

Wpływ geometrii powierzchni zewnętrznych modeli woskowych na kinetykę wysychania form ceramicznych

J. Zych^{a*}, J. Kolczyk^a

^a AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: jzych@agh.edu.pl

Otrzymano 22.10.2013; zaakceptowano do druku 12.12.2013

Streszczenie

W przedstawionej pracy, stosując metodę grawimetryczną wyznaczono przebieg wysychania poszczególnych warstw ciekłej mieszanki ceramicznej (CMC), naniesionej na modele woskowe w technologii wytapianych modeli, tworzących tym samym wielowarstwową formę ceramiczną. Stwierdzono, że każda kolejno naniesiona warstwa o podobnej grubości wysycha dłużej, od poprzedniej. Czas wysychania warstw tworzących zamknięte przestrzenie wydłuża się wielokrotnie w porównaniu z wysychaniem powierzchni otwartych (zewnętrznych).

Słowa kluczowe: innowacyjne materiały i technologie odlewnicze, szybkość wysychania, spoiwo koloidalne, kształt modeli, czynniki technologiczne.

1. Wprowadzenie

Proces wytwarzania wielowarstwowych form ceramicznych polega na zanurzeniu gotowego zestawu modelowego w ciekłej masie ceramicznej, a następnie posypywaniu wykonanych powłok materiałem wysokoogniotrwałym charakteryzującym się określoną wielkością ziarna, zaczynając od najdrobniejszego (0,15 mm), a kończąc na najgrubszym (1,2 mm) w celu wzmocnienia skorupy. Formy ceramiczne zbudowane są wielowarstwowo przy czym charakteryzują się niejednorodnym wykonaniem poszczególnych warstw, czego przyczyną jest anizotropia materiałów służących jako osnowa poszczególnych warstw, oraz nierównomierne pokrycie modelu woskowego ciekłą mieszką ceramiczną (CMC).

Cały proces wytwarzania wielowarstwowej formy ceramicznej w technologii wytapianych modeli składa się z szeregu różnych operacji technologicznych do których zaliczyć można:

- wykonanie modeli woskowych i połączenie ich w zespoły,
- wykonanie masy ceramicznej i nanoszenie kolejnych warstw, obsypanie ich osnową o różnej wielkości ziarna,
- usunięcie wosku z formy (wytopienie w autoklawie),
- suszenie form w temperaturze 50-120 °C,
- wyżarzanie form w temperaturze z zakresie od 400-1100 °C,
- zalewanie formy ciekłym metalem,
- wybijanie i oczyszczanie odlewów [3, 5].

Dawniej jako spoiwo do sporządzania form używano krzemianu etylu, obecnie stosuje się spoiwa wodne na bazie krzemionki koloidalnej, ma to przede wszystkim związek z przepisami unijnymi dotyczącymi ograniczenia stosowania spoiw alkoholowych szkodliwych dla pracownika jak i otoczenia i zastąpieniu ich spoiwami wodnymi przyjaznymi dla środowiska. Wprowadzenie spoiw wodnych naraża wiele problemów w całej technologii. Problemy te głównie dotyczą określenia składu

ciekłej mieszanki ceramicznej, zwilżalności modelu woskowego przez CMC, ale przede wszystkim wysychania i umacniania się kolejno naniesionych warstw.

Alkohol etylowy ma wyższą prężność pary niż woda, jest bardziej lotny, gdyż ma niższą temperaturę wrzenia (więc szybciej paruje) [2] w związku z czym proces wysychania jest krótszy. Stosowanie spoiw wodnych wydłuża czas wysychania formy.

Suszenie jest zabiegiem technologicznym polegającym na usunięciu wody przez odparowanie z uformowanych półfabrykatów, do poziomu, który jest właściwy dla dalszego ich stosowania w procesie technologicznym. Wilgoć zwartą w materiałach stanowi w nich woda związana, znajduje się ona zarówno na powierzchni ziarna jak i na ich wnętrzu. Proces suszenia jest dwuetapowy. Pierwszy – prowadzi do parowania wody z powierzchni, oraz drugi – polega na dyfuzji wilgoci z wnętrza wyrobu do warstwy powierzchniowej [1].

Forma ceramiczna wykonana jest wielowarstwowo, każda kolejno naniesiona powłoka wzmacnia konstrukcję formy nadając jej tym samym wyższą wytrzymałość, lecz o kształtowaniu właściwości formy decyduje warstwa pierwsza. Wytrzymałość powinna być na tyle wysoka, aby forma nie uległa uszkodzeniu w procesie zalewania, a jednocześnie na tyle elastyczna aby podczas krystalizacji nie powstały zbyt duże naprężenia powodujące pęknięcia formy.

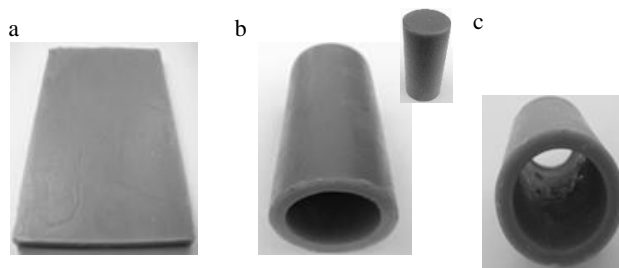
Bardzo słabo poznanym etapem technologii jest proces wysychania i umacniania się poszczególnych warstw formy ceramicznej. W trakcie nanoszenia kolejnej warstwy wcześniej naniesiona powłoka musi być wysuszona. W momencie niedosuszenia formy dochodzi do pęknięć, a w dalszym etapie do obniżenia wytrzymałości i uszkodzenia formy. Dlatego ważnym etapem procesu wykonania wielowarstwowej formy ceramicznej jest określenie czasu wysychania i umacniania się poszczególnych naniesionych warstw.

W opublikowanych artykułach zarówno krajowych jak i zagranicznych dostępne są dane dotyczące kinetyki utwardzania warstw formy ceramicznej z zastosowaniem nowej ultradźwiękowej metody pomiarowej [6-8].

W literaturze opisane są badania dotyczące procesu suszenia warstw w warunkach wymuszonego obiegu powietrza dla otworów i wnęk różniących się długością [4]. Opublikowany został również artykuł dotyczący wyznaczenia wybranych czynników na przebieg wysychania form ceramicznych wykonanych na bazie spoiwa koloidalnego z zastosowaniem metody gravimetrycznej [9].

2. Wykonanie próbek

Badania przebiegów suszenia kolejnych warstw formy ceramicznej przeprowadzono dla modeli woskowych płytki i tulejki. Badanie miało na celu porównanie przebiegów wysychania warstw „otwartych” i „zamkniętych”. Aby uzyskać modele woskowe w pierwszej kolejności wykonano matryce, które po zalaniu woskiem dały kształt modeli widocznych na rysunkach 1a, b i c.



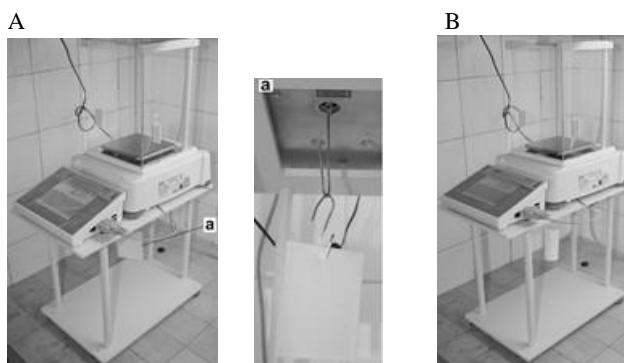
Rys. 1. Modele woskowe służące do nanoszenia warstw o kształcie: a) płytki b) tulejki z dnem c) tulejki z przelotowym otworem

Na przygotowane i odtuszczone modele woskowe nanoszono kolejne (trzy) warstwy masy ceramicznej i każdorazowo posypywano je osnową.

Skład ciekłej mieszanki ceramicznej decyduje o jakości wytwarzanych form ceramicznych, a w efekcie końcowym o jakości wytwarzanych odlewów. Dlatego też spoiwa oraz sporządzone z ich udziałem masy ceramiczne powinny charakteryzować się: brakiem reaktywności z tworzywem metalowym, odpowiednią ogniotrwałością, małą rozszerzalnością cieplną, stabilnością właściwości, łatwością oczyszczania, przepuszczalnością i wytrzymałością podczas zalewania formy ciekłym metalem.

3. Opis aparatury pomiarowej

Badania przebiegów wysychania kolejno nanoszonych warstw formy ceramicznej prowadzono metodą gravimetryczną, przy pomocy elektronicznej wagi RADWAG.



Rys. 2. Podwieszenie na wieszaku wagi: A (a) - modelu woskowej płytki, B - modelu woskowej tulejki

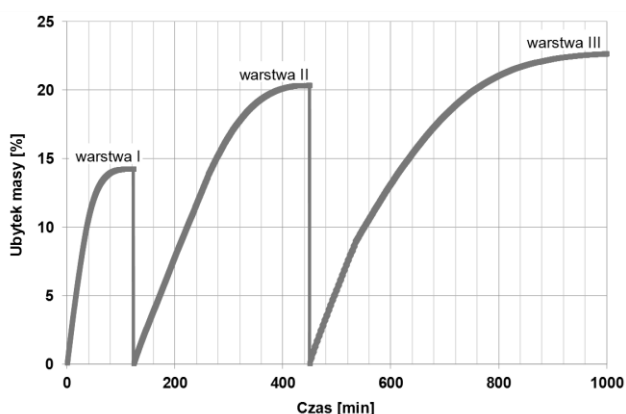
Z wcześniej przeprowadzonych pomiarów [9] wynika, że wielkości ziaren stosowanej osnowy służącej do obsypywania poszczególnych warstw formy nie wpływa w znaczącym stopniu na czas wysychania poszczególnych naniesionych warstw wykonanych na modelu woskowym.

Badania grawimetryczne miały na celu określenie czasu wysychania poszczególnych warstw, dla wybranych kształtów powierzchni.

Pomiar polegał głównie na podwieszeniu modelu woskowego (tulejki z dnem i bez dna) z naniesioną warstwą i obsypką na elektronicznej wadze, co dało możliwość monitorowania przebiegu wysychania w trybie online. Takie mocowanie próbek, widoczne na rysunku 2, pozwoliło na równomierne suszenie naniesionych warstw z każdej strony. Badania przebiegów wysychania prowadzono przy wilgotności powietrza utrzymywanej w zakresie $W = 45-50\%$ i temperaturze otoczenia $T_{ot} = 22-24\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4. Wysychanie płaskich, zewnętrznych warstw (model - płytką woskową)

W pracy przedstawione zostały wyniki badań dotyczące czasu wysychania warstw formy ceramicznej, wykonanej na bazie spoiwa koloidalnego (wodnego), gdzie jako modelu użyto płytki woskowej. Próbkę suszone były w temperaturze otoczenia.



Rys. 3. Charakterystyka wysychania trzech warstw masy ceramicznej ze spoiwem - Ludox AM, osnowa - Mullit I

Z przedstawionych na rysunku 3 charakterystyk można wyznaczyć czas wysychania poszczególnych warstw. Formy ceramiczne zbudowane są niejednorodnie. Nanoszenie poszczególnych warstw masy ceramicznej prowadzi do zwiększenia grubości i wydłużenia czasu wysychania (rys. 3).

5. Wysychanie zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni (model – tulejka woskowa)

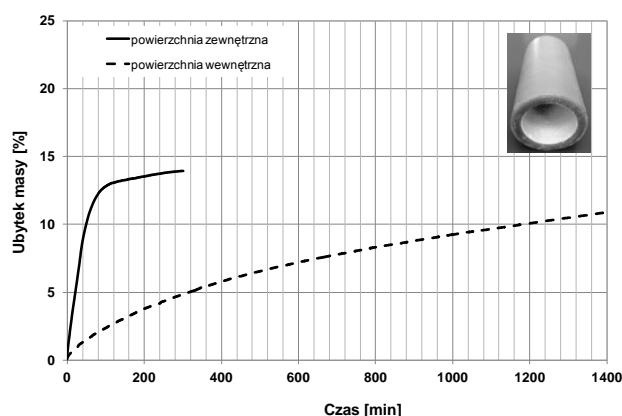
Celem badań było określenie i porównanie czasu wysychania warstw masy naniesionych na powierzchnię zewnętrzną i wewnętrzną modelu woskowego tulejki z dnem jak i tulejki z przelotowym otworem (tulejki bez dna).

Metoda wytapianych modeli znajduje zastosowanie głównie do wykonywania odlewów charakteryzujących się dużym stopniem

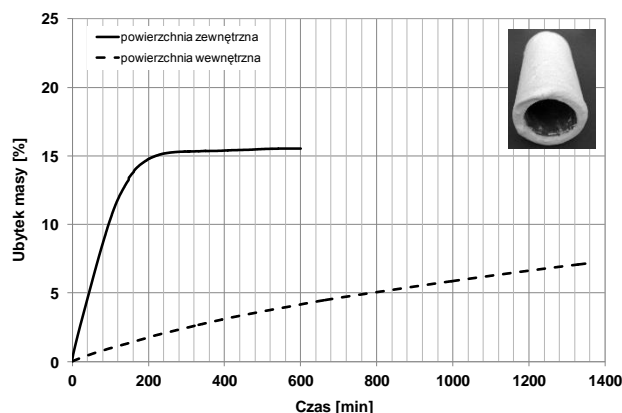
skomplikowania i często rozbudowaną geometrią powierzchni, co dodatkowo utrudnia proces wysychania. Dlatego też pod pojęciem „powierzchnie wewnętrzne” należy rozumieć powierzchnie zewnętrzne sięgające w głąb modelu, w miejscu trudnodostępnym dla wysuszenia naniesionej warstwy, a w dalszym etapie procesu – formy.

Jako osnowę do obsypania powierzchni wewnętrznych (zamkniętych) jak i zewnętrznych (otwartych) stosowano Mullit I.

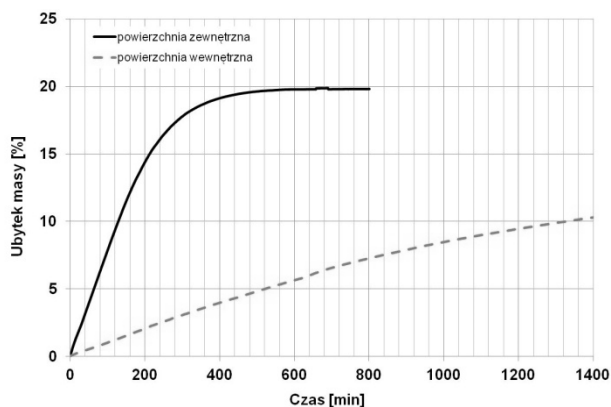
Wykresy od 4 do 6 przedstawiają przebiegi wysychania trzech warstw masy ceramicznej wraz z osnową, które naniesiono na powierzchnie zewnętrzne i wewnętrzne modelu woskowego tulei z dnem.



Rys. 4. Przebiegi wysychania pierwszej warstwy masy ceramicznej (z osnową Mullit I) powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych modelu w kształcie tulejki z dnem



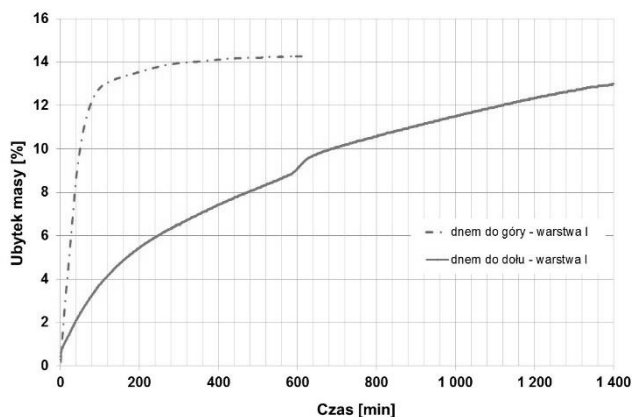
Rys. 5. Przebiegi wysychania drugiej warstwy masy ceramicznej (z osnową Mullit I) powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych modelu w kształcie tulejki z dnem



Rys. 6. Przebiegi wysychania trzeciej warstwy masy ceramicznej (z osnową **Mullit I**) powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych modelu w kształcie tulejki z dnem

Wyraźny koniec procesu wysychania warstw widoczny jest w przypadku powierzchni zewnętrznych, wówczas można dokładnie określić czas po jakim powłoka wyschnie. Natomiast w przypadku powierzchni wewnętrznych dla trzech warstw CMC naniesionych na model woskowy można zauważyć, że proces trwa kilkakrotnie dłużej. Pierwsza warstwa wysycha prawie pięciokrotnie dłużej, a druga czterokrotnie dłużej niż powłoki naniesione na powierzchnie zewnętrzne.

Powierzchnie zewnętrzne mają kontakt z otoczeniem, wysychają szybciej i równomiernie. W przypadku powierzchni wewnętrznych, z powodu braku bezpośredniego kontaktu z otoczeniem, ubytek wody z suszonej warstwy jest wolniejszy.

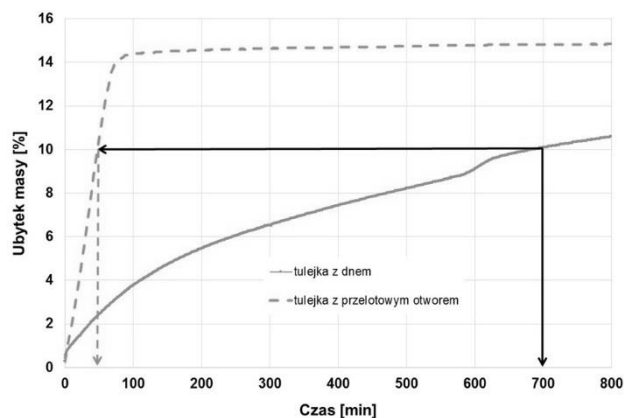


Rys. 7. Przebiegi wysychania pierwszej warstwy masy ceramicznej (z osnową **Mullit I**) powierzchni wewnętrznych tulejki z dnem do góry i do dołu

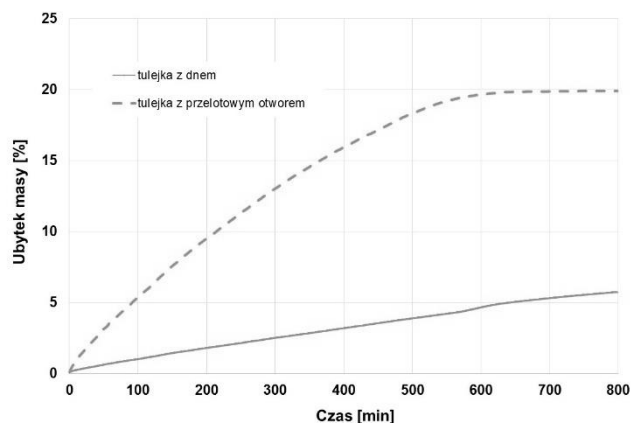
Powierzchnie, skierowane w dół charakteryzują się dłuższym czasem wysychania naniesionej warstwy masy ceramicznej, niż takie same powierzchnie skierowane ku górze, co zostało przedstawione na wykresie 7. We wnętrzu próbki skierowanej otworem ku dołowi wilgotność powietrza zwiększa się, w wyniku parowania wody z masy ceramicznej formy. Wzrost wilgotności powietrza nad powierzchnią parowania hamuje proces dalszego

parowania wody. Takie uwarunkowania powodują wydłużenie się procesu wysychania, który przebiega zdecydowanie wolniej, co z kolei wpływa niekorzystnie na wytwarzanie wielowarstwowej formy ceramicznej. Wysychanie warstw położonych w głębokich wnękach stanowi wąskie gardło procesu suszenia.

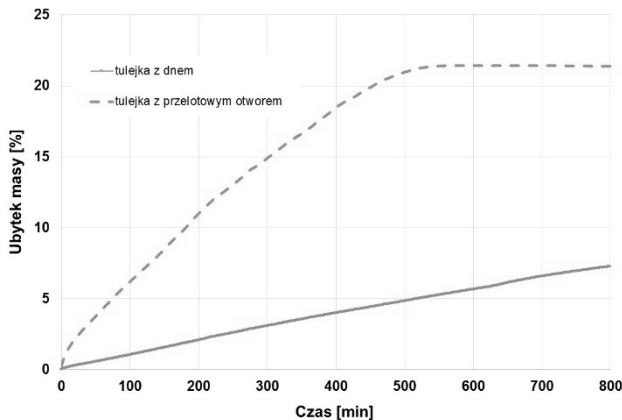
Z kolei wykresy 8 – 10 przedstawiają kinetykę wysychania warstw masy naniesionej na powierzchnie wewnętrzne tulejki z dnem i tulejki z przelotowym otworem (bez dna).



Rys. 8. Przebiegi wysychania pierwszej warstwy masy ceramicznej (z osnową **Mullit I**) powierzchni wewnętrznych modelu w kształcie tulejki z dnem i z przelotowym otworem



Rys. 9. Przebiegi wysychania drugiej warstwy masy ceramicznej (z osnową **Mullit I**) powierzchni wewnętrznych modelu w kształcie tulejki z dnem i z przelotowym otworem



Rys. 10. Przebiegi wysychania trzeciej warstwy masy ceramicznej (z osnową **Mullit I**) powierzchni wewnętrznych modelu woskowego w kształcie tulejki z dnem i z przelotowym otworem

Analizując rysunek 8 można stwierdzić, że w przypadku tulejki z przelotowym otworem około 10% ubytek masy próbki widoczny jest po czasie wysychania wynoszącym 50 minut. Natomiast w przypadku tulejki o powierzchni zamkniętej (tulejki z dnem) czas po jakim powłoka wyschnie jest zdecydowanie dłuższy, 10% ubytek masy próbki zauważalny jest po czasie 700 minut. Takie same zależności występują w przypadku naniesienia drugiej i trzeciej powłoki (rys. 8 i 9).

Z przeprowadzonych badań wynika, że powierzchnie wewnętrzne modelu woskowego z przelotowym otworem charakteryzują się większym, a zarazem szybszym ubytkiem masy próbki, a tym samym szybciej wysychają niż tulejki o powierzchni zamkniętej.

Wnioski

Przeprowadzone badania potwierdzają praktyczne obserwacje o znacznie dłuższym czasie wysychania warstwy naniesionej na powierzchnię wewnętrzną modelu woskowego, dlatego też z badań można wyciągnąć kilka ważnych wniosków dotyczących kinetyki wysychania form ceramicznych wykonywanych z ciekłych mas ceramicznych ze spoiwami nowej generacji jaką jest krzemionka koloidalna:

- czas w jakim wysychają warstwy różni się od siebie mimo, iż naniesione powłoki mają w przybliżeniu jednakową grubość, jest to spowodowane tym, że kolejno naniesiona powłoka wysycha dłużej niż poprzednia.
- duże zróżnicowanie w szybkości wysychania występuje pomiędzy powierzchniami wewnętrznymi i zewnętrznymi. wewnętrzne powierzchnie, szczególnie skierowane ku dołowi, wysychają zdecydowanie wolniej. Bez wymuszonego obiegu powietrza dosuszenie formy w takich przestrzeniach jest bardzo długotrwałe.

- powierzchnie zamknięte szczególnie te, które posiadają przelotowe otwory odznaczają się szybszym wysychaniem wykonanych warstw formy ceramicznej na modelu woskowym.
- należy oczekiwać, że w podobny sposób będzie przebiegał proces wysychania powłok ochronnych naniesionych na formy i rdzenie piaskowe.

Podziękowania

Badania wykonano w ramach pracy nr: 11.11.170.318 (zadanie 4)

Literatura

- [1] Dańko, J., Holtzer, M., Małolepszy, J., Pytel, Z., Dańko, R., Gawlicki, M., Łagosz, A. (2010). Zużyte masy formierskie i rdzeniowe. *Metody ograniczenia odpadów procesów odlewniczych oraz sposoby ich zagospodarowania*. Kraków: Wydawnictwo naukowe AKAPIT, s. 23-165.
- [2] Barrow, G.M. (1973). *Chemia fizyczna*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- [3] Karwiński, A., Wieliczko, P., Leśniewski, W. (2006). Zastosowanie środków powierzchniowo czynnych w procesach odlewania precyzyjnego. *Inżynieria Aparatura Chemiczna*, nt. 5, s. 58-60.
- [4] Karwiński, A. (1999). Ekosil – „wodne” spoiwo dla odlewnictwa precyzyjnego. *Biuletyn Instytutu Odlewnictwa*, 5, s. 3-15.
- [5] Lechowa, L., Stachańczyk, J., Łepniak, J. (1980). Odlewanie precyzyjne metodą wytapianych modeli. *Instytut Odlewnictwa*, nr 3, 680-683.
- [6] Zych, J.: Method of examining the hardening process of core and moulding sand mixes containing a hardenable binder. *Akademia Górniczo-Hutnicza: G01N 29/00 (2006.01) Polska-opis patentowy; PL 192202 B1*.
- [7] Zych, J. (2006). Moulding sands surface layer-kinetics of the changes its property. *Archiwum Odlewnictwa*. 6 (20), 77-84.
- [8] Zych, J. (2006). Zastosowanie nowej, ultradźwiękowej metody w badaniach on line wiązania i twardnienia tworzyw ceramicznych. *Inżynieria Materiałowa*. XXVII, vol. 151.
- [9] Zych, J., Kolczyk, J. (2013). Kinetics of hardening and drying of ceramic moulds with the new generation binder – colloidal silica. *Archives of Foundry Engineering* 13 (4), s. 112-116.

Influence of the External Surface of Wax Pattern on the Kinetics of Drying of Ceramic Molds

Abstract

The influence of selected factors on drying ceramic moulds applied in the investment casting technology was determined by the gravimetric method. It was found that each successive layer, of a similar thickness, is drying longer than the previous one. The drying time of layers forming closed spaces is several times longer as compared with drying open surfaces (external).