2019, Vol. 59, Issue 3

# Przyczepność i ścieralność wybranych powłok ochronnych określona dla sypkich mas samoutwardzalnych ze spoiwem organicznym

Adhesion and abrasibility of selected protective coatings for loose self-setting sand combined with organic binders

Emilia Wildhirt1\* 🝺 , Tomasz Olejnik1, Jarosław Jakubski1 🍺

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

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

\*Corresponding author: emiliaw@agh.edu.pl

Received: 02.03.2019. Accepted in revised form: 15.01.2020.

Streszczenie

Badania właściwości mas formierskich i rdzeniowych posiadają swoje określone normy i wzorce, według których określamy ich przydatność do konkretnych zastosowań, natomiast w odniesieniu do powłok istnieje duża różnorodność i wielokierunkowość badań, która nie została do tej pory usystematyzowana. Indywidualność rozwiązań dotyczących metod pomiaru i doboru kontrolowanych parametrów oraz dobór właściwych metod badawczych do odpowiednich powłok jest skomplikowanym procesem. Spowodowane jest to dużą ilością czynników podlegających ocenie zarówno z punktu widzenia przeznaczenia do różnych metali, jak również mas formierskich i rdzeniowych. W artykule przedstawiono wyniki badań ścieralności próbek pokrytych powłokami ochronnymi o różnej grubości w zależności od rodzaju rozpuszczalnika oraz ilości nałożonych warstw. Wykonano również pomiary przyczepności powłok.

<u>Słowa kluczowe</u>: masy formierskie, powłoki ochronne, ścieralność, przyczepność powłok

### 1. Metodyka badań doświadczalnych

Do badań zastosowano powłoki ochronne: wodną oraz dwie powłoki alkoholowe. Powłoki ochronne nanoszono poprzez malowanie. Badania polegały na przygotowaniu masy formierskiej złożonej z piasku kwarcowego, żywicy furanowej Kaltharz XA20 z niewielką ilością wolnego formaldehydu i utwardzacza 100T3.

#### Abstract

DOI: 10.7356/iod.2019.12

Testing the properties of mould and core sands are specified in the norms and standards, which are used to determine the suitability of the sand for specific applications. However, the testing of protective coatings for moulding and core sands varies greatly, features multiple areas of interest, and remains to be systematized. The individual character of the existing solutions for the testing and selection of the parameters as well as the selection of suitable test methods for specific coatings are complicated processes. This is due to the high number of factors to be assessed in terms of their applicability to different metals as well as moulding and core sands. This paper describes the results of testing the abrasibility of sand mixes with different thicknesses of protective coatings applied, for different solvents and numbers of coating layers. The adhesion of each coatings was also tested.

<u>Keywords</u>: moulding sands, protective coatings, abrasibility, coating adhesion

### 1. Experimental test methodology

The testing undertaken here involved the following types of protective coating: one water-based and two alcohol-based. Each protective coating was applied by brush. The test involved preparation of specimens made from a moulding mix of quartz sand, Kaltharz XA20 furane resin with a small admixture of free formalde-hyde, and 100T3 hardeners.

Masy formierskie przygotowano poprzez wymieszanie w mieszarce laboratoryjnej skrzydełkowej składników:

piasek kwarcowy	100 cz. wag.
żywica	1,1 cz. wag.
utwardzacz	0,3 cz. wag.

### 2. Badanie przyczepności powłok

Przyczepność to zdolność materiału powłokowego do wiązania się z podłożem. Pomiar polega na ustaleniu wielkości ciśnienia, przy którym następuje uszkodzenie powłoki naniesionej na znormalizowaną kształtkę walcową, poddaną przedmuchiwaniu sprężonym powietrzem. Ocena przyczepności powłok do podłoża jest bardzo ważnym aspektem związanym ze stosowaniem powłok ochronnych. Ma wpływ na to, czy podczas zalewania formy powłoka nie oderwie się od wnęki formy i nie spowoduje wad w przyszłym odlewie [1].

Z masy, na którą jest nakładana powłoka ochronna, wykonuje się 6 znormalizowanych kształtek walcowych, utwardzonych. Na czołową powierzchnię kształtek nanosi się przygotowaną powłokę ochronną (rys. 1). Następnie kształtki poddaje się suszeniu: z wodną powłoką na powietrzu, a z powłokami alkoholowymi – wypala się [1]. The moulding sands were prepared in a laboratory vane mixer, to which the components were batched as follows:

Quartz sand	100 parts by weight
Resin	1.1 parts by weight
Hardener	0.3 parts by weight.

#### 2. Adhesion testing of protective coatings

Adhesion is the capability of a coating material to bond to the substrate. Adhesion is tested by determining the value of pressure at which the coating, applied to a standardized cylindrical sample, fails under the action of flushing with compressed air. The determination of coating adhesion is critical for protective coating applications. The determined adhesion defines whether the applied protective coating will detach from the mould cavity during the metal casting process and result in defects in the casting [1].

A total of 6 standardized cylindrical specimens were fabricated, as-cured, from the sand mix. The prepared protective coating material was then applied to the one surface of each specimen (Fig. 1). The specimens were dried: those with the water-based coating were air dried while those with the alcohol-based coating were baked [1].



*Rys. 1. Kształtki gotowe do badania: 1 – z powłoką wodną; 2 – z powłoką alkoholową 1; 3 – z powłoką alkoholową 2 Fig. 1. Specimens ready for testing: 1 – with the water-based coating; 2 – with #1 alcohol-based coating; 3 – with #2 alcohol-based coating* 

Tak przygotowane kształtki umieszcza się we wkładce tulei aparatu do badania przyczepności (rys. 2) w ten sposób, aby powierzchnia kształtki z powłoką znajdowała się od strony siatki zabezpieczającej aparatu. Wkładkę z kształtką instaluje się w tulejce aparatu [1].

Na jednej z kształtek ustala się najpierw przybliżoną wartość ciśnienia powietrza, przy którym następuje uszkodzenie powłok. Przy próbnym pomiarze rozpoczyna się przedmuchiwanie kształtki sprężonym powietrzem o ciśnieniu 0,05 MPa i następnie zwiększa się The specimens were deemed prepared and placed in the sleeve insert of an adhesion testing machine (Fig. 2), with the coated face of each specimen facing the safety mesh of the machine. The insert loaded with the specimen was then inserted into the sleeve of the machine [1].

One of the specimens was used to determine the approximate compressed air pressure value at which the coating failed, known as the failure pressure. The check test proceeded as follows: compressed air was



Rys. 2. Aparat do pomiaru przyczepności powłok ochronnych Fig. 2. Protective coating adhesion testing machine

je skokowo o 0,025 MPa, aż do uszkodzenia powłoki. Na pięciu pozostałych próbkach badanie rozpoczyna się od ciśnienia sprężonego powietrza mniejszego o 0,025 MPa od tego ciśnienia, przy którym nastąpiło uszkodzenie powłoki ochronnej na próbnej kształtce. Wartość otrzymanego ciśnienia powodującego uszkodzenie powłoki stanowi miarę przyczepności ( $N_p$ ) naniesionej powłoki [1]. Do ustalenia miarodajnej wartości bierze się wyniki 5 pomiarów, odrzuca się dwa wyniki skrajne i z trzech pozostałych wyników oblicza się średnią arytmetyczną. Różnica między wynikami skrajnymi wziętymi do obliczeń nie powinna przekraczać 0,025 MPa. Im większa wartość  $N_p$ , tym lepsza przyczepność powłoki ochronnej [1].

W tabeli 1 przedstawiono wyniki pomiaru przyczepności powłok dla jednej warstwy naniesionej na kształtkę.

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że najwyższą wartość średnią ma powłoka alkoholowa 2, co oznacza że ona ma najlepszą przyczepność powłoki do masy formierskiej.

Na rysunku 3 przedstawiono wykres porównujący wszystkie zastosowane w badaniach przyczepności powłoki ochronne.

supplied at 0.05 MPa and gradually increased in increments of 0.025 MPa until the coating failed. The test for each of the remaining five samples began by applying compressed air at 0.025 MPa lower than the failure pressure determined from the first specimen tested. The final failure pressure was considered the measure of adhesion ( $N_p$ ) for the protective coating [1]. To produce a reliable result, the results from 5 tests were included, then the two outlying test results were discarded and an arithmetic mean was calculated from the remaining three test results. The difference between the minimum and maximum results of the mean test value was not to exceed 0.025 MPa. The higher the  $N_p$  value, the better the adhesion of the protective coating [1].

Table 1 shows the protective coating adhesion test results for a single coating layer applied to the test specimen.

The results (shown above) indicate that the #2 alcohol-based protective coating had the highest mean test value, therefore the best adhesion to the tested sand mix types.



Figure 3 gives a comparison of all the protective coatings tested for adhesion.

*Rys. 3. Wykres porównujący otrzymane wyniki przyczepności powłok dla zastosowanych w pracy powłok Fig. 3. Comparative chart of tested adhesion values of the protective coatings applied to the test specimens* 

Wodna powłoka ochronna Water-based protective coating		
Nr próbki Specimen #	Wartość ciśnienia, MPa Pressure, MPa	Średnia arytmetyczna, MPa Arithmetic mean, MPa
1	0,10	badanie próbne check test
2	<del>0,26</del>	
3	<del>0,14</del>	
4	0,18	0,193
5	0,21	
6	0,19	
Alkoholowa powłoka ochronna 1		
#1 alcohol-based protective coating		
Nr próbki Specimen #	Wartość ciśnienia, MPa Pressure, MPa	Średnia arytmetyczna, MPa Arithmetic mean, MPa
1	0,18	badanie próbne check test
2	0,26	
3	0,27	
4	0,26	0,263
5	<del>0,29</del>	
6	<del>0,23</del>	
Alkoholowa powłoka ochronna 2		
#2 alcohol-based protective coating		
Nr próbki Specimen #	Wartość ciśnienia, MPa Pressure, MPa	Średnia arytmetyczna, MPa Arithmetic mean, MPa
1	0,19	badanie próbne check test
2	0,34	
3	0,32	
4	0,36	0,34
5	<del>0,31</del>	
6	0.38	

### Tabela 1. Wyniki pomiarów przyczepności poszczególnych powłok Table 1. Protective coating adhesion test results

## 3. Badanie ścieralności mas formierskich pokrytych powłokami ochronnymi

Ścieralność jest to skłonność zagęszczonej masy formierskiej do wykruszania się ziaren w zewnętrznej warstwie formy lub rdzenia, w wyniku utraty spoistości i jest ściśle związana z odpornością masy na ścieranie. Duża wartość wskaźnika ścieralności form suszonych (i rdzeni) wynika najczęściej z przepalenia gliny lub spoiwa wskutek wysokiej temperatury suszenia. W praktyce stosowane są metody polegające na określaniu ubytku masy próbki walcowej (φ50 × 50), poddanej ścieraniu w określonych warunkach [2,3].

## 3. Abrasibility testing of sand mixes with protective coatings applied

Abrasibility is the likelihood of grain detachment from a compacted sand mix on the outer layer of the mould or core by loss of integrity. Abrasibillity is closely related to the abrasion resistance of the sand mix. High abrasibility of the cured mould and cores is most often an effect of overbaking the sand or its binder by the application of too high drying temperatures. Industrial practice includes methods for testing and determining the mass loss of cylindrical specimens (dia. 50 × 50) exposed to an abrasive action under controlled conditions [2,3]. Badanie ścieralności wykonano na aparacie produkcji Huty Stalowa Wola (rys. 4). Do badań użyto zalecaną masę śrutu, czyli 1 750 g [1].



The abrasibility was tested using an abrasiometer manufactured by Huta Stalowa Wola (Fig. 4). The test used the recommended shot weight of 1.750 g [1].



Rys. 4. Aparat do oznaczenia ścieralności Fig. 4. Abrasiometer

[1]

Ścieralność (*S*) wyrażoną w % obliczono ze wzoru 1 [2,3]:

$$S = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} * 100\%$$

gdzie:

S – ścieralność masy

 $Q_i$  – masa kształtki przed badaniem

 $Q_2$  – masa kształtki po badaniu

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono wyniki badania skłonności mas do ścierania.

Na rysunku 5 przedstawiono wykres ścieralności kształtek pokrytych jedną warstwą powłoki ochronnej. W odniesieniu do ścieralności badanej kształtki z masy wyjściowej, ścieralność kształtek pokrytych powłoką ochronną zmalała. Przebieg zmian ścieralności wskazuje na korzystny wpływ powłoki ochronnej na tę właściwość. Najmniejszą ścieralność zaobserwowano dla kształtki z alkoholową powłoką ochronną 2.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badania ścieralności dla kształtek pokrytych dwoma warstwami powłoki ochronnej. Ścieralność dla kształtek pokrytych powłoką ochronną w stosunku do masy wyjściowej zmalała. Otrzymane wyniki dla powłoki wodnej oraz dla alkoholowej 1 są zbliżone do siebie, natomiast powłoka 2 ma najniższą wartość, tak jak w przypadku I warstwy naniesionej.

Zastosowanie powłok, zarówno jednej, jak i dwóch warstw, spowodowało spadek ścieralności.

Abrasibility (S) was expressed as a percentage and calculated with Equation 1 [2,3]:

$$S = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} * 100\%$$
 [1]

with:

S- sand mix abrasibility

 $Q_{i}$  – specimen weight before the test

 $Q_{,-}$  specimen weight after the test

Figures 5 and 6 show the results of the sand mix abrasibility tests.

Figure 5 shows the results of the abrasibility tests for the specimens with one layer of the protective coating. The abrasibility of the coated specimens was lower than for the non-coated sand mix. The trend in abrasibility change was related to a favourable effect of the protective coating, in that the abrasibility was reduced. The lowest abrasibility was determined for the #2 alcoholbased protective coating specimen.

Figure 6 shows the abrasibility test results for specimens with two layers of the protective coating. The abrasibility for the specimens with the protective coating was lower than for the non-coated sand mix. The abrasibility results for the water-based protective coating were similar to those for the #1 alcohol-based protective coating, while the #2 alcohol-based protective coating had the lowest abrasibility, similar to the abrasibility results for the one-layer application.

Thus the application of the protective coating in one or two layers reduced the abrasibility of the tested sand mix specimens.



*Rys. 5. Wykres ścieralności w zależności od rodzaju naniesionej powłoki (dla jednej warstwy) Fig. 5. Abrasibility chart as a function of the applied protective coating type (one layer application)* 



*Rys. 6. Wykres ścieralności w zależności od rodzaju naniesionej powłoki (dla naniesionych dwóch warstw) Fig. 6. Abrasibility chart as a function of the applied protective coating type (two layer application)* 

### 4. Pomiar parametru hot distortion

Parametr *hot distortion* pozwala określić skłonność mas do deformacji cieplnej, a także umożliwia ocenę wpływu rodzaju powłoki ochronnej na zachowanie rdzeni [4]. Pozwala on na symulowanie zachowania się rdzeni podczas nagrzewania. W trakcie oddziaływania cieplnego można zaobserwować wiele zjawisk, do których należą: deformacja i destrukcja cieplna bądź mechaniczna, a także termoplastyczność. Powyższe zjawiska mogą decydować o finalnym kształcie odlewu, dokładności wymiarowej czy gładkiej powierzchni oraz występowaniu wad odlewniczych. Ostatecznie ma to wpływ na jakość produkowanych odlewów [5].

Podczas pomiaru deformacji cieplnej za pomocą aparatu DMA kształtkę wykonaną z masy umieszcza się na wsporniku i następuje jej silne nagrzewanie na środku po jednej stronie [6]. W przypadku gdy pomiar wykonywany jest na kształtkach pokrytych powłokami, są one umieszczane warstwą malowaną w stronę źródła ciepła. W następstwie rozszerzalności cieplnej, między zimną a nagrzaną powierzchnią, kształtka zostaje odkształcona od źródła ciepła. Do wolnego końca kształtki przyłożony jest czujnik, za pomocą którego rejestruje się zmiany w odkształceniach.

### 4. Hot distortion testing

Hot distortion defines the sensitivity of a sand mix to distortion when exposed to high temperatures and helps to determine the effect of the applied protective coating type on the casting core [4]. Hot distortion allows simulation of the behaviour of casting cores at the heating stage. Exposure to high temperatures may reveal multiple phenomena, including thermal or mechanical distortion and failure, and thermoplasticity. The phenomena can be defining for the final geometry of the metal casting, its dimensional accuracy, surface roughness, and whether casting defects develop or not. Ultimately, the phenomena contribute to the quality of casting [5].

Hot distortion was tested on a DMA machine with a sand mix specimen placed on a bracket and exposed to intensive heating on one side, at mid height [6]. The test was performed on specimens with a protective coating by aligning the coated side with the heat source. Heat expansion between the cold and hot surfaces caused distortion of the specimen from the heated end. The free end of the specimen was in contact with a distortion detection sensor. A thermoplastic bonding effect occurred during heating up to the point at which the hardened sand mix could not be distorted any furW wyniku termoplastycznego wiązania podczas nagrzewania osiągnięty zostaje punkt, w którym utwardzona masa dłużej już nie może się odkształcić przy obciążeniu. Następstwem tego zjawiska jest odkształcenie w przeciwstawnym kierunku. Wielkość powyższego odkształcenia również zostaje zmierzona i zarejestrowana na wykresie. Definitywny rozkład wiązania powoduje utratę wytrzymałości oraz uplastycznienie kształtki [7,8]. ther under the applied load. One effect of this extreme condition was distortion in the opposite direction. The magnitude of the latter distortion was also measured and recorded on a plot. The definitive decomposition of the bonding caused a loss of strength and plasticization of the specimen [7,8].



*Rys. 7. Wykres deformacji cieplnej w funkcji czasu dla próbek pokrytych powłokami ochronnymi Fig. 7. Hot distortion vs. time in the specimens with the protective coating* 

Na rysunku 7 przedstawiono otrzymane wyniki z pomiaru parametru *hot distortion* dla badanych próbek. Z wyników badań można wywnioskować, że zarówno kształtki bez pokrycia ochronnego, jak również kształtki, na które zostały naniesione powłoki, odkształciły się. Na podstawie wykresu można zauważyć, że największej deformacji w najkrótszym czasie ulega kształtka na którą nie naniesiono powłoki. Biorąc pod uwagę wszystkie wykresy, najmniejszej deformacji uległa próbka z powłoką wodną, jednak analizując czas odkształcenia widać, że deformacja tej powłoki nastąpiła szybciej niż powłoki alkoholowej 2.

### 5. Wnioski

Niniejsze badania związane były z zastosowaniem powłok ochronnych. Ważnym aspektem badań było poznanie podstawowych właściwości powłok oraz usystematyzowanie sposobu ich badania.

Dzięki otrzymanym wynikom można zauważyć, że najwyższą wartość średnią ma powłoka alkoholowa 2, co oznacza, że ma ona najlepszą przyczepność powłoki do masy formierskiej. Najniższą wartość osiągnęła powłoka wodna.

W porównaniu do masy wyjściowej zastosowanie powłok ochronnych zmniejszyło ścieralność mas. Powłoki ochronne spełniły swoją funkcję, zabezpieczyły kształtki przed czynnikiem ścierającym.

Pomiar parametru hot distortion wykazał, że najodporniejsza okazała się kształtka z powłoką alkohoFigure 7 shows the hot distortion results for the specimens. The results suggest that the non-coated and coated specimens suffered from hot distortion. Figure 7 shows that the highest hot distortion value occurred with the non-coated specimen, and it developed in less time than the other specimens. In considering all the data plotted from the test, the lowest maximum hot distortion occurred with the specimen with the water-based protective coating; however, the hot distortion time of that specimen shows that the coating distorted sooner than for the #2 alcohol-based protective coating.

### 5. Conclusions

The tests described in this paper concerned the application of protective coatings onto sand mixes. The important elements described were the performance of the protective coatings and the systematizing of their testing.

The results from the testing indicate that the highest mean test value occurred for the #2 alcohol-based protective coating, which means it had the best adhesion to the sand mix of all the tested specimens. The highest value was found for the water-based protective coating.

Compared to the non-coated sand mix, the protective coatings reduced abrasibility. The protective coatings were effective in protecting the specimens from the abrasive medium. lową 2, miała ona jednak większe odkształcenie od kształtki z powłoką wodną.

Na podstawie wykonanych badań można zauważyć, że pomiar przyczepności powłok ma swoje odzwierciedlenie w pozostałych pomiarach. Zarówno ścieralność mas pokrytych powłokami, jak i pomiar parametru *hot distortion* wykazały, że dzięki najlepszej przyczepności powłoka 2 miała najniższą wartość ścieralności oraz najdłużej wytrzymała podczas badania deformacji cieplnej. The hot distortion testing revealed that the #2 protective coating was the most resistant to hot distortion; however, the actual hot distortion of that specimen was higher than of the specimen with the water-based protective coating.

It was shown that the tested coating adhesion was reflected by other tests discussed in this paper. Both the abrasibility of the coated sand mixes and the hot distortion tests proved that the #2 alcohol-based protective coating had both the lowest abrasibility and the longest exposure time to hot distortion by virtue of its high adhesion level.

### Podziękowania

Badania były finansowane z grantu dziekańskiego nr 15.11.170.601.

### The tests were funded from Dean Grant ref. 15.11.170. 601.

Acknowledgements

#### Literatura/References

- 1. Lewandowski L. 1990. Materiały formierskie. Badania. Kraków: Wydawnictwo AGH.
- 2. Lewandowski J.L. 1997. Tworzywa na formy odlewnicze. Kraków: Wydawnictwo "Akapit".
- 3. Lewandowski L. 1991. Masy formierskie i rdzeniowe. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- 4. Jakubski J., Dobosz S.M. 2003. "Analiza deformacji cieplnej mas z zastosowaniem aparatu DMA". Archiwum Odlewnictwa 3 (9) : 246–251.
- 5. Jakubski J., Dobosz S.M. 2005. "Deformacja cieplna rdzeni odlewniczych z powłokami ochronnymi". VIII Konferencja Odlewnicza TECHNICAL 2005, Ostrawa.
- 6. Jakubski J. 2006. *Skłonność wybranych mas formierskich do deformacji przy wysokiej temperaturze*. Praca doktorska, Kraków.
- 7. Jakubski J., Dobosz S.M. 2006. "Wpływ powłoki ochronnej na zjawiska cieplne w rdzeniach odlewniczych". *Archiwum Odlewnictwa* 6 (18) : 453–458.
- Wildhirt E., Jakubski J., Kamińska J. 2017. Selected properties of protective coatings applied to moulds and cores. W: ICCME 2017: International Conference of Casting and Materials Engineering, Foundryman's Day : Cracow, November 9–10, 2017. Book of abstracts, s. 40. Kraków: AGH.



Open Access. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 (CC BY-SA 3.0).