

# 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 Techniczny Wojsk Lotniczych, Politechnika Śląska,

**Tytuł rozwiązania Innowacyjnego**  
Title of the innovative solution

**Sposób wytwarzania wysokoporowatych kształtek ceramicznych metodą żelowania spienionej zawiesiny jako matrycy do infiltracji metalami i polimerami**

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

**Krótki opis rozwiązania**  
Brief description of the solution

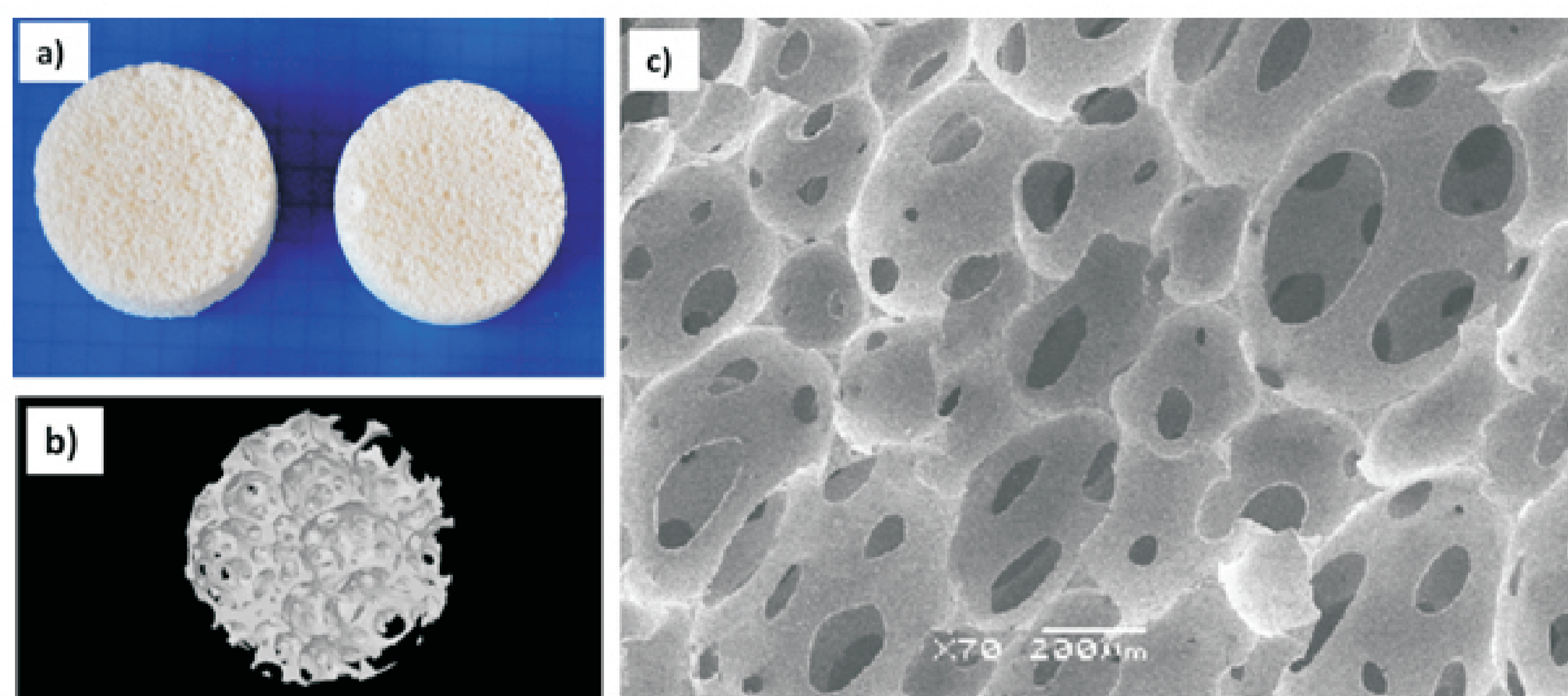
Sposób wytwarzania wysokoporowatych kształtek ceramicznych o budowie pianki polega na dodaniu wodnego roztworu agarozy (przyjazny dla środowiska biopolimer) o stężeniu 2,5 – 3,5% oraz środków spieniających do upłynnionej w młynie kulowym zawiesiny ceramicznej, zawierającej 65 – 85% wag. proszku ceramicznego (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> lub Ti<sub>2</sub>AlC) oraz upłynniacz w ilości 0,5 – 0,8% wag. i wodę w ilości 15 – 35% wag. Zawiesinę ceramiczną spienia się mechanicznie w temperaturze 60°C, a następnie utwala tak otrzymaną strukturę pianki w bezporowatych formach poprzez wytworzenie hydrożelu w wyniku reakcji polimeryzacji monomerów rozpuszczonych w zawieszynie ceramicznej. Surową, porowatą kształtkę ceramiczną poddaje się procesom suszenia, a następnie wypalania spoiwa organicznego oraz spiekania w określonym zakresie temperatury. Ceramiczne materiały piankowe otrzymane metodą gel-casting charakteryzują się porowatością w zakresie 60 – 90%, występowaniem kulistych makroporów (komórek pianki) połączonych ze sobą za pomocą okien, które tworzą system wzajemnych połączeń pomiędzy komórkami pianki. Z technologicznego punktu widzenia wytwarzanie pianek ceramicznych o porowatości wyłącznie otwartej jest bardzo istotne, ponieważ oznacza, że materiał zawierający pory otwarte jest przepuszczalny dla cieczy i gazów i stwarza dobre warunki hydrodynamiczne, a także możliwość infiltracji stopionym metalem lub ciekłym polimerem. Kompozytowy materiał ceramiczno-metaliczny i ceramiczno-polimerowy na podstawie pianki ceramicznej otrzymanej metodą żelowania spienionej zawiesiny charakteryzuje się przestrzenną strukturą wzajemnie przenikających się szkieletów fazy ceramicznej i metalicznej/polimerowej. Sposób wytwarzania kompozytu ceramiczno-metalicznego polega na infiltracji ciśnieniowej stopu aluminium o czystości technicznej i temperaturze od temperaturze od 680°C do 740°C pod ciśnieniem nie przekraczającym 4 MPa w czasie od 1 do 3 minuty do pianki ceramicznej o porowatości otwartej od 80 do 90% i rozmiarze makroporów w zakresie 200 – 500 μm i połączeń między nimi (okien) o wymiarach 50 – 120 μm oraz wysokości do 50mm. Tak otrzymany kompozyt chłodzi się utrzymując go pod ciśnieniem od 2 do 4 MPa, z szybkością do 10°C/min. do temperatury 450°C, po czym prowadzi się dalsze chłodzenie bez obciążania do temperatury otoczenia.

Sposób wytwarzania kompozytów ceramiczno-polimerowych polega na próżniowej infiltracji pianki korundowej o porowatości otwartej w zakresie 76 – 92% roztworem trójfunkcyjnej żywicy epoksydowej i utwardzaczem w temperaturze 80°C, pod ciśnieniem 1-103 Pa. Po zakończonym procesie infiltracji, nasączone polimerem pianki korundowe przekłada się do form silikonowych i poddaje procesowi utwardzania w zakresie temperatury 80 – 175°C. Chłodzenie wytworzonych kompozytów przebiega wraz z wyłączoną suszarką, aż do osiągnięcia temperatury pokojowej.

Fabrication process of the ceramic foams with high level of porosity consists of adding the aqueous solution of agarose (environmentally biopolymer) with concentration of 2.5 – 3.5% and the foaming agent into liquefied ceramic suspension contains 65 – 85% by weight ceramic powder (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or Ti<sub>2</sub>AlC) and dispersant in amount of 0.5 – 0.8% by weight and water in amount of 15 – 35% by weight. The suspension is mechanically foamed at 60°C, and then gelation these foam structures in non-porous molds by forming the hydrogel during the polymerization of monomers dissolved in a ceramic slurry process. The porous ceramic body is subjected to drying process and sintering at specified temperature schedule. Ceramic foam materials obtained by gel-casting method are characterized by porosity in the range of 60 – 90%, spherical macropores (cells of foam) connected together by windows, which create an interconnection system between cells. From a technological point of view, the production of ceramic foams with open porosity is very important, because it means that the material contains open pore structure is penetrable to liquids and gases and creates good hydrodynamic conditions, as well as the possibility of infiltration of molten metal or liquid polymer.

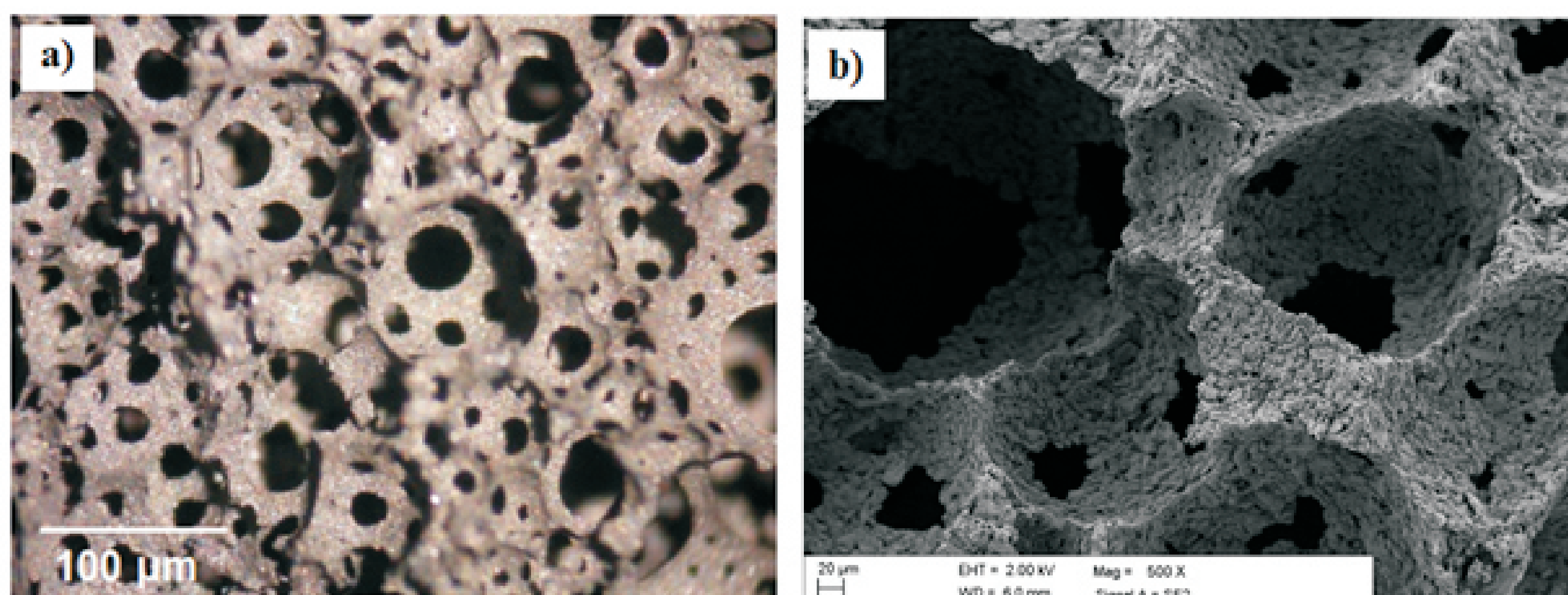
Manufacturing process of the ceramic-metal composite involves pressure infiltration of technical grade aluminum alloy with temperature from 680°C to 740°C under less than 4 MPa pressure from 1 to 3 minutes into a ceramic foam with open porosity in the range of 80 – 90% and macropores size in the range of 200 – 500μm and the connections between them (windows) with dimensions in the range of 50 – 120 μm and 50mm height. Thus composite is cooled while keeping it under pressure from 2 to 4 MPa, with rate of 10°C/min to 450°C, followed by further cooling without load to ambient temperature. Preparing method of ceramic-polymer composites consists on the pressure infiltration the tri-functional epoxy resin and hardener solution into the alumina foam with open porosity in the range of 76 – 92% at 80°C under of 1-103Pa. After infiltration process, the alumina foams which are impregnated with polymer are moved into silicone molds and cured at 80 – 175°C. Cooling produced runs until pressure chamber reaches ambient temperature.

**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution



Rys. 1. Pianki korundowe o porowatości całkowitej 92% wykonane metodą żelowania spienionej zawiesiny (a), obraz pianki korundowej z mikrotomografu (b), SEM pianki korundowej.

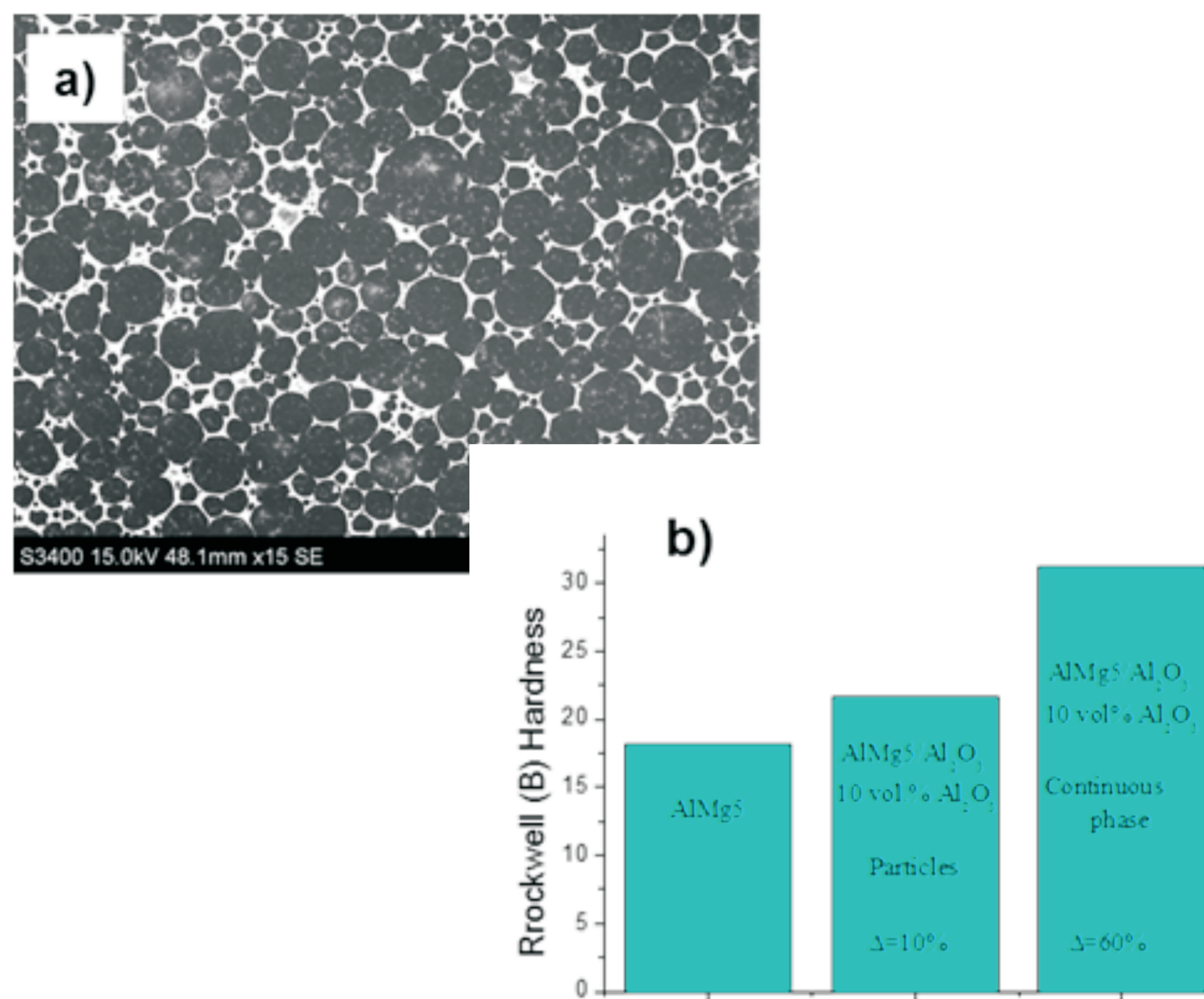
Fig. 1. The alumina foam samples with total porosity of 92% made by gelcasting of foams suspension (a), 3D tomographic image of alumina foam (b), SEM image of alumina foam (c).



Rys. 2. Pianka wytworzona z węglików o budowie nanolaminatu Ti<sub>2</sub>AlC po procesie suszenia (a), SEM pianki z Ti<sub>2</sub>AlC po spiekaniu (b).

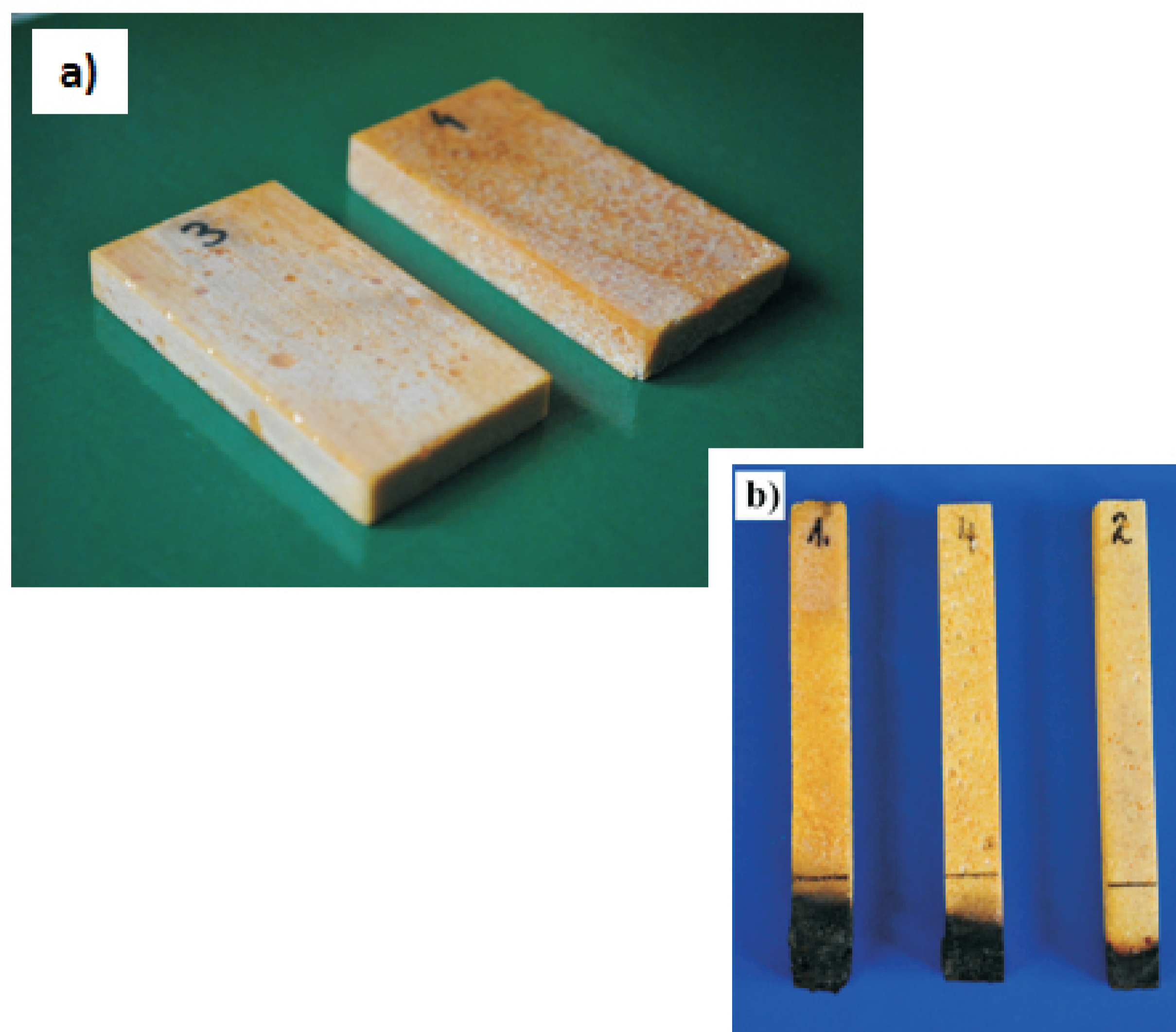
Fig. 2. Morphology of Ti<sub>2</sub>AlC foam after drying (a), Ti<sub>2</sub>AlC foam after sintering, SEM (b).

**Graficzna prezentacja rozwiązania innowacyjnego**  
Visualization of the innovative solution



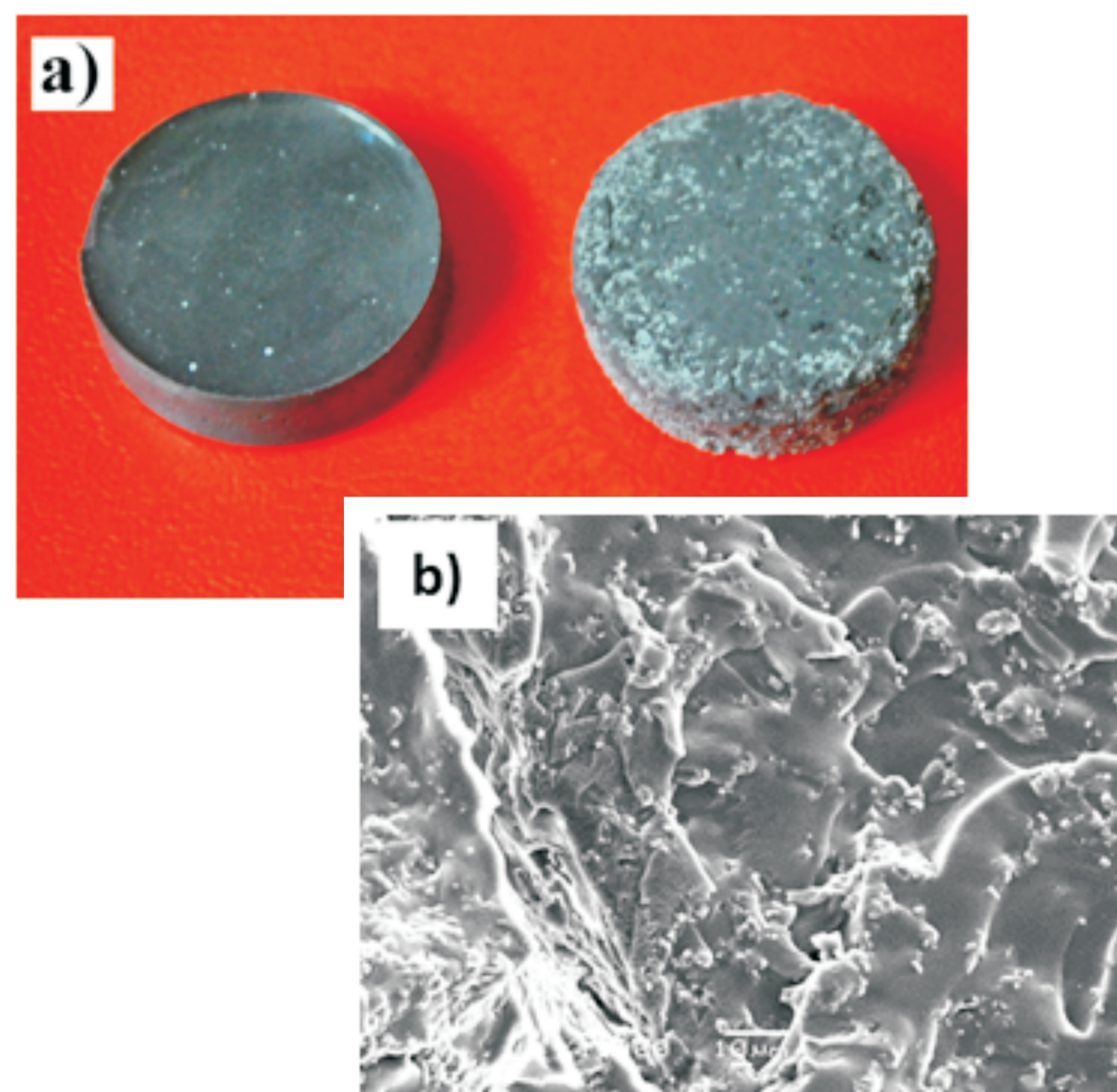
Rys. 3. Morfologia kompozytu metaliczno-ceramicznego o strukturze infiltrowanej (AlMg5/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (a) oraz twardość stopu AlMg5 i kompozytu AlMg5/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (10% obj. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (b).

Fig. 3. Morphology of ceramic-metal composite with an interpenetrating network structure (AlMg5/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (a). Hardness of AlMg5 alloy and AlMg5/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> composite (10 vol.% of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) (b).



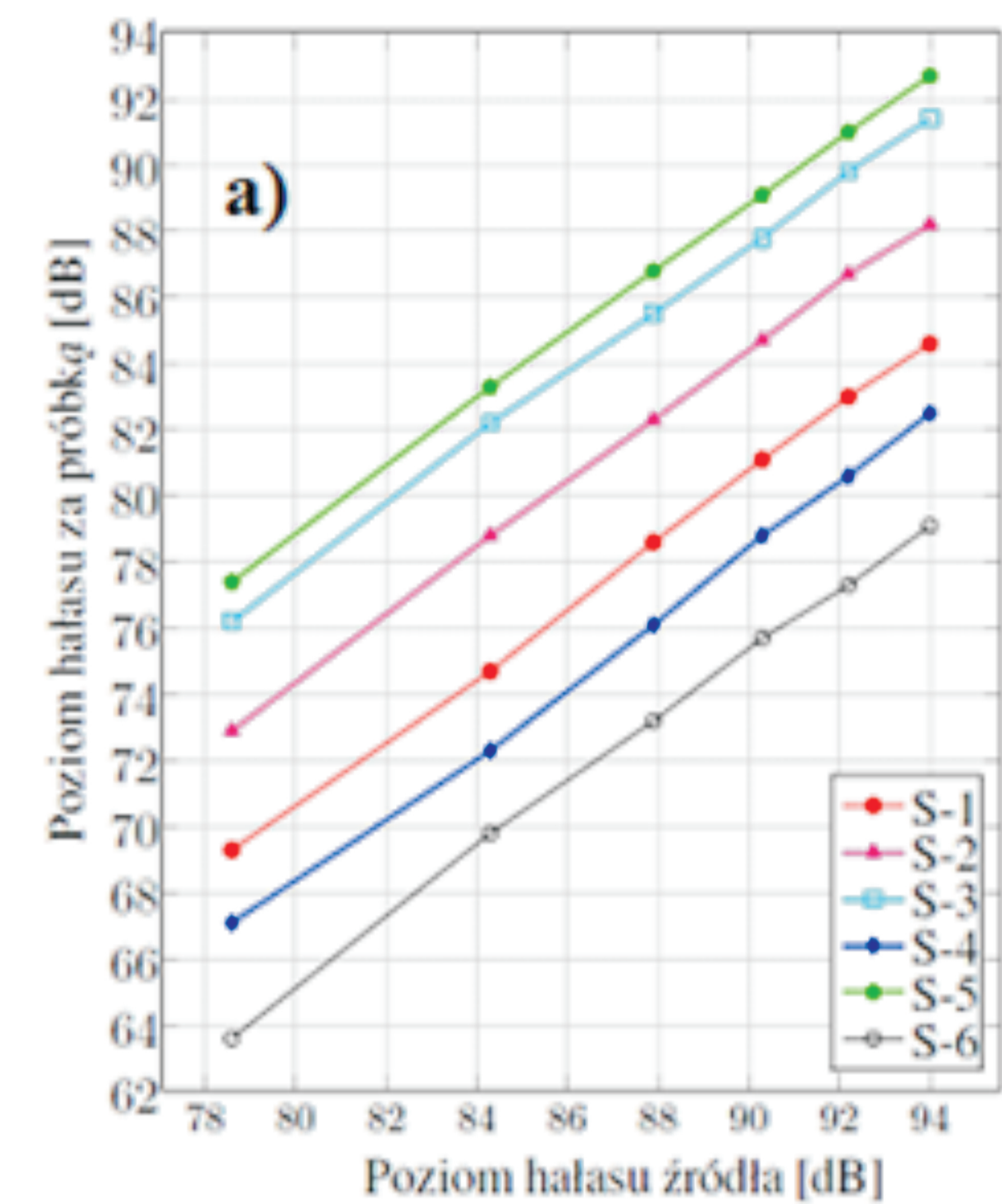
Rys. 4. Kompozyt pianki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/trójfunkcyjna żywica epoksydowa otrzymany w wyniku infiltracji żywicy epoksydowej o małej lepkości do pianki korundowej o porowatości 76% (3) i 92% (4) (a). Kompozyt pianki korundowa/trójfunkcyjna żywica epoksydowa o różnej porowatości całkowitej ceramicznej osnowy: 92% (1), 86% (4), 76% (2) przed (a) i po (b) próbie palności (b).

Fig. 4. Morphology of alumina foam/tri-functional epoxy resin obtained by infiltration an epoxy resin with low viscosity into alumina foams with porosity in the range of 76% and 92% (a). Alumina foam/tri-functional epoxy resin composite with ceramic matrix porosity: 92% (1), 86% (4), 76% (2) after flammability test (b).



Rys. 5. Zdjęcie próbki elastomeru silikonowego oraz kompozytu pianki Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 88%/elastomer silikonowy o strukturze infiltrowanej (a), morfologia kompozytu, SEM (b).

Fig. 5. The silicone elastomer and alumina foam Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 88%/silicone elastomer composite images (a) morphology of these composite, SEM (b).



Rys. 6. Poziom redukcji hałasu za przegrodami wykonanymi z pianek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: S-3 i S-5, elastomerów silikonowych: S-2 i S-4 oraz kompozytu pianki korundowa/elastomer silikonowy o strukturze infiltrowanej: S-6 i kompozytu pianki korundowa/elastomer silikonowy o strukturze warstwowej: S-1 (a). Stopień redukcji poziomu hałasu przez przegrodę akustyczną, obliczony jako różnica poziomu hałasu źródłowego i hałasu zmierzonego za przegrodą (b).

Fig. 6. Noise reduction behind the sheets made from Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> foams: S-3 and S-5, silicone elastomers: S-2 and S-4 and alumina foam/silicone elastomer composite with an interpenetrating network structure: S-6 and alumina foam/silicone elastomer layer composite structure: S-1 (a). Degree of noise reduction through the sound barrier calculated as the difference between noise source and noise measured behind the barrier (b).

**Zalety i ograniczenia rozwiązania innowacyjnego**  
Advantages and restrictions of innovative solution

Porowata struktura pianki ceramicznej o małej gęstości dodatkowo infiltrowana ciekłym metalem lub polimerem o małej lepkości daje możliwość wytworzenia materiałów lekkich o zwiększonej wytrzymałości i twardości, z możliwością ukierunkowania tego typu kompozytów pod kątem określonych zastosowań, m.in. w przemyśle lotniczym jako elementy o zwiększonej odporności na ogień i/lub bariery akustyczne.

Ceramic porous structure characterized by low density infiltrated by liquid metal or polymer with low viscosity give a possible to produce lightweight materials with higher strength and hardness as possibility of apply these type of composites in the specific applications, e.g. in the aerospace industry as elements with increased resistance to fire or acoustic barriers.

**Możliwe zastosowania w lotnictwie i innych gałęziach gospodarki**  
Examples of application in aviation and other branches

Porowaty Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Ti<sub>2</sub>AlC: filtry, osnowy kompozytów ceramiczno-metalicznych i ceramiczno-polimerowych.  
Kompozyty na osnowie pianki ceramicznej: osłony cieplne i akustyczne.  
Gęsty Ti<sub>2</sub>AlC: elementy grzewcze, dysze, łożyska wysokotemperaturowe, elektrody wysokotemperaturowe, warstwy ochronne na krytyczne części silnika, absorbery drgań mechanicznych, powierzchnie elektrycznych kontaktów ślizgowych.  
Przemysł lotniczy i motoryzacyjny – elementy silników tłokowych

Porous Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> i Ti<sub>2</sub>AlC: filters, matrices of ceramic-metallic and ceramic-polymer composites

Ceramic matrix composites: acoustic and thermal shields.  
Dense Ti<sub>2</sub>AlC: heating elements, nozzles, bearings, high temperature, high temperature electrode, the protective layers on the critical engine parts, mechanical vibration absorbers, the surfaces sliding electrical contacts.  
Aerospace and automobile industry – pistons in engines

**Oferta dla przemysłu**  
The offer for industry

Pianki ceramiczne wytworzone z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oraz Ti<sub>2</sub>AlC oraz kompozyty pianki ceramiczno-polimer (lub pianka ceramiczna-metal) o strukturze infiltrowanej stwarzają możliwość otrzymania nowych materiałów o wybranych właściwościach funkcjonalnych przy jednocześnie małej gęstości.

Ceramic foams made from Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Ti<sub>2</sub>AlC and composites with alumina foam matrices are good candidates to obtain new materials with selected functional characteristics with the low density simultaneously.