

Technologia spieniania kompozytu metalowo-ceramicznego

K. Gawdzińska*, J. Grabian

Instytut Podstawowych Nauk Technicznych, Akademia Morska w Szczecinie,
Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin

* Kontakt korespondencyjny. E-mail: k.gawdzinska@am.szczecin.pl

Otrzymano 24.07.2015; zaakceptowano do druku 27.07.2015

Streszczenie

W pracy opisano proces wytwarzania metalowo-ceramicznych pian kompozytowych w Instytucie Nauk Podstawowych Technicznych, Akademii Morskiej w Szczecinie. Przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne dotyczące wdmuchiwania gazu, odbioru piany, formowania wyrobu oraz konstrukcję prototypowego urządzenia spieniającego kompozytu o osnowie ze stopu aluminium i zbrojeniu SiC w postaci cząstek. Praca ta jest fragmentem badań w ramach projektów badawczych realizowanych w wymienionej jednostce a przedstawione rozwiązania są opatentowane.

Słowa kluczowe: Odlewy, Technologia, Piany metalowo-ceramiczne

1. Wstęp

Określenie potencjalnych obszarów zastosowań pian metalowych pozwala sprecyzować wymagania dotyczące właściwości tych materiałów. Są one ściśle związane ze strukturą komórkową determinowaną metodą wytwarzania oraz zastosowanym materiałem wyjściowym. Piany metalowe wytwarza się wieloma sposobami, do najważniejszych z nich należą [1-3]: metalurgia proszków, osadzanie chemiczne lub elektrochemiczne, naporowywanie próżniowe oraz metody odlewnicze. W tej ostatniej grupie wyróżniamy [2, 3-8]:

- metoda pełnej formy,
- metoda wdmuchiwania gazu,
- dwuetapowa metoda pełnej formy,
- spienianie w stanie ciekłym.

Dzięki różnorodności metod uzyskuje się piany o rozmaitej wielkości porów, gęstości względnej, porowatości itp. W pracy tej opisano technologię spieniania kompozytów metalowo-ceramicznych metodą odlewniczą wdmuchiwania gazu na

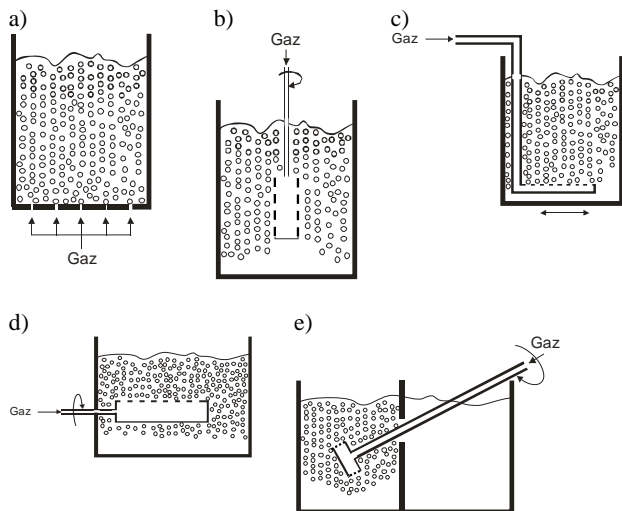
zaprojektowanym i wykonanym stanowisku w Akademii Morskiej w Szczecinie.

2. Technologia spieniania kompozytów

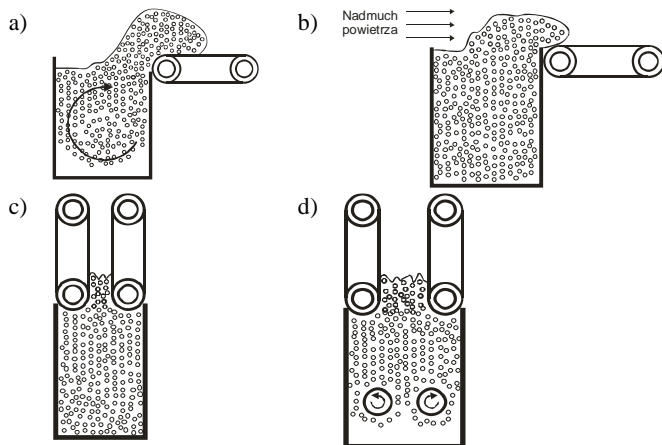
Omówione w [6-7] podstawy teoretyczne procesu spieniania wskazują na korzystne warunki wytwarzania pian w przypadku, gdy tworzący się wokół otworu wypływu gazu pęcherz jest ścinany przez przemieszczającą się względem otworu ciecz. Na schematach (rys. 1) przedstawiono rozwiązania konstrukcyjne dotyczące wdmuchiwania gazu do ciekłego metalu. Najprostszym sposobem realizacji warunku wzajemnego przemieszczania się otworu wypływu gazu oraz cieczy jest wprowadzenie do nieruchomej cieczy wirującego elementu cylindrycznego (wirnika) z otworami. Gaz doprowadzany jest przez wał napędzający element wirujący (rys.1b i d). W tym rozwiązaniu konstrukcyjnym warunki tworzenia poszczególnych pęcherzy są takie same (minimalne cykliczne zmiany ciśnienia hydrostatycznego można pominąć). Mniej korzystnym sposobem,

ale też bardzo efektywnym może być zastosowanie rozwiązania konstrukcyjnego realizującego ruch posuwisto-zwrotny elementu z otworami wypływu gazu (rys. 1 c).

Ważnym etapem procesu wytwarzania piany jest zapewnienie jej ciągłego odbioru, tak aby przygotować przestrzeń nad cieczą do odbioru kolejnych porcji piany. Na rys. 2 przedstawiono schematy obrazujące rozwiązania konstrukcyjne dotyczące odbioru piany.



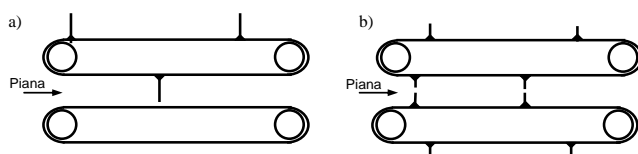
Rys. 1. Rozwiązania konstrukcyjne dotyczące systemu wdmuchiwania gazu: a) bezpośrednio przez otwory w dnie zbiornika, b) przez otwory elementu wirującego o osi pionowej, c) przez otwory elementu wykonującego ruch posuwisto-zwrotny, d) przez otwory elementu wirującego o osi poziomej, e) system dwukomorowy z elementem wirującym



Rys. 2. Rozwiązania konstrukcyjne dotyczące odbioru piany: a) asymetryczne wypiętrzenie piany wywołane ruchem cieczy – taśmociąg poziomy, b) przesunięcie wytworzonej piany na taśmociąg poziomy wymuszone ruchem powietrza, c) bezpośredni odbiór piany taśmociągiem pionowym, d) odbiór piany taśmociągiem pionowym z wykorzystaniem ruchu cieczy

Odbiór piany na taśmociąg może się odbywać w układzie poziomym lub pionowym. Taśma taśmociągu wykonana jest z

materiału odpornego na temperaturę spienianego metalu znajdującego się w stanie ciekłym (przegrzanego). Najczęściej do odbioru piany wytwarzanej ze stopów aluminium stosuje się odpowiednio splecioną siatkę z drutu stalowego (stal chromowo-niklowa). Piana metalowa odbierana przez przenośnik (taśmociąg) znajduje się początkowo w stanie ciekłym. Na przenośniku odbywa się proces studzenia piany i jej przechodzenie w stan stały. W zależności od potrzeb na siatce przenośnika (taśmociągu) umieszcza się poprzecznie do kierunku ruchu pian grzebień tnący. Wstęgę piany, na ogół formowaną przez dwie taśmy taśmociągu w płytę o określonej grubości, najprościej jest podzielić na segmenty o żądanej długości, gdy piana znajduje się jeszcze w stanie ciekłym. Na rys. 3 przedstawiono jeden ze sposobów porcjowania (dzielenia) wstęgi piany.



Rys. 3. Sposoby dzielenia wstęgi piany: a) jednostronny, b) dwustronny

3. Konstrukcja urządzenia spieniającego pianę kompozytową

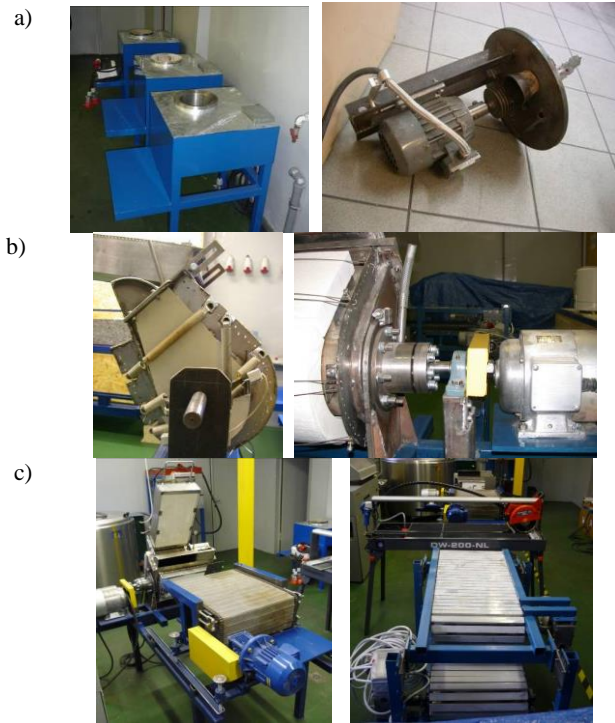
Rozważania teoretyczne, a także przeprowadzone badania modelowe przedstawione w [6-9] były podstawą do sformułowania założeń konstrukcyjnych prototypowego urządzenia do spieniania kompozytów metalowych. Przyjęto następujące założenia:

- wytwarzanie piany przez wdmuchiwanie gazu do ciekłego kompozytu,
- wirnik wdmuchujący gaz o osi poziomej,
- wytwarzanie piany w sposób ciągły,
- możliwość regulacji i kontroli parametrów wdmuchiwanego gazu,
- przetwarzanie wsadu minimum 200 kg ciekłego kompozytu,
- zapewnienie ciągłego odbioru piany wraz z jej porcjowaniem oraz schładzaniem,
- wytwarzanie wstęgi piany o szerokości 300 mm oraz grubości regulowanej w zakresie 10-50 mm,
- zapewnienie stałego poziomu ciekłego kompozytu w komorze spieniania wraz z automatyczną regulacją poziomu,
- kontrola temperatury wsadu kompozytowego wraz z możliwością jej stabilizacji.

Urządzenie to umożliwia spienianie ciekłego kompozytu w sposób ciągły. Zaprojektowanie i wykonanie urządzenia do spieniania kompozytów poprzedzone było testowaniem modułów funkcjonalnych, które zbudowano, aby ocenić prawidłowość przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych. Podstawowe moduły funkcjonalne:

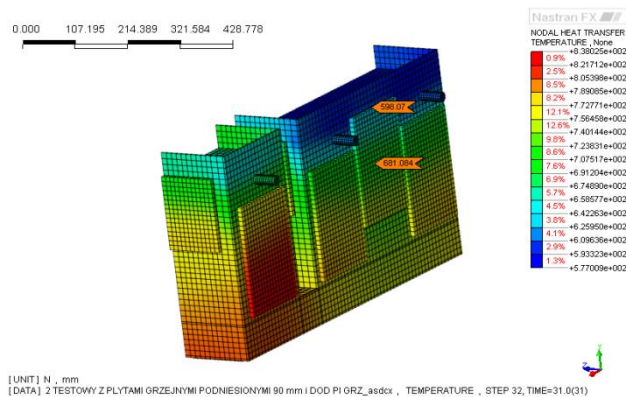
- zbiornik z komorą spieniania,
- zespół wdmuchiwania gazu,

– zespół odbioru piany,
a także moduł przygotowania wsadu kompozytowego przedstawiono na rysunku 4.



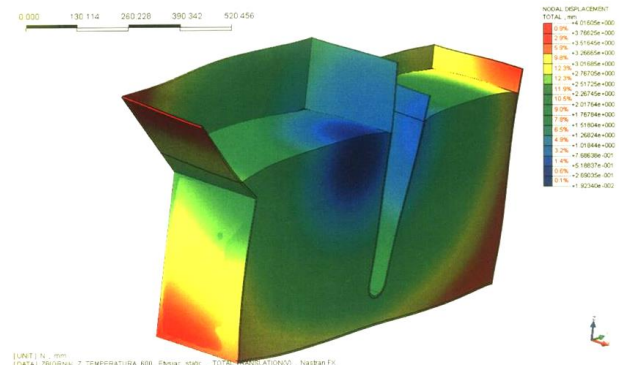
Rys. 4. Podstawowe moduły funkcjonalne: a) moduły przygotowania wsadu kompozytowego, b) moduły komory spieniania z zespołem wirnika dmuchającego gaz, c) moduły odbioru piany (taśmociąg)

Do wykonania projektu urządzenia do spieniania kompozytu, odbioru i konfekcjonowania spienionego kompozytu zastosowano zaawansowane komputerowe programy inżynierskie. Przykładowo, do optymalizacji przepływu strumieni cieplnych w zbiorniku urządzenia i komorze spieniania oraz oceny ich deformacji termicznej użyto programu Nastran (rys. 5-6).



Rys. 5. Modelowanie strumieni cieplnych zbiornika i komory spieniania

Urządzenie do spieniania ciekłego kompozytu składa się z następujących zespołów: rama nośna, szafa sterownicza, wieża, mieszkadło, osłona, kosz zbiornika, zbiornik z komorą spieniania, zespół spieniający, mechanizm krzywkowy, element wyporowy, mechanizm pozycjonowania zbiornika. Wybrane zespoły urządzenia, zaprojektowano z użyciem inżynierskiego programu projektowego AutoCad. Na rysunku 7 zaprezentowano skompletowane urządzenie do wytwarzania kompozytowych pian metalowych w sposób ciągły.



Rys. 6. Symulacja odkształceń termicznych zbiornika i komory spieniania



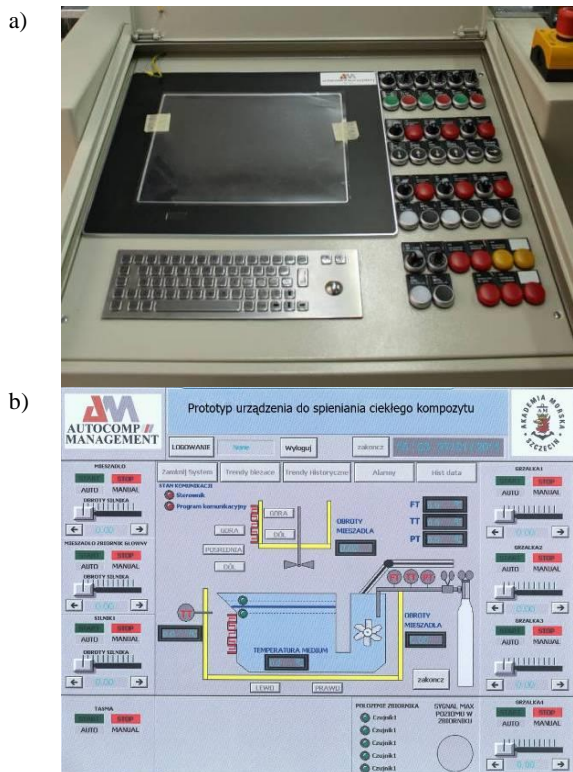
Rys. 7. Urządzenie do spieniania kompozytu w sposób ciągły: widok od strony zespołu odbioru piany

Zaprojektowano system sterowania układem spieniania ciekłego kompozytu, który złożony jest ze stacji operatorskiej PO1 i sterownika swobodnie programowalnego typu PLC. Stacja PO1 zlokalizowana jest w panelu sterowania, a sterownik PLC1 usytuowano w szafce sterowania. Na rysunku 8 przedstawiono układ sterowania urządzeniem do spieniania ciekłego kompozytu.

Na zaprojektowanym panelu zainstalowano oprogramowanie wizualizacyjne InTouch 10.1 Development Studio. Dzięki zastosowaniu tego rodzaju przemysłowej aplikacji komputerowej

uzyskano podgląd pracy całego układu składającego się z następujących urządzeń:

- napęd elementu zanurzającego,
- napęd taśmociągu odbierającego,
- napęd podnoszenia i opuszczania mieszadła,
- napęd mieszadła,
- napęd pozycjonowania zbiornika ciekłego metalu.



Rys. 8. Panel sterowania oraz widok okna panelu: a) pulpit sterowniczy, b) schemat funkcjonalny urządzenia

Dodatkowo na panelu operatorskim PO1 zrealizowano archiwizację danych, raportów i alarmów z działania całego systemu podczas pracy układu. Panel operatorski PO1 wyposażony jest w panel dotykowy Quick panel. Panel połączony jest ze sterownikiem PLC, znajdującym się w szafie sterującej, łączem Ethernetowym. Na zaprojektowanym panelu zainstalowano oprogramowanie Wonderware Historian archiwizujące dane sterowania pracą systemu wizualizacji oraz narzędzia raportowe Active Factory [9-10]. Przewody poprowadzone zostały wzdłuż elementów konstrukcji w korytkach kablowych zamocowanych bezpośrednio na elementach, aż do szafy znajdującej się pod panelem sterowania. Na konstrukcji zainstalowano odpowiednie czujniki zbierające i przekazujące dane pomiarowe do sterownika PLC, wielkości fizycznych niezbędnych do pracy układu, tj.:

- pomiar temperatury elementu zanurzającego – czujnik temperatury,
- pomiar temperatury zbiornika – czujnik temperatury,
- pomiar poziomu ciekłego metalu – dwa czujniki dyskretne,

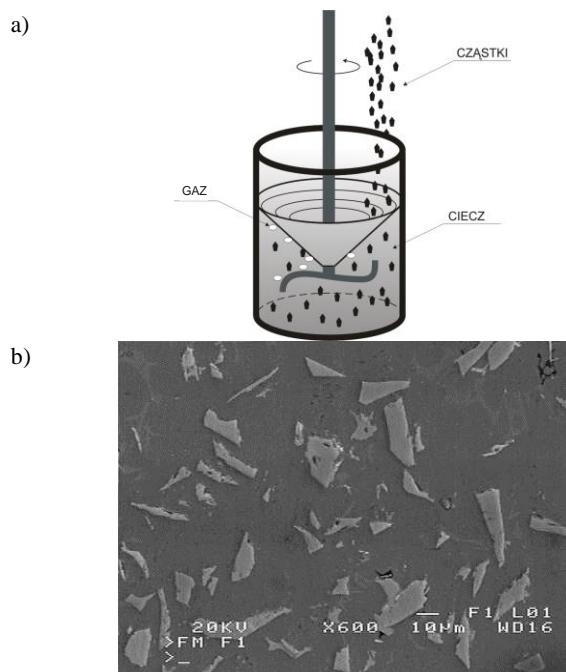
- pomiar prędkości obrotowej elementu zanurzającego – czujnik indukcyjny,
- pomiar prędkości obrotowej taśmociągu zbierającego – czujnik indukcyjny,
- pomiar prędkości obrotowej napędu mieszadła – czujnik indukcyjny.

Każdy z wyżej wymienionych czujników zasilany jest napięciem 24 V DC z zasilacza obiektowego AST-PWR 4524 firmy Astrada umieszczonego wewnątrz szafki sterowania. System sterowania układem procesu spieniania ciekłego metalu, pracuje na sprzęcie firm: GE, Sick, Czako, Astrada, Wonderware. Przewidywane zasoby licencji, przemysłowej aplikacji wizualizacyjnej wraz z oprogramowaniem do archiwizacji danych procesowych oraz moduły wejść/wyjść dyskretnych i analogowych umożliwiają przyszłą rozbudowę systemu o kolejne elementy. Zaprojektowany system wizualizacji uwzględnia możliwość dalszej rozbudowy o funkcję wprowadzania nowych wielkości pomiarowych. Przygotowanie porcji 250 kg ciekłego kompozytu odbywa się w urządzeniu pomocniczym i polega na stapianiu wsadu składającego się z gąsek stopu aluminium-krzemowego oraz odpowiednio przygotowanego węgla krzemu (SiC). Urządzenie pomocnicze umożliwia homogenizację cząstek SiC w stopie aluminium oraz uzyskanie właściwej temperatury. Zaprojektowanie i wykonanie urządzenia poprzedzono testowaniem modułów urządzenia do przygotowania kompozytu. Przeprowadzono optymalizację kształtu komory mieszania w celu uzyskania intensywnego mieszania zawiesziny kompozytowej. Na rysunku 4a przedstawiono części składowe urządzenia – różne typy komory mieszania oraz mieszadło. Na rysunku 9 zilustrowano urządzenie pomocnicze do przygotowywania zawiesziny kompozytowej współpracujące z urządzeniem do spieniania kompozytu.



Rys. 9. Urządzenie pomocnicze do przygotowania kompozytu

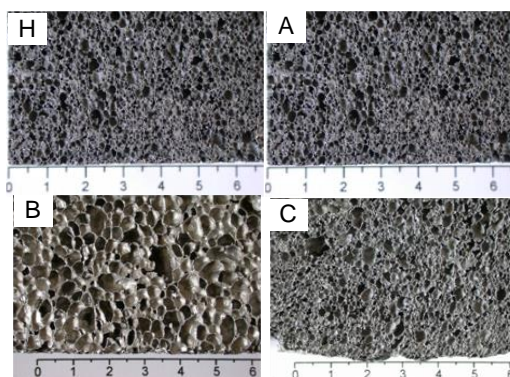
Wytwarzanie wsadu kompozytowego. Na zaprojektowanym i wykonanym prototypowym urządzeniu do spieniania kompozytu w sposób ciągły spieniano kompozyty o podstawie ze stopu AlSi9 i zbrojeniu w postaci cząstek SiC o różnym udziale wagowym (od 15% do 25%) kompozytów zawieszinowych [1, 10-12], metodą mechanicznego mieszania (rys. 10). Do stopionego metalu (stop AlSi9) wprowadzono cząstki SiC (o wymiarach 15–20 μm), mieszając kąpiel i utrzymując jej temperaturę na poziomie 720 °C.



Rys. 10. Wytwarzanie kompozytów metodą mechanicznego mieszania: a) schemat [6], b) struktura kompozytu zawiesinowego, SEM

5. Podsumowanie

Przygotowany kompozyt wprowadza się do zbiornika urządzenia spieniającego, stabilizując temperaturę na poziomie 720°C. Po ustabilizowaniu temperatury, przy pracującym całym czas mieszadło, ustawia się pochylony zbiornik do poziomu zanurzając jednocześnie obracający się z prędkością 150 obr/min wirnik. Ustawiony wydatek gazu wynosił 8 dm³/min. Do spieniania kompozytu użyto powietrza. Po ustaleniu założonych parametrów pracy wirnika oraz wyregulowaniu prędkości przesuwu taśm przenośnika uzyskuje się warstwę piany kompozytowej. Wytworzone wstęgi piany kompozytowej po przejściu metalu w stan stały i ostudzeniu pocięto na próbki w kierunku prostopadłym do kierunku wypływania piany z urządzenia. Budowę wewnętrzną próbek wytworzonych przy zróżnicowanych parametrach pracy urządzenia przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Metalowe piany kompozytowe o różnej gęstości wytworzone w Akademii Morskiej w Szczecinie

Literatura

- [1] Grohn, M., Voss, D., Hintz, C., Sahn, P.R. (2001). Cellular Metals and Metal Foaming Technology, (Eds. Barnhart J., Ashby M.F., Fleck N.) MIT-Verlag Bremen. 197–202.
- [2] Harte, A.-M., Nicol, S. (2001). Cellular Metals and Metal Foaming Technology, (Eds. Barnhart J., Ashby M.F., Fleck N. Verlag MIT, Bremen, 49–54.
- [3] Miyoshi, T., et. al. (1998). Aluminium Foam, “ALPORAS”: The Production Process, Properties and Applications, MRS Symposium Proceeding, vol. 521, San Francisco, 132–138.
- [4] Orłowicz, W. & Mróz, M. (2003). Thermal coefficients of the GTAW process, *Archive of Foundry* 3(7), 283–291. (in Polish).
- [5] Orłowicz, W. & Trytek, A. (2000). Thermal efficiency of the GTAW process in remelting cast iron castings. *Krzepnięcie Metali i Stopów* 43, 409–418. (in Polish).
- [6] Grabian, J. (2012). *Composite metal foam in the shipbuilding*, Fotobit, Kraków (in Polish).
- [7] Grabian, J. & Gawdzińska, K. (2006). Selected properties of metal foams, composites based on AlSi9/SiC, *Inżynieria Materiałowa* 3, 594–596.
- [8] Gawdzińska, K. & Gućma, M. (2015). Two-criteria analysis of casting technologies of metal and composite foams, *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 60, issue 1, 305–308.
- [9] Gawdzińska, K., Grabian, J., Pędzich, J. & Przetakiewicz, W. (2011). *Archive of Foundry Engineering*, 11, Special issue 1, 11–14.
- [10] Korner, C.K., Singer, R.F. (2000). Processing of Metal Foams – Challenges and Opportunities, in T.W. Clyne & F. Simancik (Eds.), *Metal Matrix Composites and Metallic Foams*. Euromat 5, 3-13, Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [11] Szajnar, J., Cholewa, M., Stawarz, M., Wróbel, T. Sebzda, W., Grzesik, B. & Stępień, M. (2010). *Archives of Foundry Engineering* 10(1), 175-180.
- [12] Banhart, J., Baumeister, J. (1998). Proceedings, Materials Research Society Symposium, San Francisco, D.S. Schwartz, D.S. Shih, A.G. Evans, H.N.G. Wadley (ed.), vol. 521, MRS, Warrendale, 1998, 121–132

Technology of Foaming of Metal-Ceramic Composites

Abstract

This article presents the process of production of metal-ceramic foams in Basic Technological Sciences Institute, Maritime University of Szczecin. It also describes structural solutions for Gass insufflation, foam Deception, product forming and construction of prototype device which lathers composites with warp of aluminium alloy and SiC reinforcement in the form of particles. This article is a part of research of a project realized in unit mentioned above and presented solutions are patented.

Keywords: Casts, Technology, Metal-ceramic foams