

ZASTOSOWANIE SPOIWA GEOPOLIMEROWEGO DO PRODUKCJI ODLEWÓW ZE STOPÓW ŻELAZA

APPLICATION OF GEOPOLYMER BINDER IN MANUFACTURING OF CASTING FROM FERROUS ALLOYS

Franciszek Pezarski, Elżbieta Smoluchowska, Irena Izdebska-Szanda

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

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań z prób laboratoryjnych i przemysłowych zastosowania nowego spoiwa geopolimerowego Rudal A do produkcji form i rdzeni dla odlewów ze stali węglowej i stopowego oraz z żeliwa szarego. Nowe spoiwo zawiera nieorganiczny polimer zbudowany na bazie krzemu i glinu. Masa formierska z jego udziałem po utwardzeniu charakteryzuje się wysoką wytrzymałością i przepuszczalnością, dobrą płynnością, małą adhezją (łatwe czyszczenie oprzyrządowania), niższą wilgotnością w porównaniu z masami zawierającymi szkło wodne. Spoiwo to w kompozycji z odpowiednim utwardzaczem może być stosowane w technologii sypkich mas samoutwardzalnych. Nadaje się również do wykonywania mas formierskich i rdzeniowych utwardzanych CO₂. Zastosowanie odpowiedniego utwardzacza umożliwia regulację szybkości wiązania mas samoutwardzalnych. Oprócz wymienionych zalet udział spoiwa w masie jest znacznie niższy niż w przypadku mas ze szkłem wodnym. Proces usuwania odlewów z form i rdzeni z odlewów jest bardzo łatwy, a zużyta masa formierska jest bardzo dobrze regenerowalna. Zastosowanie nowego spoiwa w technologii mas samoutwardzalnych i utwardzanych CO₂ poprawia warunki pracy i ochronę środowiska w porównaniu do stosowanych technologii opartych na szkle wodnym oraz mas ze spoiwami organicznymi.

Słowa kluczowe: spoiwa nieorganiczne, spoiwo geopolimerowe Rudal A, masy samoutwardzalne, masy utwardzane CO₂, masy formierskie i rdzeniowe, regeneracja, wybijalność

Abstract

The article presents the results of laboratory and industrial tests on the application of a new geopolymer Rudal A binder used in production of moulding and core sands for castings from carbon and alloyed cast steels and from cast iron. The new binder contains an inorganic polymer based on silicon and aluminium. After hardening the sand with this binder is characterised by high strength and permeability, low viscosity (easy cleaning of the tooling) and low humidity, compared with sands containing sodium silicate. The binder in composition with proper hardener is applicable in the technology of loose self-setting sands. It is also suitable in preparation of moulding and core sands hardened with CO₂. Owing to the use of proper hardener there is a vast range of possibilities to control the binding rate of self-setting sands. Besides the above mentioned advantages, the content of binder in the sand is much lower than in the sands with sodium silicate, which reduces the binder cost on purchase. The sand offers very good knocking out properties and reclaimability. Application of the new binder in the technology of self-setting and CO₂ hardened sands improves the work conditions and environmental protection, compared with the sodium silicate-based sand technology and sands with organic binders.

Key words: inorganic binder, geopolymer Rudal A binder, self-setting sands, sands hardened with CO₂, moulding and core sands, reclamation, knocking out properties

Wprowadzenie

Od kilku lat w kraju i na świecie obserwuje się wzrost zainteresowania spoiwami nieorganicznymi wykorzystywanymi do wykonywania mas formiersko-rdzeniowych.

Prowadzone są prace nad modyfikacją istniejących spoiw nieorganicznych lub opracowywane są nowe spoiwa nieorganiczne np.: nowe spoiwo nieorganiczne CORDIS przeznaczone do wykonywania rdzeni w strzelarkach [1], spoiwo nieorganiczne oferowane w systemie Hydrobond [2], czy nieorganiczne spoiwo geopolimerowe Rudal [3, 4, 9].

W Instytucie Odlewnictwa np. do modyfikacji szkła wodnego zastosowano między innymi dodatki organofunkcyjne typu polimerów i kopolimerów akrylowych, polialkoholi winylu, które mają zapewnić zarówno poprawę wybijałości, jak i lepsze właściwości technologiczne mas, przy równoczesnym obniżeniu udziału spoiwa w masie [5, 6, 7, 8].

Czeska firma Sand Team Sp. z o.o. opracowała nowe nieorganiczne spoiwo geopolimerowe, którego produkcję pod nazwą Rudal A podjęto w Polsce. Spoiwo to przeznaczone jest do produkcji mas formierskich i rdzeniowych samoutwardzalnych oraz utwardzanych CO₂. Właściwości tego spoiwa pozwalają na jego ograniczenie w masach formierskich i rdzeniowych o około 50% w stosunku do tradycyjnie stosowanych spoiw ze szkłem wodnym.

1. Badania nad zastosowaniem samoutwardzalnych mas formierskich ze spoiwem geopolimerowym do produkcji odlewów ze staliwa węglowego

W Instytucie Odlewnictwa przeprowadzono badania laboratoryjne i próby przemysłowe zastosowania mas formierskich samoutwardzalnych z udziałem nowego spoiwa geopolimerowego o nazwie Rudal A w miejsce mas ze szkłem wodnym R145 stosowanych w Zakłady Metalurgiczne „POMET” S.A. w Poznaniu do produkcji kilkutonowych odlewów ze staliwa węglowego.

W ramach badań laboratoryjnych, masy formierskie sporządzano z zastosowaniem piasku kwarcowego Biała Góra 1K o frakcji głównej 0,40/0,32/0,20 w mieszarce wstępowej LM-R1, stosując czasy mieszania: piasek + utwardzacz 1,5 minuty i piasek + utwardzacz + spoiwo 1,5 minuty.

Masy formierskie ze szkłem wodnym wykonywano z udziałem utwardzacza flodur 5, a masy z nowym spoiwem z udziałem utwardzacza SA 61 (długi czas wiązania) i utwardzacza SA 65 (krótki czas wiązania). Składy mas i ich własności technologiczne przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości technologiczne mas z udziałem szkła wodnego i spoiwa Rudal A

Table 1. Technological properties of sands with sodium silicate and Rudal A binder

L.p.	Skład masy formierskiej, cz. wag.		Przydatność masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność P, 10^{-8} m ² /Pa·s	Wytrzymałość na ściskanie Rc, MPa		
					Czas utwardzania masy formierskiej, godziny		
					1h	3h	24h
1.	Piasek B.Góra	100,0	39	550	0,42	1,35	>5,0
	Szkło R145	4,45		550	0,42	1,28	>5,0
	Flodur 5	0,85		550	0,43	1,32	>5,0
2.	Piasek B.Góra	100,0	22	550	0,45	1,18	3,34
	Rudal A	1,8		550	0,47	1,26	3,29
	Utw. SA 65	0,22		550	0,46	1,25	3,27
3.	Piasek B.Góra	100,0	47	550	-	1,08	3,46
	Rudal A	1,8		550	-	1,11	3,40
	Utw. SA 61	0,22		550	-	1,05	3,39

Analizując uzyskane wyniki badań laboratoryjnych można stwierdzić, że przy zastosowaniu spoiwa geopolimerowego w ilości 1,8 cz. wag. i 0,22 cz. wag. utwardzacza SA 65, wartości wytrzymałości w pierwszych trzech godzinach utwardzania są porównywalne do wytrzymałości jakie uzyskuje masa formierska przy zawartości 4,45% szkła wodnego R145. Po 24 godzinach utwardzania masa ze szkłem wodnym uzyskuje wysoką wytrzymałość, powyżej 5 MPa.

Z uwagi na konieczność możliwości rozbierania formy po ok. 2 godzinach od momentu zaformowania, odlewnia musi stosować tak wysoką ilość szkła wodnego R145, co w efekcie stwarza późniejsze trudności przy usuwaniu odlewów z form i utrudnia regenerację piasków. Zastosowane do badań laboratoryjnych dwa różne utwardzacze SA 65 i SA 61 pokazują, że istnieje możliwość regulacji czasu przydatności masy formierskiej ze spoiwem geopolimerowym do formowania i szybkości jej wiązania. Przez zastosowanie odpowiednich utwardzaczy przy niskiej zawartości spoiwa geopolimerowego uzyskuje się możliwość usuwania modeli po ok. 2 godzinach licząc od momentu wykonania formy, uzyskując wystarczającą końcową wytrzymałość masy po 24 godzinach.

Badania wykazały, że masa ze spoiwem geopolimerowym charakteryzuje się niższymi wartościami wytrzymałości resztkowej (wytrzymałość na ściskanie masy poddanej działaniu podwyższonej temperatury i ochłodzonej do temperatury otoczenia) w stosunku do masy ze szkłem wodnym.

W tabeli 2 pokazano przykładowe porównanie badań wytrzymałości resztkowej na ściskanie masy floster sporządzonej z udziałem szkła wodnego R145 o składzie stosowanym w jednej z polskich odlewni i masy ze spoiwem Rudal A o składzie pozwalającym na uzyskanie parametrów technologicznych masy formierskiej wymaganych w odlewni. Wykres zależności wytrzymałości resztkowej tych mas od temperatury wygrzewania pokazano na rysunku 1.

Z badań mas formierskich ze spoiwem geopolimerowym wynika, że stosując różne rodzaje utwardzaczy można osiągnąć różne czasy przydatności masy do formowania, co pokazano na rysunku 2.

Tabela 2. Wytrzymałość na ściskanie R_c określona w temperaturze otoczenia oraz wytrzymałość resztkowa $R_{c,r}$ mas formierskich sporządzonych z udziałem szkła wodnego gat. 145 i spoiwa RUDAL A poddanych działaniu temperatur w zakresie od 100-1000°C

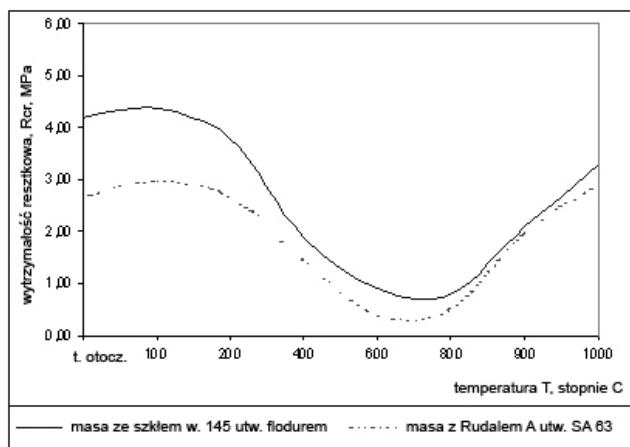
Table 2. Residual compression strength of sands with sodium silicate, grade 145, and RUDAL A binder subjected to the effect of temperature from the range of 100-1000°C

Nr masy	Skład masy formierskiej, cz. wag.	Wytrzymałość na ściskanie R_c , określona w temperaturze otoczenia, MPa			Wytrzymałość resztkowa $R_{c,r}$, MPa							
		Czas utwardzania, godziny			Temperatura wygrzewania, °C							
		1h	3h	24h	100	200	400	600	800	900	1000	
1.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 3 0,4	0,60	2,05	4,20	4,37	3,80	1,90	0,90	0,80	2,10	3,30	
2.	Piasek 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	0,85	2,12	2,70	2,95	2,70	1,46	0,40	0,50	1,96	2,90	

W ramach prób przemysłowych wykonano formy dla odlewu poprzecznicę ze staliwa węglowego z zastosowaniem do wykonania mas formierskich spoiwa geopolimerowego Rudal A. Skład masy formierskiej był następujący (cz. wag.):

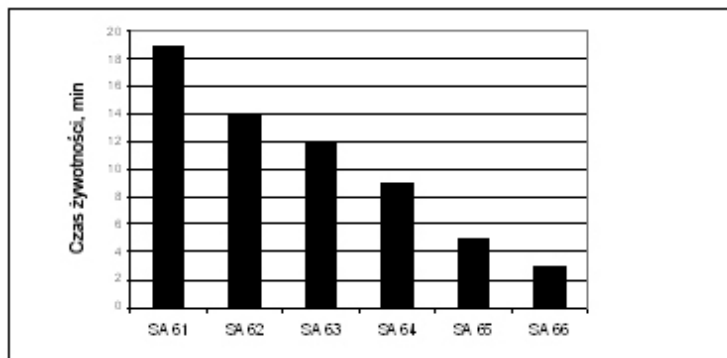
- piasek kwarcowy „Biała Góra” 100,0
- spoiwo RUDAL A 1,8
- utwardzacz SA 65 0,22.

Masy formierskie wykonywano w agregacie PZC-12. Ze względu na niski udział utwardzacza w masie nie było możliwości, przy istniejącej wydajności agregatu 8 ton masy na godzinę, ustawienia wymaganej (0,22 cz. wag) ilości utwardzacza. Najniższa, możliwa do ustawienia wydajność pompy wynosiła 0,35 cz. wag. i z zastosowaniem takiej wydajności wykonywano masy.



Rys. 1. Zmiany wytrzymałości resztkowej na ściskanie mas ze szkłem wodnym gat. 145 i spoiwem Rudal A w zależności od temperatury przegrzania

Fig. 1. Changes in residual compression strength of sands with sodium silicate, grade 145, and RUDAL A binder in function of overheating temperature



Rys. 2. Zmiany czasu żywotności masy ze spoiwem Rudal A w zależności od zastosowania poszczególnych utwardzaczy typoszeregu SA

Fig. 2. Changes in bench life of the sand with Rudal A binder in function of the hardener type from an SA series

Masy formierskie z udziałem piasku chromitowego o frakcji głównej 0,20/0,32/0,40 wykonywano w mieszarce krążnikowej, a ich skład opracowany doświadczalnie w laboratorium zakładowym przedstawiał się następująco:

- piasek chromitowy 100,00 cz. wag.
- spoiwo Rudal A 1,08 cz. wag.
- utwardzacz SA 65 0,13 cz. wag.

Czas przydatności masy do formowania, przy istniejącej na hali temperaturze 10°C, wynosił 16 minut. W trakcie wykonywania form pobierane były próbki masy do badań laboratoryjnych. Wyniki tych badań zamieszczono w tabeli 3.

Formy obracano i usuwano z nich modele po 2 godzinach od momentu ich wykonania. Jako pokrycie stosowano powłoki *Tenocoating ZBBP-16* firmy Foseco. Formy zalano następnego dnia staliwem. Nowe spoiwo spełnia założenia technologii dla tego typu odlewów. Stwierdzono, że proces usuwania odlewów z form jest łatwiejszy niż w przypadku stosowania mas formierskich wykonywanych z udziałem szkła wodnego 145. Ponadto masa formierska nie przywiera do odlewu. Jakość odlewów po oczyszczeniu nie budziła zastrzeżeń. Usunięte z form odlewy pokazano na fotografii 1.

Od dwóch lat ZM „POMET” S.A. do produkcji odlewów ze staliwa węglowego stosuje masy samoutwardzalne ze spoiwem Rudal A, a zużyte masy podlegają regeneracji mechanicznej. Średnio stosuje się 60% regenerowanej osnowy ziarnowej w miejsce świeżego piasku. W odlewni zastosowano również spoiwo Rudal A utwardzane CO₂ (do mas przy produkcji odlewów z aluminium).



Fot. 1. Odlew poprzecznicę ze staliwa węglowego wykonany w masie formierskiej ze spoiwem Rudal A

Photo 1. Cross-bar cast from carbon steel in moulding sand with Rudal A binder

Tabela 3. Wyniki badań właściwości technologicznych mas wykonanych w próbach przemysłowych z udziałem nowego spoiwa Rudal A

Table 3. The results of industrial tests of the technological properties of sands with a new Rudal A binder

Lp.	Skład masy formierskiej, cz. wag.	Przydatność masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność P, $10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa}\cdot\text{s}$			Wytrzymałość na ściskanie Rc, MPa			Wytrzymałość na zginanie Rg, MPa			
			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny			
			1h	3h	24h	1h	3h	24h	1h	3h	24h	
1.	Piasek kwarcowy	100,0	16	600	650	625	0,5	1,14	1,68	0,52	0,64	0,92
	Spoivo Rudal A	1,8		600	650	625	0,84	1,22	1,80	0,51	0,60	1,10
	Utwardzacz SA 65	0,35		600	650	625	0,74	1,26	1,84	0,53	0,78	1,30
				600	650	625	0,66	1,22	1,60	0,55	0,70	1,25
2.	Piasek chromitowy	100,0	15	550	550	500	1,38	1,80	>2,0	-	-	-
	Spoivo Rudal A	1,8		550	550	500	1,42	1,76	>2,0	-	-	-
	Utwardzacz SA 65	0,35						>2,0				

2. Badania zastosowania mas formierskich samoutwardzalnych ze spoiwem geopolimerowym do produkcji odlewów ze staliwa stopowego

W jednej z polskich odlewni ciężkie odlewy ze staliwa manganowego i chromowo-manganowego produkowane są w samoutwardzalnych masach formierskich ze szkłem wodnym 145. Stosuje się tam także masy przymodelowe z żywicą alkaliczną. Spoiwa te pozwalają na stosunkowo szybkie utwardzenie formy i rdzeni, odpowiednio krótki cykl wykonania formy i zalania odlewu. W celu uzyskania wystarczającej wytrzymałości formy w założonym czasie, wynikającym między innymi z ograniczonej długości linii, zachodzi konieczność stosowania dużej ilości szkła wodnego 145, co powoduje między innymi zwiększoną wilgotność masy formierskiej i w konsekwencji powstawanie wad produkowanych odlewów, wynikających z dużej gazotwórczości masy i niedotrzymania wymiarów formy.

Instytut Odlewnictwa w ramach realizowanego projektu celowego zaproponował zastąpienie stosowanego aktualnie szkła wodnego 145 do produkcji mas formierskich, spoiwem geopolimerowym Rudal A. W laboratorium Instytutu Odlewnictwa przeprowadzono badania porównawcze kinetyki wiązania mas formierskich ze spoiwem Rudal A i szkłem wodnym 145, przy różnych temperaturach i wilgotności otoczenia. Do badań zastosowano następujące materiały:

- piasek kwarcowy suszony Szczakowa 1K 0,20/0,40/0,32 o zawartości lepiszcza 0,04%, temperaturze spiekania 1550°C, jednorodności 81%.
- szkło wodne 145,
- spoiwo Rudal A,
- utwardzacze flodur o różnej aktywności do szkieł wodnych,
- utwardzacze SA o różnej aktywności do spoiwa geopolimerowego Rudal A.

W ramach badań laboratoryjnych między innymi wykonano masy o następującym składzie (cz. wag.):

a) szkło wodne 145	3,5
utwardzacz flodur	0,4

Tabela 4. Właściwości technologiczne mas sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145, Rudalu A; badane w temperaturze otoczenia 22°C i przy wilgotności 40%

Table 4. Technological properties of sands with sodium silicate, grade 145, and Rudal A binder tested at ambient temperature of 22°C and the humidity of 40%

Lp.	Skład masy formierskiej, cz. wag.	Przydatność masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność P, 10 ⁻⁸ m ² /Pa·s			Wytrzymałość na ściskanie Rc, MPa			Wytrzymałość na zginanie Rg, MPa		
			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny		
			1h	3h	24h	1h	3h	24h	1h	3h	24h
1.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 1 0,4	49	-	410	410	-	1,86	3,98	-	0,62	1,30
2.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 3 0,4	45	400	400	400	0,70	1,92	4,10	0,30	0,62	1,37
3.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 5 0,4	21	410	410	410	0,78	2,04	4,10	0,30	0,68	1,40
4.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 61 0,3	43	400	400	390	0,75	1,55	2,72	0,28	0,40	1,04
5.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	25	390	400	400	0,86	1,61	2,61	0,35	0,46	1,11
6.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 65 0,3	15	400	410	410	0,98	1,70	2,53	0,35	0,50	1,12

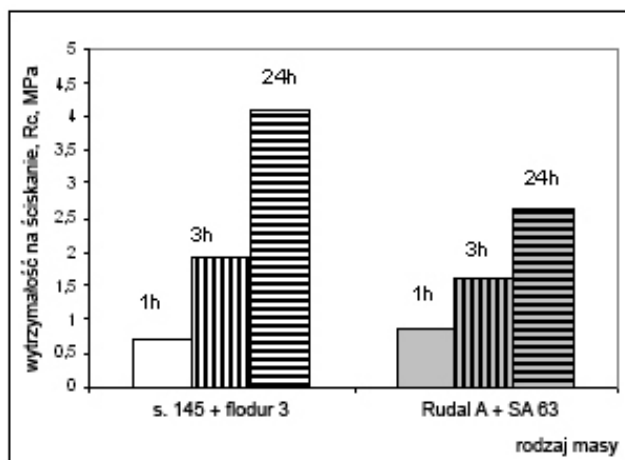
- b) spoiwo Rudal A 2,5
utwardzacz SA 0,3.

Skład masy z udziałem Rudalu A ustalono na podstawie badań modelowych. Przykładowe wyniki badań przedstawiono w tabelach 4 i 5 oraz na rysunku 3.

Tabela 5. Właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145 i Rudalu A, badania przeprowadzono w temperaturze otoczenia 10°C i przy wilgotności 72%

Table 5. Technological properties of sands with sodium silicate, grade 145 and Rudal A binder tested at ambient temperature of 10°C and the humidity of 72%

Lp.	Skład masy formierskiej, cz. wag.	Przydatność masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność P, 10 ⁻⁸ m ² /Pa·s			Wytrzymałość na ściskanie Rc, MPa			Wytrzymałość na zginanie Rg, MPa		
			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny		
			1h	3h	24h	1h	3h	24h	1h	3h	24h
1.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 1 0,4	90	-	400	410	-	1,60	3,10	-	,60	1,31
2.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 3 0,4	66	-	400	400	-	1,66	3,10	-	0,64	1,38
3.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło w. 145 3,5 Flodur 5 0,4	43	400	410	400	0,59	1,75	3,15	0,20	0,65	1,40
4.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 61 0,3	53	-	400	390	-	1,63	2,58	-	1,10	2,30
5.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	40	410	400	400	-	1,78	2,60	-	1,20	2,35
6.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 65 0,3	26	400	410	410	1,08	1,80	2,61	0,50	1,22	2,40



Rys. 3. Przykładowe porównanie właściwości technologicznych mas sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145, utwardzanego flodurem 3 i Rudalu A, utwardzanego SA 63; badane w temperaturze otoczenia 22°C przy wilgotności 40% (wg tabeli 4)

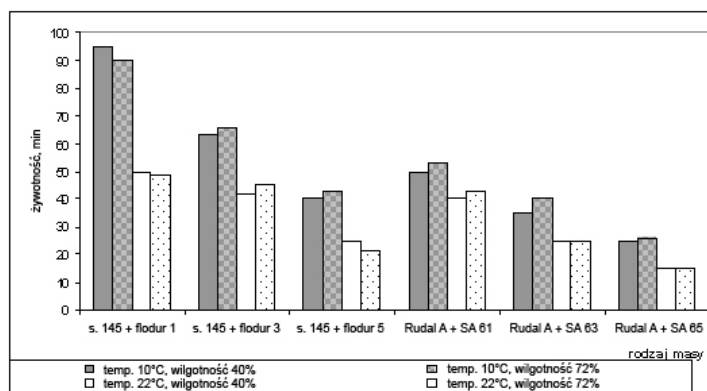
Fig. 3. Technological properties of sands with sodium silicate, grade 145, hardened with flodur 3 compared with the properties of sands with Rudal A binder hardened with SA 63; tested at ambient temperature of 22°C and the humidity of 40% (see Table 4)

W tabeli 6 i na rysunku 4 przedstawiono wyniki badań wpływu wilgotności i temperatury otoczenia na czas żywotności mas.

Tabela 6. Wpływ temperatury i wilgotności względnej otoczenia na czas przydatności do formowania mas sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145 i Rudalu A

Table 6. Effect of ambient temperature and humidity on the bench life (the time during which the moulding sand is suitable for moulding) of sands with sodium silicate, grade 145 and Rudal A

Lp.	Skład masy, cz. wag		Przydatność masy do formowania, min			
			Temperatura, 10°C		Temperatura, 22°C	
			Wilgotność względna, %		Wilgotność względna, %	
			40	72	40	72
1.	Piasek kwarcowy Szkło w. 145 Flodur 1	100,0 3,5 0,4	95	90	50	49
2.	Piasek kwarcowy Szkło w 145 Flodur 3	100,0 3,5 0,4	63	66	42	45
3.	Piasek kwarcowy Szkło w. 145 Flodur 5	100,0 3,5 0,4	40	43	25	21
4.	Piasek kwarcowy Rudal A Utw. SA 61	100,0 2,5 0,3	50	53	40	43
5.	Piasek kwarcowy Rudal A Utw. SA 63	100,0 2,5 0,3	35	40	25	25
6.	Piasek kwarcowy Rudal A Utw. SA 65	100,0 2,5 0,3	25	26	15	15



Rys. 4. Wpływ temperatury i wilgotności otoczenia na żywotność mas (czas przydatności mas do formowania (wg tabeli 6) sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145 i Rudalu A

Fig. 4. Effect of ambient temperature and humidity on the bench life (the time during which the moulding sand is suitable for moulding) of sands with sodium silicate, grade 145 and Rudal A binder (see Table 6)

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że na czas przydatności mas do formowania i szybkość wiązania mas ze szkłem wodnym i spoiwem geopolimerowym Rudal A, a więc i na wytrzymałość masy, oprócz aktywności utwardzacza wpływa głównie temperatura otoczenia. Wpływ wilgotności na czas przydatności mas z badanymi spoiwami nieorganicznymi jest niewielki.

W Instytucie Odlewnictwa przeprowadzono również badania modelowe procesu regeneracji piasku z zużytej masy formierskiej z piaskiem Szczakowa i ze spoiwem Rudal A. Badania miały na celu laboratoryjną ocenę możliwości regeneracji mas zużytych sporządzanych z udziałem nowego geopolimerowego spoiwa Rudal A proponowanego jako zamiennik za aktualnie stosowane w odlewni szkło wodne 145. Oznaczone zostały właściwości fizykochemiczne mas zużytych takie jak: zawartość lepiszcza, analiza ziarnowa, straty prażenia i pH.

Próby regeneracji mechanicznej mas zużytych prowadzono na stanowisku laboratoryjnym w Instytucie Odlewnictwa (rys. 5). Stanowisko to wyposażone jest w dwustopniowe kruszenie (kruszarka szczękowa i młotkowo-udarowa), w laboratoryjny regeneratory talerzowy oraz instalację odciągową.

Parametry fizykochemiczne mas zużytych i regenerowanej osnowy ziarnowej (regeneratów) z nich uzyskanych przedstawiono w tabeli 7.

Tabela 7. Podstawowe parametry fizykochemiczne mas zużytych i zregenerowanej osnowy ziarnowej uzyskanej z mas ze szkłem wodnym 145 i z Rudalem A

Table 7. Physical and chemical parameters of knocked out sands and sands reclaimed from mixtures with sodium silicate, grade 145 and Rudal A binder

Nr sit (mm) oznaczenia	Piasek świeży Szczakowa	Masa zużyta szkło w. 145	Regenerowana osnowa ziarnowa z masy ze szkłem w. 145	Masa zużyta ze spoiwem Rudal A	Regenerowana osnowa ziarnowa z masy ze spoiwem Rudal A
1,60	-	0,10	-	0,10	-
0,80	0,57	0,40	0,43	0,56	0,25
0,63	2,13	1,99	3,04	1,76	1,43
0,40	27,46	12,60	35,45	13,10	29,53
0,32	26,03	16,14	21,86	16,26	26,55
0,20	36,16	43,59	31,37	43,71	34,98
0,16	4,53	9,09	4,53	8,75	4,11
0,10	2,20	6,82	1,93	6,68	1,63
0,071	0,37	2,67	0,67	2,70	0,54
0,056	0,11	1,09	0,10	1,15	0,17
denko	0,06	2,66	0,16	2,70	0,11
suma	99,62	97,15	99,54	97,47	99,30
Ilość lepiszcza, %	0,38	2,85	0,46	2,53	0,70
Fracja główna	0,20/0,40/0,32	0,20/0,32/0,40	0,20/0,32/0,40	0,20/0,32/0,40	0,20/0,32/0,40
Wskaźnik jedn. %	90	75	89	72	92
pH	7,70	10,23	10,08	10,11	10,05
Straty prażenia, %	0,36	1,15	0,62	1,35	0,67

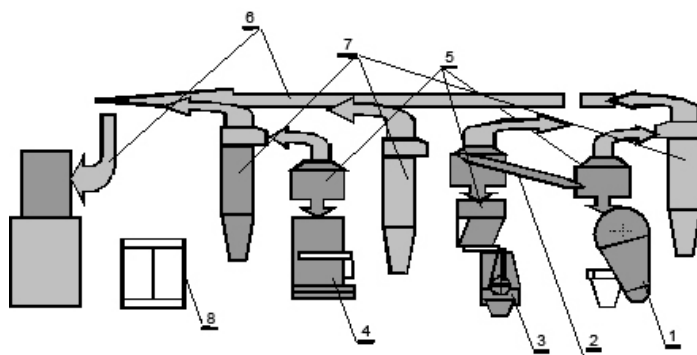
Uzyskane regenerowane osnowy ziarnowe charakteryzują się frakcją główną piasku świeżego i wyższą od mas wybitych jednorodnością. Zawartość pyłów w osnowie ziarnowej regenerowanej nie przekracza 1,0%. Niższe w porównaniu do mas wybitych straty prażenia i pH, świadczą o usunięciu spoiwa z ziarn osnowy ziarnowej.

Z uzyskanymi regenerowanymi osnowami ziarnowymi i świeżym piaskiem, w proporcjach 50/50%, 30/70% i 100% przeprowadzono kontrolne próby wykonywania mas formierskich z udziałem szkła wodnego 145 i spoiwa Rudal A. Badane były podstawowe właściwości technologiczne tych mas w warunkach otoczenia. Wyniki badań technologicznych przedstawiono w tabeli 8. Na rysunku 6 i 7 pokazano przykładowo, wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A z dodatkiem regenerowanej osnowy ziarnowej.

Tabela 8. Porównanie właściwości technologicznych mas sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145 i Rudalu A bez i z udziałem regenerowanej osnowy ziarnowej

Table 8. Comparison of the technological properties of sands with sodium silicate, grade 145 and Rudal A binder with and without an addition of reclaim

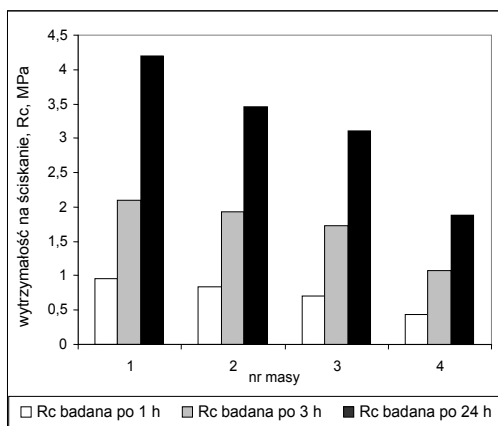
Lp.	Skład masy formierskiej, cz. wag.	Przydatność masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność P, $10^{-8} \text{ m}^2/\text{Pa}\cdot\text{s}$			Wytrzymałość na ściskanie Rc, MPa		
			Czas utwardzania, godziny			Czas utwardzania, godziny		
			1h	3h	24h	1h	3h	24h
1.	Piasek kwarcowy 100,0 Szkło 145 3,5 Flodur 3 0,4	42	420	400	400	0,98	2,11	4,20
2.	Piasek kwarcowy 50,0 Reg.osnowa ziarnowa 50,0 Szkło 145 3,5 Flodur 3 0,4	20	420	450	500	0,84	1,93	3,55
3.	Piasek kwarcowy 30,0 Reg.osnowa ziarnowa 70,0 Szkło 45 3,5 Flodur 3 0,4	14	450	500	420	0,79	1,73	3,10
4.	Reg.osnowa ziarnowa 100,0 Szkło 145 3,5 Flodur 3 0,4	8	430	450	450	0,42	1,10	1,87
5.	Piasek kwarcowy 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	18	460	460	470	1,40	2,41	4,68
6.	Piasek kwarcowy 50,0 Reg.osnowa ziarnowa 50,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	13	470	480	460	1,23	2,31	3,92
7.	Piasek kwarcowy 50,0 Reg.osnowa ziarnowa 70,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	17	490	480	480	1,19	1,79	3,34
8.	Reg.osnowa ziarnowa 100,0 Rudal A 2,5 Utw. SA 63 0,3	20	500	500	490	1,18	1,64	3,20



Rys. 5. Modelowe stanowisko regeneracji mechanicznej piasków z mas samoutwardzalnych, zainstalowane w Instytucie Odlewnictwa: 1 – kruszarka szczękowa; 2 – sito wibracyjne; 3 – kruszarka młotkowo-udarowa; 4 – regenerator talerzowy; 5 – zbiorniki pośrednie; 6 – instalacja odciągowa; 7 – cyklony, 8 – szafa sterownicza

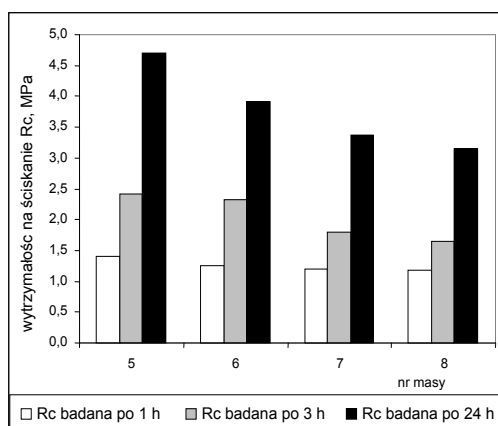
Fig. 5. Pilot stand for mechanical reclamation of sand from the self-setting mixtures operating at Foundry Research Institute: 1 – jaw crusher; 2 – vibrating screen; 3 – hammer-impact crusher; 4 – disc-type reclamation unit; 5 – intermediate tanks; 6 – take off installation; 7 – cyclones, 8 – control board

Dodatek regenerowanej osnowy ziarnowej do mas z udziałem szkła wodnego 145 w ilości 50%, 70% i 100% skraca czas przydatności mas do formowania, wpływa na poprawę przepuszczalności tych mas oraz powoduje obniżenie ich wytrzymałości na



Rys. 6. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem szkła wodnego 145 bez i z udziałem regeneratu (wg tabeli 8)

Fig. 6. Compression strength of sands with sodium silicate, grade 145, with and without an addition of reclaim (see Table 8)



Rys. 7. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem Rudalu A bez i z udziałem regeneratu (wg tabeli 8)

Fig. 7. Compression strength of sands with Rudal A binder with and without an addition of reclaim (see Table 8)

ściskanie. Ta właściwość regenerowanej osnowy ziarnowej musi być brana pod uwagę w powiązaniu z aktywnością utwardzacza i warunkami pogodowymi.

Dodatek regenerowanej osnowy ziarnowej do mas z udziałem Rudalu A w ilości 50% i 70% wpłynął na skrócenie czasu przydatności tych mas do formowania i stopniowe obniżenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie. Przepuszczalność tych mas nie uległa zmianie.

W przypadku mas sporządzonych z udziałem 100% regenerowanej osnowy ziarnowej, czas przydatności mas do formowania był zbliżony do czasu przydatności do formowania mas wykonanych z udziałem świeżego piasku; wzrosła w porównaniu do mas bez dodatku regenerowanej osnowy ziarnowej przepuszczalność i obniżyły się własności wytrzymałościowe.

Obecnie w odlewni prowadzone są próby wdrożenia spoiwa Rudal A do sporządzania mas i form do produkcji odlewów ze staliwa manganowego i chromowo-molibdenowego. Próby prowadzi się przy zastosowaniu mieszarko-nasypywarki „Wöhr” o wydajności 15 t masy/h. Skład masy formierskiej: piasek Grudzeń Las – 100% + Rudal A – 2,5% + utwardzacz SA 63 – 0,22%. Uzyskuje się poprawę jakości odlewów, polepszenie wybijalności i regenerowalności masy. Po zakończeniu prób i badań przewiduje się całkowite zastąpienie szkła wodnego 145 spoiwem Rudal A.

3. Badania nad zastosowaniem mas formierskich samoutwardzalnych ze spoiwem geopolimerowym do produkcji odlewów żeliwnych i staliwnych

Próby wykonywania form i odlewów z żeliwa szarego 250 i staliwa GS z zastosowaniem spoiwa geopolimerowego Rudal A przeprowadzono między innymi w Odlewniach Zabrzeńskich S.A. i METALODLEW S.A. Do sporządzania mas stosowano piasek Szczakowa o frakcji głównej 0,40/0,32/0,20.

W Odlewniach Zabrzeńskich S.A. – w ramach prób – masy wykonywano w mieszarce skrzydełkowej MS 75 o nadawie 80 kg. Skład masy przedstawiał się następująco:

- piasek kwarcowy	100,0	cz. wag.
- spoiwo RUDAL A	2,0	cz. wag.
- utwardzacz SA 65	0,33÷0,35	cz. wag.

Czas mieszania piasku Szczakowa z utwardzaczem SA 65 wynosił 2 minuty, a z utwardzaczem i spoiwem kolejne 2 minuty. Czas przydatności masy do formowania przy istniejącej na hali temperaturze 10°C wynosił 5 minut. Masę sporządzaną porcjami przenoszono do formy i zagęszczano ręcznie. Masa uzyskiwała następujące właściwości: – czas przydatności do formowania ok. 5 min, – wytrzymałość na ściskanie Rc po 1 h około 0,8 MPa, a po 24 h 1,4÷1,8 MPa.

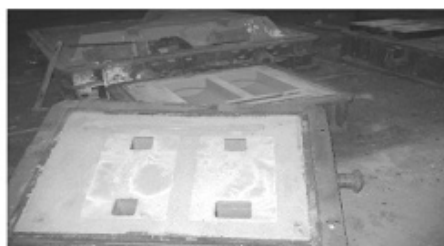
Wykonano formę dla odlewu elementu wypełniającego o masie około 45 kg (fot. 2). Ilość odlewów w formie 2 sztuki. Ciężar masy formy wynosił około 560 kg.

Wnękę formy przed złożeniem powleczono pokryciem, dotychczas stosowanym dla mas ze spoiwem żywicznym utwardzanych CO₂ na bazie alkoholu. Formę złożono i zalano w dniu następnym. Gotowe odlewy pokazano na fotografii 3. Jakość odlewów nie budziła zastrzeżeń.



Fot. 2. Forma dla odlewu elementu wypełniającego przed złożeniem

Photo 2. Mould for filler casting before assembly



Fot. 3. Odlewy elementu wypełniającego wykonane w masie z udziałem spoiwa Rudal A

Photo 3. Filler castings made in the sand with Rudal A binder

Ze względu na krótki okres przydatności masy do formowania (5 minut), w której wykonywano odlew elementu wypełniającego, w kolejnej próbie przemysłowej wykonywania masy z udziałem spoiwa Rudal A, do formy dla odlewu ramy drzwiowej dla koksowni (górna skrzynka formy), zastosowano mieszankę utwardzaczy SA 61 (10%) i SA 65 (90%).

Masę sporządzano w mieszarce łopatkowej o nadawie 500 kg w Odlewni Staliwa. Czas mieszania piasku z utwardzaczem SA 61 wynosił 2 minuty, a z utwardzaczem i spoiwem kolejne 2 minuty. Czas przydatności masy do formowania przy istniejącej na hali temperaturze 130°C wynosił 40 minut.

Gotową masę (500 kg) przetransportowano z Odlewni Staliwa w zbiorniku na wózek szynowy, na którym przewieziono ją do drugiej hali (około 60 m). Stąd suwnicą masa została dostarczona na stanowisko formowania w kesonach (około 50 m). Masa charakteryzowała się czasem przydatności do formowania ok. 40 min oraz wytrzymałością na ściskanie Rc 0,6 MPa po 1 h, 1,10 MPa po 3 h i powyżej 2 MPa po 24 h. Formę wykonywano cząstkowo. Masa całej formy wynosiła ok. 1800 kg. Po upływie 1,5 godziny od zagęszczenia ostatniej części formy formę obrócono. Przed złożeniem wnękę formy powleczono pokryciem dotychczas stosowanym dla mas ze spoiwem żywicznym utwardzanych CO₂ na bazie alkoholu. Formę złożono i zalano żeliwem szarym 250 następnego dnia. Formę i gotowe odlewy pokazano na fotografii 4. Otrzymane odlewy były dobrej jakości i nie budziły zastrzeżeń.



Fot. 4. Forma (górna skrzynka formy) i gotowe odlewy ramy drzwiowej dla koksowni z żeliwa z dodatkiem Cr i Ni

Photo 4. Mould (cope) and ready castings of the door frame for coke plant made from cast iron with additions of Cr and Ni

W ramach prób w METALODLEW S.A. wykonano partię mas, form i odlewów żeliwnych.

Podczas prób, temperatura otoczenia wahała się w okolicach $13\pm 14^{\circ}\text{C}$. Lepkość spoiwa Rudal A mierzona kubkiem Forda o średnicy 4 mm wynosiła około 180 s, lepkość szkła wodnego w tych samych warunkach wynosiła 50 s. Masę sporządzono w mieszarko-nасыpywarce „Wöhr” o wyd. 20 t/h. Udział spoiwa wynosił 1,8% w stosunku do świeżego piasku, a udział utwardzacza 0,22%. Do utwardzania masy użyto dwóch utwardzaczy szybkiego SA 65 i wolnego SA 61 w stosunku 1:1. Wytrzymałość masy na ściskanie wynosiła ok. 0,40 MPa po 1 h, 0,70 MPa po 3 h i 1,50 MPa po 24 h. W czasie wykonywania masy na formy wystąpiły problemy z działaniem instalacji dozowania spoiwa i utwardzacza. Następowo automatyczne wyłączenie układu zasilania. Prawdopodobną przyczyną były złe nastawy automatyki sterowania pomp wynikające ze zwiększonej lepkości Rudalu w stosunku do szkła wodnego.

Na fotografii 5 pokazano wnękę formy wykonanej z masy ze spoiwem Rudal A i odlew balastu zaraz po wybicciu. Formy charakteryzowały się zadawalającą wytrzymałością i dokładnym odwzorowaniem kształtów. Nanoszenie powłoki PCM-2VK nie budziło zastrzeżeń stąd wniosek, że masa nie osypywała się.

Złożone formy zalano żelivem szarym. Czas odstania w formie wynosił około 3 doby. Po upływie tego czasu formy przewieziono na kratę do wybijania. Jakość po-



Fot. 5. Wnęką formy wykonana z masy ze spoiwem Rudal A oraz odlew balastu

Photo 5. Mould cavity made from the sand with Rudal A binder and the casting of ballast

wierzchni odlewu była wyższa niż odlewów balastów wykonywanych w masach na szkłe wodnym. Po piaskowaniu jakość powierzchni odlewów nie odbiegała od jakości powierzchni odlewów wykonanych w masach na bazie szkła wodnego.

Podziękowanie

Artykuł powstał w oparciu o wyniki badań prowadzonych w ramach pracy statutowej Instytutu Odlewnictwa „Doskonalenie technologii mas formierskich ze spoiwami nieorganicznymi i ich regeneracji w aspekcie poprawy ekonomiczności i jakości odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych” 2007 r. (zlec. 6005/00), finansowanej przez MNiSzW oraz na zlecenie firmy Sand Team; prace NCR „Przeprowadzenie prób i badań nad zastosowaniem spoiwa „RUDAL” w polskich odlewniach”, (zlec. 4326/00) oraz „Przeprowadzenie prób nad zastosowaniem nowej kompozycji wiążącej szkła wodnego w warunkach POMET S.A. w Poznaniu” (zlec. 4331/00).

Literatura

1. Löchte K., Boehm R.: Cordis, the inorganic binder system-properties and experience, Casting Plant and Technology International, 2005, R. 21, z. 3, s. 6
2. Löchte K., Boehm R.: Properties and experience of an inorganic binder, Foundry Trade Journal, January 2006, R. 180, s. 28
3. Dobosz St., Major-Gabrys K.: A new additive for moulding sands with water glass, DOKSEM 2003, Slovakia, Rajecke Teplice, 2003, s. 38-41, (in Polish)
4. Novotny J.: Masy samoutwardzalne z geopolimerowym układem wiążącym, Materiały Konferencyjne, VIII Konferencja Odlewnicza Technical 2005
5. Baliński A.: Modyfikacja chemiczna szkła wodnego umożliwiająca zmniejszenie wytrzymałości resztkowej mas formierskich, Praca nauk.-bad. IOd, Kraków 2002, s. 9, zlec.1013/00
6. Baliński A., Izdebska-Szanda I.: Wpływ morfoaktywnych modyfikatorów uwodnionego krzemianu sodu na przemiany temperaturowe zachodzące w masach formierskich z tym spoiwem, Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji, Poznań czerwiec 2004, T. 24, s.19-29
7. Baliński A. i inni: Influence of modification of the sodium silicate with morphotoactive agents on the mechanical properties of the moulding sands in temperatures to 900°C, Materials Eng., 2003, R. 10, z. 3, s. 271
8. Baliński A., Izdebska-Szanda I.: The economical and ecological aspects of using the modified water-glass and fly ash as an additive to green sands, Conferenc Proceedings, 46 Foundry Conf., Portoroz 2006, s. 39. (CD)
9. Novotny J.: Masy samoutwardzalne z geopolimerowym układem wiążącym, Biuletyn Konferencyjny, VIII Konferencja Odlewnicza Technical, 2005, s. 111
10. Pezarski F. i inni: Przeprowadzenie prób i badań nad zastosowaniem spoiwa „RUDAL” w polskich odlewniach. Praca IOd, na zlecenie Firmy SAND TEAM Sp. z o.o. w Brnie, zlec. 4326/00
11. Pezarski F. i inni: Przeprowadzenie prób nad zastosowaniem nowej kompozycji wiążącej szkła wodnego w warunkach POMET S.A. w Poznaniu. Prace na zlecenie przemysłu, NCR, zlec. 4331/00

Recenzent: dr hab. inż. Andrzej Baliński, prof. AP