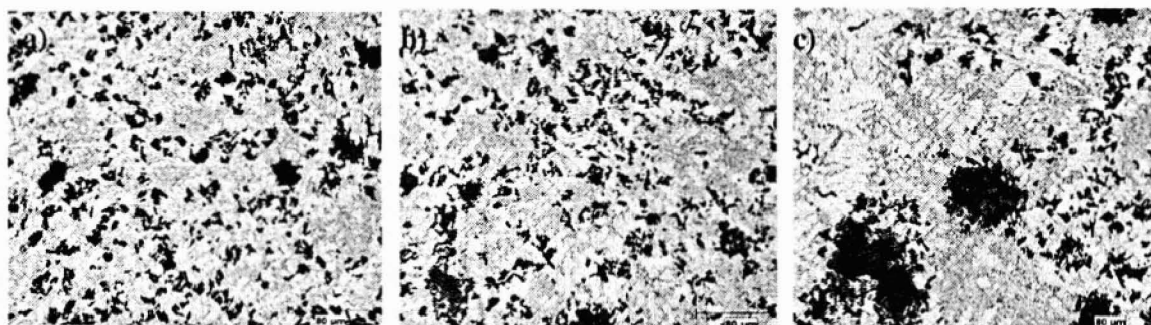
2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań stanowiły odlewy kompozytowe na osnowie stopu aluminium (AK12) z cząstkami węgla krzemu i tlenku aluminium o wielkości 10 i $30\mu m$. Zawiesiny kompozytowe o 10% udziale cząstek ceramicznych wytworzono tradycyjną metodą mechanicznego mieszania, opisaną w pracy [3]. Wlewki kompozytowe, których strukturę pokazano na rysunku 1, przetopiono a następnie odlewano do formy, o temperaturze $250^{\circ}C$, wirującej z prędkością 1500 obr/min [14]. Dla porównania wykorzystano także odlewy odśrodkowe uzyskane po przetopieniu komercyjnych wlewków kompozytowych typu Duralcan (SiC i Al_2O_3), których technologia wytwarzania zawiesiny realizowana jest w próżni oraz odlewy grawitacyjne, wytworzone na osnowie technicznie czystego Al, w gatunku A0, z reaktywnymi cząstkami ilmenitu ($FeO \cdot TiO_2$), które po wygrzaniu w temperaturze $1000^{\circ}C$ [15] odlewano do wirującej formy. Podczas odlewania odśrodkowego stosowano różne średnice form odpowiednio: 45, 60 i 100 mm. Do badań ilościowych wybrano jedynie te odlewy, których średnica zewnętrzna \varnothing_z wynosiła 60mm, a wewnętrzna \varnothing_w 40 mm

Strukturę otrzymanych materiałów badano na mikroskopie świetlnym MeF-2 firmy Reichert i elektronowym Hitachi typ S-4200, stosując odpowiednio przygotowane preparaty. Wybrane odlewy poddano ilościowym badaniom metalograficznym na komputerowym analizatorze obrazu Clemex sprzężonym z metalograficznym mikroskopem optycznym OLYMPUS PMG 3. Badania przeprowadzono w akredytowanym laboratorium Instytutu Transportu Samochodowego w Warszawie. Metodę odlewania odśrodkowego oraz procedurę pomiarową stosowaną w czasie badań ilościowych, wytworzonych kompozytów, opisano szczegółowo m.in. w pracach [14,17-19].

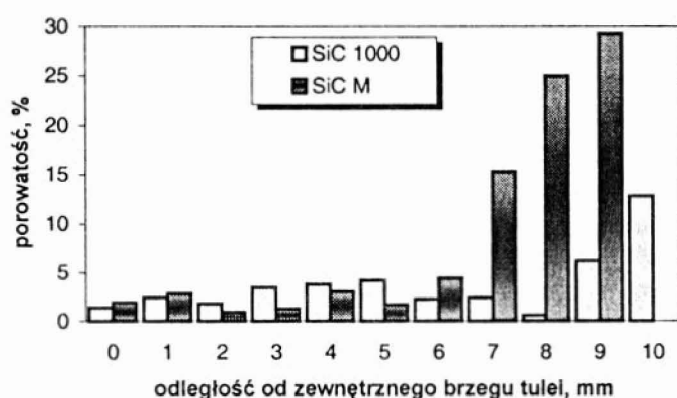
3. STRUKTURA ODLEWÓW ODŚRODKOWYCH

Typowe, wybrane fotografie struktury kompozytów uzyskanych podczas odlewania zawiesiny kompozytowej do formy wirującej z prędkością obrotową wynoszącą 1500 obr /min pokazano na rysunkach 3-6. W kompozytach, w których stosowano bierne chemicznie cząstki (rys. 3-5), uzyskano zwiększoną ich koncentrację w zewnętrznej części odlewu (do 40% V_p), co wynika z mechanizmu kształtowania się struktury kompozytowej pod wpływem działania siły odśrodkowej ($\gamma_m < \gamma_p$) [14,17]. Porowatość tych obszarów, o charakterze nielicznych pustek wokół jednorodnie rozmieszczonych cząstek, była minimalna i kształtowała się na poziomie od 1 do 3% (rys.4). Zgodnie z przeprowadzoną analizą struktury stwierdzono, że aglomeraty i klastery, skupiające zarówno cząstki jak i pęcherze gazowe powstałe podczas mieszania i krzepnięcia lokują się jedynie w obszarach wewnętrznych badanych tulei (rys.3c,5Ic,5IIc).



Rys. 3. Struktura tulei odlanej z kompozytu AK12- SiC (10 μ m): a) obszar zewnętrzny, b) obszar środkowy, c) obszar wewnętrzny.

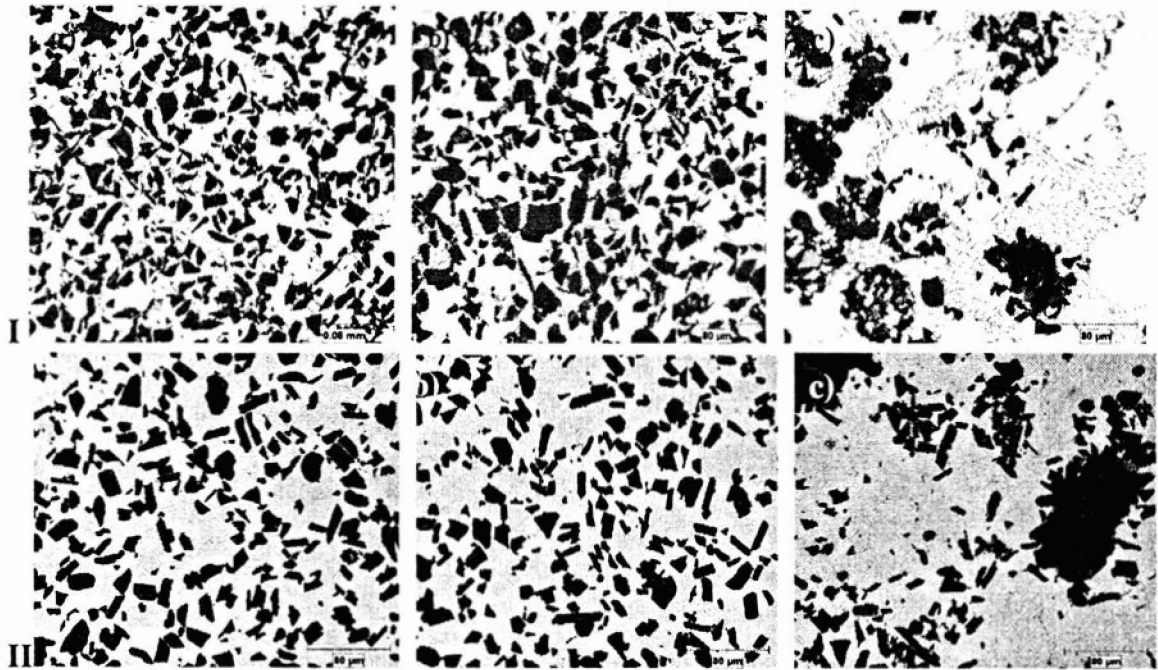
Fig. 3. Structure of AK12- SiC (10 μ m) composite sleeve: a) outside area, b) middle area, c) inside area.



Rys. 4. Zmiana porowatości na przekroju poprzecznym w tulejach kompozytowych AK12-SiC.

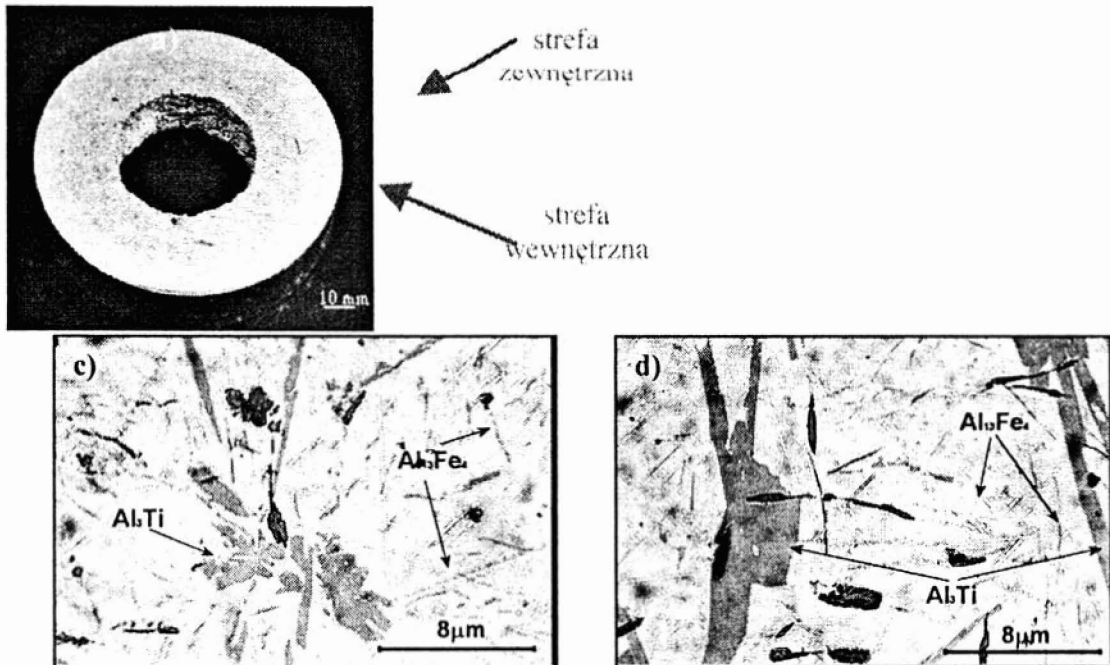
Fig. 4. Change of porosity on the cross-section in AK12-SiC composite sleeves.

Dla odlewów ośrodkowych, które wytworzono z kompozytów wzmocnionych fazami międzymetalicznymi i drobno-dyspersyjnym Al_2O_3 uzyskano strukturę gradientową (rys. 6). Udział fazy zbrojącej w odlewie wzrastał z odległością od zewnętrznej do wewnętrznej powierzchni odlewów.



Rys. 3. Struktura tulei odlanych z kompozytu: I- Duralcan-SiC i II Duralcan-Al₂O₃; a) obszar zewnętrzny, b) obszar środkowy, c) obszar wewnętrzny.

Fig. 5. Structure of: I- Duralcan-SiC and II Duralcan-Al₂O₃ cast composite sleeve: a) outside area, b) middle area, c) inside area.



Rys. 4. Struktura tulei odlanej z kompozytu Al- FeO-TiO₂.

Fig. 6. Structure of Al- FeO-TiO₂ cast composite sleeve.

Takie rozmieszczenie faz jest wynikiem stosowania odpowiednich parametrów technologii odlewania odśrodkowego. Ponadto, zgodnie z przeprowadzonymi badaniami metalograficznymi, kompozyty te były pozbawione porowatości gazowej i charakteryzowały się jednorodnością i szczelnością odlewu (rys. 6a).

4. PODSUMOWANIE

Działanie siły odśrodkowej wymusza segregację zbrojenia, co daje możliwość kształtowania warstwowej lub gradientowej struktury, wpływa również na porowatość w odlewie. Zastosowanie odlewania odśrodkowego zawiesin kompozytowych, typu stop Al-cząstki ceramiczne (SiC i Al_2O_3), wywołuje zmianę rozmieszczenia porowatości na przekroju poprzecznym wytworzonych tulei (rys.4). Aglomeraty cząstek, a także klasterki, powstałe w wyniku braku zwilżania w układzie i adsorpcji pęcherzy gazowych na powierzchni ceramiki, pod wpływem działającej siły odśrodkowej, zostają wypychane do wewnętrznej, swobodnej powierzchni metalu (rys. 3,5).

Dodatkowo odlewanie odśrodkowe jest jednym ze sposobów odgazowania zawiesiny kompozytowej. Rozwiązanie takie można wykorzystać jako etap technologiczny pozwalający na usunięcie porowatości gazowej w zawieszynie typu Al-FeO-TiO₂, uzyskanej w procesie *in-situ*, oraz kształtowanie gradientowej struktury w odlewie o minimalnej porowatości (rys.6).

LITERATURA

- [1] J. Braszczyński: Problemy technologii odlewanych kompozytów metalowych, Nowe technologie i osiągnięcia w metalurgii i inżynierii materiałowej, II Międzynarodowa sesja Naukowa, Częstochowa, Czerwiec 2001.
- [2] J. Sobczak: Kompozyty Metalowe, Wydawnictwo Instytutu Odlewnictwa i Instytutu Transportu Samochodowego, Kraków-Warszawa, 2001.
- [3] J. Ślężiona: Kształtowanie właściwości kompozytów stop Al-cząstki ceramiczne wytwarzanych metodami odlewniczymi, Z. 47, Gliwice 1994.
- [4] Dural MMC Dural Al. Composites Corporation San Diego, CA, Technical Data, May 1987.
- [5] A.M. Samuel, A. Gotmare, F.M. Samuel: Effect of solidification rate and metal feedability on porosity and $\text{SiC}/\text{Al}_2\text{O}_3$ particle distribution in an Al-Si-Mg (359) alloy, Composites Science and Technology, 1995, vol. 53, p. 301-315.
- [6] R. Asthana: Stability of Heterogeneous Particle at Fluid Interface in Composite Slurries, Science Metallurgical at Materialia, 1993, vol. 29, p. 1261.
- [7] S. Yotte, D. Breyse, J. Riss, S. Ghosh: Cluster characterization in a metal matrix composite, Materials Characterization, 2001, vol. 46, p. 211-219.
- [8] C. Tekmen, I. Ozdemir, U. Cocen, K. Onel: The mechanical response of Al-Si-Mg/SiCp composite: influence of porosity, Materials Science and Engineering, 2003, A 360, p. 365-371.
- [9] J. Grabian, K. Gawdzińska, J. Jackowski, M. Szweycer: Gas porosity in the castings made of saturated metal composites, Acta Metallurgica Slovaca 3/2001.7, s. 353-359.
- [10] J. Jackowski: Okluzje gazowe w odlewanych kompozytach nasycanych, Kompozyty (Composites) 2 (2002) 4, s. 180-184.
- [11] A. Dolata-Grosz, J. Ślężiona: Identyfikacja porowatości w kompozytach typu stop Al-cząstki ceramiczne wytwarzanych metodą odlewania odśrodkowego, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, 2004, w druku.

- [13] A. Bochenek, K. Braszczyńska: Proces pęknięcia kompozytu miedziowego umacnianego cząstkami węgla krzemu, VI Konferencja Mechaniki Pęknięcia, ZN Politechniki Świętokrzyskiej, Mechanika 62, s. 59-68.
- [14] A. Dolata-Grosz: Kształtowanie struktury kompozytów Al.-cząstki ceramiczne w procesie odlewania odśrodkowego, Rozprawa Doktorska, Politechnika Śląska, Katowice 2002.
- [15] J. Śleziona, M. Dyzia, J. Wieczorek: Kompozyty zbrojone fazami międzymetalicznymi wytwarzane metodą In-situ z wykorzystaniem FeO·TiO₂, Kompozyty (Composites) 3 (2003) 8, s. 402-406.
- [16] Y. Genma, Y. Tsunekawa, M. Okumiya, N. Mohri: Incorporation of Alumina Particles with Different Shapes and Sizes into Molten Aluminum Alloy by Melt Stirring with Ultrasonic Vibration, Mat. Trans., JIM, Vol. 38, No. 3, 1997, pp. 232-239.
- [17] J. Śleziona., I. Hyla, A. Dolata-Grosz, G. Urantówka, Wieczorek J.: Odlewy kompozytowe o warstwowym rozmieszczeniu zbrojenia, Inżynieria Materiałowa, 1999, nr 3-4, s.158-162.
- [18] A. Dolata-Grosz, J. Śleziona, J. Wieczorek, M. Dyzia: Structure and functional quality properties of composites sleeves obtaining by centrifugal casting”, Acta Metallurgica Slovaca, vol. 8, 2/2002, p. 283-288.
- [19] A. Dolata-Grosz, J. Śleziona: Czynniki determinujące kształtowanie struktury w kompozytach Al.-cząstki ceramiczne w procesie odlewania odśrodkowego, Inżynieria Materiałowa 6/2003, s. 613-616.

THE INFLUENCE OF CENTRIFUGAL CASTING ON THE QUALITY OF ALUMINUM COMPOSITES REINFORCED WITH CERAMIC PARTICLES AND INTERMETALIC PHASES - POROSITY ASPECT

ABSTRACT

Porosity is one of the highly unwanted characteristics in any castings, included of casts composite, too. One of the reasons occurring in cast composites is suspension gassing. Gas porosity is probably one of the biggest problems in composites production with the liquid metal matrix, especially in slurry casting method. During the course of mixing the gases cavity can be introduced into the melt. Gaseous inclusions present in the over volume matrix, independently of the reason there are formation, decrease products quality significantly. Its presence, among other things, can be detrimental to the mechanical properties and corrosion resistance of the casts. Moreover, gassing of the suspended matter, being an effect of mechanical mixing, causes the formation of ceramic particles agglomerates. Porosity levels must therefore be kept to a minimum in order to produce sound composite castings with optimum properties.

In this work the influence of centrifugal casting method on porosity in composite casts have been investigations.

Key words: metal cast composites, aluminum matrix, ceramic particles, intermetallics, cast defects, porosity, centrifugal casting.

Recenzował prof. Zdzisław Samsonowicz