Solidification of Metals and Alloys, No.31, 1997
Krzepnięcie Metali i Stopów, Nr 31, 1997
PAN - Oddział Katowice; PL ISSN 0208-9386

MIROSŁAW CHOLEWA*, JÓZEF GAWROŃSKI**

MORFOLOGIA CZĄSTEK ZBROJĄCYCH Al_2O_3 I SiC W ODLEWANYCH KOMPOZYTACH ODPORNYCH NA ZUŻYCIE

W opracowaniu przedstawiono opis postaci geometrycznej cząstek zbrojących Al_2O_3 i SiC. Dokonano ich porównania pod względem wpływu na własności użytkowe i technologiczne odlewów kompozytowych.

1. WPROWADZENIE

W odlewanych kompozytach zbrojonych cząstkami przebieg procesu krystalizacji i krzepnięcia wpływa na właściwości eksploatacyjne kompozytu a także stwarza konieczność precyzyjnego wyznaczenia elementów technologii takich jak: budowa układu zasilającego, dobór materiałów formierskich kształtujących ruch ciepła w układzie odlew-forma-otoczenie itp. Materiały odporne na zużycie o dużym współczynniku tarcia, będące przedmiotem opracowania, można tworzyć posługując się różnymi cząstkami zbrojącymi. W prezentowanych badaniach poddano analizie cząstki kompozytu o osnowie eutektycznego stopu Al-Si zbrojonego korundem lub karborundem. Wpływ tych cząstek na właściwości kompozytu jest zbliżony a występujące różnice wynikają z odmienności ich cech geometrycznych i termofizycznych. Postać geometryczna cząstek jest jednym z czynników kształtujących proces krystalizacji kompozytu.

2. GEOMETRYCZNA ANALIZA CZĄSTEK ZBROJĄCYCH

Badania przeprowadzono za pomocą zestawu do analizy ilościowej - „Magiscan 2" złożonego z komputera i sprzężonego z nim mikroskopu optycznego firmy „Joyce-Loebl". Badane frakcje cząstek: 120, 150, 180 odpowiadały ziarnistościom średnim kolejno: 115, 97, 81 μm. Dokonano pomiarów i rejestracji:

---

* dr inż. - Katedra Odlewnictwa Pol. Śl. Gliwice
** prof. zw. dr inż. - Katedra Odlewnictwa Pol. Śl. Gliwice

- maksymalnej powierzchni rzutu cząstki na płaszczyznę,
- charakterystycznych - maksymalnych wymiarów cząstek, które nazwano umownie: „długość" i „szerokość" oraz
- obwodu rzutu cząstki na płaszczyznę pomiarową.

Wymienione wielkości rejestrowano w wartościach: minimalnych, maksymalnych, jako ich sumy oraz wyznaczano wartości średnie. Przeciętna liczba analizowanych obiektów była równa 18 w trzech polach pomiarowych dla każdej frakcji. Na podstawie wyników pomiarów sporządzono zależności w formie wykresów , które opisują:

- pole powierzchni rzutu cząstki,
- obwód,
- długość,
- szerokość,
- stosunek pola powierzchni do obwodu oraz
- stosunek długości cząstki do jej szerokości;

(wszystkie wykresy sporządzono w funkcji zmiennej frakcji cząstek).

Przykładowo na rys. 1. pokazano wartości „szerokości", na rys. 2. długości obwodów oraz na rys. 3. stosunki „długości" do „szerokości" cząstek Al_2O_3 i SiC dla poszczególnych frakcji.

Rzut cząstki na płaszczyznę daje obraz jej maksymalnego przekroju i obwodu. Taki sposób analizy wskazuje także na zależność między objętością cząstki a jej zewnętrzną powierzchnią całkowitą. Jest to analogia do pojęcia modułu krzepnięcia węzła cieplnego. Ponadto daje to obraz proporcji między siłami wyporu a siłami oporu ruchu wywołanymi lepkością ciekłej osnowy. Im mniejsze cząstki o bardziej rozwiniętej powierzchni tym mniej są podatne na segregację w krzepnącym kompozycie. Powierzchnia rozwinięcia cząstek zbrojących ma wpływ na przebieg procesu heterogenicznego zarodkowania kompozytu.

Porównanie wyników pomiarów pola powierzchni „P" cząstek SiC i Al_2O_3 wskazuje na większe zróżnicowanie powierzchni cząstek SiC. Stosunek uśrednionych powierzchni poszczególnych frakcji wynosi:

$$\frac{P_{SiC\text{-}120}}{P_{SiC\text{-}150}} = 2.09\,; \quad \frac{P_{SiC\text{-}150}}{P_{SiC\text{-}180}} = 1.94\,;$$

$$\frac{P_{Al2O3\text{-}120}}{P_{Al2O3\text{-}150}} = 1.43\,; \quad \frac{P_{Al2O3\text{-}150}}{P_{Al2O3\text{-}180}} = 1.10\,.$$

Większym zróżnicowaniem „długości" i „szerokości" cechują się cząstki SiC w stosunku do cząstek Al_2O_3. Stosunki uśrednionych „długości" wynoszą:

$$\frac{D_{SiC120}}{D_{SiC150}} = 1.40; \quad \frac{D_{SiC150}}{D_{SiC180}} = 1.36;$$

$$\frac{D_{Al203-120}}{D_{Al203-150}} = 1.21; \quad \frac{D_{Al203-150}}{D_{Al203-180}} = 1.08 .$$

Stosunki uśrednionych „szerokości" są równe:

$$\frac{S_{SiC120}}{S_{SiC150}} = 1.36; \quad \frac{S_{SiC150}}{S_{SiC180}} = 1.57;$$

$$\frac{S_{Al203-120}}{S_{Al203-150}} = 1.22; \quad \frac{S_{Al203-150}}{S_{Al203-180}} = 1.13 .$$

Także pod względem uśrednionego obwodu „O" cząstki SiC wykazują większe zróżnicowanie. Odpowiednie stosunki obwodów poszczególnych funkcji wynoszą:

$$\frac{O_{SiC120}}{O_{SiC150}} = 1.36; \quad \frac{O_{SiC150}}{O_{SiC180}} = 1.50;$$

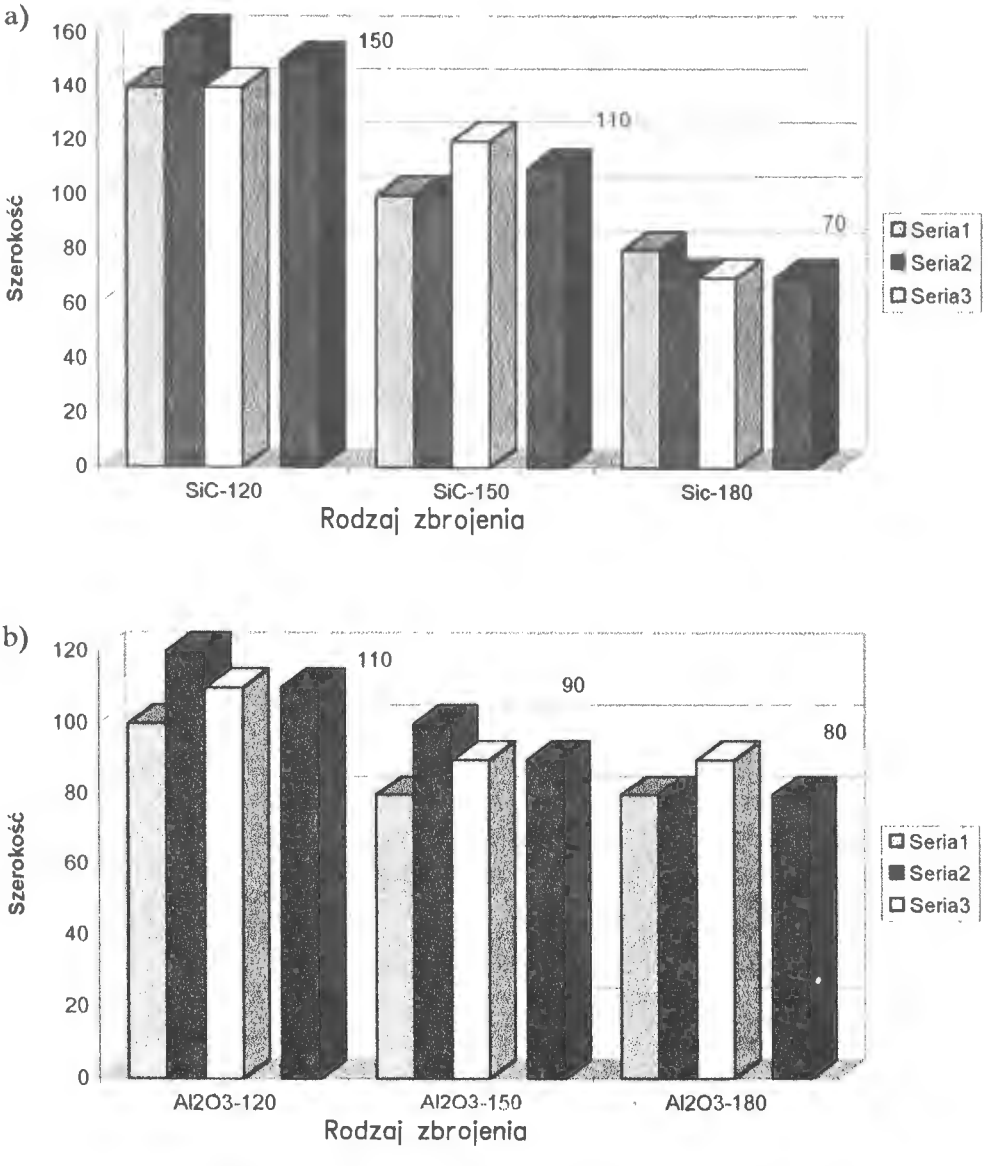
$$\frac{O_{Al203-120}}{O_{Al203-150}} = 1.19; \quad \frac{O_{Al203-150}}{O_{Al203-180}} = 1.06 .$$

Szczególnie interesujący wynik uzyskano porównując proporcje między „długością" a „szerokością" cząstek SiC i Al_2O_3 w poszczególnych frakcjach. Cząstki SiC niezależnie od ziarnistości wykazują niezmienny stosunek wartości średnich długości do szerokości równy:

$$\frac{D_{SiC}}{S_{SiC}} = 1.43$$

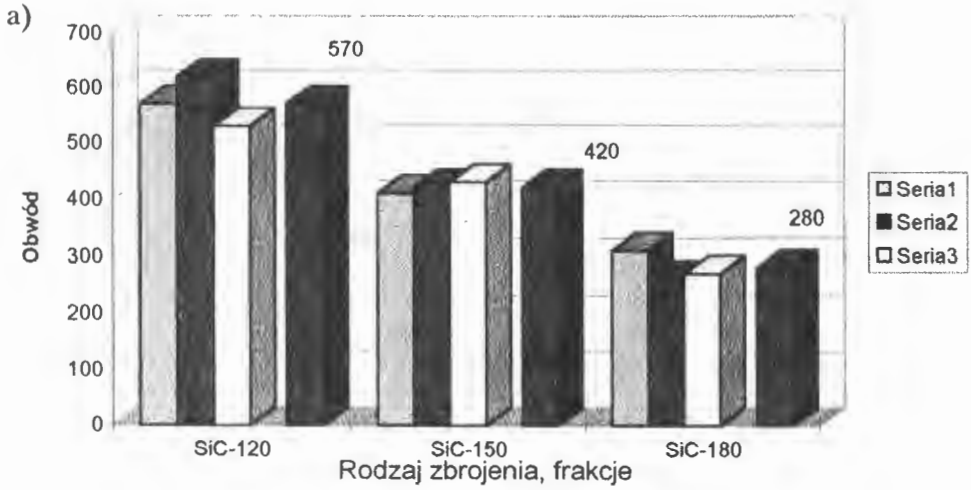
Niewiele zmienia się ten stosunek w cząstkach Al_2O_3 przyjmując dwie wartości:

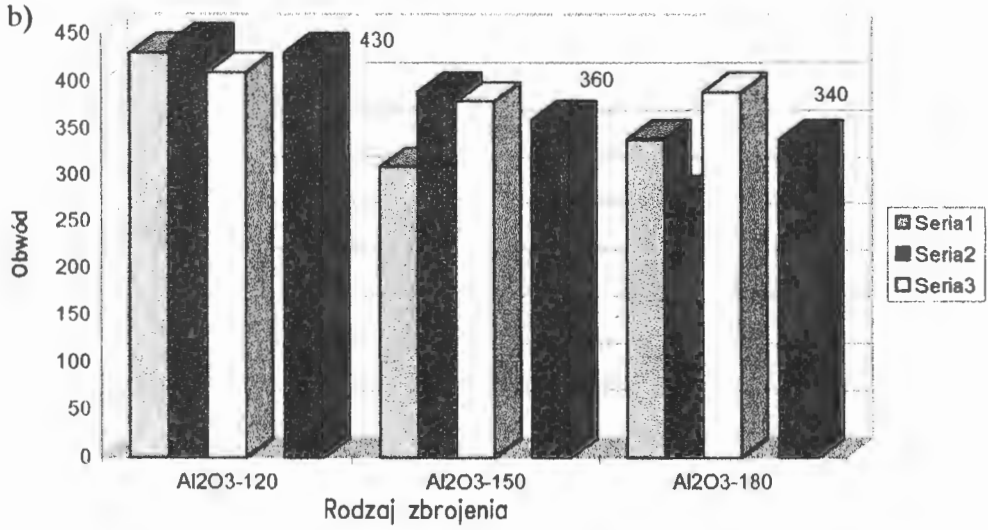
$$\frac{D_{Al203}}{S_{Al203}} = 1.53 \cup 1.57.$$



Rys. 1. Szerokość cząstek zbrojących w zależności od ich ziarnistości: a) SiC, b) Al_2O_3

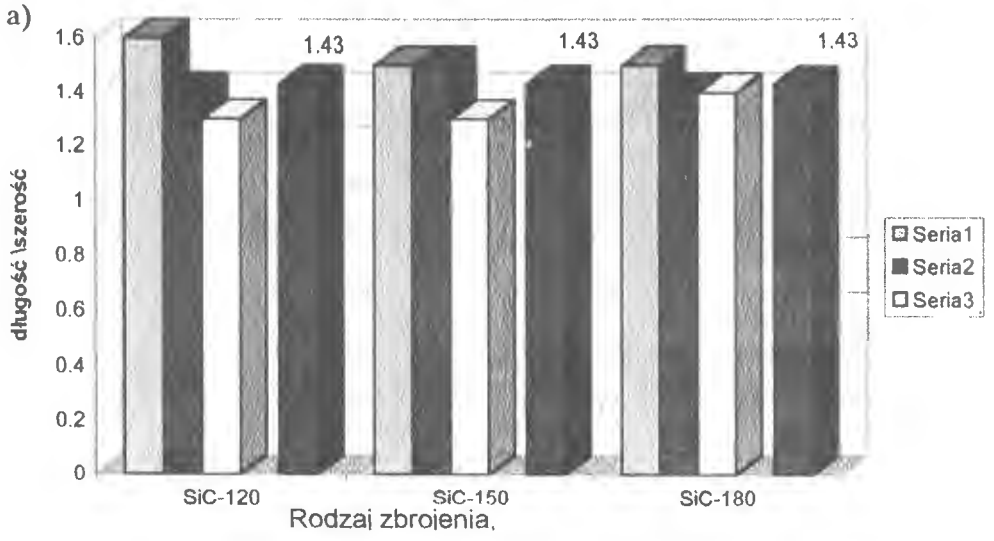
Fig. 1. Relation between granularity and width of particles: a) SiC, b) Al_2O_3

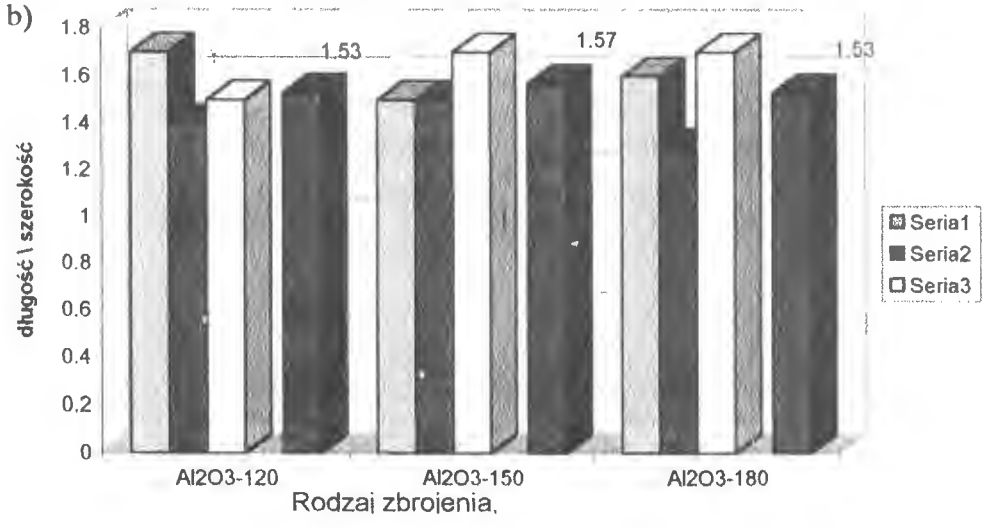




Rys. 2. Obwód cząstek zbrojących w zależności od ich ziarnistości: a) SiC, b) Al_2O_3

Fig. 2. Relation between granularity and circumference of particles: a) SiC, b) Al_2O_3





Rys. 3. Stosunek długości do szerokości cząstek zbrojących w zależności od ich ziarnistości: a) SiC, b) Al_2O_3

Fig. 3. Relation between granularity and length to width ratio of particles: a) SiC, b) Al_2O_3

Wynika stąd, że cząstki Al_2O_3 posiadając większą powierzchnię kontaktu z osnową tworzą warunki dla łatwiejszego zarodkowania heterogenicznego i katalilitycznego. Ocena powierzchni rozwinięcia cząstki na podstawie zarówno stosunku jej objętości do pola powierzchni lub też pola jej przekroju do obwodu prowadzi do uzupełniających spostrzeżeń. Analizując dwie cząstki regularne w postaci kuli o średnicy „D" i sześcianu o krawędzi „D" stosunek objętości do powierzchni calkowitej $\frac{V}{F} = \frac{D}{6}$ niezależnie czy jest to kula czy sześcian. Podobnie stosunek pola przekroju do obwodu $\frac{P}{0} = \frac{D}{4}$ i także jest jednakowy dla koła o średnicy „D" i kwadratu o boku „D". Podczas gdy pole powierzchni oraz objętość sześcianu są ($\pi/6$) razy większe niż w kuli. Średnie wartości stosunku pola powierzchni do obwodu cząstek SiC frakcji 120, 150, 160 wynoszą odpowiednio $i_1 = 36$; $i_2 = 24$; $i_3 = 18$ [μm.]. Wartości obliczeniowe określone ze średnich pól i obwodów dla cząstek sześciennych wyznaczono jako:

$$i^{SP} = \frac{\sqrt{P}}{4}; \text{ oraz } i^{SO} = \frac{O}{4}.$$

Dla cząstek w postaci kul odpowiednie stosunki obliczeniowe wynoszą:

$$i^{KP} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{P}{\pi}} \text{ oraz } i^{KO} = \frac{O}{4\pi}$$

Poszczególne wartości zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1

Zestawienie proporcji między polem rzutu cząstek zbrojących a ich obwodem
Specification of the proportion between the view area of reinforcing particles and their circumference

Rodzaj zbrojenia	**P = Pole [μm²]**	**O = Obwód [μm.]**	**i = P/O [μm.]**	**i^{sp} = 0,25(P)^{0,5} [μm]**	**i^{so} = O/16 [μm.]**	**i^{kp} = 0.5(P/π)^{0,5} [μm.]**	**i^{ko} = 0.25 O/π [μm.]**
1	2	3	4	5	6	7	8
SiC-120	20700	570	36	35,97	35,63	40,58	45,36
SiC-150	9900	420	24	24,88	26,25	28,07	33,42
Sic-180	5100	280	18	17,85	17,50	20,15	22,28
Al_2O_3-120	11000	430	26	26,22	26,88	29,58	34,22
Al_2O_3-150	7700	360	21	21,94	22,50	24,75	28,65
Al_2O_3-180	7000	340	20	20,92	21,25	23,60	27,06

gdzie:
i - iloraz pola i obwodu wyznaczony z pomiaru;
kolumny 2,3,4 - pomiar;
kolumny 5,6,7,8 - obliczenia;
i^{sp}, i^{so} - obliczeniowy stosunek wyznaczony przy założeniu, że wymiar charakterystyczny cząstki odpowiada wymiarowi krawędzi sześcianu przy obliczaniu go odpowiednio z przekroju oraz z obwodu;
i^{kp}, i^{ko} - obliczeniowy stosunek wyznaczony przy założeniu, że wymiar charakterystyczny cząstki odpowiada wymiarowi średnicy kuli przy obliczaniu go odpowiednio z przekroju oraz z obwodu np.

$$i^{kp} = P/O = D/4$$

$$D = 2(P/\pi)^{0,5} = 2(20700/\pi)^{0,5} \Rightarrow i^{kp} = 0,5(20700/\pi)^{0,5} = 40,58\ [\mu m.]$$

Wartości zestawione w tablicy 1 wskazują, że stosunek obwodu cząstek do pola powierzchni ich rzutu jest typowy dla cząstek regularnych. Proporcje między powierzchnią zewnętrzną a objętością wskazują, że cząstki swym kształtem bardziej odpowiadają sześcianom niż kulom. Wynika to z porównania wartości otrzymanych z bezpośredniego pomiaru z wartościami obliczeniowymi.

2.1. Uwagi wynikające z analizy ilościowej cząstek zbrojących

1. Cząstki węglika krzemu w poszczególnych frakcjach są zróżnicowane znacznie bardziej niż cząstki tlenku aluminium:
   - różnice w wielkości przekrojów cząstek kolejnych frakcji SiC wynoszą w przybliżeniu około 100 %,
   - różnice w wielkości przekrojów cząstek kolejnych frakcji Al_2O_3 wynoszą około 10 ÷ 43 %.
2. Cząstki Al_2O_3 i SiC wykazują znaczną podobieństwo kształtu. Stosunek wymiarów charakterystycznych w przekrojach „długości" do „szerokości" jest stały dla wszystkich frakcji SiC i wynosi 1,43. Analogicznie dla cząstek Al_2O_3 stosunek ten zmienia się niewiele przyjmując wartości 1,53 lub 1,57.
3. Cząstki Al_2O_3 posiadają większą powierzchnię rozwinięcia od cząstek SiC.
4. Kształt cząstek wskazuje na znaczną ich regularność. Statystycznie są one wielościanami. Proporcje między obwodem przekroju a jego powierzchnią (lub też polem powierzchni a objętością) bardziej odpowiadają zależnościom typowym dla sześcianów niż dla kul.

3. PODSUMOWANIE

Różnice w morfologii cząstek zbrojących powodują odmienność zjawisk zarodkowania i krystalizacji kompozytu [1]. Dalsze różnice wynikają z odmienności właściwości termofizycznych zbrojenia. Oddziaływania fizyko-chemiczne na granicy kontaktu oraz cieplne w mikroobszarach objętości cząstki i osnowy kształtują strukturę końcową kompozytu. Dla porównania, poniżej zestawiono wybrane, charakterystyczne wielkości termofizyczne osnowy i zbrojenia [2]:

- ciepła właściwe:
  - osnowa: $c_w = 0{,}96$;
  - korund: $c_w = 1.07$;
  - karborund: $c_w = 1{,}03$ [kJ/kg·K]
- współczynniki przewodzenia ciepła:
  - osnowa: $\lambda = 167$;
  - korund: $\lambda = 3{,}7$;
  - karborund: $\lambda = 16{,}5$ [W/m·K]
- współczynniki akumulacji ciepła:
  - osnowa: $b = 2{,}07 \cdot 10^4$;
  - korund: $b = 3{,}93 \cdot 10^3$;
  - karborund: $b = 7{,}26 \cdot 10^3$ [$W \cdot s^{0,5}/m^2 \cdot K$]

Wynika stąd, że zakres czasu krystalizacji $\Delta t_{kr} = t_{sol} - t_{lik}$ może ulec skróceniu - tym większemu im większa sumaryczna powierzchnia całkowita zbrojenia co wynika z jej działania zarodkotwórczego. Ponadto zbrojenie charakteryzujące się mniejszą przewodnością cieplną hamuje dyfuzję ciepła tworząc miejscowe opory cieplne co zwiększa skłonność kompozytu do krzepnięcia objętościowego. Cząstki zastępując objętości osnowy wolniej oddają ciepło a jego ilość zakumulowana przez cząstki jest mniejsza w porównaniu z tą samą objętością osnowy. We wszystkich przypadkach oddziaływanie Al_2O_3 jest silniejsze niż SiC. Prowadzi to do następujących wniosków praktycznych:

4. WNIOSKI

1. Większe zróżnicowanie wielkości cząstek węglika krzemu daje możliwość proporcjonalnego zróżnicowania właściwości eksploatacyjnych odlewu kompozytowego.
2. Przy porównywalnych właściwościach użytkowych kompozytów zbrojonych cząstkami Al_2O_3 lub SiC - korzystniejszy pod względem odlewniczym jest kompozyt zbrojony węglikiem krzemu.

LITERATURA

[1] Cholewa M., Gawroński J., Szmatłoch P., Potempa A.: Krystalizacja kompozytów zbrojonych cząstkami ceramicznymi SiC i Al_2O_3 , III Konf..: "Zjawiska powierzchniowe w procesach odlewniczych" PAN Poznań, Pol. Poznańska, Kołobrzeg 10. 1996;
[2] Pawlowski St., Serkowski St. Materiały ogniotrwałe w metalurgii, cz. 1, Rodzaje i wł. materialów ogniotrwałych s. nr 1892, wyd. Pol. Śl. Gliwice 1995

Miroslaw Cholewa
Józef Gawroński

The morphology of hard particles (Al_2O_3 and SiC) in wear resistance of composites castings

S u m m a r y

The paper presents of discription of shape of Al_2O_3 and SiC partides. The effect of the shape partides on the useful and technological proporties of composites castings have been examined.