

Joanna SOWIAK¹, Paulina BILARD¹, Alicja PRZYBYŁ¹, Marian KORDAS², Rafał RAKOCZY²

e-mail: rrakoczy@zut.edu.pl

¹ Studenckie Koło Naukowe „Inżynier”, Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

² Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

Analiza oddziaływania wybranych parametrów na proces rozdrabniania materiału ziarnistego

Wstęp

Materiały ziarniste, jako surowiec procesów technologicznych oraz powstałe z nich w toku przeróbki produkty, odgrywają znaczącą rolę w inżynierii chemicznej i procesowej. Jedną z najważniejszych cech technologicznych materiałów ziarnistych jest wielkość ziaren.

W ostatnich latach wzrasta zainteresowanie nowoczesnymi technologiami mechanicznej przeróbki materiałów ziarnistych. Wynika to z konieczności uzyskania materiału ziarnistego o gwarantowanych parametrach i czystości uziarnienia. Ważne jest również dążenie do zmniejszenia energochłonności prowadzenia procesu rozdrabniania i poprawę wymagań dotyczących ochrony środowiska naturalnego [Korzeń i Rink, 1999; Zbroński i Górecka-2007].

W praktyce przemysłowej proces rozdrabniania realizowany jest w różnego typu urządzeniach kruszących lub młynach [Stręk, 1981].

Wiele badań naukowych skupia się na poszukiwaniu optymalnych warunków prowadzenia procesu rozdrabniania. Realizuje się to poprzez określenie odpowiedniego zestawu parametrów procesowych urządzenia, przy którym zostanie osiągnięty wysoki stopień rozdrabniania, małe zużycie energii oraz znikome zużycie materiałów [Vogel, 1991; Einav, 2007].

Rozdrabnianie materiału ziarnistego realizowane jest również w mieszarkach, których dobór zależy od rodzaju mieszanego materiału. Powszechnie stosowane są mieszarki wyposażone w mieszadła nadające się do realizacji procesu rozdrabniania materiału ziarnistego [Heim, 1996; Lewicki, 1982]. Stosunkowo rzadko w procesie rozdrabniania materiału ziarnistego stosowane są mieszalniki wstęgowe [Masiuk i Rakoczy, 2008].

Technologia przeróbki materiałów ziarnistych opiera się głównie na opisie w formie zależności matematycznych problemów procesu rozdrabniania z punktu widzenia uzyskiwanego składu ziarnowego. Określenie związku pomiędzy parametrami operacyjnymi a otrzymanymi efektami jest kluczowe dla uzyskania produktu o zadowalającej granulacji.

Celem prezentowanej pracy jest omówienie procesu rozdrabniania materiału ziarnistego w mieszalniku wstęgowym i zaproponowanie na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych zależności analitycznej wiążącej wybrane parametry operacyjne (czas rozdrabniania materiału ziarnistego, obroty mieszadła) z parametrami opisującymi rozkład wymiarów cząstek otrzymywanego produktu.

Opis badań doświadczalnych

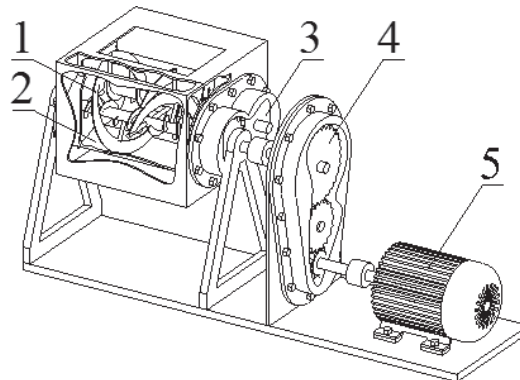
Stanowisko badawcze

Prace doświadczalne rozdrabniania materiału ziarnistego wykonano na stanowisku badawczym przedstawionym na rys. 1.

Dokładny opis mieszalnika wstęgowego stosowanego w pracy badawczej zawarto w opisie patentowym [Stręk i in., 1974] oraz publikacji [Masiuk, 1987].

Metody i materiały

Przyjęta metodyka badań eksperymentalnych obejmowała przygotowanie materiału ziarnistego o założonym rozkładzie granulometrycznym. Następnie ustalono zakres i sposób realizacji prób mielenia oraz wykonania analizy granulometrycznej materiału ziarnistego dla przyjętych punktów czasów mielenia. Do badań użyto cząstek węgla aktywnego. W badaniach zdecydowano się zrealizować proces mielenia



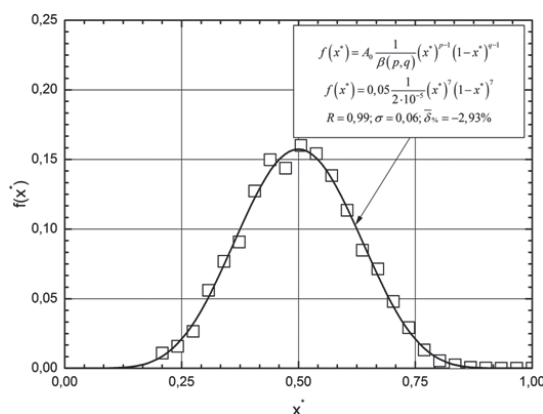
Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – mieszadło wstęgowe, 2 – zbiornik, 3 – wał, 4 – przekładnia, 5 – silnik

dla trzech wybranych prędkości obrotów mieszadła (tj. 2 obr·min⁻¹; 50 obr·min⁻¹; 100 obr·min⁻¹).

Porcję surowca o znanej masie początkowej (3,6 kg) wprowadzano do komory mieszalnika; uruchamiano mieszadło dla żądanej wartości prędkości obrotowej mieszadła n . Następnie dla wybranych momentów czasu mielenia t (tj. po 15, 30, 60, 75, 135, 240 min) zatrzymywano mieszadło oraz wybierano materiał w celu ustalenia klas ziarnowych dla mielonego materiału. Zmielony materiał ziarnisty z komory mieszalnika ważono, a następnie podawano w całości analizie granulometrycznej stosując zestaw znormalizowanych sit oraz wytrząsarkę. Pomiar składu ziarnowego przeprowadzono w oparciu o Polską Normę [PN-71/C-04501, 1971] określając warunki i sposób wykonania analizy sitowej substancji na sucho. Wykonana analiza umożliwiła otrzymanie rozkładów ziarnowych mielonego materiału ziarnistego. Następnie przeanalizowany materiał ziarnisty wprowadzano ponownie do komory mieszalnika oraz kontynuowano proces mieszania.

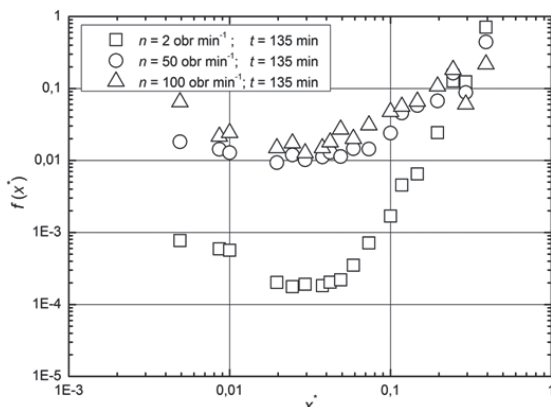
Wyniki i ich analiza

Na rys. 2 przedstawiono wykres dotyczący rozkładu gęstości prawdopodobieństwa składu ziarnowego $f(x^*)$ materiału ziarnistego w stanie początkowym (przed procesem mielenia; $t = 0$ min). Prawdopodobieństwo to ustalono na zasadzie pomiaru mas badanych klas ziarnowych węgla aktywnego. Na osi odciętych odłożono wartości znormalizowane x^* (gdzie $x^* = x \cdot (x_{\max})^{-1}$; $x_{\max} = 10,2$ mm).



Rys. 2. Skład ziarnowy produktu w stanie początkowym (przed procesem mielenia)

Na rys. 3 przedstawiono przykładowe wyniki przeprowadzonych prób mielenia materiału ziarnistego przy zmiennych obrotach mieszadła wstęgowego oraz stałych momentach czasu.



Rys. 3. Przykładowe wyniki przedstawiające skład ziarnowy produktu przy zmianie prędkości obrotowej mieszadła wstęgowego dla stałego czasu mielenia ($t = 135$ min)

Przedstawione na rys. 3 wyniki prób mielenia wskazują jednoznacznie na wzrost intensywności mieszania przy zwiększeniu prędkości obrotowej stosowanego mieszadła. Dążenie do uzyskania rozdrobnionego produktu wiąże się pośrednio z początkowym (wejściowym) rozkładem granulometrycznym materiału ziarnistego. Zależy on bardziej od takich parametrów jak prędkość obrotowa mieszadła czy czas mieszania. Efekt mielenia uzyskiwany przy 50 i 100 obr·min⁻¹ znacząco różni się od rezultatu uzyskanego dla próby przy 2 obr·min⁻¹. Stosowanie zbyt dużych obrotów w analizowanym mieszalniku wstęgowym może powodować zmniejszenie wzajemnych oddziaływań ziaren w mieszanym materiale ziarnistym powodując zahamowanie wzrostu ilości ziaren o mniejszych rozmiarach.

Skład ziarnowy produktu

Uzyskane rozkłady gęstości prawdopodobieństwa mielonego materiału ziarnistego mają specyficzny kształt wymagający skomplikowanego opisu matematycznego.

Wejściowy rozkład materiału ziarnistego (dla $t = 0$ min) opisano zmodyfikowanym rozkładem beta (Rys. 2).

Otrzymane rozkłady ziarnowe produktu zdecydowano się opisać za pomocą następującej zależności, będącej wynikiem superpozycji rozkładu beta i wykładniczego

$$f(x^*) = \mu_1 \left[\frac{A}{\beta(p,q)} (x^*)^{p-1} (1-x^*)^{q-1} \right] + \mu_2 [B\lambda \exp(-\lambda x^*)] \quad (1)$$

gdzie:

μ_1, μ_2 – odpowiednio udziały rozkładu beta i wykładniczego w rozkładzie wypadkowym ($\mu_1 + \mu_2 = 1$),

A, B – parametry zależności (1),

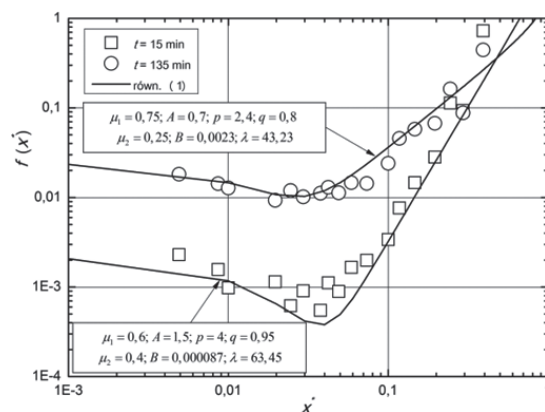
p, q – parametry rozkładu beta,

λ – parametr rozkładu wykładniczego.

Aproksymację uzyskanych wyników za pomocą zależności (1) przeprowadzono stosując program *Matlab* oraz odpowiednią procedurę numeryczną, przy uwzględnieniu akceptowanej zgodności między proponowanym opisem matematycznym a wartościami uzyskanymi na drodze badań eksperymentalnych. W opisie analitycznym stosowano metodę najmniejszych kwadratów przy założeniu, że błąd dopasowania wynosi $\varepsilon = 10^{-4}$.

Na rys. 4 przedstawiono przykładowe wyniki otrzymywanego składu ziarnowego mielonego materiału ziarnistego dla prędkości obrotowej wynoszącej 50 obr·min⁻¹ oraz wybranych momentów czasu. Dodatkowo linią ciągłą zaznaczono przebieg proponowanej aproksymacji uzyskanych rezultatów stosując proponowaną zależność (1).

Zaobserwowano, że wydłużenie czasu pracy mieszalnika wstęgowego powoduje wyraźne różnice w uziarnieniu produktu mielenia. Osiągnięto zdecydowany wzrost udziału masowego drobniejszych ziaren



Rys. 4. Przykładowe wyniki przedstawiające skład ziarnowy produktu wraz z proponowanym przebiegiem zależności analitycznych dla prędkości obrotowej 50 obr·min⁻¹ oraz różnych momentów czasu

oraz zauważalne zmiany w składzie ziarnowym produktu mielenia. Należy się spodziewać, że dalsze wydłużanie czasu pracy mieszalnika wstęgowego z pewnością spowoduje uzyskanie jeszcze drobniejszego produktu mielenia, jednak wzrost udziału drobniejszych ziaren nie będzie już tak wyraźny jak w analizowanym przypadku. Jednocześnie zostanie obniżona wydajność procesu mielenia co spowoduje zwiększenie energochłonności procesu rozdrabniania.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

Możliwa jest skuteczna realizacja procesu rozdrabniania materiału ziarnistego w mieszalniku wstęgowym.

Wzrost prędkości obrotowej mieszadła powoduje uzyskanie drobniejszego produktu mielenia. Efektywność mielenia analizowanego materiału ziarnistego spada wraz ze wzrostem obrotów mieszadła (Rys. 3).

Wydłużenie czasu pracy mieszalnika wstęgowego powoduje zwiększenie udziału masowego ziaren drobniejszych. Zbyt długi czas pracy urządzenia mieszającego może się jednak wiązać z obniżeniem wydajności procesu mielenia.

LITERATURA

- Einav I., 2007. Breakage mechanics – Part I: Theory. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, **55**, 1274-1297. DOI: 10.1016/j.jmps.2006.11.003
- Heim A., 1996. *Procesy mechaniczne i urządzenia do ich realizacji*. Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź (ISBN:83-86453-84-2)
- Korzeń Z., Rink R., 1999. Powietrzno-strumieniowe technologie mikronizacji ciał twardych – tendencje rozwojowe i propozycje nowych wdrożeń. *Czasopismo Techniczne – Mechanika*, **18**, nr 11, 49-65
- Lewicki P., 1982. *Inżynieria procesowa i aparatura przemysłu spożywczego*. WNT, Warszawa (ISBN:83-204-3227-8)
- Masiuk S., 1987. Power consumption, mixing time and attrition for solid mixing in a ribbon mixer. *Pow. Tech.*, **51**, 217-229. DOI: 10.1016/0032-5910(87)80022-0
- Masiuk S., Rakoczy R., 2008. Kinetic equation of grinding process in mixing of granular material using probability density functions, transient operators and informational entropy. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* **47**, 200-208. DOI: 10.1016/j.cep.2007.03.001
- PN-71/C-04501, 1971. Polska Norma: *Analiza sitowa - Wytyczne wykonywania*
- Stręk F., 1981. *Mieszanie i mieszalniki*. WNT, Warszawa. ISBN: 83-204-0289-1
- Stręk F., Masiuk S., Jaworski Z., 1974. *Mieszalnik do cieczy zwłaszcza o dużej lepkości*. PL 84953
- Zbroński D., Górecka-Zbrońska A., 2007. Analiza oddziaływania wybranych parametrów procesu na osiągi młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego. Część I: Wydajność młyna. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* **23**, nr 1, 153-163
- Vogel A., 1991. The Alpine fluidized bed opposed jet mill – a case history. *Powder Handling and Processing*, **3**, nr 2, 129-134