

Jacek Jackowski<sup>1</sup>

Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań

## PRÓBY WYTWARZANIA NASYCANYCH ODLEWÓW KOMPOZYTOWYCH Z WYKORZYSTANIEM MASZYNY CIŚNIENIOWEJ

Nasyrane odlewy kompozytowe wytwarzane są najczęściej z użyciem urządzeń autoklawowych lub przez prasowanie w stanie ciekłym (squeeze casting). Pierwszy sposób umożliwia zachowanie korzystniejszych warunków nasycania (i ich kontrolę), drugi znacznie większą wydajność. Jedną z przyczyn porowatości nasycanych odlewów kompozytowych są okluzje gazowe. Ich obecność w nasycanym odlewie jest nieunikniona, szczególnie w przypadkach nasycania prasowaniem. Ciśnienie zewnętrzne wywierane na metal osnowy nasycającej zbrojenie winno być wyższe od sumy ciśnień koniecznych do: pokonania ciśnień kapilarnych w nasycanym zbrojeniu, pokonania oporów przepływu osnowy przez kapilarno-porowate zbrojenie oraz kompresji okluzji (rys. 1). Podjęto próby wytwarzania nasycanych odlewów kompozytowych w formie ciśnieniowej (rys. 2) z wlewem doprowadzającym o dużej powierzchni przekroju, pozwalającym na uzyskiwanie niewielkich prędkości przepływu nasycającego metalu osnowy. Forma ciśnieniowa przystosowana była do współpracy z maszyną ciśnieniową IDRA 320. Odlewy próbne, o kształcie prostopadłościennych płytek o wymiarach 70x60x20 mm, uzyskiwano przez nasycanie glinokrzemianowego zbrojenia SIBRAL technicznym stopem AlSi11. Uzyskane odlewy próbne (rys. 3) cięto na fragmenty (rys. 4), a porowatość każdego z nich określano na podstawie pomiarów jego gęstości (metodą podwójnego ważenia na elektronicznej wadze analitycznej WPA 120K). Przykłady stwierdzonych rozkładów porowatości odlewanych materiału kompozytowego uzyskanego w trakcie prób nasycania zbrojeń przy różnych wartościach ciśnienia zewnętrznego przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Wstępne próby dowiodły możliwości otrzymania nasycanych odlewów kompozytowych o porowatości niższej od 1% w warunkach standardowej odlewni ciśnieniowej, przy stosowaniu niewielkich wartości posuwów tłoka maszyny ciśnieniowej oraz dostatecznie sztywnych zbrojeń kompozytowych.

Słowa kluczowe: nasycane kompozyty odlewane

## THE ATTEMPTS TO MANUFACTURE SATURATED COMPOSITE CASTINGS WITH THE USE OF A PRESSURE CASTING MACHINE

Saturated composite castings are usually produced with the use of autoclave equipment or by pressing of the charge in liquid state (squeeze casting). The first method enables maintaining better saturation conditions (and their monitoring), while the other considerably improves efficiency of the process. One of the reasons of porosity of saturated composite castings results from gas occlusions. They are unavoidable in the saturated castings, particularly in the case of pressing saturation. External pressure exerted on the matrix metal saturating the reinforcement should exceed the sum of pressures necessary for overcoming capillary pressures in the reinforcement under saturation, resistance of matrix flux through the capillary-porous reinforcement, and occlusion compression (Fig. 1). The attempts were made at producing saturated composite castings in a pressure casting die (Fig. 2) the ingate of large cross-section area, enabling operation with small velocity of saturating matrix metal flux. The pressure casting die was adapted for co-operation with the IDRA 320 pressure casting machine. Trial castings, of the shape of rectangular plates 70x60x20 mm, were obtained by saturating an aluminosilicate SIBRAL reinforcement with a technical AlSi11 alloy. The trial castings (Fig. 3) were then cut into parts (Fig. 4). Their porosities were determined based on measured densities (with a method of double weighing at an electronic analytical balance WPA 120K). Examples of porosity distribution of the casted composite materials obtained by reinforcement saturating for different external pressure values are shown in Figures 5 and 6. Preliminary trials proved the possibility of obtaining the saturated composite castings of porosity below 1 per cent, under conditions of a standard pressure-casting foundry, provided that small piston advance value and sufficiently rigid composite reinforcement are used.

Key words: saturated composite castings

### WSTĘP

Proces wytwarzania nasycanych odlewów kompozytowych jest realizowany najczęściej dwoma sposobami. W pierwszym są stosowane urządzenia autoklawowe, a medium wymuszającym nasycanie zbrojenia jest gaz, zaś w drugim do uzyskania odlewu konieczna jest prasa oraz odpowiednia matryca. Urządzenia autoklawowe mogą posiadać (i często posiadają) rozbudowaną

instalację, dzięki której proces nasycania można realizować w zróżnicowanych warunkach, np. po wcześniejszym wytworzeniu próżni, w atmosferze gazu obojętnego, po przewentylowaniu zbrojenia gazem nieczynnym itp. Możliwości te czynią ten sposób nasycania uniwersalnym i bardzo przydatnym, natomiast jego mankamentem jest niewielka wydajność procesu. Wytwarzanie na-

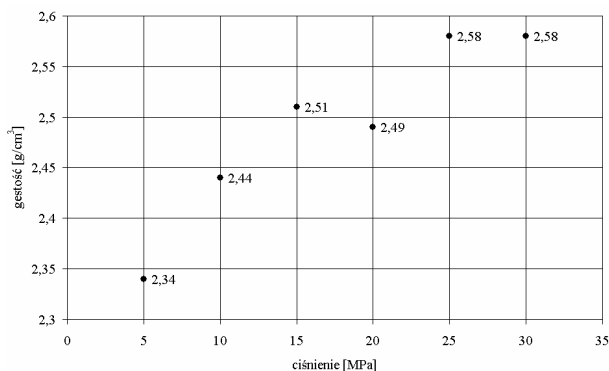
<sup>1</sup> dr inż.

sycanych odlewów kompozytowych metodą prasowania (squeeze casting) jest procesem mniej wyrafinowanym, ale zdecydowanie bardziej wydajnym. Ponieważ zakres ciśnień stosowanych podczas nasycania zbrojeń kompozytowych metodą prasowania mieści się w zakresie stosowanych w odlewnictwie ciśnieniowym [1, 2], i spodziewana znaczna wydajność procesu spowodowała, że podjęte zostały próby wytwarzania nasyconych odlewów kompozytowych przy wykorzystaniu standardowej maszyny ciśnieniowej. Duża liczba tych maszyn, pracujących w odlewniach, w przypadku pozytywnych wyników prób, mogłaby spopularyzować technologię nasyconych odlewów kompozytowych.

## CIŚNIENIE W PROCESIE NASYCANIA ZBROJEŃ KOMPOZYTOWYCH

Zbrojenia nasyconych odlewów kompozytowych, najczęściej ceramiczne, charakteryzują się złą zwilżalnością przez ciekłe metale i stopy osnowy nasycającej. Skuteczne nasycenie zbrojenia kompozytowego wymaga stosowania ciśnienia zewnętrznego, którego wartość winna być wystarczająca do pokonania ciśnienia kapilarnego, koniecznego do wypełnienia kapilar zbrojenia kompozytowego, oporów przepływu ciekłej osnowy przez nasycane zbrojenie oraz kompresji okluzji gazowych, uwieczonych w nasycanym zbrojeniu. Ponieważ okluzje gazowe znajdują się w objętości zajmowanej przez nasycaną kształtkę zbrojenia [3], osnowa nasycająca zbrojenie do chwili całkowitego jej zakrzepnięcia może być traktowana jako ciecz pseudościśliwa. Oznacza to, że spadki efektywnego ciśnienia panującego w podobszarach powstającego odlewu kompozytowego muszą powodować wzrost objętości okluzji, a tym samym zwiększać porowatość uzyskanego materiału kompozytowego.

W technologii nasyconych odlewów kompozytowych ważna jest zatem nie tylko wartość nominalna stosowanego ciśnienia, ale efektywność jego działania w całej objętości tworzącego się odlewu do chwili całkowitego zakrzepnięcia nasycającej osnowy.



Rys. 1. Zależność gęstości kompozytu nasyconego (SIBRAL-ALSi11) od ciśnienia nasycania [4]

Fig. 1. Dependence of the density of saturated composite (SIBRAL-ALSi11) on saturating pressure [4]

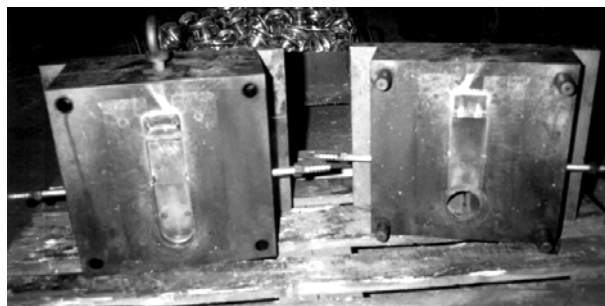
Efekty laboratoryjnych prób nasycania prasowaniem glinokrzemianowych zbrojeń uformowanych z krótkich włókien SIBRAL stopem AlSi11 przy zróżnicowanych ciśnieniach [4] wskazują, że przy ciśnieniu nasycania wynoszącym około 25MPa następuje stabilizacja gęstości materiału uzyskanych próbek (rys. 1). Oznacza to, że proces nasycania zbrojeń kompozytowych stopami aluminium realizowany z użyciem maszyny ciśnieniowej rokuje pomyślne efekty.

## PRZYGOTOWANIE I PRZEBIEG DOŚWIADCZEŃ

Przygotowując próby przyjęto, że zbrojeniem kompozytowym będzie glinokrzemianowy materiał o nazwie handlowej SIBRAL, formowany z krótkich, różnoorientowanych włókien o średnicy 3÷5 μm, a kształtki zbrojenia będą wycinane z płyt o wymiarach 1000x500x25mm. Zbrojenia postanowiono nasycać stopem AlSi11.

Dla realizacji procesu nasycania postanowiono skonstruować formę ciśnieniową przystosowaną do współpracy z maszyną ciśnieniową IDRA OL 320. Założono, że efekty zabiegów nasycania zbrojeń będą oceniane na podstawie pomiarów porowatości fragmentów uzyskanych odlewów kompozytowych. Z tego powodu przyjęto, że wymiary próbnego odlewu będą na tyle duże, iż możliwe będzie ich cięcie na elementy pozwalające na wiarygodną ocenę ich gęstości i porowatości [5].

Konstrukcję formy oparto na wynikach komputerowych symulacji procesu krzepnięcia metalu osnowy. Do symulacji wykorzystano kod symulacyjny PAM-CAST/SIMULOR. Wnęka formy mieściła kształtkę zbrojącą o wymiarach: wysokość 70 mm; szerokość 60 mm; grubość 20 mm. Forma posiadała wlew doprowadzający o wymiarach odpowiadających szerokości i grubości próbki odlewu kompozytowego (60x20 mm). W formie przewidziano system kanałów chłodzących, wykorzystanie których umożliwi ingerencję w proces krzepnięcia osnowy kompozytowej. Ruchoma część formy posiadała niewielkie wypustki umożliwiające stabilne mocowanie zbrojenia w formie oraz system wypychaczy, a także komorę odpowietrzającą. Widok formy ciśnieniowej przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Widok formy ciśnieniowej użytej do wytwarzania próbných nasycanych odlewów kompozytowych

Fig. 2. View of a pressure die used for manufacturing of trial saturated composite castings

Kształtki zbrojenia (wycinane z płyty) były szlifowane do wymiarów umożliwiającą montaż w formie ciśnieniowej. Każda kształtka po wypaleniu w temperaturze 800°C była numerowana, mierzona i ważona w celu oznaczenia jej porowatości. Kształtki zbrojenia, przed montażem w formie i nasycaniem, były podgrzewane do temperatury ok. 700°C.

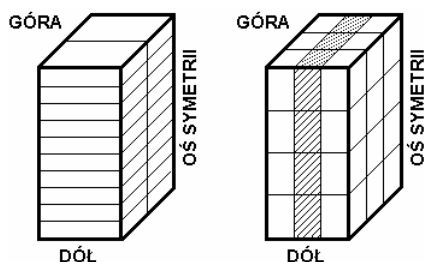
Próby nasycania przeprowadzono w warunkach przemysłowych. Temperaturę odlewianego metalu kontrolowano termoparą zanurzeniową, a temperaturę formy ciśnieniowej - pirometrem optycznym.

Rysunek 3 przedstawia surowy odlew wyjęty z formy ciśnieniowej. Materiałem kompozytowym (próbka) jest górna część odlewu, mieszcząca się między widocznymi krzysami a jego górną krawędzią. Po odcięciu układu wlewowego (na poziomie krzyż) i wstępnej kontroli próbki były rozcinane wzdłuż pionowej osi symetrii. Sprawdzano stan nasyczonego zbrojenia. Gdy odlew nie budził zastrzeżeń, jedną z jego połówek rozcinano wg schematów przedstawionych na rysunku 4.



Rys. 3. Próbné odlewy kompozytowe

Fig. 3. Trial composite castings



Rys. 4. Schematy podziału odlanych próbek kompozytowych dla oceny rozkładu porowatości

Fig. 4. Division diagram of composite samples casted for purpose of porosity distribution assessment

Oceny porowatości uzyskanego materiału kompozytowego dokonywano pośrednio, oznaczając gęstość poszczególnych próbek. Gęstość oznaczono metodą podwójnego ważenia na elektronicznej wadze analitycznej WPA 120K (Z.M.P. Radwar) o klasie dokładności I i działce elementarnej 0,1 mg.

## EFEKTY PRÓB

Na rysunku 5 zestawiono przykłady wyników pomiarów porowatości wykonane dla dwóch odlewów kompozytowych. Mimo znacznej różnicy ciśnień (12,5 i 25,0 MPa), użytych do ich wykonania, różnice porowatości fragmentów obu odlewów są minimalne. W obu przypadkach widoczna jest znaczna porowatość w centralnych obszarach odlewów. Świadczy ona o wystąpieniu podczas krzepnięcia obu odlewów stref izolowanych [6], w których ciśnienie jest niższe niż ciśnienie prasowania wywierane na ciekły metal. Strefa izolowana w odlewie nasycanym przy niższym ciśnieniu jest wyraźnie rozleglejsza, co dowodzi wpływu ciśnienia na zasilanie krzepnącej osnowy kompozytowej. Lokalne różnice porowatości, np. sąsiadujących z sobą zewnętrznych fragmentów tego samego odlewu, przypisać należy nierównomiernemu rozłożeniu okluzji gazowych, uwięzionych w nasycanym zbrojeniu kompozytowym.

Na rysunku 6 przedstawiony jest rozkład porowatości w odlewie kompozytowym nasycanym przy wyższym ciśnieniu (41,5 MPa). Choć podział odlewu jest nieporównywalny z podziałem pokazanym na rysunku 5, stwierdzone wartości porowatości świadczą o wyrównanej zwartości materiału kompozytowego na całej wysokości odlewu, tak w środkowej, jak i zewnętrznej jego części. Dowodzi to skuteczności ciśnieniowego zasilania stygnącej i krzepnącej osnowy mimo znacznej wysokości nasycanego zbrojenia. Stwierdzone wartości porowatości uzyskanego materiału kompozytowego, nieprzekraczające 1%, należy uznać za satysfakcjonujące [7].

0,81	0,68	0,78	0,69	0,78	0,97	1,08	0,92	1,04
1,26	1,04	1,14	0,81	1,73	4,07	1,46	1,33	1,21
1,29	1,03	1,36	1,02	2,32	5,01	1,53	1,47	1,42
1,36	1,60	1,76	1,15	2,49	3,79	1,92	2,08	2,11
a)			b)			c)		
0,72	0,91	0,91	0,70	0,96	1,39	1,15	0,94	1,40
0,90	0,77	0,89	0,80	1,66	3,96	1,34	1,20	1,20
1,15	1,04	1,15	0,95	2,15	4,25	1,55	1,25	1,72
1,43	1,33	1,46	1,03	1,78	2,89	2,07	1,66	1,72
b)			c)			d)		

Rys. 5. Rozkład porowatości w próbných odlewach kompozytowych nasycanych pod różnymi ciśnieniami: a) 12,5 MPa, b) 25,0 MPa

Fig. 5. Porosity distribution of trial composite castings saturated under different pressures: a) 12.5 MPa, b) 25.0 MPa

1,02	1,03
0,77	0,79
0,72	0,77
0,71	0,73
0,72	0,69
0,74	0,68
0,73	0,66
0,84	0,65
0,69	0,74
0,90	0,75

Rys. 6. Rozkład porowatości w odlewie kompozytowym nasyconym pod ciśnieniem 41,5 MPa

Fig. 6. Porosity distribution of composite casting saturated under the pressure 41.5 MPa

Przeprowadzone dotychczas próby (w warunkach przemysłowych) wykazały, że bardzo ważną grupą czynników związanych z procesem nasycania zbrojeń na maszynie ciśnieniowej są: parametry kinematyczne pracy maszyny ciśnieniowej oraz jakość nasyconych zbrojeń. Z pierwszej grupy najistotniejsza jest prędkość posuwu tłoka maszyny i możliwość jej precyzyjnej regulacji. Wyniki obserwacji wskazują na konieczność ustalenia takich prędkości roboczych tłoka maszyny ciśnieniowej, które w korelacji z polem przekroju wlewu doprowadzającego zapewnią przepływy metalu w formie niepowodujące deformacji zbrojenia. Drugą kwestią jest jakość nasyconych zbrojeń, które powinny mieć największą sztywność.

## WNIOSKI

Wstępne próby uzyskiwania nasyconych odlewów kompozytowych za pomocą standardowej maszyny ciśnieniowej wskazują, że:

1. Istnieje pełna możliwość wykorzystania maszyn ciśnieniowych do produkcji nasyconych odlewów kompozytowych.

2. Ciśnienia otrzymywane w formach ciśnieniowych są wystarczające do uzyskiwania kompozytowych odlewów nasyconych o dostatecznie zwartej strukturze (porowatości nieprzekraczającej 1%).
3. Dla sprawnego przebiegu procesu i jego efektywności niezbędne jest precyzyjne ustalenie warunków kinematycznych nasycania.

## LITERATURA

- [1] Michaud V., Mortensen A., Infiltration processing of fibre reinforced composites: governing phenomena, *Composites* 2001, part A 32, 981-996.
- [2] Dańko J., *Maszyny i urządzenia do odlewania pod ciśnieniem*, Wydawnictwo AGH, Kraków 2000.
- [3] Jackowski J., Szweycer M., Gawdzińska K., Grabian J., Gas porosity in the casting made of saturated metal composites, *Acta Metallurgica Slovaca* 2001, 7, 3, 353-359.
- [4] Grabian J., Nasycanie zbrojenia z ceramicznych włókien nieuporządkowanych podczas wytwarzania odlewów z kompozytów metalowych, *Studia nr 35*, Wyższa Szkoła Morska, Szczecin 2001.
- [5] Jackowski J., Gawdzińska K., Zasada D., Ocena zwartości struktury odlewu z metalowego kompozytu nasyconego, *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji* 2001, 22, 1, 89-99.
- [6] Jackowski J., Okluzje gazowe w odlewach kompozytowych nasyconych, *Kompozyty (Composites)* 2001, 2, 4, 180-184.
- [7] Long S., Zhang Z., Flower H.M., Characterization of liquid metal infiltration of a chopped preform aided by external pressure - I Visualization of the flow behaviour of aluminium melt in a fibre preform, *Acta Metall. Mater.* 1995, 43, 9, 3489-3498.

Recenzent  
Zbigniew Konopka