

Porównanie parametrów procesu granulacji pyłów odpadowych z procesu regeneracji

Comparison of parameters of the granulation process of dust waste from sand reclamation

Jadwiga Kamińska¹

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

¹ Foundry Research Institute, Department of Technology, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Krakow, Poland

E-mail: jadwiga.kaminska@iod.krakow.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań procesu bezciśnieniowej granulacji odlewniczych pyłów generowanych podczas: regeneracji mechanicznej zużytej masy z bentonitem (Pył 1), suchej regeneracji mechanicznej mieszaniny mas zużytych składających się w około 90% z masy formierskiej z technologii Floster S oraz 10% z masy rdzeniowej z żywicą fenolową typu rezolowego (Pył 2) oraz pyłów generowanych w procesie suchej regeneracji mechanicznej mas zużytych, których spoiwem są żywice furanowe (Pył 3).

Badania miały na celu wytworzenie granulatu o określonych parametrach wymiarowych i wytrzymałościowych.

Granule tworzone z czystego pyłu bentonitowego oraz z mieszanin o następujących składach: 75% wag. pyłów uzyskanych po regeneracji mieszaniny mas z 25% wag. pyłów z masy z bentonitem oraz 50% wag. pyłów uzyskanych po regeneracji masy furanowej i 50% wag. pyłów z masy z bentonitem.

Nawilżony pył z masy bentonitowej został użyty jako spoiwo umożliwiające granulowanie się pyłów poregeneracyjnych z technologii sypkich mas samoutwardzalnych.

Wyznaczono następujące parametry gotowego produktu finalnego: zawartość wilgoci (W), wytrzymałość zrzutową granulek (W_z), badaną bezpośrednio po procesie granulacji oraz po 1, 3, 5, 10 i 30 dobach sezonowania oraz wodoodporność granulek po 24 h zanurzenia w wodzie.

Badania przeprowadzono dla granulatów uzyskanych przy nachyleniu miski granulatora wynoszącego 45° oraz dla czterech prędkości obrotowych miski wynoszących: 10, 15, 20 i 25 obr/min.

Słowa kluczowe: masy formierskie, sypkie masy samoutwardzalne, proces Floster S, pył poregeneracyjny, granulacja, ochrona środowiska

Abstract

The results of studies of the process of pressure-free granulation of foundry dust were described, including dust generated in the mechanical reclamation of waste bentonite sand (Dust 1), dust generated in the dry mechanical reclamation of waste sand mixture containing approximately 90% of Floster S moulding sand and 10% of core sand with a resol type phenolic resin (Dust 2), and dust generated in the dry mechanical reclamation of waste furan resin-bonded sand (Dust 3).

The aim of the studies was to produce granules of specified dimensions and strength parameters.

Dust granules were formed from pure bentonite dust and two dust mixtures of the following compositions: mixture 1 – 75 wt.% of dust from the reclamation of various mixed foundry sands and 25 wt.% of dust from the reclamation of bentonite sand, and mixture 2 – 50 wt.% of dust from the reclamation of furan sand mixed with 50 wt.% of dust from the bentonite sand.

The moistened bentonite sand dust was used as a binder in the granulation of post-reclamation dust from the technology of loose self-hardening sands.

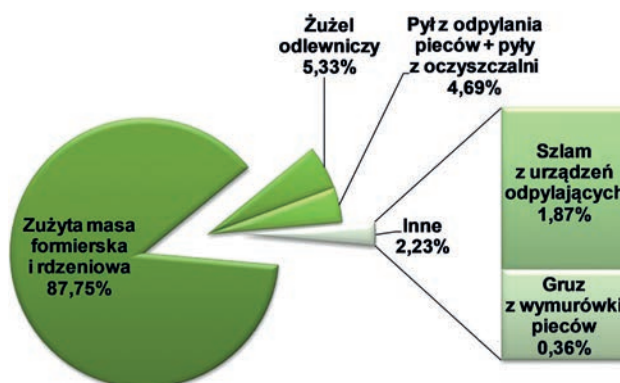
The following parameters of the final product were determined: final moisture content (W), the shattered resistance of granules (W_z) tested immediately after the granulation process and after the lapse of 1, 3, 5, 10 and 30 days of seasoning, and water resistance of granules after the immersion in water for 24 hours.

Studies were conducted on granules produced in the granulator pan inclined at an angle of 45° and rotating at four different speeds of 10, 15, 20 and 25 rev/min.

Keywords: moulding sand, loose self-hardening sand, Floster S process, post-reclamation dust, granulation, environmental protection

1. Wprowadzenie

Ilość odpadów powstających w przemyśle odlewniczym podczas produkcji odlewów jest niemalże równa wielkości ich produkcji. Największą część tych odpadów stanowi zużyta masa formierska i rdzeniowa, następnie żużel, szlamy i pyły oraz materiały ogniotrwałe, wióry, zalewki, zużyte szpilki, zbrojenia form i rdzeni, nadatki technologiczne, materiały ściernie, zużyte oleje i emulsje [1]. Na rysunku 1 przedstawiono udział procentowy poszczególnych odpadów odlewniczych w Polsce dla odlewni stopów żelaza.



Rys. 1. Udział procentowy poszczególnych odpadów odlewniczych w Polsce dla odlewni stopów żelaza
 Fig. 1. Percent fraction of each type of foundry waste generated in Poland by foundries casting iron alloys

Analiza ilości oraz struktury odpadów generowanych w odlewniach pozwala na uzyskanie informacji dotyczących prób zagospodarowania odpadów przez ich recykling czy odzyskiwania niektórych składników. Największą część odpadów stanowią zużyte masy formierskie i rdzeniowe, z których jednak na drodze regeneracji można odzyskać osnowę piaskową. Pyły z odpylania pieców oraz żużle mogą być powtórnie wykorzystane w odlewnictwie lub w innych gałęziach przemysłu [1, 2].

Podczas suchej regeneracji mas zużytych powstaje nawet do 10% wag. pyłów poregeneracyjnych, w których są skumulowane znaczne ilości resztek spoiwa lub lepiszcza usuniętego z ziaren piasku oraz produktów ścierania samego piasku [3–5]. W przypadku zużytych mas z żywicami pyły te często posiadają bardzo duże wartości strat prażenia (ponad 30%), co świadczy o znacznej zawartości części palnych [6].

Składowanie tego typu odpadów (pyłów) wymaga stosowania odpowiednio zabezpieczonych składowisk, co związane jest ze znacznymi kosztami [7]. O możliwości zagospodarowania pyłów poregeneracyjnych decyduje kilka właściwości i sposób przetworzenia postaciowego pyłów. Najczęściej bierze się pod uwagę składy: chemiczny, ziarnowy, fazowy, zawartość części lotnych i krzemionki, pH oraz wpływ na otaczające środowisko [8–10].

1. Introduction

The amount of waste produced by the foundry industry during manufacture of castings nearly equals the volume of castings produced. The major component of this waste is the used moulding and core sand, followed by slag, sludge, dust and refractories, chips, burrs, worn pins, reinforcement of moulds and cores, technological allowances, abrasive materials, used oils and emulsions [1]. Figure 1 shows the percent fraction of each type of foundry waste generated in Poland by foundries casting iron alloys.

Detailed analysis of the volume and structure of the waste generated by foundries provides information on how this waste can be utilised by recycling or recovery of some of its components. The major part of the waste is the used moulding and core sand. In this case, however, the reclamation process makes possible only the recovery of the base sand grains. The dust and sludge from the furnace dust collectors can be re-used in foundries or in other sectors of the industry [1, 2].

In the dry reclamation process of foundry waste, a large volume (up to 10 wt. %) of the post-reclamation dust is formed with considerable amounts of the accumulated residual clay and/or binder removed from the sand grains and various products of the sand abrasion process [3–5]. The dust from the waste sands with resin binders often has a very high value of the loss on ignition (over 30%), which demonstrates the high content of combustible matter [6].

Storage of this dust waste requires properly secured landfills, which is associated with significant costs [7]. The possibilities of management of the post-reclamation dust depend on the characteristics of this dust and on the process adopted for its recovery. The characteristics most often taken into consideration include chemical, granular and phase composition, the content of volatile matter and silica, the pH value and impact on the surrounding environment [8–10].

2. Stanowisko doświadczalne

Proces granulacji przeprowadzono z wykorzystaniem prototypowego granulatora misowego służącego do granulowania pyłów o właściwościach hydrofilowych lub hydrofobowych.

Granulator składa się z obrotowej misy usytuowanej na osi nachylonej do poziomu pod odpowiednim kątem z możliwością zmiany wartości kąta. Wewnątrz misy znajdują się zgarniacze eliminujące narosty pyłowe na ścianach misy, a także lanca z urządzeniem do dozowania środka nawilżającego. Elementami innowacyjnymi są: automatyzacja dozowania określonej ilości środka zwilżającego w zależności od masy wsadu określanego wagowo, a także rozwiązanie napędu misy pozwalające na bezstopniową zmianę prędkości obrotowej misy.

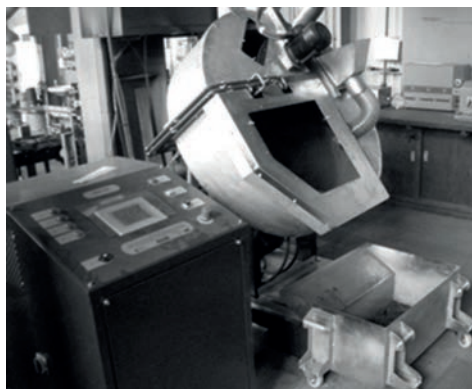
Na [rysunku 2](#) przedstawiono granulator misowy z pulpitem sterowania i urządzeniem do dozowania środka zwilżającego.

2. Test stand

The granulation process was performed in a prototype pan-type granulator designed for the granulation of dust characterised by hydrophilic or hydrophobic properties.

The granulator consists of a rotating pan disposed on an axis inclined at a suitable angle to the horizontal level with the possibility of changing the angle. Inside the pan there are scrapers removing the dust that builds up on the pan walls, and a lance with a device for feeding of the moistening agent. Innovative elements include automated system feeding a predetermined quantity of moistening agent calculated in terms of the charge weight by a charge weighing technique, and a novel design of the drive system actuating the pan movement and providing stepless change of the pan rotational speed.

[Figure 2](#) shows a pan-type granulator with control panel and a device for feeding of the moistening agent.



Rys. 2. Granulator misowy, widok ogólny [13]

Fig. 2. A general view of the pan-type granulator [13]

3. Program badań własnych

Skład chemiczny granulowanych pyłów zestawiono w [tabeli 1](#). Procesowi granulowania, w prototypowym granulatorze misowym, poddawany był czysty pył bentonitowy określony jako Pył 1 oraz mieszaniny pyłów o następujących składach: 75% wag. pyłów uzyskanych po regeneracji mieszaniny mas szkło wodne – rezolit (Pył 2) z 25% wag. pyłów z masy z bentonitem oraz 50% wag. pyłów uzyskanych po regeneracji masy furanowej (Pył 3) i 50% wag. pyłów z masy z bentonitem.

Pył lub mieszanka pyłów, w ilości 10 kg, podawana była porcjami na misę granulującą i zraszana wodą w ilości około 13–15% wag. w stosunku do ilości pyłu. Misa granulatora obracała się z zadanymi kolejno prędkościami (10, 15, 20, 25 obr/min), przy kącie nachylenia wynoszącym 45°. Zwilżany materiał w misie ulegał aglomeracji i powstawały granulki, których średnice wahały się w granicach od 3 mm do 80 mm.

3. Own research program

Chemical composition of the granulated dust is stated in [Table 1](#). The process of granulation in a prototype pan-type granulator was carried out on pure bentonite dust (Dust 1) and on dust mixtures of the following compositions: 75 wt.% of post-reclamation dust from the water glass sand – resolute sand mixture (Dust 2) mixed with 25 wt.% of dust from the bentonite sand, and 50 wt.% of dust from the furan sand reclamation (Dust 3) mixed with 50 wt.% of dust from the bentonite sand reclamation.

The dust or dust mixture in an amount of 10 kg was fed in batches to the granulator pan and sprinkled with water in an amount of about 13–15 wt.% relative to the amount of dust. The granulator pan rotated at various speeds in a preset sequence of 10, 15, 20, 25 rev/min and at an angle of inclination amounting to 45°. The moistened material in the pan underwent the process of agglomeration forming granules of diameters comprised in the range of 3 mm to 80 mm.

Tabela 1. Skład chemiczny granulowanych pyłów poregeneracyjnych: a) pył ze stacji przerobu mas z bentonitem, b) pyły z suchej regeneracji mas ze spoiwami

Table 1. Chemical composition of the granulated post-reclamation dust: a) dust from the bentonite sand processing plant, b) dust from dry reclamation of foundry sands with different binders

a)	
Składnik/ Component	Koncentracja, % wag. / Concentration, wt. %
Al	5,64
C	16,80
Ca	0,82
Fe	1,07
K	0,69
Mg	1,17
Na	1,26
S	0,24
Si	24,74
Koncentracja, ppm / Concentration, ppm	
Bi	< 6,00
O	42,15
Pb	37,00
Sb	< 1,00

Składnik/ Component	Zawartość składnika, % wag. / Content, wt. %	
	Pył 2 / Dust 2	Pył 3 / Dust 3
Al ₂ O ₃	1,940	4,300
CaO	0,310	0,300
Cl	0,003	0,011
Fe ₂ O ₃	0,890	2,430
K ₂ O	0,200	1,250
MgO	0,170	1,070
Na ₂ O	2,700	0,270
SiO ₂	89,900	85,700
SO ₃	0,017	0,120
ZrO ₂	0,070	1,130

4. Wyniki badań

W pierwszym etapie badań wyznaczono doświadczalnie optymalną ilość dodatku pyłu bentonitowego w stosunku do ilości pyłów poregeneracyjnych mas ze spoiwem, tak aby dana mieszanka pyłowa podlegała procesowi granulacji. W przypadku mieszanki pyłów z technologii szkło wodne – rezolit dodatek pyłu zmieniano w zakresie od 15% do 25%, co 2%, natomiast dla pyłu poregeneracyjnego z masy z żywicą furanową w zakresie od 25% do 50%, co 5%.

Po określeniu optymalnego składu mieszanki przeprowadzono właściwy proces granulacji.

W artykule przedstawiono parametry wytrzymałościowe granul po pierwszym zrzucie uzyskane dla granulatów wytworzonych przy prędkościach obrotowych miski granulatora wynoszących odpowiednio 10, 15, 20 i 25 obr/min dla kąta nachylenia 45°.

Na [rysunkach 3 i 4](#) przedstawiono zależność wytrzymałości zrzutowej granul uzyskanych przy prędkości obrotowej miski granulatora wynoszącej odpowiednio 10 obr/min ([rys. 3](#)) oraz 15 obr/min ([rys. 4](#)), dla kąta nachylenia miski granulatora wynoszącego 45°.

Analizując poniższe wykresy, można zaobserwować stały spadek wytrzymałości zrzutowej po trzecim dniu sezonowania zarówno dla granul uzyskanych przy prędkości 10 obr/min, jak i 15 obr/min. Największą wytrzymałością zrzutową charakteryzuje się granulaty surowy (wyjściowy) oraz po 1 dniu sezonowania, natomiast

4. Test results

To prepare a dust mixture suitable for the granulation process, the first stage of studies covered a series of experiments to determine the optimal addition of bentonite dust to the post-reclamation dust produced by sands with various binders. In the case of dust mixture from the water-glass – resolute technology, the bentonite dust addition was changed in 2% steps from 15% to 25%, while in the case of post-reclamation dust from furan resin sand, the change was made in 5% steps from 25% to 50%.

After determining the optimal composition of the mixture, a proper granulation process was carried out.

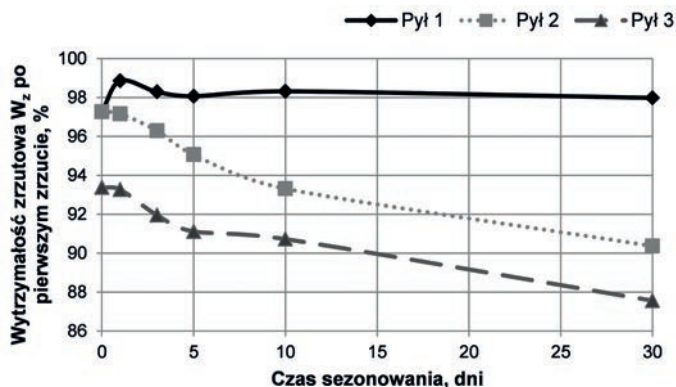
In the article are presented the strength parameters of the granules after the first drop test. The granules were produced at the rotational speeds of the pan granulator amounting to 10, 15, 20 and 25 rev/min, keeping the angle of inclination constant and amounting to 45°.

[Figures 3 and 4](#) show the shattered resistance – seasoning time dependence measured in the granules produced with the granulator pan rotational speed of 10 rev/min ([Fig. 3](#)) and 15 rev/min ([Fig. 4](#)) at an angle of inclination amounting to 45°.

Examining the charts below, a steady decrease in the shattered resistance is observed after the third day of seasoning in the granules produced at both speeds of 10 rev/min and 15 rev/min. The highest shattered resistance shows the raw (base) granulate after 1 day

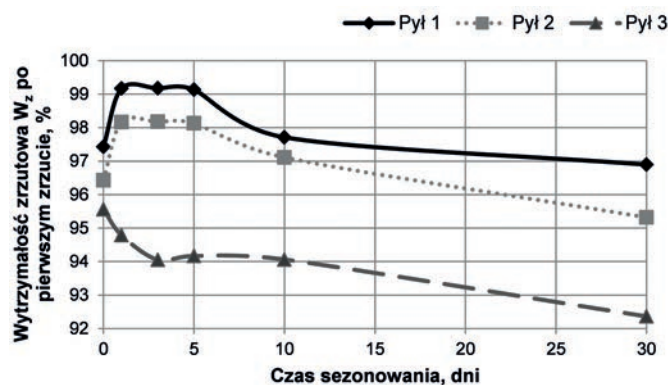
najmniejszą granulat po 30 dobach sezonowania. Dla badanych prędkości obrotowych miski granulatora największą wytrzymałość w całym okresie sezonowania uzyskuje się dla granulatu otrzymanego z pyłów pochodzących z przerobu stacji mas bentonitowych.

of seasoning, the lowest strength values have the granules after 30 days of seasoning. For the tested rotational speeds of the granulator pan, the highest strength throughout the entire seasoning period was achieved in dust granules from the bentonite sand processing plant.



Rys. 3. Zależność wytrzymałości zrzutowej od czasu sezonowania granul, prędkość obrotowa miski granulatora: 10 obr/min

Fig. 3. The shattered resistance of granules vs seasoning time for the granulator pan rotational speed of 10 rev/min

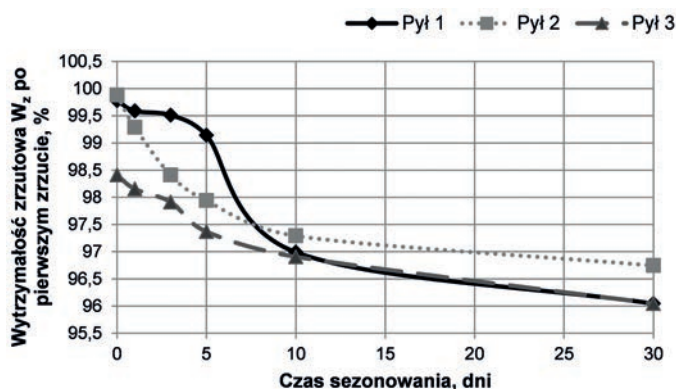


Rys. 4. Zależność wytrzymałości zrzutowej od czasu sezonowania granul, prędkość obrotowa miski granulatora: 15 obr/min

Fig. 4. The shattered resistance of granules vs seasoning time for the granulator pan rotational speed of 15 rev/min

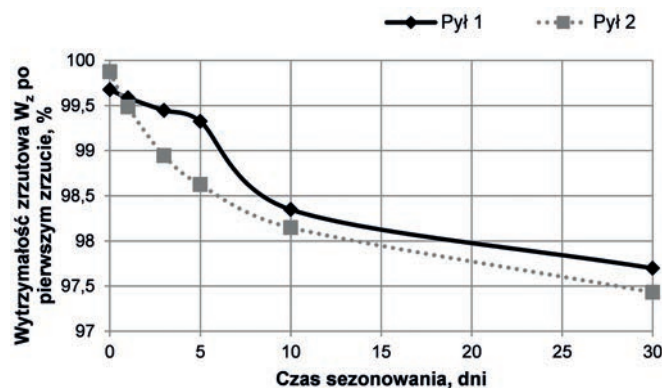
Na rysunku 5 przedstawiono przebieg krzywych wytrzymałości granul uzyskanych przy prędkości miski wynoszącej 20 obr/min.

The shattered resistance curves of the granules obtained at the granulator pan rotational speed of 20 rev/min are shown in Figure 5.



Rys. 5. Zależność wytrzymałości zrzutowej od czasu sezonowania granul, prędkość obrotowa miski granulatora: 20 obr/min

Fig. 5. The shattered resistance of granules vs seasoning time for the granulator pan rotational speed of 20 rev/min



Rys. 6. Zależność wytrzymałości zrzutowej od czasu sezonowania granul, prędkość obrotowa misy granulatora: 25 obr/min
 Fig. 6. The shattered resistance of granules vs seasoning time for the granulator pan rotational speed of 25 rev/min

W przypadku mieszaniny pyłu poregeneracyjnego z masy z żywicą furanową z pyłem bentonitowym (Pył 3) przy prędkości obrotowej misy przekraczającej 20 obr/min nie udało się przeprowadzić procesu aglomeracji, gdyż pył po nawilżeniu przykleił się do dna i obrzeża misy granulatora. Świadczy to o konieczności modernizacji układu zgarniającego w celu wyeliminowania oklejania obrzeża i dna misy.

Dla prędkości obrotowej misy granulatora wynoszącej 20 obr/min obserwuje się stały spadek wytrzymałości wraz z czasem sezonowania gotowego granulatu. Granule uzyskane z mieszaniny pyłów mają zbliżony przebieg krzywej wytrzymałości badanej w danym zakresie sezonowania, przy czym aglomerat uzyskany z pyłów furanowych posiada mniejszą wytrzymałość.

Analogiczną zależność wytrzymałości zrzutowej od czasu sezonowania granul uzyskanych przy prędkości wynoszącej 25 obr/min przedstawiono na rysunku 6. Granulat surowy osiąga praktycznie 100% wytrzymałości dla obydwu badanych pyłów. Oznacza to, iż po zrzucie na płytę stalową granule nie ulegają rozpadowi. Granulat uzyskany przy tej prędkości obrotowej misy charakteryzuje się bardzo dużą wytrzymałością w całym okresie sezonowania.

5. Dyskusja wyników

Wyniki badań wskazują, że granulator pozwala na uzyskanie granul z pyłów pochodzących z odpylania stacji przerobu mas formierskich bentonitowych. Dla kąta nachylenia misy granulatora wynoszącego 45° optymalna prędkość obrotowa misy powinna wynosić 25 obr/min.

Wyznaczony, optymalny skład mieszanki pyłów (Pył 2), złożonej z 75% wag. pyłu uzyskanego z regeneracji mieszanki mas ze szkłem wodnym oraz żywicą rezolową i 25% wag. pyłu z masy z bentonitem, pozwala na tworzenie się granul o odpowiednich parametrach.

In the case of the post-reclamation dust from furan resin sand mixed with the dust from bentonite sand (Dust 3), for the granulator pan rotational speed exceeding 20 rev/min, the agglomeration process ended in failure because dust after moistening got stuck to the bottom and the rim of the granulator pan. This demonstrates the need for modernization of the scraper system to eliminate sticking of dust to the pan rim and bottom.

For the granulator pan rotational speed of 20 rev/min, the shattered resistance of the ready granulate showed a steady decline with longer seasoning time. The shattered resistance curves of the granules of dust mixture show a similar run for the same period of seasoning, in spite of a lower shattered resistance of the furan sand dust agglomerate.

A similar shattered resistance – seasoning time dependence obtained for the granules at the granulator pan rotational speed of 25 rev/min is shown in Figure 6. Here, for both examined types of dust, the raw granulate achieves practically 100% shattered resistance, which means that the granules are not disintegrated after having been thrown onto a steel plate. The granules obtained at this rotational speed of the granulator pan maintain a very high level of strength throughout the whole period of seasoning.

5. Discussion of results

The obtained results show that the use of the granulator enables the production of granules of dust extracted from the bentonite sand processing plant. For the granulator pan inclination angle of 45°, the optimal rotational speed of the granulator pan is 25 rev/min.

The determined optimal composition of dust mixture (Dust 2) containing 75 wt.% of post-reclamation dust from the water glass sand – resole resin sand mixture and 25 wt.% of dust from the bentonite sand allows the formation of granules with the required parameters.

The prototype pan granulator produces granules from the dust generated by the furfuryl resin sand reclama-

Prototypowy granulator misowy pozwala na uzyskanie granul z pyłów pochodzących z regeneracji mas formierskich z żywicą furfurylową z dodatkiem pyłów ze stacji przerobu mas bentonitowych. Wyznaczony, optymalny skład mieszanki pyłów (Pył 3) o składzie: 50% wag. pyłu uzyskanego po regeneracji masy furfurylowej i 50% wag. pyłu z masy ze stacji przerobu masy z bentonitem, pozwala na tworzenie się granul o odpowiednich wymiarach i wytrzymałości. Dla kąta nachylenia granulatora wynoszącego 45° optymalna prędkość obrotowa miski powinna wynosić 20 obr/min. Przy tej prędkości granule charakteryzują się najwyższą wytrzymałością zrzutową.

6. Wnioski

Wyniki badań wskazują, że granulator prototypowy pozwala na uzyskanie granul z pyłów pochodzących z odpylania stacji przerobu mas formierskich bentonitowych, z dodatkiem wody jako cieczy zwilżającej. Dla tego typu pyłów najlepsze wyniki granulacji uzyskuje się przy prędkości obrotowej miski wynoszącej 25 obr/min.

W przypadku granulacji mieszanki pyłów o składzie: 75% wag. pyłu poregeneracyjnego z technologii mas mieszanych: szkło wodne – rezolit oraz 25% wag. pyłu ze stacji przerobu mas z bentonitem najlepsze wyniki granulacji uzyskuje się przy kącie nachylenia miski wynoszącym 45° dla prędkości obrotowej 25 obr/min.

Na przykładzie granulacji pyłów z żywicą furfurylową z dodatkiem pyłów ze stacji przerobu mas bentonitowych wykazano, że należy odpowiednio dostosować technologię granulacji pyłów dominujących w mieszaninie do łączenia się z pyłami o przeciwstawnych właściwościach fizykochemicznych.

Podziękowania

Opracowano w ramach projektu współfinansowanego przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, nr WND POIG.01.03.01-12-007/09 oraz Grantu Dziekańskiego nr 15.11.170.417 (2011–2013).

Literatura/References

1. Kamińska, J. (2013). *Analiza wpływu parametrów pracy granulatora misowego na przebieg procesu granulowania pyłów poregeneracyjnych. Rozprawa doktorska*. Kraków: AGH.
2. Baricová, D., Pribulová, A., Demeter, P. (2010). Comparison of possibilities the blast furnace and cupola slag utilization by concrete production. *Archives of Foundry Engineering*, 10(2), 15–18.
3. Pribulová, A., Baricová, D., Futaš, P., Gengel, P. (2010). Possibilities of pelletizing and briquetting of dust from casting grinding. *Archives of Foundry Engineering*, 10(2), 123–126.
4. Dańko, R. (2011). Innovative developments in sand reclamation technologies. *Metalurgija – Metallurgy*, 50(2), 93–96.

tion mixed with the dust generated by the bentonite sand processing plant. The determined optimal composition of dust mixture (Dust 3) containing 50 wt. % of dust from the reclamation of furfuryl resin sand and 50 wt. % of dust from the bentonite sand processing plant enables shaping the granules of suitable size and strength. For the granulator pan inclination angle of 45°, the optimal rotational speed of the granulator pan is 20 rev/min. At this speed, the granules have the highest shattered resistance.

6. Conclusions

The results show that the use of the prototype granulator enables the production of granules of dust extracted from the bentonite sand processing plant mixed with the addition of water as a moistening agent. For this type of dust, the best results of granulation are obtained with the granulator pan rotational speed of 25 rev/min.

For the granulation of dust mixture containing 75 wt. % of post-reclamation dust from the water glass sand – resol resin sand mixture and 25 wt. % of dust from the bentonite sand processing plant, the best results of granulation are obtained for the granulator pan inclination angle of 45° and the rotational speed of 25 rev/min.

Taking as an example the granulation of dust from the furfuryl resin sand mixed with the addition of dust from the bentonite sand processing plant it was demonstrated that the technology of granulation of the dust prevailing in the mixture should be properly modified to perform also the effective granulation of dust characterised by different physical and chemical properties.

Acknowledgements

The study was performed as the Project co-financed by the European Fund of Regional Development within the Operational Program of Innovative Economy, No. WND-POIG.01.03.01-12-007/09 and Dean's Grant No. 15.11.170.417.

5. Dańko, R., Holtzer, M. (2010). Moulding sands grain size investigations by means of the laser method of measurement. *Archives of Metallurgy and Materials*, 55(3), 787–794.
6. Dańko, R. (2010). Experiences gathered during reclamation of used water glass and bentonite sands in extra low and ambient temperature. *International Journal of Cast Metals Research*, 23(2), 92–96, DOI: 10.1179/174313309X451270.
7. Dańko, J., Holtzer, M., Grabowska, B. (2008). Analiza i struktura odpadów z krajowych odlewni. *Archives of Foundry Engineering*, 8(2), 5–9.
8. Dańko, J., Holtzer, M., Małolepszy, J., Gawlicki, M., Dańko, R., Pytel, Z., Jagosz, A., Grabowska, B. (2009). *Możliwości ograniczenia i metody zagospodarowania odpadów z procesów odlewniczych: informator dla odlewni*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe AKAPIT.
9. Kamińska, J., Skrzyński, M. (2011). Physical, chemical and strength properties of dust from the bentonite sands treatment plants. *Metallurgy and Foundry Engineering*, 37(2), 189–195.
10. Kamińska, J., Dańko, J. (2013). Granulation process of foundry dusts originated from bentonite sand processing plants. *Metalurgija – Metallurgy*, 52(1), 59–61.
11. Kamińska, J., Dańko, J. (2013). Granulation of after reclamation dusts from the mixed sands technology: water glass – resolit. Granulacja pyłów poregeneracyjnych z technologii mas mieszanych: szkło wodne – rezolit. *Archives of Foundry Engineering*, 13(2), 65–70.
12. Kamińska, J., Dańko, J. (2012). Preliminary research on granulation process of dust waste from reclamation process of moulding sands with furan resin. *Archives of Foundry Engineering*, 12(3), 53–58.
13. Urządzenie do bezciśnieniowej granulacji pyłów. Device for nonpressure dust granulation. Dańko, J., Holtzer, M., Dańko, R. Polska, 2014, Patent, PL 217441 B1.