

Wybrane metody badań powłok ochronnych stosowanych na formy i rdzenie odlewnicze

Selected methods of testing protective coatings applied on casting moulds and cores

Emilia Wildhirt^{1*}, Jarosław Jakubski¹, Małgorzata Sapińska¹, Sylwia Sitko¹, Jadwiga Kamińska²

¹Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Odlewnictwa, ul. Reymonta 23, 30-059 Kraków, Polska

²Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Polska

¹AGH – University of Science and Technology, Faculty of Foundry, ul. Reymonta 23, 30-059 Krakow, Poland

²Foundry Research Institute, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

*Corresponding author: emiliaw@agh.edu.pl

Received: 17.01.2018. Accepted in revised form: 30.09.2018.

© 2018 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/ioid.2018.10

Streszczenie

Abstract

W niniejszym artykule przedstawione zostały wybrane metody badań związane z powłokami ochronnymi stosowanymi na masy formierskie i rdzeniowe w odlewnictwie. Metodologię badawczą podzielono na badania właściwości technologicznych mas formierskich i rdzeniowych pokrytych powłokami (tj. parametr hot distortion po naniesieniu powłok na formy wykonane z sykich mas samoutwardzalnych ze spoiwami organicznymi) i fizykochemicznych (lepkość) gotowych powłok.

Do badań wykorzystano powłoki z rozpuszczalnikami wodnymi oraz alkoholowymi. Formy przygotowano z sykich mas samoutwardzalnych z żywicą furfurylową oraz fenolowo-formaldehydową, które zostały pokryte wodną powłoką oraz powłoką alkoholową.

Badania przeprowadzono w Katedrze Tworzyw Formierskich, Technologii Formy i Odlewnictwa Metali Nieżelaznych na Wydziale Odlewnictwa AGH w Krakowie oraz w Instytucie Odlewnictwa w Krakowie.

Słowa kluczowe: powłoki ochronne, lepkość, parametr hot distortion

This article presents selected research methods related to protective coatings used for sand moulds and cores in the foundry industry. The research methodology has been divided into studies of the technological properties of sand moulds and cores with applied coatings (the measurement of hot distortion parameter after deposition of coatings onto moulds made of loose self-hardening sands with organic binders) and physico-chemical properties (viscosity) of finished coatings.

Coatings with aqueous and alcohol solvents were tested. Moulds were prepared from loose self-hardening sand mixtures with furfuryl and phenol-formaldehyde resins and were coated with water-based coatings and alcohol-based coatings.

Studies were carried out in the Department of Moulding Materials, Mould Technology and Cast Non-Ferrous Metals at the AGH Faculty of Foundry Engineering in Krakow and at the Foundry Research Institute in Krakow.

Keywords: protective coatings, viscosity, hot distortion parameter

1. Wprowadzenie

Powłoki ochronne stosowane w odlewnictwie składają się z osnowy, którą są materiały ogniotrwałe (np.: cyrkon, magnezyt spieczony, talk, szamot), wysoko-

1. Introduction

Protective coatings used in the foundry industry are composed of a base refractory material (e.g. zirconium, sintered magnesite, talc, chamotte), high-temperature

temperaturowego materiału wiążącego (tj. bentonity, szkło wodne, żywice organiczne), rozpuszczalnika oraz różnego rodzaju dodatków (m.in. glina ogniotrwała, pochodne celulozy). Ważnym elementem powłok jest rozpuszczalnik, stosuje się wodę albo alkohol, głównie izopropylowy [1,2,3]. Zmiana przepisów o ochronie środowiska nakazuje ograniczenie zastosowania powłok z rozpuszczalnikami alkoholowymi ze względu na ich szkodliwość dla otoczenia [4,5].

Płyny rzeczywiste w odróżnieniu od płynów doskonałych posiadają lepkość, nazywaną również tarcie wewnętrzne, która występuje tylko w czasie ruchu względnego sąsiednich warstw płynu. Lepkość można zdefiniować jako „zdolność płynów do przenoszenia naprężeń stycznych przy wzajemnym przemieszczaniu elementów poruszających się z różnymi prędkościami. Powstają przy tym siły styczne, które można traktować jako siły tarcia podczas wzajemnego przesuwania warstw płynu po sobie” [6]. Badanie lepkości wykonuje się między innymi na reometrach rotacyjnych. Podczas pomiarów próbka płynu zostaje poddana ścinaniu w wyniku obrotów elementu pomiarowego. Najczęściej stosowane przyrządy rotacyjne charakteryzuje występowanie ścinania w szczelinie pomiędzy dwoma cylindrami [7,9,10].

Ważnym kryterium oceny powłoki jest badanie jej wpływu na deformację cieplną w podwyższonej temperaturze. Do badań wykorzystano metodę pomiaru parametru *hot distortion* określanego na aparacie DMA [8]. Parametr ten symuluje zachowanie rdzeni podczas zalewania formy metalem. Podczas badania na wykresie rejestrowane są zmiany odkształcenia kształtki. Pomiar na aparacie pozwala określić zmiany w zachowaniu pod wpływem nagrzewania kształtek bez powłoki i z powłoką [8].

2. Metodyka badawcza

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badania wpływu zwiększenia ilości rozcieńczalnika wodnego na lepkość powłoki oraz deformację cieplną określoną za pomocą parametru *hot distortion*.

Badaniom poddano masę ze spoiwem organicznym o następującym składzie:

- 100 cz. mas. piasku kwarcowego,
- 1 cz. mas. żywicy furfurylowej,
- 0,5 cz. mas. utwardzacza – wodnego roztworu kwasu paratoluenosulfonowego.

Do badań jako powłoki wyjściowe zastosowano dwie wodne powłoki cyrkonowe oraz dwie alkoholowe powłoki ochronne, cyrkonowo-grafitową oraz cyrkonową. Powłoki wodne modyfikowano przez dodawanie dodatkowego rozcieńczalnika w ilości od 2 do 10% wody

binding material (bentonite, water glass, organic resins), solvent and various types of additives (refractory clay, cellulose derivatives). An important element of the coating is solvent based on water or alcohol, mainly isopropyl alcohol [1,2,3]. The amendment to environmental protection regulations imposes some restrictions on the use of coatings with alcohol solvents, taking into account their harmfulness to the environment [4,5].

In contrast to ideal fluids, real fluids are characterized by viscosity, also called internal friction, which occurs only during the relative motion of adjacent layers of fluid. Viscosity can be defined as “the ability of fluids to transfer tangential stresses during movement of elements relative to each other when these elements are moving at different speeds. This creates tangential forces that can be treated as friction forces when moving the layers of liquid on each other” [6]. One of the methods of viscosity testing involves the use of rotational rheometers. During measurements, the fluid sample is sheared as a result of rotation of the measuring element. In the most commonly used rotary instruments, the effect of shear takes place in the gap between the two cylinders [7,9,10].

An important criterion in the assessment of coating performance is its effect on the hot distortion at elevated temperature. In the studies described in this article, the method of the measurement of hot distortion parameter was based on the use of a DMA apparatus [8]. The hot distortion parameter simulates the behaviour of foundry core when the mould is poured with metal. During the test, changes in sample deformation are plotted on a chart. The measurement taken with this apparatus allows determining changes in the sand behaviour when heating the samples with and without a coating [8].

2. Research methodology

The article presents the results of studies of the effect of the increasing amount of aqueous diluent on the viscosity of coating and hot distortion determined by the hot distortion parameter.

Tests were carried out on the sand mixture with an organic binder. The sand mixture composition was as follows:

- 100 parts by weight of silica sand,
- 1 part by weight of furfuryl resin,
- 0.5 part by weight of hardener – an aqueous solution of paratoluene sulphonic acid.

Two protective water-based zirconium coatings and two protective alcohol-based zirconium coatings, including one with the addition of graphite, were used as

(w stosunku do masy wyjściowej powłoki) oraz modyfikowano zarówno powłoki wodne, jak i alkoholowe dodatkiem 2% i 5% rokafenolu. Powłoki były наносzone za pomocą pędzla. Kształtki z powłoką alkoholową po wypaleniu oraz próbki z powłoką wodną po wyschnięciu na powietrzu umieszczono w eksykatorze. Badania wykonywano po 24 godzinach od naniesienia powłok. **Tabela 1** przedstawia charakterystykę poszczególnych powłok.

a starting test material. The water-based coatings were modified by adding water diluent in an amount of 2 to 10% (relative to the weight of the starting coating). Both water- and alcohol-based coatings were additionally modified with 2% and 5% of the Rokafenol agent. The coatings were applied with a brush. Then samples with alcohol-based coatings were fired and samples with water-based coatings were dried in the air, placing next samples with both types of coatings in a desiccator. Tests were carried out after the lapse of 24 hours since the application of coating. **Table 1** shows the characteristics of individual coatings.

Tabela 1. Właściwości zastosowanych powłok

Table 1. Properties of the applied coatings

Parametr/Parameter	Powłoka wodna 1 / Water-based coating 1	Powłoka wodna 2 / Water-based coating 2	Powłoka alkoholowa 1 / Alcohol-based coating 1	Powłoka alkoholowa 2 / Alcohol-based coating 2
Rodzaj powłoki / Type of coating	na bazie mączki cyrkonowej / based on zirconium flour	na bazie mączki cyrkonowej z dodatkiem materiałów ceramicznych / based on zirconium flour with addition of ceramics	na bazie ognioodpornego krzemianu cyrkonu z dodatkiem grafitu / based on refractory zirconium silicate with addition of graphite	na bazie ognioodpornego krzemianu cyrkonu / based on refractory zirconium silicate
Gęstość w 20°C / Density at 20°C	1,30–1,40 g/cm ³	2,20–2,35 g/cm ³	1,60–1,90 g/cm ³	1,90–2,10 g/cm ³
Zawartość suchej masy / Content of dry matter	brak danych / data not available	65–75%	50–80%	70–75%
Temperatura palności / Flash point	–	–	min. 12°C	min. 12°C

Kształtki do badania *hot distortion* suszono przez pozostawienie na powietrzu do całkowitego wyschnięcia.

Samples for hot distortion measurements were left to air-dry completely.

3. Lepkość dynamiczna powłok ochronnych

Badania wykonane zostało na reometrze Rheotest 2. Dzięki otrzymanym wynikom porównano na wykresach lepkości powłok ochronnych w zależności od ilości oraz rodzaju wprowadzonego rozcieńczalnika.

Na **rysunku 1** można zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości dodanej wody lepkość powłoki 1 maleje (lepkość próbki wyjściowej 1,25 μPa, dla kolejnych próbek odpowiednio z dodatkiem H₂O: 2% – 1,05 μPa, 5% – 0,85 μPa, 10% – 0,65 μPa). Natomiast po dodaniu rokafenolu do powłoki wyjściowej nastąpił gwałtowny wzrost lepkości (dodatek 2% – 2,7 μPa, dodatek 5% – 6,8 μPa).

Rysunek 2 przedstawia lepkość powłoki wodnej 2. W tym przypadku, podobnie jak dla powłoki wodnej 1, dodatek wody powoduje zmniejszenie lepkości powłoki. Im ilość dodanej wody jest większa, tym lepkość ma-

3. Absolute viscosity of protective coatings

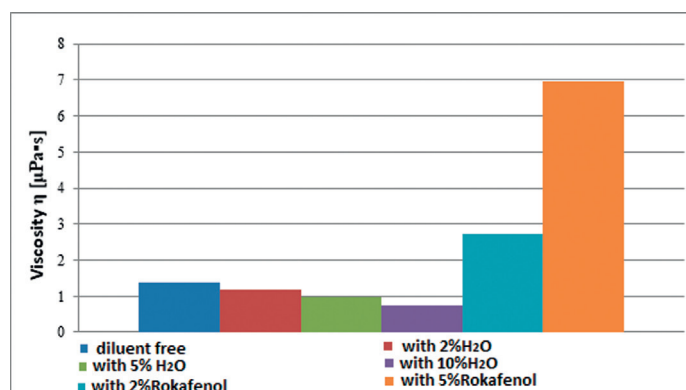
Tests were carried out with a Rheotest 2 rheometer. Thanks to the obtained results, the viscosity of protective coatings was compared in the diagrams and referred to the amount and type of the diluent used.

Figure 1 shows that as the addition of water increases, the viscosity of water-based coating 1 decreases (the viscosity of the starting sample is 1.25 μPa and with the increasing addition of H₂O it assumes the following values: 2% – 1.05 μPa, 5% – 0.85 μPa, 10% – 0.65 μPa). On the other hand, the addition of Rokafenol to the starting coating rapidly increases the level of viscosity (2% addition – 2.7 μPa, 5% addition – 6.8 μPa).

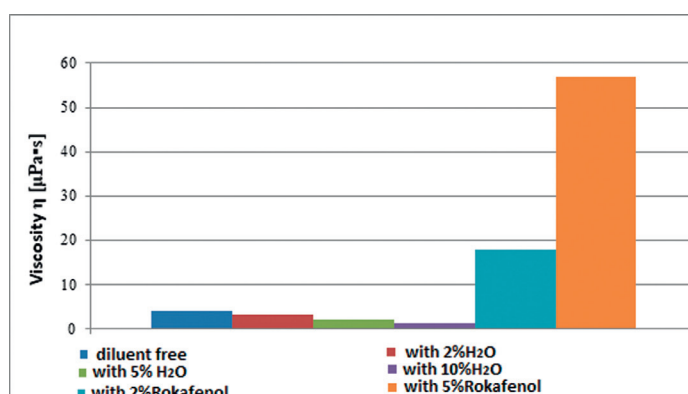
Figure 2 shows the viscosity of water-based coating 2. As with the water-based coating 1, also here the addition of water reduces the viscosity of coating. The more water

leje. Dla próbki bez dodatku wartość lepkości wynosi 4 μPa , natomiast dla kolejnych próbek odpowiednio z dodatkiem H_2O : 2% – 3 μPa , 5% – 2 μPa , 10% – 1 μPa . W przypadku dodatku rokafenolu widoczny jest duży wzrost lepkości w stosunku do powłoki nierozcieńczonej (dodatek 2% – 16,5 μPa , dodatek 5% – 56 μPa), przy czym dodatek 5% rokafenolu zwiększył lepkość aż prawie czterokrotnie.

is added, the lower is the viscosity. The viscosity of the sample without the addition of water is 4 μPa , whereas in other samples with the addition of H_2O it assumes the following values: 2% – 3 μPa , 5% – 2 μPa , 10% – 1 μPa . In the case of Rokafenol used as an additive, a large increase in viscosity with respect to the undiluted coating is visible (the addition of 2% Rokafenol – 16.5 μPa , the addition of 5% Rokafenol – 56 μPa), which means that the addition of 5% Rokafenol increases the viscosity nearly four times.



Rys. 1. Lepkość powłoki wodnej 1 w zależności od dodatku rozcieńczalnika
Fig. 1. The viscosity of water-based coating 1 as a function of the diluent addition



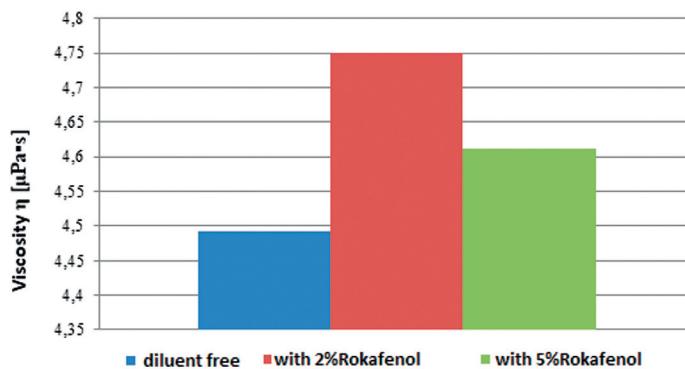
Rys. 2. Lepkość powłoki wodnej 2 w zależności od dodatku rozcieńczalnika
Fig. 2. The viscosity of water-based coating 2 as a function of the diluent addition

W przypadku powłoki alkoholowej 1 (rys. 3), po zastosowaniu rozcieńczalnika – rokafenolu, można zauważyć wzrost lepkości. Dodatek 2% rokafenolu spowodował ponad dwukrotny wzrost lepkości, przy zastosowaniu 5% – wpłynął na zmniejszenie lepkości w stosunku do dodatku 2%, jednak lepkość nadal była wyższa niż w przypadku powłoki wyjściowej.

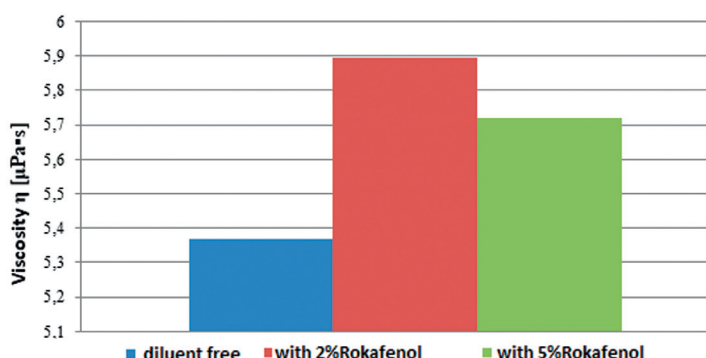
Na rysunku 4 przedstawiono lepkość powłoki alkoholowej 2 w zależności od dodatku rozcieńczalnika, następuje wzrost lepkości po dodaniu rokafenolu. Przy dodaniu 2% składnika lepkość wzrosła dwukrotnie w porównaniu z powłoką wyjściową, a po dodatku 5% rokafenolu lepkość cieczy zmalała.

The use of Rokafenol as a diluent increases the viscosity of alcohol-based coating 1 (Fig. 3). The addition of 2% Rokafenol increases the viscosity nearly two times, while the addition of 5% Rokafenol reduces the viscosity compared to the 2% addition, but even then the viscosity is higher than in the starting coating.

Figure 4 shows the viscosity of alcohol-based coating 2 as a function of the diluent addition. The addition of Rokafenol in an amount of 2% doubles the viscosity of coating compared to the starting material, but the addition of 5% Rokafenol reduces the viscosity of the liquid.



Rys. 3. Lepkość powłoki alkoholowej 1 w zależności od dodatku rozcieńczalnika
 Fig. 3. The viscosity of alcohol-based coating 1 as a function of the diluent addition



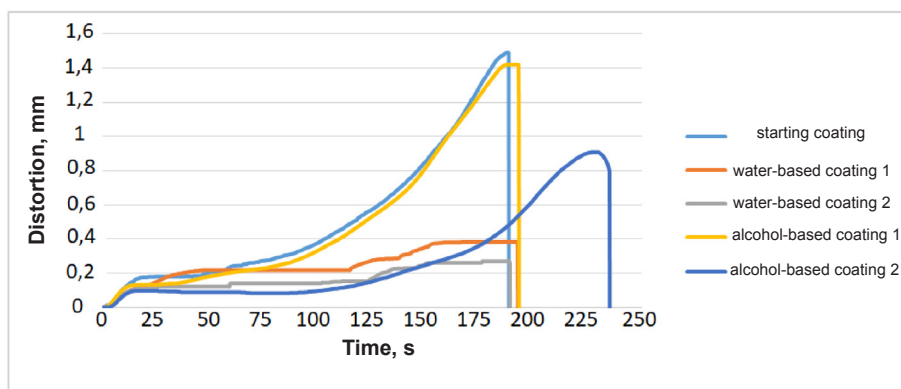
Rys. 4. Lepkość powłoki alkoholowej 2 w zależności od dodatku rozcieńczalnika
 Fig. 4. The viscosity of alcohol-based coating 2 as a function of the diluent addition

Otrzymane wykresy dla powłok alkoholowych wykazują, że rozcieńczenie powłok 2% rokafenolu ponad dwukrotnie zwiększa ich lepkość, jednak wraz ze wzrostem ilości składnika lepkość maleje.

The graphs obtained for alcohol-based coatings show that the dilution of coatings with 2% Rokafenol more than doubles the viscosity, but makes it drop when the Rokafenol content is 5%.

4. Deformacja cieplna

4. Hot distortion



Rys. 5. Wykres deformacji cieplnej w funkcji czasu dla próbek pokrytych powłokami ochronnymi
 Fig. 5. Thermal deformation as a function of time for samples coated with protective coatings

Na rysunku 5 przedstawiono otrzymane wyniki z pomiaru parametru *hot distortion* dla badanych próbek. Z otrzymanych wyników można wywnioskować, że zarówno próbki bez pokrycia ochronnego, jak również pokryte powłokami, odkształciły się. Na wykresie można zauważyć, że największej deformacji w najkrótszym czasie ulega kształtka, na którą nie naniesiono powłoki oraz naniesiono powłokę wodną 2. Biorąc pod uwagę wszystkie wykresy, najmniejszej deformacji uległa próbka z powłoką wodną 2, jednak analizując czas odkształcenia, widać, że deformacja tej powłoki nastąpiła szybciej niż powłoki alkoholowej 2.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań, można wywnioskować, że wraz ze wzrostem ilości wody wprowadzonej do powłok wodnych lepkość powłok maleje. Dodatek rokafenolu powoduje gwałtowny jej wzrost dla powłok wodnych oraz alkoholowych, natomiast 5%, powoduje zmniejszenie wartości lepkości dynamicznej.

Analiza wykresów deformacji cieplnej kształtek bez pokrycia oraz po naniesieniu powłok ochronnych ukazuje, że największej deformacji uległa kształtka bez pokrycia ochronnego (odkształcenie 1,5 mm) oraz z powłokami alkoholowymi (odkształcenie: powłoka 1 – 1,4 mm, powłoka 2 – 0,9 mm), zaś najmniejszej – kształtki pokryte powłokami wodnymi (odkształcenie: powłoka 1 – 0,4 mm, powłoka 2 – 0,3 mm). Powłoka alkoholowa 2 uległa wolniej (po 230 s) oraz mniejszej deformacji cieplnej niż powłoka alkoholowa 1.

W celu poznania wpływu procesów termicznych na granicy masa formierska–powłoka konieczna jest kontynuacja prowadzonych badań.

Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach grantu dziekańskiego nr 15.11.170.601.

Literatura/References

1. Stefański Z., A. Pytel. 2012. *Pokrycia na formy i rdzenie, analiza obecnie stosowanych oraz badanie i wytypowanie optymalnych mających zastosowanie przy wykonywaniu odlewów ze stopów miedzi w kokilach żeliwnych*. Kraków: Instytut Odlewnictwa. Pobrane z: www.tworzywa.iod.krakow.pl/ref12.ppt [dostęp: 1.11.2014].
2. Lewandowski J. 1997. *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo Akapit.
3. Holtzer M., C. Podrzucki, R. Dańko. 2007. *Zintegrowane zapobieganie i ograniczenie zanieczyszczeń, Dokument referencyjny, Najlepsze dostępne techniki w kuźnictwie i przemyśle odlewniczym*. Warszawa: Ministerstwo Środowiska. Pobrane z: [ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/Streszczenie\(1\).doc](http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/Streszczenie(1).doc) [dostęp: 30.10.2014].
4. Jamrozowicz Ł., J. Zych. 2015. „The drying kinetics of protective coatings used on sand molds”. *Metalurgija* 54 (1) : 23–26.

Figure 5 presents the results of the measurements of hot distortion parameter for the tested samples. From the obtained results it follows that samples of both types, i.e. with and without the protective coating, have undergone the process of deformation. As the graphs show, the largest deformation in the shortest time was observed in the sample without coating and with alcohol-based coating 1. The smallest deformation has undergone the sample with water-based coating 2, but in terms of time, the deformation of this coating occurred faster than in the case of alcohol-based coating 2.

5. Conclusions

The results of conducted tests allow the conclusion that the viscosity of coating decreases with the increasing amount of water added to water-based coatings. The addition of 2% Rokafenol causes rapid growth of viscosity in both water- and alcohol-based coatings, while 5% addition of this agent reduces the value of absolute viscosity.

The analysis of the hot distortion graphs of samples without coating and with the applied protective coating shows that the largest deformation occurred in the sample without protective coating (the deformation of 1.5 mm) and in the sample with alcohol-based coating (deformation: coating 1 – 1.4 mm, coating 2 – 0.9 mm), while the smallest deformation was observed in the samples with water-based coating (deformation: coating 1 – 0.4 mm, coating 2 – 0.3 mm). The deformation of alcohol-based coating 2 took longer time (230 seconds) and was less severe than the deformation of alcohol-based coating 1.

Further studies are needed to learn more about the thermal processes taking place at the moulding sand-coating interface.

Acknowledgements

The research was carried out under the Dean's Grant No. 15.11.170.601.

5. Seeger K. 2012. „Zastosowanie pokryć wodnych przy formowaniu ręcznym”. *Przegląd Odlewnictwa* 62 (7–8) : 322–326.
6. Jeżowiecka-Kabsch K., H. Szewczyk. 2001. *Mechanika płynów*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.
7. Krztoń-Maziopa A. Właściwości reologiczne materiałów – materiały do zajęć. Pobrane z: http://kchitp.ch.pw.edu.pl/upl/mbm_12.pdf [dostęp: 22.05.2017].
8. Jakubski J., S. Dobosz. 2006. „Wpływ powłoki ochronnej na zjawiska cieplne w rdzeniach odlewniczych”. *Archiwum Odlewnictwa* 6 (18) : 453–458.
9. Van Wazer J.R. 1963. *Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology*. New York, London: Interscience Publishers, 1963.
10. Viswanath Dabir S. 2007. *Viscosity of liquids: theory, estimation, experiment, and data*. Dordrecht: Springer.

