

Tadeusz GLUBA*, Andrzej OBRANIAK*

BADANIA NIEKTÓRYCH WARUNKÓW GRANULACJI PIASKÓW SZKLARSKICH

Badano zdolność granulacji piasków szklarskich o różnych składach ziarnowych. Badania prowadzono w granulatorze przesypowym o średnicy 0,23 m i długości 0,28 m przy stałej prędkości obrotowej bębna równej $0,5 \text{ s}^{-1}$ i stałym stopniu wypełnienia aparatu wsadem ziarnistym, równym 0,1 objętości wewnętrznej. Proces granulacji prowadzono w sposób okresowy, przy stałej wilgotności wsadu, ale zmiennych warunkach doprowadzania cieczy zwilżającej (5% wodny roztwór NaCl) na przesypujące się złożo. Dokonano oceny wpływu warunków prowadzenia procesu granulacji na skład granulometryczny produktów wytworzonych z poszczególnych surowców drobnopiękistych oraz ich właściwości wytrzymałościowe, które oceniano za pomocą testów na ścieranie oraz rozbijanie w wyniku swobodnego spadania z określonej wysokości.

WPROWADZENIE

W ostatnich latach coraz bardziej rośnie zainteresowanie przetwarzaniem drobnopiękistych i pylistych materiałów w formę zgranulowaną, mającą zdecydowanie korzystniejsze właściwości w porównaniu do materiałów wyjściowych (brak pylenia, niezbrilanie się, łatwość dozowania, równomierny skład ziarnowy itp.). Forma zgranulowana może stanowić przy tym produkt finalny (np. nawozy sztuczne, środki farmaceutyczne, środki spożywcze) lub półprodukt stosowany w dalszym cyklu technologicznym (np. drobnopiękiste rudy i proszki metali, wypełniacze, materiały proszkowe podlegające tabletkowaniu itp.). W tym drugim przypadku przetworzenie formy proszkowej w zgranulowaną daje możliwość dalszego wykorzystania takich surowców (np. ich przetopienia), jak również pozwala na ich dokładne dozowanie. Granulacja drobnopiękistych rud i proszków metali jest jednym z ważniejszych zagadnień występujących w przemyśle metalurgicznym.

Badaniami w tym zakresie zajmowali się ostatnio m.in. (Litster et al. 1986, 1990; Chudnova et al. 1990; Cooper 1992).

Istotnym problemem, jaki pojawił się w ostatnich latach jest zagospodarowanie różnego rodzaju pyłów odpadowych powstających w wielu działach gospodarki. Jednym ze sposobów utylizacji takich pyłów jest ich granulacja (Aslanowicz et al. 1986, Heim et al. 1995).

* Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska.

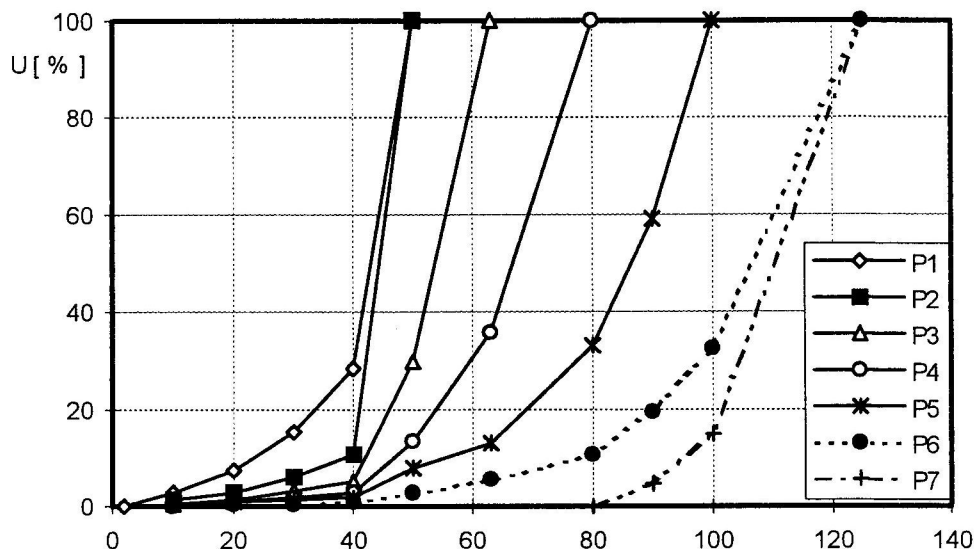
W zależności od dalszego przeznaczenia wytworzony granulat powinien spełniać wymagania odnośnie wielkości i kształtu ziaren, a także właściwości wytrzymałościowych. Wymaga to zastosowania odpowiednich metod granulacji, a także doboru najwłaściwszych parametrów prowadzenia procesu. Badania granulacji przesypowej różnych materiałów drobnoziarnistych wykazały, że przebieg procesu, a także właściwości uzyskanego produktu zależą bardzo silnie od właściwości fizycznych granulowanego surowca, ale dają się w pewnych granicach sterować poprzez zmianę parametrów procesu (Heim et al. 1984; Gluba et al. 1988, 1990). Opracowanie technologii granulacji nowych surowców wymaga każdorazowo wykonania badań laboratoryjnych, mających na celu ustalenie optymalnych parametrów prowadzenia procesu.

W pracy przedstawiono wyniki badań granulacji bębnowej drobnoziarnistych piasków szklarskich o różnych składach granulometrycznych przy zmiennych parametrach nawilżania wsadu.

Surowce te w postaci wyjściowej nie mogły być, ze względu na ich drobne uziarnienie, wykorzystane jako składnik zestawu szklarskiego podawanego do pieca, a więc stanowiły materiał odpadowy. Celem pracy jest ocena możliwości granulacji powyższych pyłów oraz wpływu warunków procesu na właściwości otrzymanego granulatu.

BADANIA

Badano granulację dla siedmiu rodzajów piasku szklarskiego o ziarnach w zakresie do 0,125 mm, różniących się składem granulometrycznym. Krzywe składów ziarnowych poszczególnych surowców wyjściowych przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Składy granulometryczne surowców użytych do badań

Fig. 1. Grain size composition of raw materials tested

Każdy z materiałów granulowano w granulatorze bębnowym o średnicy 0,23 m i długości 0,28 m, przy stałej prędkości obrotowej równej $0,5 \text{ s}^{-1}$. Proces prowadzono w sposób okresowy, przy stałym wypełnieniu bębna wsadem ziarnistym równym 0,1 objętości wewnętrznej, przy zmiennych parametrach nawilżania złoza. Na podstawie badań wstępnych dobrano optymalną, jednakową dla wszystkich surowców wilgotność wsadu ($w = 0,20 \text{ kg cieczy/kg pyłu}$), przy której uzyskiwano najlepsze efekty granulacji. Jako ciecz zwilżającą stosowano 5% roztwór wodny NaCl. Materiał poddawany granulacji nawilżano kroplowo w czasie jego ruchu przesypowego za pomocą zestawu zraszaczy rozmieszczonych równomiernie wzdłuż bębna. Stosowano zmienne natężenie podawania cieczy zwilżającej ($Q = 3,5, 4,9, 6,3, 7,7 \text{ g/s}$), co przy stałej masie cieczy zwilżającej dawało zmianę czasów nawilżania wsadu. We wszystkich próbach stosowano jednakowy całkowity czas granulacji ($t = 4 \text{ min}$), liczony od momentu rozpoczęcia nawilżania. Na podstawie analizy sitowej określano skład ziarnowy każdego z produktów granulacji otrzymanego w danych warunkach, a następnie badano ich właściwości wytrzymałościowe w stanie wysuszonym. Ocenę wytrzymałościową przeprowadzano za pomocą dwóch niezależnych testów: na ścieranie i na rozbijanie w wyniku swobodnego spadania z wysokości 0,6 m na twarde podłoże. Do poszczególnych badań wytrzymałościowych stosowano próbki reprezentatywne dla całego produktu, stanowiące połowę masy otrzymanego granulatu. Badania odporności na ścieranie wykonano w bębnie o średnicy 0,15 m i długości 0,18 m wyposażonym w przegrody wzdłużne, przy prędkości obrotowej równej $1,33 \text{ s}^{-1}$. Czas trwania każdej próby wynosił 30 s. Po zakończeniu danego testu przeprowadzano ponowną analizę sitową w celu określenia aktualnego składu ziarnowego.

WYNIKI

Na podstawie badań stwierdzono bardzo istotny wpływ uziarnienia granulowanego materiału, a także warunków jego nawilżania na właściwości otrzymanego produktu. Jako wielkość charakteryzującą warunki nawilżania przyjęto tzw. intensywność, nawilżania obliczaną z zależności:

$$I_n = \frac{m_c}{m_p N_n} \quad (1)$$

gdzie:

m_c – masa cieczy zwilżającej, kg,

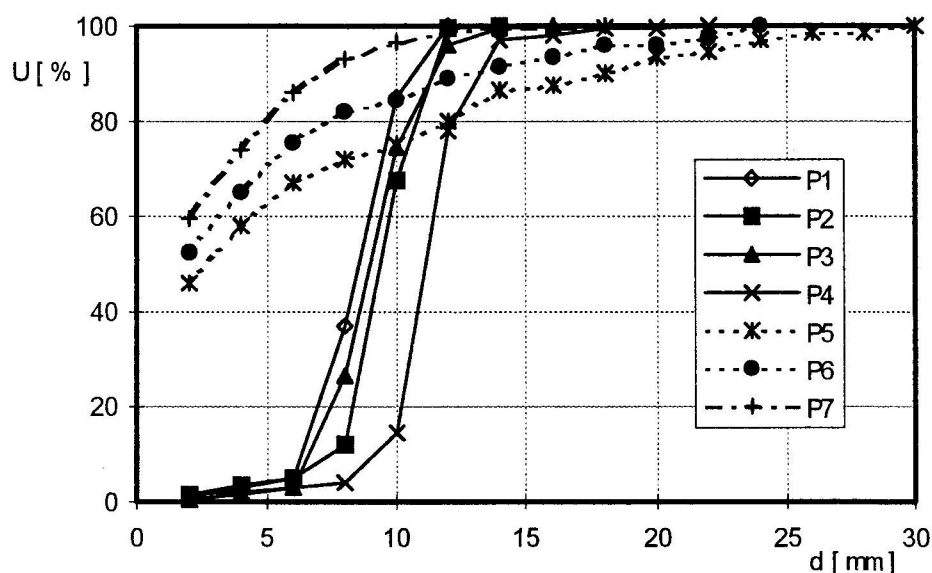
m_p – masa suchego proszku w bębnie, kg,

N_n – bezwzględna liczba obrotów bębna w czasie nawilżania.

Przykładowe porównanie krzywych składu ziarnowego granulatu uzyskanego z poszczególnych surowców wyjściowych przy stałej intensywności nawilżania w czasie granulacji ($I_n = 0,0062$) przedstawiono na rys. 2. Podobny układ krzywych otrzymano także dla pozostałych wartości intensywności nawilżania stosowanych w czasie badań.

Dla wszystkich intensywności nawilżania uzyskano odmienny charakter krzywych składu ziarnowego granulatu wytworzonego z surowców (1–4) oraz (5–7). Granulat otrzymany z surowców zaliczonych do pierwszej grupy charakteryzuje się węższym składem ziarnowym i zdecydowanie mniejszym udziałem ziaren bardzo drobnych i niezgranulowanego proszku w porównaniu z produktem wytworzonym w tych samych warunkach z surowców (5–7). Porównując składy ziarnowe poszczególnych surowców można stwierdzić, że przyczyną tego stanu jest zawartość w nich ziaren o wielkości powyżej 80 μm . Zawartość takich ziaren w surowcu wyjściowym powoduje powstanie granulatu o wyraźnie odmiennym składzie ziarnowym w stosunku do produktu z surowców zawierających ziarna poniżej tej wartości.

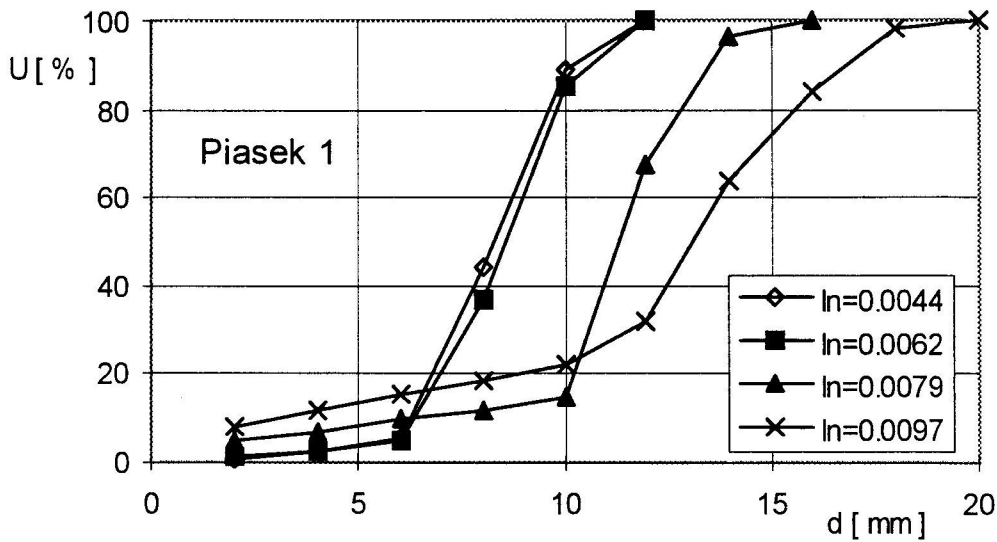
Intensywność nawilżania w czasie procesu ma również wpływ na wielkość cząstek produktu granulacji. Przykładową ilustrację wpływu intensywności nawilżania na skład ziarnowy granulatu otrzymanego z jednego z surowców (piasek 1) przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Porównanie składów ziarnowych granulatu wytworzonego z surowców o różnym uziarnieniu przy stałej intensywności nawilżania $I_n = 0,0062$
 Fig. 2. Comparison of grain composition of granulated product made from material of various graining at constant wetting intensity $I_n = 0,0062$

Stwierdzono, że wpływ intensywności nawilżania w czasie granulacji również nie jest jednakowy dla wszystkich materiałów. Wpływ tego parametru maleje wraz ze wzrostem wielkości ziaren granulowanych surowców.

W celu oceny wpływu badanych wielkości na skład granulometryczny produktu obliczano momenty zwykłe i centralne rzędu 1–4 funkcji rozkładu ziarnowego surowca i produktu, na podstawie z zależności:



Rys. 3. Wpływ intensywności nawilżania na skład ziarnowy granulatu

Fig. 3. The effect of wetting intensity on grain composition of the granulated material

$$m_k = \sum_{i=1}^n x_i d_i^k \quad (2)$$

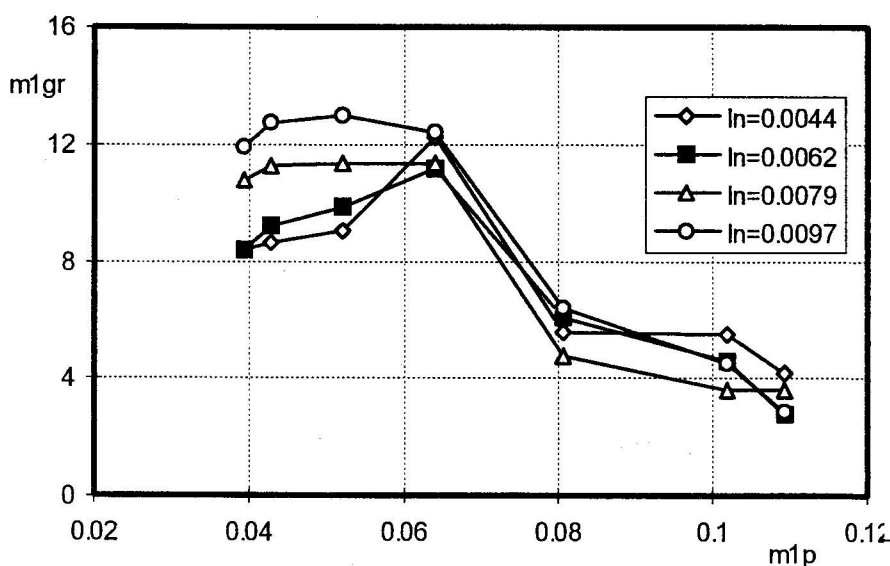
$$M_k = \sum_{i=1}^n x_i (d_i - d_m)^k \quad (3)$$

gdzie:

- m_k – moment zwykły rzędu k ,
- M_k – moment centralny rzędu k ,
- d_i – średnia arytmetyczna klasy ziaren,
- d_m – średnia ważona rozkładu,
- x_i – udział masowy klasy.

Na rysunku 4. przedstawiono zależność momentu m_1 granulatu (m_{1gr}) od m_1 surowca (m_{1pr}) dla różnych intensywności nawilżania ln stosowanych w czasie badań.

Z wykresu tego wynika, że wartość średniej średnicy granulatu wyrażonej momentem m_{1gr} początkowo rośnie, a następnie spada ze wzrostem m_{1pr} . Intensywność nawilżania ma jednoznaczny wpływ tylko dla surowców o najdrobniejszych ziarnach (najmniejsze wartości m_{1pr}). Dla tych materiałów wzrost intensywności nawilżania powoduje powstanie produktu o większych ziarnach (większe m_{1gr}). Dla surowców o większych ziarnach zależności takiej nie zauważono.



Rys. 4. Zależność m_1 granulatu od m_1 proszku dla różnych wartości ln
 Fig. 4. Dependence of m_1 of granulated material on m_1 of powder for different ln values

Otrzymany produkt granulacji można również scharakteryzować za pomocą tzw. stopnia zgranulowania Φ , który oznacza udział masy granulatu otrzymanego w danych warunkach, w całej masie wsadu w bębnie. W pracy przyjęto, że granulatem są ziarna o wielkości powyżej 2 mm, a wszystkie ziarna przechodzące przez sito 2 mm uznano za niezgranulowaną pozostałość. Stopień zgranulowania Φ oznacza więc udział ziaren > 2 mm w całej masie granulowanego wsadu. Tak zdefiniowany stopień granulacji uzależniono od parametrów procesu i uzyskano zależność:

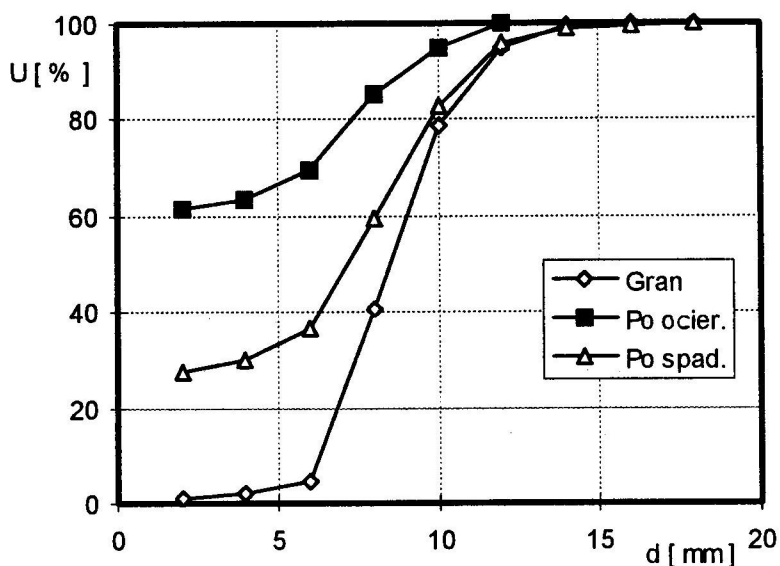
$$\Phi = 0,027 m_{1pr}^{-0,88} ln^{-0,17} \quad (4)$$

Wynika z niej, że stopień zgranulowania mocno spada ze wzrostem średniej średnicy surowca (m_{1pr}), a nieco wolniej ze wzrostem intensywności nawilżania ln .

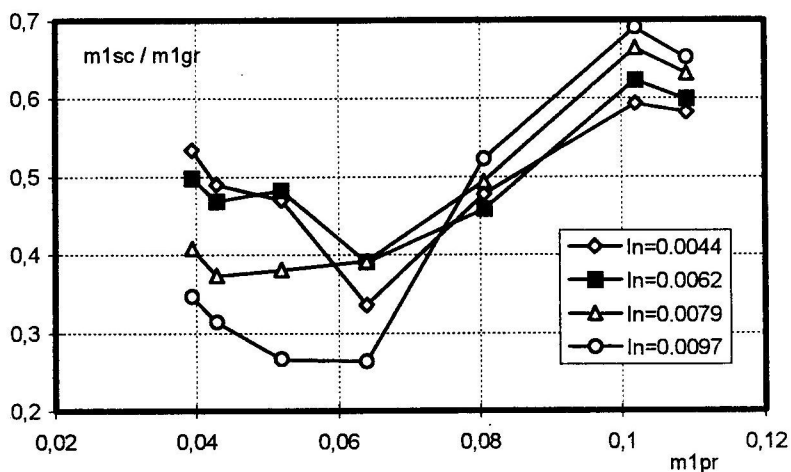
Istotnym parametrem charakteryzującym jakość uzyskanego granulatu są jego właściwości wytrzymałościowe. W pracy dokonano oceny wpływu badanych parametrów na wytrzymałość suchego granulatu, określaną za pomocą testów: na ścieranie i na rozbijanie w wyniku swobodnego spadania. Jako miarę wytrzymałości danego produktu przyjmowano stopień zmiany jego składu granulometrycznego w wyniku danego testu. Przykładowe porównanie krzywych składu ziarnowego produktu przed i po próbach wytrzymałościowych przedstawiono na rys. 5.

Zmianę składu ziarnowego produktu w wyniku danej próby wytrzymałościowej określano za pomocą ilorazu odpowiednich momentów zwykłych pierwszego rzędu krzywych składu ziarnowego – produktu wyjściowego (m_{1gr}), produktu po ścieraniu (m_{1sc}) i produktu po rozbijaniu (m_{1sp}).

Graficzną ilustrację wpływu badanych parametrów na właściwości wytrzymałościowe produktu wyrażone ilorazem m_{1sc}/m_{1g} i m_{1sc}/m_{1gr} przedstawiono na rys. 6 i 7.



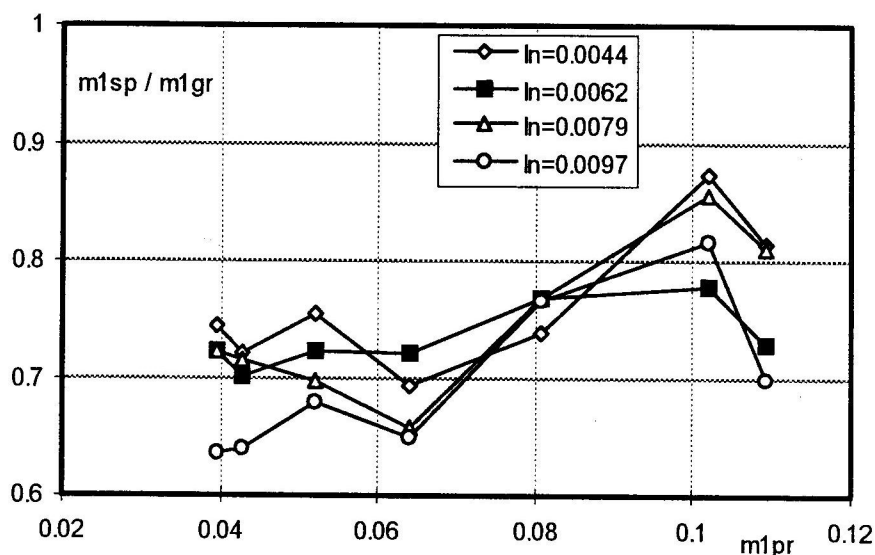
Rys. 5. Porównanie krzywych składu ziarnowego granulatu przed i po próbach wytrzymałościowych
Fig. 5. Comparison of grain composition curves for granulated material prior to and after strength tests



Rys. 6. Zależność odporności na ścieranie granulatu od wartości m_{1pr} .
Fig. 6. Dependence of product resistance to attrition on the value of m_{1pr}

Z wykresów powyższych wynika, że wytrzymałość granulatu, oceniana według obu testów, wyraźnie zależy od wielkości ziaren granulowanego surowca wyrażonej mo-

mentem m_{1pr} . Najwyższą wytrzymałość według obu testów uzyskano dla granulatu wytworzonego z surowca o dużych ziarnach i szerokim składzie ziarnowym (piasek 6). Wpływ intensywności nawilżania jest widoczny i jednoznaczny tylko dla surowców o najmniejszych ziarnach.



Rys. 7. Zależność odporności na rozbijanie granulatu od wartości m_{1pr}
 Fig. 7. Dependence of product resistance to breaking on the value of m_{1pr}

PODSUMOWANIE

Stwierdzono, że istnieje możliwość wytworzenia granulatu z odpadowych piasków szklarskich o różnym uziarnieniu w procesie mokrej granulacji, realizowanej w bębnowym granulatorze przesypowym. Badania wykazały, że skład ziarnowy i właściwości wytrzymałościowe otrzymanego granulatu zależą istotnie od składu granulometrycznego surowca oraz od parametrów nawilżania wsadu w czasie granulacji. Granulat wytworzony z surowców o drobniejszych ziarnach charakteryzował się znacznie większym stopniem zgranulowania oraz węższym składem ziarnowym niż granulat uzyskany z surowców o ziarnach grubszych. Wpływ warunków nawilżania na właściwości granulatu okazał się bardziej istotny dla surowców o drobniejszych ziarnach. Właściwości wytworzonego granulatu można określić i porównywać przy wykorzystaniu momentów krzywych składu granulometrycznego. Porównanie momentów krzywych przed i po próbie wytrzymałościowej pozwala ustalić odporność granulatu otrzymanego w danych warunkach na określony rodzaj obciążeń niszczących oraz jej zależność od parametrów procesu.

Najbardziej wytrzymałe granulki uzyskano dla surowca charakteryzującego się najszerszym składem ziarnowym (piasek 6), dla którego wartość drugiego momentu centralnego (M_2), czyli wariancja miała największą wartość. Stopień zgranulowania tego materiału jak również innych zawierających ziarna powyżej 80 μm był jednak znacznie niższy niż surowców o ziarnach drobniejszych.

LITERATURA

- ASŁANOWICZ M., GLUBA T., KOCHAŃSKI B., STROBIN W. (1986), *Aglomeracja pyłów odpadowych powstających w odlewni*, Przegląd Odlewnictwa 36, 79.
- CHUDONOVA N. M., USATIKOV I. F., SHLYKHOVA T. M. (1990), *Granulation of particulate oxide materials*, Ogneupory (USSR) 30, 335.
- COOPER A. W., (1992), *Slag handling in the ironmaking industry*, Residues & Effluents Process, Int.Symp. San Diego, CA, 377–400.
- GLUBA T., ANTKOWIAK W. (1988), *Effect of wetting on granule abrasion resistance*, Aufbereitungs-Technik 2, 76–80.
- GLUBA T., HEIM A., KOCHAŃSKI B. (1990), *Application of the Theory of Moments in the Estimation of Powder Granulation of Different Wettabilities*, Powder handling & processing, 4, 323–326.
- HEIM A., GLUBA T. (1984), *Przyrost zagęszczenia ziaren w granulkach w procesie mokrej granulacji bębnowej*, Inż. Chem. i Proc., 5, 2, 251–264.
- HEIM A., GLUBA T., KOCHAŃSKI B. (1995), *Granulacja aglomeracyjna drobnoziarnistych odpadów przemysłu metalurgicznego*, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 29, 135–143.
- LITSTER J. D., WATERS A. G., NICOL S. K., (1986), *A model for predicting the size distribution of product from a granulating drum*, Trans. ISIJ, 26, 1036–1044.
- LITSTER J. D., WATERS A. G. (1990), *Kinetics of iron ore sinter feed granulation*, Powder Technology, 62, 125–134.

Gluba T., Obraniak A., (1990), The analysis of some granulation conditions of glass-making sands, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 30, 159–165 (Polish text)

The granulability of glass-making sands of different grain composition was analysed. Investigations were carried out in a batch granulator 0.23 m in diameter and 0.28 m long at a constant rotational speed of the drum 0.5 s^{-1} and constant feeding of the apparatus with granular material equal 0.1 the inner volume. The process of granulation was carried out batch-wise at a constant moisture content of the feed but at variable conditions of feed wetting (with 5% aqueous NaCl solution). The effect of process conditions on the grain composition and mechanical properties of the granulated product obtained from particular fine-grained raw materials were estimated. The mechanical properties were analysed using the tests for attrition and breaking due to free falling from a specified height.