

DARIUSZ URBANIAK

Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki, Politechnika Częstochowska, Częstochowa

Zastosowanie teorii procesów *Markowa* do modelowania procesu rozdrabniania w młynie strumieniowo-fluidyzacyjnym

Wprowadzenie

Jedną z nowszych technologii mielenia jest rozdrabnianie strumieniowe w warstwie fluidalnej. Korzyści, jakie wyróżniają ten sposób realizacji procesu spośród innych technologii strumieniowego rozdrabniania to: niskie zużycie materiałów obcych, wysoki stopień rozdrobnienia, mała emisja hałasu, znacznie mniejsze zużycie energii, niewielkie gabaryty urządzenia.

Proces rozdrabniania jest bardzo złożonym zjawiskiem. Efekt końcowego etapu rozdrabniania, określony składem ziarnowym produktu mielenia bądź wydajnością procesu, jest wynikiem bardzo dużej liczby wielkości fizycznych. W przypadku młynów strumieniowo-fluidyzacyjnych zależy on m.in. od początkowego uziarnienia nadawy, ilości masy zasypowej nadawy, nadciśnienia i temperatury powietrza roboczego, średnicy dyszy powietrznej, prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora oraz kąta nachylenia dysz. W badaniach, będących przedmiotem niniejszego opracowania, przedstawiono metodykę określania wpływu masy początkowej nadawy na efekt procesu rozdrabniania, wyrażony składem ziarnowym produktu. Ilość materiału zasypanego do komory mielenia młyna strumieniowo-fluidalnego w sposób decydujący determinuje warunki fluidyzacji zachodzącej w kolumnie młyna, a zatem określa warunki i efekt rozdrabniania. Prezentowana metodyka wykorzystuje teorię procesów *Markowa*.

Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne wykonano na stanowisku młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego, przedstawionego na rys. 1. Strumień powietrza podawany był ze sprężarki – 4 przez zawór kulowy – 7 do czterech dysz umieszczonych w kolumnie młyna. Masa nadawy m_n była zasypywana do komory mielenia, w której następowało mielenie. W górnej części kolumny młyna zabudowany był klasyfikator wirnikowy – 3. Zadaniem klasyfikatora było przepuszczenie drobnych ziaren do cyklonu – 2, gdzie zostały wychwycone jako drobny produkt mielenia m_c , oraz zawracanie grubych ziaren do kolumny w celu ponownego zmielenia. Zadaniem dmuchawy – 6 było uszczelnianie szczeliny między wirnikiem a obudową, zaś urządzenia wyciągowe – 5 wytworzenie strumienia powietrza wyciągowego zapewniającego utrzymanie podciśnienia w kolumnie młyna.

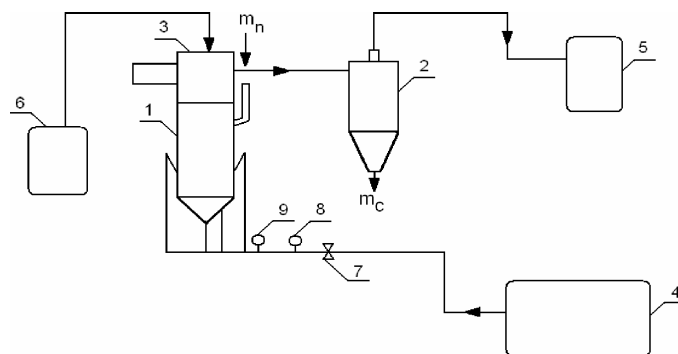
Materiał badawczy stanowiły próbki kamienia wapiennego o uziarnieniu z przedziału 0÷2 mm, uprzednio wyselekcjonowane przy pomocy zestawu sitowego. Wybór kamienia wapiennego spowodowany był jego dużą podatnością na rozdrabnianie i szerokim zastosowaniem w przemyśle. Badania przeprowadzono, stosując różne masy próbek nadawy od 500 g do

3500 g przy stałym ciśnieniu powietrza roboczego – 0,2 MPa; wartość prędkości obrotowej wirnika klasyfikatora ustalono na maksymalnym poziomie – wyeliminowanie przedostawania się materiału poza strefę komory mielenia młyna; czasu trwania poszczególnych prób rozdrabniania – 5 min.

Każdorazowo po przeprowadzonej próbie rozdrabniania pobierano próbki materiału do analiz ziarnowych. Wyznaczono je przy użyciu analizatora elektronicznego IPS.

Modelowanie stochastyczne

Teorie opisujące proces rozdrabniania można generalnie podzielić na dwie grupy: teorie deterministyczne oraz teorie stochastyczne. Jak już wcześniej wspomniano proces rozdrabniania jest zjawiskiem niezwykle skomplikowanym. Tak więc opis zależności, która ujmowałaby wpływ poszczególnych wielkości fizycznych na efekt końcowy, jest niezwykle trudny. Na ogół deterministyczne teorie rozdrabniania stosunkowo wiernie opisują konkretne urządzenia i konkretne warunki realizacji procesu. Uogólnienie tych teorii jest zazwyczaj bardzo trudne i mało realne.



Rys 1. Schemat stanowiska badawczego młyna strumieniowo-fluidyzacyjnego: 1 – komora mielenia, 2 – cyklon, 3 – przepływowy klasyfikator wirnikowy, 4 – sprężarka tłokowa, 5 – urządzenie wyciągowe, 6 – dmuchawa podająca powietrze uszczelniające, 7 – zawór kulowy, 8 – manometr sprężynowy, 9 – przepływomierz, m_n – masa nadawy, m_c – masa materiału drobnego z cyklonu

Modelowanie stochastyczne stosowane jest bardzo często tam, gdzie opis deterministyczny zawodzi. Pozwala ono opisać proces, wykorzystując do tego celu odpowiednie teorie stochastyczne. Jedną z takich teorii jest teoria procesów *Markowa*. Procesy te definiowane są jako ciąg zdarzeń, w którym prawdopodobieństwo każdego zdarzenia zależy tylko od wyniku poprzedniego zdarzenia. Takie procesy, określone na dyskretnej przestrzeni stanów nazywane są łańcuchami *Markowa*. Uogólnienie na nieskończoną liczbę stanów – dla czasu ciągłego – zostało opracowane przez *Kolmogorowa*.

W teorii *Markowa* występują trzy podstawowe elementy: przestrzeń stanów, pomiędzy którymi zachodzi proces; macierz prawdopodobieństw przejść pomiędzy stanami; wektor początkowy, czyli prawdopodobieństwo charakteryzujące stan na początku procesu.

Wykorzystując teorię *Markowa* dla określenia składu ziarnowego produktu rozdrabniania można napisać [1–3]:

$$f = P f_o \quad (1)$$

gdzie:

- f – skład ziarnowy produktu rozdrabniania,
- P – macierz prawdopodobieństw rozdrobnienia ziarna nadawy,
- f_o – skład ziarnowy nadawy.

W pracy [4] wykazano, że w przypadku rozdrabniania w młynie strumieniowo-fluidyzacyjnym macierz prawdopodobieństw rozdrabniania można określić jako:

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & p_{32} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & p_{n-1n-1} & 0 \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nn-1} & p_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Prawdopodobieństwo rozdrobnienia ziarna o rozmiarze j do rozmiaru i można określić jako [3]:

$$p_{i,j} = \begin{cases} 1 - S_j & i = j \\ \frac{S_j x_{j+1}^k}{x_{j+1}^k + x_n^k} & i = j+1 \\ \frac{S_j x_n^k}{x_{j+1}^k + x_n^k} & i = n \\ 0 & i \neq j, j+1, n \end{cases} \quad (3)$$

gdzie:

- S – selektywna funkcja rozdrabniania;
- x – rozmiar ziarna,
- k – parametr, uwzględniający kształt ziarna: $k = 1$ dla ziaren podłużnych, $k = 2$ dla ziaren płaskich, $k = 3$ dla ziaren sferycznych;

Indeksy oznaczają rozmiary klas ziarnowych.

Wartość selektywnej funkcji można zapisać w postaci [3, 4]:

$$S = \alpha x^m \quad (4)$$

gdzie:

- α – współczynnik zależny od charakteru doprowadzenia energii do ziaren rozdrabnianego materiału i od wartości masy zasypowej;
- m – współczynnik.

W celu wyznaczenia wpływu masy zasypowej nadawy na efekt rozdrabniania przyjęto następujące założenie. Założono, że wartość selektywnej funkcji rozdrabniania zależy od dwóch prawdopodobieństw: prawdopodobieństwa obciążenia ziarna energią i prawdopodobieństwa rozdrobnienia obciążonego ziarna. W przypadku niewielkiej wartości masy zasypowej i nielicznej liczby ziaren proces rozdrabniania determinuje prawdopodobieństwo obciążenia ziaren energią, natomiast w przypadku zwiększenia masy zasypowej i liczby ziaren

zmniejsza się obciążenie pojedynczego ziarna i tym samym maleje prawdopodobieństwo rozdrobnienia obciążonych ziaren. Poczynione założenia oraz wyniki badań eksperymentalnych pozwalają przyjąć zależność selektywnej funkcji rozdrabniania od wartości masy zasypowej nadawy:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 m_n + \alpha_2 m_n^2 \quad (5)$$

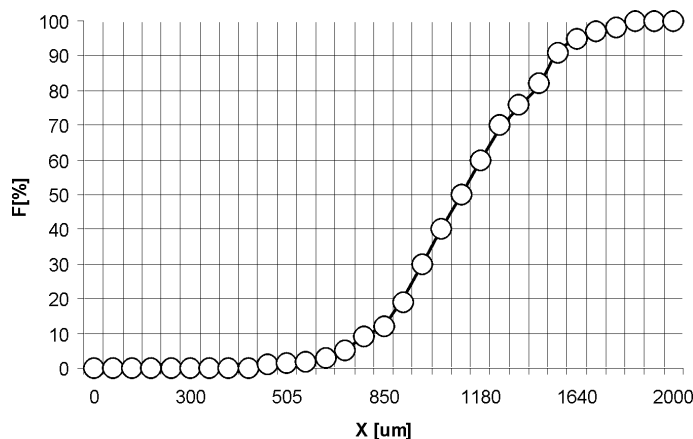
gdzie:

- $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ – współczynniki aproksymacyjne;
- m_n – masa zasypowa nadawy.

Wartości współczynników występujących w zależności (5) określono na drodze identyfikacji eksperymentalnej modelu. W identyfikacji wykorzystano metodę najmniejszych kwadratów. Obliczenia przeprowadzono dla poszczególnych wartości masy zasypowej.

Wyniki badań i podsumowanie

Przykładowe (dla próby rozdrabniania 3000 g nadawy) zestawienie wyników obliczeniowych i danych eksperymentalnych składu ziarnowego produktu rozdrabniania w młynie strumieniowo-fluidyzacyjnym przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Zestawienie wyników oznaczeń składu ziarnowego produktu rozdrabniania kamienia wapiennego dla próby rozdrabniania 3000 g nadawy: (linia – wyniki obliczeniowe, kropki – wyniki laboratoryjnych analiz ziarnowych)

Widać, że wyniki oznaczeń są prawie identyczne. Można zatem stwierdzić, że prezentowana w pracy metodyka, wykorzystująca teorię procesów *Markowa*, pozwala osiągnąć zadowalające rezultaty.

LITERATURA

1. H. Berthiaux, V. Mizonov: The Canadian Journal of Chem. Eng. **85**, nr 6, 1143 (2004).
2. H. Berthiaux, V. Mizonov, V. Žukov: Powder Technology **157**, 128 (2005).
3. V. Mizonov, V. Žukov, S. Bernotat: Simulation of grinding: new approaches. Ivanovo, ISPEU Press, 108p., 1997.
4. A.V. Ogurcov, D. Zbroński, V. P. Žukov, H. Otwinowski, D. Urbaniak: Izv. VUZ „Chimija i chimičeskaja tehnologija” vol. **47**, nr 10, 122 (2004).

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2009 jako projekt badawczy