

Wpływ głębokości penetracji powłoki ochronnej na deformację cieplną mas
określoną parametrem *hot distortion*

Impact of penetration depth of protective coating on thermal deformation of masses
determined by the hot distortion parameter

Emilia Wildhirt¹, Jarosław Jakubski¹, Małgorzata Sapińska¹, Sylwia Sitko¹

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

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

E-mail: emiliaw@agh.edu.pl

Received: 17.10.2016. Accepted in revised form: 31.03.2017.

© 2017 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2017.06

Streszczenie

Abstract

Powłoki ochronne stosuje się w celu uzyskania odlewów o gładkiej powierzchni, bez wad. Powłoki ochronne mogą zawierać rozpuszczalnik na bazie wody lub alkoholu, jednak ze względu na szkodliwość zaleca się ograniczenie stosowania powłok alkoholowych. Sposób nanoszenia powłok na powierzchnię rdzenia lub formy zależy od wymagań i potrzeb wykonawcy. W niniejszym artykule zamieszczono wyniki badań, przedstawiające wpływ grubości powłoki ochronnej z różną zawartością rozcieńczalnika na wybrane właściwości mas. Badaniom poddano masy II generacji wiązane spoiwami organicznymi i nieorganicznymi. Określony został wpływ grubości powłoki na wytrzymałość na zginanie w funkcji wielkości odkształcenia. Kształtki poddano również badaniom parametru hot distortion. Dodatkowo wykonano zdjęcia mikroskopowe przedstawiające głębokość penetracji powłoki w głąb masy. Badania parametru hot distortion wykazały, że w zależności od rodzaju spoiwa zastosowanego w masie dodatek rozcieńczalnika do powłoki przynosi odmienne efekty.

Protective coatings are applied in order to obtain casts with an even surface, without faults. Protective coatings can contain a solvent based on water or alcohol; however, due to their harmfulness, it is recommended to limit the use of alcohol coatings. The manner of applying the coatings onto the surface of a core or a mould depends on the requirements and needs of the executor. This article presents test results demonstrating the effect of the thickness of a protective coating, with different solvent contents, on selected properties of masses. The studies were performed on II generation masses bound with organic and inorganic binders. The effect of the coating's thickness on the bending strength as a function of deformation degree was determined. The profiles were also tested in respect of the hot distortion parameter. Additionally, microscopic photos were taken showing the depth of the coating's penetration towards the inside of the mass. The hot distortion parameter tests showed that, depending on the type of binder used in the mass, the addition of a diluent produces different results.

Słowa kluczowe: materiały rdzeniowe, powłoki ochronne, parametr hot-distortion

Keywords: core materials, protective coatings, hot distortion parameter

1. Wprowadzenie

Powłoki ochronne nanoszone na wnękę formy lub powierzchnię rdzenia składają się z czterech elemen-

1. Introduction

Protective coatings applied onto the mould cavity or the core surface consist of four elements: a matrix, i.e.

tów: osnowy, którą stanowią materiały ogniotrwałe (np.: cyrkon, talk, szamot, magnezyt spieczony), wysokotemperaturowego materiału wiążącego (bentonit, szkło wodne, żywice organiczne), rozpuszczalnika oraz różnego rodzaju dodatków, takich jak glina ogniotrwała, pochodne celulozy. Istotny element powłok stanowi rozpuszczalnik. Jako rozpuszczalniki stosuje się wodę albo alkohol, głównie izopropylowy [1,2,3]. Ze względu na szkodliwość (emisję lotnych związków organicznych) dla otoczenia ogranicza się zastosowanie powłok z rozpuszczalnikami alkoholowymi (głównie z alkoholem izopropylowym), tzw. powłoki palne [4,5].

Do wytwarzania rdzeni odlewniczych stosuje się między innymi sypliki masy samoutwardzalne, które posiadają takie zalety, jak: wiązanie w temperaturze otoczenia, dobrą płynność, jak również wysoką wytrzymałość (także w podwyższonej temperaturze). Wykonanie form w przypadku tych mas nie jest bardzo pracochłonne. Korzystna jest również niewielka zawartość spoiwa oraz duża dokładność wymiarowa odlewów. Ze względu na zastosowany rodzaj spoiwa wyróżniamy masy ze spoiwami nieorganicznymi oraz ze spoiwami organicznymi. Częściej stosuje się masy ze spoiwami organicznymi, jednak ze względu na ich szkodliwość dla środowiska coraz większe zastosowanie znajdują masy ze spoiwami nieorganicznymi, głównie masy ze szkłem wodnym. Ograniczenia w zastosowaniu nieorganicznego spoiwa w postaci szkła wodnego wiąże się z niską wybijalnością i małą zdolnością do regeneracji mechanicznej (m.in. spowodowaną nieorganicznym charakterem spoiwa, jak i jego konsystencją [6]). Korzystna natomiast jest mała toksyczność, jak również niewielkie koszty spoiwa nieorganicznego [1].

2. Metodyka badawcza

W odniesieniu do powłok, w przeciwieństwie do mas formierskich, brak jest wielokierunkowych badań i indywidualnych rozwiązań dotyczących metod pomiaru i doboru kontrolowanych parametrów. Dobór właściwych metod badawczych do odpowiednich powłok jest skomplikowanym procesem. Spowodowane jest to dużą ilością czynników podlegających ocenie zarówno z punktu widzenia przeznaczenia powłoki, jak również rodzaju odlewanej stopy i masy formierskiej [7].

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badania wpływu zwiększenia ilości rozcieńczalnika wodnego na głębokość penetracji powłoki w głąb rdzenia 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,

a refractory material (e.g. zirconium, talc, chamotte, dead-burnt magnesite), a high-temperature binding material (e.g. bentonite, water glass, organic resin), a solvent, and various types of additions (e.g. refractory clay, cellulose derivatives). An important element of the coating is the solvent, which can be water or alcohol, especially isopropyl [1,2,3]. Due to their harmfulness to the environment (emission of volatile organic compounds), the use of protective coatings with alcohol solvents (mainly isopropyl alcohol), the so-called flammable coatings, is being reduced [4,5].

The production of casting cores applies, among others, to loose self-hardening masses, which exhibit such properties as: binding at ambient temperature, good fluidity, as well as high strength (also at elevated temperatures). The preparation of moulds in the case of these masses is not very laborious. It is also advantageous to apply a little amount of binder and high dimensional accuracy to the casts. According to the used type of binder, masses can be divided into those with inorganic binders and those with organic ones. The latter are more frequently applied; however, due to their harmfulness to the environment, the masses with inorganic binders, especially with water glass, are more and more often used. The limitations in the use of inorganic binders in the form of water glass are connected with low knock-out properties and a low ability of mechanical regeneration (caused by the inorganic character of the binder, its consistence etc. [6]). In turn, their advantages include low toxicity and low costs [1].

2. Test methodology

In regard to coatings, contrary to moulding sands, there are no multi-directional studies or individual solutions concerning the methods of measuring and selecting the controlled parameters. The selection of the proper research methods for the appropriate coatings is a complicated process. This is caused by many factors which undergo evaluation in regard to both the purpose of the coating and the type of the cast alloy and the moulding sand [7].

This article discusses the results of the study of the effect of an increased amount of water diluent on the depth of the coating's penetration inside the core as well as the thermal deformation determined by means of the hot distortion parameter.

The tests were performed on a mass with an organic binder of the following composition:

- 100 parts by weight of quartz sand,
- 1 parts by weight of phurphuril resin,
- 0.5 parts by weight of hardener – water solution of p-toluenesulfonic acid

- 0,5 cz. mas. utwardzacz – wodnego roztworu kwasu paratoluenosulfonowego

oraz masę ze spoiwem nieorganicznym o składzie:

- 100 cz. mas. piasek kwarcowy,
- 3,5 cz. mas. szkło wodne klasy 145,
- 0,35 cz. mas. utwardzacz flodur 3.

Do badań jako powłokę wyjściową zastosowano wodną cyrkonową powłokę ochronną. Jest to wodna powłoka ochronna na osnowie mączki cyrkonowej z dodatkiem specjalnych substancji ceramicznych. Powłokę modyfikowano przez dodawanie dodatkowego rozcieńczalnika w ilości od 1% do 15% wody. Kształtki suszono poprzez pozostawienie na powietrzu do całkowitego wyschnięcia.

3. Obserwacja głębokości penetracji powłoki

Bardzo ważną właściwością jest głębokość penetracji powłoki w głąb rdzeni, wpływa ona na przyczepność powłoki do materiału form i rdzeni oraz przeciwdziała przypaleniom masy do odlewu. Penetracja powłoki w masę formierską zależy od gęstości powłoki, sposobu nanoszenia, lepkości, a także rodzaju podłoża. Badania mikroskopowe (rys. 1 i 2) wykonano w celu zaobserwowania i udokumentowania penetracji powłoki w głąb masy formierskiej. W masach ze spoiwem organicznym powłoka została naniesiona w postaci wyjściowej oraz z dodatkiem 1%, 2%, 5%, 10% i 15% wody. W przypadku mas ze spoiwem nieorganicznym kształtki pokryto powłoką wyjściową bez dodatku wody oraz kolejne pokryto powłoką zawierającą odpowiednio 2%, 5%, 10% wody. Na wszystkie kształtki naniesiono jedną warstwę powłoki.

W przypadku zastosowania powłoki ochronnej z dodatkiem 15% H₂O nie zaobserwowano warstwy powłoki ochronnej na zewnętrznej powierzchni kształtki, co oznacza, że powłoka wniknęła w głąb kształtki. W przypadku kształtek pokrytych powłoką bez dodatku wody (wyjściową) oraz kształtek pokrytych powłoką ochronną z odpowiednio dodatkiem wody w ilości 1%, 2%, 5% i 10% pozostaje widoczna warstwa zabezpieczająca na powierzchni. W przypadku kształtek wykonanych z masy ze szkłem wodnym nie zaobserwowano penetracji powłoki w głąb masy.

4. Deformacja cieplna

Kolejnym z kryteriów oceny powłoki jest badanie jej wpływu na deformację cieplną w podwyższonej temperaturze. Do badań zastosowano metodę pomiaru parametru *hot distortion* określanego na aparacie DMA

and a mass with an organic binder of the following composition:

- 100 parts by weight of quartz sand,
- 3.5 parts by weight of water glass, grade 145,
- 0.35 parts by weight of hardener, flodur 3.

As the initial coating, a water zirconium protective coating was applied. It is a water protective coating with a zirconium flour matrix and an addition of special ceramic substances. The coating was modified by way of adding a diluent in the amount of 1% to 15% water. The profiles were left in the air until they were completely dry.

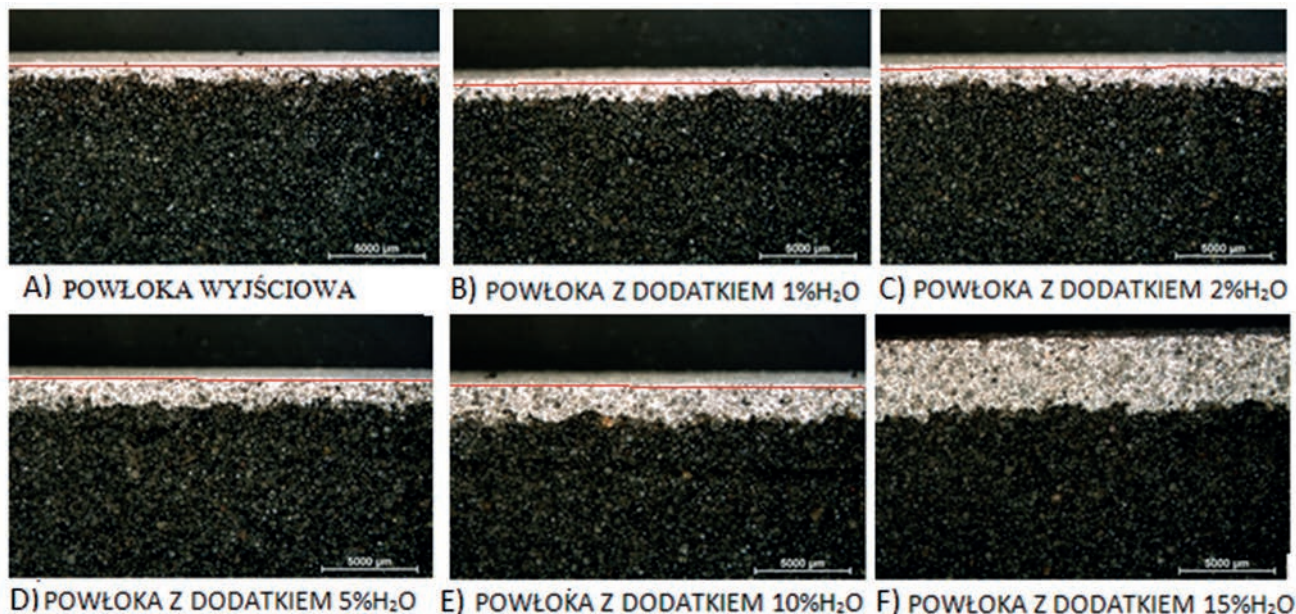
3. Observation of coating penetration depth

A very important property is the depth of the coating's penetration inside the cores, as it affects the adhesion of the coating to the material of the moulds and the cores and prevents the mass from burning onto the cast. The penetration of the coating into the moulding sand depends on the coating's density, the manner of application, viscosity and the type of substrate. Microscopic tests (Figs. 1 and 2) were performed in order to observe and document the penetration of the coating inside the moulding sand. In the masses with an organic binder, the coating was applied in its initial form and with the addition of 1%, 2%, 5%, 10% and 15% water. In the case of the masses with an inorganic binder, the profiles were covered with the initial coating without the water addition and the consecutive ones were covered with a coating containing 2%, 5% and 10% water, respectively. One layer of coating was applied on all the profiles.

In the case of the use of a protective coating with the addition of 15% H₂O, no layer of protective coating was observed on the external surface of the profile, which means that the coating penetrated completely the profile's interior. In the case of the profiles covered with a coating without a water addition (initial) and the profiles covered with a protective coating with the water addition of 1%, 2%, 5% and 10%, the protective layer remains visible on the surface. In the case of the profiles made from the mass with water glass, no coating penetration inside the mass was observed.

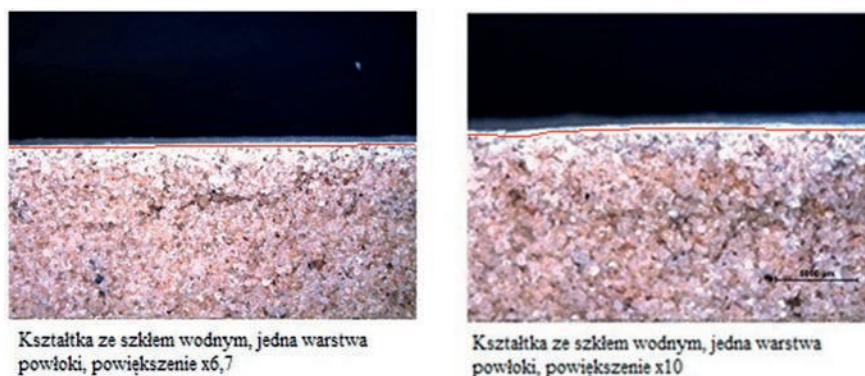
4. Thermal deformation

Another criterion of the evaluation of a coating is the study of its effect on the thermal deformation at elevated temperatures. For the tests, the method of measuring the hot distortion parameter determined on the DMA



Rys. 1. Obserwacje mikroskopowe głębokości penetracji powłoki w głąb rdzeni z zaznaczoną granicą między warstwą powłoki a wpenetrowaną powłoką w głąb kształtki; A – powłoka wyjściowa, B – powłoka z dodatkiem 1% H_2O , C – powłoka z dodatkiem 2% H_2O , D – powłoka z dodatkiem 5% H_2O , E – powłoka z dodatkiem 10% H_2O , F – powłoka z dodatkiem 15% H_2O

Fig. 1. Microscopic observations of the depth of the coating penetration inside the cores with the marked boundary between the coating layer and the coating penetrating the inside of the profile; A – coating without H_2O addition, B – coating with 1% H_2O addition, C – coating with 2% H_2O addition, D – coating with 5% H_2O addition, E – coating with 10% H_2O addition, F – coating with 15% H_2O addition



Rys. 2. Kształtki ze szkłem wodnym z jedną i dwoma warstwami powłoki, przy różnym powiększeniu z zaznaczoną granicą między warstwą powłoki a wpenetrowaną powłoką w głąb kształtki

Fig. 2. Profiles with water glass, with one and two layers of coating, at different magnifications, with the marked boundary between the coating layer and the coating penetrating the inside of the profile

[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 [8–10].

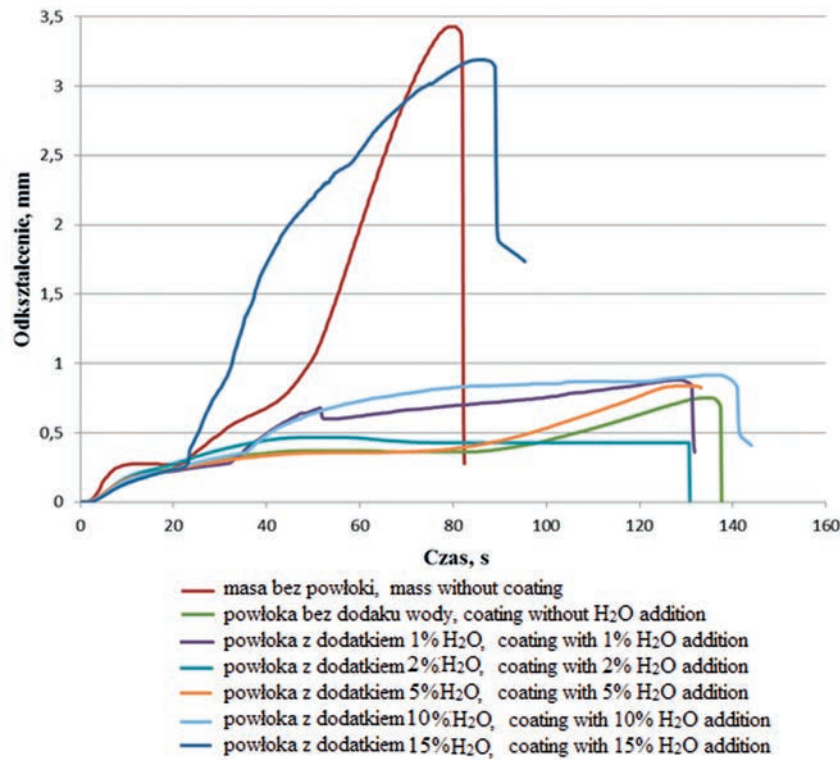
Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono otrzymane wyniki z pomiaru parametru *hot distortion* dla badanych próbek. Z otrzymanych wyników można wywnioskować, że pokrycie powłoką masy ze spoiwem organicznym

aparatus was applied [8]. This parameter stimulates the behaviour of the cores during the casting of the metal into the mould. During the test, the changes in the profile's deformation are recorded on the graph. The measurement on the apparatus makes it possible to determine the changes in the behaviour of the profiles with and without a coating under the effect of heat [8–10].

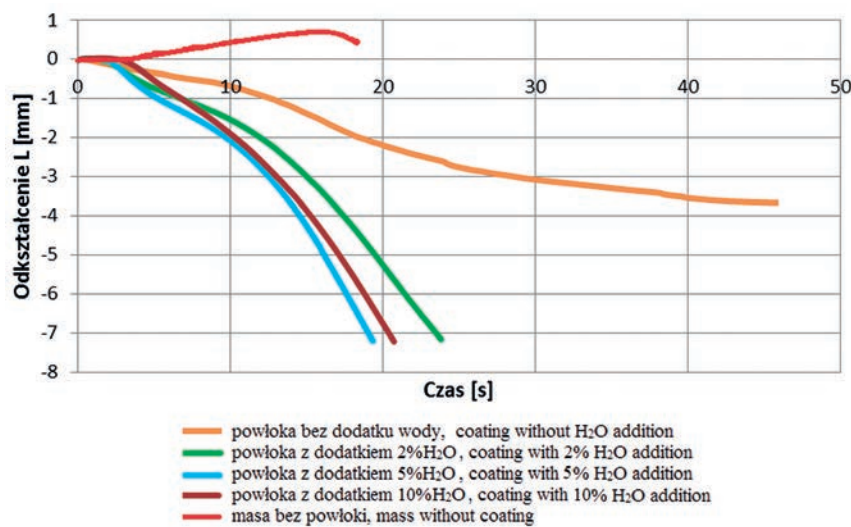
Figures 3 and 4 show the obtained results of the measurement of the hot distortion parameter of the examined samples. We can infer from the obtained

poprawia jej odporność na deformację cieplną. Dla dodatku rozcieńczalnika w zakresie do 10% nie zaobserwowano negatywnego wpływu na powłokę. Wyjątkiem jest masa pokryta powłoką z 15% dodatkiem H₂O, gdzie zaobserwowano wzrost deformacji cieplnej.

results that covering the mass with a coating with an organic binder improves its resistance to thermal deformation. For the addition of diluent in the amount of up to 10%, no negative effect on the coating was observed. An exception is the mass with a coating with a 15% H₂O addition, where an increase of thermal deformation was recorded.



Rys. 3. Wyniki pomiaru parametru hot distortion dla mas ze spoiwami organicznymi
 Fig. 3. Results of the measurement of the hot distortion parameter for masses with organic binders



Rys. 4. Wyniki pomiaru parametru hot distortion dla mas ze spoiwami nieorganicznymi
 Fig. 4. Results of the measurement of the hot distortion parameter for masses with inorganic binders

W przypadku mas ze spoiwem nieorganicznym badania deformacji przeprowadzono dla kształtek pokrytych powłoką ochronną wyjściową oraz z 2%, 5% i 10% wody. Kształtka zawierająca 15% wody uległa zniszczeniu, zanim rozpoczęto badanie. Kształtka z samej masy rdzeniowej jest bardziej odporna na deformację w podwyższonej temperaturze, niż pozostałe kształtki, na które naniesiono powłokę. Nie ma znaczenia ile wody jest w naniesionej powłoce, wpływa ona niekorzystnie na kształtkę i pomiar.

Ze względu na specyfikę aparatury uwzględniono zależność odkształcenia od czasu. Określono również dla masy z żywicą furfurylową wartości temperatury, przy których kształtki uległy destrukcji: masa bez powłoki – 500°C; powłoka bez dodatku H₂O – 441°C; powłoka z dodatkiem 1% H₂O – 470°C; powłoka z dodatkiem 2% H₂O – 478°C; powłoka z dodatkiem 5% H₂O – 463°C; powłoka z dodatkiem 10% H₂O – 416°C; powłoka z dodatkiem 15% H₂O – 520°C. W przypadku masy ze szkłem wodnym temperatura, którą nastawiono na aparacie przed wykonaniem pomiaru wynosiła 890°C.

5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań mas ze spoiwem organicznym, których wyniki zostały przedstawione na rysunku 3, można wywnioskować, że zwiększenie ilości rozpuszczalnika zwiększa głębokość penetracji z jednoczesnym zmniejszeniem grubości warstwy wierzchniej powłoki. Mała gęstość powłoki powoduje, że penetruje ona głębiej. Badania parametru *hot distortion* wykazały, że zastosowanie powłoki bez dodatkowej ilości H₂O oraz odpowiednio z dodatkiem 1%, 2%, 5% i 10% H₂O poprawiły odporność masy na deformację cieplną. Zastosowanie powłoki, z wyjątkiem powłoki z dodatkiem 15% H₂O, spowodowało około dwukrotne zwiększenie odporności na deformację cieplną, mimo zmniejszenia grubości powłoki na powierzchni.

Kształtki wykonane z sypkich mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym niepokryte powłoką ochronną są bardziej odporne na deformację w podwyższonej temperaturze, niż kształtki, na które naniesiono powłokę. Pokrycie kształtek powłoką zawierającą różną ilość rozpuszczalnika powoduje ich deformację w stanie wysuszonym. Próbki pokryte powłoką wyjściową są bardziej odporne na zniszczenie pod wpływem wysokiej temperatury, niż kształtki pokryte powłoką zawierającą dodatkowy rozpuszczalnik. Im większa ilość rozpuszczalnika, tym kształtki są mniej odporne na deformację. Ma to związek ze sposobem suszenia, a co za tym idzie ilością wody, która znajduje się w kształtce.

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

In the case of the masses with an inorganic binder, the studies of deformation tests were carried out for the profiles covered with the initial protective coating as well as a coating with 2%, 5% and 10% water. The profile containing 15% water failed before the test began. The profiles, from the core materials, are more resistant to deformation at elevated temperatures than the rest of the profiles on which the coating is applied. It does not matter how much water is in the applied coating, it adversely affects the shape and measurement.

Due to the nature of the apparatus, the dependence of deformation on time was considered. Also, for the mass with phurphuril resin, the temperature values at which the profiles failed were determined: mass without coating – 500°C; coating without H₂O addition – 441°C; coating with 1% H₂O addition – 470°C; coating with 2% H₂O addition – 478°C; coating with 5% H₂O addition – 463°C; coating with 10% H₂O addition – 416°C; coating with 15% H₂O addition – 520°C. In the case of the mass with water glass, the temperature which was set on the apparatus before the measurement was 890°C.

5. Conclusions

Based on the performed research of masses with an organic binder, the results which are presented in Figure 3, we can conclude that increasing the amount of solvent increases the depth of penetration, with a simultaneous decrease of the thickness of the coating's surface layer. A low density of the coating causes its deeper penetration. The tests of the hot distortion parameter demonstrated that the application of a coating without an additional amount of H₂O and with the addition of 1%, 2%, 5% and 10% H₂O improved the resistance of the mass to thermal deformation. The use of a coating, with the exception of one with 15% H₂O, approximately doubled the resistance to thermal deformation, despite the reduction of the coating's thickness on the surface.

The profiles made from loose self-hardening masses with water which were not covered with a protective coating are more resistant to deformation at elevated temperatures than the profiles on which a coating was applied. Covering the profiles with a coating containing a large amount of solvent causes their deformation in the dry state. The samples covered with the initial coating are more resistant to failure under the effect of high temperature than the profiles covered with a coating containing an additional solvent. The higher the amount of solvent, the lower the profiles' resistance to deformation. This is connected with the manner of drying, and thus the amount of water present in the profile.

In order to determine the effect of the thermal processes on the moulding sand-coating boundary, it is necessary to continue the research discussed in this paper.

Podziękowania

Badania przeprowadzono w ramach grantu dziekańskiego nr 15.11.170.573.

Acknowledgements

The study has been conducted within the Dean's grant No. 15.11.170.573.

Literatura/References

1. Stefański Z., A. Pytel A. 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. Retrieved 1.11.2014, from www.tworzywa.iod.krakow.pl/ref12.ppt.
2. Lewandowski J. 1997. *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
3. Holtzer M., C. Podrzućki, R. Dańko. 2007. *Zintegrowane zapobieganie i ograniczenie zanieczyszczeń*. Dokument referencyjny, Najlepsze dostępne techniki w kuźnictwie i przemyśle odlewniczym. Warszawa: Ministerstwo Środowiska. Retrieved 30.10.2014, from [ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/Streszczenie\(1\).doc](http://ippc.mos.gov.pl/ippc/custom/Streszczenie(1).doc).
4. Jamrozowicz Ł., J. Zych. 2015. „The drying kinetics of protective coatings used on sand molds”. *Metalurgija* 54 (1) : 23–26.
5. Seeger K. 2012. „Zastosowanie pokryć wodnych przy formowaniu ręcznym”. *Przegląd Odlewnictwa* 62 (7–8) : 322–326.
6. Dobosz S.M., M. Łucarz. 2000. „Sypkie masy samoutwardzalne ze szkłem wodnym w procesie estrowym”. *Krzepnięcie Metali i Stopów* 2 (43) : 123–130.
7. Gawlikowska M., Z. Grodziński. 1973. „Kryteria oceny jakościowej pokryć na formy piaskowe w oparciu o przegląd stosowanych metod kontrolnych”. *Prace Instytutu Odlewnictwa* 23 (2) : 95–105.
8. Jakubski J., S.M. Dobosz. 2006. „Wpływ powłoki ochronnej na zjawiska cieplne w rdzeniach odlewniczych”. *Archiwum Odlewnictwa* 6 (18) : 453–458.
9. Wildhirt E., J. Jakubski. 2016. „Wpływ rodzaju rozpuszczalnika na wybrane właściwości rdzeni pokrytych powłokami ochronnymi”. X Kopernikańskie Seminarium Doktoranckie : 89.
10. Jakubski J., S.M. Dobosz, P. Jelinek. 2005. „The influence of the protective coating type on thermal deformation of casting cores”. *Archives of Foundry* 5 (15) : 164–169.

