

Anna Dolata-Grosz¹, Józef Śleziona², Jakub Wieczorek³, Maciej Dyzia⁴

Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej, Metalurgii i Transportu, ul. Krasińskiego 8, 40-019 Katowice

STRUKTURA STREFOWA KOMPOZYTÓW AK12- Al_2O_3 I AK12-SiC KSZTAŁTOWANA W PROCESIE ODLEWANIA ODŚRODKOWEGO

Przedstawiono możliwości wytwarzania struktury strefowej kompozytów uzyskanej podczas odlewania zawiesiny kompozytowej do form wirujących. Przeprowadzone badania na mikroskopie świetlnym NEOPHOT 32 pozwoliły na określenie procentowego rozkładu powierzchniowego cząstek ceramicznych na promieniu odśrodkowo odlanych tulei kompozytowych AK12- Al_2O_3 i AK12-SiC. Z analizy otrzymanych wykresów, obrazujących udziały powierzchniowe cząstek ceramicznych w osnowie stopu aluminium na przekroju tulei, wynika, że podczas odlewania kompozytów do wirującej formy działająca siła odśrodkowa umożliwia uzyskanie do 40% udziału zbrojenia ceramicznego w warstwach przypowierzchniowych.

LAYERED STRUCTURE OF AK12- Al_2O_3 AND AK12-SiC COMPOSITES FORMED BY THE CENTRIFUGAL CASTING

Layered reinforcing of cast compositions, which is the subject of this article allows to receive good combination of special useful properties of reinforced areas with expected mechanical properties of regions, which do not possess ceramic particles. The formation of banded structure to the take possible different technology, as well during traditional gravity casting. Here, the gradient is controlled mainly by the difference in density between the matrix and the particle materials and by the solidification. One of the solutions that enable increasing the quantity of the reinforcement in superficial regions is centrifugal casting. This technology makes possible forming the structure of the materials any reinforcement distribution. Centrifugal force applied to a mixture of molten metal any ceramic particle compounds, leads to the formation of a desired composition gradient. Here, the particle concentration's gradient is depended by the much-differed variables such as: rotational speed centrifugal form, particle volume fraction, and reinforcement granulation's as well crystallization conditions. etc.

In the article is presented the banded structure of the composite AK12- Al_2O_3 and AK12-SiC that was obtained by the centrifugal casting. In this process was applied four rotational speeds: 750, 1000, 1500 and 3000 r.p.m. Reinforcement alumina and silicon carbide particles were used at 30, 50 and 100 μm size. For aluminum matrix three particles volume fraction 5%, 10% and 15% was applied.

The macrostructure's reinforcement arrangement of composites obtaining after centrifugal casting has been shown in Figure 1. The schematic displacement rich zone of ceramic particles has been shown in Figure 2. The microstructure of the studied composite shows banded structure (Fig. 2) that obtained was by the centrifugal casting. After this process in sleeves casting another reinforcement displacement on the thickness, uniform and lamellar - internal zone (Fig. 2a) and external zone (Fig. 2b) was observed.

WPROWADZENIE

Różnorodność kompozycji możliwych do uzyskania w układzie aluminium-ceramika w zasadniczy sposób wpływa na strukturę i własności użytkowe materiału finalnego, a w konsekwencji na ich zastosowanie. Cząstki ceramiczne jako faza zbrojąca są zwykle wprowadzane do osnowy w celu polepszenia jej własności wytrzymałościowych. Z punktu widzenia aplikacji nie zawsze jednak wytrzymałość kompozytów odgrywa ważniejszą rolę. W wielu przypadkach dąży się do uzyskania materiałów o szczególnych, niekonwencjonalnych własnościach fizycznych, dużej odporności na ścieranie, wysokiej twardości, dobrych własnościach ślizgowych czy zwiększonej plastyczności. Przykładem mogą stanowić tutaj materiały stosowane na elementy części maszyn (łożyska, koła zębate), silników spalinyowych (tłoki, wały korbowe), sprzężarek, wymienniki

ciepła czy też łopatki wentylatorów, w których istotnymi parametrami wpływającymi na jakość i czas eksploatacji są: odpowiednia twardość i sztywność (w różnych stanach obciążeń), odporność na zużycie oraz niska ścieralność tych materiałów, a także możliwość pracy w podwyższonej i zmiennej temperaturze, odporność na korozję przy zachowaniu tendencji do zmniejszenia masy właściwej wyrobu. Stąd prawidłowo zaprojektowany i kontrolowany proces technologiczny winien zapewnić możliwość kształtowania założonego kompleksu właściwości, jakie powinien spełniać gotowy wyrób kompozytowy. Wybór odpowiedniej technologii wytwarzania kompozytów wpływa bezpośrednio na rozkład zbrojenia, a tym samym na rodzaj i własności uzyskiwanej struktury.

¹ mgr inż., ² dr hab. inż., ³ mgr inż., ⁴ mgr inż.

Zbrojenie strefowe odlewów kompozytowych, które jest tematem niniejszego artykułu, pozwala na połączenie wysokich właściwości użytkowych obszarów zbrojonych z dobrymi właściwościami mechanicznymi obszarów niezawierających wzmocnienia ceramicznego. Może być ono realizowane między innymi na drodze zalewania w formie odlewniczej wkładek kompozytowych [1, 2] bądź też nadlewania warstw kompozytowych na wybrane powierzchnie odlewu. Formowanie się struktury warstwowej można uzyskać również podczas tradycyjnego odlewania grawitacyjnego, gdzie kształtująca się struktura warstwowa kontrolowana jest głównie poprzez różnicę gęstości pomiędzy zastosowaną osnową a cząstkami zbrojącymi, jak również poprzez kontrolowane sterowanie procesem krzepnięcia i krystalizacji zawiesiny kompozytowej [3, 11].

Alternatywnym rozwiązaniem umożliwiającym powstawanie pożądanej struktury strefowej jest odlewanie odśrodkowe zawiesiny kompozytowej [4-7]. Stosowana siła odśrodkowa przyczynia się do formowania warstw. Uzyskiwany gradient stężenia cząstek ceramicznych na grubości odlanych tulei jest wynikiem wielu zmiennych, co zostało opisane we wcześniejszych publikacjach własnych [8-11].

CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Analizę rozmieszczenia cząstek w osnowie, jak i obserwację struktury uzyskanych warstw przeprowadzono dla kompozytu na osnowie stopu AK12 zbrojonego cząstkami Al_2O_3 i SiC otrzymanego na drodze odlewania odśrodkowego [4, 5]. Podczas odlewania tulei kompozytowych zastosowano następujący zakres zmienności parametrów technologicznych:

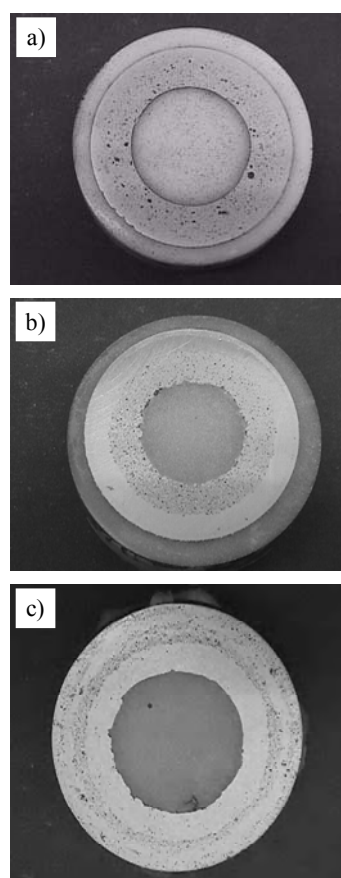
- cztery prędkości obrotowe formy odlewniczej:
I - 750 obr/min, II - 1000 obr/min, III - 1500 obr/min, IV - 3000 obr/min
- różną średnicę wewnętrzną form: 38 mm, 46 mm, 60 mm,
- trzy różne udziały objętościowe cząstek ceramicznych: 5%, 10% oraz 15%,
- trzy wielkości cząstek ceramicznych odpowiednio: 15 μm , 30 μm , 50 μm ,
- odlano również mieszaninę kompozytową zawierającą w swej objętości trzy różne wielkości cząstek (30 μm , 50 μm , 100 μm) dla korundu i węgla krzemowego po 1/3.

Badania pozwalające na wyznaczenie procentowego powierzchniowego rozmieszczenia cząstek w otrzymanych odśrodkowo tulejach kompozytowych AK12- Al_2O_3 i AK12-SiC przeprowadzono na mikroskopie świetlnym typu NEOPHOT 32 sprzężonym z kamerą i komputerem. Analiza obrazu dokonana na wybranym polu została wykonana dla 13 punktów pomiarowych, odległych od siebie o 1 mm, znajdujących się wzdłuż promienia tulei. Pierwszy punkt pomiarowy usytuowany

był przy zewnętrznej krawędzi tulei, a ostatni punkt znajdował się przy jej wewnętrznej powierzchni. Takie usytuowanie punktów pomiarowych pozwoliło na uzyskanie wykresów określających procentową zmianę koncentracji cząstek ceramicznych na promieniu tulei kompozytowych (rys. rys. 3 i 4).

ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

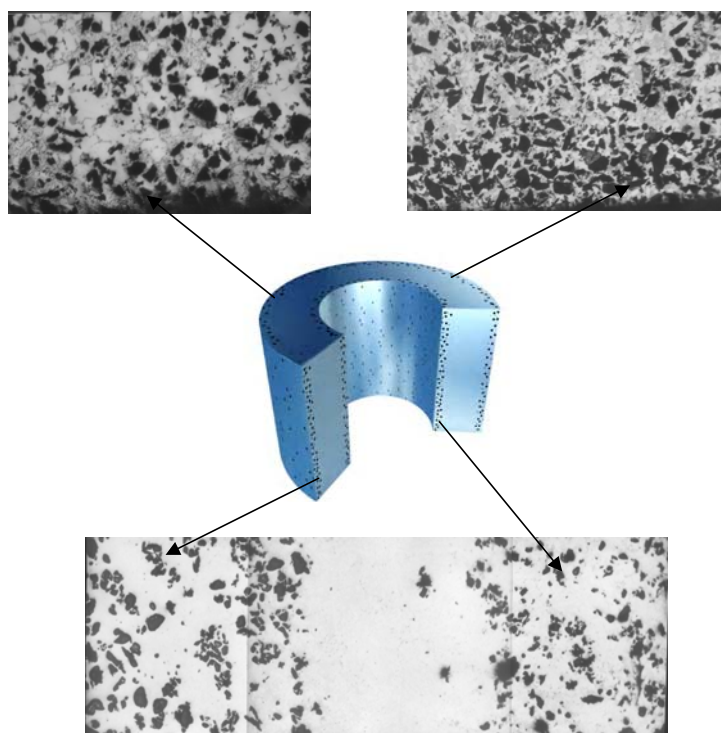
Zastosowane parametry odlewania umożliwiają uzyskanie trzech wariantów rozmieszczenia cząstek zbrojenia na przekroju tulei: równomiernego rozmieszczenia (rys. 1a), rozmieszczenia z zewnętrzną strefą zbrojoną (rys. 1b), jak i wewnętrzną (rys. 1c).



Rys. 1. Rozmieszczenie zbrojenia ceramicznego na grubości odlanych tulei kompozytowych

Fig. 1. Distribution of ceramic reinforcement on the thickness composites the sleeves

Stosując odlewanie odśrodkowe kompozytów, uzyskano również warstwowe rozmieszczenie cząstek na przekroju tulei. Analiza mikrostruktury, jak również badania rozmieszczenia zbrojenia na grubości tulei ujawniły dwie warstwy: zewnętrzną i wewnętrzną, co pokazano na rysunku 2. Efekty takiego rozmieszczenia zbrojenia zależą od prędkości obrotowej formy, co ilustruje wykres zbiorczy, przedstawiający procentowe udziały

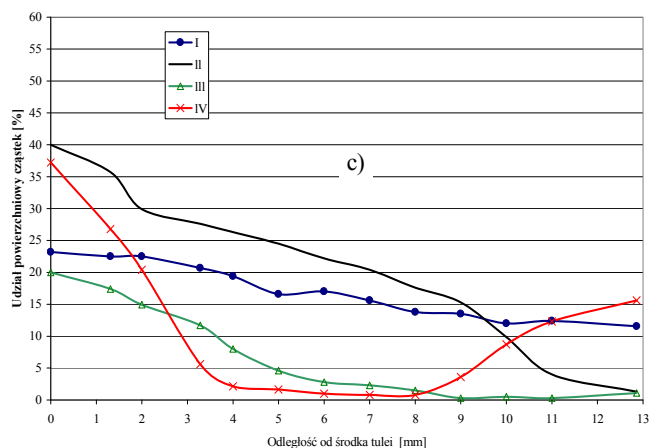


Rys. 2. Schemat struktury dwuwarstwowej na przekroju tulei kompozytowej: AK12-Al₂O₃, (30, 50, 100 μm, 3000 obr/min): a) struktura warstwy zewnętrznej, pow. 100x, b) struktura warstwy wewnętrznej, pow. 100x, c) struktura rozmieszczenia cząstek na przekroju tulei, pow. 63x

Fig. 2. The layered structure in the cross section of the composite sleeve: AK12-Al₂O₃ (30, 50, 100 μm, 3000 r.p.m.): a) structure of the outer layer, mag. 100x, b) structure of the internal layer, mag. 100x, c) structure of distribution of particles in the sleeve, mag. 63x

powierzchniowe cząstek zbrojących, uzyskane na grubości ścianki kompozytów odlewanych przy różnych prędkościach obrotowych formy wirującej (rys. 3).

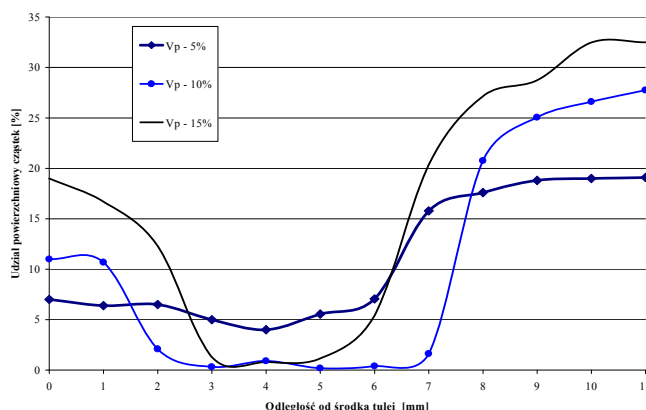
Przeprowadzona a a) iza powierzchniowego rozkładu cząstek elektrokorundu i węgla krzemowego wskazuje, iż mała prędkość obrotowa (750 obr/min) nie zapewnia warstwowego rozmieszczenia cząstek na przekroju poprzecznym tulei. Warstwowe rozmieszczenie zbrojenia z zewnętrzną strefą zbrojoną pojawia się przy prędkościach wirowania 1500 obr/min. Przy prędkościach wirowania formy 3000 obr/min pojawia się warstwa wewnętrzna o stosunkowo dużej porowatości, co ujawniono podczas badań mikrostruktury.



Rys. 3. Udział powierzchniowy cząstek zbrojących w tulejach kompozytowych AK12-SiC odlewanych przy różnych prędkościach formy wirującej (I - 750, II - 1000, III - 1500, IV - 3000 obr/min)

Fig. 3. Superficial reinforcement concentration in AK12-SiC composite sleeves obtained at different rotational speed of centrifugal casting mould (I - 750, II - 1000, III - 1500, IV - 3000 r.p.m.)

Wykonana analiza rozmieszczenia zbrojenia na promieniu tulei wykazała, że, zgodnie z prawem Stokesa, duże znaczenie na rozkład cząstek w odlewie kompozytowym ma prędkość obrotowa formy oraz wielkość cząstek zbrojących. Dla mniejszych prędkości wirowania (1000 obr/min) rozmieszczenie zbrojenia jest najczęściej warstwowe z obecnością warstwy zewnętrznej i zmniejszającym się stężeniem cząstek do wewnętrznej części tulei. Zastosowanie dużej prędkości wirowania (3000 obr/min) prowadzi do powstawania dwu warstw: zewnętrznej i wewnętrznej.



Rys. 4. Udział powierzchniowy zbrojenia w tulejach kompozytowych AK12- Al_2O_3 odlewanych do formy z prędkością obrotową wynoszącą 3000 obr/min z różnym udziałem objętościowym cząstek (5, 10 i 15%)

Fig. 4. Superficial reinforcement concentration in AK12- SiC composite sleeves obtained at 3000 r.p.m. with different particles volume fraction (5, 10, 15%)

Przy zachowaniu odpowiednio dobranych parametrów procesu odlewania odśrodkowego uzyskano w odlewach strefowy wzrost stężenia wprowadzonych cząstek, nawet do 40% w obszarach przypowierzchniowych. Uzyskanie takiego udziału ceramiki w stopie aluminium nie jest możliwą drogą klasycznego odlewania, np. metodą mechanicznego mieszania i odlewania. Zgodnie z wcześniejszymi badaniami [4], a także bazując na zebranej literaturze, stop zawierający powyżej 15% cząstek charakteryzuje się słabą lejnnością związaną ze wzrostem lepkości, co praktycznie uniemożliwia odlanie zawiesziny do formy. Konieczne jest wówczas stosowanie specjalnych technik wytwarzania (prasowania lub odlewania pod wysokim ciśnieniem).

Porównano rozmieszczenie zbrojenia dla kompozytów o różnym udziale objętościowym cząstek ceramicznych odpowiednio 5, 10, 15% (rys. 4). Okazało się, że przy zastosowaniu tych samych parametrów odlewania mechanizm powstawania struktur przebiega podobnie, stąd już 5% udział objętościowy zbrojenia w osnowie pozwala uzyskać strefowe rozmieszczenie cząstek na promieniu tulei kompozytowej. Różnica polega jedynie na różnej grubości powstałych warstw zbrojonych. Efekt ten pozwala na zmniejszenie udziału objętościowego zbrojenia w osnowie aluminiowej, co jest korzystne z punktu widzenia technologii wprowadzania [12].

PODSUMOWANIE

Zastosowanie odlewania odśrodkowego pozwala kształtować strukturę strefową kompozytów. Analiza makro- i mikrostruktury warstw powstałych podczas wytwarzania oraz badania rozmieszczenia cząstek zbrojących w osnowie wskazują na złożoność procesu tworzenia się gradientu stężenia cząstek w osnowie stopu AK12. W niektórych odlewach pojawia się również oprócz strefy wewnętrznej i zewnętrznej strefa środkowa.

Mechanizm powstawania warstw wewnętrznych w tulejach odlanych przy dużej prędkości wirowania formy może być związany z dużym ciśnieniem wywieranym przez ciekły metal na zakrzepły stop i odpychaniem cząstek od frontu krystalizacji. Tym sposobem cząstki gromadzą się w wewnętrznej części tulei. Pojawiające się w strefach wewnętrznych pęcherze gazowe wynikają ze zbyt dużej prędkości chłodzenia. Zjawiska takiego dla tych samych obrotów nie stwierdzono w przypadku tulei o średnicy 100 mm i grubości ścianki 15 mm.

Wewnętrzna część tulei charakteryzuje się bowiem dużą porowatością, będącą wynikiem wpychania przez siłę

odśrodkową ciekłego metalu do strefy krzepnięcia (rys. 2). Jednak w pewnych zastosowaniach, np. w węzłach tribologicznych pracujących ze smarowaniem, pory te mogą stać się naturalnymi zasobnikami na środek smarny.

Praca zrealizowana w ramach grantu promotorskiego nr PBU-112/RM6/2001.

LITERATURA

- [1] Sobczak J., Perspektywy rozwoju metalowych kompozytów w przemyśle samochodowym, Przegląd Odlewnictwa 1999, 4.
- [2] Tomczyński S., Zbrojone strefowo odlewy kompozytowe, Przegląd Odlewnictwa 1999, 8-9.
- [3] Braszczyński J., Problemy technologii odlewanych kompozytów metalowych, Nowe technologie i osiągnięcia w meta-lurgii i inżynierii materiałowej, Częstochowa, czerwiec 2001, 11-19.
- [4] Sui Xiandong, Luo Chemping, Luo Zhuoxuan, Ouyang Liuzhang, The Fabrication and properties of particle reinforced cast metal matrix composites, Journal of Materials Processing Technology 1997, 63, 426-431.
- [5] Gao J.W., Wang C.Y., Modeling the solidification of functionally graded materials by centrifugal casting, Materials Science and Engineering 2000, A292, 207-215.
- [6] Kim J.K., Rohatgi P.K., Interaction between moving cellular solidification front and graphite particles during centrifugal casting, Materials Science and Engineering 1998, A244, 168-177.
- [7] Watanabe Y., Hiroyuki E., Matsuura K., Evaluation of three-dimensional orientation of Al_3Ti plated in Al.-based functionally graded materials fabricated by a centrifugal casting technique, Acta Mater. 2001, 49, 775-783.
- [8] Górny Z., Odlewanie w formach wirujących, WNT, Warszawa 1966.
- [9] Posmyk A., Śleziona J., Grosz A., Wieczorek J., Reibungs- und Schmierungsverhalten von Aluminium - legierungen mit einem verstärkten Oberflächenbereich, Technische Akademie Esslingen, 12th International Colloquium January 11-13, 2000, Tribology 2000 - Plus.
- [10] Śleziona J., Grosz A., Wieczorek J., Centrifugal casting of the aluminium alloy - Al_2O_3 particle composites, II Cast Composites Conference'98, Polonica Zdrój 1998.
- [11] Śleziona J., Grosz A., Wieczorek J., Wytwarzanie odlewów zbrojonych warstwowo cząstkami Al_2O_3 , IV Międzynarodowa konferencja nt. Zjawiska powierzchniowe w procesach odlewniczych, Poznań-Koło-brzeg 1998.
- [12] Śleziona J., Kształtowanie właściwości kompozytów stop aluminium-cząstki ceramiczne wytwarzanych metodami odlewniczymi, z. 47, Gliwice 1994.

Recenzent
Jerzy Sobczak

