

ZASTOSOWANIE MAS FORMIERSKICH ZE SPOIWEM GEOPOLIMEROWYM DO PRODUKCJI ODLEWÓW ZE STOPÓW AI

APPLICATION OF MOULDING SANDS WITH GEOPOLYMER BINDER IN THE MANUFACTURE OF CASTINGS FROM ALUMINIUM ALLOYS

Franciszek Pezarski¹, Irena Izdebska-Szanda¹, Elżbieta Smoluchowska¹,
Roman Świder², Andrzej Pysz²

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

²Innowacja Sp. z o.o., ul. Jana Szyrowskiego 1, 39-460 Nowa Dęba

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych charakterystyki wiązania mas formierskich ze spoiwami nieorganicznymi geopolimerowymi oraz dla porównania z żywicą furanową i alkaliczną przeznaczonych dla odlewów ze stopów na bazie aluminium. Przeprowadzone badania wykazały między innymi, że masy z udziałem spoiwa geopolimerowego charakteryzują się dużą wytrzymałością i przepuszczalnością oraz małą gazotwórczością. Istnieje duża możliwość regulacji szybkości wiązania tych mas przez zastosowanie odpowiedniego utwardzacza. Masy ze spoiwem geopolimerowym uzyskują niższe wartości wytrzymałości końcowej w porównaniu do mas furanowych, co jest korzystne przy wybijaniu masy nieprzepalonej z formy. Badania modelowe wykazały przydatność mas ze spoiwem geopolimerowym do wykonywania form piaskowych oraz piaskowo-kokilowych dla odlewów ze stopów aluminium.

Słowa kluczowe: masy formierskie, spoiwa nieorganiczne geopolimerowe, badania modelowe, formy piaskowe

Abstract

The article presents the results of laboratory tests on the binding characteristics of moulding sands with inorganic geopolymer binders and for comparison with furan resin and alkaline resin, designed for casting of aluminium - based alloys. The carried out investigations have proved, among others, that sands with geopolymer binder are characterised by high strength and permeability and low gas evolution rate. There is real possibility to control the binding rate of these sands through application of appropriate hardener. Sands with geopolymer binder have lower final resistance than furan sands which is beneficial when unburnt sand is knocked out from mould. Simulation studies have proved the usefulness of sands with geopolymer binder in the manufacture of sand moulds and metal moulds with sand cores for aluminium alloy castings.

Keywords: moulding sands, inorganic geopolymer binders, simulation studies, sand moulds

Wstęp

Przy produkcji jednostkowej i małoseryjnej odlewów ze stopów aluminium w formach wykonywanych ręcznie z mas bentonitowych występują ograniczenia w wydajności produkcji i duże trudności w uzyskiwaniu odlewów o wymaganej jakości. W ramach realizacji projektu celowego nr 6 ZR7 2009 C/07346 prowadzone są badania nad wdrożeniem produkcji odlewów ze stopów aluminium w masach formierskich z zastosowaniem nowego ekologicznego nieorganicznego spoiwa geopolimerowego.

Spojwa geopolimerowe *Rudal A* i *Geopol* to modyfikowane szkła wodne, zawierające nieorganiczne polimery zbudowane na bazie krzemu i glinu. Polimery te nazywane są także „polisialatami” i tworzone są przez łańcuchy tetraedrów SiO_4 i AlO_4 . Od proporcji tych składników i sposobu ich przygotowania zależą właściwości uzyskanego spoiwa. Spojwa geopolimerowe *Rudal A* i *Geopol* to klarowne lepkie cieczki o małym stopniu polimeryzacji. Na skutek działania utwardzacza spoiwa te ulegają stopniowej polimeryzacji, co powoduje sukcesywny wzrost lepkości cieczy i jej przemianę w substancję stałą – polimer o wysokiej zdolności wiążącej – nie zachodzi tu zjawisko synerzy. Wynikiem procesu polimeryzacji jest stały polimer nieorganiczny o charakterystycznej strukturze.

Do utwardzania mas samoutwardzalnych z tym spoiwem stosowanych jest kilka specjalnych utwardzaczy, które pozwalają na regulację czasu przydatności masy do formowania i czasu wiązania. Przebieg polimeryzacji tego spoiwa całkowicie odbiega od żelowania szkła wodnego, w którym na skutek działania utwardzacza estrowego tworzy się po upływie okresu inkubacyjnego elastyczny żel. Z upływem czasu w żelu dochodzi do zjawiska znanego jako syneriza, czyli wydzielenia się z żelu fazy ciekłej.

Różnica pomiędzy spoiwem geopolimerowym a żelem szkła wodnego jest widoczna także w zakresie typu destrukcji osłony wiążącej. Żel szkła wodnego ma stosunkowo małą wytrzymałość, a destrukcja osłony wiążącej ma charakter kohezyjny; dochodzi do naruszenia wytrzymałości spoiwa. Geopolimer natomiast charakteryzuje się dużą wytrzymałością i w przypadku obciążenia dochodzi do oderwania warstwy spoiwa od powierzchni ziarna, przy czym nie dochodzi do naruszenia spoiwa w zakresie mostku wiążącego. Destrukcja ma charakter adhezyjny.

Szybkość wiązania spoiw geopolimerowych można regulować aktywnością utwardzaczy, podobnie jak to ma miejsce w przypadku szkła wodnego, stosując utwardzacze o różnej aktywności, a także temperaturą, w której zachodzi reakcja utwardzania. Znajomość tych czasów pozwala odlewni na regulację czasów utwardzania mas [1–10].

Dla spoiwa *Rudal A* utwardzacze oznaczone są symbolami SA 61–SA 66. Dla spoiwa *Geopol* SA 71–SA 76.

Badania laboratoryjne charakterystyki wiązania mas z nowym ekologicznym spoiwem geopolimerowym pod kątem doboru optymalnej technologii formy i rdzenia dla małoseryjnej produkcji odlewów ze stopów Al

Dla określenia charakterystyki wiązania spoiw nieorganicznych geopolimerowych *Rudal A* i *Geopol*, przeprowadzone zostały badania mas z ich udziałem oraz dla porównania mas ze spoiwami organicznymi, a mianowicie z żywicą furanową *Kaltharz X850* oraz żywicą alkaliczną rezolową *Sinotherm 5583*, a także masy bentonitowej obiegowej z odlewni stopów Al.

W tabeli 1 przedstawiono uśrednione wyniki badań właściwości technologicznych wybitej masy bentonitowej obiegowej pobranej z odlewni stopów Al w stanie przed i po dowlżeniu w warunkach laboratoryjnych.

Tabela 1. Właściwości technologiczne i gazotwórczość masy bentonitowej obiegowej z produkcji form dla odlewów ze stopów aluminium przed (I) i po dowlżeniu (II)

Table 1. Technological properties and gas evolution rate from bentonite system sand used in the manufacture of moulds for Al alloy castings before (I) and after the sand conditioning (II)

Skład masy (cz.wag)	Wilgotność, $W_m, \%$	Wytrzymałość na ściskanie R_c, MPa	Wytrzymałość na rozciąganie, R_m, MPa	Przepuszczalność $P_w, \text{j.p.}$	Osypliwosć $S_w, \%$	Zagęszczalność, $Z, \%$	Płynność $L_p, \%$	Wytrzymałość w strefie przewłżonej, $R_m, \text{N/cm}^2$	Gazotwórczość $G, \text{cm}^3/\text{g}$
(I) Piasek* 100,0 Bentonit 10,0 Dekstryna 2,0 Pył węglowy 5,0	1,79	0,085	0,0144	250	49,0	46	74,0	0,093	8
(II) Piasek* 100,0 Bentonit 10,0 Dekstryna 2,0 Pył węglowy 5,0	3,65	0,060	0,0052	200	15,5	62	79,9	0,145	8

*Piasek Grudzeń Las 1K – 0,20/0,16/10

W ramach przeprowadzonych badań masy samoutwardzalne z udziałem spoiwa *Geopol*, *Rudal A*, żywicy *Kaltharz X850* oraz *Sinotherm 5583* sporządzano z zastosowaniem piasku Grudzeń Las – 1K 0,20/0,16/0,10. Do utwardzania mas formierskich ze spoiwem *Geopol* zastosowano utwardzacze o różnym stopniu aktywności SA71 i SA74.

Utwardzaczem dla mas ze spoiwem *Rudal A* były utwardzacze SA61 i SA65 o różnej aktywności. Utwardzaczami dla żywic były aktywatory 100 T3 (dla masy furanowej) i 3340 (dla masy rezolowej). Masy wykonywano w mieszarce laboratoryjnej wstępowej LM-R2.

Sposób wykonywania mas zarówno ze spoiwami *Geopol* i *Rudal A*, jak i z żywicami *Kaltharz X850* i *Sinotherm 5583* był identyczny. Do piasku dodawano w pierwszej kolejności utwardzacze (lub aktywatory) i mieszano 1,5 minuty, po czym dodawano spoiwa i mieszano kolejne 1,5 minuty. Próbki walcowe do badań wytrzymałości na ściskanie i przepuszczalności oraz próbki podłużne do badań wytrzymałości na zginanie wykonywano przy użyciu urządzenia do wibracyjnego zagęszczania. Badania prowadzono przy temperaturze około 20°C i wilgotności powietrza około 30%. W tabeli 2 zestawiono uśrednione wyniki z powyższych badań.

Badania kinetyki wiązania mas w komorze klimatyzacyjnej

Właściwości mas formierskich i rdzeniowych uzależnione są między innymi od temperatury i wilgotności otoczenia. W zależności od pory roku warunki wykonywania form i rdzeni zmieniają się. W lecie temperatura w odlewni może przekraczać 30°C, a w zimie może osiągać zaledwie 5°C. W celu zbadania wpływu temperatury na właściwości masy formiersko-rdzeniowej, w laboratorium Instytutu Odlewnictwa przeprowadzono badania porównawcze właściwości masy formierskiej sporządzonej z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* w temperaturze 8 i 22°C. Badania prowadzono w komorze badań termicznych, w której istnieje możliwość ustawiania żądanej temperatury w granicach od +5 do +30°C z dokładnością $\pm 2^\circ\text{C}$ i wilgotności 30–80% z dokładnością $\pm 5\%$. Przyjęto następujące parametry pracy komory: temperatura 8 i 25°C, wilgotność 40 i 70%. Wyniki badań wytrzymałościowych (średnie z pomiarów) zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 2. Właściwości technologiczne i gazotwórczość mas formierskich wykonanych laboratoryjnie na bazie spoiw Geopol, Rudal A, żywicy X850 i żywicy Sinotherm 5583

Table 2. Technological properties and gas evolution rate from laboratory-made moulding sands prepared with Geopol and Rudal A binders, X850 resin and Sinotherm 5583 resin

Lp.	Skład masy (w cz.wag.)	Żywotność, min	Przepuszczalność P, j.p.			Wytężalność na ściskanie R _c , MPa			Wytężalność na zginanie R _g , MPa			Gazotwórczość G, cm ³ /g
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	
1.	Piasek 100,0 Geopol 2,0 Utw. SA 0,3 71:74 (1:1)	19	190	195	195	0,98	1,67	2,57	0,40	0,90	1,63	6
2.	Piasek 100,0 Geopol 2,0 Utw. SA 71 0,24	37	2 h 200	200	205	2 h 0,56	1,19	3,01	2 h 0,27	0,55	1,74	6
3.	Piasek 100,0 Geopol 2,0 Utw. SA 74 0,24	17	210	200	200	0,76	2,01	3,63	0,31	0,94	1,74	6
4.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 61 0,2	54	2 h 220	220	215	2 h 0,73	1,69	3,81	2 h 0,27	0,69	1,33	6
5.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 65 0,20	21	220	230	220	0,99	1,99	3,48	0,38	0,68	1,32	6
6.	Piasek 100,0 Żywica X850 0,8 Utw. 100 T3 0,40	13	190	195	190	1,45	2,96	3,44	0,88	1,25	1,43	10
7.	Piasek 100,0 Sinotherm 5583 1,0 Aktywat. 3340 0,25	17	200	200	200	0,42	0,80	1,03	0,27	0,47	0,53	10

Tabela 3. Właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A badanych w temperaturze otoczenia 8 oraz 25°C i przy wilgotności względnej 40 oraz 70%

Table 3. Technological properties of moulding sands prepared with geopolymer Rudal A binder tested at ambient temperature of 8°C and 25°C and at the humidity of 40 and 70%

Lp.	Skład masy (w cz.wag.)	Żywotność, min	Przepuszczalność P, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie R _c , MPa			Wytrzymałość na zginanie R _g , MPa		
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
Temperatura w komorze 25°C, wilgotność 40%											
1.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 61 0,20	57	2 h 205	210	210	2 h 0,78	1,25	1,79	2 h 0,23	0,47	0,93
2.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 65 0,20	15	215	210	215	0,52	1,17	1,77	0,38	0,53	0,91
Temperatura w komorze 25°C, wilgotność 70%											
3.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 61 0,20	60	2 h 205	210	210	2 h 0,80	1,22	1,80	2 h 0,24	0,44	0,90
4.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 65 0,20	15	215	210	215	0,50	1,15	1,75	0,36	0,51	0,89
Temperatura w komorze 8°C, wilgotność 40%											
5.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 61 0,20	96	-	195	195	-	0,49	1,26	-	0,26	0,78
6.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 65 0,20	25	195	195	200	0,50	0,99	1,35	0,26	0,43	0,76
Temperatura w komorze 8°C, wilgotność 70%											
7.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 61 0,20	94	-	195	195	-	0,50	1,26	-	0,26	0,77
8.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 Utw. SA 65 0,20	23	195	195	195	0,50	0,98	1,33	0,25	0,42	0,74

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że na czas przydatności do formowania mas ze spoiwem geopolimerowym i szybkość ich wiązania, a więc wytrzymałość masy, oprócz aktywności utwardzacza wpływa głównie temperatura otoczenia. Wpływ wilgotności otoczenia na właściwości technologiczne masy formierskiej ze spoiwem Rudal jest nieznaczny.

Próby modyfikacji składu kompozycji wiążącej i optymalizacja czasu wiązania mas

W laboratorium Instytutu Odlewnictwa przeprowadzono próby wykonywania mas formierskich z udziałem spoiwa geopolimerowego typu *Geopol*, których celem było określenie zależności szybkości wiązania tego spoiwa od jego udziału w masie formierskiej oraz od ilości zastosowanych utwardzaczy. W tabeli 4 i na rysunkach 1–4 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na zginanie mas formierskich sporządzonych w temperaturze otoczenia z różnym udziałem spoiwa *Geopol* i z różnym udziałem wytypowanych utwardzaczy SA 71 i SA 74.

Tabela 4. Wyniki badań właściwości technologicznych mas formierskich z udziałem zmiennej ilości spoiwa Geopol i utwardzaczy SA 71 i SA 74 (piasek Grudzeń Las 1K – 0,20/0,16/10, temperatura 18–19°C, wilgotność względna 23–26%)

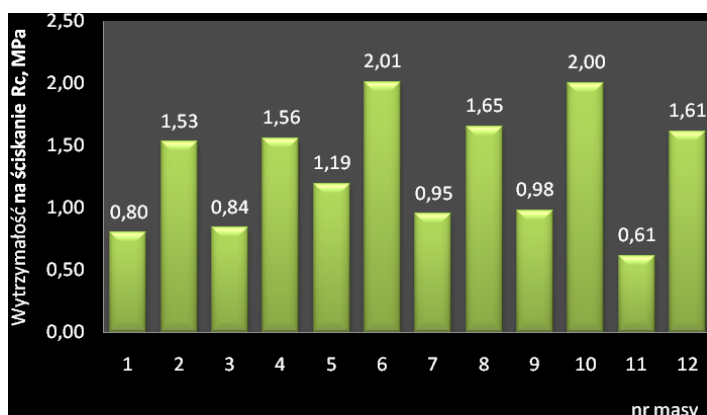
Table 4. The results of testing the technological properties of moulding sands with variable content of Geopol binder and SA 71 and SA 74 hardeners (Grudzeń Las 1K – 0,20/0,16/10 sand, temperature of 18–19°C; ambient humidity 23–26%)

Lp.	Skład masy (w cz.wag.)	Żywotność, min	Przepuszczalność P, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie R _c , MPa			Wytrzymałość na zginanie R _g , MPa		
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
1.	Piasek 100,0 Geopol 1,6 Utw. SA 71 0,20	62	2 h 220	230	225	2 h 0,29	0,80	2,71	2 h 0,21	0,46	1,72
2.	Piasek 100,0 Geopol 1,6 Utw. SA 74 0,20	37	225	220	225	0,70	1,53	2,78	0,29	0,86	1,53
3.	Piasek 100,0 Geopol 1,8 Utw. SA 71 0,20	53	2 h 215	220	220	2 h 0,36	0,84	2,92	2 h 0,21	0,38	1,75
4.	Piasek 100,0 Geopol 1,8 Utw. SA 74 0,22	35	210	215	220	0,72	1,56	2,75	0,32	0,89	1,60
5.	Piasek 100,0 Geopol 2,0 Utw. SA 71 0,24	37	2 h 200	200	205	2 h 0,56	1,19	3,01	2 h 0,27	0,55	1,73
6.	Piasek 100,0 Geopol 2,0 Utw. SA 74 0,24	17	210	200	210	0,76	2,00	3,63	0,31	0,94	1,73
7.	Piasek 100,0 Geopol 2,2 Utw. SA 71 0,26	75	2 h 230	230	230	2 h 0,43	0,96	3,62	2 h 0,22	0,33	1,71

Tabela 4 cd.

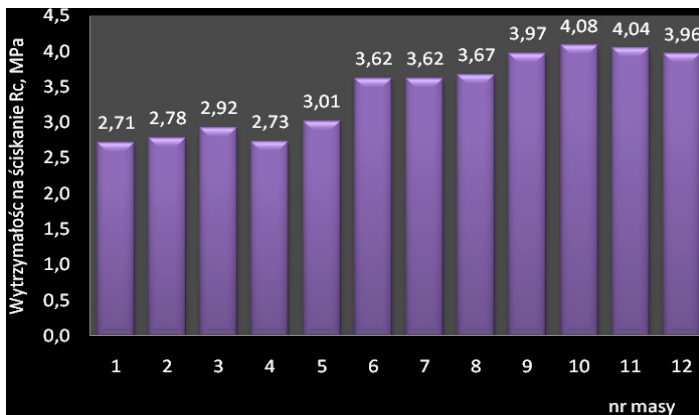
Lp.	Skład masy (w cz.wag.)	Żywotność, min	Przepuszczalność P, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie R _c , MPa			Wytrzymałość na zginanie R _g , MPa		
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
8.	Piasek 100,0 Geopol 2,2 Utw. SA 74 0,26	23	230	230	230	0,75	1,65	3,67	0,31	0,96	1,80
9.	Piasek 100,0 Geopol 2,4 Utw. SA 71 0,29	92	2 h 220	230	220	2 h 0,50	0,98	3,98	2 h 0,25	0,38	1,72
10.	Piasek 100,0 Geopol 2,4 Utw. SA 74 0,29	32	220	230	230	0,94	2,00	4,08	0,38	0,98	1,95
11.	Piasek 100,0 Geopol 2,6 Utw. SA 71 0,3	120	2 h 230	230	235	2 h 0,35	0,61	4,04	2 h -	0,18	1,90
12.	Piasek 100,0 Geopol 2,6 Utw. SA 74 0,3	36	230	230	220	0,60	1,61	3,96	0,26	0,79	1,86

Badania wykazały różnicę w szybkości wiązania spoiwa *Geopol* w zależności od zastosowanych utwardzaczy. Utwardzacz SA 71 zastosowany w odpowiedniej proporcji do spoiwa wydłuża czas przydatności masy formierskiej do formowania (żywotność), natomiast utwardzacz SA 74 zastosowany również w odpowiedniej proporcji w stosunku do spoiwa skraca ten czas. Takie działanie utwardzaczy pozwala na optymalizację czasu żywotności masy przy wykonywaniu mas formierskich, np. w różnych warunkach temperaturowych.



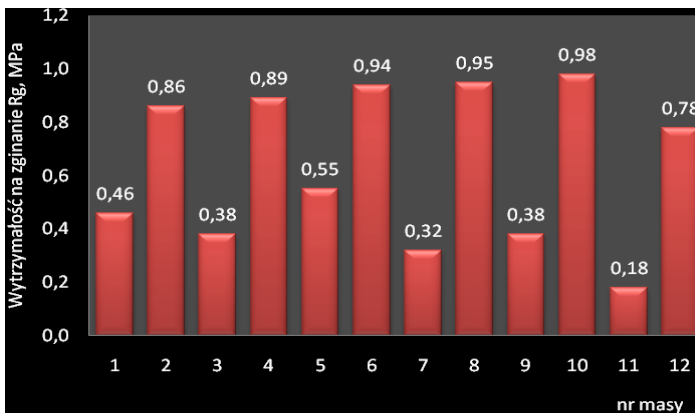
Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie mas formierskich z udziałem spoiwa *Geopol* oraz utwardzaczy SA 71 i SA 74 badana po 3 h

Fig. 1. Compression strength of moulding sands with *Geopol* binder and SA 71 and SA 74 hardeners examined after 3 h



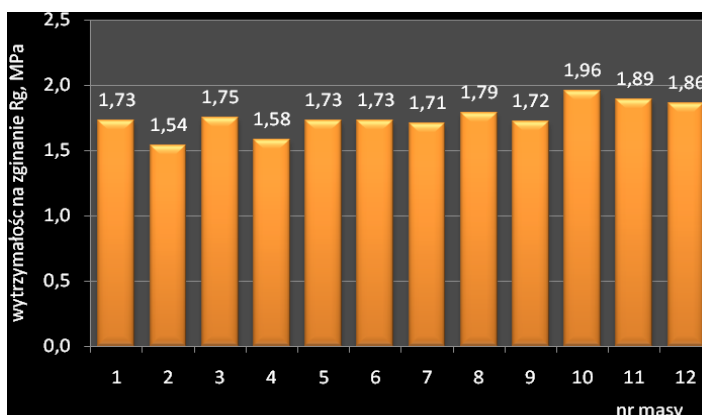
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie mas formierskich z udziałem spoiwa Geopol oraz utwardzaczy SA 71 i SA 74 badana po 24 h

Fig. 2. Compression strength of moulding sands with Geopol binder and SA 71 and SA 74 hardeners examined after 24 h



Rys. 3. Wytrzymałość na zginanie mas formierskich z udziałem spoiwa Geopol oraz utwardzaczy SA 71 i SA 74 badana po 3 h

Fig. 3. Bending strength of moulding sands with Geopol binder and SA 71 and SA 74 hardeners examined after 3 h



Rys. 4. Wytrzymałość na zginanie mas formierskich z udziałem spoiwa Geopol oraz utwardzaczy SA 71 i SA 74 badana po 24 h

Fig. 4. Bending strength of moulding sands with Geopol binder and SA 71 and SA 74 hardeners examined after 24 h

Wprowadzenie nowej technologii wykonywania form z mas formierskich samoutwardzalnych w przypadku produkcji małoseryjnej i jednostkowej powinno umożliwić usuwanie modeli w jak najkrótszym czasie, co powinno zapewnić odpowiednią wydajność produkcji przy zastosowaniu pojedynczego omodelowania, jak to najczęściej ma miejsce w przypadku technologii mas bentonitowych.

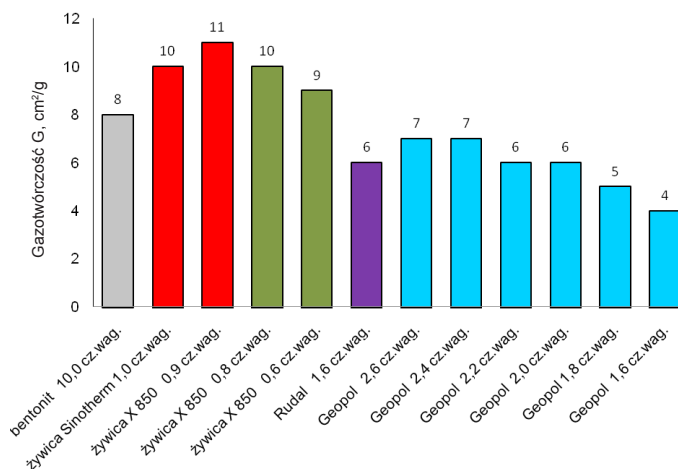
Podczas przeprowadzonych prób zastosowania mas formierskich ze spoiwami typu *Rudal A*, *Geopol*, żywicy *X850* czy żywicy *Sinotherm 5583* masa formierska uzyskiwała wytrzymałość na ściskanie 0,30–0,70 MPa już po czasie utwardzania około 30 min, co umożliwiało kompletowanie form oraz uzyskiwanie dobrych odlewów ze stopów Al. Z przeprowadzonych badań wynika, że masy ze spoiwami geopolimerowymi *Rudal A* i *Geopol* oraz z żywicami *X850* i *Sinotherm 5583* uzyskują wartości wytrzymałości na ściskanie znacznie przewyższające wytrzymałości masy bentonitowej na wilgotno już po czasie utwardzania około 30 minut.

Zaznaczyć należy, że masy bentonitowe formowane na wilgotno, w odróżnieniu od mas samoutwardzalnych wykazują większą elastyczność i podatność na odkształcenia, co umożliwia rozbieranie formy przy znacznie mniejszych wytrzymałościach, a drobne uszkodzenia formy mogą być naprawiane ręcznie przez formierza.

Badania gazotwórczości mas

W trakcie prób laboratoryjnych wykonywania mas formierskich przeprowadzane były badania gazotwórczości każdego rodzaju mas.

Porównanie gazotwórczości mas ze spoiwem organicznym i nieorganicznym oraz masy bentonitowej pokazano na rysunku 5.



Rys. 5. Porównanie gazotwórczości badanych mas ze spoiwem organicznym i nieorganicznym z gazotwórczością masy bentonitowej

Fig. 5. Comparison of gas evolution rate from the tested sands with organic and inorganic binders with the gas evolution rate from bentonite sand

Jak wynika z przeprowadzonych badań, gazotwórczość masy uzależniona jest od rodzaju spoiwa i jego zawartości w masie. Spośród badanych mas największą gazotwórczością charakteryzują się masy ze spoiwem żywicznym. Masy ze spoiwem nieorganicznym (*Rudal A* i *Geopol*) posiadają mniejszą gazotwórczość od mas bentonitowych i żywicznych.

Wnioski

1. Z przeprowadzonych badań wynika, że masy formierskie ze spoiwami geopolimerowymi charakteryzują się dobrą wytrzymałością na ściskanie i zginanie (większą od mas z żywicą *Sinotherm 5583* i mniejszą od mas furanowych z żywicą *X850*).
2. Istnieje duża możliwość regulacji szybkości wiązania mas ze spoiwami geopolimerowymi poprzez zastosowanie odpowiednio reaktywnego utwardzacza.
3. Szybkość wiązania mas samoutwardzalnych ze spoiwem geopolimerowym zależy w dużym stopniu od temperatury otoczenia i w niewielkim stopniu od wilgotności otoczenia.
4. Czas przydatności do formowania mas formierskich ze spoiwami geopolimerowymi (żywołność masy formierskiej) zależy między innymi od rodzaju zastosowanego utwardzacza, jak również w dużym stopniu od temperatury otoczenia i wynosić może od kilkunastu minut do ponad 1,5 h.
5. Masy formierskie ze spoiwami geopolimerowymi charakteryzują się małą wartością gazotwórczości i znacznie mniejszym poziomem odczuwalnego, nieprzyjemnego zapachu wydzielanego do otoczenia, w stosunku do mas formierskich ze spoiwami żywicznymi, co ma bardzo duże znaczenie.

Podziękowania

Badania związane z zastosowaniem mas formierskich ze spoiwem geopolimerowym do produkcji odlewów ze stopów Al zostały wykonane w ramach realizacji projektu celowego nr 6 ZR7 2009 C/07346, pt.: „Opracowanie i wdrożenie technologii wytwarzania wysokojakościowych odlewów ze stopów Al dla aparatury energetyki przemysłowej w masach formierskich z nowym ekologicznym spoiwem nieorganicznym”.

Literatura

1. Novotny J.: Self-setting sands with geopolymer binding system, Conference Proceedings, VIII Foundry Conference Technical, 2005 (in Polish).
2. Jelinek P., Skuta R.: Modified sodium silicates – a new alternative for inorganic foundry binders. *Materials Engineering*, 2003, Vol. 10, No. 3, pp. 283 (in Czech).
3. Pezarski F. et al.: An improvement in the technology of moulding sands with inorganic binders and in their reclamation process to increase the economy and quality of castings manufactured from alloys of ferrous and non-ferrous metals, A statutory work No. 6005/00, stage 2007 (in Polish).
4. Izdebska-Szanda I. et al.: An improvement in the technology of moulding sands with inorganic binders and in their reclamation process to increase the economy and quality of castings manufactured from alloys of ferrous and non-ferrous metals, A statutory work No 7005/00, stage 2008 (in Polish).
5. Pezarski F., Maniowski Z., Smoluchowska E., Zieliński L., Novotny J., Frajkor P.: Trials with use of new binder for No-bake mixtures in the foundry Pomet SA at Poznań, *Materiały konferencyjne “Moderni formovací materialy”*, 2006, pp. 227–231.
6. Izdebska-Szanda I., Pezarski F., Smoluchowska E.: Investigating the kinetics of the binding process in moulding sands using new, environment-friendly, inorganic binders, *Archives of Foundry Engineering*, 2008, Vol. 8, No. 2, pp. 61–66.
7. Pezarski F., Maniowski Z., Izdebska-Szanda I., Smoluchowska E.: Badania mas formierskich i rdzeniowych przeznaczonych do produkcji odlewów stalowych z zastosowaniem nowego spoiwa geopolimerowego, *Archiwum Odlewnictwa*, PAN-Katowice, 2006, R. 6, nr 20.
8. Izdebska-Szanda I., Maniowski Z., Pezarski F., Smoluchowska E.: Nowe spoiwo nieorganiczne do wykonywania mas formierskich, *Materials Engineering*, Žilina (SK), 2006, Vol. XIII, No. 3, pp. 51–54.
9. Pezarski F., Smoluchowska E., Izdebska-Szanda I.: Zastosowanie spoiwa geopolimerowego do produkcji odlewów ze stopów żelaza, *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 2008, T. XLVIII, nr 2, s. 19–34.
10. Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Smoluchowska E., Maniowski Z.: Investigation on the application of moulding sand with geopolymer binder in manufacturing of casting from ferrous alloys, *International Conference – Moulding Materials Ecology-Economy*, 2008, Vol. 11, pp. 145–156.