

# Wpływ rodzaju, grubości pokrycia ceramicznego oraz gęstości zespołu modelowego na stopień zagazowania odlewu

K. Buczkowska \*, P. Just, J. Świniarska, T. Pacyniak

Katedra Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji, Politechnika Łódzka  
ul. Stefanowskiego 1/15, 90-924 Łódź, Polska

\*Kontakt korespondencyjny: e-mail: katarzyna.buczkowska@p.lodz.pl

Otrzymano 21.05.2015; zaakceptowano do druku 01.06.2015

## Streszczenie

W pracy poruszone zostały zagadnienia związane z technologią lost foam. Zbadano wpływ rodzaju oraz grubości pokrycia ceramicznego a także gęstości zespołu modelowego na stopień zagazowania odlewu. Badania przeprowadzono dla dwóch rodzajów pokryć ceramicznych Disopast 4805/3 oraz Disopast 7759, które nakładano na modele ze spienionego polistyrenu w jednej, dwóch i trzech warstwach. Tak przygotowane modele wykorzystano do wytworzenia odlewów ze stopu AlSi11 w technologii lost foam. Otrzymane odlewy zbadano pod kątem stopnia ich zagazowania. Zaprezentowane badania wykazały zależności pomiędzy gęstością modelu, rodzajem i grubością zastosowanych powłok ceramicznych, a stopniem zagazowania odlewów.

Wykazano, że badane właściwości mają istotny wpływ na stopień zagazowania odlewu, jego porowatość oraz liczbę gazową. Poprzez odpowiedni dobór pokrycia, jego grubości, gęstości modelu, możliwe jest zminimalizowanie stopnia zagazowania odlewu.

**Słowa kluczowe:** Innowacyjne materiały i technologie odlewnicze, Proces lost foam, Ceramiczne pokrycie ogniotrwałe, Modele ze spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych, Zagazowanie odlewu

## 1. Wprowadzenie

Metoda wytwarzania odlewów ze spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych stosowanych do wytwarzania jednorazowych modeli odlewniczych poznana została w 1958 r. dzięki patentowi Shroyer'a [1]. Początkowo stosowany do produkcji jednostkowej i małoseryjnej gdzie modele odlewnicze dopasowywane były i klejone z wcześniej wyciętych fragmentów płyt styropianowych. Formowanie odbywało się w klasycznych masach formierskich. Opisana wyżej metoda wytwarzania modeli nie spełniała szeregu bardzo istotnych warunków, jak: mała chropowatość powierzchni odlewów, dokładność kształtowa oraz wymiarowa. Metoda pełnej formy znalazła szerszy rozgłos

w końcu lat osiemdziesiątych dwudziestego stulecia. Wtedy to patenty Shroyer'a i Smith'a straciły swoją ważność. Późniejszy rozwój techniki doprowadził do wykorzystania metody pełnej formy do produkcji masowej. Najważniejszy rozwój poruszanej metody miał miejsce z chwilą, kiedy możliwe stało się wytworzenie modeli ze spienionych polimerów, które wykazywały znaczną dokładność wymiarowo- kształtową. Ze względu na niski koszt produkcji i inwestycji metoda ta wzbudziła szerokie zainteresowanie. W porównaniu z tradycyjną metodą odlewania, technologia pełnej formy posiada wiele zalet:

- brak konieczności stosowania rdzeni;
- mniejsze koszty związane z wyeliminowaniem materiałów wiążących w masie formierskiej;

- mniejsza liczba operacji koniecznych do oczyszczenia odlewu (brak zalewek) w związku z tym mniejsza pracochłonność końcowych operacji wykańczających;
- ograniczenie oprzyrządowania technologicznego oraz innych urządzeń (formierki, mieszarki do przygotowywania mas)[2, 3].

W metodzie lost foam model wykonany jest zwykle z ekspandowanego polistyrenu. Zastosowanie spienionego modelu zwiększa dokładność wymiarową oraz daje lepszą jakość odlewu w porównaniu z konwencjonalnym odlewaniem do form piaskowych[4]. Metoda ta jednak jest znacznie bardziej skomplikowana w aspekcie fizycznym jak i chemicznym w stosunku do odlewów wykonanych w tradycyjnej technologii w formach piaskowych[5].

Podczas procesu zalewania formy na model z polistyrenu spienionego działa bardzo wysoka temperatura, co powoduje przekształcenie go ze stanu stałego w gazowy [3]. Podczas tej przemiany zachodzi szereg zjawisk pomiędzy ciekłym stopem, modelem i formą. W trakcie, kiedy model zmienia swoją postać zostają wydzielone stałe oraz gazowe produkty tej przemiany[7]. Na rozkład modelu ma wpływ bardzo dużo czynników i to one m.in. decydują o jego jakości.

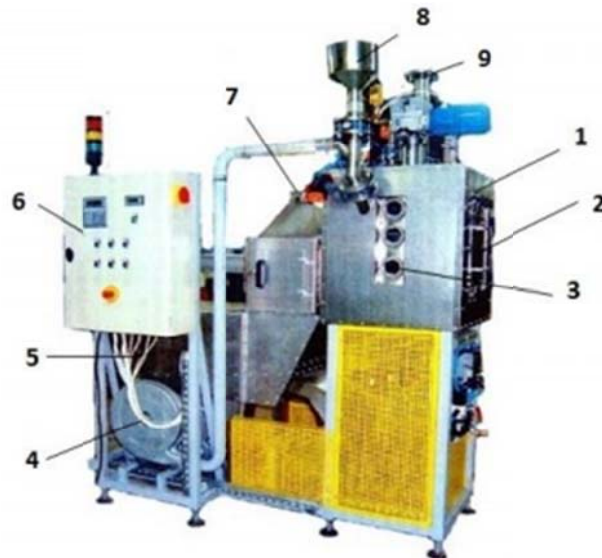
Bardzo duży wpływ na proces wytwarzania odlewów metodą pełnej formy ma pokrycie ogniotrwałe nanoszone na model ze spienionych tworzyw wielkocząsteczkowych. Stanowi ono powierzchnię roboczą formy i zapobiega penetracji metalu w głąb piasku stanowiącego masę formierską. Powinno mieć bardzo dobrą przepuszczalność, która umożliwi filtrację gazowym i ciekłym produktom rozkładu polistyrenu i swobodne opuszczenie wnęki formy. To głównie od pokrycia zależy stan powierzchni odlewu. Zbyt mała przepuszczalność powoduje wzrost ciśnienia gazów we wnęce, co z kolei może doprowadzić do zagazowania odlewu [8, 9].

Między lustrem ciekłego stopu a zgazowywanym modelem tworzy się szczelina gazowa[10, 11, 12]. Znajdujące się w niej ciśnienie wydzielanych gazów jest zazwyczaj wyższe od gazów wewnątrz wnęki formy, która została wykonana metodami tradycyjnymi. Schemat procesu zgazowywania polistyrenowego modelu przedstawić można w poniższych punktach [3]:

- 1) oddziaływanie promieniowania z powierzchni ciekłego stopu, na granicę styku metal- model;
- 2) oddziaływanie z powierzchni ciekłego stopu do ciekłej powierzchni modelu, tworzenie się fazy gazowej;
- 3) przenikanie ciepła poprzez fazę gazową do ciekłej oraz stałej fazy modelu;
- 4) konwekcja ciepła występująca w szczelinie gazowej.

## 2. Metodyka badań

Badania przeprowadzono w Katedrze Technologii Materiałowych i Systemów Produkcji Politechniki Łódzkiej. W celu zbadania wpływu rodzaju, grubości pokrycia ceramicznego oraz gęstości zespołu modelowego na stopień zagazowania odlewu wykonano modele z spienionego polistyrenu o gęstościach 17, 22 i 27kg/m<sup>3</sup>. Modele spieniano w spieniarce SC-500 przedstawionej na rysunku 1.



Rys.1. Spieniarca SC-500 (1-korpus, 2-drzwi rewizyjne, 3-okienko kontrolne, 4-wentylator przedmuchu, 5-korpus suszarni, 6-pulpit operatorski, 7-komin odprowadzający parę z suszarni, 8-kosz zasypowy, 9-komin)

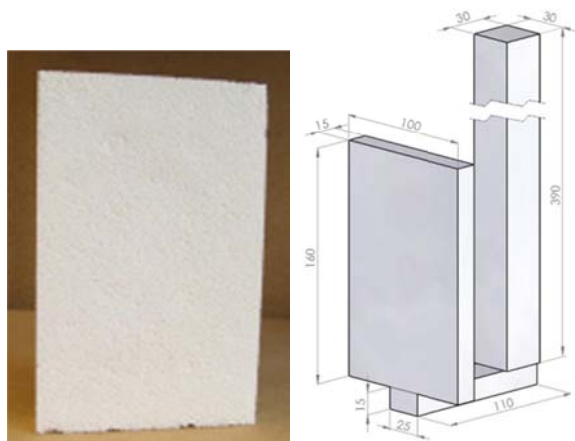
Wstępne spienianie odbywało się w temperaturze ok. 106°C dla wszystkich gęstości. Gęstość końcową modeli regulowano poprzez czas spieniania końcowego. W celu uzyskania czasu ten wynosił odpowiednio dla gęstości: 17kg/m<sup>3</sup> – 120s, 22kg/m<sup>3</sup> 35s oraz dla gęstości 27kg/m<sup>3</sup> – 15s.

Kolejnym etapem było sporządzenie modeli o pożądanym kształcie, odbywało się to poprzez spiekanie wstępnie spienionych granulek. Kształtowanie modeli odbywało się w metalowych matrycach rysunek 2.



Rys. 2. Metalowa matryca ze stopu aluminium wykorzystana do kształtowania modeli styropianowych

Spiekanie modeli przeprowadzono w temperaturze 121°C±5°C i czasie 90s. Po spiekaniu modele poddano sezonowaniu, celem stabilizacji kształtowo wymiarowej. Model odlewu próbnego z spienionego polistyrenu o kształcie płytki o wymiarach (wy. 160, sz. 100, gr. 15) przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3 Model odlewu próbnego ze spienionego polistyrenu oraz szkic zespołu modelowego z naniesionymi wymiarami.

Następnie nanoszone były na nie powłoki ceramiczne firm Huefteness- Albertus. Dane techniczne dotyczące nanoszonych powłok ogniotrwałych umieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Dane techniczne powłok Disopast 7759 oraz Disopast 4805/3

	Nazwa	Disopast 7759	Disopast 4805/03
Dane techniczne	Skład	Krzemiany glinu	Krzemiany glinu
	Kolor	czerwonawy	czerwonawy
	Gęstość	1,75 g/cm <sup>3</sup>	1,6 g/cm <sup>3</sup>
	Zawartość subst. stałej	70%	70,5-72,5%
	Wartość pH	7,5	6,8-7,8
	Lepkość	Czas wypływu ok. 22s, 4mm kubek Forda wg. DIN	Czas wypływu ok. 16-18 s, 4mm kubek Forda wg. DIN

Powłoki nakładane były na modele ręcznie za pomocą pędzla w jednej, dwóch oraz trzech warstwach. Po ich wyschnięciu do modeli przyklejany był układ wlewowy pokryty tym samym rodzajem powłoki co odlew próbny. Po wyschnięciu pokrycia Zestaw modelowy formowano w suchym piasku i zalewano ciepłym stopem AlSi11 o temperaturze 900°C.

W celu zmierzenia objętości wykonanych odlewów posłużono się metodą Archimedesesa. Następnie dane te wykorzystano w celu obliczenia gęstości odlewu, na podstawie, której wykonano obliczenia związane z zagazowaniem odlewu, porowatością i liczbą gazową. Obliczenia wykonane zostały w oparciu o równanie (1) w celu określenia stopnia zagazowania dla poszczególnych odlewów uwzględniając rodzaj oraz grubość pokrycia ceramicznego i gęstość modelu styropianowego [1]:

(1)

gdzie:

- ciśnienie, przy którym nastąpiło zakrzepnięcie próbki, MPa,
- temperatura, w której nastąpiło zakrzepnięcie próbki, K,
- masa właściwa danego stopu całkowicie pozbawionego gazów,
- masa właściwa próbki.

Wykonanie obliczeń porowatości pozwoliło otrzymać dane dla poszczególnych odlewów z uwzględnieniem rodzaju oraz grubości pokrycia ceramicznego a także gęstości modelu. Obliczeń dokonano na podstawie równania (2) [13].

(2)

gdzie:

- masa właściwa danego stopu całkowicie pozbawionego gazów,
- masa właściwa próbki.

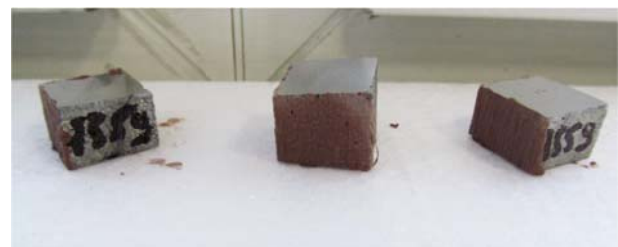
Liczba gazowa- określa stosunek rzeczywistej gęstości odlewu do gęstości teoretycznej danego stopu. Obliczenie liczby gazowej było pomocne w celu ustalenia jej zawartości dla poszczególnych odlewów z uwzględnieniem ilości oraz rodzaju nałożonych powłok i gęstości zespołu modelowego. Obliczenia wykonane zostały na podstawie równania(3) [13].

(3)

gdzie:

- masa właściwa próbki,
- masa właściwa danego stopu całkowicie pozbawionego gazów.

W celu określenia grubości powłok wykorzystano metalowe próbki odwzorowujące swoją powierzchnią, powierzchnię modeli, rysunek 4. Nałożono na nie powłoki w ten sam sposób co na modele styropianowe, w jednej, dwóch oraz trzech warstwach. Pomiaru grubości powłoki dokonano na mikroskopie Nikon Eclipse MA200.

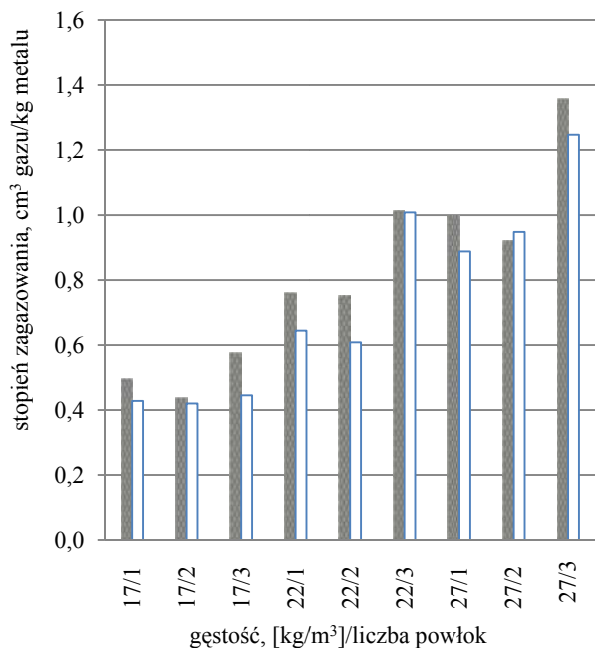


Rys.4. Metalowe próbki służące do określenia grubości nanoszonych powłok ogniotrwałych.

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Stopień zagazowania

Na rysunku 5 przedstawiono zależność stopnia zagazowania odlewu od gęstości modelu, ilości naniesionych powłok oraz ich rodzaju.



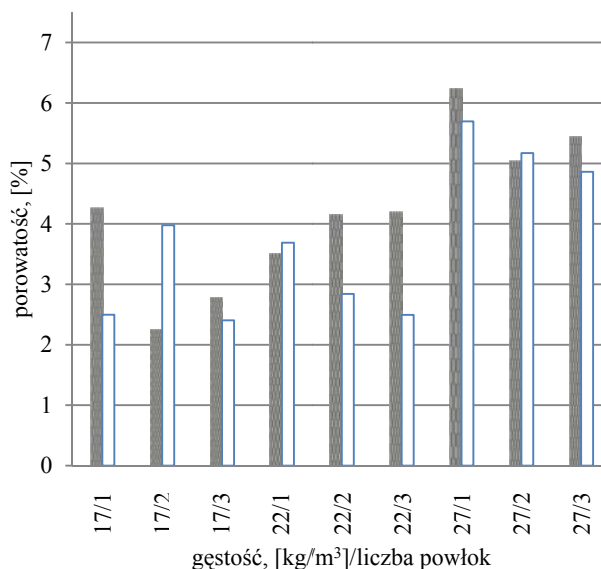
Rys. 5. Zależność stopnia zagazowania odlewu od gęstości modelu, ilości naniesionych powłok oraz ich rodzaju (kratka - powłoka 4805/3, jasne pole - powłoka 7759)

Analizując otrzymane wyniki zaobserwowano istotny wpływ gęstości modelu oraz liczby naniesionych powłok na stopień zagazowania. Wraz ze wzrostem gęstości modelu i grubości powłoki referencyjnej naniesionej na model rośnie stopień zagazowania odlewu. Nie zaobserwowano wpływu rodzaju powłoki na stopień zagazowania. Stopień zagazowania nie różnił się znacząco dla zastosowanych powłok Disopast 4805/3 oraz Disopast 7759.

#### 3.2. Porowatość

Na rysunku 6 przedstawiono referencyjne wyniki pomiaru porowatości otrzymanych odlewów.

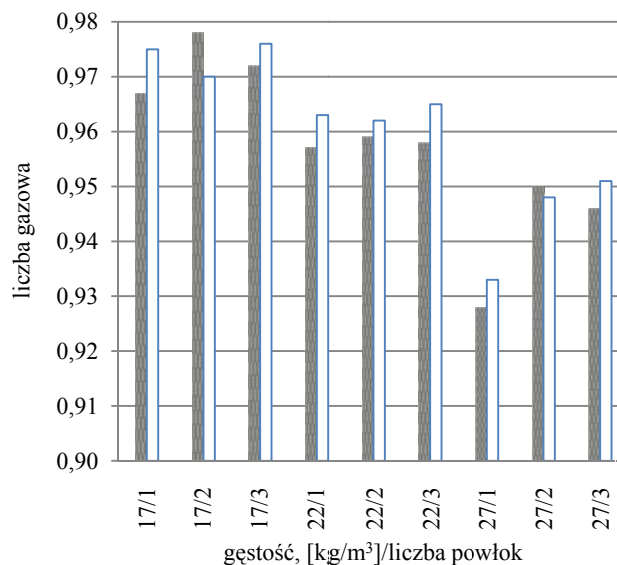
Zaobserwowano, iż największy udział procentowy porowatości mieszczący się w przedziale 4,8-6,2%, posiadały odlewy do których wykonania użyto modele o największej z zastosowanych gęstości (27 kg/m³).



Rys. 6. Zależność porowatości od gęstości modelu, ilości naniesionych powłok oraz ich rodzaju (kratka - powłoka 4805/3, jasne pole - powłoka 7759)

#### 3.3. Liczba gazowa

Zależność liczby gazowej od badanych parametrów przedstawiono na rysunku 7.

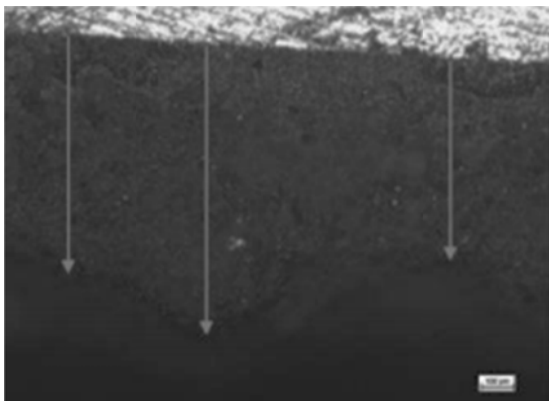


Rys. 7. Zależność liczby gazowej od gęstości modelu, ilości naniesionych powłok oraz ich rodzaju (kratka - powłoka 4805/3, jasne pole - powłoka 7759)

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, iż największy wpływ na liczbę gazową w zakresie badanych parametrów miała, podobnie jak w przypadku porowatości odlewów, gęstość modelu styropianowego. Najniższą wartość liczby gazowej otrzymano dla odlewów, dla których zastosowano modele o gęstości  $27 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.4 Grubość powłok

Na rysunku 8 przedstawiono zdjęcie referencyjnej powłoki naniesionej na metalowy model, na podstawie którego określono grubość naniesionej powłoki. Zestawienie wyników pomiaru wraz z wartościami uśrednionymi dla danej liczby powłok, oraz ich rodzaju zamieszczono w tabeli 2.



Rys. 8. Referencyjna Powłoka 4805/3 naniesiona na metalowy model.

Tabela 2.  
Wyniki pomiarów grubości powłok.

Ilość powłok	Rodzaj powłoki	Otrzymane pomiary grubości [ $\mu\text{m}$ ]	Wartość średnia grubości powłoki [ $\mu\text{m}$ ]
1	7805/3	204, 227, 279	237
2	7805/3	395, 363, 320	359
3	7805/3	930, 1014, 914	953
1	7759	225, 271, 311	269
2	7759	319, 320, 351	330
3	7759	797, 797, 842	812

## 4. Wnioski

Praca przybliżyła problem zagazowania odlewów. Jest on szczególnie istotny ze względu na specyfikę technologii Lost

Foam. Duża ilość gazów powstałych podczas procesu zalewania formy może mieć znaczący wpływ na jakość otrzymywanych odlewów, dlatego tak istotny jest dobór odpowiednich powłok ogniotrwałych i ich grubości.

Powłoki ogniotrwałe ze względu na funkcję jaką pełnią powinny z jednej strony zabezpieczać model przed zniszczeniem podczas formowania, wytrzymać ciśnienie naporu gazów i metalu podczas zalewania formy metalem, a jednocześnie powinny umożliwiać sprawną ewakuację gazów powstałych w procesie zgazowywania zespołu modelowego.

W pracy przedstawiono badania wpływ rodzaju, grubości pokrycia ceramicznego oraz gęstości zespołu modelowego na stopień zagazowania odlewu. Na wykonane zespoły modelowe nakładano dwa rodzaje pokryć ceramicznych w jednej, dwóch i trzech warstwach. Następnie wykonano odlewy w technologii Lost Foam.

Zaprezentowane badania wykazały zależności pomiędzy gęstością zespołu modelowego, grubością zastosowanych powłok ceramicznych a liczbą gazową, porowatością oraz stopniem zagazowania odlewów.

Na podstawie przeprowadzonych badań można wywnioskować, że:

- stopień zagazowania odlewu rośnie wraz ze wzrostem gęstości zespołu modelowego, (najwyższy stopień zagazowania posiadały odlewy o gęstości modelu  $27 \text{ kg/m}^3$ , najniższy przy gęstości modelu  $17 \text{ kg/m}^3$ );
- stopień zagazowania odlewu rośnie wraz z ilością nałożonych powłok;
- porowatość w odlewach rośnie wraz z gęstością modelu styropianowego. Dla gęstości modelu  $27 \text{ kg/m}^3$  porowatość w otrzymanych odlewach była w zakresie 4,8-6,2%.

## Literatura

- [1] Shroyer, H.F. (1958). US Patent No. 2, 830, 343.
- [2] Pacyniak, T. (2006). *Teoretyczne i technologiczne podstawy procesu wytwarzania odlewów metodą pełnej formy*. Łódź: Wydawnictwo PŁ.
- [3] Piech, K., Stachańczyk, J. & Kempniński, A. (2001). Wytwarzanie odlewów metodą modeli zgazowywanych w Zakładzie Doświadczalnym Instytutu Odlewnictwa. *Biuletyn Instytutu Odlewnictwa*. 3(4), 18-22.
- [4] Karwiński A. & Haratym R. (2006). Badanie dokładności wymiarowej w metodzie zgazowywanych modeli. *Archives of Foundry*. 6(18), 213-218.
- [5] Mirbagheri, S.M.H., Serajzadeh, S., Varahram, N., & Davami, P. (2006). Modelling of foam degradation in lost foam casting process. *Materials and Design*. 27, 115-124.
- [6] Pacyniak T. (2013). *Metoda pełnej formy, wybrane aspekty*. Łódź.
- [7] Kannan, P., Biernacki J.J. & Visco, Jr. D.P. (2007). A review of physical and kinetic models of thermal degradation of expanded polystyrene foam and their application to the lost foam casting process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 78, 162-171.
- [8] Барбакадзе, А., Хопф, В. & Баер, Ю. (2001). Пористость

- алюминиевых отливок при литье сверху по газифицируемым моделям. Литейное Производство, 7.
- [9] Pacyniak T. (2013). Metoda pełnej formy, wybrane aspekty. Łódź.
- [10] Pacyniak T. (2006). Teoretyczne i technologiczne podstawy procesu wytwarzania odlewów metodą pełnej formy. Politechnika Łódzka. Zeszyty Naukowe Nr 985. Rozprawy Naukowe Z. 350, Łódź.
- [11] Barone M.R. & Caulk D.A. (2005). A foam ablation model for lost foam casting of aluminum. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 48, 4132-4149.
- [12] Mirbagheri S.M.H., Serajzadeh S., Varahram N. & Davami P.: (2006). Modelling of foam degradation in lost foam casting process. *Materials and Design*. 27, 115-124.
- [13] Pietrowski S., Pisarek B., Władysiak R.(2003). Wpływ wybranych czynników technologicznych na stopień zagazowania siluminów. *Archiwum Odlewnictwa*. 3(10), 126-132.

# The Effect of the Type, the Ceramic Coating Thickness and the Pattern Set Density on the Degree of Gas Porosity in Casting

## Abstract

The study addressed the issues associated with lost foam casting technology. The effect of the type and thickness of the ceramic coating and the density of the pattern set of the degree of gas porosity in casting. The study was conducted for two types of ceramic coatings Disopast 4805/3 and Disopast 7759, which was applied to patterns with expanded polystyrene in one, two and three layers. Thus prepared patterns were used to produce castings alloy AlSi11 lost foam technology. The resulting castings were tested for their level of gas porosity. Presented studies have shown the relationship between the density of the polystyrene pattern, type and thickness of the applied ceramic coatings gas porosity and casting melt.

It has been shown that investigated the properties have a significant impact on the degree of gas porosity in cast, its porosity and the gaseous number. Through an appropriate choice of coating, its thickness, density model, it is possible to minimize the degree of gassing casting.