

BADANIA MODELOWE PROCESU REGENERACJI PIASKÓW ZE ZUŻYTYCH MAS FORMIERSKICH Z NOWYM SPOIWEM NIEORGANICZNYM PRZEZNACZONYCH DO WYTWARZANIA ODLEWÓW ZE STOPÓW AI

MODEL STUDIES OF SAND RECLAMATION FROM THE WASTE MOULDING MIXTURES WITH NEW INORGANIC BINDER USED FOR CASTING OF 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 modelowych procesu regeneracji piasku ze zużytej masy formiersko-rdzeniowej, ze spoiwem nieorganicznym geopolimerowym, pochodzącej z prób wytwarzania doświadczalnych odlewów ze stopów Al. Przeprowadzono ocenę jakościową uzyskanych próbek piasku zregenerowanego i odpadów poregeneracyjnych oraz omówiono możliwość ponownego zastosowania regeneratu w miejsce świeżego piasku do wykonywania mas formierskich i rdzeniowych w produkcji odlewów Al. Przedstawiono wytyczne procesu regeneracji zużytych piasków z odwałowych mas formiersko-rdzeniowych z produkcji odlewów ze stopów Al w małej odlewni.

Słowa kluczowe: masa formierska, spoiwo nieorganiczne geopolimerowe, regeneracja zużytej masy formierskiej, stopy aluminium

Abstract

The article presents the results of model tests and studies of the sand reclamation from waste moulding and core mixtures with an inorganic geopolymer binder, used in the trial production of pilot castings from aluminium alloys. Qualitative assessment of the obtained samples of the sand reclaim and of the post-reclamation waste was done, and possibilities of the reuse of the reclaim to replace fresh sand in the manufacture of moulding and core mixtures for aluminium castings were discussed. Guidelines were developed for the sand reclamation process from the waste moulding and core mixtures used in the production of aluminium alloy castings by small foundries.

Key words: moulding sand, inorganic geopolymer binder, reclamation of waste moulding sand mixture, aluminium alloys

Wstęp

W ramach projektu celowego nr 6 ZR7 2009 C/07346 prowadzono próby i badania nad opracowaniem i wdrożeniem technologii wytwarzania wysokojakościowych odlewów o specjalistycznych wymaganiach ze stopów Al dla aparatury energetyki przemysłowej w masach formierskich z nowym, ekologicznym nieorganicznym spoiwem geopolimerowym. Masy formierskie samoutwardzalne ze spoiwem geopolimerowym należą do mas wiązanych chemicznie. Są to masy jednorazowego użytku. Zużyte masy formierskie (odwałowe) ze spoiwem nieorganicznym geopolimerowym zawierają około 98% piasku kwarcowego oraz przepalone i nieprzepalone utwardzone spoiwo. Ponowne wykorzystanie zużytych mas formierskich wymaga zastosowania procesu regeneracji piasku, w którym to procesie następuje rozdrobnienie brył masy do pojedynczych ziaren piasku, otarcie resztek spoiwa z powierzchni osnowy piaskowej i separacja oddzielonego spoiwa i cząstek pylistych od piasku zregenerowanego [1–24]. Z uwagi na niewielkie zużycie mas formierskich w rozpatrywanej odlewni, proces regeneracji piasków ze zużytych mas musi być przeprowadzony według uproszczonej metody regeneracji.

Próby regeneracji piasków ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych w wytypowanych urządzeniach modelowych

W urządzeniach modelowych w Instytucie Odlewnictwa i na stanowisku regeneracji w Odlewni HARDTOP Centrum Odlewnictwa Sp. z o.o. w Charsznicy przeprowadzono próby regeneracji piasków ze zużytych mas formierskich (z odlewni stopów aluminium), sporządzonych z udziałem nieorganicznego spoiwa geopolimerowego *Rudal A* oraz dla porównania z udziałem żywicy furanowej. Masy te zawierały dodatki zużytej masy rdzeniowej z innymi spoiwami (spoiwo olejowe, szkło wodne, piaski otaczane w sumarycznej ilości nieprzekraczającej 10%).

Proces regeneracji piasków na stanowisku laboratoryjnym polegał na kruszeniu masy w kruszarce szczękowej, przesianiu jej na sicie wibracyjnym, dalszym kruszeniu i regeneracji w kruszarce młotkowo-udarowej i regeneracji końcowej w regeneratorze talerzowym, w którym zachodzi proces ocierania otoczki spoiwa z osnowy ziarnowej masy. Podczas poszczególnych cykli rozdrabniania i regeneracji, regenerowana masa poddawana była operacji odpylania przez instalację odciągową powietrza z filtrem tkaninowym. W ramach prób na stanowisku laboratoryjnym zregenerowano po 25 kg zużytej masy ze spoiwem *Rudal A* oraz zużytej masy z żywicą furanową *X850*.

Na stanowisku regeneracji mas zużytych w Odlewni HARDTOP Centrum Odlewnictwa Sp. z o.o. w Charsznicy w warunkach półtechnicznych przeprowadzono również próby regeneracji po około 200 kg zużytych mas ze spoiwem *Rudal A* i z żywicą furanową *X850*. Stanowisko to składa się z kruszarki wibracyjnej typu AKA 50 x 110 podłączonej do instalacji odpylania. Kruszarka ta pozwala na rozkruszenie brył masy o wymiarach do około 400 x 400 x 400 do pojedynczych ziarn piasku. W ramach prób, masy zużyte - w ilościach po około 200 kg - zostały w całości rozkruszone i zregenerowane, a uzyskane materiały przekazano Instytutowi Odlewnictwa do dalszych badań.

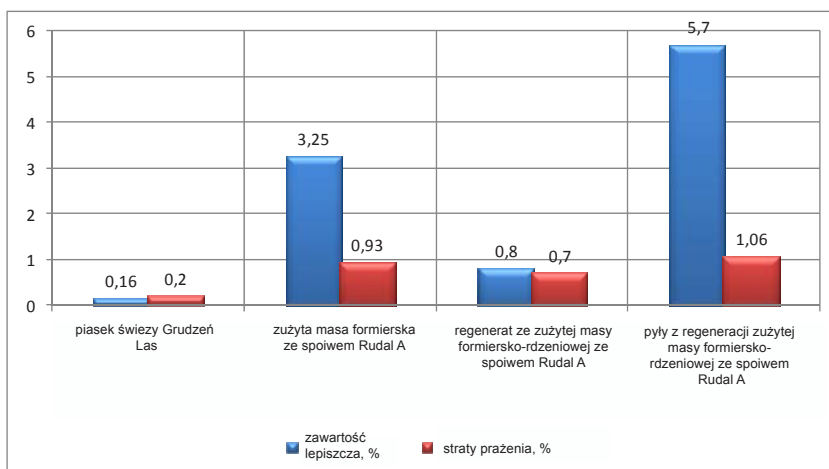
Badania jakości uzyskanych regeneratów i odpadów poregeneracyjnych

Uzyskane produkty regeneracji ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i żywicy furanowej *X850* poddano badaniom właściwości fizykochemicznych, a średnie wyniki pokazano w tabelach 1 i 2 oraz na rysunkach 1–4.

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne zużytych mas formiersko-rdzeniowych, z udziałem spoiwa Rudal A oraz regeneratów z tych mas i pyłów poregeneracyjnych, uzyskanych w urządzeniach modelowych

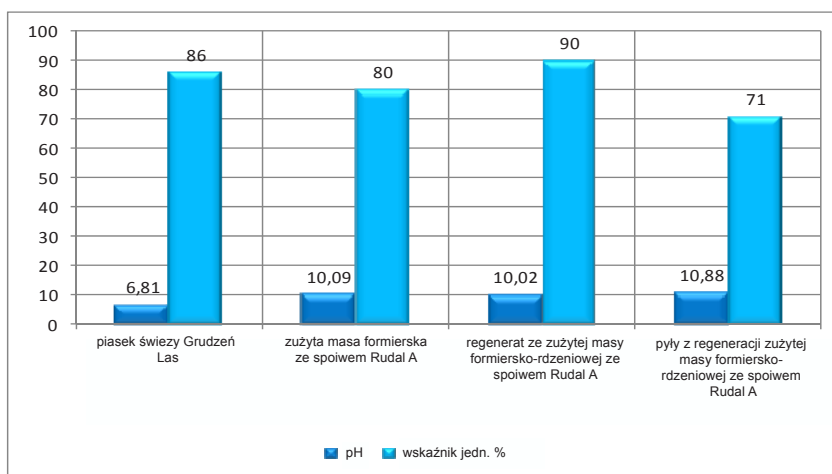
Table 1. Physico-chemical properties of waste moulding and core mixtures with an addition of the Rudal A binder and of the reclaim of these mixtures and post-reclamation dust obtained in model equipment

Nr sita (prześwit oczka), mm	Piasek świeży Grudzeń Las	Zużyta masa formiersko-rdzeniowa ze spoiwem <i>Rudal A</i>	Regenerat z masy zużytej ze spoiwem <i>Rudal A</i>	Pyły z regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem <i>Rudal A</i>
1,60	-	-	-	-
0,80	-	-	-	-
0,63	0,05	0,04	0,11	-
0,40	2,33	0,03	1,29	0,17
0,32	10,12	8,00	6,57	0,24
0,20	63,01	63,81	56,55	10,22
0,16	11,78	12,43	18,21	7,75
0,10	10,84	11,13	14,87	36,05
0,071	1,47	1,32	1,50	15,80
0,056	0,15	0,10	0,10	13,25
denko	0,09	0,09	0,00	10,81
suma	99,84	96,75	99,15	94,30
Właściwości fizykochemiczne				
Zawartość lepiszcza, %	0,16	3,25	0,80	5,70
Frakcja główna	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056
Wskaźnik jednorodności, %	86	80	90	71
pH	6,81	10,09	10,02	10,88
Straty prażenia, %	0,20	0,93	0,70	1,06



Rys. 1. Zawartość lepiszcza i straty prażenia w świeżym piasku, zużytej masie formierskiej sporządzonej z udziałem spoiwa Rudal A, regeneracie z tej masy oraz w pyłach poregeneracyjnych

Fig. 1. Clay binder content and loss on ignition in new sand, in waste moulding sand mixture prepared with an addition of the Rudal A binder, in reclaim of this mixture and in post-reclamation dust



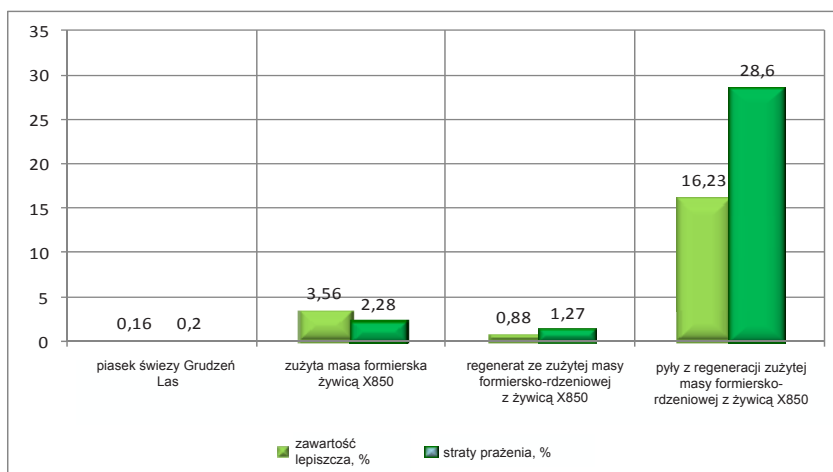
Rys. 2. Wartość odczynu pH i wskaźnika jednorodności w świeżym piasku, zużytej masie formierskiej sporządzonej z udziałem spoiwa Rudal A, regeneracie z tej masy oraz pyłach poregeneracyjnych

Fig. 2. The values of pH reaction and homogeneity index in new sand, in waste moulding sand mixture prepared with an addition of the Rudal A binder, in reclaim of this mixture and in post-reclamation dust

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne zużytych mas formiersko-rdzeniowych sporządzonych z udziałem żywicy furanowej X850 oraz regeneratów z tych mas i pyłów poregeneracyjnych uzyskanych w urządzeniach modelowych

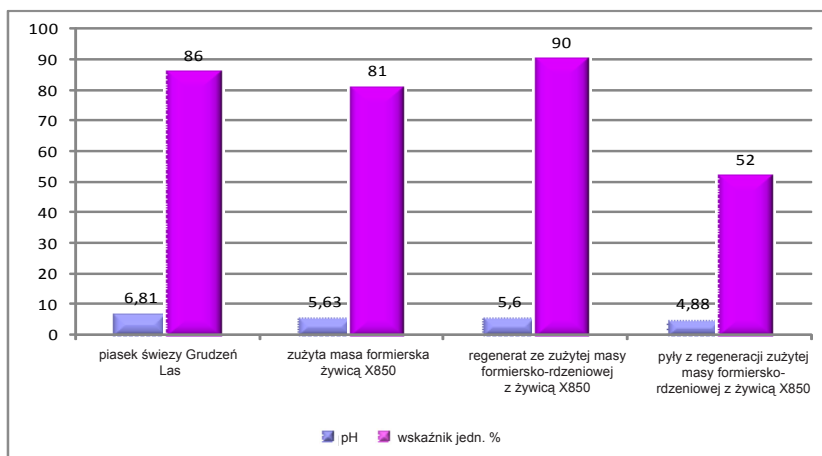
Table 2. Physico-chemical properties of waste moulding and core mixtures with an addition of the X850 furan resin binder and of the reclaim of these mixtures and post-reclamation dust obtained in model equipment

Nr sита (prześwit oczka), mm	Piasek świeży Grudzeń Las	Zużyta masa formiersko-rdzeniowa z żywicą X850	Regenerat ze zużytej masy formiersko-rdzeniowej z żywicą X850	Pyły z regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej z żywicą X850
1,60	-	-	-	-
0,80	-	-	-	-
0,63	0,05	0,01	0,08	-
0,40	2,33	0,05	1,49	-
0,32	10,12	3,17	7,29	0,09
0,20	63,01	59,11	57,56	0,50
0,16	11,78	18,56	17,37	0,41
0,10	10,84	13,76	13,85	61,03
0,071	1,47	1,50	1,29	17,58
0,056	0,15	0,18	0,19	4,10
denko	0,09	0,10	0,00	0,06
suma	99,84	96,44	99,12	83,77
Właściwości fizykochemiczne				
Zawartość lepiszcza, %	0,16	3,56	0,88	16,23
Fracja główna	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056
Wskaźnik jednorodności, %	86	81	90	52
pH	6,81	5,63	5,60	4,88
Straty prażenia, %	0,20	2,28	1,27	28,6



Rys. 3. Zawartość lepiszcza i straty prażenia w świeżym piasku, zużytej masie formierskiej sporządzonej z udziałem żywicy X850, regeneracie z tej masy oraz pyłach poregeneracyjnych

Fig. 3. Clay binder content and loss on ignition in new sand, in waste moulding sand mixture prepared with an addition of the X850 furan resin binder, in reclaim of this mixture and in post-reclamation dust



Rys. 4. Wartość odczynu pH i wskaźnika jednorodności w świeżym piasku, zużytej masie formierskiej sporządzonej z udziałem żywicy X850, regeneracie z tej masy oraz pyłach poregeneracyjnych

Fig. 4. The values of pH reaction and homogeneity index in new sand, in waste moulding sand mixture prepared with an addition of the X850 furan resin binder, in reclaim of this mixture and in post-reclamation dust

Wyniki badań materiałów z laboratoryjnej próby regeneracji pokazują, że uzyskany piasek zregenerowany zarówno z mas ze spoiwem geopolimerowym, jak i z mas ze spoiwem żywicznym, ma tę samą frakcję główną co piasek świeży i jest materiałem o zbliżonej jednorodności. Obniżenie wielkości strat prażenia w regeneracie w obu rodzajach badanych mas zużytych świadczy o prawidłowo zachodzącym procesie regeneracji.

Pyły poregeneracyjne z obu rodzajów mas zużytych charakteryzują się małą wartością jednorodności i dużymi wartościami strat prażenia. Ich frakcje główne gromadzą się na sitach o prześwicie oczka poniżej 0,10 mm.

Badania możliwości ponownego zastosowania piasków zregenerowanych do wykonywania świeżych mas formierskich

Badania laboratoryjne wpływu piasku zregenerowanego, uzyskanego w próbie laboratoryjnej, na właściwości wytrzymałościowe i szybkość wiązania mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego i spoiwa żywicznego

Istotnym elementem oceny jakości regeneratu są badania właściwości technologicznych mas sporządzanych ze zwiększającym się udziałem regeneratu, aż do całkowitego zastąpienia świeżego piasku formierskiego przez regenerat.

Celem prowadzonych badań było określenie wpływu uzyskanego w warunkach laboratoryjnych regeneratu ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych z udziałem spoiwa geopolimerowego i spoiwa żywicznego, na właściwości technologiczne mas świeżych. Wykonane zostały masy z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A*, spoiwa żywicznego *X850* oraz piasku i regeneratu w proporcjach 100:0, 50:50, 30:70 i 0:100. Masy sporządzano w mieszarce laboratoryjnej wstępowej.

Składy mas przedstawiały się następująco (cz. wag.):

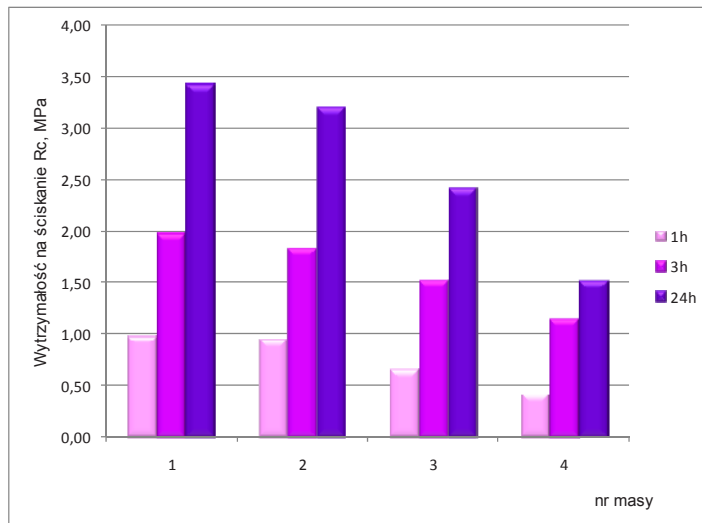
piasek kwarcowy Grudzeń Las	100/50/30
regenerat z próby laboratoryjnej	50/70/100
spoiwo <i>Rudal A</i>	1,6
utwardzacz SA 63/SA 65 w proporcji (50/50)	0,2
piasek kwarcowy Grudzeń Las	100/ 50 /30
regenerat z próby laboratoryjnej	50/70/100
żywica <i>X850</i>	1,0
utwardzacz <i>100T3</i>	0,5

Masy sporządzano i badano w temperaturze 18°C, przy wilgotności 33%. Podstawowe właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i żywicy *X850*, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej (wyniki średnie) przedstawiono w tabelach 3 i 4 i na rysunkach 5-8.

Tabela 3. Właściwości technologiczne mas formierskich z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej

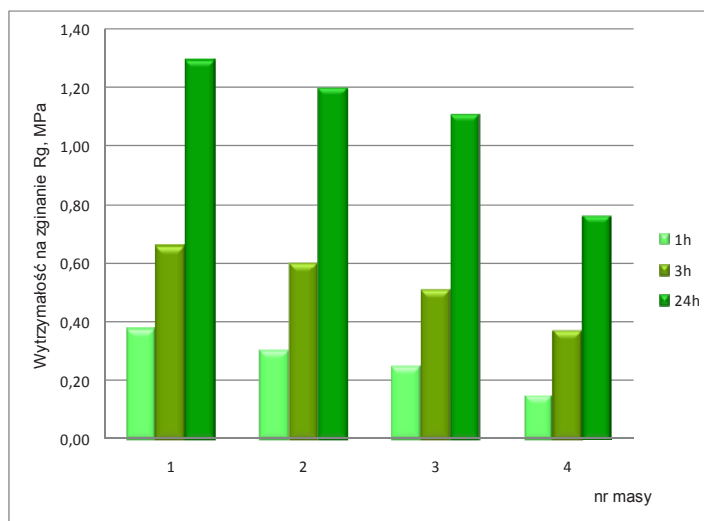
Table 3. Technological properties of moulding sand mixtures with an addition of the geopolymer Rudal A binder, with and without the addition of reclaim obtained in a laboratory test

Lp.	Skład masy, cz. wag.	Czas przydatności masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie, MPa			Wytrzymałość na zginanie, MPa		
			po czasie								
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
1.	Piasek 100,0 Rudal A 1,6 SA 63/SA 65 0,2	23	190	195	195	0,99	1,98	3,44	0,38	0,66	1,30
2.	Piasek 50,0 Regenerat 50,0 Rudal A 1,6 SA 63/SA 65 0,2	19	195	200	200	0,95	1,83	3,20	0,30	0,60	1,20
3.	Piasek 30,0 Regenerat 70,0 Rudal A 1,6 SA 63/SA 65 0,2	10	200	200	200	0,66	1,52	2,42	0,25	0,51	1,11
4.	Regenerat 100,0 Rudal A 1,6 SA 63/SA 65 0,2	18	195	200	195	0,42	1,14	1,53	0,15	0,37	0,76



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A, mieszanki utwardzaczy SA63/SA65 w proporcji 50:50 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 3)

Fig. 5. Compression strength of sand mixtures prepared with an addition of the geopolymer Rudal A binder, a mixture of SA63/SA65 hardeners in 50:50 ratio, and a variable content of reclaim obtained in a laboratory test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 3)



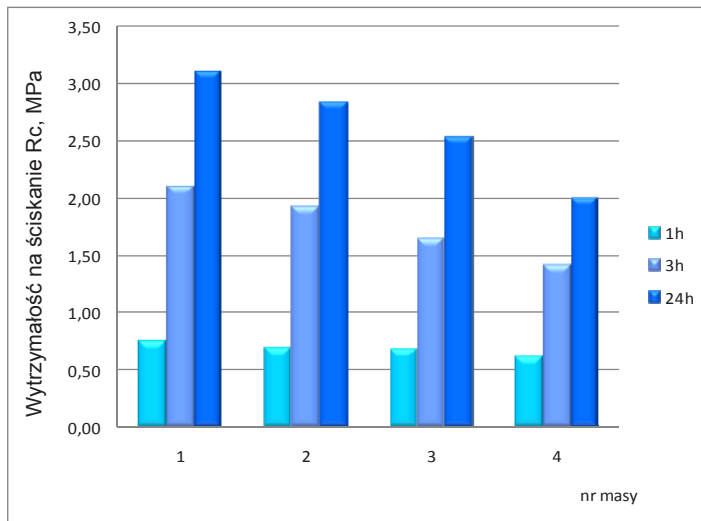
Rys. 6. Wytrzymałość na zginanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A, mieszanki utwardzaczy SA63/SA65 w proporcji 50:50 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 3)

Fig. 6. Bending strength of sand mixtures prepared with an addition of the geopolymer Rudal A binder, a mixture of SA63/SA65 hardeners in 50:50 ratio, and a variable content of reclaim obtained in a laboratory test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 3)

Tabela 4. Właściwości technologiczne mas formierskich z udziałem żywicy X850, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej

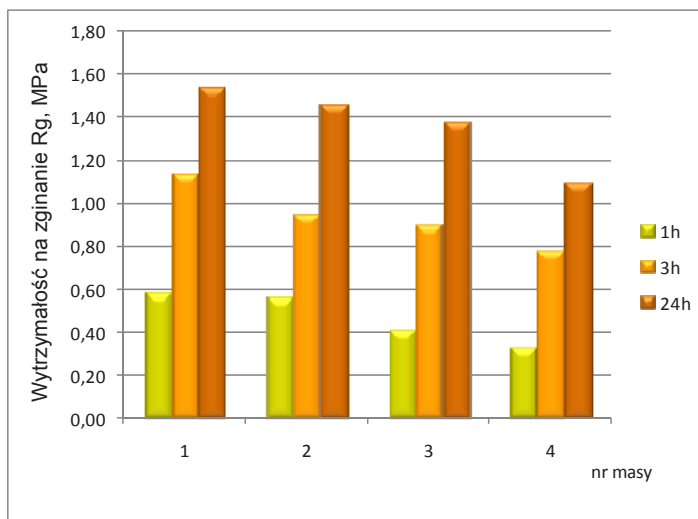
Table 4. Technological properties of moulding sand mixtures with an addition of the X850 furan resin binder, with and without the addition of reclaim obtained in a laboratory test

Lp.	Skład masy, cz. wag.	Czas przydatności masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie, MPa			Wytrzymałość na zginanie, MPa		
			po czasie								
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
1.	Piasek 100,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	25	200	200	200	0,76	2,11	3,12	0,58	1,14	1,54
2.	Piasek 50,0 Regenerat 50,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	23	195	200	200	0,70	1,94	2,84	0,56	0,95	1,46
3.	Piasek 30,0 Regenerat 70,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	20	200	200	210	0,68	1,66	2,54	0,41	0,90	1,38
4.	Regenerat 100,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	18	200	210	200	0,61	1,42	2,01	0,33	0,78	1,10



Rys. 7. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem żywicy X850 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 4)

Fig. 7. Compression strength of sand mixtures prepared with an addition of the X850 furan resin binder and a variable content of reclaim obtained in a laboratory test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 4)



Rys. 8. Wytrzymałość na zginanie mas sporządzonych z udziałem żywicy X850 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie laboratoryjnej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 4)

Fig. 8. Bending strength of sand mixtures prepared with an addition of the X850 furan resin binder and a variable content of reclaim obtained in a laboratory test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 4)

Jak wynika z badań technologicznych wykonywania mas z udziałem spoiwa *Rudal A* i z udziałem regeneratu, dodatek regeneratu z mas zużytych ze spoiwem geopolimerowym *Rudal 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% regeneratu czas przydatności mas do formowania był zbliżony do czasu przydatności do formowania mas wykonanych z udziałem 70% regeneratu.

Dodatek regeneratu z mas żywicznych w ilości 50, 70 i 100% do sporządzania świeżych mas ze spoiwem żywicznym *X850*, wpływał na stopniowe skrócenie czasu przydatności tych mas do formowania i stopniowe obniżenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie. Przepuszczalność tych mas nie ulegała zmianie.

Badania laboratoryjne wpływu piasku zregenerowanego uzyskanego w próbie półtechnicznej na właściwości wytrzymałościowe i szybkość wiązania mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego i spoiwa żywicznego

Celem badań niniejszego etapu pracy było określenie wpływu regeneratu - uzyskanego w próbie półtechnicznej na stanowisku regeneracji zainstalowanym w Odlewni HARDTOP Centrum Odlewnictwa Sp. z o.o. w Charsznicy - ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i spoiwa żywicznego *X850* na właściwości technologiczne mas formierskich.

Na wstępie uzyskane produkty regeneracji ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych poddano badaniom właściwości fizykochemicznych.

Porównanie właściwości fizykochemicznych regeneratów uzyskanych ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych ze spoiwem geopolimerowym *Rudal A* w próbie laboratoryjnej i próbie półtechnicznej zamieszczono w tabelach 5 i 6.

Tabela 5. Porównanie właściwości fizykochemicznych regeneratów uzyskanych ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych ze spoiwem geopolimerowym Rudal A w próbie laboratoryjnej i próbie półtechnicznej

Table 5. Physico-chemical properties compared for the reclaims of waste moulding and core mixtures with an addition of the geopolymer Rudal A binder obtained in laboratory and semi-industrial tests

Właściwości fizykochemiczne	Piasek świeży Grudzeń Las	Zużyta masa formiersko-rdzeniowa ze spoiwem Rudal A	Regenerat ze zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem Rudal A z próby laboratoryjnej	Pyły ze regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem Rudal A z próby laboratoryjnej	Regenerat ze zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem Rudal A z próby półtechnicznej	Pyły ze regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem Rudal A z próby półtechnicznej
Zawartość lepiszcza, %	0,16	3,25	0,85	5,70	0,65	6,40
Fracja główna	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056
Wskaźnik jednorodności, %	86	80	90	71	91	69
pH	6,81	10,09	10,02	10,88	9,87	10,53
Straty prażenia, %	0,20	0,93	0,70	1,06	0,60	1,17

Tabela 6. Porównanie właściwości fizykochemicznych regeneratów uzyskanych ze zużytych mas formiersko-rdzeniowych ze spoiwem żywicznym X850 w próbie laboratoryjnej i próbie półtechnicznej

Table 6. Physico-chemical properties compared for the reclaims of waste moulding and core mixtures with an addition of the X850 resin binder obtained in laboratory and semi-industrial tests

Właściwości fizykochemiczne	Piasek świeży Grudzeń Las	Zużyta masa formiersko-rdzeniowa ze spoiwem żywicznym X850	Regenerat ze zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem żywicznym X850 z próby laboratoryjnej	Pyły z regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem żywicznym X850 z próby laboratoryjnej	Regenerat z zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem żywicznym X850 z próby półtechnicznej	Pyły z regeneracji zużytej masy formiersko-rdzeniowej ze spoiwem żywicznym X850 z próby półtechnicznej
Zawartość lepiszcza, %	0,16	3,56	0,88	16,23	0,76	17,41
Fracja główna	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056	0,20/0,16/0,10	0,10/0,071/0,056
Wskaźnik jednorodności, %	86	81	90	52	90	58
pH	6,81	5,63	5,60	4,88	5,76	4,95
Straty prażenia, %	0,20	2,28	1,27	28,6	1,13	29,45

Porównując właściwości fizykochemiczne regeneratów uzyskanych w próbie laboratoryjnej i półtechnicznej (tab. 5 i 6) można stwierdzić, że różnice pomiędzy nimi są niewielkie.

W procesie regeneracji zużytych mas formiersko-rdzeniowych otarcie spoiwa z ziarn osnowy piaskowej i jego odciążenie do instalacji odpylania w próbie półtechnicznej w instalacji przemysłowej regeneracji przebiegało skuteczniej niż w przypadku regeneracji w urządzeniach modelowych zainstalowanych w Instytucie Odlewnictwa.

Analizując jakość regeneratów z próby laboratoryjnej i półtechnicznej w aspekcie ich właściwości fizykochemicznych należy stwierdzić, że efektywność procesu regeneracji badanych zużytych mas formiersko-rdzeniowych sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i żywicznego przebiega podobnie. Uzyskane regeneraty charakteryzują się taką samą frakcją główną i zbliżoną jednorodnością. Różnice w stratach prażenia wynoszą około 10%.

Z udziałem piasku i regeneratu z próby półtechnicznej w proporcjach 50:50, 30:70 i 0:100 wykonano serię mas z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i spoiwa żywicznego *X850*. Masy sporządzano w mieszarce laboratoryjnej wstępowej.

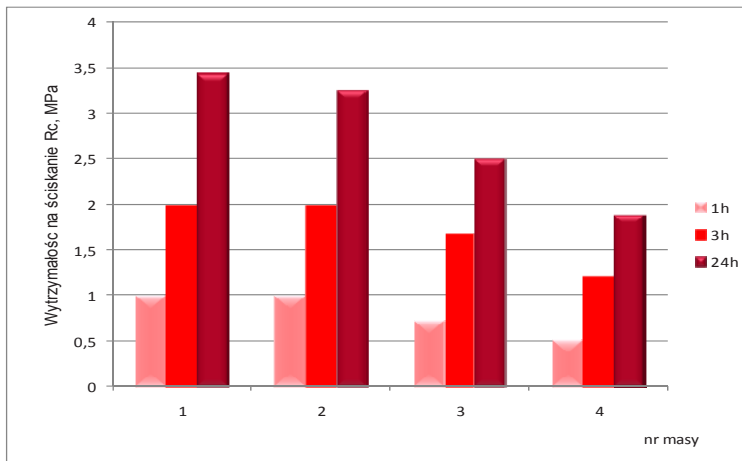
Skład mas był identyczny ze składem mas sporządzanych z udziałem regeneratu z próby laboratoryjnej.

Masy sporządzano i badano w temperaturze 20°C przy wilgotności 40%. Podstawowe właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A* i żywicy *X850*, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej (wyniki średnie) przedstawiono w tabelach 7 i 8 i na rysunkach 9–12.

Tabela 7. Właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego *Rudal A*, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej

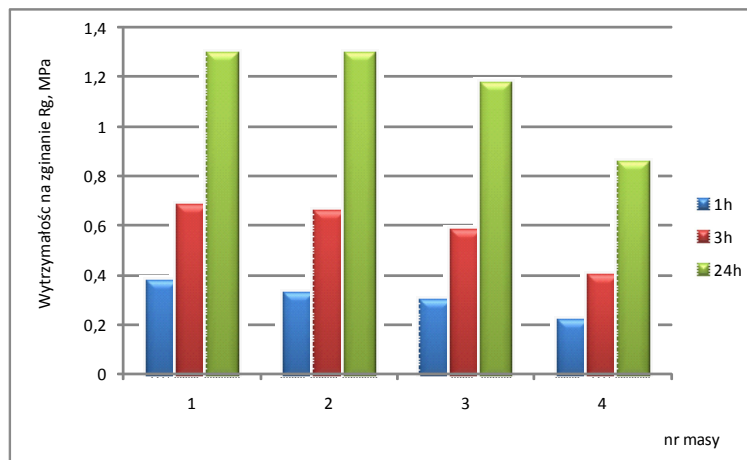
Table 7. Technological properties of moulding sand mixtures with an addition of the geopolymer *Rudal A* binder, with and without the addition of reclaim obtained in a semi-industrial test

Lp.	Skład masy, cz. wag.	Żywotność, min	Przepuszczalność, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie, MPa			Wytrzymałość na zginanie, MPa		
			po czasie								
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
1.	Piasek 100,0 <i>Rudal A</i> 1,6 SA 63/SA65 0,2	23	190	195	195	0,99	1,98	3,44	0,38	0,66	1,30
2.	Piasek 50,0 Regenerat. 50,0 <i>Rudal A</i> 1,6 SA 63/SA65 0,2	20	195	200	195	0,99	1,98	3,24	0,33	0,68	1,30
3.	Piasek 30,0 Regenerat. 70,0 <i>Rudal A</i> 1,6 SA 63/SA65 0,2	15	200	195	200	0,72	1,67	2,50	0,30	0,66	1,18
4.	Regenerat. 100,0 <i>Rudal A</i> 1,6 SA 63/SA65 0,2	20	200	200	195	0,51	1,20	1,88	0,22	0,40	0,86



Rys. 9. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A, mieszanki utwardzaczy SA63/SA65 w proporcji 50:50 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 7)

Fig. 9. Compression strength of sand mixtures prepared with an addition of the geopolymer Rudal A binder, a mixture of SA63/SA65 hardeners in 50:50 ratio and a variable content of reclaim obtained in a semi-industrial test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 7)



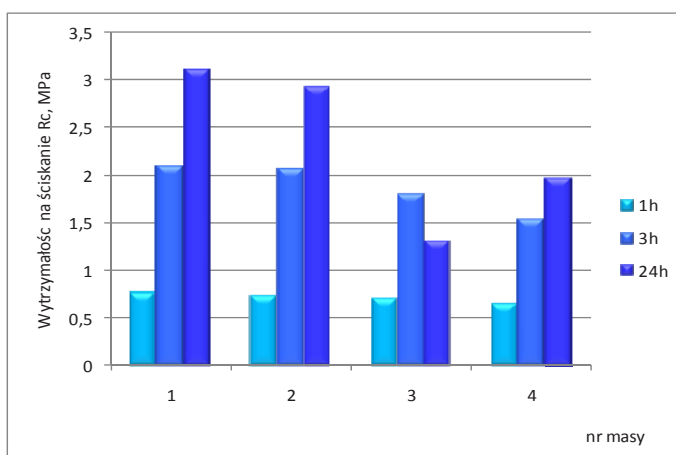
Rys. 10. Wytrzymałość na zginanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A, mieszanki utwardzaczy SA63/SA65 w proporcji 50:50 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 7)

Fig. 10. Bending strength of sand mixtures prepared with an addition of the geopolymer Rudal A binder, a mixture of SA63/SA65 hardeners in 50:50 ratio, and a variable content of reclaim obtained in a semi-industrial test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 7)

Tabela 8. Właściwości technologiczne mas formierskich sporządzonych z udziałem spoiwa żywicznego X850A, bez i z udziałem regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej

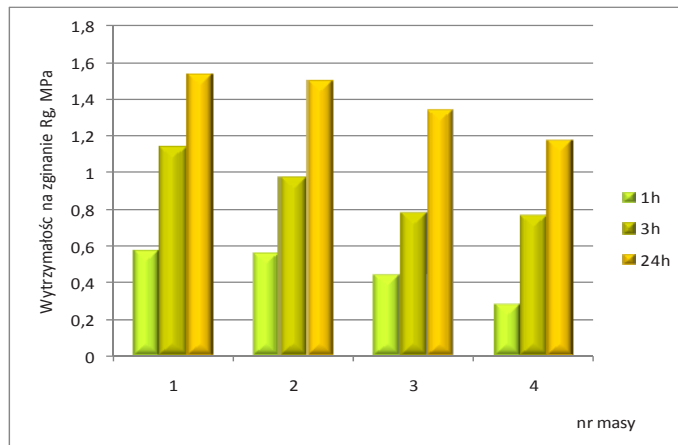
Table 8. Technological properties of moulding sand mixtures with an addition of the X850 furan resin binder, with and without the addition of reclaim obtained in a semi-industrial test

Lp.	Skład masy, cz. wag.	Czas przydatności masy formierskiej do formowania, min	Przepuszczalność, j.p.			Wytrzymałość na ściskanie, MPa			Wytrzymałość na zginanie, MPa		
			po czasie								
			1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h	1 h	3 h	24 h
1.	Piasek 100,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	25	200	200	200	0,76	2,11	3,12	0,58	1,14	1,54
2.	Piasek 50,0 Regenerat. 50,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	24	200	200	200	0,73	2,08	2,93	0,56	0,98	1,50
3.	Piasek 30,0 Regenerat. 70,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	21	200	200	210	0,70	1,81	2,32	0,44	0,78	1,35
4.	Regenerat. 100,0 Żywica X850 1,0 Utwardzacz 100T3 0,5	20	195	200	200	0,65	1,54	1,98	0,29	0,77	1,18



Rys. 11. Wytrzymałość na ściskanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa żywicznego X850 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 8)

Fig. 11. Compression strength of sand mixtures prepared with an addition of the X850 furan resin binder and a variable content of reclaim obtained in a semi-industrial test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 8)



Rys. 12. Wytrzymałość na zginanie mas sporządzonych z udziałem spoiwa żywicznego X850 i zmiennej ilości regeneratu uzyskanego w próbie półtechnicznej, badana po 1 h, 3 h i 24 h (na podstawie danych z tab. 8)

Fig. 12. Bending strength of sand mixtures prepared with an addition of the X850 furan resin binder and a variable content of reclaim obtained in a semi-industrial test, examined after 1 h, 3 h and 24 h (based on data given in Table 8)

Można zauważyć, że ze względu na lepszą efektywność procesu regeneracji na stanowisku przemysłowym, jakość regeneratu jest lepsza od jakości regeneratu z próby laboratoryjnej, stąd i właściwości technologiczne mas są lepsze.

Przyjmuje się zasadę, że właściwości technologiczne mas sporządzonych z udziałem regeneratu nie mogą ulec obniżeniu o więcej niż 20% w stosunku do mas wykonywanych w oparciu o świeży piasek. Z przeprowadzonych prób i badań jakości mas sporządzanych z udziałem spoiwa geopolimerowego Rudal A i regeneratu wynika, że temu kryterium odpowiadają masy sporządzone z dodatkiem 50% regeneratu i spoiwa geopolimerowego w ilości 1,6 cz. wag. i 0,2 cz. wag. mieszanki utwardzacza. Wytrzymałość na ściskanie tych mas badana po 1 h, wynosi około 1 MPa, po 3 h około 2 MPa, a po 24 h powyżej 3 MPa. Masę z większym udziałem regeneratu można stosować jako masę wypełniającą. Istnieje również możliwość zwiększenia udziału piasku zregenerowanego do około 70% poprzez niewielkie zwiększenie ilości spoiwa, np. do 1,8 cz. wag.

Opracowanie wytycznych wykorzystania piasku zregenerowanego

Przy zastosowaniu technologii mas samoutwardzalnych ze spoiwem nieorganicznym geopolimerowym zarówno z punktu widzenia ekonomii, jak i ekologii konieczne będzie zastosowanie procesu regeneracji piasków ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych i wprowadzenie uzyskanego piasku zregenerowanego - w możliwie jak największym stopniu - w miejsce świeżego piasku kwarcowego.

Na podstawie przeprowadzonych badań modelowych przyjęto, że w warunkach badanej odlewni stopów aluminium, w procesie wykonywania masy formierskiej piasek zregenerowany kierowany będzie do zbiornika nad mieszarko-nasypywarką, z którego dozowany będzie do mieszarki w określonej proporcji w stosunku do piasku świeżego. Zakłada się, że mieszarka będzie przystosowana do dozowania spoiwa geopolimero-owego typu *Rudal A* lub *Geopol* oraz, w razie potrzeby, alternatywnie spoiwa żywicznego. Mieszarka posiadać będzie oprogramowanie do wykonywania mas o zróżnicowanym składzie ilości spoiwa i utwardzacza. Półformy z omodelowaniem zasypywane będą masą formierską wprost z wysypu mieszarko-nasypywarki oraz dogęszczane na stole wibracyjnym i manualnie przez pracowników. Nadmiar masy po związaniu kierowany będzie do regeneracji. Z uwagi na szybkość wiązania i krótki czas przydatności do formowania masy, wykonanie półform musi się zamknąć w przeciągu kilku minut. Wykonane półformy muszą być przetrzymywane na linii wykonywania form do czasu wstępnego utwardzenia się masy pozwalającego na rozebranie i odwrócenie półformy. Ocenia się, że w zależności od ilości spoiwa i utwardzacza oraz jego rodzaju, a także temperatury otoczenia minimalny czas od wykonania półformy do jej rozebrania wynosił będzie około 30–40 min. W przypadku małych i średnich form należy założyć, że stosowana będzie masa jednolita o przeważającej ilości regeneratu w stosunku do piasku świeżego (np. 70% regeneratu). Natomiast w przypadku dużych form celowe będzie zastosowanie masy przymodelowej o nieco zwiększonej ilości piasku świeżego w stosunku do regeneratu (np. 50:50%) i masy wypełniającej o składzie osnowy piaskowej zbliżonym do 100% regeneratu.

Przewiduje się, że zadawalające wyniki będzie można uzyskać wykonując masy formierskie z udziałem 1,6 cz. wag. spoiwa *Rudal A* i 0,2 cz. wag. utwardzacza typu SA.

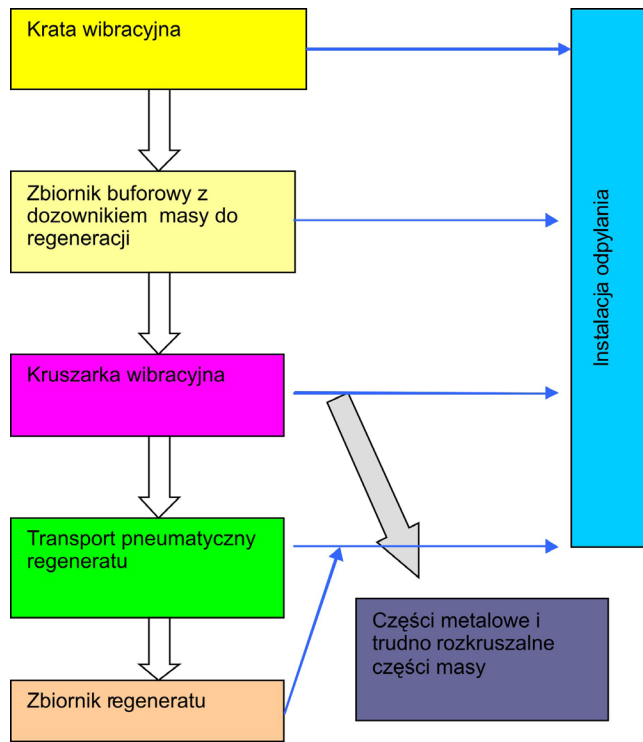
W zależności od potrzeb, właściwości wytrzymałościowe masy formierskiej regulować będzie można w praktyce dodając odpowiednią ilość spoiwa i utwardzacza. Optymalne składy mas będzie można ustalić w trakcie rozruchu produkcji, korzystając z bieżącej kontroli właściwości uzyskiwanych mas formierskich w powiązaniu z jakością form i odlewów.

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że do sporządzania mas formierskich należy stosować piasek kwarcowy klasy 1K. Z punktu widzenia procesów regeneracji korzystniejsze jest stosowanie piasku średnio- lub gruboziarnistego, przy uwzględnieniu konieczności uzyskiwania odpowiedniej jakości powierzchni odlewów (gładkość powierzchni). Piasek zregenerowany powinien odpowiadać ziarnistości świeżego piasku i posiadać jak najniższą zawartość lepiszcza i drobnych pyłów.

Wprowadzenie nowej technologii mas formierskich samoutwardzalnych z udziałem regeneratu wymagać będzie wprowadzenia kontroli laboratoryjnej jakości zarówno piasku świeżego, jak i piasku zregenerowanego oraz właściwości technologicznych uzyskiwanych mas formierskich.

Wytyczne procesu regeneracji piasków z zużytych mas formierskich i rdzeniowych z produkcji stopów aluminium

Na rysunku 13 przedstawiono schemat blokowy uproszczonej metody regeneracji piasków ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych z produkcji stopów aluminium.



Rys. 13. Schemat blokowy uproszczonej metody regeneracji piasków ze zużytych mas formierskich i rdzeniowych z produkcji stopów Al

Fig. 13. Block diagram showing the simplified method of sand reclamation from the waste moulding and core mixtures used in the production of aluminium alloy castings

Wnioski

1. Masy sporządzone z udziałem spoiwa nieorganicznego geopolimerowego *Rudal A* po wykonaniu odlewów ze stopów aluminium w formach są łatwo wybijalne.
2. Masy odwałowe ze spoiwem *Rudal A* (z odlewania stopów aluminium) dobrze się regenerują mechanicznie w urządzeniach wibracyjnych.
3. Świeże masy przymodelowe z udziałem spoiwa *Rudal A* w ilości 1,6 cz. wag. można wykonywać z dodatkiem 50% piasku zregenerowanego w miejsce piasku świeżego.
4. Masę z większym udziałem piasku zregenerowanego (do 100% regeneratu) można stosować jako masę wypełniającą.
5. Istnieje również możliwość zwiększenia udziału piasku zregenerowanego do masy przymodelowej do ok. 70% poprzez zwiększenie ilości spoiwa, np. do 1,8 cz. wag.
6. Optymalne składy mas należy jednak ustalić w trakcie rozruchu produkcji, korzystając z bieżącej kontroli właściwości uzyskiwanych mas formierskich w powiązaniu z jakością form i odlewów.

Literatura

1. Bogacz T., Młyński M., Maniowski Z., Pezarski F., Izdebska-Szanda I.: Polskie rozwiązania techniczne wdrożone w firmie Metalodlew SA wzorem dla innych odlewni europejskich, *Przeгляд Odlewnictwa*, 2006, nr 7–8, s. 364–369.
2. 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, Foundry Research Institute, 2007, A statutory work No. 6005/00, stage 2007 (in Polish).
3. Pezarski F., Maniowski Z., Izdebska-Szanda I., Smoluchowska E.: Experience of Foundry Research Institute with resin Bonded Sand Reclamation in Small and Medium Foundries, *Międzynarodowa Konferencja - Moulding Materials and Cost Reductions for Casting*, Českomoravska Vrchovina Milovy, 19–20.04.2005.
4. Izdebska-Szanda I., Pezarski F., Stępniewski K.: Application of design projects developed by Foundry Research Institute in Krakow in construction of integrated stand for processing and reclamation of moulding sands, *Archives of Foundry Engineering*, January–March 2008, Vol. 8, Issue 1, pp. 133–138.
5. Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Maniowski Z., Burian A., Florian J.: New line for reclamation of sand from the waste moulding mixtures with alkaline resin, *Acta Metallurgica Slovaca*, 2002, *Řoc. 8, No 2 (1/2)*, pp. 126–130.
6. Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Maniowski Z.: Testing the reclamability of used foundry sands by a vibration method, *Materials Engineering*, 2003, Vol. 10, No. 3, pp. 275–278.
7. Izdebska-Szanda I., Maniowski Z., Pezarski F.: Integrate system of reclamation moulding sand, *Materials Engineering*, 2006, Vol. XIII, No. 3, pp. 59–62 Žilina (SK).
8. Pezarski F., Izdebska-Szanda I., Maniowski Z., Pasternak M.: Technical aspects of reclamation of the waste CO₂ hardened core sands, *Archives of Foundry*, PAN Katowice, 2006, Vol. 6, No. 18 (2/2), pp. 423–428.
9. Opracowanie i wdrożenie technologii utylizacji odpadów rdzeniowych z piasków otoczonych żywicami, OŻ. Wulkan S.A., Częstochowa, Instytut Odlewnictwa, Kraków, 2004–2005, Projekt celowy, zlec. 3216.
10. Opracowanie i wdrożenie innowacyjnej technologii produkcji odlewów armatury przemysłowej o wysokich wymaganiach eksploatacyjnych w masach formiersko-rdzeniowych bazujących na regeneracji (Odlewnia „Chemar” Sp. z o.o.), Instytut Odlewnictwa, Kraków 2005–2007, Projekt celowy, zlec. 4214.
11. Novotny J.: Masy samoutwardzalne z geopolimerowym układem wiążącym, *Materiały konferencyjne. VIII Konferencja Odlewnicza TECHNICAL*, 2005, s.111.
12. Pezarski F. i inni: Przetwarzanie zużytych mas formierskich, Specjalny projekt badawczy nr 424/E-141/SPB/EUREKA/T-08/DZ 202/2003-2005. EUREKA RECY SAND E! 2930, 2003–2005.
13. Dańko J. i in.: Maszyny i mechanizacja procesów odlewniczych. Cz. 1. Procesy i urządzenia do regeneracji osnowy piaskowej z zużytych mas formierskich i rdzeniowych (z uwzględnieniem ochrony środowiska). AGH, Praca naukowo-badawcza.
14. 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 Automatykacji*, Poznań, czerwiec 2004, T. 24, s. 19–29.
15. Baliński A.: Influence of modification of the sodium silicate with morphoactive agents on the mechanical properties of the moulding sands in temperatures to 900°C. *Materials Engineering*, 2003, R. 10, z. 3, p. 271.
16. 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, *Conference Proceedings*, 46. Foundry Conf., Portorož, 2006, p. 39. (CD).
17. Novotny J.: Masy samoutwardzalne z geopolimerowym układem wiążącym, *Biuletyn Konferencyjny - VIII Konferencja Odlewnicza Technical*, 2005, s. 111–112.

18. Pezarski F. i in.: Przeprowadzenie prób i badań nad zastosowaniem spoiwa „RUDAL” w polskich odlewniach, Instytut Odlewnictwa, Praca naukowo-badawcza dla Firmy SAND TEAM Sp. z o.o. w Brnie, 2005, zł. 4326/00.
19. Pezarski F. i in.: Przeprowadzenie prób nad zastosowaniem nowej kompozycji wiążącej szkła wodnego w warunkach POMET S.A. w Poznaniu. Praca naukowo-badawcza dla ZM POMET S.A. w Poznaniu, Instytut Odlewnictwa, 2005, zlec. 4331/00.
20. Warm box binder substitute. Notatka redakcyjna. Foundry Trade Journal, August 2003, p. 20
21. Uruchomienie produkcji ekologicznego spoiwa nieorganicznego nowej generacji dla odlewnictwa stopów żelaza i metali nieżelaznych, Instytut Odlewnictwa, Kraków, 2003–2005, Projekt celowy, zlec. 2211.
22. Wolff V.A., Steinhausser T.: Environmentally compactible core making with AWB process Casting Plant and Technology International, September 2004, No. 3, pp. 6-8.
23. Wolff V.A., Steinhausser T.: Environmentally compactible core making with AWB process, Foundry Trade Journal, March, 2005, s. 57.
24. Mezulanik J.: Regenerowalność zużytych mas z technologii AlpHaset, Międzynarodowa Konferencja, Milovy, 2002.

