ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: GÓRNICTWO z. 190 Nr kol. 1088

Marian BROŻEK[x]
Wiktor PUDŁO[x]
Tadeusz TUMIDAJSKI[x]

WYBRANE PROBLEMY PODSTAW PROCESÓW ROZDRABNIANIA SUROWCÓW MONOMINERALNYCH

Streszczenie. W pracy przedstawiono wstępne wyniki badań rozdrabniania pojedynczych ziarn wapienia na prasie hydraulicznej. Podano próbę aproksymacji charakterystyk granulometrycznych dystrybuantami niektórych rozkładów. W celu opracowania metodyki prognozowania składu ziarnowego produktu rozdrabniania zastosowano teorię rozkładów złożonych.

1. WSTĘP

Badanie procesów rozdrabniania można umownie podzielić na dwie kategorie: badanie procesu rozdrabniania pojedynczego ziarna (mikroproces rozdrabniania) oraz badanie procesu rozdrabniania dużych zbiorowości ziarn w określonym urządzeniu rozdrabniającym (makroproces rozdrabniania). Większość istniejących koncepcji teoretycznych zajmuje się energochłonnością tych operacji, nie zwracając większej uwagi na składy ziarnowe produktów. Celem prac prowadzonych w IPiWSM AGH w Krakowie jest budowa modeli procesu rozdrabniania wiążących skład ziarnowy produktów rozdrabniania z własnościami surowca i charakterem oddziaływania kruszącego (rodzajem urządzenia rozdrabniającego)[xx]. Teoretyczne podejście do analizy krzywych rozkładu wielkości ziarn daje krzywe rozkładów prostych w tym sensie, że występujące w nich parametry mają wartości stałe. Uzyskiwane w badaniach empirycznych krzywe składu materiałów rozdrobnionych mają postacie bardziej skomplikowane a parametry występujące w funkcjach składu należy traktować jako zmienne losowe zależne od wielkości charakteryzujących własności fizyczne rozdrabnianego materiału i rodzaj oddziaływania kruszącego. Przy takim podejściu charakterystyki granulometryczne produktu rozdrabniania będą opisywane w kategoriach rozkładów złożonych.

---

[x] Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych - Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków.

[xx] Praca wykonywana w ramach CPBP 03.05.07 [1, 2]

Uzasadnienie fizyczne takiego sposobu postępowania wynika z faktu, że rozdrobniony materiał może być traktowany jako mieszanina wielu rodzajów ziarn różniących się wielkością, kształtem, wytrzymałością i innymi własnościami fizycznymi. Można przyjąć hipotezę, że każdy z tych rodzajów ziarn rozdrabnia się inaczej, dając w efekcie określony typ rozkładu wielkości ziarn. Przyjmując za literaturą, że proces rozdrabniania można uważać za proces addytywny, co oznacza niezależność rozdrabniania poszczególnych ziarn mieszaniny od obecności innych ziarn (w przypadku rozdrabniania pojedynczych ziarn jest to bezdyskusyjne), charakterystyki granulometryczne produktu rozdrabniania są w efekcie sumą charakterystyk ziarnowych poszczególnych rodzajów ziarn, z uwzględnieniem prawdopodobieństw ich występowania w mieszaninie.

W prezentowanym artykule przedstawiono wybrane wyniki wstępnych badań procesu rozdrabniania pojedynczych ziarn monomineralnych poprzez oddziaływanie ściskające w prawie hydraulicznej.

2. OGÓLNE RÓWNANIA CHARAKTERYSTYK ZIARNOWYCH PRODUKTÓW ROZDRABNIANIA

Każde ziarno rozdrobnionego materiału możemy uważać za realizację wielowymiarowego wektora losowego $\vec{X}$, $\vec{X} = [\rho, s_1, \ldots, s_k, c, d_o]$, gdzie ρ jest gęstością ziarna, $s_1 - s_k$ - wielkościami charakteryzującymi jego wytrzymałość na określony rodzaj rozdrabniania (np. moduł Younga, liczba Poissona itp.), c - współczynnikiem kształtu, d_o - wielkością ziarna. Zakładając ciągłość składowych (cech ziarna) wektora $\vec{X}$ możemy zapisać, że dystrybuanta $F(d)$ rozkładu wielkości ziarn produktu rozdrabniania wynosi

$$F(d) = \int_V f(\rho, s_1, \ldots, s_k, c, d_o) F(d|\rho, s_1, \ldots, s_k, c, d_o) dV, \qquad (1)$$

gdzie: V jest obszarem zmienności cech wektora $\vec{X}$, $F(d|\rho, s_1, \ldots s_k, c, d_o)$ - dystrybuantą rozkładu warunkowego wielkości ziarna produktu rozdrabniania.

Rozpatrując ściskanie w prasie pojedynczych ziarn możemy przyjąć, że nacisk niszczący ziarno (N) jest funkcją zmiennych wektora $\vec{X}$, czyli $N = g(\vec{X})$ i rozpatrywać dystrybuanty warunkowe $B(d \mid N)$.
Określając funkcję gęstości rozkładu prawdopodobieństwa zniszczenia ziarna $f(N)$ lub dystrybuantę $F(N)$ dla wybranych wąskich klas ziarnowych, otrzymamy uproszczony zapis zależności (1)

$$f(d) = \int_{N_{min}}^{N_{max}} f(N)\, B(d \mid N = N(\rho, s_1, \ldots, s_k, c, d_o))\, dN \qquad (2)$$

Jeżeli istnieje typ rozkładu wielkości d, którego parametr jest funkcją zmiennej losowej N, tzn. $p = u(N)$, mamy wtedy do czynienia z rozkładem złożonym wielkości d

$$f(d) = \int_{N_{min}}^{N_{max}} B(d;\ u(N))\, f(u^{-1}(p))\, \frac{d\, u^{-1}(p)}{dp}\, dN. \tag{3}$$

Analogicznie można postępować z podwektorami wektora $\vec{X}$, np. z wektorami $[N, \rho]$; $[N, d_o]$ itd., uogólniając wzór (3) do odpowiednich wzorów w przestrzeniach $n - 1$ - wymiarowych.

Konsekwentna analiza rozkładów, występujących we wzorze (3) i jego uogólnieniach, tworzy podstawy budowy metodyki prognozowania składów ziarnowych produktów rozdrabniania.

3. WYBRANE WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Badania eksperymentalne z rozdrabnianiem pojedynczych ziarn wapienia ozatkowickiego w prasie hydraulicznej przeprowadzono dla ziarn klas 50-60 mm, 30-40 mm oraz 20-25 mm. Każde ziarno zgniatano powoli w prasie, notując za każdym razem wartość nacisku N, przy którym ziarno uległo zniszczeniu. Rozdrobnione ziarna pogrupowano w przedziały (klasy) nacisków niszczących. Ziarna z danej klasy nacisku połączono ze sobą, licząc ilość ziarn w klasie i wyznaczając średnią masę ziarna klasy.

Dla każdej klasy nacisku wykonano analizę granulometryczną i otrzymano pęk krzywych $B(d \mid d_o, N)$, gdzie d_o - średni rozmiar ziarna wyjściowej klasy.

Analizując te krzywe stwierdzono, że

- ze wzrostem nacisku niszczącego rosną udziały klas najdrobniejszych i maleją udziały klas najgrubszych.

Powyższe prawidłowości można interpretować następująco: przy najmniejszych naciskach pękają ziarna płaskie lub ziarna o mniej jednorodnej strukturze (posiadające przerosty krystaliczne kalcytu, mikropęknięcia, żyłki innych minerałów itp.). Przy tych ziarnach charakter rozdrabniania jest jednotypowy: duży masowy udział ziarn grubych i mały drobnych.

Ziarna pękające przy dużych naciskach mają kształty zbliżone do elipsoidalnych, nie posiadające wyraźnych "powierzchni najmniejszych energii" o bardziej jednorodnej bezpostaciowej strukturze. W wyniku rozdrabniania dawały one dużą ilość masową ziarn drobnych oraz znacznie mniejszą, w porównaniu z ziarnami łatwopękającymi, ilość ziarn grubych. Ziarna pękające przy naciskach pośrednich oznaczały się znacznie większą od poprzednich niejednorodnością kształtu i mniejszą jednorodnością strukturalną od ziarn

pękających przy największych naciskach. Dało to w efekcie mniejszą prawidłowość w składach ziarnowych produktów otrzymanych przy pośrednich naciskach w porównaniu z krzywymi produktów otrzymanych przy naciskach najmniejszych i największych.

Krzywe $B(d \mid d_o) = \int_{N_{min}}^{N_{max}} B(d \mid d_o, N)dN$ aproksymowano dystrybuantą rozkładu potęgowego, uzyskując następujące wyniki:

dla klasy 50-60 mm

$$B(d) = 0{,}0424\ d^{1{,}81}, \qquad r = 0{,}9728$$

dla klasy 30-40 mm

$$B(d \mid 35) = 0{,}0427\ d^{2{,}10}, \qquad r = 0{,}9839$$

dla klasy 20-25 mm

$$B(d \mid 22{,}5) = 0{,}7974\ d^{1{,}41}, \qquad r = 0{,}9861$$

Znacznie lepsze wyniki aproksymacji dawał wzór $B(d) = ad^k e^{bd}$, który można traktować jako iloczyn dystrybuant rozkładu potęgowego i wykładniczego.

Dystrybuanty $F(N)$ (rozkład masy ziarn pękających przy nacisku N) aproksymowano rozkładami Weibulla [3]. Dla badanych klas ziarnowych mają one następujące postacie

dla klasy 50-60 mm

$$F(N) = 1 - \exp(-\ 2{,}74.10^{-5}\ d_o^2\ .\ N^{2{,}39}),$$

dla klasy 30-40 mm

$$F(N) = 1 - \exp(-\ 1{,}81.10^{-3} d_o^2\ N^{1{,}8}),$$

i dla klasy 20-25 mm

$$F(N) = 1 - \exp(-\ 2{,}07.10^{-2} d_o^2\ N^{1{,}75}),$$

gdzie: d_o oznacza średnią wielkość ziarna rozdrabnianej klasy w cm, zaś N - nacisk niszczący w kN, przy czym dokładność opisu jest bardzo wysoka.

Wyliczone równania dystrybuant F(N), w połączeniu z obliczonymi dystrybuantami rozkładów wielkości ziarn dla poszczególnych przedziałów nacisku, pozwalają na wyznaczanie przyrostu udziału masy dolnej zewnętrznej klasy ziarnowej ze wzrostem energii rozdrabniania. Rozszerzenie zakresu badań (zwiększenie liczby wyjściowej klas wapienia surowego) pozwoli na podanie zależności parametrów rozkładu wielkości ziarn produktu rozdrobnionego od d_o i N, co stworzy możliwość prognozowania składów ziarnowych.

Przeprowadzona aproksymacja zależności m(N) - średniej masy ziarna od nacisku niszczącego dała następujące rezultaty

dla klasy 50-60 mm

$$m = 0{,}22 + 2{,}73 \cdot 10^{-6} N, \qquad r = 0{,}989$$

dla klasy 30-40 mm

$$m = 0{,}047 + 2{,}54 \cdot 10^{-6} N, \qquad r = 0{,}982$$

dla klasy 20-25 mm

$$m = 0{,}012 + 1{,}41 \cdot 10^{-6} N, \qquad r = 0{,}983$$

przy czym: m podane jest w kilogramach, zaś N w niutonach. Wyznaczono także zależności pomiędzy całkowitą energią rozdrabniania a naciskiem niszczącym. Dla badanych klas są to także zależności liniowe, które potwierdzają słuszność teorii Kicka dla badanego procesu kruszenia.

Możliwość uogólnienia wszystkich powyższych rozważań i wyprowadzenia dalej idących wniosków wymaga kontynuacji badań z innymi klasami ziarnowymi i materiałami.

LITERATURA

[1] Opracowanie podstaw teoretycznych prognozowania składów ziarnowych produktów rozdrabniania, Etap I. Sprawozdanie z pracy IPiWSM AGH, Kraków, 1988.

[2] Badania nad rozdrabnianiem pojedynczych ziarn poprzez zgniatanie oraz w kruszarce walcowej. Etap II. Sprawozdanie z prac IPiWSM AGH, Kraków, 1989.

[3] Weichart R.: Correlation between probability of breakage and fragment size distribution of minerals particles - Int. J. Miner. Proces. vol. 22, 8/1988.

СОБРАННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОСНОВ ПРОЦЕССОВ РАЗРУШЕНИЯ ОДНОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Р е з ю м е

В докладе представлено некоторые результаты разрушения отдельных кусков известяка в гидравлической прессе. Сделано попытки апроксимации гранулометрических характеристик кривыми распределения некоторых случайных переменных. Применено теорию сложных распрededений отобы построить методику прогноза гранулометрического состава продукта дробления.

CHOSEN PROBLEMS OF CRUSHING PROCESSES OF THE SINGLE MINERALS

S u m m a r y

In the paper primary results of crushing of the single grain of limestone in the hydraulic press are presented. The test of approximation of granulometric characteristics by the certain distribution functions is given too. In order to formulate a method of forecasting of size distribution of the crushing product a theory of compound distributions is used.