

Rola kształtu powierzchni formy w procesie wysychania wybranych powłok ochronnych

L. Jamrozowicz ^{a,*}, J. Zych^a, J. Koczyc ^a, D. Wróblewski ^b

^a AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków

^b Krakowskie Zakłady Odlewnicze ZREMB S.A.

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

Otrzymano 20.06.2014; zaakceptowano do druku 12.07.2014

Streszczenie

W artykule zaprezentowano wyniki badań szybkości schnięcia wybranych powłok ochronnych. Badaniom poddano powłokę wodną WC-R i alkoholową Zirkofluid 1219. Wyznaczono kinetykę wysychania powłok. Powłoki była nanoszona na rdzenie wykonane z masy o średniej wielkości ziarna osnowy $d_{L=}$ 0,24 mm. Ponadto wyznaczono szybkość wysychania powłok dla trzech ich lepkości umownych (11s; 20s; 30s). Lepkość powłok określono przy pomocy kubka „Forda”. Badania szybkości wysychania powłoki ochronnej prowadzono techniką grawimetryczną. Proces wysychanie mierzono w sposób ciągły. Badania prowadzono w kontrolowanych warunkach: stała temperatura otoczenia, wilgotność powietrza. Stwierdzono, iż czas schnięcia powłoki naniesionej na powierzchnie wypukłe (garby formy) jest dużo krótszy niż powłoki naniesionej na powierzchnie wklęsłe (wnęki). Różnice szybkości wysychania wynikają z odmienności warunków wymiany pary wydzielanej z powłoki do otoczenia.

Słowa kluczowe: forma piaskowa, powłoki ochronne, szybkość wysychania; technika grawimetryczna.

1. Wprowadzenie

Powłoki ochronne są szeroko stosowane w odlewnictwie i spełniają szereg zadań. Stosuje się je w celu: uzyskania gładkiej powierzchni formy, wzmocnienia jej wytrzymałości, ograniczenia reakcji między formą a metalem oraz dla uzyskania gładkiej powierzchni odlewu. Powłoki ochronne zabezpieczają także przed powstawaniem niektórych wad odlewniczych – przypaleń, wżarć, żyłek, strupów i innych. Ponadto niektóre powłoki mogą korzystnie wpływać na strukturę wierzchniej warstwy odlewu [1-6].

Powierzchnie wnęki formy (rdzenia) najczęściej nie są płaskie, zazwyczaj mamy do czynienia z powierzchnią kształtowaną. Na powierzchni wnęki formy występują fragmenty wypukłe, tworzące tzw. garby, lub ścianki w pełni odsłonięte płaskie lub wypukła. Cała ta grupa kształtów powierzchni w dalszej części artykułu została nazwana jako powierzchnie „zewnętrzne”. W formach

i rdzeniach są również fragmenty powierzchni tworzące wnęki, „kieszenie”, zagłębienia, szczeliny, otwory itp.. Z kolei ta grupa kształtów powierzchni została w pracy nazwana jako powierzchnie „wewnętrzne”.

Na przebieg procesu wysychania powłok ochronnych wpływa szereg czynników: temperatura otoczenia, wilgotność powietrza, ilość rozcieńczalnika, ruch powietrza, jego szybkość, itp. W przypadku rozwiniętej powierzchni wnęki formy czy rdzenia na przebieg schnięcia wpływać będzie również kształt samej powierzchni, na którą naniesiono powłokę. Inaczej wysychają powłoki naniesione na powierzchnie „zewnętrzne” inaczej na powierzchnie „wewnętrzne”. Z praktyki odlewniczej wynika, iż różnice w czasie wysychania powłok naniesionych na powierzchnie tzw. garby i wnęki są niekiedy bardzo duże. Czas schnięcia powłok ochronnych jest stosunkowo słabiej poznanym elementem procesu wykonywania i przygotowania form do zalewania. Zalanie ciekłym

metalem formy, na której powłoka ochronna nie została dostatecznie wysuszona, może powodować powstawaniem wad odlewniczych. Jedną z metod określania czasu i szybkości wysychania powłok ochronnych w warunkach laboratoryjnych jest technika grawimetryczna (wagowa) [7-10].

2. Badania własne

2.1. Cel i metodyka badań

Celem badań było wyznaczenie wpływu kształtu powierzchni wnętrza formy (rdzenia) pokrywanej powłoką ochronną na przebieg procesu wysychania powłoki. Do monitorowania przebiegów procesu wysychania powłoki wykorzystano technikę grawimetryczną. Pomiar prowadzono w sposób ciągły. Stanowisko do badań grawimetrycznych szerzej omówiono i przedstawiono we wcześniejszych pracach autorów [8-10]. Próbkę z powłoką ochronną jest umieszczana jako podwieszana do ciężna pomiarowego wagi elektronicznej współpracującej z komputerem, w którym w trybie on-line zapisywane są zmiany masy próbki.

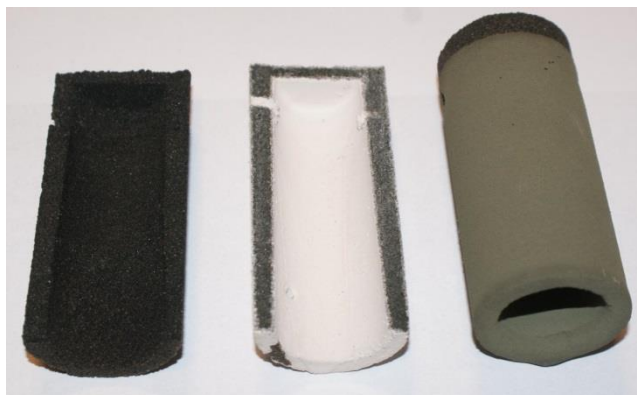
Badania prowadzono przy zachowaniu stałych warunków zewnętrznych: temperatury, wilgotności powietrza, ruchu powietrza, czyli możliwości wymiany pary wydzielanej z powłoki do otoczenia. Próbkę, na które nanoszono powłoki ochronne miały formę rdzenia o kształcie tulejki. We wszystkich opisanych pomiarach próbki były tej samej wielkości, ich kształt pokazano na rysunku 1.

2.2. Rodzaje przeprowadzonych badań

Badaniom poddano wodną powłokę ochronną WC-R firmy Prec-Odlew a także alkoholową powłokę ochronną Zirkofluid 1219 firmy Huttenes-Albertus. Powłokę nanoszono rdzenie wykonane z masy ze spoiwem furanowym. Masy wykonano na osnowie piasku kwarcowego "Szczakowa" o średniej wielkości ziarna $d_L=0,24$ mm.

Nanoszenie powłoki odbywało się przez zanurzenie rdzenia w powłoce o określonej lepkości. Lepkość powłoki wyznaczono przy pomocy kubka Forda (otwór 4 mm). Badaniami objęto powłoki o lepkości umownej: 11s; 20s; 30 s; odpowiadały one lepkości kinematycznej: $\nu=16 \cdot 10^{-6}$; $61 \cdot 10^{-6}$ i $122 \cdot 10^{-6}$ m²/s. Czas zanurzenia rdzenia (t_z) wynosił 1 s. Tak przygotowany rdzeń z powłoką poddawano badaniu wysychania.

W trakcie badań wyznaczono przebiegi procesu suszenia powłoki alkoholowej i wodnej nanoszonych na powierzchnie „zewnątrzne” lub/i „wewnętrzne”. Określono czas „pełnego” wysuszenia pierwszej i drugiej warstwy powłoki. Ponadto wyznaczono wpływ lepkości na grubość utworzonej powłoki (pierwszej i drugiej warstwy). Badania grubości powłoki przeprowadzono przy pomocy śruby mikrometrycznej (badania grubości powłoki po wysuszeniu) i grubościomierza do powłok (badania grubości – na wilgotno). Powłokę nanoszono na rdzenie i specjalnie przygotowane aluminiowe płytki [8].



Rys. 1. Rdzenie – próbki do badań wysychania powłok ochronnych

2.3. Przebieg procesu wysychania powłoki ochronnej

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykładowe wyniki zarejestrowanych przebiegów procesu suszenia powłoki ochronnej. Stopień wysuszenia powłoki wyznaczono posługując się wzorem:

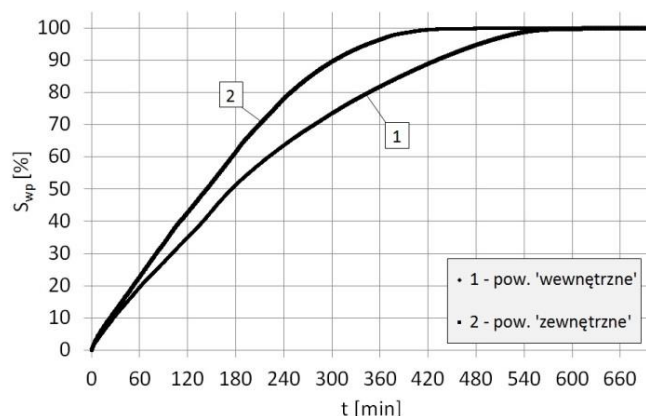
$$S_{wp} = \frac{m_{p(0)} - m_{p(x)}}{m_{p(0)} - m_{p(k)}} * 100\% \quad (1)$$

gdzie:

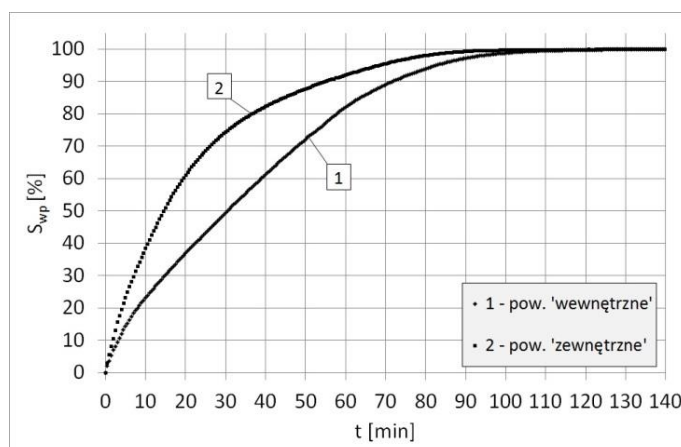
- S_{wp} – stopień wysuszenia powłoki, %,
- $m_{p(x)}$ – masa powłoki w danej chwili, g,
- $m_{p(0)}$ – masa powłoki w chwili początkowej ($t = 0$) – powłoka zawiera rozcieńczalnik, g,
- $m_{p(k)}$ – masa powłoki po wysuszeniu – powłoka nie zawiera rozcieńczalnika, g.

W badaniach powłoki wodnej, charakter przebiegów zmian masy w trakcie procesu suszenia przedstawionych na rysunku 2, jest podobny niezależnie od kształtów powierzchni rdzenia). Występuje natomiast różnica w szybkości wysychania powłok naniesionych na powierzchnie „zewnątrzne” i „wewnętrzne”. Czas pełnego wyschnięcia powłoki dla powierzchni „zewnątrznych” wynosi około 420 minut, natomiast dla „wewnętrznych” około 570 minut.

Na rysunku 3 zaprezentowano wyniki analogicznych badań dla powłoki alkoholowej. Również dla tego przypadku występuje różnica w czasie schnięcia pomiędzy powłoką naniesioną na powierzchnie „zewnątrzne” i „wewnętrzne”. Czas schnięcia powłoki alkoholowej jest ponad 4 razy krótszy w stosunku do czasu schnięcia powłoki wodnej i wynosił dla powierzchni „zewnątrznych” około 90 minut, a dla powierzchni „wewnętrznych” około 120 minut. Różnica czasu schnięcia pomiędzy powłokami naniesionymi na różne co do kształtu powierzchnie wynika z warunków wymiany par pochodzących ze schnącej powłoki a otoczeniem. W przypadku powierzchni „wewnętrznych” proces jest utrudniony. Z badań innych powłok wynika, iż im większa smukłość szczeliny (otworu) w kształcie wnętrza formy, tym czas schnięcia powłoki naniesionej na te powierzchnie będzie dłuższy [7].



Rys. 2. Przebieg procesu wysychania wodnej powłoki ochronnej. Lepkość kinematyczna powłoki $\nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (umowna 11 s), temperatura otoczenia $T_{ot.} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, wilgotność powietrza $W = 24\%$



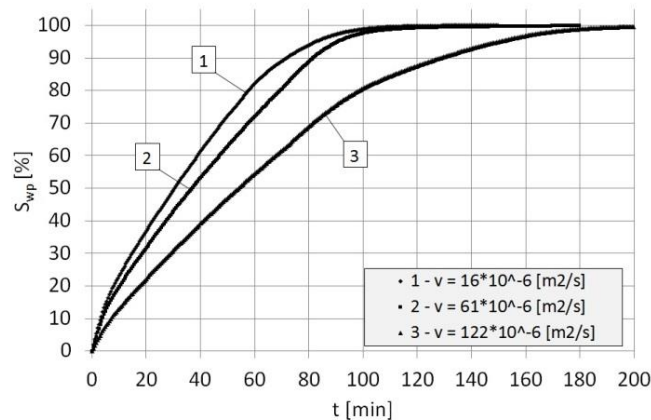
Rys. 3. Przebieg procesu wysychania alkoholowej powłoki ochronnej: $\nu = 16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $T_{ot.} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 24\%$

Na kolejnym 4 rysunku przedstawiono wyniki badań wpływu lepkości powłoki na czas jej schnięcia. Porównano trzy lepkości powłoki alkoholowej. Powłoki były naniesione na powierzchnie „wewnętrzne”. Wraz ze wzrostem lepkości kinematycznej z $16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (lepkość umowna 11 s) do $112 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (lepkość umowna 30 s) czas schnięcia powłoki wydłużył się z około 90 minut do około 200 minut. Wzrost czasu schnięcia powłok, charakteryzujących się większą lepkością związany jest z grubością warstwy powłoki, która tworzy się na powierzchni rdzenia. Im mniejsza lepkość tym grubsza warstwa. W dalszej części artykułu zaprezentowano wyniki oceny wpływu lepkości powłoki na jej grubość warstw tworzonych na rdzeniach.

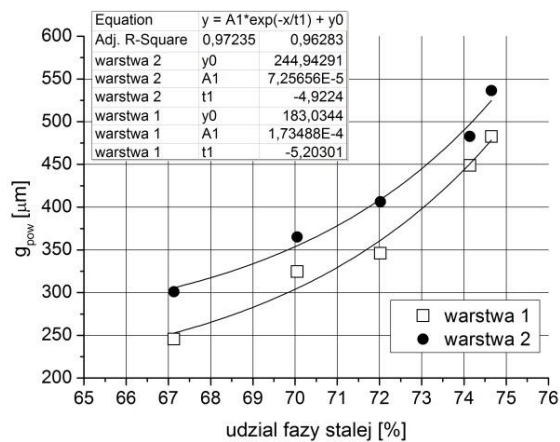
Rysunek 5 prezentuje wyniki badań nad wpływem udziału fazy stałej w powłoce alkoholowej na grubość warstwy ($g_{pow.}$) wilgotnej powłoki tworzącej się na rdzeniach i formach przy nanoszeniu przez zanurzenie. Analizując wykres zauważyć można, że charakter zmian nie jest liniowy a eksponencjalny (wykładniczy). Technologiczna zawartość fazy stałej w powłokach na formy mieści się najczęściej w przedziale 65–75%. Zwiększanie zawartości fazy stałej w powłoce z około 67 % do 75% powoduje, iż grubość pierwszej warstwy powłoki zwiększa się z 250 μm do 475 μm . Grubość drugiej warstwy dla tego samego zakresu zmian

udziału fazy stałej jest o około 60 μm większa niż grubość warstwy pierwszej. Zwiększanie zawartości fazy stałej powyżej 75% skutkuje tym, że powłoka staje się bardzo gęsta, a wręcz przechodzi ze stanu płynnego w postać pasty, co ogranicza jej przydatność technologiczną.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badań nad wpływem lepkości kinematycznej na grubość warstwy powłoki ($g_{pow.}$). Pomiar grubości prowadzono w stanie „na wilgotno” na odpowiednio przygotowanych rdzeniach. Zarówno dla pierwszej jak i drugiej warstwy powłoki ze wzrostem lepkości kinematycznej zwiększa się grubość tworzonej warstwy. Charakter zmian jest liniowy. W przypadku pierwszej warstwy powłoki wzrost lepkości kinematycznej z $16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ do $112 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ skutkuje wzrostem grubości powłoki z około 250 μm do około 475 μm . W przypadku drugiej warstwy grubości są większe w stosunku do pierwszej warstwy w całym zakresie mierzonej lepkości. Różnica w grubości pomiędzy pierwszą a drugą warstwą wynika prawdopodobnie ze zjawiska wnikania powłoki w przestrzenie międzyziarnowe w trakcie nakładania pierwszej warstwy. Przy tworzeniu drugiej warstwy to zjawisko wnikania w podłoże (pierwszą warstwę) jest bardzo ograniczone.



Rys. 4. Przebieg procesu suszenia alkoholowej powłoki ochronnej – wpływ lepkości. $T = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 24\text{ }\%$



Rys. 5. Wpływ udziału fazy stałej na grubość warstwy ($g_{pow.}$) powłoki alkoholowej. $T_{ot} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 24\text{ }\%$

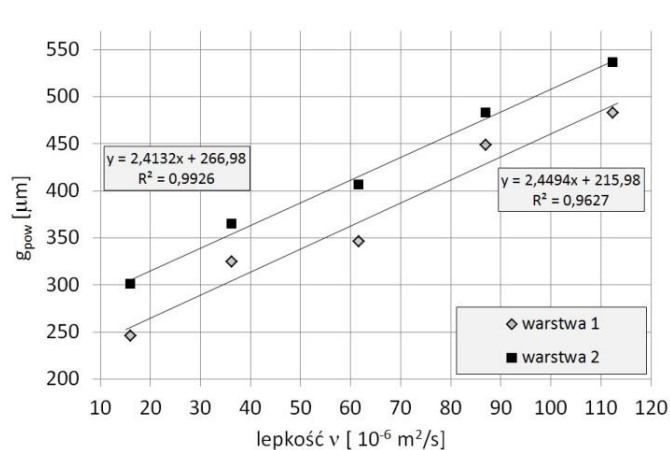
Na rysunku 7 porównano wpływ lepkości kinematycznej na grubość warstwy powłoki nanoszonej na rdzeń i aluminiową płytkę. Pomiary prowadzono na wilgotnej powłoce przy pomocy grubościomierza grzebieniowego. Również w tym wypadku obserwujemy liniowy wzrost grubości warstwy powłoki ze zwiększeniem lepkości. Grubość warstwy powłoki naniesionej na aluminiową płytkę jest większa, niezależnie od lepkości powłoki, o około $70\text{ }\mu\text{m}$ w stosunku do powłoki naniesionej na rdzeń. Różnica w grubości powłoki pomiędzy aluminiową płytką a rdzeniem z masy formierskiej prawdopodobnie wynika stąd, że w przypadku rdzenia jego powierzchnia jest silnie chropowata, co sprzyja wnikaniu powłoki w przestrzenie międzyziarnowe.

W trakcie procesu schnięcia dowolnej powłoki następuje odparowanie rozcieńczalnika, w związku z czym występuje zmiana jej objętości, i związanej z objętością grubości warstwy powłoki. Na rysunku 8 porównano grubość warstwy powłoki mierzonej wprost po jej naniesieniu (pomiar na wilgotno) i grubość warstwy powłoki po jej wysuszeniu w funkcji jej lepkości. Dla lepkości kinematycznej powłoki wynoszącej $16 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ (lepkość umowna 11s) grubość warstwy przed wysuszeniem wynosiła około $350\text{ }\mu\text{m}$

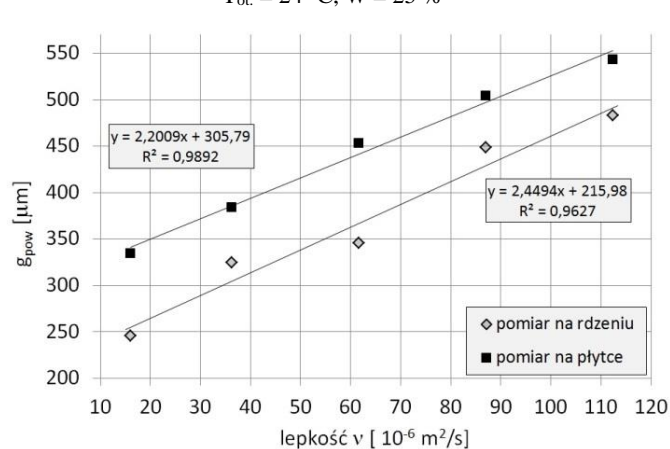
a po wysuszeniu zmniejszyła się do około $150\text{ }\mu\text{m}$. Przy lepkości $112 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2/\text{s}$ (lepkość umowna 30s) grubość tworzonej warstwy przed wysuszeniem wynosiła około $550\text{ }\mu\text{m}$ a po wysuszeniu zmniejszyła się do około $350\text{ }\mu\text{m}$. W trakcie wysychania warstwa badanej powłoki zmniejsza swoją grubość blisko 2,5 krotnie, praktycznie niezależnie od lepkości powłoki (i związanej z nią grubości warstwy). Rysunek 8 potwierdza proporcjonalność w ubytkach grubości powłoki w całym badanym zakresie lepkości.

3. Podsumowanie

Badania i analiza uzyskanych wyników nad przebiegiem procesu wysychania wodnej i alkoholowej powłoki ochronnej nanoszonej na rdzenie i formy piaskowe, a także badania wpływu lepkości na grubość powłoki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:



Rys. 6. Wpływ lepkości (ν) powłoki alkoholowej na grubość warstwy (g_{pow}) tworzonej metodą „przez zanurzenie”.
 $T_{\text{ot}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 25 \%$



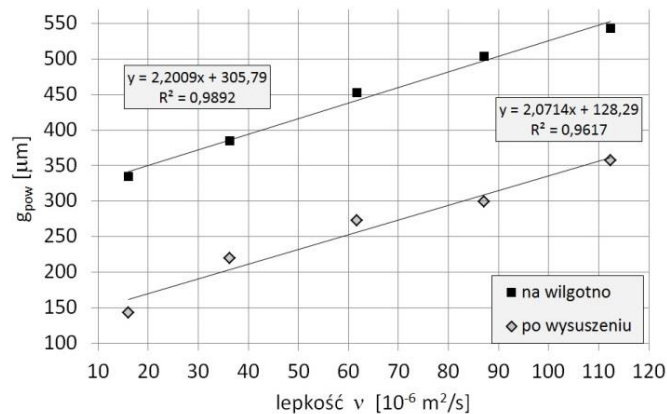
Rys. 7. Wpływ lepkości (ν) powłoki alkoholowej na grubość warstwy (g_{pow}) tworzonej metodą „przez zanurzenie”.
 $T_{\text{ot}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 25 \%$

- czas schnięcia powłoki naniesionej na tzw. powierzchni „zewnątrzne” jest wyraźnie krótszy niż powłoki naniesionej na powierzchni „wewnętrzne”. Jest to związane z warunkami wymiany par pomiędzy powłoką a otoczeniem,
- czas schnięcia powłok z alkoholowym rozcieńczalnikiem jest ponad czterokrotnie krótszy niż powłok wodnych,
- o czasie schnięcia warstwy powłoki tworzonej na formie techniką „przez zanurzenie”, przy stałych warunkach wysychania (temperatura otoczenia, wilgotność, brak ruchu powietrza), wpływa lepkość powłoki,
- zwiększenie lepkości kinematycznej z $16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ do $112 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ skutkuje tworzeniem grubości pierwszej warstwy powłoki z około $250 \mu\text{m}$ do około $475 \mu\text{m}$,
- grubość drugiej warstwy powłoki alkoholowej, niezależnie od lepkości jest większa o około $60 \mu\text{m}$ w stosunku do pierwszej warstwy,

- stosunek grubości powłok alkoholowych w stanie „na wilgotno” i „po wysuszeniu” wynosi blisko 2,5. Jest to wynik odparowania rozcieńczalnika, którego udział wagowy w powłoce mieści się w przedziale 25 – 35%,
- ze wzrostem zawartości fazy stałej w powłoce grubość warstwy, tworzonej z niej na powierzchni formy metodą przez zanurzenie, zwiększa się bardzo wyraźnie. Zależność pomiędzy lepkością i grubością warstwy powłoki ma charakter eksponencjalny.

Podziękowania

Badania prowadzono w ramach projektu współfinansowanego przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Społecznego. Umowa stażowa nr MARR / 2743 / 2013 / DZPP.



Rys. 8. Wpływ lepkości (ν) na grubość warstwy (g_{pow}) powłoki alkoholowej, przed i po wysuszeniu, tworzonej metodą „przez zanurzenie”. $T_{\text{ot}} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 25 \%$

Literatura

- [1] Seeger, K. (2012). *The use of water-based coatings for forming the manual*. Przegląd Odlewnictwa, no. 7–8, 322–326.
- [2] Holtzer, M., Bobrowski, A., Drożyński, D., Mocek, J. (2013). *Investigations of protective coatings for castings of high-manganese cast steels*. Archives of Foundry Engineering, 13 iss.1, 39–44.
- [3] Jakubski, J., Dobosz, S.M., Jelinek, P. (2005). *The influence of the protective coating type on thermal deformation of casting cores*. Archives of Foundry Engineering, 5 iss. 15, 164–169.
- [4] Kubicki, J., Kochmańska, A. (2001). *Multicomponent protection coatings on high-temperature creep resisting cast steel obtained from paste*. Archives of Foundry Engineering, 1 iss. 2.
- [5] Kochmańska, A., Kubicki, J. (2009). *Efficiency of protective coatings on high creep resistant cast steel*. Archives of Foundry Engineering, 9 iss. 2, 129–132.
- [6] Holtzer, M., Dańko, R., Żymankowska-Kumon, S. (2012). *Foundry industry – current state and future development*. Metalurgija, 51 iss. 3, 337–340.
- [7] Kolczyk, J., Zych, J. (2013). *Rheological properties of ceramic slurries with colloidal binders used in the investment casting technology*. Metalurgija, 52 iss.1, 55–58.
- [8] Jamrozowicz, Ł., Zych, J., Snopkiewicz, T. (2013). *The research of desiccation rates selected protective coating used on mould and sand core*. Archives of Foundry Engineering, 13 iss. 1, 45–50.
- [9] Zych, J., Snopkiewicz, T. (2011). *Drying and strengthening of protective coatings after deposition on casting moulds and sand cores – new investigation methods*. Przegląd Odlewnictwa, no. 9–10 s. 506–512.
- [10] Jamrozowicz, Ł., Zych, J. (2012). *Kinetyka suszenia powłok ochronnych naniesionych na formy i rdzenie piaskowe*. Materiały XXXVI Scientific Conference Foundryman Day 2012, Kraków 22–23 Nov. 2012.

The Role of the Surface Shape of the Mould in the Process of Drying of Selected Protective Coatings

Investigation results of the drying rate of the selected protective water coatings are presented in the paper. The water-based coating WC-R and alcohol-based coating Zirkofluid 1219 were subjected to examinations. They were drying kinetics of these coatings. The coating was applied to the cores of the mass matrix with a grain size of $d_L = 0.24 \text{ mm}$. In addition, the kinetics of the coating drying process was determined for three apparent viscosities: 11 s; 20 s; 30 s. The coating viscosity was estimated by means of the Ford 4 mm cup. Drying rates of the protective coating were examined by using the gravimetric technique. Measurements were carried out in a continuous way under controlled conditions: constant ambient temperature and air humidity. It was found that the drying time of a coating applied to the convex surfaces (humps mould) is much shorter than the coating applied to the surfaces of the concave (cavities). Differences in the rate of drying due to differences in the exchange of a vapour of the coating secreted into the surroundings.