

Charakterystyka wodnych i alkoholowych powłok ochronnych nowej generacji i ich wpływ na jakość warstwy wierzchniej odlewu

Characteristics of new generation water and alcohol coatings and their impact on the quality of the casting surface layer

Jadwiga Kamińska^{1*}, Michał Angrecki¹, Aleksander Palma¹, Sabina Puzio¹

¹Instytut Odlewnictwa, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Polska

¹Foundry Research Institute, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków, Poland

*Corresponding author: jadwiga.kaminska@iod.krakow.pl

Received: 21.01.2019. Accepted in revised form: 28.02.2019.

© 2018 Instytut Odlewnictwa. All rights reserved.

DOI: 10.7356/iod.2018.18

Streszczenie

Rosnące wymagania odbiorców odlewów dotyczące dokładności wymiarowej oraz chropowatości powierzchni odlewów wymuszają na producentach (odlewniach) stosowanie powłok ochronnych na formy i rdzenie. Celem nanoszenia powłok jest: zabezpieczenie przed przypalaniem się (przywarciem) tworzywa formy do odlewu, zmniejszenie chropowatości powierzchni odlewów, ułatwienie usunięcia odlewu z wnęki formy.

W artykule przedstawiono wyniki badań nowej generacji powłok wieloskładnikowych, przeprowadzone zgodnie z polską normą PN-H-11011:1997. Zbadano gęstość badanych powłok, zawartość substancji suchej, wskaźnik sedymentacji oraz ilość wydzielanych przez powłoki gazów. Przeprowadzono również wytopy mające na celu określenie wpływu zastosowanych powłok na jakość powierzchni zewnętrznej odlewów stalowych.

Słowa kluczowe: powłoki ochronne, masy formierskie, stopy żelaza, jakość powierzchni odlewów

Abstract

The increasing requirements of casting users regarding the dimensional accuracy and surface roughness of castings force the manufacturers, i.e. foundries, to use protective coatings on moulds and cores. Coatings are applied in order to protect the casting against the burn-on defects (mould material adhering to the casting surface), to reduce the surface roughness of castings, and to facilitate casting removal from the mould cavity.

This paper presents the results of studies of multi-component coatings of the new generation made in accordance with the Polish Standard PN-H-11011:1997. Tests included the density of coatings, the content of dry matter, the sedimentation index and the amount of gas emitted by the coating. Melts were made to determine the impact of coating on the quality of the external surface of steel castings.

Keywords: protective coatings, moulding sands, iron alloys, surface quality of castings

1. Wprowadzenie

Wierzchnia warstwa wnęki form piaskowych decyduje o jakości odlewów w nich wykonanych, głównie ich powierzchni. Jednakże, bezpośredni kontakt z atmosferą powoduje, że stan tej powierzchni jest często niestabilny, a właściwości wytrzymałościowe i technologiczne podlegają wahaniom w szerokim zakresie. Zasadnicze zmiany wywoływane są parowaniem wody

1. Introduction

The outer layer of the sand mould cavity determines the quality of castings made in this mould, mainly their surface finish. However, direct contact with the atmosphere often makes the condition of this surface unstable with the mechanical and technological properties subjected to wide variations. The essential changes are caused by the evaporation of water or other com-

lub innych składników spoiw. Szybkość tych procesów zależy zarówno od temperatury, jak i wilgotności powietrza, które w odlewach podlegają zmianom w szerokim zakresie [1,2].

Obciążenia cieplne, którym poddawane są formy i rdzenie, powodują termiczne zmęczenie materiału, które może generować tworzenie się wad, takich jak: pęknięcia, wżery, żyłki, wykruszanie materiału formy podczas zalewania. Może dochodzić także do przypalenia i penetracji metalu do masy formierskiej lub rdzeniowej. Jednym z rozwiązań ograniczającym występowanie niekorzystnych zjawisk jest zastosowanie powłok ochronnych. Nanoszone są one w celu poprawy jakości powierzchni odlewów oraz ułatwienia wyjęcia odlewu z formy [3,4].

Materiały nanoszone na wnękę formy lub powierzchnię rdzenia składają się zazwyczaj z czterech podstawowych składników: osnowy, materiału wiążącego, rozpuszczalnika (stabilizator gęstości) oraz dodatków. Osnowę powłok stanowią materiały ogniotrwałe (np.: związki cyrkonu, talk, szamot, magnezyt spieczony). Powłoki zawierają odporne na działanie wysokiej temperatury materiały wiążące, takie jak bentonity, szkło wodne, żywice organiczne oraz różnego rodzaju dodatki, takie jak glina ogniotrwała, pochodne celulozy. Istotny element powłok stanowi rozpuszczalnik. Jako rozpuszczalniki stosuje się wodę albo alkohol, głównie izopropylowy [5]. Ze względu na szkodliwość dla otoczenia ogranicza się stosowanie powłok z rozpuszczalnikami alkoholowymi, tzw. powłoki palne.

Powłoki nanoszone na wnękę formy lub powierzchnię rdzenia mogą stanowić jedno- lub wieloskładnikowe substancje w stanie ciekłym, półciekłym (pasty) lub stałym suchym. Powłoki można podzielić na cztery grupy [6,7]: pasywne, aktywne, wzmacniające i adsorbujące.

Powłoki pasywne mają na celu uzyskanie gładkiej powierzchni formy, wzmocnienie jej wytrzymałości, zminimalizowanie reakcji zachodzących na granicy forma–metal.

Celem powłok aktywnych jest zmiana właściwości zewnętrznej warstwy odlewów.

Zadaniem powłok wzmacniających jest polepszenie niektórych właściwości powierzchniowej warstwy wnęki formy lub rdzenia.

Powłoki adsorbujące mają za zadanie zabezpieczenie przed przenikaniem składników masy lub produktów ich destrukcji cieplnej do zewnętrznej warstwy odlewów.

2. Metodyka badawcza

W wyniku przeprowadzonych prac badawczych i prób technologicznych przebadane zostały cztery wieloskładnikowe powłoki ochronne nowej generacji stosowane na formy i rdzenie odlewnicze dla odlewów ze stopów żelaza (staliwo i żeliwo).

ponents of the foundry binder. The speed of these processes depends on both temperature and air humidity, which can change in a wide range of values in the castings [1,2].

The thermal loads applied to moulds and cores expose the mould material to the effect of thermal fatigue, which can generate defects such as cracks, pitting, veins, and chipping of this material during pouring. The burn-on defects and metal penetration into the moulding or core sand may also occur. One of the solutions reducing the risk of the occurrence of these unfavourable phenomena is the use of protective coatings. Protective coatings are applied to improve the surface quality of castings and to facilitate casting removal from the mould cavity [3,4].

Coatings applied to the mould cavity or core surface usually consist of four basic components, including base material, binding material, solvent (density stabilizer) and additives. Coatings are based on refractory materials (e.g. zirconium compounds, talcum powder, chamotte, sintered magnesite). They also contain heat-resistant binders, such as bentonite, water glass, organic resins and various additives, among others, a refractory clay and cellulose derivatives. An important element of the coating is the solvent, in most cases based on water or alcohol (mainly isopropyl alcohol) [5]. Due to the harmful impact on the environment, the use of coatings with alcohol solvents, otherwise known as combustible coatings, is rather limited.

Coatings applied to the mould cavity or core surface can be single- or multi-component substances in the liquid, semi-liquid (paste) or dry solid state. Generally, coatings can be divided into four groups [6,7]: passive, active, reinforcing and adsorbent.

Passive coatings applied to obtain a smooth surface of the mould, increase its strength and reduce to minimum the reactions occurring at the mould–metal interface.

Active coatings applied to change the properties of the outer layer of castings.

Reinforcing coatings applied to improve some properties of the outer layer of the mould cavity or core.

Adsorbent coatings applied to prevent the penetration of sand components or products of their thermal destruction into the outer layer of castings.

2. Research methodology

As a result of the studies and technological trials, four new generation multi-component protective coatings applied to the surface of foundry moulds and cores poured with iron alloys (cast steel and cast iron) were tested.

Badania zostały wykonane zgodnie z normą polską PN-H-11011:1997 [8]. Badane powłoki ochronne, wodne i alkoholowe, przygotowane zostały we współpracy z jednym z krajowych dostawców materiałów dla odlewnictwa. Przeznaczenie oraz charakterystykę badanych powłok zestawiono w tabeli 1.

The tests were carried out in accordance with the Polish Standard PN-H-11011:1997 [8]. The tested protective coatings based on water or alcohol were prepared in cooperation with one of the domestic suppliers of foundry materials. Application and characteristics of the coatings tested are summarized in Table 1.

Tabela 1. Zestawienie badanych powłok ochronnych

Table 1. List of the tested protective coatings

Nazwa powłoki / Symbol of coating	Zastosowanie/Application	Charakterystyka/Characteristics
Powłoka 1 / Coating 1	Odlewy stalowe grubościennne, rzadziej żeliwne / Heavy steel castings, occasionally iron castings	Powłoka ochronna alkoholowa na podstawie ognioodpornego krzemianu cyrkonu o barwie od białej do beżowej. / Alcohol protective coating based on heat-resistant zirconium silicate. Colour from white to beige.
Powłoka 2 / Coating 2	Odlewy stalowe / Steel castings	Wodna powłoka ochronna na podstawie mączki cyrkonowej z dodatkami materiałów ceramicznych. Barwa od białej do beżowej. / Aqueous protective coating based on zirconium flour with the addition of ceramic materials. Colour from white to beige.
Powłoka 3 / Coating 3	Odlewy żeliwne / Iron castings	Alkoholowa powłoka ochronna na podstawie specjalnych glinokrzemianów i grafitu. / Alcohol protective coating based on special aluminosilicates and graphite.
Powłoka 4 / Coating 4	Żeliwo wysokojakościowe oraz sferoidalne / High-quality cast iron and ductile iron	Alkoholowa powłoka ochronna cyrkonowo-grafitowa na bazie ognioodpornego krzemianu cyrkonu z dodatkami grafitu o barwie ciemnobieżowej. / Alcohol zircon-graphite protective coating based on flame retardant zirconium silicate with graphite addition. Dark beige colour.

3. Wyniki badań i ich analiza

W pierwszym etapie badań oznaczono gęstość, zawartość substancji suchej, przeprowadzono pomiar sedimentacji oraz ilości wydzielanych gazów dla wszystkich czterech powłok. Pomiar substancji suchej wykonano poprzez suszenie 45 cm³ pokrycia w temperaturze 105°C do uzyskania stałej masy. Pomiar sedimentacji polegał na wprowadzeniu do cylindra miarowego 100 cm³ pokrycia ochronnego oraz odczytaniu objętości cieczy nad zawieszoną po 24 h odstawiania. Pomiar ilości wydzielanych gazów przeprowadzono zgodnie z normą branżową BN-76/4024-05 [9]. Łódeczkę z próbką o masie 2 g umieszczono w piecu nagrzanym do temperatury 1000°C. Odczyt objętości wydzielanych gazów wykonano co 5 s, aż do uzyskania stałej objętości gazów. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 2.

Wśród badanych powłok najwyższą gęstością charakteryzowała się Powłoka 2 z uwagi na największą zawartość substancji suchej. Powłoka ta również posiadała najniższą skłonność do sedimentacji, co jest cechą korzystną.

W drugim etapie badań sporządzono masy formierskie na bazie modyfikowanego szkła wodnego „B” (opracowanego w ramach projektu ZAMAT nr POIG.01.01.02-

3. Results and discussion

In the first stage of the research, the density, dry matter content, sediment volume and amount of gas released were determined for all four coatings. The dry matter was measured by drying 45 cm³ of the coating at 105°C until a constant weight was obtained. The measurement of sedimentation consisted in introducing 100 cm³ of the protective coating into the measuring cylinder and reading the liquid volume over the suspension after 24 hours of settling. The measurement of the amount of gas released was carried out in accordance with the Industry Standard BN-76/4024-05 [9]. A sample boat weighing 2 g is placed in a furnace preheated to 1000°C. The volume of gas emitted is read off every 5 s until a constant gas volume is obtained. The results of the measurements are summarized in Table 2.

Among the coatings tested, the highest density was obtained in Coating 2 due to the highest content of dry matter. This coating also had the lowest tendency to sedimentation, which is a beneficial feature.

The second stage of the research was devoted to the preparation of moulding sand mixtures using modified water glass “B” (developed as part of the ZAMAT project No. POIG.01.01.02-00-015/09 “Advanced materials and technologies”) and an organic binder

Tabela 2. Zestawienie wyników badań powłok ochronnych
Table 2. Comparison of the test results of protective coatings

Nazwa powłoki / Symbol of coating	Gęstość powłoki ρ , g/cm ³ / Density ρ , g/cm ³	Zawartość substancji suchej S_s , % / Content of dry matter S_s , %	Sedymentacja, % / Sedimentation, %	Ilość wydzielonych gazów G , cm ³ /g / Volume of released gas, cm ³ /g
Powłoka 1 / Coating 1	1,67	64,0	3	27
Powłoka 2 / Coating 2	2,29	73,5	1	19
Powłoka 3 / Coating 3	1,05	43,1	36	38
Powłoka 4 / Coating 4	1,53	59,9	7	28

00-015/09 „Zaawansowane materiały i technologie ich wytwarzania”) oraz spoiwa organicznego (żywica furfurylowa). Skład wykonanych mas formierskich zestawiono w tabeli 3. (furfuryl resin). The sand compositions are compiled in Table 3.

Tabela 3. Skład wykonanych mas formierskich
Table 3. Moulding sand compositions

Masa 1 / Sand mixture 1	Osnowa piaskowa (piasek kwarcowy średni Grudzeń Las) / Base sand (medium-size silica sand from Grudzeń Las)	– 100 cz. wag. / 100 parts by weight
	Szkło wodne modyfikowane „B” / Modified water glass „B”	– 2,5 cz. wag. / 2.5 parts by weight
	Flodur 3 / Flodur 3	– 10% w stosunku do ilości szkła / 10% relative to the amount of water glass
Masa 2 / Sand mixture 2	Osnowa piaskowa (piasek kwarcowy średni Grudzeń Las) / Base sand (medium-size silica sand from Grudzeń Las)	– 100 cz. wag. / 100 parts by weight
	Żywica furfurylowa U 404 / Furfuryl resin U 404	– 1,5 cz. wag. / 1.5 parts by weight
	Utwardzacz 100 T3 / Hardener 100 T3	– 25% w stosunku do ilości żywicy / 25% relative to the amount of resin

Z przygotowanych mas wykonano dwie formy oraz przygotowano próbki walcowe do wykonania próby przyczepności oraz ścieralności powłok. Pod względem technologicznym przebadano powłoki przeznaczone dla odlewów stalowych.

Próba przyczepności polegała na ustaleniu wysokości ciśnienia, przy którym następowało uszkodzenie pokrycia ochronnego naniesionego na czoło próbki wal-

Two moulds were made from the ready sand mixtures and cylindrical samples were prepared to test the adhesion of coatings and their abrasive wear resistance. In terms of technology, coatings dedicated to steel castings were tested.

The adhesion test consisted in determining the pressure at which the protective coating applied onto the front part of a cylindrical sample was damaged by

cowej, poddanej przedmuchiwaniu sprężonym powietrzem. Oznaczenie wykonano na aparacie do badania przyczepności powłok ochronnych form i rdzeni firmy Multiserw Morek, który umożliwia przepływ sprężonego powietrza w zakresie ciśnienia od 0 do 1 MPa (rys. 1).

the jet of compressed air. The test was performed on a Multiserw Morek apparatus for testing the adhesion of protective coatings to the surface of moulds and cores, when subjected to the flow of compressed air in the pressure range of 0–1 MPa (Fig. 1).



Rys. 1. Aparat do badania przyczepności powłok ochronnych wraz z umieszczoną próbką
Fig. 1. Apparatus and sample for testing the adhesion of protective coatings

W zależności od ciśnienia potrzebnego do zerwania maksimum 10% naniesionego powłoki jakości powłok dzieli się na 3 gatunki (zgodnie z normą PN-H-11011:1997):

- gatunek I – powyżej 0,40–0,60 MPa,
- gatunek II – powyżej 0,30–0,40 MPa,
- gatunek III – 0,10–0,30 MPa.

Wyniki pomiaru próby przyczepności powłok zestawiono w tabeli 4. Powłoka 1, naniesiona na kształtki wykonane z obydwu rodzajów mas, wykazała bardzo dobrą przyczepność. Powłoka 2, naniesiona na kształtkę wykonaną z masy ze szkłem wodnym modyfikowaną, wykazała niską przyczepność (III gatunek powłok).

Depending on the pressure required to tear off a maximum 10% of the applied coating, coatings were divided in terms of their quality into three categories (in accordance with PN-H-11011:1997):

- type I – above 0.40–0.60 MPa,
- type II – above 0.30–0.40 MPa,
- type III – 0.10–0.30 MPa.

The results of the adhesion test of coatings are compared in Table 4. Coating 1, applied onto samples made of both types of the sand mixture, was characterized by a very good adhesion. Coating 2, applied onto a sample made of the sand with modified water glass, showed low adhesion (coating of type III).

Tabela 4. Wyniki pomiarów przyczepności powłok
Table 4. The results of coating adhesion measurements

Nazwa powłoki / Symbol of coating	Ciśnienie potrzebne do zerwania powłoki, MPa / Pressure required to tear the coating off, MPa	
	Masa 1 (szkło wodne modyfikowane) / Sand 1 (modified water glass)	Masa 2 (żywica furfurylowa) / Sand 2 (furfuryl resin)
Powłoka 1 / Coating 1	0,50	powyżej 0,60 (brak zerwania powłoki) / above 0.60 (coating firmly adhering to the surface)
Powłoka 2 / Coating 2	0,20	poniżej 0,60 / below 0.60

Próba ścieralności polega na pomiarze ubytku masy pokrycia ochronnego naniesionego na próbkę walcową poddaną ścieraniu. Pokrycie nanosi się na pobocznicę próbek walcowych. Pomiar przeprowadza się na aparacie do badania osypliwosci, wyposażonym w jedną radełkowaną rolkę. Wyniki pomiaru ścieralności powłok zestawiono w tabeli 5.

The abrasion test consisted in measuring the weight loss of the protective coating applied onto cylindrical samples subjected to the abrasion process. The coating was applied to the side surfaces of the cylindrical samples. The measurement was carried out on an abrasion test apparatus equipped with one knurled roll. The results of abrasion resistance measurements are compared in Table 5.

Tabela 5. Wyniki pomiarów ścieralności powłok
Table 5. The results of coating abrasion resistance measurements

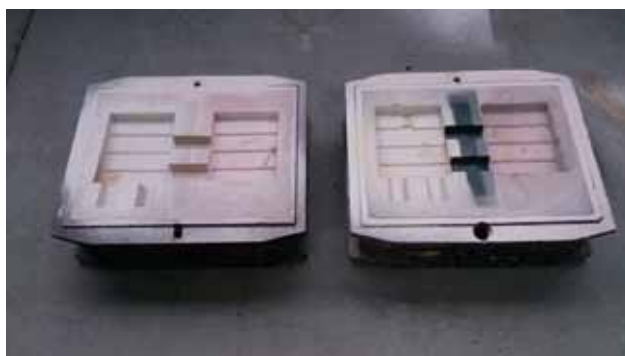
Nazwa powłoki / Symbol of coating	Ścieralność badanego pokrycia N_{S60} , % / Abrasive wear of the tested coating N_{S60} , %	
	Masa 1 (szkło wodne modyfikowane) / Sand 1 (modified water glass)	Masa 2 (żywica furfurylowa) / Sand 2 (furfuryl resin)
Powłoka 1 / Coating 1	18,04	20,39
Powłoka 2 / Coating 2	>100 (całkowite usunięcie powłoki oraz naruszenie powierzchni próbki) / >100 (complete removal of coating and damage to the sample surface)	66,16

W przypadku mas z żywicą furfurylową (Masa 2) Powłoka 1 wykazuje ponad trzykrotnie niższą skłonność do ścierania się z powierzchni próbek niżeli Powłoka 2. Powłoka 2, naniesiona na masę na bazie szkła wodnego modyfikowanego (Masa 1), nie wykazała odporności na ścieranie.

W ostatnim etapie badań na przygotowane uprzednio formy naniesiono metodą natryskową powłoki ochronne (rys. 2), poddano je procesowi suszenia oraz zalano staliwem o temperaturze wynoszącej w momencie spustu 1625°C. Gęstość nanoszonych powłok wynosiła

In the case of furan sands (Sand 2), Coating 1 was characterized by an over three times lower tendency to abrade from the surface than Coating 2. Applied onto the surface of a sample of the sand mixture based on modified water glass (Sand 1), Coating 2 showed no resistance to abrasion.

In the last stage of the research, protective coatings were applied onto the previously prepared moulds (Fig. 2), dried and poured with steel which on the tapping spout had the temperature of 1625°C. The density of the applied coatings was 1.61 g/cm³ and 1.84 g/cm³ for coating 1 and coating 2, respectively.



Rys. 2. Formy z naniesionym pokryciem ochronnym
Fig. 2. Moulds with the applied protective coating

odpowiednio: 1,61 g/cm³ (Powłoka 1) oraz 1,84 g/cm³ (Powłoka 2).

Po wybicciu oraz wypiaskowaniu odlewów dokonano pomiaru chropowatości. Pomiar wykonano zgodnie z normą ISO 11562 na urządzeniu HOMMEL-ETAMIC W20 firmy Jenoptik (rys. 3). Wyniki pomiarów chropowatości zestawiono w tabeli 6.

After knocking out and sand blasting of castings, the surface roughness was measured. The measurement was carried out in accordance with the ISO 11562 Standard using a HOMMEL-ETAMIC W20 instrument from Jenoptik (Fig. 3). The results of roughness measurements are compared in Table 6.



Rys. 3. Urządzenie do pomiaru chropowatości HOMMEL-ETAMIC W20
Fig. 3. HOMMEL-ETAMIC W20 roughness measurement instrument

Tabela 6. Wyniki pomiarów chropowatości powierzchni odlewów
Table 6. The results of casting surface roughness measurements

μm	Bez powłoki / Without coating	Powłoka 1 / Coating 1	Powłoka 2 / Coating 2
Masa 1 (szkło wodne modyfikowane) / Sand 1 (modified water glass)			
R_a	47,48	27,56	poza skalą* / off scale*
R_z	112,18	89,14	poza skalą* / off scale*
R_{max}	237,21	160,47	poza skalą* / off scale*
Masa 2 (żywica furfurylowa) / Sand 2 (furfuryl resin)			
R_a	22,14	6,36	10,29
R_z	60,18	29,87	48,60
R_{max}	123,14	64,59	90,91
R_a – średnia arytmetyczna odchylenia profilu od linii średniej, μm / the arithmetic mean of the deviation of the profile from the mean line, μm R_z – maksymalne wychylenie od powierzchni odlewu (osi pomiaru), μm / maximum deflection from the surface of the casting (measuring axis), μm R_{max} – maksymalna wysokość chropowatości, μm / maximum height of the roughness, μm *próbki o zbyt dużej chropowatości, przekraczającej zakres pomiarowy urządzenia / samples with the roughness too high and therefore exceeding the measuring range of the device			

4. Wnioski

Wśród przebadanych powłok najwyższą gęstością (2,29 g/cm³), z uwagi na największą zawartość substancji suchej, przy jednocześnie najniższej gazotwórczości (19 cm³/g), charakteryzowała się wodna powłoka Protecta WCC-A. Powłoka ta również posiadała najniższą skłonność do sedymentacji, zaledwie 1%, co jest cechą bardzo korzystną.

Pod względem technologicznym przebadano powłoki dedykowane dla odlewów stalowych.

4. Conclusions

Among the tested coatings, the highest density of 2.29 g/cm³ (due to the highest content of dry matter) combined with the lowest gas formation (19 cm³/g) was obtained in Protecta WCC-A water coating. The coating also had the lowest (only 1%) sedimentation tendency, which is considered a very favourable feature.

In terms of technology, the tests included coatings dedicated to steel castings.

W przypadku mas z żywicami furfurylowymi, obydwie powłoki, wykazały bardzo dobrą przyczepność wynoszącą powyżej 0,6 MPa. Powłoka 1 wykazuje ponad trzykrotnie niższą skłonność do ścierania się z powierzchni próbek (formy) aniżeli Powłoka 2. Potwierdziły to również wyniki badań chropowatości wierzchniej warstwy odlewów, które dla Powłoki 1 są najmniejsze.

W przypadku mas na osnowie szkła wodnego modyfikowanego Powłoka 2, pomimo iż jest przeznaczona do odlewów stalowych, a masy na bazie szkła wodnego są jedną z najlepszych spoiw dedykowanych dla tego typu odlewów, nie spełnia swojej roli. Powłoka ta charakteryzuje się bardzo słabą przyczepnością (ok. 0,2 MPa), ponadto nie wykazuje odporności na ścieranie. Chropowatość powierzchni odlewów ze wspomnianą powłoką przekroczyła zakres pomiarowy urządzenia (300 µm). Powłoka 1 naniesiona na masę na bazie szkła wodnego modyfikowanego wykazała najniższą skłonność do ścierania (18,04%) spośród wszystkich badanych kompozycji. Przyczepność powłoki wynosi 0,5 MPa, dzięki czemu można ją zaliczyć do I grupy powłok.

In the case of furan sands, both coatings showed very good adhesion of more than 0.6 MPa. Coating 1 showed over three times lower tendency to abrasive wear on the surface of samples (moulds) than Coating 2. This was also confirmed by the results of the roughness tests carried out on the top layer of castings, which for Coating 1 have assumed the lowest values.

In the case of sands based on modified water glass, although intended for steel castings, and although water glass used as a binder in the sand mixture was one of the best binders dedicated to this type of castings, Coating 2 did not fulfil its role. It was characterized by a very poor adhesion (about 0.2 MPa), showing, moreover, nearly no resistance to abrasion. The surface roughness of castings poured in moulds with the above mentioned coating exceeded the measuring range of the device (300 µm). Of all the compositions tested, Coating 1 applied to the sand mixture based on modified water glass showed the lowest abrasion tendency (18.04%). The adhesion of this coating was 0.5 MPa, which places it in the first group of coatings.

Podziękowania

Artykuł przygotowano w ramach projektu finansowanego ze środków funduszu działalności statutowej nr 8017/00 w roku 2017 oraz projektu POIG.01.01.02-00-015/09 „Zaawansowane materiały i technologie”, Obszar VII, Zadanie 3.

Acknowledgements

This article was prepared as part of a project financed from the statutory activity fund No. 8017/00 in 2017 and Project POIG.01.01.02-00-015/09 “Advanced materials and technologies”, Area VII, Task 3.

Literatura/References

1. Zych J. 2006. „Wierzchnia warstwa form piaskowych – kinetyka zmian jej właściwości”. *Archiwum Odlewnictwa* 6 (20) : 77–84.
2. Zych J., T. Snopkiewicz. 2011. „Wysychanie i umacnianie powłok ochronnych po naniesieniu na formy i rdzenie piaskowe – nowe metody badań”. *Przegląd Odlewnictwa* 61 (9–10) : 506–511.
3. Lewandowski J.L. 1997. *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo „Akapit”.
4. Stefański Z., A. Pytel. 2014. *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, 01.11.2014, www.tworzywa.iod.krakow.pl, ref12.ppt.
5. Wildhirt E., J. Ramus, J. Jakubski. 2015. „Wpływ dodatku rozpuszczalnika na wybrane właściwości rdzeni pokrytych powłoką ochronną”. *Archives of Foundry Engineering* 5 (4 spec. is.) : 155–158.
6. Jakubski J., S.M. Dobosz. 2006. „Wpływ powłoki ochronnej na zjawiska cieplne w rdzeniach odlewniczych”. *Archiwum Odlewnictwa* 6 (18) : 453–458.
7. Seeger K. 2012. „Zastosowanie pokryć wodnych przy formowaniu ręcznym”. *Przegląd Odlewnictwa* (7–8) : 322–326.
8. Norma PN-H-11011:1997. Odlewnicze materiały formierskie. Pokrycia ochronne form i rdzeni piaskowych.
9. Norma branżowa BN-76-4024-05. Odlewnicze materiały formierskie. Oznaczenie ilości wydzielanych gazów.