www.ptcer.pl/mccm

MATERIAŁY CERAMICZNE /CERAMIC MATERIALS/, 67, 3, (2015), 268-273

Ceramiczne tworzywa piankowe otrzymywane metodą odlewania żelowego przy wykorzystaniu bezazotowych monomerów organicznych

Barbara Lipowska*, Andrzej Śliwa, Kinga Czechowska, Teresa Wala, Bronisław Psiuk

Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, O/Materiałów Ogniotrwałych, Gliwice
*e-mail: b.lipowska@icimb.pl

Streszczenie

Otrzymano ceramiczne tworzywo piankowe na bazie Al_2O_3, w którego wytwarzaniu zastąpiono toksyczne akrylamidy zestawem wodorozpuszczalnych monomerów nie zawierających atomów azotu w cząsteczce: akrylan 2-hydroksyetylu i diakrylan poliglikolu etylenowego. Określono rodzaj i ilość dodatków upłynniacza i środka powierzchniowo czynnego oraz udział tlenku glinu w zawiesinie, umożliwiających uzyskanie stabilnej, maksymalnie napowietrzonej piany. Polimeryzację spienionych zawiesin, w celu uniknięcia zjawiska inhibicji tlenowej, prowadzono w atmosferze azotu. Otrzymane półfabrykaty wypalono w temperaturach z zakresu 1500-1700°C. Po wypaleniu tworzywa scharakteryzowano, oznaczając ich podstawowe właściwości fizyczne i obserwując mikrostrukturę. Stwierdzono, że zastosowanie w procesie odlewania żelowego (ang. *gelcasting*) mniej szkodliwych dla zdrowia i ekosystemu substancji żelujących umożliwia otrzymanie porowatego tworzywa o oczekiwanych, wysokich parametrach jakościowych.
Słowa kluczowe: odlewanie żelowe, piankowe tworzywo ceramiczne, polimeryzacja

CERAMIC FOAM MATERIALS OBTAINED BY THE GELCASTING METHOD USING NITROGEN-FREE ORGANIC MONOMERS

The aim of the undertaken work was to obtain an Al_2O_3-based foam ceramic product during the manufacture of which toxic acrylamides were replaced by a set of water-soluble monomers with no nitrogen atoms in their particles: 2-hydroxyethyl acrylate and poly(ethylene glycol) diacrylate. The type and amount of additives (deflocculant and surface active agent) as well as the alumina content in a suspension that enable obtaining a stable, maximally aerated foam were determined The polymerization of foamed suspensions was carried out in the nitrogen atmosphere in order to avoid the phenomenon of oxygen inhibition. The obtained half-finished products were fired at 1500-1700°C. After firing, the products were characterised by determining their basic physical properties and microstructure. The obtained results indicate a possibility of using less toxic monomers to produce foam ceramic products by the gelcasting method.
Keywords: Gelcasting, Ceramic foam product, Polymerization

1. Wprowadzenie

Żelowanie spienionej zawiesiny ceramicznej (ang. *gelcasting of foams*) jest jedną z nowszych metod wytwarzania ceramiki porowatej. Umożliwia ona uzyskiwanie tworzyw o porowatości całkowitej w zakresie (60-90)%, charakteryzujących się występowaniem w ich budowie sferycznych makroporów (komórek piany) o średnicach do kilkuset mikrometrów oraz otworów (okien) na ściankach komórek piany o średnicy od kilkudziesięciu do około stu mikrometrów, sprawiających, że tworzywo jest przepuszczalne dla cieczy i gazów. Jednocześnie, dzięki zwartym i pozbawionym defektów ściankom otaczającym komórki piany tworzywa otrzymywane tą metodą osiągają wytrzymałości na ściskanie nawet do około 30 MPa [1].

Ze względu na swoje własności mechaniczne, duże rozwinięcie powierzchni, odporność na korozję chemiczną, stabilność w wysokich temperaturach oraz przepuszczalność dla ciekłych lub gazowych mediów, tworzywa piankowe wytwarzane metodą *gelcasting* są coraz szerzej stosowane w przemyśle, m.in. w procesach filtracji gorących gazów przemysłowych, jako nośniki katalizatorów, elektrokatalitycznych powłok aktywnych w procesach elektrolizy lub też jako charakteryzujące się wysokim rozwinięciem powierzchni materiały sorpcyjne czy katalityczne, wykorzystywane w procesach spalania przez zgazowanie paliw. Niska przewodność cieplna tego typu tworzyw, wynikająca z ich dużej porowatości, wraz z wysoką wytrzymałością mechaniczną i stabilnością w wysokich temperaturach sprawiają, że stanowią one także wysokiej jakości izolacyjne tworzywa ogniotrwałe.

Sposób otrzymania ceramiki porowatej metodą żelowania spienionej zawiesiny opiera się na zaadoptowanym do tego celu, opracowanym i opatentowanym przez amerykańskich naukowców, sposobie otrzymywania metodą *gelcasting* ceramiki zwartej [2, 3]. Punktem wyjścia do otrzymania tą metodą ceramiki porowatej jest zawiesina ceramiczna z dodatkiem upłynniacza, środka spieniającego (surfaktanta) oraz zestawu czynników żelujących: reaktywnego mono-

meru organicznego oraz środka sieciującego [4, 5]. Środki spieniające obniżają napięcie powierzchniowe na granicy faz gaz/zawiesina ceramiczna, co powoduje, że podczas wprowadzania do niej gazu, zazwyczaj przez intensywne mieszanie, powstaje stabilna piana. Z kolei monomer organiczny, po wprowadzeniu do zawiesiny środka inicjującego wolne rodniki oraz aktywatora (katalizatora) ulega polimeryzacji, utrwalając pianę przez immobilizację ziaren proszku. Najczęściej w rolach inicjatora i katalizatora polimeryzacji stosuje się układ redox: nadsiarczan amonu $(NH_4)_2S_2O_8$ i *N*,*N*,*N*`,*N*`-tetrametyloetylenodiaminę. Poprzez dobór ilości inicjatora w stosunku do masy monomeru organicznego można sterować czasem, po którym następuje początek procesu polimeryzacji. Ponieważ większość monomerów stosowanych w metodzie *gelcasting* wykazuje polimeryzację liniową, wprowadzany dodatkowo środek sieciujący pozwala na uzyskanie trójwymiarowej, polimerowej sieci, co wpływa na wzrost wytrzymałości tworzywa po zżelowaniu. Po zakończeniu procesu polimeryzacji wytwarzany wyrób jest wyjmowany z formy, suszony i przed ostatecznym spiekaniem poddawany procesowi usuwania polimerowego spoiwa w temperaturze około 500 °C [6].

Istotnym warunkiem prawidłowego przebiegu procesu polimeryzacji spienionej zawiesiny ceramicznej jest prowadzenie go w atmosferze ubogiej w tlen (zwykle w atmosferze azotu) wiadomo bowiem [6, 7], że jego obecność powoduje powstawanie zjawiska inhibicji tlenowej. Polega ono na wychwytywaniu przez tlen wolnych rodników inicjujących reakcję polimeryzacji.

Podobnie jak w przypadku tradycyjnej metody *gelcasting* stosowanej do otrzymywania zwartych tworzyw, do wiązania spienionej zawiesiny wykorzystuje się zwykle monomery organiczne, takie jak akryloamid lub inne monomery zawierające w swojej cząsteczce azot [8]. Niekorzystną cechą tych związków jest fakt, że podczas ich obróbki termicznej wydzielają się toksyczne dla organizmów żywych tlenki azotu, a akryloamidy są dodatkowo związkami o działaniu rakotwórczym. Współczesne prace badawcze dotyczące procesu otrzymywania porowatych tworzyw metodą *gelcasting* koncentrują się przede wszystkim na możliwości zastosowania różnego rodzaju przyjaznych dla środowiska biopolimerów takich jak żelatyna [9], agaroza [10], białka jaja kurzego [11], sacharoza [12] lub skrobia [13]. Jednak z publikowanych danych wynika, że jedynie w przypadku stosowania monomerów organicznych uzyskano surowe odlewy spienionych tworzyw o wytrzymałości umożliwiającej ich obróbkę mechaniczną po suszeniu, przed procesem wypalania.

Celem podjętej pracy była próba otrzymania ceramicznego tworzywa piankowego na bazie Al_2O_3, w którego wytwarzaniu zastosowano zestaw wodorozpuszczalnych, bardziej przyjaznych dla środowiska, monomerów nie zawierających atomów azotu w cząsteczce.

2. Część doświadczalna

2.1. Zastosowane materiały

W badaniach zastosowano proszek a-Al_2O_3 Martoxid MR70 firmy Martinswerk o średniej wielkości ziaren 0,7 μm i powierzchni właściwej (BET) 8 m^2/g. Do upłynnienia wodnych zawiesin Al_2O_3 zastosowano poliakrylan sodu (PAS) (Sigma-Aldrich). W roli środka spieniającego użyto anionowego środka powierzchniowo-czynnego Schaeumungsmittel W 53 Fluessig (SCH) (Zschimmer & Schwarz). Do procesu polimeryzacji zastosowano zestaw dwóch czynników żelujących nie zawierających azotu: monomer organiczny akrylan 2-hydroksyetylu (2-HEA) (Sigma-Aldrich) oraz czynnik sieciujący diakrylan poli(glikolu etylenowego) (PEGDA) (Sigma-Aldrich). W roli inicjatora i aktywatora reakcji polimeryzacji zastosowano odpowiednio nadsiarczan amonu (APS) (POCh, Gliwice) oraz *N*,*N*,*N*`,*N*`-tetrametyloetylenodiaminę (TEMED) (Sigma-Aldrich).

2.2. Badanie właściwości reologicznych oraz efektywności spieniania zawiesin ceramicznych

W celu określenia najlepszego składu zawiesiny ceramicznej na bazie Al_2O_3, nadającego jej odpowiednie własności reologiczne, umożliwiające uzyskanie stabilnej piany o wysokim stopniu napowietrzenia, przed właściwymi próbami polimeryzacji przeprowadzono serię pomiarów wstępnych. Objęły one badania wpływu składu zawiesiny (ilości tlenku glinu oraz upłynniacza) na jej lepkość pozorną. We wszystkich pomiarach zarówno udział zestawu czynników sieciujących (2-HEA + PEGDA) w zawiesinach, jak i ich stosunek wagowy (2-HEA : PEGDA) były stałe i wynosiły odpowiednio 7% wag. i 2,5:1.

Sposób prowadzenia pomiarów polegał na ujednorodnieniu, przez mieszanie w młynku kulowym w czasie 1 godziny, zawiesin wodnych, zawierających odpowiednio dobrane ilości proszku Al_2O_3, upłynniacza i zestawu czynników żelujących. Tak przygotowane zawiesiny poddano pomiarom reologicznym za pomocą wiskozymetru rotacyjnego RHEOTEST-2 z układem cylindrów współosiowych. Oznaczono naprężenia ścinające w zależności od szybkości ścinania w zakresie od 1,5 s^{-1} do 145,8 s^{-1}. Na tej podstawie, dla kolejnych szybkości ścinania, obliczono lepkość pozorną, korzystając z zależności:

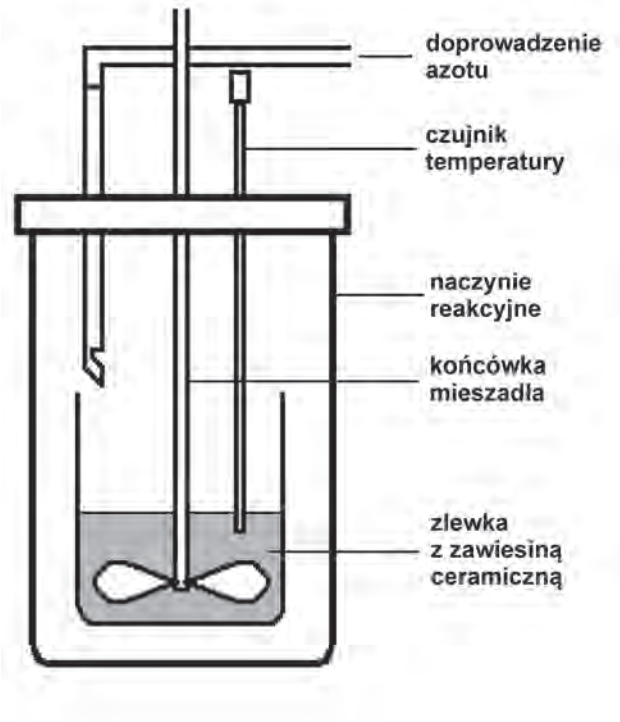
$$\eta = \frac{\tau}{\gamma}, \qquad (1)$$

gdzie η – lepkość pozorna [Pa·s], τ – naprężenie ścinające [Pa] i γ – szybkość ścinania [s^{-1}].

W celu wykonania badania efektywności spieniania, porcje przygotowanych jw. zawiesin o obj. 50 cm^3 przenoszono do cylindra miarowego o pojemności 250 cm^3, dodawano środek spieniający (0,3% wag. w zawiesinie) i całość intensywnie mieszano za pomocą mieszadła laboratoryjnego z szybkością 1200 obr./min. Mieszanie prowadzono przez 2 minuty, odczytując objętość spienianej zawiesiny co 15 s. Po zakończeniu mieszania, przez następne 30 min, obserwowano stabilność powstałej piany.

2.3. Próby polimeryzacji spienionej zawiesiny ceramicznej

Do kontroli przebiegu procesu polimeryzacji wykorzystano fakt, że reakcji sieciowania stosowanego monomeru



Rys. 1. Schemat stanowiska do wykonywania prób polimeryzacji spienionej zawiesiny z Al_2O_3 w atmosferze azotu.
Fig. 1. Diagram of the test stand for conducting polymerization of foamed Al_2O_3 suspensions in the nitrogen atmosphere.

(2-HEA) towarzyszy wydzielanie znaczących ilości ciepła. Ciągły pomiar temperatury zawiesiny ceramicznej prowadzono za pomocą wodoszczelnego termometru precyzyjnego PT-401 firmy ELMETRON, umożliwiającego zbieranie i zapisywanie wyników odczytów temperatury z zadanym interwałem czasowym. Aby zapobiec zjawisku inhibicji tlenowej, proces spieniania zawiesiny prowadzono w atmosferze azotu. W tym celu przygotowaną zawiesinę przenoszono do zamykanego naczynia, przedmuchiwanego azotem doprowadzanym z butli. Naczynie to zaopatrzone było w szczelną pokrywę z trzema króćcami (Rys. 1). W jednym z nich zainstalowano końcówkę mieszadła, drugim króćcem do wnętrza naczynia doprowadzano azot (natężenie przepływu wynosiło 1,5 m^3/h), natomiast trzeci króciec pozostawał otwarty w czasie przedmuchiwania azotem oraz służył do wprowadzenia do zawiesiny czujnika temperatury. Przed zamknięciem naczynia, do zawiesiny wprowadzano dodatkowo aktywator reakcji polimeryzacji TEMED w ilości 0,095% w stosunku do masy zestawu czynników żelujących oraz inicjator w postaci wodnego roztworu APS o stężeniu 10%. Odpowiednią jego ilość określono na podstawie pomiarów wstępnych, polegających na oznaczeniu wpływu ilości APS w stosunku do masy czynników żelujących na czas indukcji procesu polimeryzacji.

Tak przygotowaną zawiesinę mieszano przez 60 s z szybkością ok. 500 obr./min, a następnie spieniano, zwiększając szybkość obrotów mieszadła do 1200 obr./min przez 45 s. Po spienieniu i wysunięciu końcówki mieszadła z zawiesiny pozostawiano ją w zamkniętym naczyniu do zakończenia procesu polimeryzacji.

2.4. Obróbka termiczna uzyskanych odlewów i badanie właściwości ceramicznych tworzyw piankowych

Uzyskane w wyniku reakcji polimeryzacji spienionych zawiesin próbki, mające kształt walców o średnicy 60 mm i wysokości około 25 mm, po wysuszeniu wypalono w piecu elektrycznym w temperaturze 1500 °C, 1600 °C oraz 1700 °C przez 2 godz.

Wypalone w założonych temperaturach tworzywa scharakteryzowano, określając ich gęstość pozorną i porowatość otwartą metodą hydrostatyczną. Na podstawie uzyskanych wyników, przy założeniu gęstości względnej Al_2O_3 równej 3,9 g/cm^3, obliczono porowatość całkowitą uzyskanych tworzyw. Oznaczono również wytrzymałość na ściskanie otrzymanych próbek. Pomiaru dokonano za pomocą maszyny wytrzymałościowej TMZ 010/TN2S firmy ZWICK. W tym celu z wypalonych kształtek wycięto sześcienne próbki o wymiarach 15 mm × 15 mm × 15 mm. Szybkość przesuwu głowicy pomiarowej wynosiła 3 kN/min. Za wynik wytrzymałości przyjęto średnią wartość z trzech pomiarów. Mikrostrukturę otrzymanych tworzyw scharakteryzowano przy użyciu mikroskopu skaningowego JSM-35 firmy JEOL. Określono rozkład wielkości komórek piany oraz okien na ich ściankach metodą analizy obrazu na podstawie skaningowych mikrofotografii przekrojów tworzyw. Za średnicę zastępczą komórki przyjęto średnicę okręgu opisanego na rzucie komórki. Wykonano również analizę porozymetryczną otrzymanych tworzyw za pomocą porozymetrii rtęciowej, przy użyciu urządzenia AutoPore IV9500 firmy Micrometrics Instrument Corp.

3. Omówienie wyników

Przeprowadzone pomiary własności reologicznych dowiodły (Rys. 2), że badane zawiesiny ceramiczne mają charakter cieczy pseudoplastycznych – ich lepkość pozorna maleje w miarę wzrostu szybkości ścinania. Własność ta jest istotna dla procesu spieniania zawiesiny, ponieważ jej niska lepkość podczas napowietrzania ułatwia tworzenie pęcherzyków piany, natomiast wzrost lepkości zawiesiny po zaprzestaniu mieszania opóźnia ich zanikanie. Wzrost udziału upłynniacza w stosunku do stałej ilości Al_2O_3 z 0,2% do 0,5% powodował spadek lepkości zawiesiny odpowiednio z 9,3 Pa·s do 3,5 Pa·s dla szybkości ścinania 50 s^{-1}. Dalszy wzrost udziału upłynniacza w zawiesinie nie miał już istotnego wpływu na zmianę jej lepkości.

Z pomiarów efektywności spieniania wynika (Rys. 3), że objętość zawiesiny zawierającej 58% mas. Al_2O_3, 0,5% PAS w stosunku do masy Al_2O_3, 0,3% SCH oraz zastosowany zestaw czynników żelujących, już po 15 s intensywnego mieszania wzrosła o ponad połowę. Po kolejnych 30 s mieszania objętość piany osiągnęła swoje maksimum. Wraz ze wzrostem udziału Al_2O_3 w zawiesinie, w badanym zakresie od 58% do 67% mas., przyrost objętości piany maleje. Wszystkie uzyskane w próbach piany były stabilne i nie zmieniały swojej objętości przez 30 min.

Na podstawie uzyskanych wyników wytypowano optymalny skład zawiesiny. We wszystkich kolejnych pomiarach

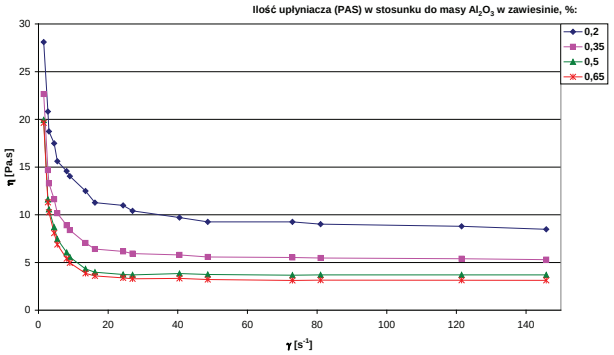
skład ten był stały i wynosił: Al_2O_3 – 58% mas. (50% obj.) w zawiesinie, stężenie czynników żelujących (2-HEA + PEGDA) w zawiesinie – 7% mas. (stosunek wagowy 2-HEA:PEGDA – 2,5:1), upłynniacz (PAS) – 0,5% w stosunku do masy Al_2O_3, środek spieniający (SCH) – 0,3% mas. w zawiesinie.

Z pomiarów wstępnych wynika (Rys. 4), że wprowadzenie do zawiesiny ceramicznej inicjatora w ilości 1,25% w stosunku do masy znajdujących się w niej czynników żelujących powoduje rozpoczęcie procesu polimeryzacji już po upływie około 4 minut. Zmniejszanie ilości APS powoduje stopniowe wydłużanie czasu indukcji. W obecności 0,25% APS w badanym czasie (26 minut) nie stwierdzono wzrostu temperatury zawiesiny świadczącej o rozpoczęciu procesu polimeryzacji. Na podstawie uzyskanych wyników przyjęto, że ilość APS w stosunku do masy czynników żelujących w zawiesinie wynosząca 0,75% (czas indukcji około 12 min.) jest optymalna i taką stosowano w przeprowadzonych próbach polimeryzacji tworzywa.

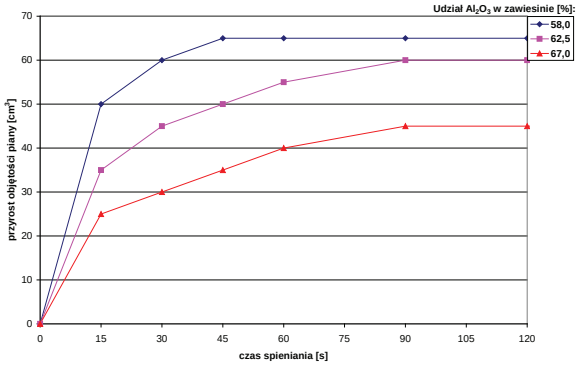
Uzyskane po obróbce termicznej tworzywa charakteryzowały się wysokim udziałem objętościowym porów (Tabela 1), znajdującym się na poziomie 81,5% w przypadku tworzywa wypalonego w temperaturze 1500 °C i około 77% dla wypalonego w 1700 °C. Wartości porowatości całkowitej i otwartej były nieomal jednakowe, co wskazuje na znikomy udział porów zamkniętych. Potwierdza to obraz SEM przekrojów tych tworzyw (Rys. 5). Widać na nich, że uzyskane tworzywa charakteryzowały się występowaniem sferycznych makroporów (komórek piany), połączonych oknami, które tworzą system wzajemnych połączeń pomiędzy komórkami piany.

Na obrazach uzyskanych za pomocą mikroskopu skaningowego można również zauważyć, że ścianki komórek piany mają zwartą budowę. Wzrost temperatury wypalania wpłynął na wytrzymałość mechaniczną uzyskanych tworzyw. Wyniosła ona 2,31 MPa w przypadku najmniej spieczonego tworzywa wypalonego w temperaturze 1500 °C i 6,75 MPa dla tworzywa wypalonego w temperaturze 1700 °C. Obróbka termiczna w wyższej temperaturze spowodowała rekrystalizację ziaren korundu, który wyraźnie zwiększył swoje rozmiary.

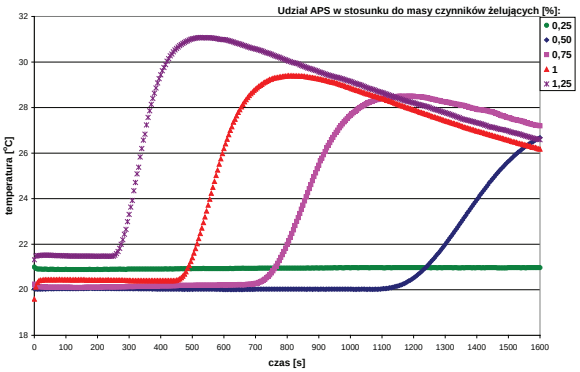
Z analizy mikroskopowej uzyskanych tworzyw wynika (Tabela 1), że średnice komórek piany zawarte są w przedziale od ~40 μm do 600 μm w przypadku tworzywa wypalonego w temperaturze 1500 °C oraz od ~40 μm do ~300 μm w przypadku tworzyw wypalonych w wyższych temperaturach. Najczęściej występująca średnica komórki we wszystkich otrzymanych tworzywach zawiera się w granicach 115-150 μm i maleje wraz ze wzrostem stopnia spieczenia. W strukturach o budowie piany średnice porów wyznaczone metodą porozymetrii rtęciowej można utożsamiać ze średnicami okien na ściankach komórek piany. Jak wynika z zależności przedstawionej na Rys. 6 średnice tych porów oznaczone dla badanych tworzyw zawarte są w przedziale 1-110 μm, a ich średnica modalna rośnie od 45 μm do 90 μm wraz ze wzrostem temperatury wypalania. Są one wyższe niż odpowiadające im średnice okien określone na podstawie obrazów otrzymanych w mikroskopie skaningowym. Zjawisko to jest znane [14] i związane z faktem, że analiza mikroskopowa obejmuje jedynie dostępne wizualnie pory, natomiast porozymetria obejmuje ich pełną populację. W przypadku tworzywa wypalonego w temperaturze 1500 °C stwierdzono występowanie między ziarnami spieku 6% mikroporów o średnicach zastępczych <1 μm. Spiekanie tworzywa podczas wypalania w wyższych temperaturach powoduje stopniowe zanikanie tych porów.



Rys. 2. Zależność lepkości pozornej od szybkości ścinania dla zawiesin ceramicznych zawierających 58% mas. Al_2O_3 i wskazane ilości upłynniacza PAS.
Fig. 2. Correlation between apparent viscosity and shear rate for ceramic suspensions containing 58 wt.% of Al_2O_3 and indicated amounts of deflocculant PAS.



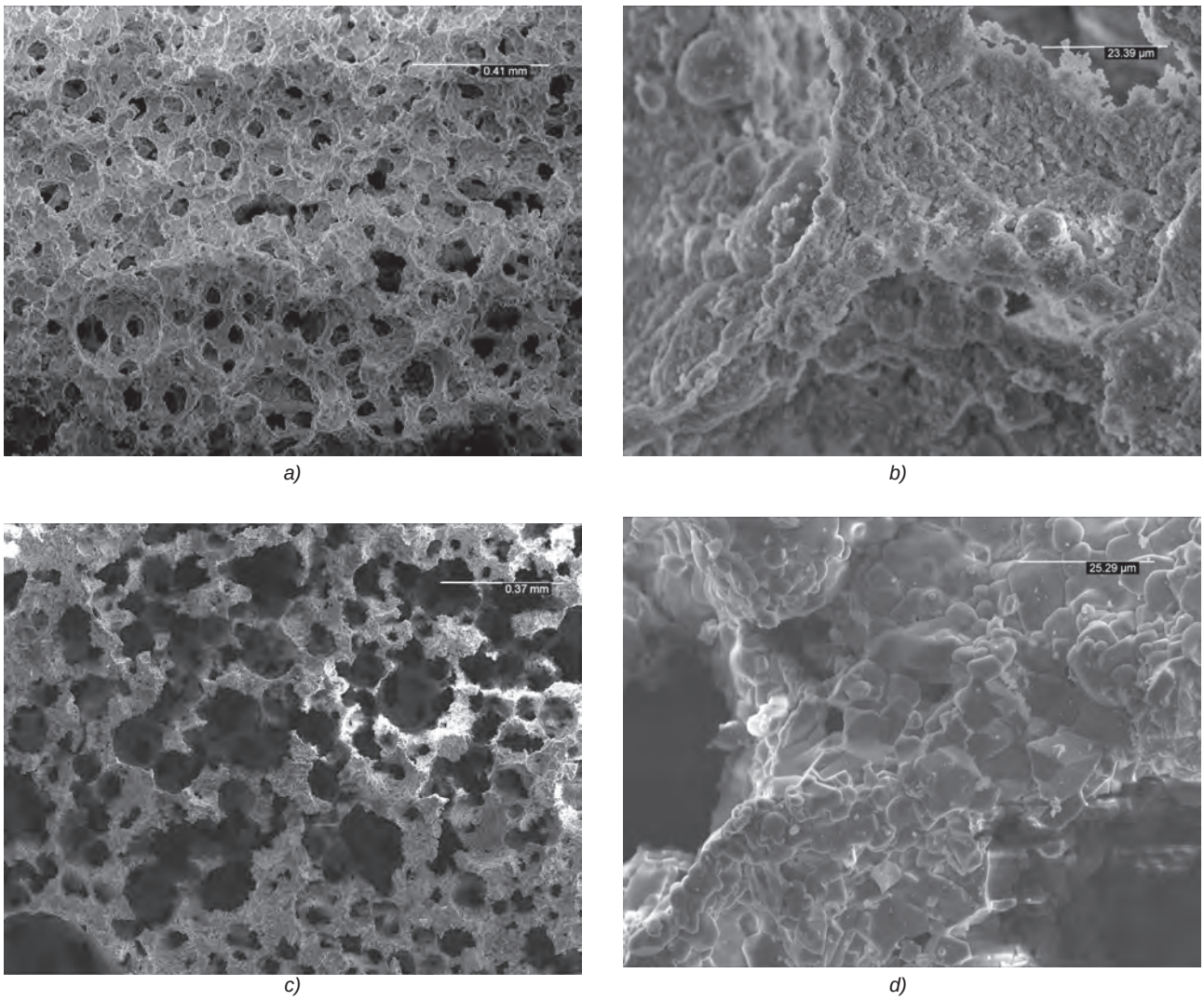
Rys. 3. Przyrost objętości spienianej zawiesiny ceramicznej w zależności od czasu i udziału Al_2O_3; udział upłynniacza w stosunku do masy Al_2O_3 wynosił 0,5%.
Fig. 3. Increment of ceramic suspension volume as a function of time and content of Al_2O_3; the content of deflocculant in relation to the Al_2O_3 mass was 0.5%.



Rys. 4. Wpływ ilości inicjatora (APS) liczonej w stosunku do masy czynników żelujących (2-HEA + PEGDA) na czas indukcji procesu polimeryzacji zawiesin z Al_2O_3 (bez spieniania).
Fig. 4. Influence of amount of the APS initiator computed in relation to the gelling agents mass (2-HEA + PEGDA) on induction time of Al_2O_3 suspension polymerization (without foaming).

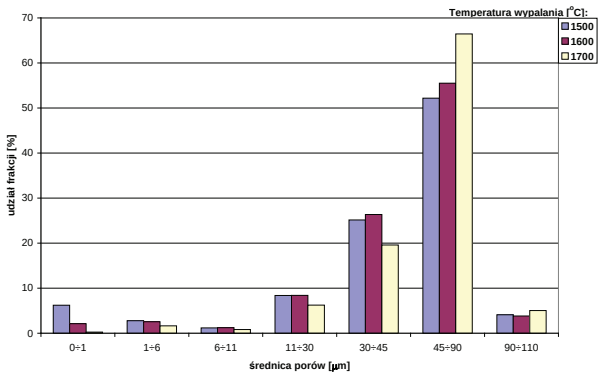
Tabela 1. Właściwości piankowych tworzyw ceramicznych w zależności od temperatury obróbki termicznej.
Table 1. Properties of ceramic foam materials depending on thermal treatment temperature.

Właściwość	Jednostka	Temperatura wypalania		
		1500°C	1600°C	1700°C
Gęstość pozorna	[g/cm^3]	0,72 ± 0,01	0,79 ± 0,02	0,90 ± 0,01
Porowatość całkowita	[%]	81,5 ± 0,3	80,5 ± 0,5	77,2 ± 0,4
Porowatość otwarta	[%]	81,5 ± 0,2	79,8 ± 0,5	76,9 ± 0,3
Wytrzymałość na ściskanie	[MPa]	2,31 ± 0,31	3,56 ± 0,43	6,75 ± 0,37
Średnice komórek piany (SEM): – przedział – wartość modalna	[μm]	40-600 145	40-300 119	50-280 115
Średnice okien (SEM): – przedział – wartość modalna	[μm]	3-105 18	1-40 10	4-80 14



a) b) c) d)

Rys. 5. Mikrostruktura powierzchni przekroju piankowego tworzywa ceramicznego wypalonego w temperaturze: a) i b) 1500°C przez 2 h, c) i d) 1700°C przez 2 h.
Fig. 5. Cross-section microstructures of ceramic foam materials fired for 2 h at 1500°C (a) and (b), and 1700°C (c) and (d).



Rys. 6. Rozkład wielkości średnic porów w piankowych tworzywach z tlenku glinu wypalonych w zakresie temperatury 1500-1700°C, uzyskany metodą porozymetrii rtęciowej.
Fig. 6. Pore diameter distribution in foamed alumina materials fired within a temperature range of 1500-1700°C, obtained by the method of mercury porosimetry.

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań wykazały, że metodą żelowania spienionej zawiesiny z zastosowaniem zestawu dwóch bezazotowych związków organicznych: akrylanu 2-hydroksyetylu i diakrylanu poli(glikolu etylenowego), można otrzymać piankowe tworzywo ceramiczne na bazie Al_2O_3.

Optymalny skład spienianej zawiesiny wynosi: Al_2O_3 – 58% mas. (50% obj.) w zawiesinie, stężenie czynników żelujących (2-HEA + PEGDA) w zawiesinie – 7% mas. (stosunek wagowy 2-HEA:PEGDA – 2,5:1), upłynniacz (PAS) – 0,5% w stosunku do masy Al_2O_3 i środek spieniający (SCH) – 0,3% mas. w zawiesinie.

Po wypaleniu spolimeryzowanych półfabrykatów w temperaturach z przedziału 1500-1700°C uzyskuje się porowate tworzywa, charakteryzujące się wysokim udziałem objętościowym porów. Struktura porów w otrzymanych tworzywach jest otwarta dzięki obecności okien w ich ścianach.

Uzyskane tą metodą tworzywo może być interesującym materiałem do wykorzystania w procesach filtracji gazów spalinowych. Może być także wykorzystane jako ogniotrwały materiał izolacyjny lub też preforma do otrzymywania kompozytów ceramiczno-metalowych.

Podziękowanie

Praca została sfinansowana ze środków statutowych Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych – Oddział Materiałów Ogniotrwałych w Gliwicach nr 2N023S11 w roku 2011.

Literatura

[1] Binner, J.: Gel casting of ceramic foams, *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 24, 3, (2003), 125-134.
[2] Omatete, O. O., Janney, M. A., Strehlow, R. A.: Gelcasting – a new ceramic forming process, *Ceram. Bull.*, 70, 10, (1991), 1641-1649.
[3] Janney, M. A., Omatete, O. O.: *Method for molding ceramic powders using water-based gel casting,* U.S. Pat. No. 5-028-362, 1991.
[4] Sepulveda, P.: Gelcasting foams for porous ceramics, *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 76, 10, (1997), 61-65.
[5] Sepulveda, P., Binner, J. G. P.: Processing of cellular ceramics by foaming and in situ polymerisation of organic monomers, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 19, (1999), 2059-2066.
[6] Szafran, M., Bednarek, P., Jach, D.: Formowanie tworzyw ceramicznych metodą gelcasting, *Mat. Ceram.*, 59, 1, (2007), 17-25.
[7] Ha, J.-S.: Effect of atmosphere type on gelcasting behavior of Al2O3 and evaluation of green strength, *Ceram. Int.*, 26, (2000), 251-254.
[8] Ortega, F. S., Sepulveda, P., Pandolfelli, V. C.: Monomer systems for the gelcasting of foams, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 22, (2002), 1395-1401.
[9] Ortega, F. S., Valenzuela, F. A. O.: Alternative gelling agents for the gelcasting of ceramic foams, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 23, (2003), 75-80.
[10] Potoczek, M.: Gelcasting of alumina foams using agarose solutions, *Ceram. Int.*, 34, (2008), 661-667.
[11] Dhara, S., Pradhan, M., Ghosh, D., Bhargava, P.: Nature inspired novel processing router for ceramic foams, *Adv. Appl. Ceram.*, 104, 1, (2005), 9-21.
[12] Prabhakaran, K., Gokhale, N. M., Sharma, S. C., Lal, R.: A novel process for low-density alumina foams, *J. Am. Ceram. Soc.*, 88, 9, (2005), 2600-2603.
[13] Lyckfeldt, O., Ferreira, J. M. F.: Processing of porous ceramics by starch consolidation, *J. Eur. Ceram. Soc.*, 18, (1998), 131-140.
[14] Potoczek. M., Zima. A., Paszkiewicz. Z., Ślósarczyk. A.: Manufacturing of highly porous calcium phosphate bioceramics via gel-casting using agarose, *Ceram. Int.*, 35, (2009), 2249-2254.

♦

Otrzymano 16 czerwca 2015, zaakceptowano 27 sierpnia 2015.