

Wiktor PUDŁO

WYBRANE PROBLEMY PODSTAW ROZDRABNIANIA SUROWCÓW MINERALNYCH

Streszczenie. Publikacja niniejsza zawiera przegląd ważniejszych prac nad problemami kruszenia i mielenia, prowadzonych w Instytucie Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych (wcześniejszej Katedrze Przeróbki Mechanicznej) od lat sześćdziesiątych. Wśród tych prac najliczniejszą grupę stanowią prace poświęcone zagadnieniom kinetyki rozdrabniania; drugą pod względem liczebności grupę stanowią prace, których tematyką jest wzbogacanie w procesach selektywnego rozdrabniania. Pozostałe prace obejmują zróżnicowane problemy rozdrabniania, jak np.: podobieństwo zmiany składu ziarnowego rozdrabnianych materiałów, czynniki techniczne wpływające na przebieg procesu itp.

Ograniczona objętość referatu pozwala przedstawić powyższe zagadnienia w formie skróconych opisów, nawiązujących do wykazu odpowiedniej literatury.

Wśród prezentowanych prac najliczniejszą grupę stanowią prace poświęcone kinetyce procesów rozdrabniania i mielenia. Badania nad kinetyką mielenia rozpoczyna praca poświęcona weryfikacji modelu Baasa-Sedlatschka [1]. Analizuje się w niej procesy mielenia wąskich klas ziarnowych kilka materiałów w dwóch młynach, różniących się wielkością i parametrami technicznymi. Otrzymane wyniki potwierdziły zgodność przebiegu procesu mielenia z modelem Baasa-Sedlatschka tylko dla przypadku mielenia piasku kwarcowego (materiał jednorodny o ziarnach owaloidalnych). W pozostałych przypadkach, przebieg procesu ma charakter bardziej złożony. Ogólnie, można go określić jako proces dwufazowy: w pierwszej fazie, w której obok zmian wielkości następują również wyraźne zmiany innych własności, proces stanowi superpozycję procesów mielenia dwóch lub większej ilości frakcji ziarn o zbliżonych własnościach, mielących się z różnymi prędkościami. Mielony materiał ulega w tej fazie homogenizacji, na skutek zmielenia ziarn o większych podatnościach, w takim stopniu, że w drugiej fazie proces przebiega podobnie, jak proces mielenia materiału jednorodnego. Wizualnym efektem jest zmiana kształtu ziarn mielonej klasy w pierwszej fazie mielenia z nieregularnego w owaloidalny.

W pracy [1] podano graficzną metodę wyznaczania na wykresie przebiegu procesu udziału frakcji o zbliżonych własnościach ziarn oraz ich prędkości mielenia. Wykazano również, że rozkład prędkości mielenia wąskich klas ziarnowych kulami tej samej wielkości jest rozkładem logarytmiczno-normalnym, zaś jego parametry zależą głównie od warunków przebiegu procesu, mniej od własności mielonego materiału.

Analiza przebiegu procesu mielenia szerszych klas ziarnowych "zewnątrznych" ($d_{\max} - d$) wykazała, że mogą być one opisywane równaniami Bassa-Sedlatschka, o ile średnia wielkość ziarna rozszerzonej klasy maleje eksponencjalnie ze wzrostem czasu mielenia. Procesy mielenia szerszych klas ziarnowych materiałów niejednorodnych przebiegają podobnie, jak procesy mielenia wąskich klas ziarnowych tych materiałów. Stwierdzono również, że ze zmniejszeniem dolnej granicy wewnętrznej klasy ziarnowej d , maleje prędkość mielenia tej klasy. Podano empirycznie określoną zależność pomiędzy prędkością mielenia, a dolną granicą klasy.

Do dalszych problemów poruszonych w pracy [1] należą procesy mielenia wewnętrznych klas ziarnowych. Analityczny opis procesu mielenia tych klas (nawet materiału jednorodnego) jest procesem bardziej złożonym; w pracy [1] podano opis matematyczny procesu mielenia materiału składającego się z trzech klas ziarnowych. Opis procesu złożonego z dowolnej ilości n klas ziarnowych podano w pracy [2]. Jako podstawowe założenia przyjęto, że każda z wewnętrznych klas ziarnowych miele się zgodnie ze wzorem Bassa-Sedlatschka, oraz że prędkości mielenia wszystkich klas wewnętrznych są stałe w czasie.

W ostatniej części pracy [1] podano metody obliczania wartości numerycznych "funkcji charakterystycznych procesu mielenia", tj. prędkości mielenia kolejnych wąskich klas ziarnowych oraz dystrybucji mielonego materiału każdej z klas, po klasach drobniejszych, dla dowolnie przyjętego interwału czasowego Δt . Obliczenia takie prowadzi się opierając się na danych odczytanych z wykresów zmiany udziału rozpatrywanych klas w procesie mielenia. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że prędkość mielenia każdej klasy wewnętrznej wzrasta ze zmniejszeniem się udziału "nadległych" klas grubszych, przechodząc w granicy w prędkość mielenia klasy zewnętrznej. Tym samym, model podany w pracy [2] - zastosowany do mielenia - jest słuszny dla pewnych wycońków czasu przebiegu procesu.

W pracy [3] przedstawiono adaptację modelu Bassa-Sedlatschka do opisu procesu mielenia materiału, który tworzą dwa składniki petrograficzne, wyraźnie różniące się podatnością mielenia. Podano w niej również wzory określające uzysk i zawartość składnika użytecznego w zewnętrznej klasie ziarnowej (górnjej lub dolnej), w przypadku gdy zawartości tego ostatniego w obu składnikach petrograficznych są wyraźnie zróżnicowane.

Do ważniejszych prac z zakresu kinetyki procesu mielenia należą ponadto badania poświęcone kinetyce mielenia mokrego. Na podstawie ich wykazano, że prędkość mielenia wzrasta w tych przypadkach ze wzrostem czasu mielenia - szczególnie wyraźnie dla szerszych klas ziarnowych. Nawiązując do teorii Rebindera, wyprowadzono dla tych procesów wsóór przyjmując, że prędkość mielenia rozpatrywanej klasy ziarnowej wzrasta proporcjonalnie do wzrostu jej powierzchni właściwej. Analiza statystyczna wyników przeprowadzonych doświadczeń potwierdziła przyjęte założenia. Obszerniejsza publikacja na ten temat znajduje się w przygotowaniu.

Do prac najbardziej tematycznie zbliżonych do wymienionych poprzędnie należą prace nad kinetyką procesów rozdrabniania w kruszarce szczękowej [5]. Jak wykazano, proces ten można opisać równaniem Bassa-Sedlatschka dla procesu mielenia dwufazowego. Obowiązują tu również inne zależności stwierdzone w procesie mielenia ($k(d_{\max} - d), d(t)$). Parametry kinetyki odwzorowują tutaj wyraźnie pewne własności tego rodzaju kruszenia. Uzyskane stąd wnioski mogą być przydatne dla procesów kruszenia w kruszarce szczękowej z nadziarnem.

Następnym procesem, którego przebieg analizowano, nawiązując do modelu Bassa-Sedlatschka, był proces samomielenia wąskich klas ziarnowych materiału jednorodnego [6]. Stwierdzono zgodność przebiegu procesu samomielenia z równaniem Bassa-Sedlatschka dla materiału niejednorodnego. Wyznaczone prędkości mielenia wskazują klasy ziarnowe o największej podatności na samomielenie. Wyznaczają również klasy ziarn trudniących. Stwierdzono ponadto niskie prędkości wytwarzania klas najdrobniejszych. Zastosowanie równania Bassa-Sedlatschka do samomielenia pozwala na określenie proporcji intensywności wytwarzania i mielenia klas ziarnowych, charakterystycznych dla tego procesu.

W nawiązaniu do modelu Bassa-Sedlatschka opracowano stochastyczny model procesu samomielenia [7]. W poświęconej temu zagadnieniu pracy wykazano, że skład ziarnowy materiału poddanego samomieleniu można z bardzo dużą dokładnością aproksymować rozkładem Weibula. Parametry tego rozkładu można przedstawić (z odpowiednio wysoką dokładnością aproksymacji) jako funkcje wymierne czasu mielenia. Opracowano ponadto charakterystykę stochastyczną wskaźników wzbogacania dla procesu selektywnego samomielenia. Weryfikację przeprowadzono na procesie samomielenia utlenionych rud cynkowo-olowiowych.

Inne zagadnienia, związane z przebiegiem procesów mielenia kilku różnych materiałów, poruszono w pracy [8]. Poświęcona jest ona badaniu podobieństwa składów granulometrycznych rozdrabnianych materiałów. Porównanie takie przeprowadzono na próbkach dziewięciu typów należących do trzech odmian litologicznych rudy miedzi z kopalni "Polkowice", stosując metodę taksonomii wrocławskiej. Porównywano składy ziarnowe wspomnianych wyżej próbek, dla dwunastu różnych czasów mielenia, w laboratoryjnym młyńcu kulowym, stosując podział na dwie i trzy grupy oraz tzw. podział naturalny. Podział naturalny wykazał wyodrębnianie się 6-7 grup, zaś podział na dwie grupy - maksymalną różnicę występującą pomiędzy grupą utworzoną z dwóch rud piaskowcowych, a grupą utworzoną z rud pozostałych. Ponadto stwierdzono, że podział na trzy grupy nie odpowiada dokładnie podziałowi na trzy grupy litologiczne.

Zaproponowana w pracy [8] metoda może znaleźć zastosowanie w przypadkach wspólnego bądź oddzielnego mielenia materiałów, wyznaczania czasu mielenia dla otrzymania odpowiednich podobieństw lub różnic granulometrycznych różnie mielących się materiałów, dobór urządzenia dla otrzymania składu ziarnowego najbardziej podobnego dożądanego itp.

Następną stosunkowo liczną grupę stanowią prace poświęcone wzbogacalności w procesach selektywnego rozdrabniania; poruszono w nich następujące problemy:

- możliwość podniesienia zawartości żelaza w rudach syderytowych rejonu częstochowskiego przez odsianie klas najdrobniejszych z produktu rozdrabniania wstępnego [9],
- zagadnienie możliwości podniesienia zawartości pirytu w produkcie selektywnego kruszenia bądź mielenia odpadów pirytowych, (z osadzarki) z miazów węglowych, o zawartości pirytu około 10% [10],
- dobór procesu rozdrabniania utlenionych rud cynkowo-olowiowych, w celu wydzielenia produktu najdrobniejszego (ok. 5 mm) a zawartości cynku podwyższonej do 6-7% [11], [12],
- problem selektywności mielenia piaskowcowo-żupkowej rudy miedzi. Określanie czasu mielenia pozwalającego na uwolnienie siarczków w rudzie piaskowcowej i ziarna podziałowego, pozwalającego na oddzielenie w procesie klasyfikacji ziarn rudy piaskowcowej od ziarn rudy żupkowej [13].

Problemem nie dającym się zaszereżować do żadnej z powyższych grup był dobór urządzenia i opracowanie technologii rozdrabniania kilku twardych materiałów, przy uzyskaniu maksymalnego wychodu klasy 0,4-0,2 mm. Klasa ta miała być użyta jako ogniotrwała osnowa mas formierskich [14]. Badania wykazały, że najlepsze wyniki można otrzymać w kruszarce walcowej, pracującej z zawrotem nadziarna (uzysk klasy 0,4-0,2 mm ok. 60%).

Następnym zagadnieniem, nie przedstawionym dotychczas w żadnej publikacji, jest zależność pomiędzy wypełnieniem wylina mielonym materiałem, a wydajnością mielenia oraz składem ziarnowym otrzymywanego produktu. Wyprobowano wzór na zależność wydajności mielenia od ilości mielonego materiału, potwierdzony wynikami doświadczeń przeprowadzonych w warunkach laboratoryjnych.

Na uwagę zasługuje praca poświęcona podobieństwu wyników rozdrabniania otrzymanych w kruszarkach szczękowych różnej wielkości [15]. Wyniki doświadczeń przeprowadzonych w urządzeniach laboratoryjnych potwierdziły hipotezę Razumowa, wskazując na konieczność wprowadzenia pewnych uściśleń.

Zbliżone tematycznie do poprzedniego jest zagadnienie prognozowania składu ziarnowego produktów rozdrabniania w kruszarkach o działaniu zgniatającym, podjęte ostatnio przez zespół pracowników Instytutu. Wyniki przeprowadzonych dotychczas doświadczeń przedstawiono w pracy [16], zamieszczonej w niniejszym zbiorze.

LITERATURA

- [1] Pudło W.: Niektóre własności funkcji charakteryzujących proces mielenia w młynach kulowych. ZN AGH, Nr 166, z. 11, 1967.
- [2] Pudło W., Szczepańska M.: Matematyczne modele pewnych typów procesów wielostadialnych jednokierunkowych. Zeszyty problemowe Górnictwa PAN, 1976, t. XIV, z. 1.
- [3] Pudło W., Chobot K., Tajchman Z.: Matematyczny model kinetyki procesu selektywnego mielenia. Zeszyty problemowe Górnictwa PAN, 1974, t. XII, z. 2.
- [4] Staworko M., Pudło W.: Wpływ wilgotności materiału na niektóre własności charakterystyk procesu mielenia w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Materiały pozjazdowe sympozjum "Podstawowe problemy procesów rozdrabniania". Gliwice 1981.
- [5] Pudło W.: Analiza procesu wielostadialnego rozdrabniania w kruszance szczękowej. Zeszyty Problemowe Górnictwa PAN. Tom 10, z. 1. 1972.
- [6] Kuchta K., Pudło W., Staworko M.: Analiza kinetyki procesu samomielenia w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. ZN AGH, Nr 473. Górnictwo, z. 66, 1975.
- [7] Pudło W., Szlachetowski A.: Charakterystyka stochastyczna zmian wielkości ziarna w czasie samomielenia wybranych typów utlenionych rud cynkowo-olowiowych. Archiwum Górnictwa PAN, 1988, t. 33, z. 4.
- [8] Potępa M., Pudło W.: Porównanie procesów mielenia wybranych typów rud miedzi na podstawie zmian ich składu ziarnowego. Archiwum Górnictwa, t. 26, z. 2, 1981.
- [9] Pudło W., Wrzesiński B.: Selektywność rozdrabniania rud syderytowych Rejonu Częstochowskiego w kruszarkach szczękowych. Rudy Żelaza, nr 1-2, 1970.
- [10] Dryś S., Kotowski Cz., Pudło W.: Analiza selektywności rozdrabniania pirytonośnych odpadów węglowych. ZN AGH, nr 447, Górnictwo, z. 57, 1974.
- [11] Chobot K., Lorek J., Pudło W.: Wpływ rodzaju działania kruszącego oraz ziarnistości odsiewanego produktu na selektywność samomielenia utlenionych rud cynkowo-olowiowych. ZN AGH, Nr 462, Górnictwo z. 63, 1974.
- [12] Chobot K., Lorek J., Pudło W.: Ocena możliwości wzbogacania utlenionych rud cynkowo-olowiowych w procesie samomielenia na podstawie wyników badań laboratoryjnych. ZN AGH, Nr 473, Górnictwo, z. 66, 1975.
- [13] Nowak A., Pudło W.: Analiza selektywności mielenia piaskowo-żupkowej rudy miedzi. ZN AGH, Nr 473, Górnictwo, z. 66, 1975.
- [14] Brożek M., Pudło W., Tumidajski T., Olszewski T.: Technologia przygotowania surowców odpadowych jako osnowy ogniotrwałej w procesach samoutwardzalnych. Materiały XIX Krakowskiej Konferencji Naukowo-Technicznej Przeróbki Kopalni, Krościenko 1985.
- [15] Przybyło L.: Charakterystyka technologiczna procesu rozdrabniania w kruszarkach szczękowych. Praca doktorska, 1977.
- [16] Brożek M., Pudło W., Tumidajski T.: Wybrane problemy podstaw procesów rozdrabniania surowców monomineralnych (w druku).

ИСТОРИЯ ОСНОВНЫХ ПРОБЛЕМ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

Резюме

Статья содержит обзор важнейших работ касающихся проблемы измельчения и размола, которые ведутся с 60-тых годов до сих пор в Институте Переработки и Использования Минерального Сырья раньше в Институте Механической Переработки. Среди этих работ многочисленная группа то работы касающиеся кинетики измельчения, вторая группа то работы из области обогащения в процессах селективного измельчения. Дальнейшие работы заключают разнообразные проблемы измельчения и пр. похожесть измельчения зернистого состава измельченных материалов, технические параметры влияющие на ход процесса и другие. В статье показано только важнейшие проблемы в форме кратких описов которые обращаются к литературному списку.

SOME PROBLEMS OF FUNDAMENTALS OF THE COMMINUTION OF THE RAW MATERIALS

Summary

The paper is a review of some more important studies, concerning crushing and grinding, carried out in the Institute of Processing and Utilization of Mineral Raw Materials from sixtieths years. Amongst them the most numerous are the studies dealing with kinetics of comminution; the next in size is the group of works about enrichment in processes of the selective comminution. Other cover different problems of the comminution such as for example: similarity in changes of grain size distribution of the comminuted materials, technical factors influencing the course of the process, and so on. The limited volume of the paper permits to present these topics only in a form of short descriptions referring to the appropriate literature.