

Janusz Laskowski

Zakład Przeróbki Kopalin
Instytut Chemii Nieorganicznej
i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich
Politechniki Wrocławskiej

PROBLEMY SKALI BADAŃ W FIZYKOCHEMICZNYCH METODACH WZBOGACANIA

WSTĘP

Zgodnie z klasyfikacją fizykochemicznych metod wzbogacania [1], do najważniejszych spośród nich należy zaliczyć metody flotacyjne i metody koloidalne. Końcowy rezultat każdego z tych procesów zależy od warunków fizykochemicznych, oraz od warunków hydrodynamicznych stwarzanych przez urządzenie.

Agregacja ziarn w procesie koagulacji lub flokulacji tak jak i przyczepianie się ziarna do pęcherzyka we flotacji, zależą od własności powierzchniowych ziarna mineralnego i od czynników wyznaczających możliwość spotkania się takich dwóch obiektów, kontaktowania przez czas odpowiednio długi dla dojścia do adhezji itp.

Celem niniejszego referatu nie jest przedyskutowanie wszystkich zagadnień związanych ze skalą doświadczeń w fizykochemicznych metodach wzbogacania. I tak np. w referacie tym nie omawia się zupełnie całej grupy zagadnień wynikających z konieczności modelowania doświadczeń flotacyjnych w warunkach laboratoryjnych tak aby pozwalały one na odtworzenie w urządzeniach o działaniu ciągłym. W pracy tej chodziło wyłącznie o zwrócenie uwagi na pewne szczególne problemy występujące we flotacyjnych i koloidalnych metodach wzbogacania, spowodowane współzależnością wpływu warunków fizykochemicznych i hydrodynamicznych na końcowe rezultaty, które muszą być uwzględniane w metodach eksperymentalnych adoptowanych dla rozwiązywania tego rodzaju zagadnień. Dopiero właściwe rozwiązanie tych problemów i w następnym etapie rozwiązanie zagadnienia modelowania urządzeń przemysłowych w doświadczeniach laboratoryjnych, może stanowić rozwiązanie całościowe.

Metody eksperymentalne w badaniach flotacyjnych

W tablicy 1 zebrano metody eksperymentalne często stosowane w badaniach flotacyjnych. Poza bezpośrednimi doświadczeniami flotacyjnymi, których celem jest opis procesu, w tablicy omówiono również niektóre doświadczenia fizykochemiczne służące do badania mechanizmu różnych procesów cząstkowych. Pomiary takie dają oczywiście możliwość śledzenia tylko pewnych własności badanego układu, które często nie są powiązane prostymi korelacjami z procesem flotacji. Nawet wśród metod flotacyjnych, wyszczególnionych w tej tablicy, większość z nich stoi jeszcze bardzo daleko od przemysłowego procesu flotacji.

Dla przykładu można podać, że Hargreaver i Schreiber [2] badając flotowalność - 200 + 325 mesh różnych minerałów stwierdzili dobrą korelację pomiędzy wynikami w zmodyfikowanym flotowniku Hallimonda o działaniu ciągłym, a laboratoryjną maszynką flotacyjną Wemco. Nie stwierdzili natomiast korelacji pomiędzy tak otrzymanymi wynikami a "flotowalnością" oznaczoną metodą "pick-up". Wykazano, że wyniki tej ostatniej metody zależą bardzo mocno od prędkości ścinania (mieszania) i tym samym pomiędzy tego rodzaju wynikami nie ma prostych korelacji. Zastosowanie w podobnych seriach doświadczeń rzeczywistych wieloskładnikowych nadaw flotacyjnych z całą gamą ziarn o różnych wielkościach, wykazałoby dalsze rozbieżności pomiędzy flotowalnością danego minerału oznaczoną we flotowniku Hallimonda, a rzeczywistą flotowalnością tego minerału ze zbioru różnych ziarn.

Laboratoryjna maszynka flotacyjna różni się od swojego odpowiednika przemysłowego ponadto periodycznością pracy. Bezwzględne wyniki pracy takich urządzeń muszą się więc różnić, jest to rzecz powszechnie znana i dlatego nie porównuje się zwykle takich wyników, a doświadczenia laboratoryjne wykorzystuje się jedynie dla znalezienia warunków optymalnych (np. dobór optymalnego reżimu odczynnikowego).

Warunki fizykochemiczne i hydrodynamiczne doświadczenia flotacyjnego

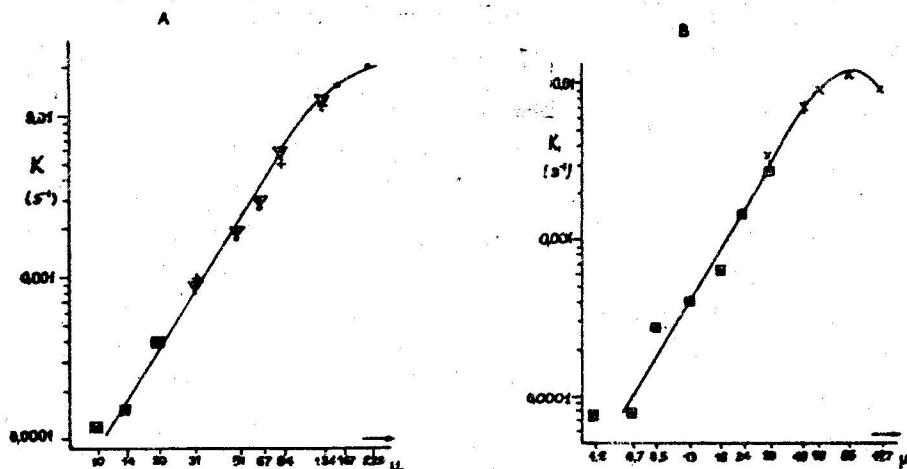
Syntetyczne spojrzenie na flotację i problem wynoszenia ziarna mineralnego przez pęcherzyki powietrza do warstwy piany, pozwala zgrupować parametry warunkujące ten proces w trzy bezwymiarowe współczynniki (prawdopodobieństwo zderzenia się ziarna z pęcherzykiem, prawdopodobieństwo przytwierdzenia się ziarna do pęcherzyka w krótkim czasie kontaktowania się ziarna z pęcherzykiem i prawdopodobieństwo wyniesienia przez pęcherzyk ziarna do warstwy piany). Ich iloczyn

stanowi tzw. prawdopodobieństwo flotacji (patrz [3]).

$$P = P_z P_a P_s \quad (1)$$

Parametry związane z warunkami hydrodynamicznymi panującymi w urządzeniu flotacyjnym wpływają na wszystkie trzy składowe równania (1), wpływ ten jest jednak szczególnie duży w przypadku P_z i P_s .

W pracach traktujących o procesie flotacji można znaleźć wyniki flotacji ziarn o różnej wielkości (rys. 1) [4]:



Rys. 1. "Free flotation" różnych klas ziarnowych apatytu (A) i galeny (B). Punkty na krzywych oznaczają flotację wąskich klas ziarnowych, oraz ziarn o danych rozmiarach ze zbioru różnych ziarn. Stała K była liczona z równania $\log \frac{1}{1-\epsilon} = K t$

Z rysunku tego widać, że w danym typie urządzenia flotacyjnego i w danych warunkach fizykochemicznych dobrze flotują wyłącznie ziarna o pewnych średnich wymiarach, ziarna bardzo małe, a także ziarna duże [5] flotują źle.

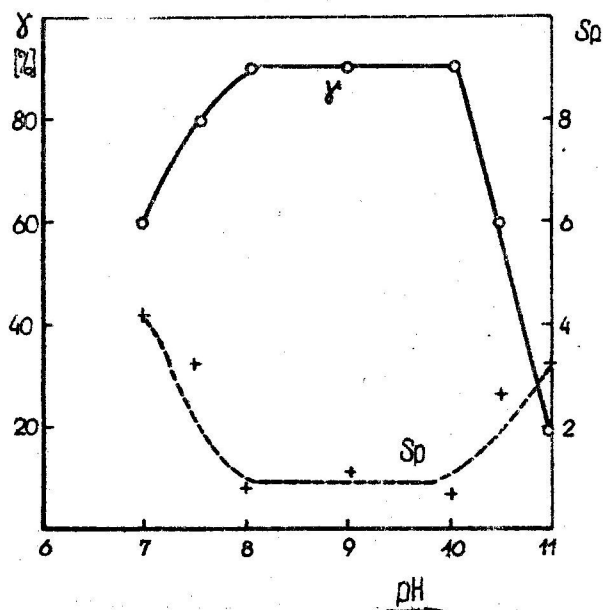
Podobną zależność jak na rys. 1 można otrzymać pracując z tą samą klasą ziarnową ale w zmiennych warunkach fizykochemicznych. Przykład pokazano na rys. 2. [6]. Na rys. 2 pokazano również błąd doświadczeń flotacyjnych w rurce Hallimonda. Błąd ten jest najwyższy w zakresach pH, w których warunki fizykochemiczne nie pozwalają na otrzymanie optymalnych wyników flotacji. Nieoptymalne warunki fizykochemiczne czynią równocześnie doświadczenie flotacyjne niezwykle wrażliwym na wszelkie zakłócenia i zmiany warunków hydrodynamicznych. Stąd bierze się duży błąd doświadczenia w tych zakresach pH.

T a b l i c a 1

Najczęściej stosowane metody w badaniach
różnych aspektów procesu flotacji

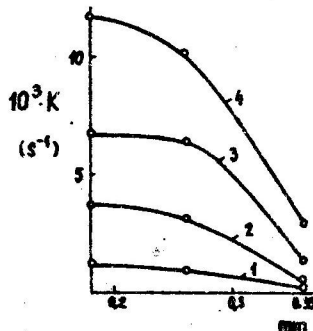
Pomiar	Omówienie wyników	Związek z flotacją
1	2	3
Napięcie powierzchniowe	Pomiar nap. pow. wodnych roztworów odczynników flotacyjnych charakteryzuje aktywność powierzchniową tych odczynników	Nie ma żadnych korelacji aktywności powierzchniowej odczynnika z flotowalnością minerałów
Ocena pianotwórczości	Pomiar trwałości lub objętości piany wytworzonej w warunkach standardowych charakteryzuje zdolność spieniaczy do tworzenia pian dwufazowych	Nie ma żadnej korelacji pomiędzy pianotwórczością roztworu odczynników (własności układu dwufazowego) z flotacją (własność układu trójfazowego). Jedyną oceną faktycznych własności flotacyjnych spieniacza może być eksperyment flotacyjny.
Sorpcja odczynników	Pozwala znaleźć warunki, w których sorpcja np. kolektora może być maksymalna. Specjalne techniki mogą również dawać informację o produktach chemisorpcji	Sorpcja kolektora wyznacza hydrofobowość minerału. Związek z flotacją możliwy poprzez hydrofobowość
Potencjał elektrokinetyczny	Dla przypadku adsorpcji jonów zbieracza w podwójnej warstwie elektrycznej charakteryzuje jednoznacznie adsorpcję. Pomiar charakteryzuje powstawanie struktur koagulacyjnych jednego minerału na powierzchni drugiego	Dla przypadku adsorpcji jonów zbieracza w elektrycznej warstwie podwójnej, najlepsza flotacja zachodzi dla $\xi \rightarrow 0$
Kąt zwilżania	Dokładność pomiaru $\pm$ kilka stopni. Pomiar θ_A lub θ_R trudności interpretacyjne. Praktycznie pomiar jest tylko możliwy na gładkich powierzchniach	Warunkiem koniecznym flotacji jest $\theta > 0$, nie ma jednakże zależności pomiędzy θ a prędkością flotacji
Czas indukcji	Pomiar czasu indukcji tj. czasu kontaktowania się ziarna z pęcherzykiem koniecznego dla przytwierdzenia się ziarna do pęcherzyka, charakteryzuje hydrofobowość powierzchni i kinetykę pękania filmu wodnego pomiędzy ziarnem i pęcherzykiem	Pełna zgodność z wynikami flotacji danego minerału

1	2	3
Metoda "pick-up"	Pomiar charakteryzuje w sposób umowny hydrofobowość ziarn oraz możliwości przytwierdzania się ziarna do pęcherzyka w warunkach zupełnie bez mieszania i turbulencji	Orientacyjna informacja o zakresach flotowalności
Flotacja próżniowa	Pomiar charakteryzujący wpływ odczynników na zwilżalność powierzchni	Informacja o zakresach flotowalności danego minerału
Flotacja w aparacie Hallimonda	Doświadczenie to pozwala dobrać odpowiednie odczynniki zbierające i modyfikujące dla danego minerału. Pozwala również ocenić współdziałanie np. zbieracz-spieniacz, itp.	Zgodność z wynikami flotacji pianowej danych minerałów może być bardzo dobra. Ze względu na inne warunki hydrodynamiczne i brak mułów nie daje wiarygodnych informacji o selektywności rozdziału
Flotacja w maszynkach laboratoryjnych	Doświadczenie może dać pełną odpowiedź odczynnikowego i selektywności rozdziału	Dla przejścia do urządzeń przemysłowych wymagane jest uwzględnienie problemów wynikających z periodyczności pracy flotowników laboratoryjnych
Flotacja w urządzeniach półtechnicznych o działaniu ciągłym	Pełna informacja o jakości koncentratów, uzysku i czasie flotacji	



Rys. 2. Flotacja chalkozynu w aparacie Hallimonda o uziarnieniu $-0,2 + 0,075$ mm. Warunki flotacji: 25 mg/l EtX

Rys. 3. Zależność stałej prędkości flotacji ilmenitu od wielkości ziarn i ilości zbieracza, pH = 7, stężenie zbieracza IM-50 w mg/l: 5 (krzywa 1); 12,5 (krzywa 2); 25 (krzywa 3); 36 (krzywa 4)



Na rys. 3 pokazano wpływ wielkości ziarna i ilości odczynnika na prędkość flotacji ziarn ilmenitu [7].

Analizując zależności pokazane na rys. 1-3 można stwierdzić, że przy ustalonym reżimie odczynnikowym, a zatem w stałych warunkach fizykochemicznych, zakres optymalnej flotawalności był ustalony przez wielkość ziarn. Przy pracy z wąską klasą ziarnową w wybranym urządzeniu doświadczalnym, zakres ten określa pH lub ilość odczynników. Zmiana warunków fizykochemicznych lub typu urządzenia, może przesunąć

granice flotowalności w stronę ziarn bardzo drobnych lub ziarn dużych. Optymalne warunki hydrodynamiczne dla flotacji danego minerału ulegają zmianie przy przyjęciu innego reżimu odczynnikowego. Wyniki te pokazują współzależność występującą we wpływie warunków fizykochemicznych i hydrodynamicznych na rezultaty flotacji - podstawą do analizy tych wpływów mogłaby być tylko zależność typu równania (1).

Flotacja została wynaleziona jako metoda wzbogacania ziarn drobnych - nie dziwi zatem zła flotowalność ziarn dużych. Z drugiej strony należy pamiętać, że muły definiuje się często jako "klasę ziarnową, która jest zbyt drobna aby była wzbogacana metodami wynalezionymi dla ziarn większych" [8], a flotacja w swojej klasycznej postaci, flotacji pianowej, wynaleziona do wzbogacania ziarn drobnych, okazała się przydatna wyłącznie do wzbogacania klas ziarnowych zawartych w pewnych granicach.

Urządzenia laboratoryjne, które zunifikowano na całym świecie tak, aby możliwie dobrze odpowiadały warunkom pracy urządzeń przemysłowych, zostały stworzone dla realizacji flotacji pianowej. Warunki hydrodynamiczne jakie stworzono w tych urządzeniach są odpowiednie dla flotacji ziarn o wymiarach od ok. 20 μm do ok. 150 μm (dla węgla nawet do 500 μm). Praca w wytypowanych warunkach leżących w środku zakresu optymalnego nie powinna zatem stwarzać trudności w odtworzeniu takich doświadczeń w większej skali. Gorzej jest, kiedy ze względu np. na selektywność rozdziaku kopaliny proponuje się warunki pracy leżące na skraju zakresu optymalnego flotacji minerału użytecznego.

Wszystko co powiedziano dotychczas wskazuje na to, że optymalne wyniki flotacji warunkują wszystkie parametry, w tym warunki fizykochemiczne i hydrodynamiczne. Często konieczność doboru warunków doświadczalnych leżących na skraju obszaru optymalnego czyni doświadczenia flotacyjne wykonywane w takich warunkach szczególnie wrażliwym na wszelkie zmiany w reżimie pracy. Błąd doświadczenia w takich warunkach jest wysoki. We wszystkich takich przypadkach problem powtarzalności wyników i ich odtwarzalności w warunkach przemysłowych może być szczególnie trudny.

Problemy tego rodzaju będą występowały także ze szczególną ostrością w przypadku wysokiej zawartości mułów w nadawie flotacyjnej. Ziarna bardzo drobne minerału użytecznego flotują często na powierzchni ziarn większych tego samego minerału, a ziarna bardzo drobne minerałów płonnych koagulując na powierzchni ziarn użytecznych mogą całkowicie zmieniać ich zachowanie się w procesie flotacji. Problem sprowadza się wtedy do trwałości powstających struktur koagulacyjnych i jest w dużym stopniu uzależniony od warunków hydrodynamicznych

panujących w urządzeniu. Podobne zagadnienia występują w koloidalnych metodach separacji.

Flotacja ziarn dużych

Zagadnienia hydrodynamiki i modelowania procesu flotacji są przedmiotem licznych opracowań. W pracach Arbitera i Harrisa [9] przeanalizowano zachowanie się w procesie flotacji ziarn dużych, w pracach tych chodziło również o znalezienie warunków optymalnych dla flotacji takich ziarn.

Jednym z zadań jakie musi spełniać maszyna flotacyjna jest zapewnienie takich warunków mieszania, które uniemożliwiają osadzanie się ziarn mineralnych na dnie. W cytowanej pracy wykazano [9], że parametrem charakteryzującym zdolność maszyny do utrzymania części stałych w zawieszeniu, może być wprowadzone przez nich kryterium

$$\frac{Q_a}{ND^3}$$

gdzie Q_a - ilość zasysanego powietrza m^3/h ,

N - ilość obrotów h^{-1} ,

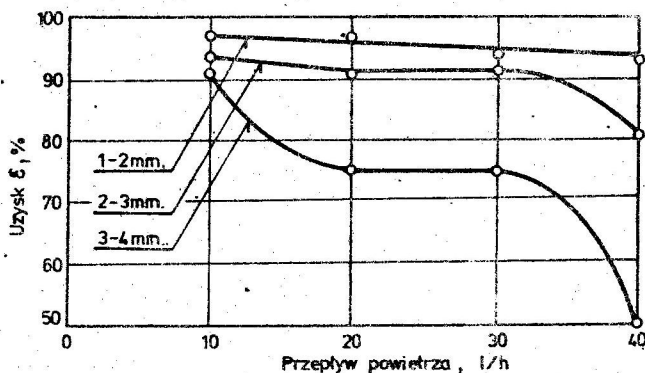
D - średnica wirnika, m.

Zależność ta wynika z funkcyjnego powiązania ilości powietrza z intensywnością recyrkulacji mętów w strefie wirnika: podawanie większej ilości powietrza zmniejsza intensywność recyrkulacji mętów, a zatem obniża intensywność mieszania, co sprzyja sedymentacji ziarn większych.

W omawianej publikacji krzywa uzysku w funkcji ilości powietrza podawanego do maszyny ma wyraźne maksimum. Przy małych ilościach powietrza flotacja jest zła z powodu bardzo intensywnego mieszania uniemożliwiającego flotację ziarn dużych oraz z braku dostatecznej ilości pęcherzyków. Podawanie większej ilości powietrza poprawia wyniki, jednakże przekroczenie ilości optymalnych, powoduje ponownie pogorszenie wyników z powodu niedostatecznego mieszania i osadzania się ziarn na dnie, szczególnie ziarn dużych.

Na rys. 1 pokazano wyniki flotacji minerałów o różnym uziarnianiu we flotowniku mechanicznym. Dla niektórych kopalin, np. dla węgla kamiennych, wzbogacanie urobku o uziarnieniu 0-4 mm może stanowić proces interesujący dla przemysłu. Tego rodzaju prace były prowadzone, a ich wnioski ze względu na wielkość flotowanych ziarn, są także interesujące dla analizy zagadnienia hydrodynamiki układów flotacyjnych.

Pierwszą obszerną pracę na temat wpływu warunków hydrodynamicznych na flotację dużych ziarn węgla przedstawili Sun i Zimmermann. Dalsze badania prowadzone w tej dziedzinie wykazały, że gruboziarniste nadawy węglowe lepiej jest flotować we flotownikach pneumatycznych [10]. Zapewniają one bardziej spokojne warunki w komorze, w strefie wpływania, co sprzyja flotacji ziarn bardzo dużych. Dalszą poprawę wyników można uzyskać przez zastosowanie przepływu mętów we flotowniku, od dołu do góry, tzn. zgodnie z ruchem pęcherzyków. Przepływ taki uniemożliwia osadzanie się ziarn na dnie bez wprowadzenia nadmiernego mieszania (jak w maszynie mechanicznej). Jednakże dla wyników istotna jest tak prędkość wznoszącego przepływu mętów, jak ilość powietrza [11, 12]. Pokazano to na rys. 4 i 5.

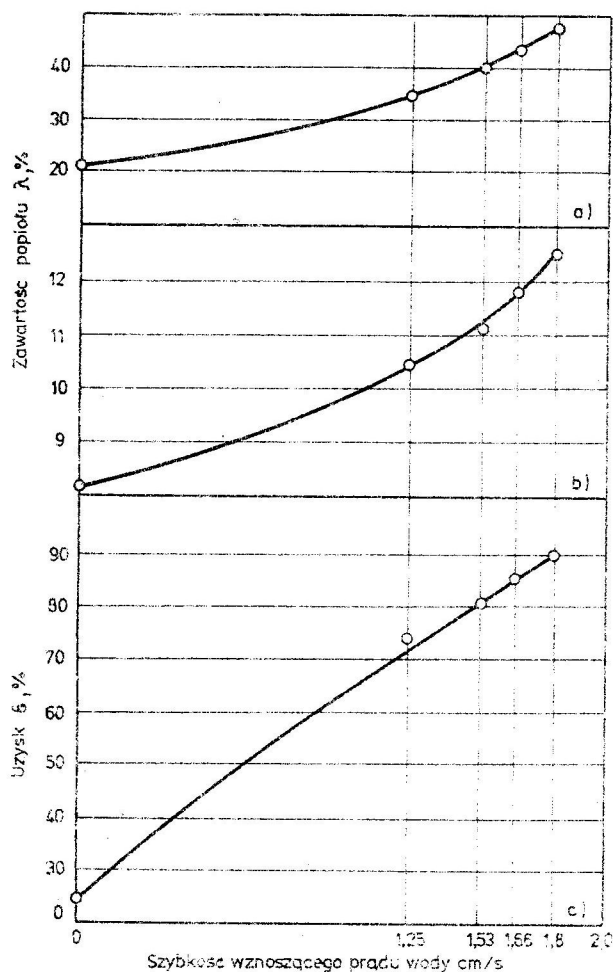


Rys. 4. Wpływ ilości podawanego powietrza we flotowniku pneumatycznym na flotację różnych klas ziarnowych węgla. Warunki flotacji: 50 g/t oleju napędowego, 20 mg/l alifalu, prędkość wznoszącego prądu wody 2,65 cm/s

Przy flotacji tak dużych ziarn wszelkie dodatkowe zawirowania mogą natychmiast prowadzić do wtórnego niszczenia zespołów: ziarno - pęcherzyk.

Delikatność równowagi się utrzymujących duże ziarno przy powierzchni pęcherzyka widać także w badaniach doboru odpowiednich warunków fizykochemicznych. Badania wykazują, że nawet zmiany w sposobie emulgowania kolektora, mogą już w tym przypadku mieć decydujące znaczenie dla końcowych wyników [13].

Według Arbitera i Harrisa optymalne prędkości obrotów wirnika oraz optymalne ilości powietrza w maszynach o różnej wielkości (flotowniki mechaniczne) nie są jednakowe. Gorsze wyniki flotacji w komorach o mniejszej pojemności (w tym także we flotownikach



Rys. 5. Wpływ zmiany szybkości wznoszącego prądu wody na zawartość popiołu w odpadach, a) w koncentracji, b) na uzysk substancji palnej, c) przy flotograwitacyjnym wzbogacaniu węgla z kopalni "Anna". Zawartość popiołu w nadawie 18,2%, uzależnienie 4 - 0 mm.

laboratoryjnych) w stosunku do większych urządzeń przemysłowych tłumaczą oni, zbyt dużą ilością podawanego powietrza we flotownikach małych. Wskaźniki typu Q_a/ND^2 dla flotowników dużych wykazuje znacznie niższe wartości.

Przykłady zaczerpnięte z badań nad flotacją miatek węglowych potwierdzają te wnioski. Czyż większe jest ziarno, tym bardziej znacząco przejawia się wpływ doboru odpowiednich warunków dla uzyskania

procesu i tym trudniejsze są problemy powiększania skali i przechodzenia z urządzeń laboratoryjnych do przemysłowych.

Flotacja ziarn bardzo drobnych

Na rys. 1 pokazano, że ziarna drobne flotują z trudnością. Jedną z teorii tłumaczących taki stan rzeczy można znaleźć w publikacjach Dieriągina i Duchina [14].

Charakterystyczne jest, że nie zawsze wyniki przemysłowe wykazują gorszą flotowalność ziarn drobnych. Przyczyną jest aglomeracja ziarn drobnych minerału użytecznego na powierzchni ziarn większych i wynoszenie ich w takiej postaci do warstwy piany. Jest to już wtedy raczej flotacja nośnikowa.

Badania podstawowe tego zagadnienia prowadzone w swoim czasie przez Dieriągina, Samygina i Liwsiycza [15] wykazały, że prędkość osadzania się ziarn małych na powierzchni ziarn dużych jest 400 - 500 razy większa od prędkości łączenia się ziarn małych pomiędzy sobą w większe agregaty.

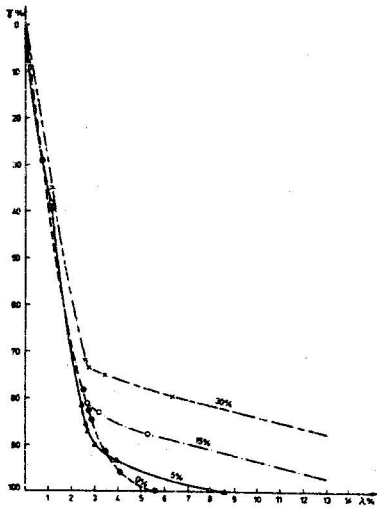
Hydrodynamika procesu zderzania się ze sobą ziarn mineralnych i tworzenie agregatów jest podobna do zagadnienia zderzania i przytwierdzania się ziarna mineralnego do pęcherzyka powietrza. Proces aglomeracji i flotacji aglomeracyjnej jest niezwykle "czuły" na wszelkie zmiany warunków. Berger dla otrzymania dobrych wyników we flotacji aglomeracyjnej zaproponował inną konstrukcję maszynki flotacyjnej [16]. Maszynka taka ma większą głębokość przy tym samym przekroju poprzecznym, bardziej spokojne warunki wpływania pęcherzyków oraz mniejsze obroty wirnika. Jak widać przedsięwzięte środki przypominają zmiany, jakie wprowadza się we flotacji ziarn bardzo dużych. W obu przypadkach: zespół, duże ziarno - pęcherzyk i agregat składający się z wielu ziarn - pęcherzyk, są bardzo wrażliwe na wszelkie przejawy turbulencji.

Dla flotacji aglomeracyjnej niezwykle ważne są również warunki samej aglomeracji, która jest z reguły prowadzona przy średnich zagęszczeniach i niezbyt intensywnym mieszaniu. Sama flotacja powinna być prowadzona przy niskich zagęszczeniach w spokojnych warunkach [17]. Czynnikiem aglomeracyjnym jest odczynnik niejonowy typu np. nafty, który jest wprowadzany do układu w postaci emulsji. Mieszanina taka zawierająca w fazie rozpraszającej ziarna mineralna, kropelki cieczy nierozpuszczalnych w wodzie, a w końcowym etapie również pęcherzyki powietrza, jest wielofazowym układem dyspersyjnym, którego trwałość jest złożoną funkcją wielu parametrów.

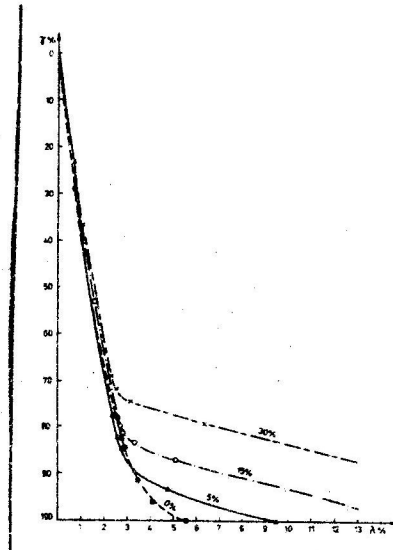
Innym ale podobnym zagadnieniem jest wpływ drobnych klas ziarnowych minerałów płonnych na proces flotacji. Wiadomo, że wpływ taki jest bardzo niekorzystny. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy są tzw. pokrycia mułowe, czyli pokrycia powierzchni ziarn minerałów użytecznych bardzo drobnymi ziarnami mułowymi. Istnieje powiedzenie, że najlepszą metodą postępowania z mułami jest ich nieprodukowanie, jednakże konieczność uwalniania ziarn minerałów użytecznych musi niejednokrotnie prowadzić do bardzo głębokiego mielenia, które szczególnie w przypadku, gdy w rudzie znajdują się minerały ilaste, tworzą wysoce zdyspergowane zawiesiny (zwane mułami).

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele prac, w których opisano mechanizm powstawania pokryć mułowych [18]. W doświadczeniach takich często posługiwano się metodami eksperymentalnymi, które pokazywały wpływ mułu na własności powierzchniowe danego minerału, zmianami tych własności, tłumacząc następnie wyniki flotacyjne, w których, np. we flotacji węgla, otrzymywano podwyższone zawartości popiołu w koncentratkach z nadaw o większej zawartości substancji ilastej lub we flotacji z większą ilością odczynników [19, 20]. Można wykazać, że dodatek zawiesiny minerałów ilastych lub mułu przygotowanego przez mielenie łupka węglowego, zmniejsza kąt zwilżania na gładkich powierzchniach ziarn węglowych [21], a równocześnie wprowadzenie takiego mułu do węglowej nadawy flotacyjnej powoduje wzrost zapopielenia koncentratu. Przykład ten może ilustrować wątpliwości, które powstają przy analizie wniosków wyciąganych z tego rodzaju obserwacji. Wystarczy bowiem te same doświadczenia flotacyjne wykonać w inny sposób, żeby dojść do odmiennych wniosków.

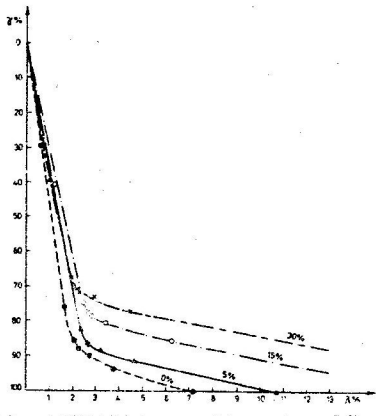
Na rys. 6-9 pokazano krzywe flotowalności węgla z kopalni "Gliwice" i "Anna" [22]. Węgiel z tych kopalń był wstępnie wzbogacany w cieczy ciężkiej o gęstości $1,4 \text{ g/cm}^3$ i frakcja pływająca po wysuszeniu i skruszeniu do uziarnienia - 0,5 mm była użyta do doświadczeń flotacyjnych. W doświadczeniach tych stosowano również nadawy sporządzone przez zmieszanie odpowiedniej ilości węgla z iłem montmorylonitowym, lub kaolinem. Doświadczenia prowadzono według metody zaproponowanej przez Della [23] w celu otrzymania tzw. krzywych flotowalności [24]. W pierwszej flotacji oddziela się materiał flotujący od odpadów, a następnie w kolejnych doświadczeniach koncentrat rozdziela się na poszczególne frakcje. Pierwszą flotację rozdzielającą prowadzi się przy niskich obrotach wirnika i przymknętym dopływie powietrza - flotują wtedy ziarna najbardziej hydrofobowe, następnie odbiera się produkt przy wyższych obrotach i większym dopływie powietrza itd.



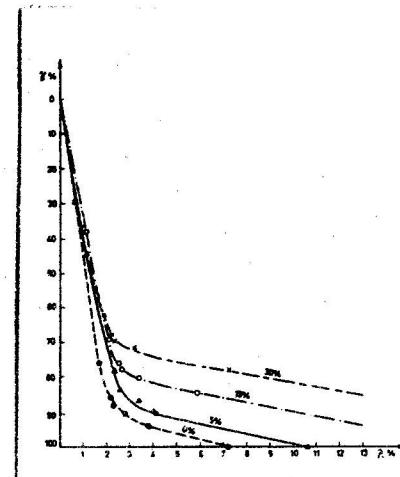
Rys. 6. Krzywe flotowalności węgla z kop. "Gliwice" (frakcja $-1,4 \text{ g/cm}^3$) w obecności różnych ilości ilu montmorylonitowego



Rys. 7. Krzywe flotowalności węgla z kop. "Gliwice" (frakcja $-1,4 \text{ g/cm}^3$) w obecności różnych ilości kaolinu



Rys. 8. Krzywe flotowalności węgla z kop. "Anna" (frakcja $-1,4 \text{ g/cm}^3$) w obecności różnych ilości ilu montmorylonitowego



Rys. 9. Krzywe flotowalności węgla z kop. "Anna" (frakcja $-1,4 \text{ g/cm}^3$) w obecności różnych ilości kaolinu

Z krzywych widać, że przy tak prowadzonych doświadczeniach wpływ mułów kaolinu i montmorylonitu na flotowalność badanych węgli jest znikomy. Może to świadczyć o braku pokryć mułowych oraz o tym, że wynoszenie ziarn płonnych do koncentratu w badanym przypadku następowało głównie na skutek wynoszenia mechanicznego do warstwy piany [25-27]. Doświadczenie takie nie daje odpowiedzi na pytanie, czy pokrycia mułowe powstają, mówi jednakże, że flotacja badanego węgla w warunkach dużej zawartości minerałów ilastych w nadawie jest możliwa przy odpowiednim prowadzeniu procesu i oczyszczeniu koncentratu. Badania zwilżalności powierzchni węgla poprzez pomiary kąta zwilżenia mogą wprawdzie dać odpowiedź na pytanie o wpływie mułów na zwilżalność, nie dają jednak wiarogodnych informacji o wpływie tych mułów na proces flotacji. Pokrycia takie mogą bowiem mieć wpływ na flotację tylko w przypadku, kiedy duża jest siła adhezji ziarn mułowych do powierzchni węgla [28].

Podobnie na podstawie pomiarów kąta zwilżenia na węglu można dojść do przekonania, że alkohole (np. alifal) hydrofilizują taką powierzchnię i tym samym ułatwiają usuwanie pokryć mułowych z powierzchni węgla [21]. Pomiary takie mogą nawet prowadzić do wniosku o szkodliwości tego rodzaju odczynników we flotacji węgla, co przeczy szeroko opisanym faktom doświadczalnym.

Dyskusja taka - wbrew pozorom - jest nie tylko dyskusją "akademicką". Postulowanie powstawania pokryć mułowych jest równoznaczne ze zwróceniem uwagi w badaniach technologicznych na problem odczynników, w tym odczynników peptyzujących. Wniosek mówiący o małym znaczeniu takich pokryć, sugeruje celowość podjęcia prac zmierzających do ograniczenia mechanicznego wynoszenia ziarn płonnych do koncentratu. Ten drugi problem jest przede wszystkim związany z typem urządzeń flotacyjnych, ich stanem technicznym i sposobem czyszczenia koncentratów.

Koloidalne metody separacji

Do metod koloidalnych zaliczamy m.in. selektywną koagulację, selektywną flokulację i aglomerację objęta [1]. Sprytatnie te metody należą do selektywnej separacji. Wskazują one na możliwość separacji w warunkach, które w normalnych warunkach nie są możliwe. Wskazują one na możliwość separacji w warunkach, które w normalnych warunkach nie są możliwe. Wskazują one na możliwość separacji w warunkach, które w normalnych warunkach nie są możliwe.

W podstawowej pracy Yarawa i Kitchenera [29] sprecyzowano warunki, jakie muszą być spełnione w procesie selektywnej flokulacji. Do ważnych parametrów należy zaliczyć: zagęszczenie i sposób mieszania - warunkują one ilość ziarn minerału B mechanicznie wychwytywanych wraz z selektywnie flokulującym minerałem A. Dla zapewnienia dobrego rozdziału (mimo bardzo selektywnych odczynników) konieczne jest zastosowanie specjalnych technik "przemysławających" sflokulowany osad w celu wyprowadzenia z niego ziarn wychwyconych mechanicznie [30].

We wszystkich tego rodzaju doświadczeniach należy pamiętać, że dobre wyniki rozdziału otrzymane w przypadku mieszania dwóch oddzielnie zmielonych minerałów A i B w badaniach modelowych, niejednokrotnie dają zupełnie negatywne wyniki, gdy proces mielenia jest prowadzony wspólnie. Bardziej ważne są warunki mieszania dla aglomeracji olejowej. Pokazują to prace poświęcone kinetyce tego procesu [31].

Przykłady, które wykorzystano w tej pracy pokazują wagę doboru odpowiednich warunków tak fizykochemicznych, jak hydrodynamicznych w fizykochemicznych procesach wzbogacania. Procesy te uzależnione są od właściwego wykorzystania różnic w specyficznych własnościach powierzchniowych, poszczególnych minerałów. Efekty te nie są duże, dlatego wpływ warunków hydrodynamicznych na końcowe wyniki jest znacznie większy, niż w innych metodach wzbogacania.

Badania nad nowymi technologiami wymagają długotrwałych i żmudnych prac doświadczalnych. Ze zrozumiałych względów nie mogą one być prowadzone w dużych urządzeniach wymagających znacznych ilości surowca, odczynników i licznej obsługi. Doświadczenia prowadzone w małych urządzeniach muszą być tak zaplanowane, żeby były w pełni reprezentatywne dla surowca oraz żeby zapewniały możliwość odtwarzania danych warunków fizykochemicznych i hydrodynamicznych.

LITERATURA

- 1 J. Laskowski, Fizykochemiczne metody wzbogacania w przeróbce kopalin. XIII Seminarium "Fizykochemiczne problemy przeróbki kopalin", Bierutowice 1974.
- 2 R.W. Hargreaves, H.P. Schreiber, CIM Bulletin, 67, 1974, nr 745, s. 84.
- 3 J. Laskowski, Minerals Science and Engineering, 6, 1974, 223.
- 4 H.S. Tomlinson, M.G. Fleming, Flotation rate studies, 6th Intern. Mineral Processing Congress, Cannes 1963.
- 5 D.R. Barlett, A.L. Nular, Intern. J. Mineral Processing, 1, 1974 277.

- 6 J. Lekki, J. Bruski, Zalety i ograniczenia statystycznych metod planowania doświadczeń. Pr. Inst. Przeróbki Kopalin Pol. Śląsk., Gliwice 1970.
- 7 S.I. Polkin, B.W. Adamow, K.M. Paj, O.B. Linnik, Cwietnaja Metalurgia Izv. WUZ, 1974, nr 5, 3.
- 8 D.N. Collins, A.D. Read, Minerals Science and Engineering, 3, 1971, nr 2, 19.
- 9 N. Arbiter, C. Harris, R. Yap, A hydrodynamic approach to flotation scale-up. 8th Intern. Mineral Processing Congress, Leningrad 1968.
- 10 J. Laskowski, M. Marchewicz, Przegląd Górniczy, 1969, nr 9, 438.
- 11 J. Laskowski, W. Bartoniek, Przegląd Górniczy, 1970, nr 5, 250.
- 12 Ł. Piasecka, Flotograwitacyjne wzbogacanie węgla gazowego, gazowo-koksowego oraz ortpłukowego w klasie 4-0 mm. Pr. magist., Inst. Przeróbki Kopalin Pol. Śląskiej, Gliwice 1971.
- 13 B. Mozdrzewska, Badania wpływu sposobu dozowania odczynników na wyniki flotacji węgla, Pr. magister., Inst. Przeróbki Kopalin Pol. Śląskiej, Gliwice 1971.
- 14 B.W. Dierjagin, W.D. Samygin, Ob odnoj iz prięzin nieftotirujemosti szlamowych czastic. Sbornik nauczanych trudow GINCWIETMETA, nr 19, 1962, s. 240.
- 15 B.W. Dierjagin, W.D. Samygin, A.K. Iwaszyc, Kołłoidnyj Żurnał, 26 1964, 179.
- 16 G.S. Barger, I.N. Lewin, Cwietnyje Mietalły, 1965, nr 1, 8.
- 17 S.A. Tichonow, K woprosu izwleczenija cennych komponentow iz tonkich rudnych szlamow. Sowremiennoje sostojanije i zadaczi selektywnoj flotacji rud. Izd. Nauka, Moskwa 1967, s. 50.
- 18 A. Jowett, H.El-Sinbawy, H.G. Smith, Fuel, 35, 1956, 303.
- 19 J. Neczaj-Hruzewicz, J. Szczypa, H. Czarkowski, Trans. IMM-Section C, 83, 1974, C 161.
- 20 W. Wójcik, A. Wakamundzki, E. Chibowski, H. Czarkowski, Przemysł Chemiczny, 52, 1973, 826.
- 21 J. Szczypa, J. Neczaj-Hruzewicz, J. Sablik, Trans. IMM-Section C, 82, 1973, C 167.
- 22 J. Laskowski, Z. Lupa, A. Ryncarz, Wpływ poszczególnych minerałów ilastych na powstawanie pokryw mułowych w procesie flotacji węgla. Sprawozdanie Inst. Przeróbki Kopalin Pol. Śląskiej, Gliwice 1971.
- 23 C.C. Dell et al. Trans. IMM - Section C, 81, 1972, C 89.
- 24 J. Laskowski, Z. Lupa, A. Niewiadomski, Przegląd Górniczy, 1971 nr 9.
- 25 A. Jowett, British Chemical Engineering, May 1966, s. 330.

- 26 A. Maksmundzki, M. Płanik, J. Weczaj-Hruzewicz, Badania nad mechanizmem wynoszenia szlamów skały płonnej do koncentratu przy flotacji siarki. IX Seminarium "Fizykochemiczne problemy przeróbki kopalin", Świerklaniec 1970.
- 27 J. Laskowski, Dyskusja do pozycji nr 26. Fizykochemiczne problemy przeróbki kopalin. Z. nr 5, Gliwice 1971, s. 32.
- 28 W.I. Kłasen, D.I. Niedogorow, I.H. Diebierdiejew, Szlamy wo flotacijonnom processie. Izd. Nedra, Moskwa 1969.
- 29 B. Yarar, J. A. Kitchener, Trans. IMM - Section C, 79, 1970, C 23.
- 30 J.P. Friend, J. Iskra, J.A. Kitchener. Trans. IMM-Section C, 82, 1973, C 235.
- 31 Y. Kawashima, C.E. Capes, Powder Technology, 10, 1974, 85.