

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Metaliczne materiały kompozytowe w aplikacjach lotniczych (w tym materiały typu Glare) Composite metallic materials in aviation applications (including Glare-type materials)

Politechnika Lubelska, Politechnika Rzeszowska, Instytut Wojsk Lotniczych, Politechnika Śląska, Instytut Lotnictwa w Warszawie, Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

Wyniki badań Results

Opracowanie technologii wytwarzania korundowych kształtek o budowie piany jako preformów do infiltracji metalem.

Design of alumina bodies having foam structure as a performs for metal infiltration

Wprowadzenie

Materiały ceramiczne o porowatości otwartej mają szerokie zastosowanie praktyczne w wielu urządzeniach, m.in. jako podłoża do katalizatorów, filtry do cieczy i gazów, porowate kształtki do infiltracji metalami lub polimerami. W badaniach właściwości mechanicznych kompozytów na oświadczeniu ceramicy istnieje potrzeba odtworzenia ceramicznego szkieletu kompozytu. W tym celu, w poprzednich badaniach opracowano numeryczny model budowy przestrzennej pianki, a obecnie przeprowadzono jego weryfikację z doświadczeniem. Opracowano także technologię wytwarzania kompozytów ceramiczno-polimerowych.

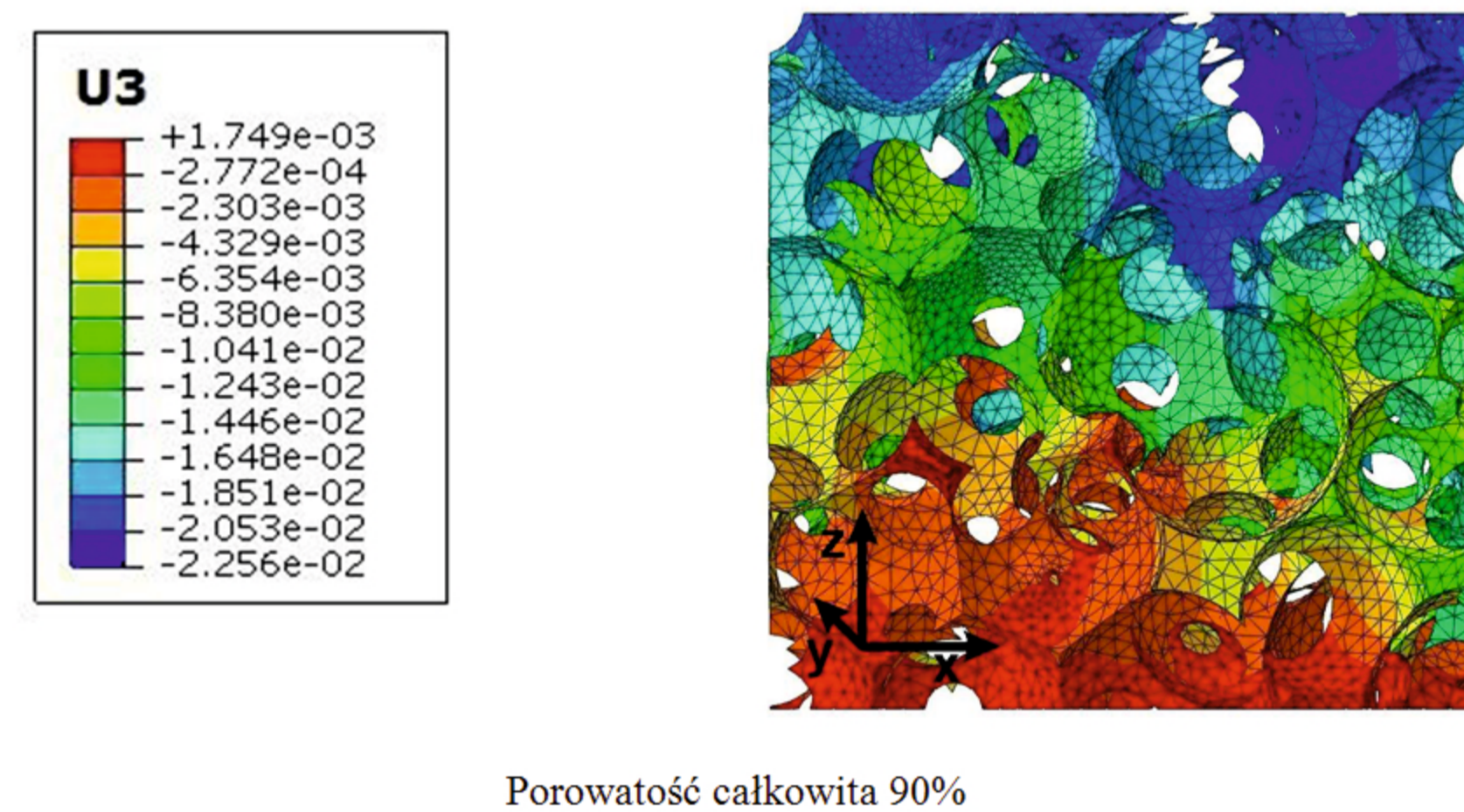
Introduction

Ceramic materials with open porosity have a wide range of practical applications, for example as catalyst supports, gas and liquid filters, performs for producing interpenetrating composites by metal or polymer infiltration. For determination of mechanical properties of composites containing ceramic foams, the reconstruction of a ceramic skeleton is needed. In our previous study a numerical model of a ceramic foam was determined. It was proved in this study that the simulated values of the elastic modulus of gelcast foams showed good agreement with real experimental tests. A manufacturing method of epoxy resin/alumina composites was also studied.

Porównanie wartości modułów Younga uzyskanych metodą symulacji numerycznej z wyznaczonymi doświadczalnie metodą ultradźwiękową

Warunki pracy większości pianek ceramicznych prognozowane są w zakresie odkształceń sprężystych. Stąd symulacje numeryczne przeprowadzono tylko w zakresie odkształceń sprężystych. Zakładając liniową sprężystość, izotropię materiału i małe deformacje (do 1%) zależność między przyłożoną siłą a przemieszczeniem pionowym w symulacji numerycznej jest liniowa. Jako równanie konstytutywne zastosowano równanie teorii sprężystości Hooke'a, w którym wartość modułu Younga (E) i współczynnika Poissona (ν) materiału szkieletu pianki przyjęto na podstawie danych dla gęstego korundu ($E=380$ GPa, $\nu=0,22$).

Na rys. 1 pokazano wynik symulacji numerycznej procesu deformacji w próbie ściskania pianek o różnej porowatości.



Porowatość całkowita 90%

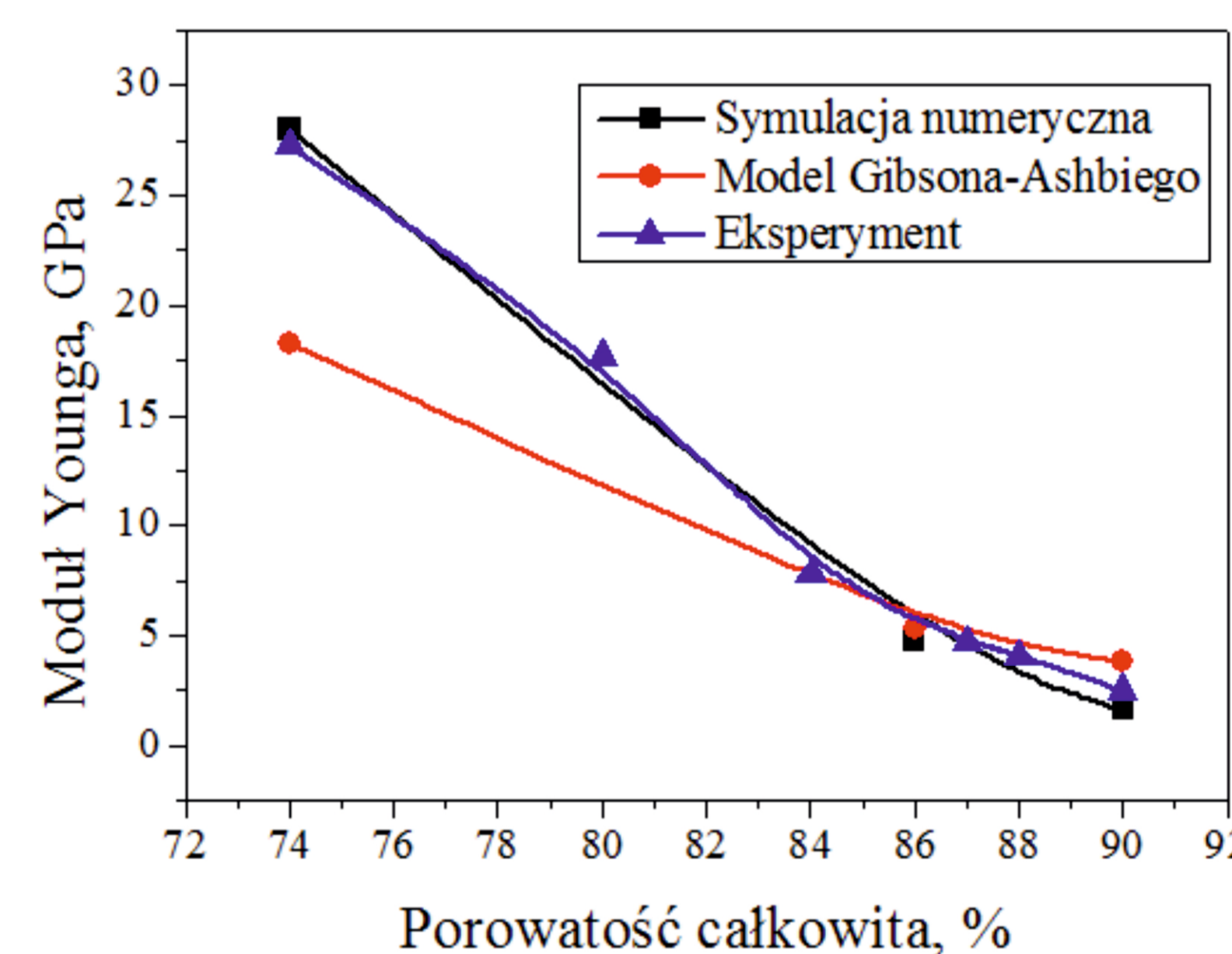
Porowatość całkowita 74%

Rys. 1. Rozkład przemieszczeń wzdłuż osi z dla wygenerowanych pianek korundowych w kształcie sześcianu o długości boku 2,5 mm. Wartości przemieszczeń w legendzie podano w milimetrach

Fig. 1. Displacements in z direction of the alumina foam models having cube shape with edge length of 2,5 mm. Displacement values at legend are given in millimeters

Wyniki symulacji numerycznej próby ściskania pianek korundowych pozwoliły na określenie ich modułu Younga w funkcji porowatości (rys. 2). Na rys. 2 porównano także wartości modułu Younga pianek korundowych określone na podstawie symulacji numerycznej oraz obliczone na podstawie modelu Gibsona-Ashbiego z wartościami eksperymentalnymi metodą ultradźwiękową zgodnie z normą ASTM [1].

[1] Standard Test Method for Dynamic Young's Modulus, Shear Modulus and Poisson's Ratio for Advanced Ceramics by Impulse Excitation of Vibration, ASTM Designation: C 885-87; pp. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa.



Rys. 2. Porównanie wartości modułu Younga pianek korundowych określonych na podstawie symulacji numerycznej oraz modelu Gibsona-Ashbiego z wyznaczonymi eksperymentalnie metodą ultradźwiękową

Fig. 2. The comparison of Young modulus values calculated on the base of numerical simulation and Gibson-Ashby model with those obtained by experimental bar resonance method

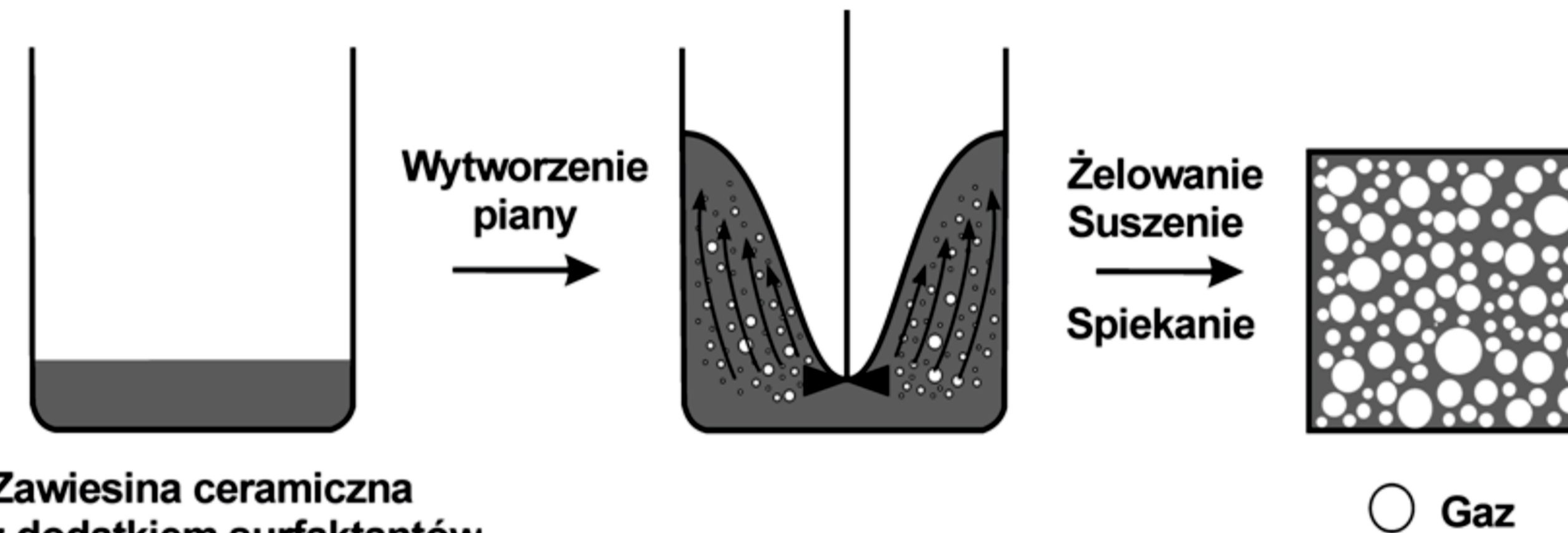
Stwierdzono bardzo dobrą zgodność pomiędzy wartościami modułu Younga pianek korundowych wyznaczonych metodą symulacji numerycznej z wartościami eksperymentalnymi wyznaczonymi metodą ultradźwiękową (rys. 2). Opracowania w tej pracy numeryczny model struktury przestrzennej pianki, a także zastosowana symulacja numeryczna w zakresie odkształceń liniowo-sprężystych nie uwzględniają występowania mikropęknięć w szkielecie ceramicznym. Stąd wartości modułu Younga wyznaczone na podstawie próby ściskania metodą symulacji numerycznej w warunkach nieniszczących pozostają w bardzo dobrej zgodności z wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie nieniszczącą metodą ultradźwiękową.

Wartości modułu Younga obliczone na podstawie modelu Gibsona i Ashbiego pozostają w zgodności z wartościami wyznaczonymi eksperymentalnie metodą ultradźwiękową tylko w zakresie bardzo dużych porowatości (rys. 2). Uzyskane wyniki potwierdzają krytyczne opinie na temat modelu Gibsona i Ashbiego przedstawione w literaturze, że przewidywanie wybranych właściwości mechanicznych ceramicznych materiałów piankowych na podstawie wspomnianego modelu jest ograniczone do zakresu bardzo dużych porowatości (85-90%).

Opracowanie procesu wytwarzania kompozytów ceramiczno-polimerowych o wzajemnie przenikających się szkieletach

Infiltracja pianek ceramicznych ciekłymi metalami lub polimerami stwarza możliwość wytwarzania nowych kompozytów o wzajemnie przenikających się szkieletach fazy ceramicznej i polimerowej lub ceramicznej i metalicznej. Podstawowym kryterium doboru i projektowania ceramicznych materiałów piankowych jako kształtek do infiltracji ciśnieniowej ciekłymi metalami lub polimerami jest porowatość o charakterze prawie wyłącznie otwartym, wytrzymałość na ściskanie większa od ciśnienia progowego infiltracji i możliwie duża wartość przepuszczalności.

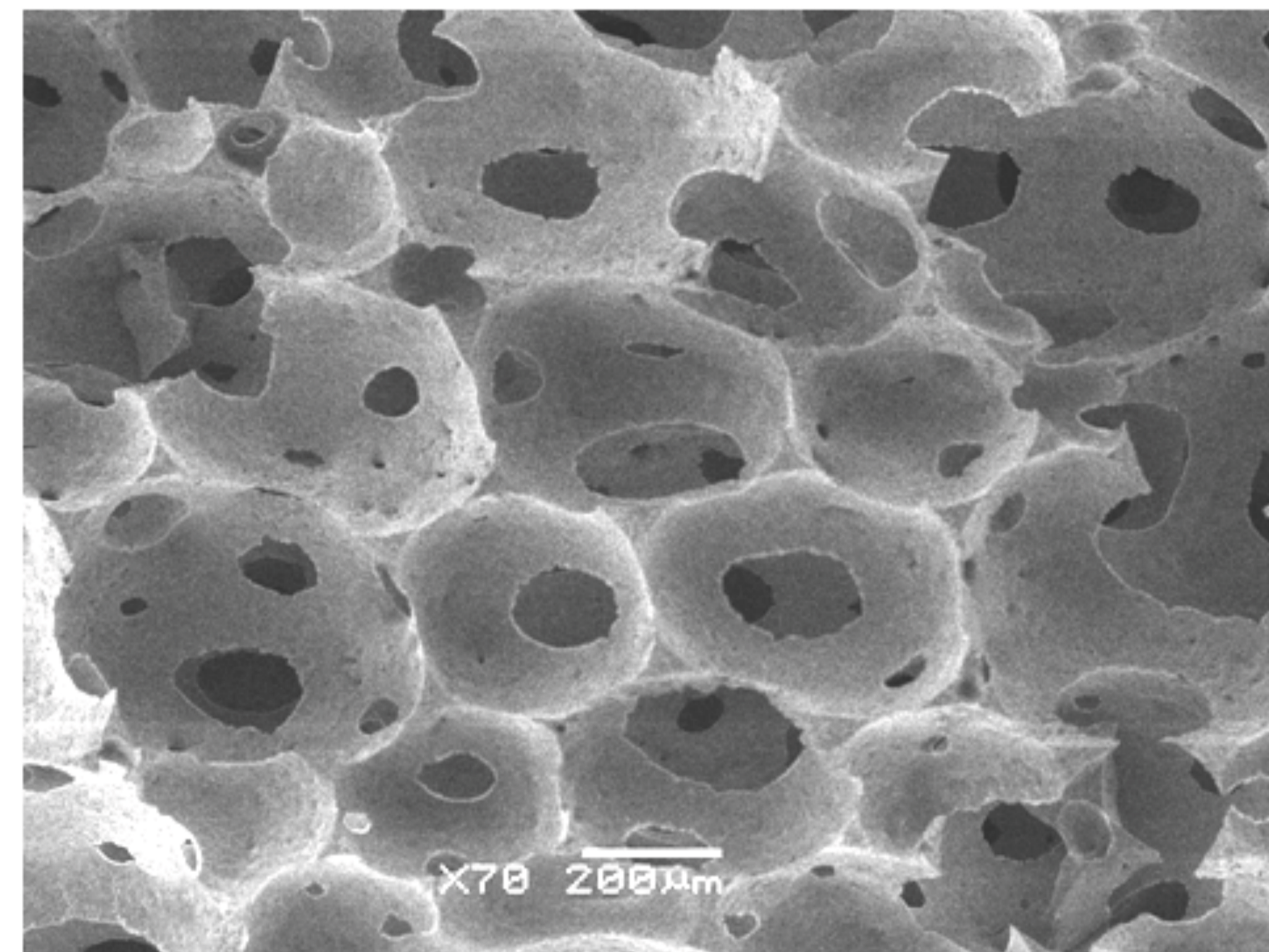
Do wytworzenia kompozytów Al₂O₃/żywica epoksydowa zastosowano pianki korundowe porowatości 88% wytworzone metodą spieniania i żelowania przy użyciu agarozy jako środka żelującego. Schemat ideowy procesu wywarzania pianek ceramicznych metodą spieniania i żelowania (ang. gelcasting of foams) przedstawiono na rys. 3.



Zawiesina ceramiczna z dodatkami surfaktantów i środków żelujących

Rys. 3. Schemat ideowy procesu wywarzania pianek ceramicznych metodą spieniania i żelowania (ang. gelcasting of foams) Fig. 3. Flowchart of gelcasting of foams method

Na rys. 4 pokazano obraz SEM przelomu ceramiki porowatej wytworzonej metodą żelowania spienionej zawiesiny. Porowata kształtka charakteryzuje się występowaniem sferycznych makroporów, zwanych także komórkami piany, połączonych okienkami, które tworzą system wzajemnych połączeń pomiędzy komórkami piany, co sprawia, że porowatość próbki jest otwarta.



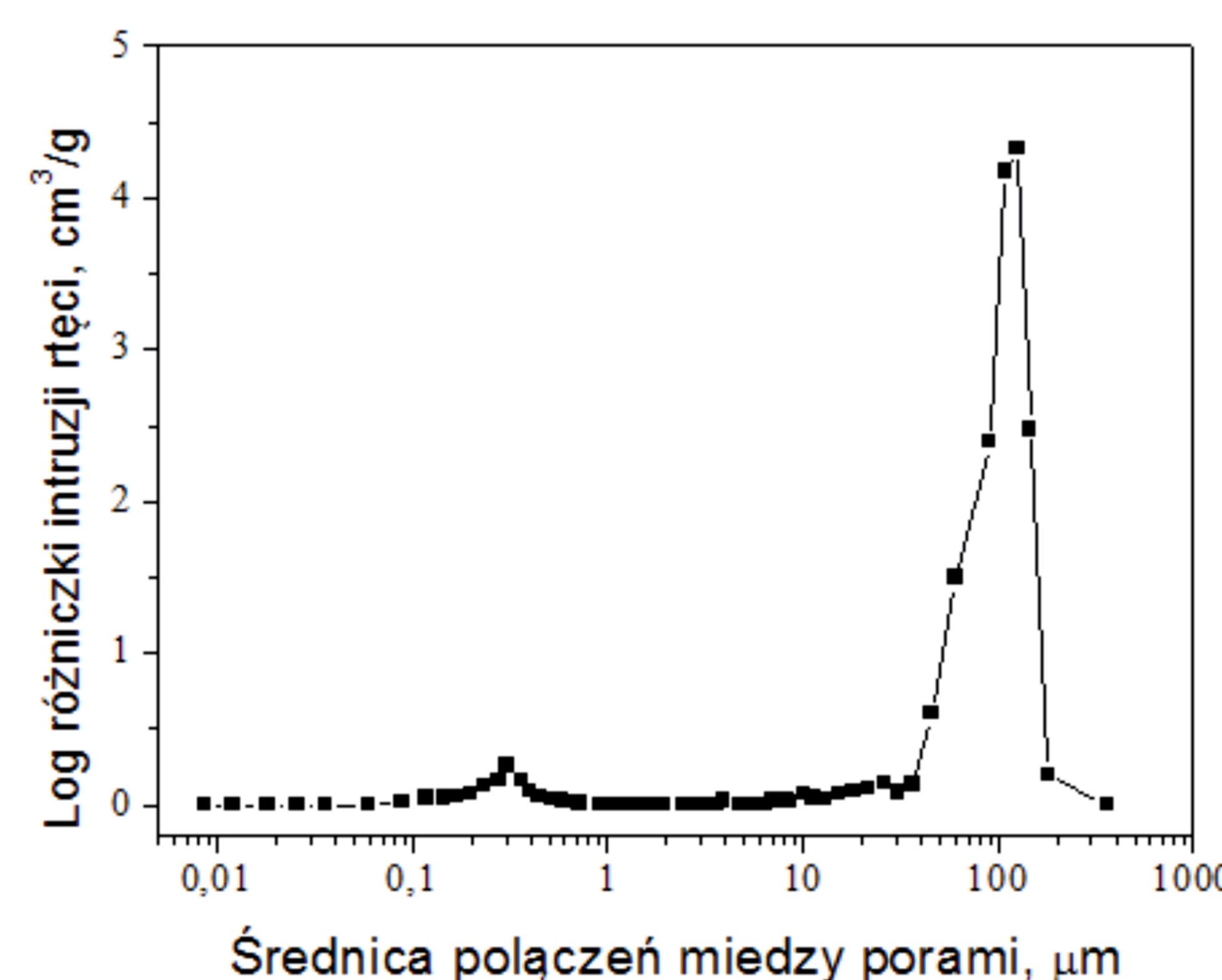
Rys. 4. Obraz SEM ceramiki porowatej wytworzonej metodą żelowania spienionej zawiesiny przeznaczanej do nasączenia ciekłym polimerem Fig. 4. SEM image of porous ceramics obtained by the gelcasting of foams method designed as a perform for liquid polymer infiltration

Przed procesem nasączenia pianki ciekłym polimerem, przeprowadzono jej charakterystykę geometryczną – określono rozmiar komórek i okien, a także mechaniczną – określono wytrzymałość na ściskanie i na zginanie (tabela 1).

Tabela 1. Mikrostrukturalne i mechaniczne parametry ceramiki porowatej przeznaczanej do nasączenia ciekłymi polimerami

Gęstość pozorną (g/cm ³)	Porowatość całkowita (%)	Wytrzymałość na zginanie (MPa)	Wytrzymałość na ściskanie (MPa)	Średni rozmiar komórki (μm)	Średni rozmiar okna (μm)
0,567	85,9 ± 0,4	5,49 ± 0,51	8,14 ± 0,92	375	79

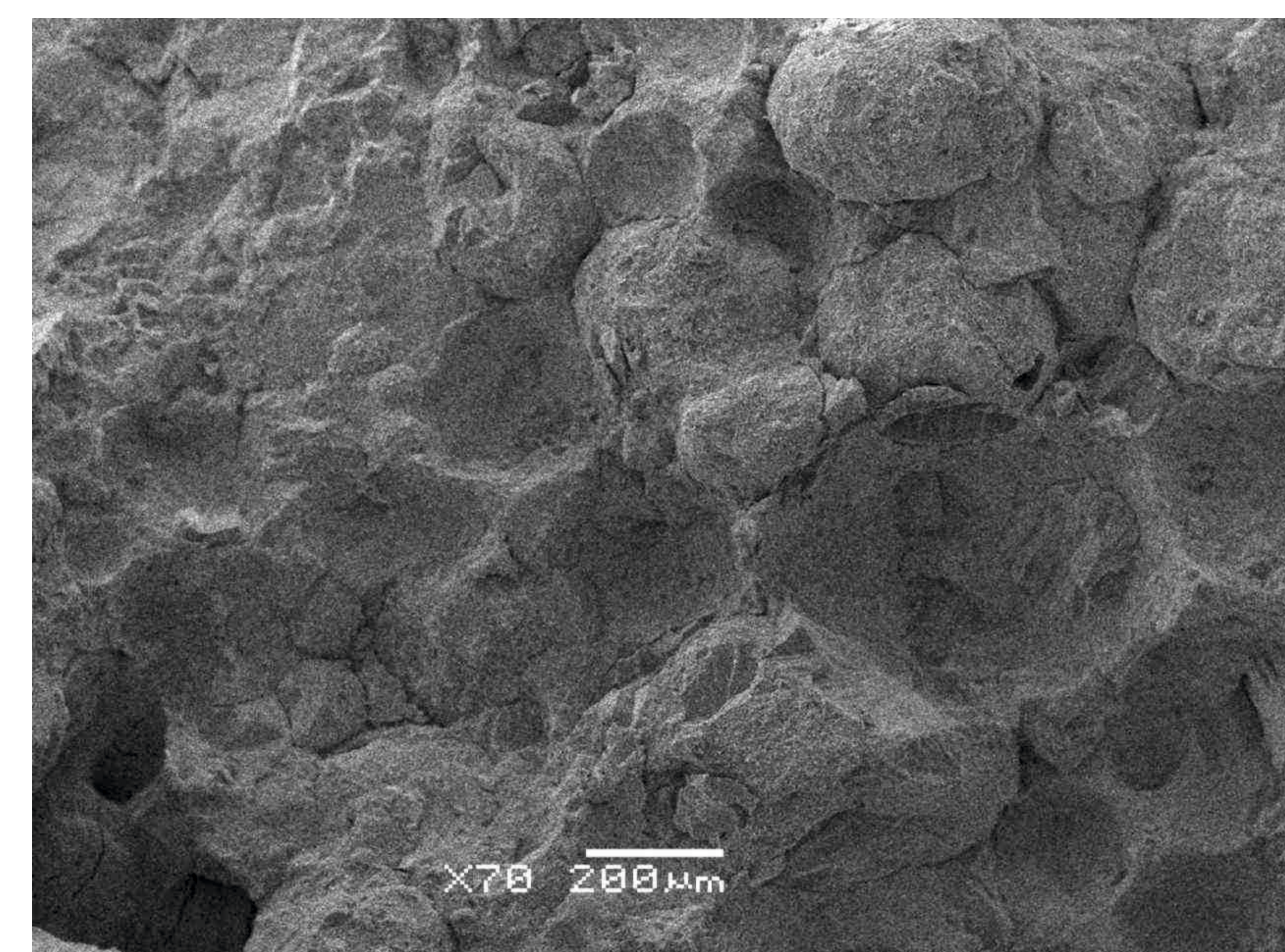
Wykonano także charakterystykę połączeń między porami metodą porozymetrii rтєciowej (rys. 5).



Rys. 5. Rozkład średnic połączeń między porami w piance Al₂O₃ uzyskany metodą porozymetrii rтєciowej. Wartości populacji dominującej odpowiada średnicy okien w ściankach komórek pianki

Fig. 5. Interconnected pore size distribution of the alumina foams measured by Hg porosimeter. The values of dominating population represent the window size in the cell wall

Do wytworzenia kompozytów ceramiczno-polimerowych zastosowano żywicę epoksydową o małej masie cząsteczkowej produkcji firmy Aldrich. Nasylenie pianki ceramicznej polimerem przeprowadzono w suszarce próżniowej stosując podciśnienie 103 Pa. Czas nasycania wynosił 30 min. Przy zastosowaniu żywicy epoksydowej o małej masie cząsteczkowej uzyskano pełne zapelnienie porów (rys. 6).



Rys. 6. Przelom kompozytu Al₂O₃/żywica epoksydowa, SEM Fig. 6. Cross-section of the Al₂O₃/epoxy resin composite, SEM

Należy jednak zaznaczyć, że kompozyty Al₂O₃/żywica epoksydowa w warunkach podwyższonej temperatury (100oC) i pod działaniem pary wodnej ulegały destrukcji.

Wnioski Conclusions

- Opracowany model numeryczny geometrii przestrzennej pianki ceramicznej pozwala na odtworzenie struktury pianki o dowolnej porowatości. Stwierdzono bardzo dobrą zgodność wartości modułów Younga pianek korundowych pomiędzy doświadczeniem z zastosowaniem metody ultradźwiękowej a symulacją numeryczną z zastosowaniem metody elementów skończonych.
- Otrzymane pianki korundowe przeznaczone do nasycania polimerami charakteryzował bardzo dobry zespół właściwości mechanicznych. Wytrzymałość na ściskanie pianki o porowatości 86% wynosiła 8,1MPa, a wytrzymałość na zginanie 5,5 MPa. Duże, jak na materiały wysokoporowate, wartości parametrów mechanicznych wynikają z dobrze zagęszczonego szkieletu ceramicznego wytworzonego przez spienianie zawiesin korundowych z rozpuszczoną agarozą.
- Opracowano technologię wytwarzania kompozytów ceramiczno-polimerowych. Kompozyty Al₂O₃/żywica epoksydowa charakteryzowały się pełnym wypełnieniem porów.

- For the simulation of physical and mechanical properties of ceramic foams, a numerical model was created. The simulated values of the elastic modulus of gelcast foams showed very good agreement with real experimental tests by impulse excitation of vibration
- The ceramic foams designed for polymer infiltration showed high mechanical properties. The compressive and flexural strengths were found to be 8.1 and 5.5 MPa, respectively. High mechanical strengths of these porous materials are due to dense ceramic skeleton. The ceramic skeleton was manufactured by foaming of alumina suspensions containing agarose. The fabrication process of ceramic-polymer composites was development. The alumina/epoxy resin composites were characterized by full filling of pores.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Możliwość zastosowania w lotnictwie pianek ceramicznych i kompozytów wytworzonych przez infiltrację metalu lekkiego do pianki ceramicznej:

- pianki Al₂O₃ jako pochłaniacze dźwięku,
- kompozyty AlCu₅/Al₂O₃ - styki elektryczne odporne na ścieranie,
- kompozyty Mg-Al/Al₂O₃ - elementy tłumienia hałasu i drgań,
- kompozyty AlMg₅/Al₂O₃ - tarcze hamulcowe w elementach podwozia,
- kompozyty AlSi₁₁/Al₂O₃ - denka tłoków

Possibility of aerospace applications of ceramic foams and composites fabricated by light metal infiltration into ceramic foams:

- Al₂O₃ foams as sound absorbers,
- AlCu/Al₂O₃ composites – sliding electrical contacts
- Mg-Al/Al₂O₃ composites – sound and vibration absorbers,
- AlMg₅/Al₂O₃ composites – brake discs in landing gear elements,
- AlSi₁₁/Al₂O₃ composites – piston crowns

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

- M. Potoczek, R.E. Śliwa: "Different aerospace applications of ceramic foams" 7-th International Conference "Supply on the Wings", November 6-8, 2012, Frankfurt, Germany.

Publikacje

- M. Potoczek, R.E. Śliwa: "Different aerospace applications of ceramic foams". Wystane do: Aircraft Engineering and Aerospace Technology

Prace mgr, dr, hab.

- Prace inżynierskie w trakcie realizacji
- Jadwiga Chuchla, Wytwarzanie kompozytów ceramiczno-polimerowych na oświadczeniu ceramicy, opiekun dr inż. Marek Potoczek
- Joanna Dubie, Wytwarzanie i badanie właściwości pianek ceramicznych, opiekun dr inż. Marek Potoczek

Monografia habilitacyjna:

- M. Potoczek, „Kształtowanie mikrostruktury piankowych materiałów korundowych” Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, listopad 2012

Prace magisterskie planowan

- Joanna Ligoda, Właściwości mechaniczne kompozytów na oświadczeniu ceramicy, opiekun dr inż. Marek Potoczek