

Metaliczne materiały kompozytowe w aplikacjach lotniczych w tym materiały typu Glare

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

Wyniki badań

Kompozyty metalowo-ceramiczne (ang. *MMCs – metal matrix composites*) to materiały wielofazowe, w skład których oprócz głównych komponentów tj. metalu i ceramiki, wchodzić mogą inne fazy, przy czym udział objętościowy fazy metalicznej stanowi więcej niż połowę składu fazowego materiału. Głównym motywem intensywnych prac nad wytwarzaniem takich kompozytów jest możliwość poprawy wybranych właściwości mechanicznych metalu stanowiącego podstawowy składnik kompozytu. Modyfikacja właściwości mechanicznych obejmuje najczęściej zwiększenie twardości i sztywności, odporności na zużycie przez tarcie oraz zmniejszenie pęcznienia w podwyższonej temperaturze. Obserwowany w inżynierii materiałowej wzrost zainteresowania kompozytami metal – ceramika wynika z możliwości uzyskania specyficznych właściwości mechanicznych, cieplnych, elektrycznych i innych na skutek:

- połączenia właściwości twardych, lecz kruchych materiałów ceramicznych z właściwościami plastycznymi metali,
- połączenia dużej odporności na działanie wysokiej temperatury i agresywnego środowiska, charakterystycznej dla fazy ceramicznej, z lepszą wytrzymałością na obciążenia mechaniczne, typową dla fazy metalicznych,
- modyfikacji właściwości elektrycznych przez połączenie metali, które są dobrymi przewodnikami, z fazą ceramiczną, która najczęściej wykazuje właściwości izolatora elektrycznego.

O właściwościach kompozytu decyduje przede wszystkim szeroko rozumiana mikrostruktura materiału, na co ma duży wpływ wzajemne rozmieszczenie faz tworzących kompozyt. Już od ponad trzydziestu lat produkowane są kompozyty metalowe zbrojone fazą ceramiczną w postaci cząstek lub włókien. Kompozyty te znalazły wiele zastosowań np. na elementy silników i turbin, elementy podwozi lotniczych i wiele innych. Jednak w tego typu kompozytach faza ceramiczna nie jest fazą ciągłą.

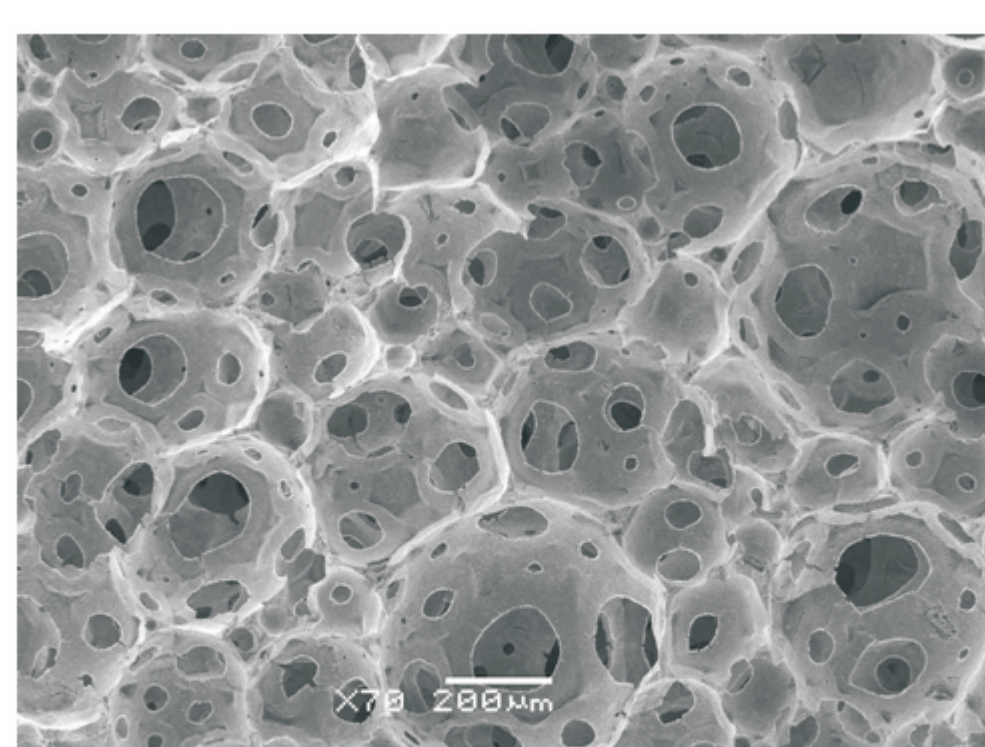
Obecnie w wielu ośrodkach badawczych trwają intensywne prace nad kompozytami metalowo – ceramicznymi oraz kompozytami ceramiczno – metalowymi o strukturze infiltrowanej. Kompozyty te charakteryzujące się unikalną przestrzenną strukturą wzajemnie przenikających się szkieletów fazy ceramicznej i fazy metalowej.

Najważniejsze zalety kompozytów o strukturze infiltrowanej w porównaniu z kompozytami wzmocnionymi włóknami lub cząstkami to:

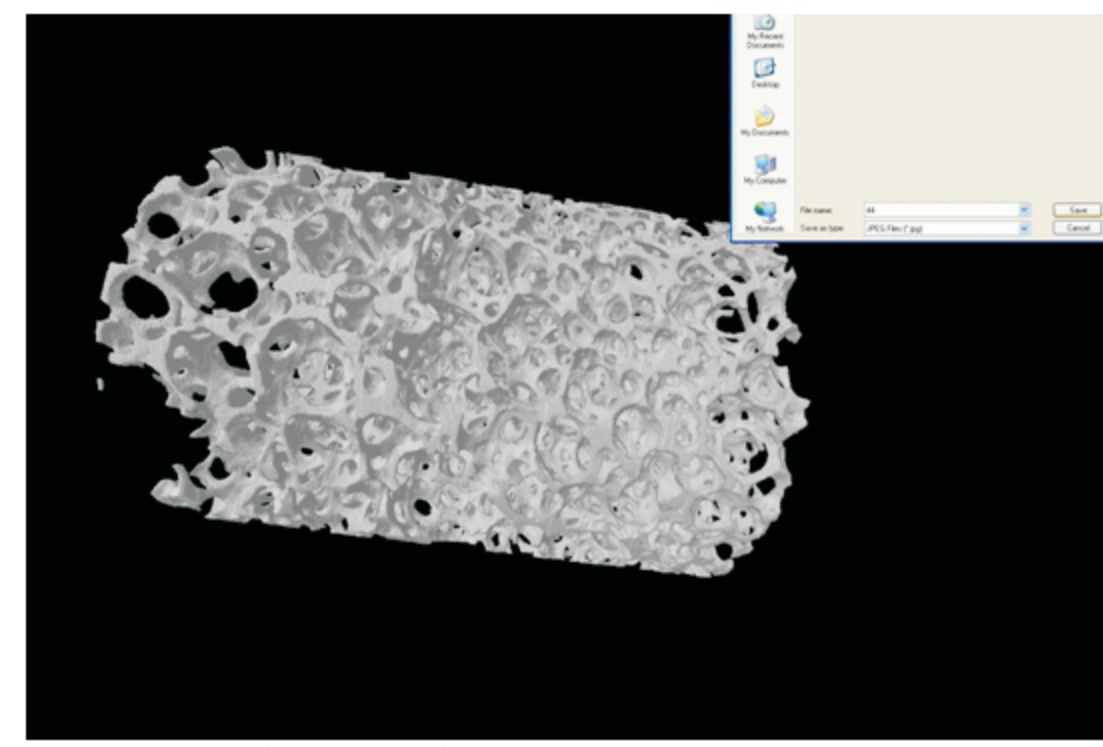
- możliwość projektowania nowych materiałów o wielofunkcyjnych właściwościach
- każda faza wnosi swój wkład do makroskopowych właściwości kompozytu niezależnie od kierunku.

Wytwarzanie kompozytów metalowo-ceramicznych (AlMg5/Al₂O₃) o strukturze infiltrowanej oraz charakterystyce mikrostruktury i wybranych właściwości fizycznych tych materiałów.

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. Rekonstrukcję przestrzenną ceramiki porowatej uzyskano metodą mikrotomografii komputerowej (rys.2). W przypadku mikrostruktur piankowych metoda mikrotomografii komputerowej zapewnia uzyskanie dokładnych danych odnośnie budowy przestrzennej materiału.



Rys. 1. Obraz SEM ceramiki porowatej wytworzonej metodą żelowania spienionej zawiesiny



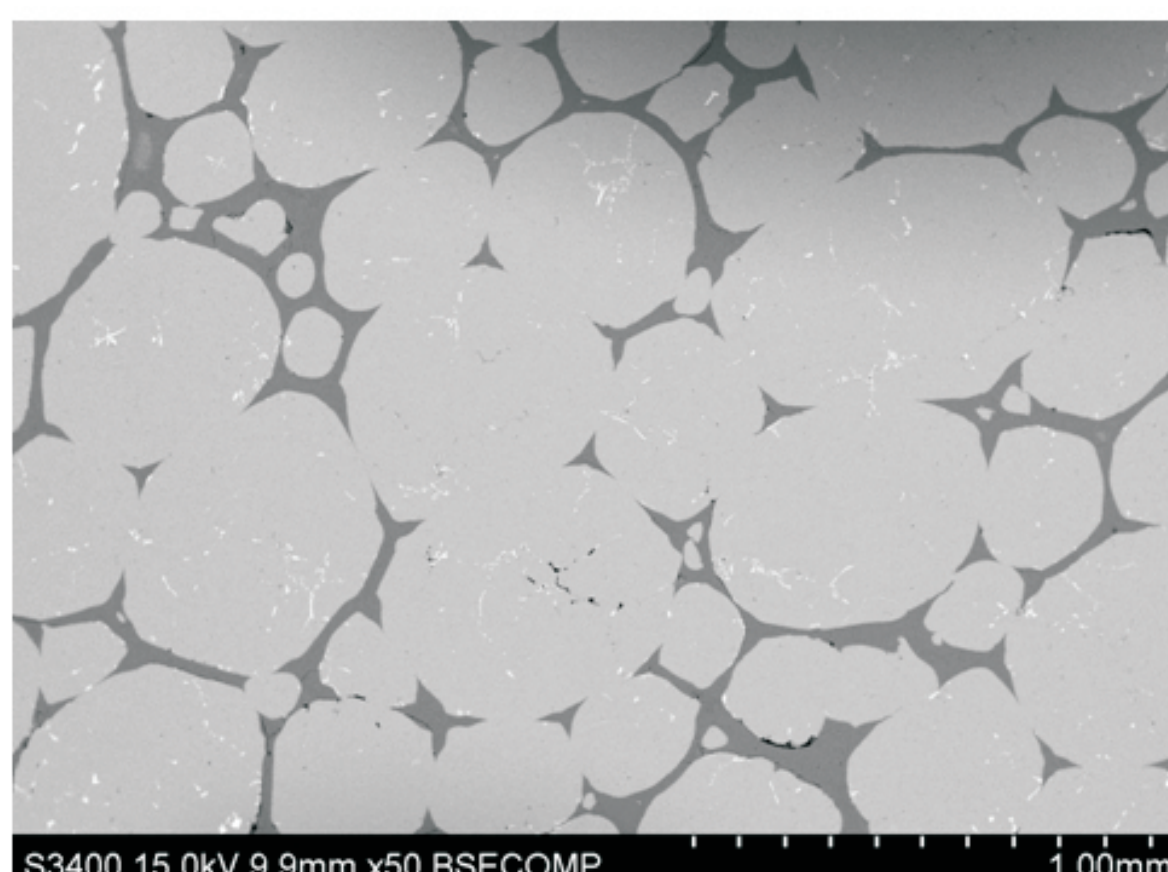
Rys. 2. Rekonstrukcja przestrzenna pianki korundowej uzyskana metodą mikrotomografii komputerowej.

W tabeli 1 zestawiono wartości gęstości pozornej, gęstości względnej oraz porowatości całkowitej i otwartej dla porowatych kształtek z tlenku glinu przeznaczonych do infiltracji roztopionymi metalami. Kształtki charakteryzowały się wysokim udziałem objętościowym porów na poziomie 88%, a różnica pomiędzy porowatością całkowitą i otwartą stanowiła mniej niż 1%

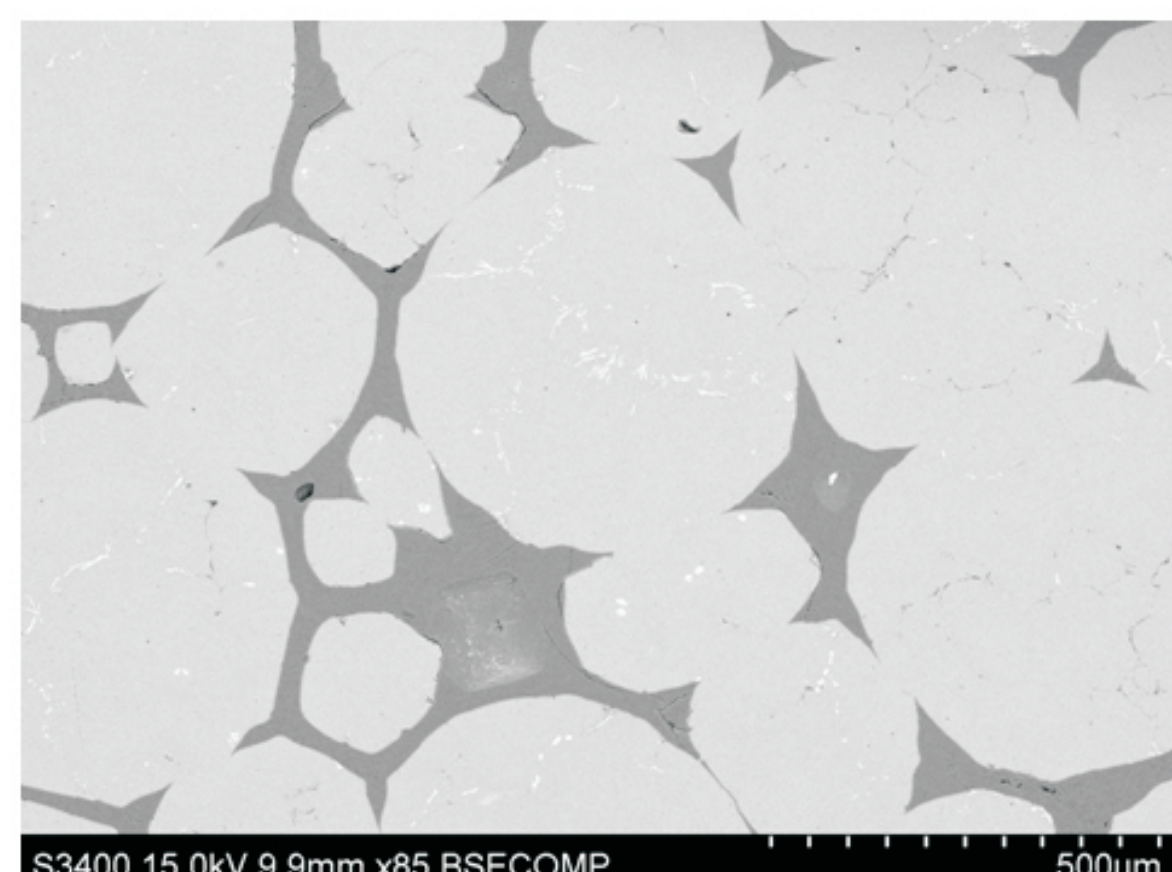
Tabela 1. Gęstość pozorna, gęstość względna oraz porowatość całkowita i otwarta tlenku glinu o budowie piany

Gęstość pozorna, g/cm ³	Gęstość względna, % gęstości teoretycznej	Porowatość całkowita, %	Porowatość otwarta, %
0,468 ± 0,009	11,8 ± 0,2	88,2 ± 0,4	87,4 ± 0,2

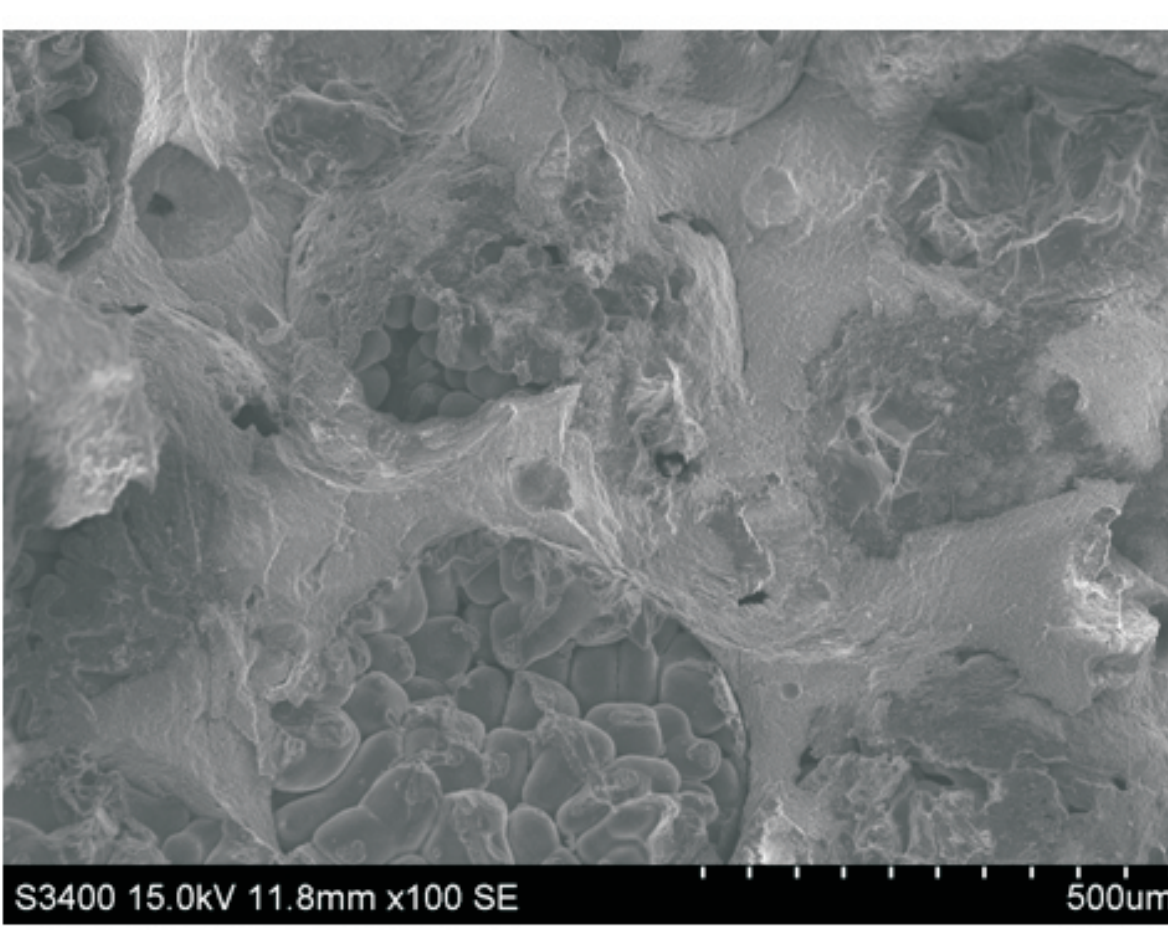
Przykładowe obrazy SEM zglądów kompozytu AlMg5/Al₂O₃ otrzymanego przez infiltrację ciśnieniową metalu do ceramicznej preformy o budowie pianki przedstawiono na rys. 3. Sferyczne makropory preformy korundowej zostały całkowicie wypełnione metalem. Na zdjęciu SEM przełomu kompozytu (rys.4) widać dobre przyleganie na granicy faz ceramika/metal oraz wzajemne przenikanie obydwu faz. Nie zaobserwowano spękań szkieletu ceramicznego. Powyższe obserwacje świadczą o prawidłowym doborze preformów ceramicznych i prawidłowo przeprowadzonym procesie infiltracji.



Rys. 3. Obraz SEM (tryb BSE) kompozytu AlMg5/Al₂O₃ o strukturze infiltrowanej przedstawiający wypełnienie sferycznych komórek ceramicznych metalem.



Rys. 4. Przełom kompozytu AlMg5/Al₂O₃ o strukturze infiltrowanej

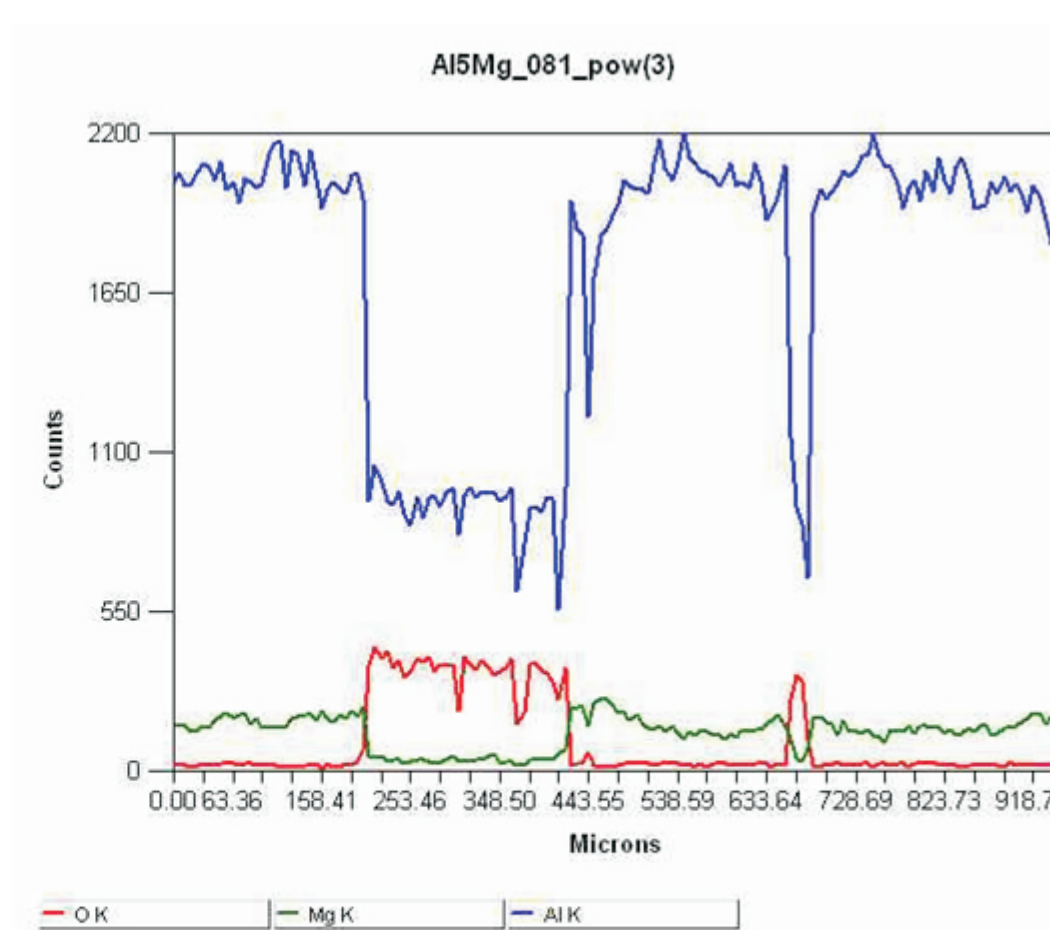
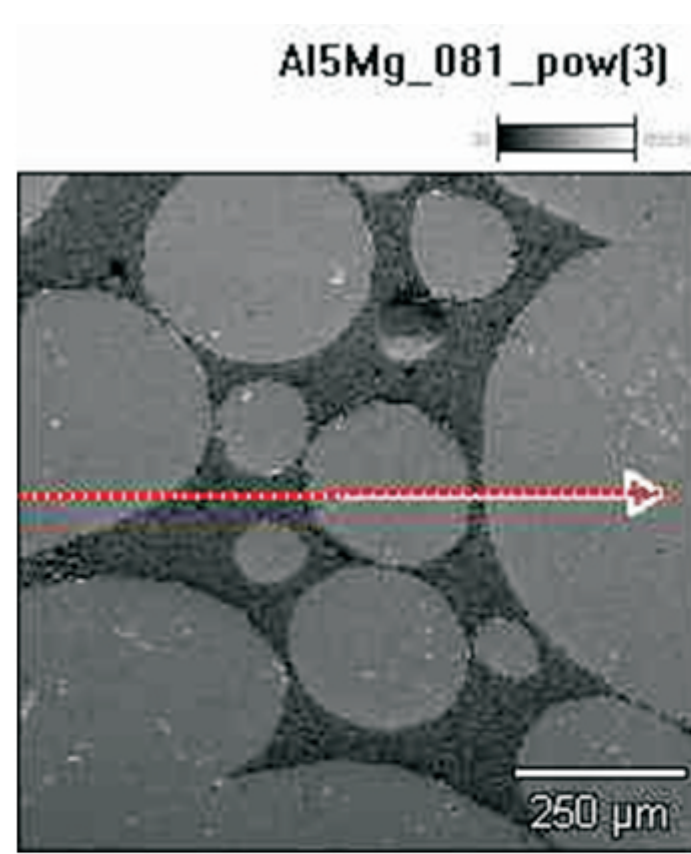


Rys. 4. Przełom kompozytu AlMg5/Al₂O₃ o strukturze infiltrowanej



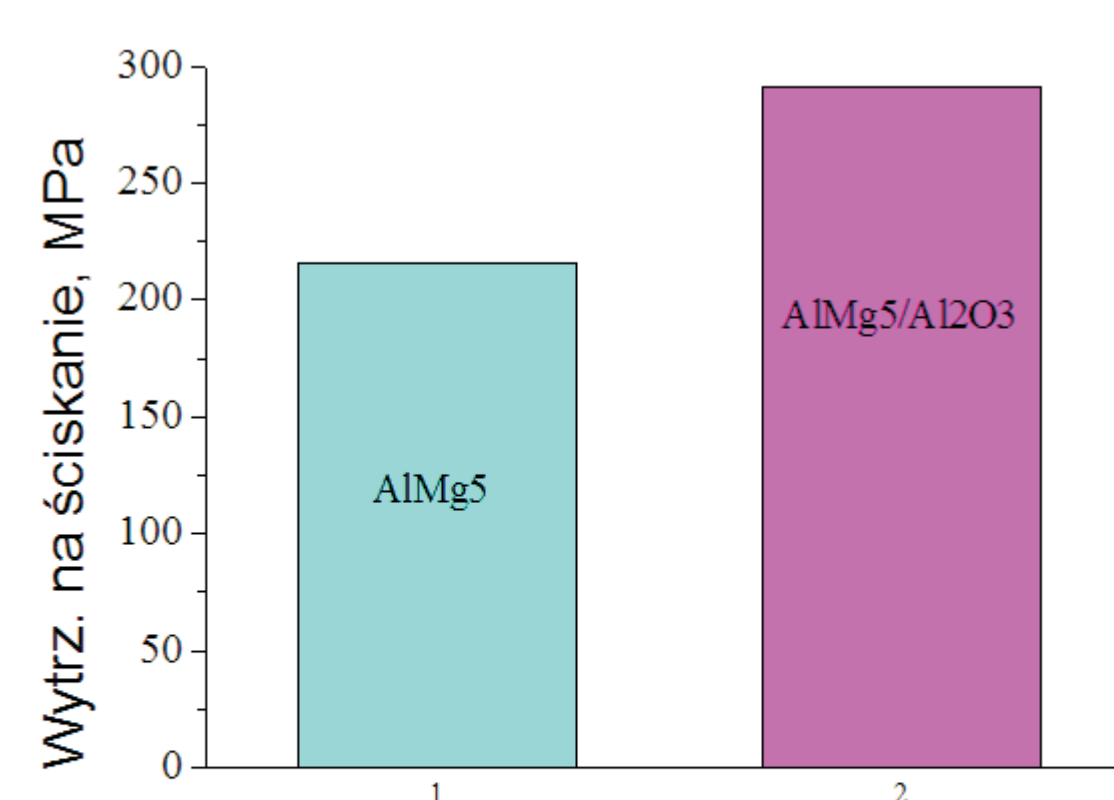
Rys. 4. Przełom kompozytu AlMg5/Al₂O₃ o strukturze infiltrowanej

Analiza składu chemicznego wykazała (rys.5), że faza ceramiczna składała się z Al₂O₃, a faza metalowa z Al i Mg.

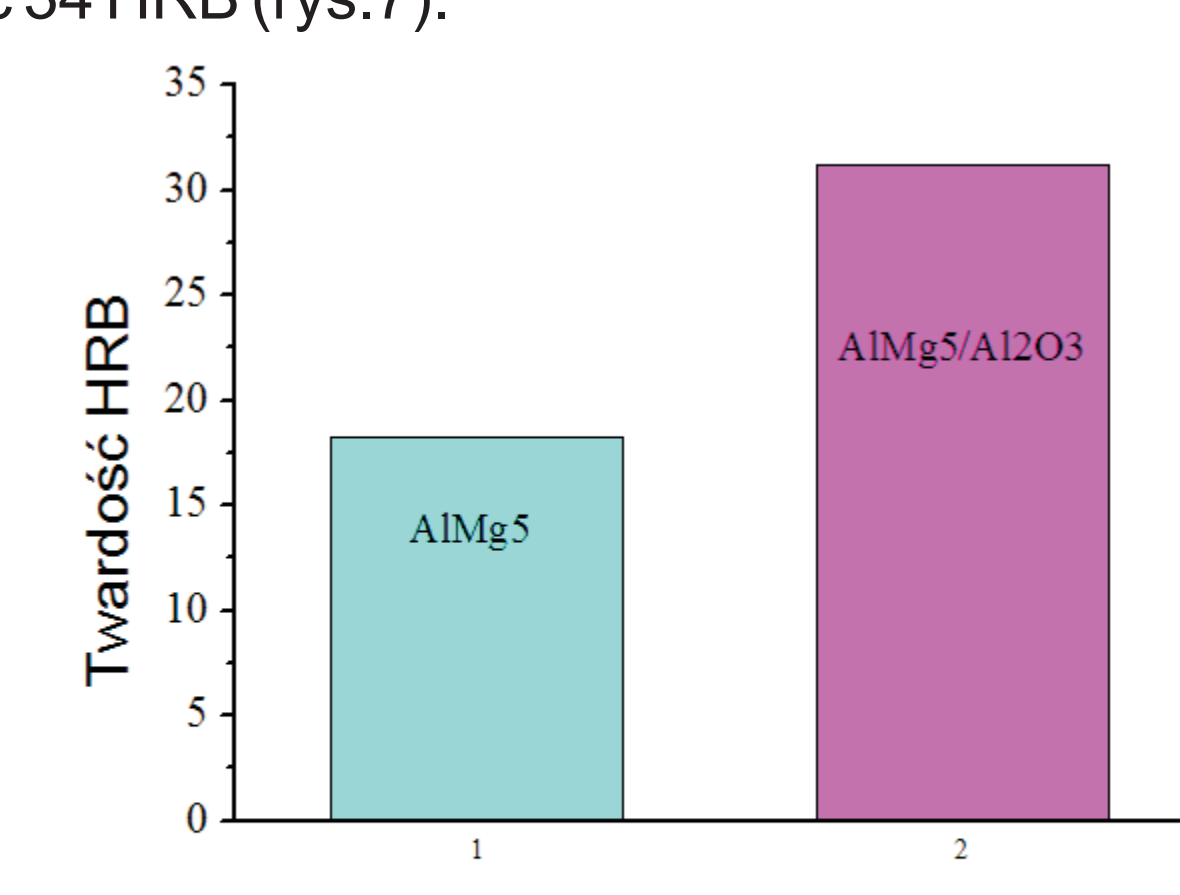


Rys.5. Obszar próbki, na którym wykonano analizę składu chemicznego (jednostki umowne).

Kompozyty AlMg5/Al₂O₃ charakteryzowały się małą gęstością (2,71 g/cm³), a porowatość kompozytu wynosiła mniej niż 1%. Wytrzymałość mechaniczna kompozytów AlMg5/Al₂O₃ na ściskanie wynosiła 291 MPa, (rys.6), a twardość 34 HRB (rys.7).



Rys.6. Porównanie wytrzymałości na ściskanie dla stopu AlMg5 i kompozytu AlMg5/Al₂O₃.



Rys. 7. Porównanie twardości HRB dla stopu AlMg5 i kompozytu AlMg5/Al₂O₃.

Wnioski

Przedstawione wyniki badań wykazały, że metodą żelowania spienionej zawiesiny (ang. *gelcasting of foams*) można otrzymywać porowate tworzywa z tlenku glinu o dobrych parametrach mechanicznych, wysokim udziale objętościowym porów i wysokiej wartości przepuszczalności fazy ciekłej. Takie tworzywa można z powodzeniem stosować jako preformy do infiltracji ciśnieniowej roztopionymi metalami.

W procesie infiltracji ciśnieniowej stopu AlMg5 do preformy korundowej kompozyty metalowo-ceramiczne o strukturze infiltrowanej charakteryzujące się pełnym wypełnieniem sferycznych makroporów preformy ceramicznej przez metal i dobrym przyleganiem na granicy faz ceramika/metal.

Kompozyty o gęstości 2,71 g/cm³ charakteryzowały się wytrzymałością mechaniczną na ściskanie 291 MPa i twardością 34 HRB.

Możliwości zastosowania kompozytów o strukturze infiltrowanej metal lekkiej/Al₂O₃ w lotnictwie:

- Kompozyty AlCu/Al₂O₃ – styki elektryczne odporne na ścieranie,
- Kompozyty MgAl/Al₂O₃ – elementy tłumienia hałasu i drgań
- Kompozyty AlMg/Al₂O₃ – denka tłoków w silnikach tłokowych oraz tarcze hamulcowe w elementach podwozia.

Wyniki badań

Opracowanie nowych materiałów i technologii na elementy struktur lotniczych – poszycia, łopaty śmigłowca i inne

Wykorzystanie kompozytów metalowych oraz ceramiczno metalowych na elementy lotnicze

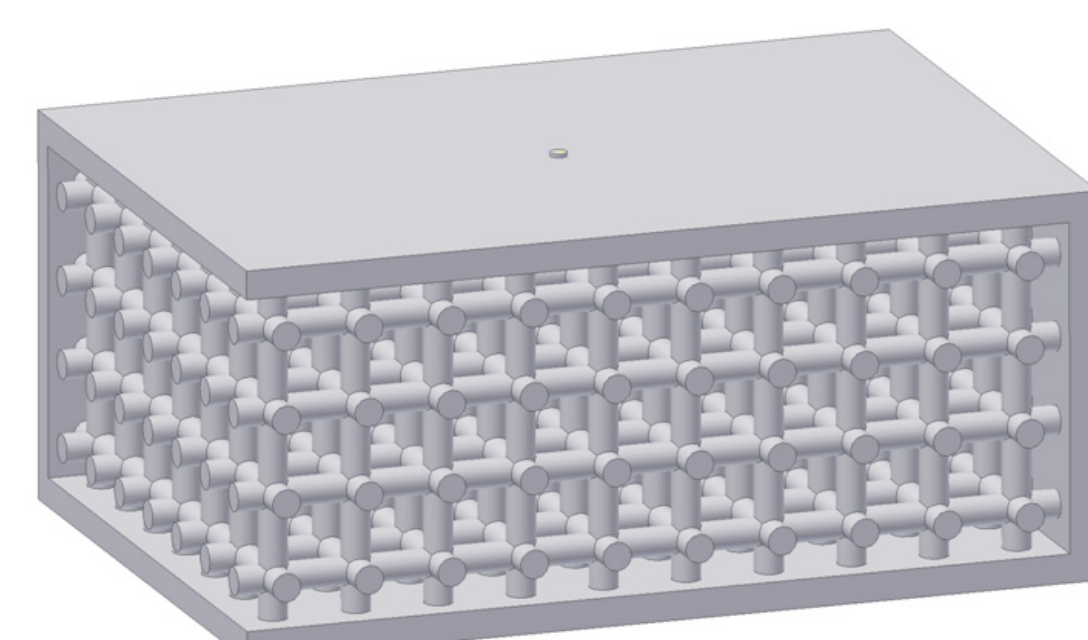
zakres przeprowadzonych badań:

1. Wykonano mechaniczne analizy symulacyjne związane z weryfikacją doboru geometrii komórek elementarnych zamkniętego odlewu szkieletowego obciążonego skupioną siłą.
2. Wykonano stanowisko badawcze do wytwarzania odlewów szkieletowych.
3. Przeprowadzono modelowanie numeryczne w zakresie doboru składu chemicznego stopów oraz ich krzepnięcia

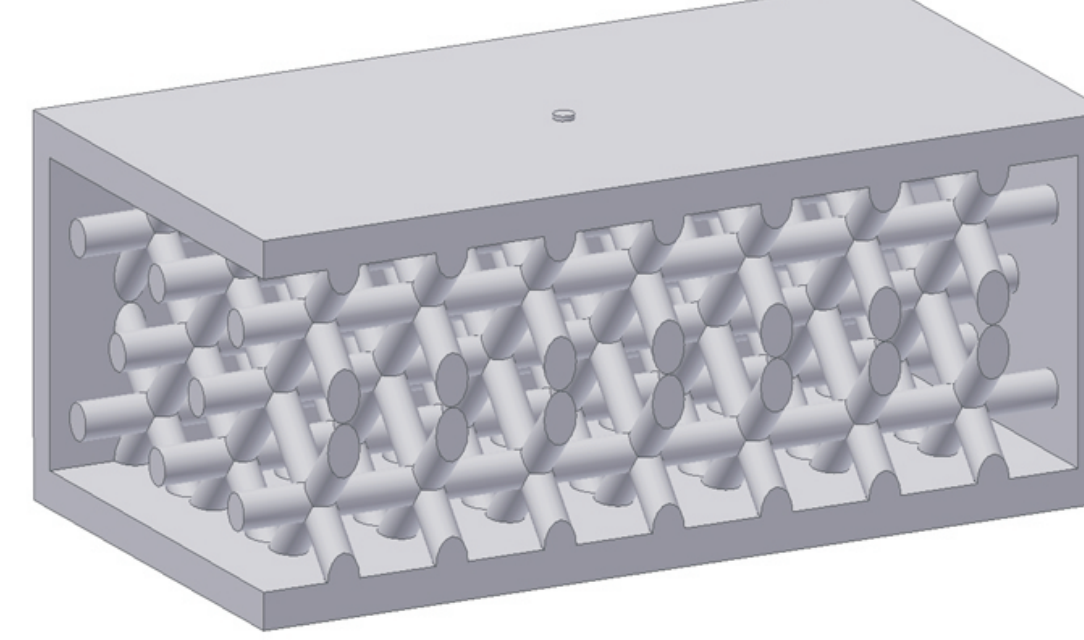
Uzyskane wyniki:

- Opis mechaniki pracy zamkniętego odlewu szkieletowego obciążonego siłą skupioną
- Dobór parametrów wytwarzania stopów i odlewów

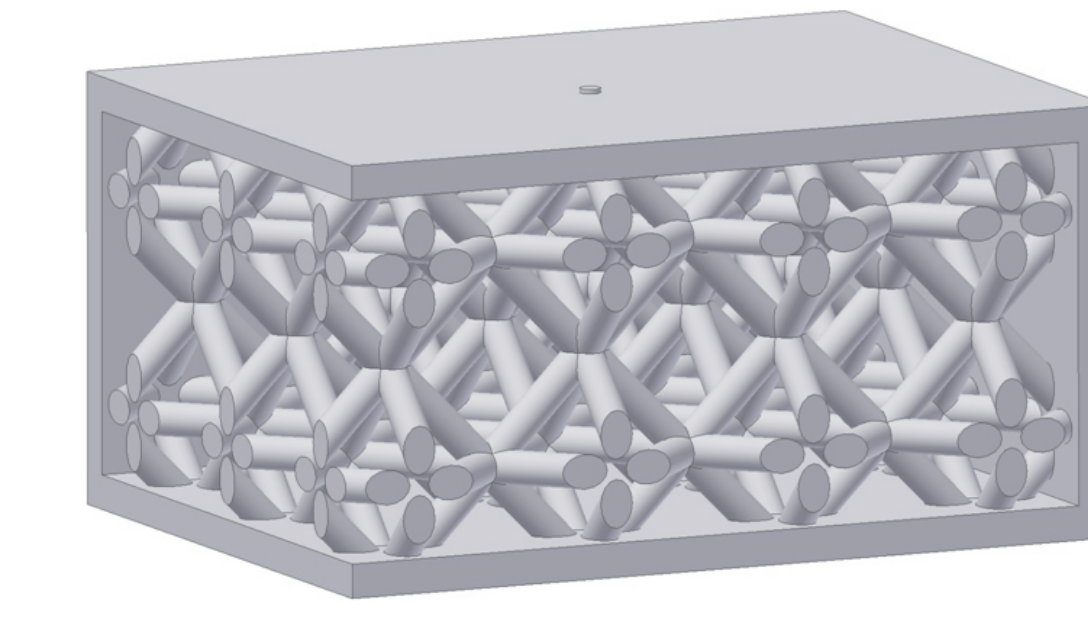
Na rysunkach 1 – 6 przedstawiono modele oraz wyniki analizy rozkładu naprężeń przy różnych cechach geometrycznych zamkniętego odlewu szkieletowego obciążonego siłą skupioną. Najlepszy rozkład naprężeń został uzyskany dla modelu z pełną trójwymiarową symetrią Siła skupiona jaką obciążono element rozłożona jest w takim przypadku na maksymalną liczbę węzłów, co skutkuje najmniejszymi wartościami naprężeń w poszczególnych elementach odlewu



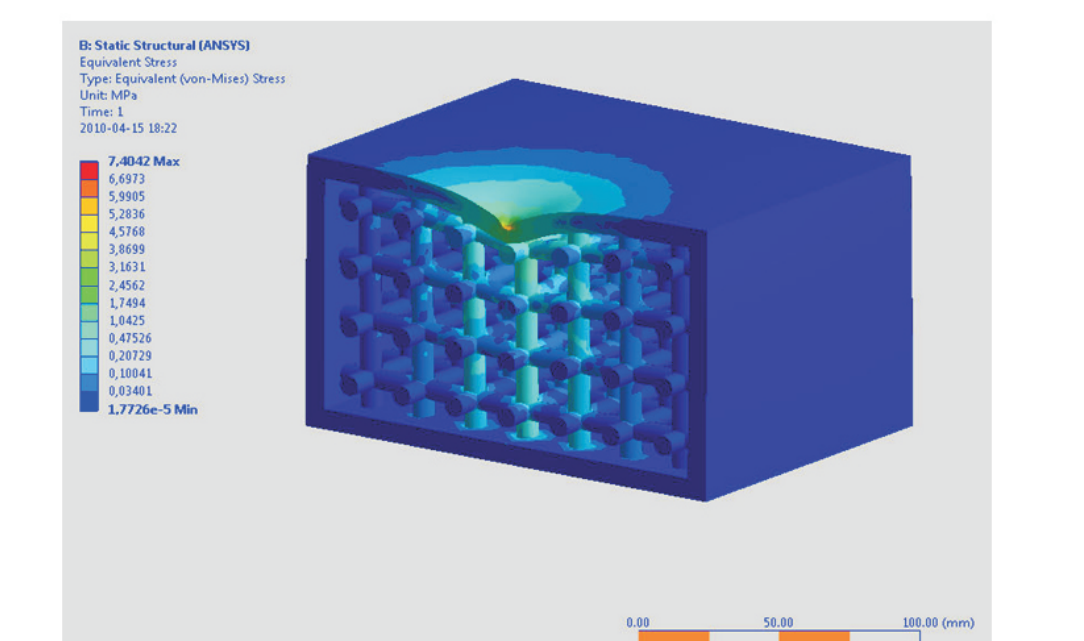
Rys. 1. Model odlewu szkieletowego o łącznikach ułożonych prostopadle do ścian



Rys. 2. Model odlewu szkieletowego o łącznikach pochyłonych pod kątem 45° względem jednej osi.

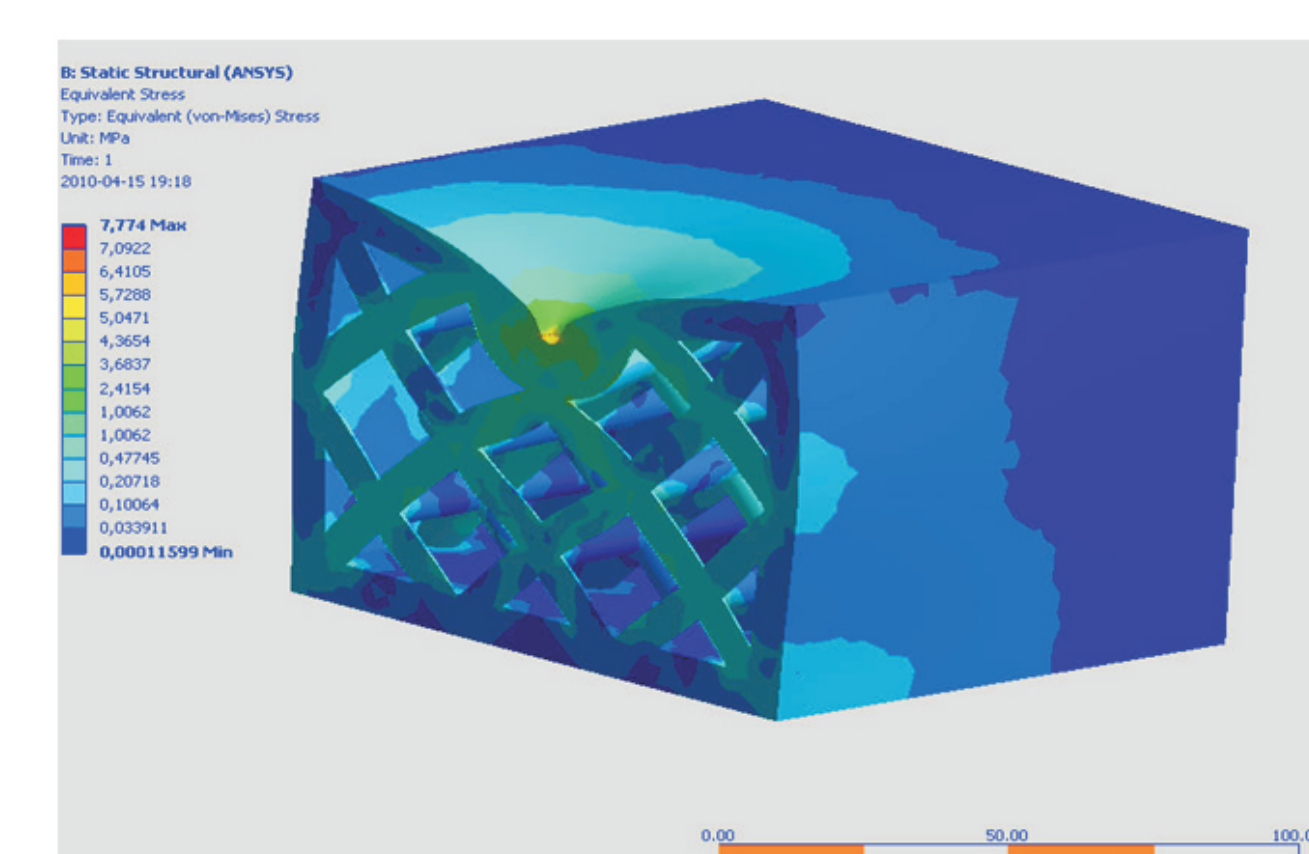


Rys. 3. Model odlewu szkieletowego z pojedynczą komórką w formie osmiościanu foremny

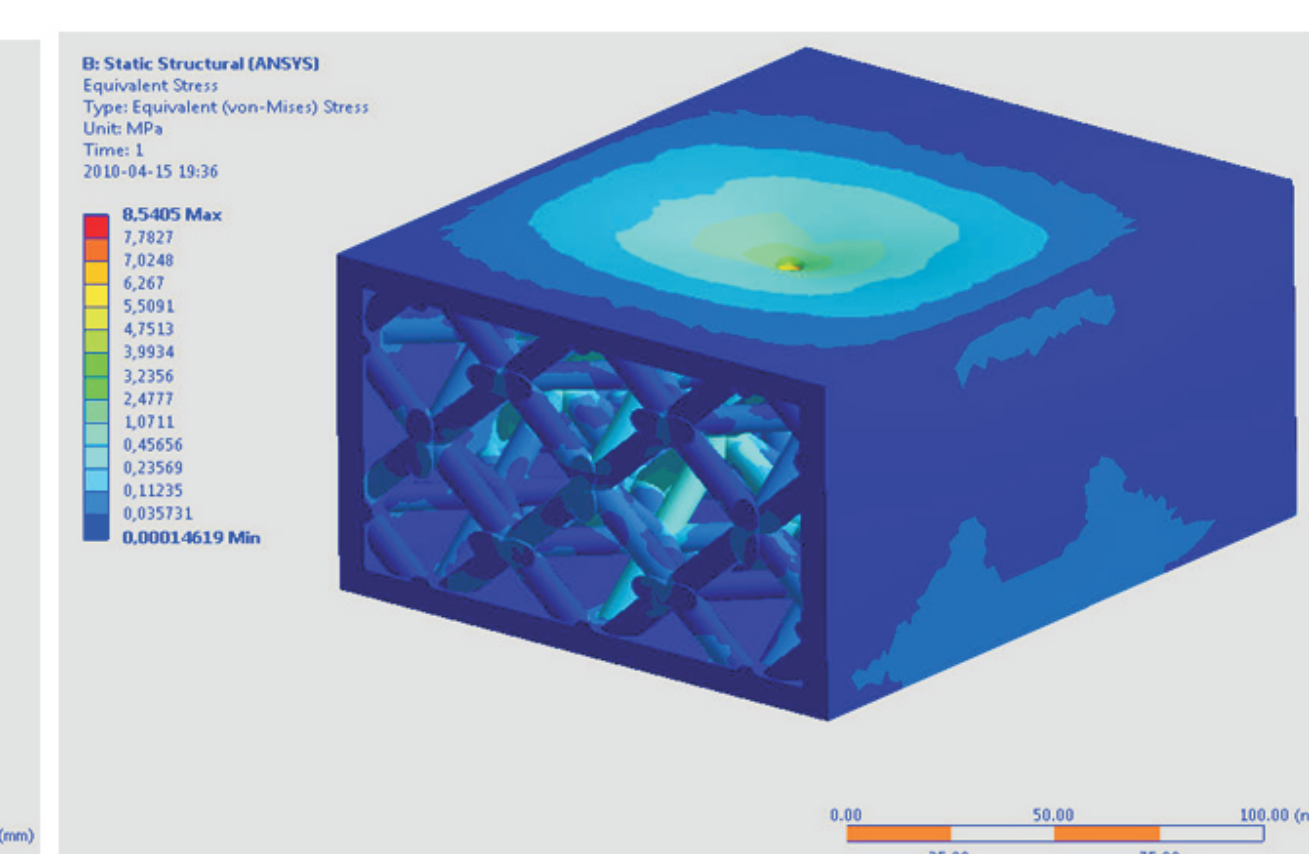


Rys. 4. Rozkład naprężenia zastępczego dla modelu o prostopadłych łącznikach w komórze elementarnej i prostopadłych do ścian zamykających konstrukcję

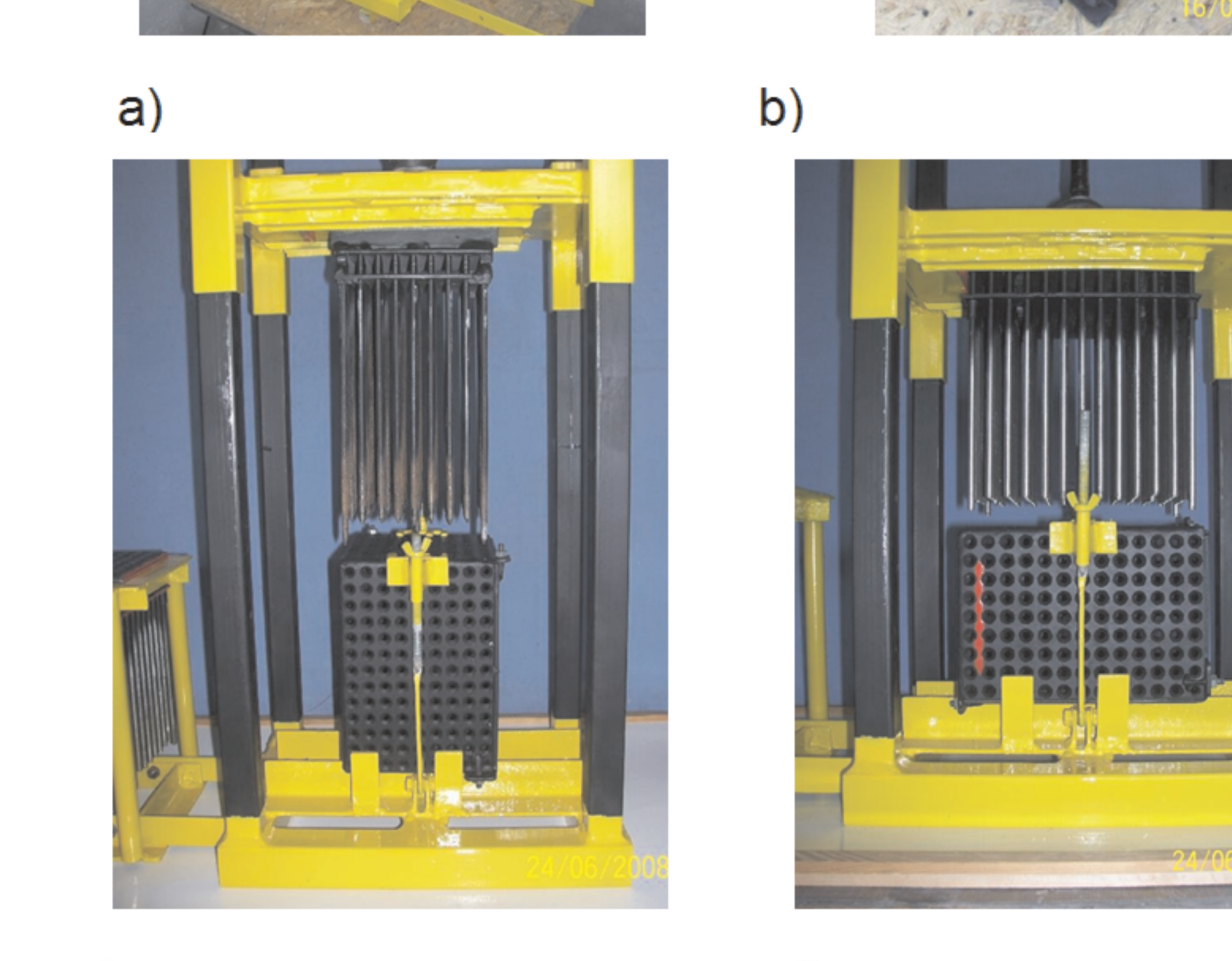
W ramach prac opracowano oraz przygotowano stanowisko przygotowania rdzeni dla odlewów szkieletowych z materiałów o odmiennych własnościach technologicznych. Urządzenie przedstawiono na rys. 7. Przykłady odlewów szkieletowych otwartych oraz zamkniętych pokazano na rys. 8



Rys. 5. Rozkład naprężenia zastępczego dla modelu o łącznikach pochyłonych pod kątem 45° względem dwóch osi prostopadłościennie zbudowanego z powierzchni zamykających. (Przekrój osiowy)

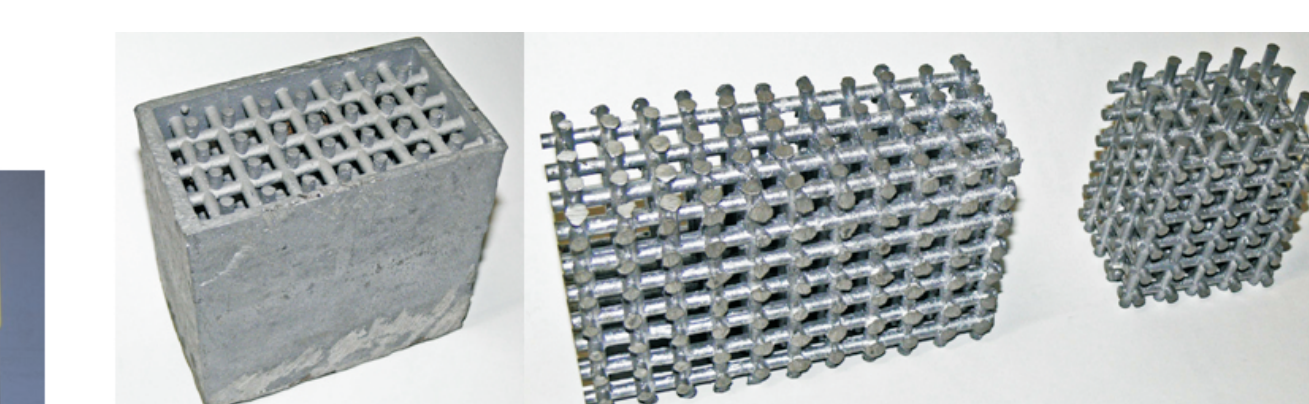


Rys. 6. Rozkład naprężenia zastępczego dla modelu komórki elementarnej o łącznikach tworzących osmiościan foremny Symetria 3D (Przekrój przysięenny)

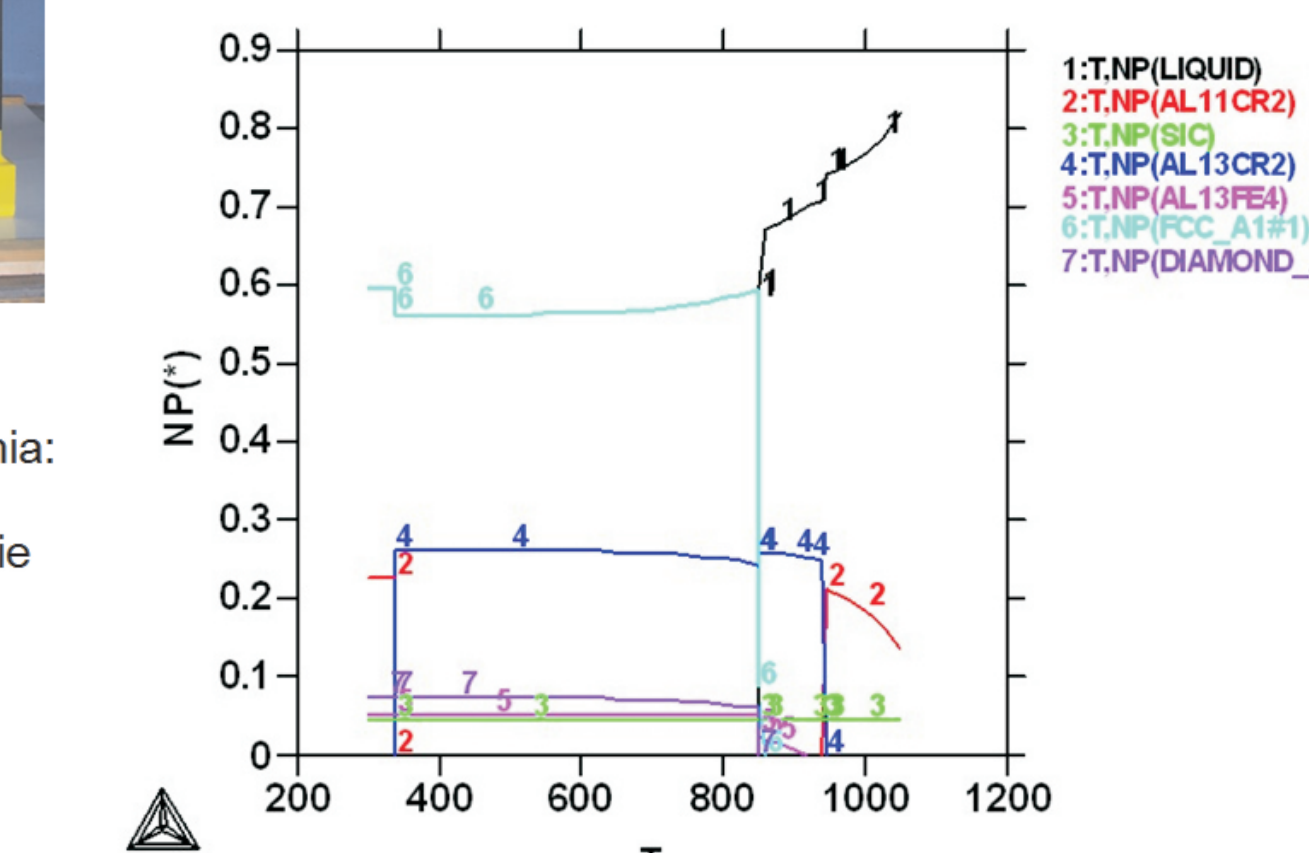


Rys. 7. Urządzenie do wytwarzania rdzeni metodą przekładania: a) prasa napędzana ręcznie za pomocą śruby; b) rdzennica gotowa do zapełnienia; c) i d) rdzennica zamocowana w prasie przed wykonaniem otworów

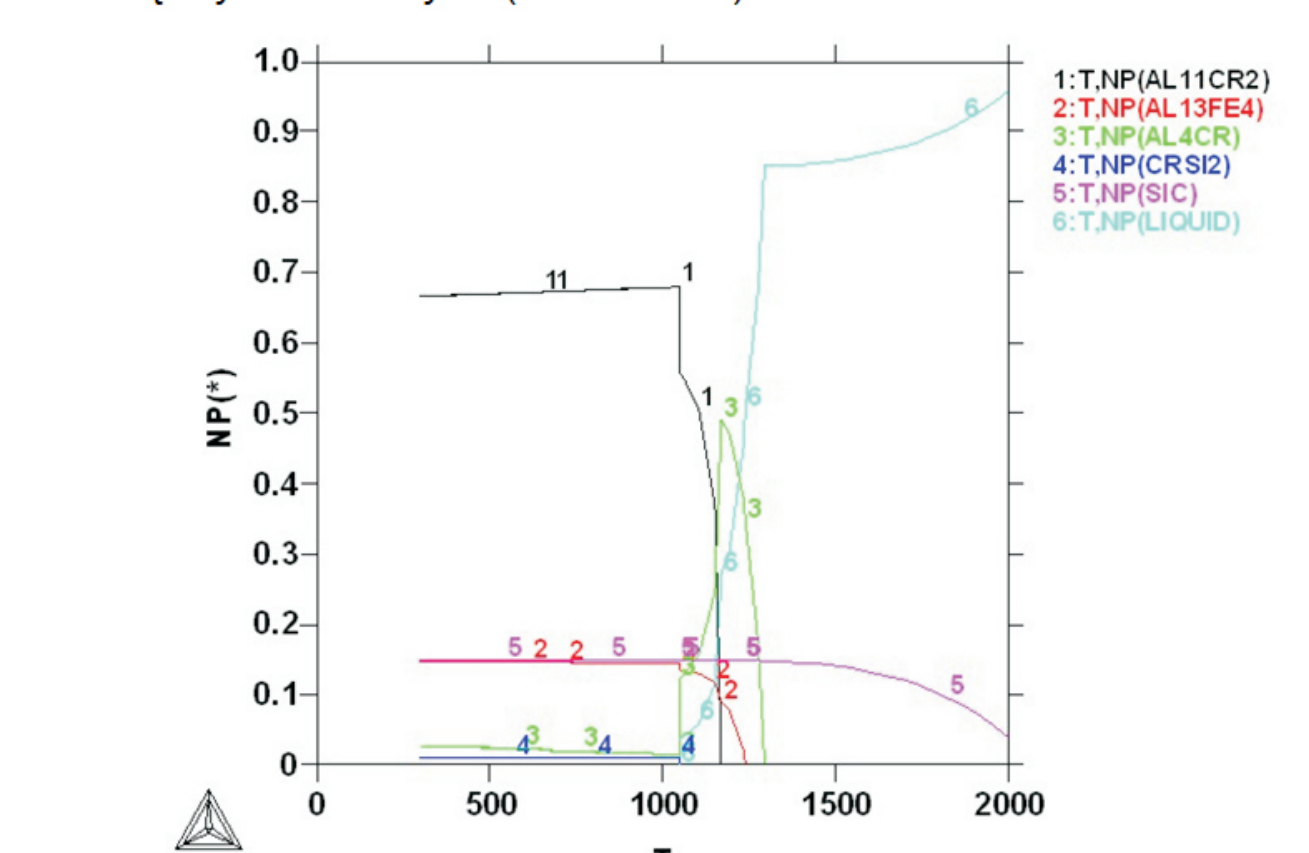
W ramach badań przeprowadzono również analizy związane z doбором składu chemicznego użytych stopów, udziałem faz międzymetalicznych, ich składem fazowym oraz procesem krystalizacji. W tym celu wykorzystano oprogramowanie ThermoCalc. Wybrane wyniki analiz przedstawiono na rys. 9 i 10.



Rys. 8. Gotowe odlewy szkieletowe z komórką elementarną w kształcie 14-ścianu hydraulicznego



Rys. 9. Skład fazowy stopu AlSi11 z dodatkiem węglowych faz międzymetalicznych (udział 10%)



Rys. 9. Skład fazowy stopu AlSi11 z dodatkiem węglowych faz międzymetalicznych (udział 30%)

Wnioski

1. Dobór cech geometrycznych odlewów szkieletowych został pozytywnie zweryfikowany
2. Określono warunki technologiczne wytwarzania rdzeni i odlewów szkieletowych
3. Na podstawie symulacji numerycznych określono skład chemiczny stopów wykorzystanych w produkcji odlewów szkieletowych

Przykłady zastosowania w lotnictwie

- Konstrukcyjne elementy nośne
- Osłony balistyczne z powłokami cermatalowymi i wypełnieniem ceramiką porowatą lub polimerową
- Radiatory stosowane w elektronice

Wskaźniki realizacji celów projektu

Referaty

- M. Potoczek, R.E. Śliwa, *Processing of Al₂O₃ preforms by gelcasting of foams and their liquid light metal infiltration*. „3-rd European Conference on Materials and Structure in Aerospace” – EUCOMAS 2010, 7-8 June, 2010, Berlin, Germany.
- M. Potoczek, R.E. Śliwa, *Ceramic foams as thermal conductivity insulations and preforms for metal-ceramic interpenetrating composites for aerospace applications*. Proceedings of 5-th International Conference „Supply on the Wings” Frankfurt, Germany, 2-4 November 2010.
- M. Potoczek, R.E. Śliwa, *Mikrostruktura i właściwości fizyczne kompozytów AlMg/Al₂O₃ otrzymanych przez infiltrację metalu do ceramicznej preformy o budowie pianki*. VII Seminarium Naukowe STPPP Komitetu Metalurgii PAN oraz SMM Komitetu Mechaniki PAN : Zintegrowane studia podstaw deformacji plastycznej metali. 31.11.-03.12. 2010, Łańcut.

Publikacje

- K. Dragan : *Application of the image processing techniques for the composite damage detection on the example of disbonds in the aerospace components*. AERONAUTICA INTEGRA nr 1/2011 (9) , str. 19 -24

Prace mgr, dr, hab.)

Prace habilitacyjne

Tytuł: *Kompozyty metalowo-ceramiczne wytwarzane przez infiltrację ciśnieniową metalu do pianki ceramicznych*
Autor: Marek Potoczek
Status: *W trakcie realizacji przygotowania do druku*

Zgłoszenia patentowe

M. Potoczek, „Sposób wytwarzania wysokoporowatych kształtek ceramicznych metodą żelowania spienionej zawiesiny ceramicznej” P-392528 z dn. 30.09.2010