

## KSZTAŁTOWE ODLEWY Z PIAN KOMPOZYTOWYCH

M. CHOLEWA<sup>1</sup>

Katedra Odlewnictwa Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska  
ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice

### STRESZCZENIE

Przedstawiono pianę wytworzoną przez próżniową infiltrację kompozytowej osnowy w szkielet solny. Kompozyt w stanie ciekłym wytworzono przez gazową obróbkę stopu AK-11 mieszaniną powietrza z ozonem. Odlewy próbne wykonano w postaci prostopadłościanów o przekroju krzyżowym, co pokazano na rys. 5 (węzeł cieplny typu X odpowiadający prostopadłemu połączeniu ścian). Odlewy o gabarytach 160x60 [mm] wykonano w formach skorupowych wykonanych według metody Dieterta przy zachowaniu typowych zbieżności. Poddano ocenie równomierność rozmieszczenia porów wzdłuż wysokości odlewów próbnych. Na rysunku 6 przedstawiono przykładowe makrostruktury metalicznej osnowy pian.

*Key words: metallic foam, composite matrix, shaping casting*

### 1. WŁAŚCIWOŚCI PIAN METALICZNYCH

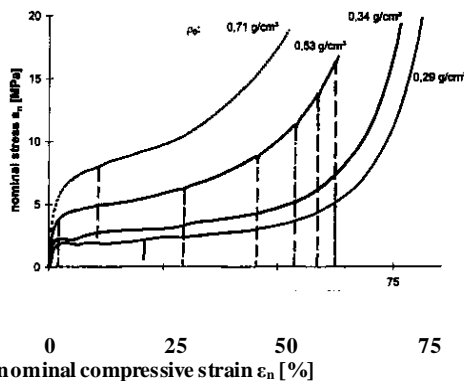
Piany metaliczne stanowią dopełnienie materiałów szkieletowych między pożądanymi makrostrukturami typu tak zwanego plastra miodu. Są mniej regularnymi i izotropowymi makrostrukturami o porach otwartych lub zamkniętych z bardzo różnych materiałów stopowych o odmiennych właściwościach mechanicznych. Cenną zaletą pian jest izotropia właściwości mechanicznych. Spośród technicznych zastosowań obecnie chyba największe znaczenie ma stosowanie pian na strefy kontrolowanego zgniotu w środkach transportu – głównie samochodach. Na ogół wymaga się od nich dużej zdolności pochłaniania energii, zakładając odkształcenia plastyczne lub kruche pękanie osnowy. Możliwości ich praktycznego zdają się szybko rozszerzać. Piany

---

<sup>1</sup> dr inż., [sekrm13@zeus.polsl.gliwice.pl](mailto:sekrm13@zeus.polsl.gliwice.pl)

charakteryzowane są w różny sposób w zależności od ich przeznaczenia. Poniżej cytowane są przykładowe charakterystyki:

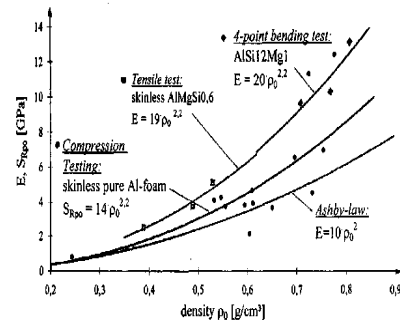
1. Naprężenie w funkcji odkształcenia podczas próby ściskania dla pian o różnej gęstości wytworzonych według technologii proszków - rys.1. [1]
  2. Sztywność pian w funkcji gęstości wyznaczone na podstawie histerezy próby ściskania, rozciągania i zginania dla zerowej deformacji. Uzyskane wyniki porównano z równaniem Ashby'ego [1, 2]
  3. Wytrzymałość na ściskanie pian w funkcji gęstości dla różnych stopów osnowy [1]
- Na podstawie rys. 1÷3 widać, że właściwości mechaniczne pian silnie zależą od gęstości. w prezentowanych wynikach gęstość tworzonych pian wynosi 1,3; 1,4 g/cm<sup>3</sup>.



nominal compressive strain  $\epsilon_n$  [%]

Rys 1. Krzywe zgniotu pian z czystego Al. wskazana pozorna gęstość masy (próbki bez naskórka) z pętlami obciążenia i odciążeń - pomiar sztywności (linia kreskowa) [1]

Fig. 1 Compression curves of pure Al foams of indicated apparent mass densities (tested without surface skin) with some unloading-loading loops (dashed lines) for stiffness measurements [1]



Rys. 2 Sztywność spienionego Al wyznaczona przez histerezę obciążanie-odciążanie w stanie naprężeń w trakcie pokazanej próby. Uzyskane wyniki porównano z równaniem Ashby'ego [1, 2]

Fig. 2. Stiffness of foamed Al determined by unloading-loading hysteresis at yield stress during the indicated tests. The fitted power law lines are compared with the Ashby formula [1,2]

## 2. METODY WYTWARZANIA PIAN

Piany wytwarza się według czterech metod [3,4]:

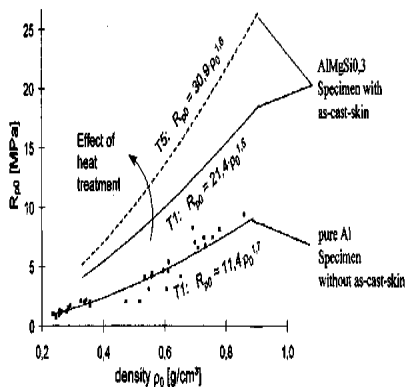
1. osadzania chemicznego lub elektrochemicznego
2. naparowywania próżniowego
3. metalurgii proszków
4. techniki ciekło fazowe a mianowicie: pełna forma, infiltracja, mieszanie, spienianie w stanie ciekłym, wytwarzanie gazarów

Obecnie szczególnie rozwinęły się dwie ostatnie spośród podanych metod wytwarzania pian. Szeroki zbiór informacji o metodach wytwarzania pian zawarto w opracowaniu Sobczaka – pozycja [3].

Wykorzystana przez autora metoda infiltracji opiera się na takim doborze właściwości ciekłego metalu aby zdolność do penetracji w szkielet była jak największa. Pożądane cechy procesu to:

- niskie napięcie powierzchniowe metalu
- wysoka temperatura zalewania
- mała pojemność cieplna formy przy niewielkim przewodnictwie cieplnym
- wysoka temperatura szkieletu solnego wraz z formą podczas zalewania
- podwyższone ciśnienie nad lustrem metalu i/lub
- podciśnienie we wnętrzu formy.

Najsukuteczniejsze są metody ciśnieniowej infiltracji ze względu na znaczną możliwość regulacji wielkością przyłożonego ciśnienia. w porównaniu do infiltracji próżniowej daje ona większe możliwości. Jednak relatywnie wysokie ciśnienia można stosować wyłącznie w formach metalowych i przy użyciu odlewniczych maszyn ciśnieniowych. Metody niskociśnieniowe łącznie z podciśnieniowymi dają łatwość produkcji odlewów o różnym kształcie dzięki wykorzystaniu form jednorazowego użycia. nie wymagają też stosowania drogich maszyn lecz tylko oprzyrządowania. Podsumowując, każda z metod przy swojej specyfice może znaleźć racjonalne zastosowanie przemysłowe w tym także metoda infiltracji próżniowej.



Rys. 3. Miejscowe naprężenia wyznaczone w próby ściskania różnych stopów osnowy ekstrapolowane do naprężeń osiowych dla różnych gęstości pozornych [1]

Fig. 3. Plateau stress determined from compression tests of different Al-matrix alloy conditions extrapolated to the stress axis for different apparent densities [1]



Rys. 4. Przykład makrostruktury przekroju z rys. 5. ciemne obszary – pory powstałe po usunięciu rdzenia, jasne obszary osnowa piany

Fig. 4. Example macrostructure on cross section of casting from fig. 5 dark areas pores after removal of core, bright areas foam matrix

### 3. BADANIA WŁASNE

Prezentowane opracowanie znajduje się w obszarze metod ciekło fazowych i oparte jest na zjawisku infiltracji próżniowej. Przyczynkiem do podjęcia badań nad tym szczególnym zagadnieniem są nieograniczone technologiczne możliwości odlewniczego tworzenia z pian części maszyn o dowolnym kształcie. Zakres możliwości wytwarzania pian jest rozległy. Makrostruktura jest zależna od morfologii pęcherzy. Rozpatrując dwa skrajne przypadki pęcherzy o kształcie kulistym lub o kształcie wielościanów równoosioowych uzyskuje się dwa skrajne układy szkieletów metalowych. Są to odpowiednio: szkielet złożony ze ścian o zróżnicowanej grubości przekrojów i ewentualnym przestrzeniach – ścianach miejscowo nieciągłych – w przypadku pian o porach otwartych. Wówczas punktowemu stykowi pustek kulistych przyporządkowane jest pewne napięcie powierzchniowe i kąty zwilżania w ciekłym stopie decydujące o wielkości nieciągłości łączących kolejne pory ze sobą - tj teoretyczny punktowy styk zmienia się w otwór kołowy, którego wymiar zależy od wielkości min napięcia powierzchniowego metalu w punkcie styku pęcherzy. Produktem w takim przypadku są piany o porach otwartych. Utrzymanie takiego – metastabilnego układu podczas krzepnięcia jest trudnym technologicznie zagadnieniem. Stąd w metodach opartych na wdmuchiwaniu gazów do kąpieli i innych podobnych dominują technologie wytwarzania materiałów z pęcherzami zbliżonymi kształtem do kul. Ścianki wówczas posiadają maksymalny wymiar nominalny odpowiadający promieniowi kuli  $r$  wpisanej między trzy pęcherze o promieniu  $R$ :

$$r = 0,21 R$$

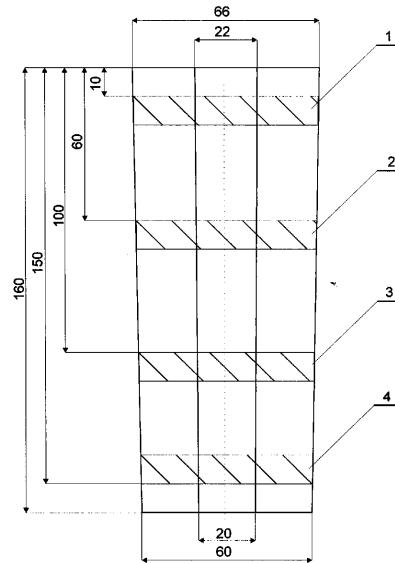
Pozostałe występujące w układzie ścianki mają rozmiar mniejszy i tym bardziej dążący do zera im niższe jest napięcie powierzchniowe metalu

W przestrzeni wypełnionej kulami o tym samym wymiarze zajmują one 52,3 % objętości stąd łatwo wyznaczyć uzyskiwaną gęstość materiału, która przy nie zdeformowanych kształtach jednakowych kulistych pęcherzach powinna stanowić 47,7 % gęstości materiału, z jakiego wykonany jest szkielet. Dla stopów Al przyjmując gęstość  $2,7 \text{ g/cm}^3$  odpowiednia łatwa do uzyskania jest gęstość  $1,29 \text{ g/cm}^3$ . Im mniejsze napięcie powierzchniowe ciekłego stopu i większy w ten sposób stopień deformacji kulistych pęcherzy w kierunku wielościanów doskonale wypełniających przestrzeń tym mniejsza gęstość pozorna tworzonej piany. Innym sposobem jest generowanie w objętości pęcherzy o zróżnicowanych rozmiarach. Jeśliby wolne przestrzenie między dużymi pęcherzami o promieniu  $R$  wypełnić małymi o promieniu  $r$ , zgodnie z powyższym  $r/R=0,21$  zakładając dalej, że na pięć dużych pęcherzy przypada 1 mały można objętość pęcherzy całkowitą zwiększyć dodatkowo o 20% - czyli zajmować one będą w przestrzeni 62,76% - czyli objętość metalu spada odpowiednio do 37, 24% dając gęstość pozorna dla stopów Al równą  $1,01 \text{ g/cm}^3$ . Idąc dalej w kierunku obniżania gęstości pozornej można zejść poniżej pewnej granicznej gęstości – tj gęstości wody przy zachowaniu por zamkniętych wówczas materiał uzyskuje cechę pływalności przy

znacznej sztywności. Stwarza to oczywiście całe duże pole nowych potencjalnych zastosowań.

W przypadku pustek o kształcie wielościanów możliwości łączenia ich ze sobą ścianami a zatem także geometria szkieletu są naturalną konsekwencją ich wielościennej geometrii. Uzyskuje się wówczas szkielet o małym zróżnicowaniu charakterystycznych wymiarów lokalnych ścianek. Powtarzalność kształtu związana jest w poszczególnych frakcjach z dokładnością budowy krystalicznej wielościanów odtwarzających pory w pianie. (Jeśli oczywiście ziarna odtwarzające pory posiadają budowę krystaliczną.) Natomiast powtarzalność wymiarowa zależy od dokładności analiz sitowych a ściślej od różnicy w prześwitach kolejnych sit.

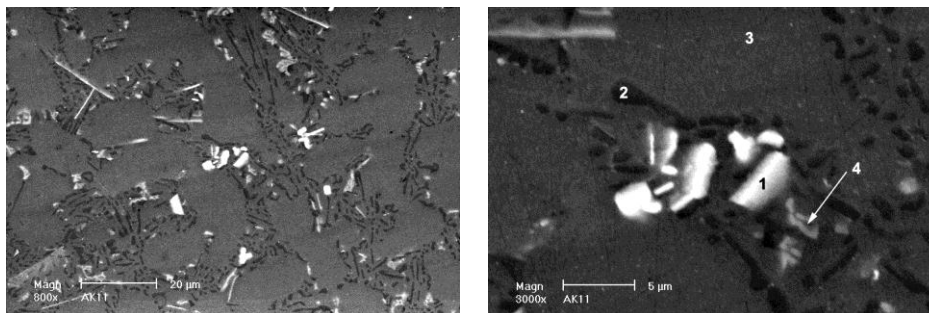
Na podstawie badań własnych stwierdzono możliwość wytwarzania pian przy użyciu technologii „vacu metall”, której istota polega na wytworzeniu podciśnienia we wnętrzu formy podczas wypełniania formy metalem. Wnęka formy skorupowej wykonanej według technologii Dieterta została wypełniona szkieletem solnym [4]. Przykład uzyskanego odlewu kształtowego o typowej geometrii węzła krzyżowego pokazuje, że dla smukłości odlewu wynoszącej 8, wykonanie odlewu nie stanowi problemu technologicznego. Na rys. 4. pokazano przykładową makrostrukturę odlewu, natomiast na rys. 5. pokazano postać geometryczną odlewu próbnego przy zachowanej orientacji zalewania i prezentacji przekrojów służących analizie rozłożenia porów w funkcji wysokości odlewu.



Rys. 5. Postać odlewu próbnego odlewu próbnego z zaznaczonymi przekrojami przeznaczonymi do analizy rozkładu gęstości

Fig. 5. Geometry of test casting with marked cross sections destined for analysis of density distribution

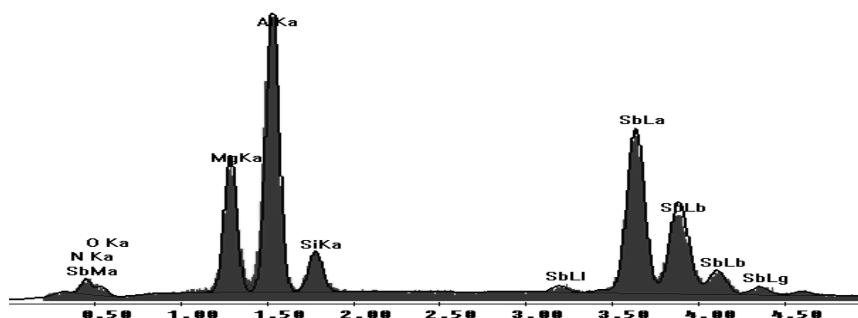
Grubość poszczególnych plastrów do badań wynosiła 10 mm. Średnia porowatość z czterech próbek wykonanych w analogicznych warunkach uzyskano równą 48%, przy odchyleniu standardowym równym 0,09. Natomiast wielkość porów wynosiła 3,5-4,5 mm.



Rys. 6. Mikrografie skaningowe kompozytu in situ na bazie stopu Al-Si ;odlew piaskowy, pow. 800 i 3000x

Fig. 6. Scanning micrographic of composite in situ basis on Al-Si alloy; sand casting, magn. 800 and 3000x

Label A: AK11

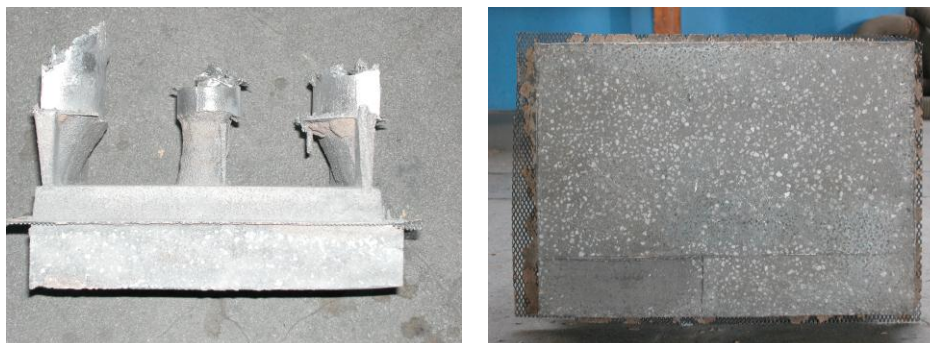


Pierwiastek	Udziały masowe, %	Udziały atomowe, %
N	9,72	26,82
O	2,60	6,29
Mg	16,85	26,78
Al	13,50	19,34
Si	2,44	3,36
Sb	54,89	17,42
<b>Razem</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Rys. 7. Wyniki punktowej analiza rozkładu pierwiastków w obszarze oznaczonym cyfrą (1)  
Fig. 7. Results of pointwise analyze of chemical elements distribution in area marked as (1)

W badaniach posłużono się osnową na bazie stopu AK-11 poddanego obróbce modyfikującej za pomocą powietrza zawierającego ozon tworzony w przepływie w ilości  $0,5 \text{ [mgO}_3/\text{dm}^3\text{powietrza]}$ . (- według danych producenta generatora ozonu). Przykładową mikrostrukturę materiału osnowy wytworzonego według podanej metody [5] przedstawiono na rysunku 6. Wyniki przeprowadzonej punktowej chemicznej analizy rozkładu pierwiastków pokazano na rysunku 7.

Natomiast na rys. 8 pokazano odlew płyty z piany kompozytowej wraz z elementami układu zasilania. Gabaryty płyty to:  $350 \times 250 \times 60 \text{ [mm]}$ , przy maksymalnej wielkości porów  $3 \text{ mm}$ .



Rys. 8. Przykład surowego odlewu płyty z piany kompozytowej wraz z elementami układu zasilania

Fig. 8. Example of plate rough casting of composite foam with pouring system

#### 4. Dyskusja Wyników

Wydaje się, że ograniczone możliwości zastosowania pian metalicznych w warunkach tworzonych przez rodzimy przemysł, nie sprzyjają rozwojowi tej ciekawej grupy materiałów konstrukcyjnych jaką stanowią piany metaliczne. Nie mniej konieczne jest prowadzenie badań pod kątem ewentualnych, przyszłych zastosowań. W przedstawionym opracowaniu. Wobec perspektyw tworzenia bardzo tanich odlewów z pian kompozytowych, których właściwości mechaniczne mogą okazać się relatywnie wyższe wzrosła liczba potencjalnych zastosowań. Mogą to być elementy architektury tłumiące hałas przy korzystnej sztywności mechanicznej, sztywne i tłumiące drgania części maszyn korpusy, samonośne obudowy, szkielety wielofazowych filtrów itp. Prezentowana technika posiada jeszcze wiele elementów wymagających zbadania i optymalizacji. Badania dalsze powinny obejmować równoległe dziedzinę technologii oraz eksploatacji i szeroko rozumianego metalo- i materiałoznawstwa. Konieczne jest ponadto zbadanie kinetyki krystalizacji osnowy kompozytu w warunkach radykalnie odmiennego od tradycyjnego transportu ciepła w układzie: „otoczenie-forma-szkielet-materiał osnowy”.

Proponowana technika ma swoje ograniczenie. Jest nim dolna graniczna wielkość porów, która prawdopodobnie limituje wielkość odlewu, która zależy od długości drogi jaką musi pokonać ciekły metal w szkieletie solnym zagadnienie to wymaga dokładnego określenia w funkcji czynników zmiennych wskazanych w punkcie 2.

Pomimo pewnych ograniczeń wykonanie prostych, kształtowych odlewów próbnych stwarza szerokie perspektywy wykorzystania proponowanej techniki do tworzenia odlewów o bardziej skomplikowanej postaci geometrycznej.

#### LITERATURA

- [1] Degischer H, P. *Innovative light metals: metal matrix composites and foamed aluminium*: Materials & Design, Elsevier Science v. 18, № 4/6.
- [2] Ashby M., F., *Metallurgical Transactions*, 1983, 14A.
- [3] Sobczak J. *Piany metalowe monolitowe i kompozytowe oraz gazary*, Wyd. I.O 1998.
- [4] Antoniak T. *Opracowanie technologii wytwarzania szkieletów ...*, Pr. dypl. mag., Pol. Śl. Wydz. MT. K.O. 1998.
- [5] Cholewa M., *Modyfikacja stopu AK-11 powietrzem aktywowanym w polu elektrycznym*, Archives of Foundry, 2002, v.2, № 4.

#### SHAPING CASTING OF METALLIC FOAMS

#### STRESZCZENIE

The foam producing by vacuuming infiltration of composite matrix in skeleton of salt has been presented.

Recenzował dr hab. Jan Szajnar