Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
KONFERENCJA ROCZNA PKAERO
9 - 10 Grudnia 2013

ZB 9

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 Techniczny 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 metalami i polimerami.

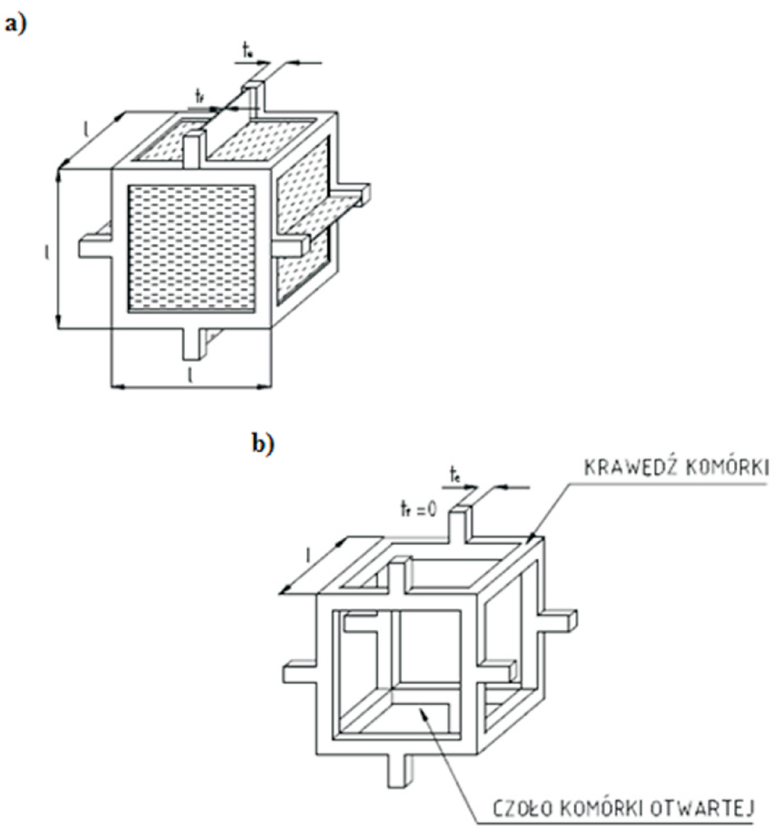
Design of alumina bodies having foam structure as a preforms for metal and polymer infiltration.

Wadą komórkowych wyrobów ceramicznych jest ich kruchość. W celu poprawy odporności na kruche pękanie podjęto próby łączenia ceramiki z innymi tworzywami, by w konsekwencji otrzymać materiały kompozytowe o korzystniejszych właściwościach, przy jednocześnie małej gęstości. Takim wymogom mogą sprostać tworzywa kompozytowe otrzymane na bazie ceramiki porowatej infiltrowanej żywicą epoksydową o małej masie cząsteczkowej (małej lepkości), odporności termicznej oraz większej wytrzymałości na ściskanie niż dla samej pianki ceramicznej. Geneza opracowania takich kompozytów wywodzi się z konieczności poszukiwania nowych materiałów o właściwościach, które spełniłyby oczekiwania projektantów i konstruktorów, niemożliwe do uzyskania dla materiałów tradycyjnych. Metoda wytwarzania takich kompozytów, charakterystyka komponentów potrzebnych do ich wykonania oraz badanie właściwości wytworzonych materiałów zostały wykonane w ramach niniejszej pracy.

The biggest drawback of cellular ceramic products is their low fracture resistance. In order to reduce or eliminate these restriction, it has been trying to connect the ceramic materials with another and in consequence receive composite materials with better properties and low density at the same time. Making composites by infiltration in to the pores the epoxy resin with low molecular weight (low viscosity), thermal resistance and higher compressive strength than for the ceramic foam can meet this requirements. The genesis in the development of the composites is derived because of the searching a new materials with such properities which can be fulfill the expectations of designers and constructors and can't be possible to obtain for traditional materials. Method of manufacturing these composites, haracterization of components needed for their implementation and examining the properties of the materials produced were made in the framework of this work.

Wykonanie pianek korundowych o różnej porowatości do infiltracji polimerami.

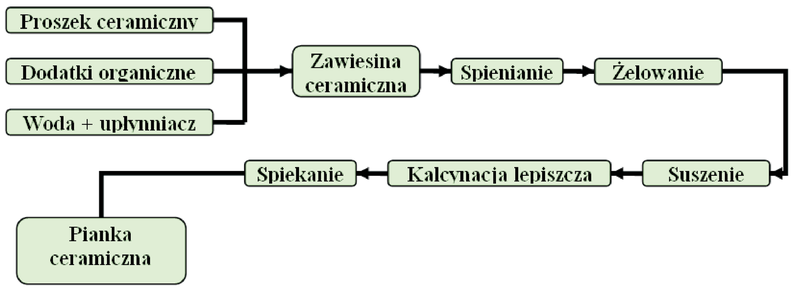
Strukturę materiałów porowatych przyjęto opisywać dwoma sześciennymi modelami. Jeden z nich przedstawia model komórki zamkniętej, natomiast drugi model komórki otwartej. Każda z przedstawionych komórek charakteryzowana jest poprzez długość boku l, zwaną rozmiarem komórki, grubością krawędzi te oraz grubością ścianki tf w przypadku komórki zamkniętej (rys.1).



Rys. 1. Sześcienny model komórki : a) zamkniętej, b) otwartej.
Fig. 1. The Cubic cell model: a) closed, b) open.

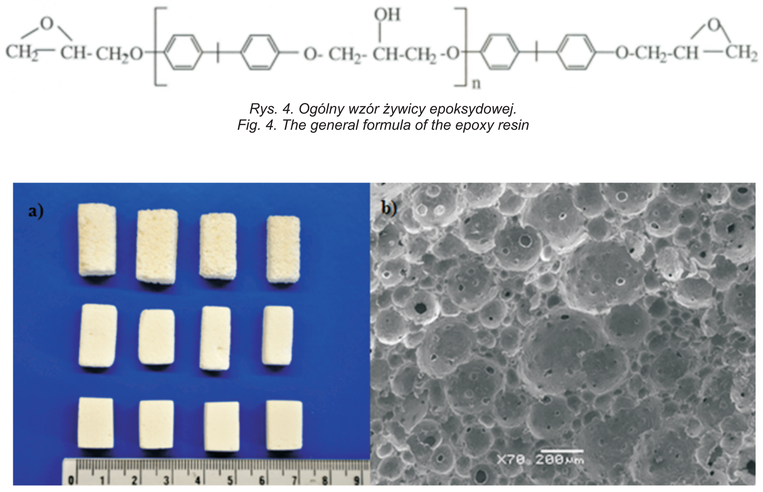
Analizując ten model, można optymalizować dobór materiału, gęstość pozorną i parametry struktury pianek rzeczywistych pod kątem konkretnych zastosowań na podstawie oszacowania parametrów termicznych oraz mechanicznych modelu pianki, np. w przypadku pochłaniaczy dźwięku.

Pianki korundowe wytworzono metodą żelowania spienionej zawiesiny, przy użyciu agarozy jako środka żelującego. Schemat procesu wywarzania pianek ceramicznych tą metodą (ang. gelcasting of foams) przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat procesu wywarzania pianek ceramicznych metodą żelowania spienionej zawiesiny.
Fig. 2. The flowchart of gelcasting of foams method.

Na rys.3a przedstawiono zdjęcie próbek o różnej porowatości całkowitej wykonane aparatem fotograficznym, natomiast na rys.3b obraz pianki o porowatości całkowitej 86% wykonany na skaningowym mikroskopie elektronowym typu „Jeol" JSM – 550 LV.



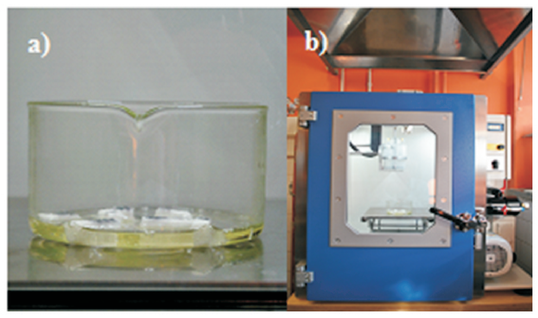
Rys. 3. Zdjęcie próbek korundowych wykonanych metodą żelowania spienionej zawiesiny (a); obraz SEM pianki korundowej o porowatości całkowitej 86% (b).
Fig. 3.The picture of the alumina samples made by gelcasting of foams (a); SEM image of the alumina foam with a total porosity of 86% (b).

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.

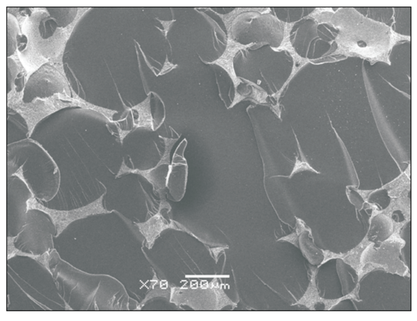
Z kolei wybór żywicy do produkcji jakiegokolwiek kompozytu zależy od jej właściwości, z których najważniejsze dla większości struktur kompozytowych są: adhezja, właściwości mechaniczne i odporność na działanie temperatury, czy wody. Żywice epoksydowe spełniają wymienione właściwości dzięki swojemu składowi chemicznemu i obecności polarnych grup wodorotlenowych i eterowych (rys. 4.)

Rys. 4. Ogólny wzór żywicy epoksydowej.
Fig. 4. The general formula of the epoxy resin

Do wytworzenia kompozytów Al2O3/żywica epoksydowa zastosowano pianki korundowe o porowatości 69% - 86%. Do infiltracji wybrano żywicę epoksydową o małej masie cząsteczkowej Epidian 52 (gęstość 1,12-1,13g/cm3, lepkość 400-800 mPa·s). Nasycenie pianek korundowych zalanych żywicą do ¾ ich wysokości przeprowadzono w krystalizatorze (rys.5a), w komorze próżniowej firmy Schüchl - Vakuum UH6-500 KOMBI (rys.5 b) pod ciśnieniem 1-5 hPa. Czas nasycania wynosił 60 min.

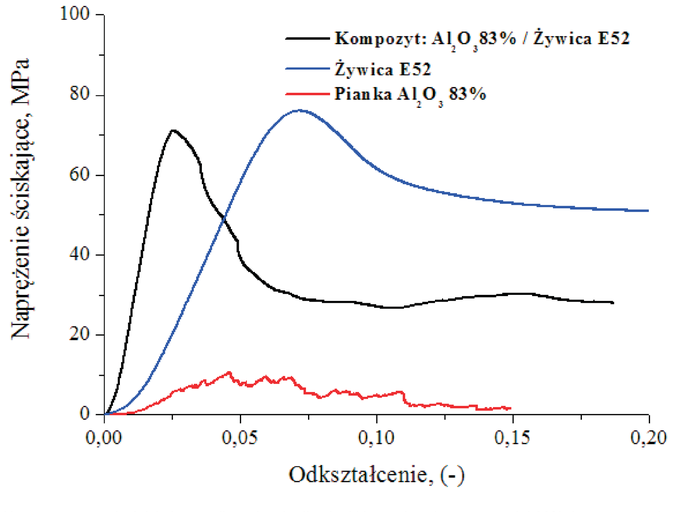


Rys. 5. Infiltracja próżniowa pianek korundowych żywicą epoksydową: a) metoda nasycania, b) komora próżniowa.
Fig. 5. Vacuum infiltration of the alumina foam with epoxy resin: a) saturating method, b) vacuum chamber.



Rys. 6. Przełom kompozytu pianka Al2O3 /żywica epoksydowa (porowatość pianki 86%), SEM.
Fig. 6. Cross section of the Al2O3 foam/epoxy resin composite (foam porosity 86%), SEM.

Dla kompozytu Al2O3 83%/żywica epoksydowa E52 sporządzono wykres zbiorczy. Naniesiono dane dla kompozytu, pianki korundowej oraz dane dla żywicy epoksydowej (rys. 7).



Rys. 7 Krzywe naprężenie ściskające- odkształcenie dla pianki korundowej o porowatości 83%, kompozytu: pianka Al2O3 83%/ żywica E52 oraz żywicy epoksydowej E52.
Fig. 7 Compressive stress-strain curves of the alumina foam with a total porosity of 83%; of composite 83% Al2O3 foam/epoxy resin and data for the epoxy resin E52.

Określono gęstość pozorną kompozytu Al2O3 86%/żywica epoksydowa wykorzystując metodę ważenia hydrostatycznego oraz obliczając na podstawie reguły mieszania (tabela 1).

Tabela 1. Gęstość pozorna, gęstość wyliczona w oparciu o regułę mieszania oraz stopień zapełnienia porów kompozytu Al2O3 86%/ żywica epoksydowa.
Table 1. Apparent density, the density calculated based on the mixing rule and the degree of the pore filling 86% Al2O3 composite / epoxy resin.

Gęstość pozorna wyznaczona metodą ważenia hydrostatycznego [g/cm³]	Gęstość wyliczona w oparciu o regułę mieszania [g/cm³]	Stopień zapełnienia porów [%]
1,46	1,67	95,5

Wartości średnicy komórki oraz rozmiarów połączeń między makroporami (okien) w piankach o różnej porowatości całkowitej, wyznaczone metodą analizy obrazu i wyrażone poprzez wartość średnią, modę oraz medianę zestawiono w tabelach 2 i 3.

Tabela 2. Wartość średnicy komórek pianek korundowych o różnej porowatości całkowitej (wartość średnia, moda i mediana).
Table 2 The cell diameter of the alumina foams with different total porosity (mean value, modal and median).

Porowatość całkowita [%]	Średnia średnica komórki i odchylenie standardowe [µm]	Moda średnicy komórki [µm]	Mediana średnicy komórki [µm]
69	112 ± 37	89	94
83	240 ± 63	170	203
84	251 ± 36	173	214
86	375 ± 97	301	333

Tabela 3. Średnica okna w piankach korundowych o różnej porowatości całkowitej (wartość średnia, moda i mediana).
Table 3. The window size of the alumina foams with different total porosity (mean value, modal and median).

Porowatość całkowita [%]	Średnia średnica okna i odchylenie standardowe [µm]	Moda średnicy okna [µm]	Mediana średnicy okna [µm]
69	12 ± 5	10	11
83	44 ± 6	32	35
84	47 ± 3	34	38
86	77 ± 39	51	57

Wnioski
Conclusions

1. Otrzymane pianki korundowe posiadały porowatość całkowitą od 69% do 86%. Gęstość pozorna otrzymanych próbek zawierała się w granicach od 0,555 do 1,217 g/cm3.
2. Obserwacje morfologiczne, wykonane na skaningowym mikroskopie elektronowym, pozwoliły na dokładne poznanie mikrostruktury porów wewnątrz wytworzonych pianek korundowych. Komórki pianki o kulistym kształcie tworzyły system wzajemnych połączeń, poprzez występowanie okienek na wspólnych ściankach komórek, co oznacza, że porowatość próbek była otwarta. Miało to duże znaczenie w późniejszej infiltracji pianek żywicą epoksydową.
3. Zastosowanie żywicy epoksydowej o małej masie cząsteczkowej (Epidian 52), a tym samym niewielkiej lepkości pozwoliło uzyskać pełne zapełnienie porów w piankach o porowatości całkowitej 83 - 86%.
4. Kompozyty pianka korundowa/żywica epoksydowa charakteryzowały się znacznie większą wytrzymałością na ściskanie niż pianki korundowe.

Conclusions:

1. The alumina foams had a total porosity in the range of 69% to 86%. Apparent density of the obtained samples was from 0.555 to 1.217 g/cm3.
2. Morphological observations made on the scanning electron microscope, show that the microstructure of pores inside the foams interlinking through the windows on the common occurrence of cell walls, which means that the porosity of the samples was open. This was very important in the subsequent infiltration of the epoxy resin foams.
3. Using the epoxy resin with low molecular weight (Epidian 52), and hance with low viscosity allowing the complete filling of the pores in the samples with different total porosity in the range of 83 - 86%.
4. Alumina foam/epoxy resin composites characterized by a much higher compressive strength than alumina foam has

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

Możliwości zastosowania w lotnictwie pianek ceramicznych i kompozytów wytworzonych przez infiltrację metalu lekkiego lub polimeru do pianki ceramicznej:
- pianki Al2O3 jako pochłaniacze dźwięku,
- kompozyty AlCu5/Al2O3 -styki elektryczne odporne na ścieranie,
- kompozyty AlMg5/Al2O3 – tarcze hamulcowe w elementach podwozia,
- kompozyty AlSi11/Al2O3 - denka tłoków
- kompozyty żywica epoksydowa/Al2O3 – osłony balistyczne

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
- AlMg5/Al2O3 composites – brake discs in landing gear elements,
- AlSi11/Al2O3 composites – piston crowns
- Epoxy resin /Al2O3 composites – ballistic protection

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Referaty

1. M. Potoczek, R.E. Śliwa: ***Porous ceramics for metal-ceramic and polymer-ceramic interpenetrating composites*** 8-th International Conference "Supply on the Wings", November 5-7, 2013, Frankfurt, Germany.
2. Marek Potoczek, Joanna Ligoda, Romana Ewa Śliwa, Tomasz G. Zieliński, Łukasz J. Nowak: ***Acoustic absorption of alumina foams*** 8-th International Conference "Supply on the Wings", November 5-7, 2013, Frankfurt, Germany.
3. M. Potoczek, J. Ligoda R.E. Śliwa: ***Pianki korundowe do infiltracji metalami i polimerami*** X-ta Konferencja Odkształcalności metali i stopów, 26-29 listopada 2013r., Łańcut, Zamek.

Publikacje

1. M. Potoczek, R.E. Śliwa, J. Ligoda: ***Pianki korundowe do infiltracji metalami i polimerami*** Rudy i Metale Nieżelazne, nr 11, 2013, 704-707.
2. T.G. Zieliński, M. Potoczek, R.E. Śliwa, Ł.J. Nowak ***Acoustic absorption of a new class of alumina foams with various high-porosity levels***, Archives of Acoustics, 38 (4) 2013 pp. (Po recenzji, w druku)

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO