

Kazimierz SZTABA*

PROBLEMY TECHNOLOGICZNE WZBOGACANIA MATERIAŁÓW BARDZO DROBNO UZIARNIONYCH

W tradycyjnie ujmowanej przeróbce surowców mineralnych, przyjmuje się pewne zespoły warunków i oddziaływań, występujących w przebiegu operacji jednostkowych i uwzględnianych w ich opisach i realizacjach praktycznych. Nie okazują się one wystarczające, gdy wielkości ziarn przetwarzanego materiału stają się bardzo małe - np. rzędu mikrometrów. Wynika to z reguły ze zmiany relacji pomiędzy różnego typu oddziaływaniami elementarnymi, składającymi się na układ warunków, decydujących o przebiegu procesu. Okoliczności te wymagają podjęcia badań nad złożonym zespołem problemów występujących w opisanych przypadkach tym bardziej, że coraz większa ilość surowców poddawanych wzbogacaniu, występuje w stanie bardzo znacznego rozdrobnienia. Jest to szczególnie charakterystyczne dla surowców wtórnych i odpadowych.

Gdyby oceniać charakterystykę surowców i zbliżonych do nich materiałów, poddawanych procesom przeróbki, z punktu widzenia przeciętnego uziarnienia, to okazałoby się że z biegiem czasu jest ono coraz drobniejsze. Taka ocena wystąpiłaby zarówno w odniesieniu do określonego typu surowca, np. rudy, węgla itp., rozpatrywanego w pewnym, dłuższym przedziale czasu, jak i w odniesieniu do nowych rodzajów surowców, jakie we wstępnej fazie utylizacji poddawane są wspomnianym operacjom przerobczym. Przyczyny występowania takiej tendencji są zbyt dobrze znane, aby je w tym miejscu rozwijać. Jednocześnie jest to tendencja trwała i nie należy oczekiwać jej zaniku. Przeciwnie - specjalne wymagania niektórych, bardzo wysoko rozwiniętych gałęzi przemysłu przetwórczego, stawiane zarówno ze względu na jakość, jak i postać otrzymywanych produktów przeróbki, pozwalają przyjąć, że umownie rozpatrywane, średnie uziarnienie omawianych materiałów będzie się nadal

*Akademia Górniczo-Hutnicza - Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych (IPIWSM AGH), al. Mickiewicza 30, PL 30-059 Kraków

zmniejszało, a w niektórych przypadkach, nie dotyczących - co prawda - masowej produkcji, może być określane już nie w pojedynczych mikrometrach, lecz w ich drobnych ułamkach. Poważne wzmożenie takiej tendencji wynika - przed innymi powodami - również z wzrastającego obiegu surowców wtórnych, w tym odpadowych, kierowanych do ponownego wykorzystania, obejmującego w większości przypadków stosowanie we wstępnej fazie, procesów przeróbki kopalin.

Dla przedstawionej tendencji - występującej w przeróbce surowców mineralnych niezależnie od wszystkich innych, na ogół wymienianych na pierwszym miejscu, jak: ubożenie przerabianych surowców, zwiększanie się wymagań jakościowych wobec produktów przeróbki, konieczność zapewnienia możliwości wyodrębniania wzrastającej liczby składników nadawy z coraz to wyższymi uzyskami - nie ma więc alternatywy i należy po prostu sprostać jej praktycznym konsekwencjom.

Znowu nie ma w tym miejscu potrzeby wyliczania niedogodności, jakie towarzyszą zmniejszaniu się uziarnienia przerabianego surowca z punktu widzenia technologii przeróbki. Rzecz - jak wiadomo - nie polega tylko na tym, że zmniejszanie się rozmiarów ziarn powoduje gwałtowny spadek wydajności procesów, którą można w dużym przybliżeniu przyjąć za odwrotnie proporcjonalną do trzeciej potęgi średniej wielkości ziarn nadawy (gdyby pozostałe elementy jej charakterystyki - np. uwolnienie ziarn składników - można uznać za niezmiennie). To zjawisko posiada charakter dość formalny i nie będzie przedmiotem niniejszych uwag. W ich treści chciałbym przedstawić natomiast niektóre problemy typu technologicznego, występujące przy zmniejszeniu wielkości ziarn przerabianego materiału - w jego podstawowej masie - poniżej pewnej wartości. Problem ten nie jest - oczywiście - jakąś nowością. Niezależnie od licznych prac, wykonywanych zarówno w aspekcie zjawisk z zakresu technologii, jak i ich podstaw teoretycznych, organizowane są także imprezy naukowe, poświęcone wybranym zagadnieniom przeróbki ziarn bardzo drobnych. Przykładem może być seminarium, zorganizowane już trzykrotnie przez Radę Krakowską NOT i Instytut Przeróbki i Wykorzystania Surowców Mineralnych AGH w Krakowie [1, 2, 3]. Symptomatyczna dla ilustracji rozwoju problemu, jest ewolucja tematyki szczegółowej tych seminariów, obejmującej, począwszy od procesów klasyfikacji (1981), coraz szerszy krąg zagadnień identyfikacji (1985) i otrzymywania (1988) materiałów bardzo drobno uziarnionych. W opracowaniach dotyczących różnych aspektów przeróbki surowców mineralnych, coraz więcej miejsca zajmują też rozważania na temat omawianej tendencji do wyraźnego zmniejszania ich uziarnienia i jej skutków (np. K. Sztaba w [4] 1987). Niniejsze opracowanie jest próbą przedstawienia katalogu głównych problemów typu poznawczego i technologicznego, jakie niesie ta tendencja.

Na początek wydaje się niezbędnym, uściślenie zakresu dalszych rozważań, a więc określenie, co będzie się rozumieć pod pojęciem ziarn bardzo drobnych. Mając na względzie wyeksponowanie szczegółowych problemów o charakterze jakościowym, jakie występują przy przeróbce takich ziarn, autor niniejszych uwag zaproponował (K. Sztaba w [3] 1988) zaniechanie prób ustalania górnej granicy ich wielkości właśnie ściśle według wielkości (rozmiarów). Proponuję na to miejsce indywidualną dla poszczególnych przypadków ocenę, czy ziarna należy już uznawać za bardzo drobne, na takiej zasadzie (op.cit. w [3]):

"...jeżeli zmniejszanie wielkości ziarn materiału poddawanego dowolnym procesom (w tym identyfikacji) wymaga - po osiągnięciu pewnej granicy wielkości i głównie z wynikających stąd przyczyn szczegółowych - zastosowania odrębnej, lub zasadniczo zmodyfikowanej metody prowadzenia procesu, związanej np. z koniecznością uwzględniania zjawisk lub zależności pomijalnych przy przeprowadzaniu takiego samego procesu z materiałami o grubszym uziarnieniu, to tę właśnie granicę można uznać za górną granicę uziarnienia bardzo drobnego. Nie będzie ona na ogół stała dla różnych materiałów i procesów, może też występować ponownie w miarę dalszego zmniejszania uziarnienia danego materiału, wydaje się jednak mniej sztuczna i umowna, niż jakakolwiek sztywno ustalana ilościowo. Przykładowo, w przypadku rozdrabniania mechanicznego, taką granicę może wyznaczać wielkość ziarn, przy których mieleniu w stopniu znaczącym dla wyników procesu, zużycia w nim energii i sposobu prowadzenia, występują zjawiska powtórnej konsolidacji, związanej z mechaniczną aktywacją powierzchni ziarn - podwyższeniem jej stanu energetycznego do poziomu, umożliwiającego wystąpienie takiego zjawiska. Nie trudno zauważyć, że w przytoczonym przykładzie będą występowały istotne różnice już np. przy mieleniu tego samego materiału na sucho i z użyciem wody, lub innych czynników wpływających na proces rozdrabniania. Powyżej i poniżej tej granicy charakterystyka procesu będzie wykazywała jednak cechy specyficzne, uzasadniające jej odrębne rozpatrywanie".

Niezależnie od pełnej umowności i dyskusyjności przedstawionej propozycji całkowicie relatywnego określania, co będzie się rozumieć pod pojęciem ziarn bardzo drobnych, mam nadzieję, że pozwala ona dokładnie określić samą istotę rozpatrywania odrębności ziarn uznanych za bardzo drobne wobec zjawisk, zachodzących w procesach technologicznych przeróbki.

Przytoczony przykład mielenia pozwala na sformułowanie istoty ogólnego zjawiska, występującego we wszystkich przypadkach przechodzenia w procesach technologicznych do ziarn coraz drobniejszych. Jest nim zmiana relacji pomiędzy różnymi rodzajami sił działających na ziarna, uczestniczące w dowolnym procesie. Przyjmijmy dla przykładu procesy rozdzielcze.

W każdym z nich wyróżnia się - jak wiadomo - pewną cechę charakteryzującą ziarna, pod względem której różnią się one najbardziej. Ta cecha, zwana cechą rozdziału, jest podstawą realizacji procesu. Jedynym warunkiem ogólnym jest to że od wartości tej cechy musi w prosty sposób zależeć wielkość siły, jaka oddziałuje na ziarno w warunkach procesu, które z kolei modeluje się tak, aby osiągnąć efektywny rozdział ziarn według wartości tej siły. Omawiana siła może w rzeczywistości być złożoną wypadkową wielu oddziaływań elementarnych, występujących równolegle i dających łącznie określony stan równowagi.

Najbardziej ogólnie można podzielić wszystkie rodzaje sił, oddziałujących na ziarna w każdym procesie, na siły masowe i powierzchniowe. Siły masowe pochodzą od zewnętrznych pól siłowych, oddziałujących na całą objętość substancji ziarna. Są to głównie siły: ciężkości, odśrodkowa, także siła pola magnetycznego, wszystkie o wartościach proporcjonalnych do masy ziarn (przy innych własnościach ziarn stałych). Siły powierzchniowe to wynik bezpośrednich oddziaływań otoczenia (ośrodka) na ziarno, realizowanych bądź w postaci kontaktowego przenoszenia działania mechanicznego, bądź z udziałem czynnika skupionego - jak np. ładunki elektryczne - na powierzchni ziarna. Należą tu liczne rodzaje oddziaływań, od zatrzymywania ziarn na przegrodach (sitach, przegrodach filtracyjnych i innych), poprzez oddziaływania hydro- lub aerodynamiczne ośrodka płynnego, do - najbardziej istotnego dla ziarn bardzo drobnych - współoddziaływania pól elektrycznych, w tym własnych pól poszczególnych ziarn, wyznaczanych przez stan energetyczny ich powierzchni. Wielkość ziarn i charakter ich kontaktów, jakie należy racjonalnie uwzględniać w procesach przeróbki, pozwalają na ograniczenie się w zasadzie do rozpatrywania tych rodzajów oddziaływań, aczkolwiek w przytoczonym przykładzie mielenia, mogą już odgrywać pewną rolę także bardziej subtelne, powierzchniowo działające siły międzycząsteczkowe. Ze względu na specyfikę - w zasadzie bierny lub pośredni udział w przebiegu procesów - w dalszym ciągu z rozważań można wyłączyć oddziaływania przegród, aczkolwiek sposób i wynik takich oddziaływań także zależy m.in. od sił tarcia - ewentualnie powierzchniowych.

Zauważmy, że przy rozdrabianiu ze zmniejszaniem rozmiarów ziarn liniowo N razy, objętość każdego z nowo powstałych ziarn zmniejsza się średnio N^3 razy, a powierzchni tylko średnio N^2 razy w stosunku do wartości dla ziarna pierwotnego. W ten sposób, stosunek objętości do powierzchni zmniejsza się średnio dla nowo powstałych ziarn również N razy. W takim samym stosunku zmieniają się relacje pomiędzy oddziałującymi na ziarna siłami masowymi i powierzchniowymi, proporcjonalnymi odpowiednio do masy (a więc - przy stałej gęstości - do objętości) i do powierzchni ziarna. Powstanie całkowicie różny od wyjściowego obraz siły

wypadkowej, decydującej o zachowaniu się ziarna. Praktyczna istotność tej zmiany będzie - oczywiście - zależała od bezwzględnych wartości omawianych sił składowych. Tak np. w przypadku poddawania procesom przepływowym ziarn dużych, w bardzo szerokich granicach ich wielkości - kilka rzędów wielkości - można nie uwzględniać relatywnie bardzo słabych oddziaływań elektrycznych, lub też wynikających z nieciągłości ośrodka (tutaj decyduje także stosunek wielkości ziarn do wielkości elementów struktury ośrodka), ale po przejściu do ziarn bardzo drobnych - rzędu mikrometra i mniej - zmiana omawianego stosunku sił powoduje, że te bardzo słabe oddziaływania stają się znaczącą częścią bilansu sił i ich pominięcie powoduje wystąpienie istotnych błędów w określaniu zachowania się ziarn. Ten przykład pokazuje, że rzeczywisty podział sił nie jest tak prosty, jak mogłoby to wynikać z poprzedniego, ogólnego omówienia. Przecież "klasyczny" zespół sił, uwzględnianych przy opisie procesów przepływowych, obejmuje także - znaczące dla ziarn drobnych - powierzchniowe oddziaływania tarcia na granicy ośrodka i ziarna. Tak więc w sposób bardziej ogólny ale nadal uproszczony, należałoby mówić o "dochodzeniu do głosu" nie tyle oddziaływań powierzchniowych w ogóle, co rozmaitych rodzajów takich lub innych oddziaływań o zróżnicowanych rzędach wartości jednostkowych i różnych związkach z podstawowymi własnościami ziarn. Dotychczas przedstawione uwagi pozwalają na pewne uogólnienie przewidywanego obrazu zakłóceń, jakie będą występowały w miarę zmniejszania wielkości ziarn podawanych pewnemu procesowi o określonej częstotliwości rozdziału:

- 1) stopniowe zmniejszanie dokładności rozdziału w związku z malejącym udziałem przyjętej cechy rozdziału w bilansie oddziaływań, aż do
 - 2) zaniku efektywności rozdziału po całkowitym zmajoryzowaniu cechy rozdziału przez inne rodzaje oddziaływań, które w przyjętych warunkach (lub w ogóle) nie mogą być cechami rozdziału (np. zanik sedymentacji ziarn skrajnie drobnych pod wpływem siły ciężkości, wówczas, gdy jej ukierunkowanie znacznie przewyższają ruchy bezładne, typu brownowskiego).
- Zupełnie podobnie kształtuje się przebieg procesów nierozdzielczych, chociażby w zacytowanym poprzednio przykładzie mielenia.
- Drugie uogólnienie sprowadza się do stwierdzenia, że konieczność uwzględniania - w miarę zmniejszania wielkości ziarn - kolejnych rodzajów oddziaływań o coraz mniejszych wartościach jednostkowych, zależy od przyjętych wymagań co do dokładności opisu procesu i żądanej precyzji przewidywania jego wyników. W przypadku występowania w rzeczywistych - przemysłowych - warunkach realizacji procesu, zakłóceń nie związanych z jego prawidłowym przebiegiem, a wprowadzających do niego znaczne - na ogół przypadkowe - zaburzenia, uwzględnianie - w celu doskonalenia tego procesu - dodatkowych oddziaływań o wartościach nie przekraczających wartości zakłóceń ma - naturalnie - sens dopiero po wyeliminowaniu tych zaburzeń.

Przedstawione - dość szerokie - omówienie problemu, pozwala na sformułowanie następujących wniosków i propozycji.

1. W miarę zmniejszania się rozmiarów ziarn poddawanych różnorodnym procesom przeróbki surowców mineralnych, zmieniają się w istotnym stopniu w warunkach procesu poszczególnych rodzajów oddziaływań, kształtujących te warunki. Wymaga to uwzględniania takich oddziaływań - z reguły bardzo słabo rozpoznanych ilościowo a nawet jakościowo - w opisach procesów przewidywanych do zastosowania dla materiałów bardzo drobno uziarnionych.

2. Zasadność wprowadzania do opisu procesu dodatkowych oddziaływań - komplikujących ten opis - określa jego wymagana dokładność. Takie samo może być kryterium uznawania ziarn za bardzo drobne. Podstawę decyzji w tych sprawach może dać jedynie ilościowe rozpoznanie problemu.

3. Silna i trwała tendencja zmniejszania się uziarnienia materiałów poddawanych przeróbce, w tym zwłaszcza surowców wtórnych i odpadowych, o zwiększającym się udziale w całości przerabianych materiałów, uzasadnia podjęcie szerszych badań nad problemem.

4. Przesłanką poznawczą dla prowadzenia badań podstawowych w omawianym zakresie (gdziekolwiek sygnalizowanych lub wstępnie podjętych - np. T. Dąbroś w [5] 1988), jest potrzeba rozwoju i pogłębiania wiedzy o istocie tak złożonych, typowo interdyscyplinarnych procesów, jak procesy przeróbki niezmiernie skomplikowanych układów, jakimi są surowce mineralne.

Literatura

- [1] Seminarium naukowo-techniczne n.t.: Klasyfikacja materiałów drobno uziarnionych, OK NOT, IPIWSM AGH, Kraków 1981 - materiały.
- [2] II Seminarium naukowo-techniczne n.t.: Nowe osiągnięcia w klasyfikacji materiałów drobno uziarnionych (poniżej 0,1 mm), RW NOT, IPIWSM AGH, Kraków 1985 - materiały.
- [3] III Seminarium "Materiały bardzo drobno uziarnione", n.t.: Pozyskiwanie, identyfikacja i klasyfikacja materiałów bardzo drobno uziarnionych, RW NOT, IPIWSM AGH - materiały: Zeszyty Naukowe AGH nr 1239, s. Górnictwo, z. 140, Kraków 1988.
- [4] V Sympozjum "Stan i perspektywy przeróbki surowców mineralnych w Polsce" PAN, NOT, AGH, SITG, Jelenia Góra - Cieplice, materiały: Zeszyty Naukowe AGH nr 1130, s. Górnictwo, z. 130, Kraków 1987.
- [5] Badanie procesów przepływowych w przeróbce surowców mineralnych - etap III - sprawozdanie z realizacji tematu w CPBP 03.07, Kraków 1988, maszynopis w Bibliotece IPIWSM AGH.

ABSTRACT

Kazimierz Sztaba: Technological Problems of Enrichment of Very Finely Grained Materials. Problems of Mineral Processing, 21, (polish text) 15-21.

Some sets of conditions and interactions, occurring during course of unit operations and included in their descriptions and practical realisations, are assumed in traditionally formulated mineral processing. They do not prove to be sufficient when grain sizes of the processed material become very small, i.e. of an order of micrometers. It results, as a rule, from a change of relation between various types of elementary interactions composing set of conditions determining the process course. These circumstances require undertaking investigations on a complex set of problems occurring in the described cases, the more so as larger and larger amounts of the processes raw materials are in state of very high comminution. It is particularly characteristic for secondary raw materials and waste materials.

СОДЕРЖАНИЕ

К.Штаба, 1989. Проблемы обогащения особенно мелкозернистых материалов. Физикохимические вопросы обогащения, 21; 15-21.

В традиционно понимаемой переработке сырья принимаются определенные комплексы условий и влияний, выступающих в одиночных операциях и принятых во внимание в их описаниях и практических реализациях. Они оказываются недостаточными, когда величины зерен перерабатываемого материала становятся очень маленькими - ряда микрометров. Вытекает это, как правило, из измерения соотношения между элементарными влияниями разного типа, составляющими систему условий, решающих ход процесса. Эти обстоятельства требуют развития исследований над сложным комплексом проблем, выступающих в описанных случаях, тем более, что все большее количество сырья, подаваемого обогащению, выступает в состоянии сильного раздробления. Это особенно характерно для вторичного и отходного сырья.