

Wpływ rodzaju gazu na flotację łupka miedzionośnego w celce Hallimonda

Jakub M. Jastrzębski, Przemysław B. Kowalczuk

Politechnika Wrocławska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii, Wybrzeże Wyspiańskiego 27,
50-370 Wrocław, przemyslaw.kowalczuk@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE

W pracy opisano flotację łupka miedzionośnego pochodzącego rejonu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego w obecności trzech różnych gazów: powietrza, dwutlenku węgla i azotu. Flotacje prowadzono w wodzie destylowanej i w obecności spieniacza C_4P_3 . Wykazano, że rodzaj zastosowanego gazu ma niewielki wpływ na wyniki flotacji. Najlepsza flotacja zachodzi w powietrzu, gorzej w dwutlenku węgla, a najgorzej w azocie.

WSTĘP

Flotacja jest najczęściej stosowanym na świecie procesem do wzbogacania rud siarczkowych miedzi. Jej skuteczność i w efekcie, jakość otrzymywanego produktu, zależą od wielu czynników takich jak powierzchniowe właściwości separowanych minerałów, rozmiar ich ziarn, rodzaj i stężenia zastosowanych odczynników flotacyjnych, typ urządzenia, w którym jest ona prowadzona, a także od rodzaju użytego gazu oraz rozmiaru jego strumienia (Yuan et al., 1995; Drzymała, 2007). Mając również na uwadze, że łupek miedzionośny jest najbardziej zasobną w miedź kopaliną eksploatowaną w rejonie LGOM (Kijewski i Jarosz, 1996), istnieje wiele prac poświęconych poznaniu wpływu poszczególnych parametrów na właściwości powierzchniowe łupka i jego zachowanie się w różnych procesach wzbogacania. Brak jest natomiast informacji dotyczących wpływu rodzaju zastosowanego gazu na flotację łupka miedzionośnego. Dlatego w pracy tej zbadano wpływ powietrza, dwutlenku węgla i azotu na uzysk łupka w procesie bezpianowej i pianowej flotacji w celce Hallimonda. Dodatkowo wyznaczono efektywny kąt zwilżania łupka w obecności tych gazów.

MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Wykorzystywanym w doświadczeniach materiałem był łupek miedzionośny pochodzący z rejonu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego, w składzie którego dominują bornit, kwarc, dolomity oraz skalenie stanowiące w sumie 39% wszystkich zawartych w skale minerałów (Bakalarz, 2014). Przygotowanie materiału do badań nastąpiło poprzez jego rozdrobnienie przy użyciu laboratoryjnej kruszarki szczękowej typu LAB-01-65, a następnie za pomocą dezintegratora palcowego. Otrzymany produkt przesiewany był na mokro. Do badań wykorzystano frakcję o rozmiarach ziarn 40-125 μm .

Flotacje prowadzono w wodzie i obecności wodnego roztworu spieniacza, którym był eter butylo-trójpropylenoglikolowy (C_4P_3) przy stężeniu 100 mg/dm^3 .

Wszystkie doświadczenia flotacyjne prowadzone były w szklanej, jednopęcherzykowej celce Hallimonda o pojemności 200 cm^3 i wysokości 36 cm. Podczas flotacji z powietrzem gaz podawany był do celki za pomocą elektrycznej pompki, zaś w przypadku dwutlenku węgla

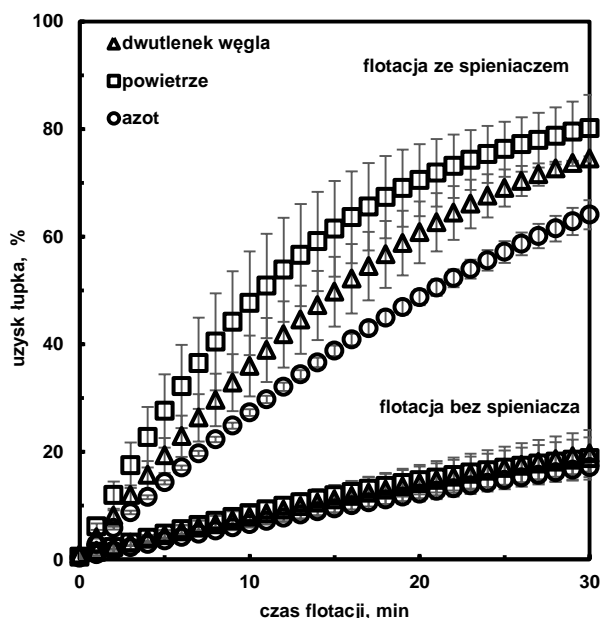
i azotu odbywało się to bezpośrednio z butli ciśnieniowych z wykorzystaniem reduktorów kolejno wysokiego i niskiego ciśnienia.

Nadawę do flotacji stanowił łupek o masie $1,2 \pm 0,1$ g oraz woda w przypadku flotacji bezpianowej lub C_4P_3 we flotacji pianowej. Każda flotacja trwała około 30 minut, w trakcie której notowano uzysk w czasie. Po zakończeniu flotacji zarówno produkt jak i odpad zbierane były do osobnych pojemników, suszone oraz ważone w celu obliczenia końcowego uzysku koncentratu.

Wykonano co najmniej po dwie flotacje dla każdego rodzaju gazu i odczynnika. Jeśli wyniki różniły się od siebie w sposób znaczący, przeprowadzano dodatkowe doświadczenia, aż do uzyskania zadowalających rezultatów. Ostateczne wyniki obliczane były jako średnia wartość z dwóch eksperymentów.

WYNIKI I DYSKUSJA BADAŃ

Na rysunku 1. przedstawiono kinetykę flotacji łupka miedzionośnego z wykorzystaniem badanych gazów, w wodzie destylowanej. Najwyższe uzyski na poziomie $18,8 \pm 3,9\%$ oraz $19,7 \pm 4,4\%$ zanotowano dla separacji z wykorzystaniem kolejno powietrza i dwutlenku węgla. W przypadku azotu osiągnięto wynik na poziomie $17,1 \pm 0,8\%$. Ponieważ rezultaty nie odbiegają znacznie od siebie można wysnuć wniosek, że w przypadku flotacji prowadzonej w wodzie destylowanej rodzaj zastosowanego gazu nie ma znacznego wpływu na uzysk. Dodatkowo można przypuszczać, że osiągnięte rezultaty są wynikiem raczej wyniesienia mechanicznego niż prawdziwej flotacji (Drzymała, 1994).



Rysunek 1.

Wpływ rodzaju gazu na flotację łupka w wodzie i obecności spieniacza

W drugiej części doświadczeń flotacje prowadzone były z zastosowaniem wodnego roztworu C_4P_3 o stężeniu 100 mg/dm^3 jako spieniacza. Wyniki badań również zamieszczono na

rysunku 1. Największy uzysk łupka miedzionośnego na poziomie $80,2 \pm 6,2\%$ otrzymano po 30 minutach flotacji w powietrzu. W przypadku dwutlenku węgla osiągnięto wynik $74,5 \pm 0,4\%$. Najniższy uzysk $64,1 \pm 2,7\%$ zanotowano dla flotacji z azotem. Według Zarudzkiej (2010) flotacja rud siarczkowych w obecności dwutlenku węgla skutkuje niższymi uzyskami niż w przypadku powietrza. Jednakże, według Clarka et al. (2000) uzysk siarczkowych rud miedzionośnych podczas flotacji z azotem powinien być wyższy niż w obecności powietrza.

Otrzymane wyniki badań pokazują również, że niezależnie od rodzaju zastosowanego gazu łupek nie flota w wodzie destylowanej, natomiast podlega flotacji w obecności spieniacza. Wpływ spieniacza na flotację łupka omawiany był w wielu pracach (Kowalczyk et al., 2014; Peng i Drzymała, 2014; Szyszka et al., 2014; Witecki et al., 2014).

Bazując na otrzymanych wynikach, za pomocą wzoru zaproponowanego przez Varbanova et al. (1993) obliczono flotometryczną hydrofobowość łupka. Równanie to oparte jest na probabilistycznym modelu flotacji i zależności hydrofobowości (wyrażanej za pomocą efektywnego kąta zwilżania θ_d) od stałej kinetyki pierwszego rzędu k :

$$\theta_d = \arccos \left(1 - k \frac{2\pi d_b^2 S}{3d_p Q} \right) \quad (1)$$

gdzie:

θ_d – efektywny (flotometryczny) kąt zwilżania, °,

k – stała kinetyki pierwszego rzędu, 1/s,

d_b – średnica pęcherzyka gazu, $d_b = 3 \cdot 10^{-3}$ m,

S – pole przekroju poprzecznego zastosowanej celki Hallimonda, $S = 0.625 \cdot 10^{-3}$ m²,

d_p – średni rozmiar flotowanych ziarn, $d_p = 2,625 \cdot 10^{-4}$ m,

Q – wielkość strumienia gazu, $Q = 6.17 \cdot 10^{-7}$ m³/s.

Dodatkowo obliczono wartości kąta spoczynkowego θ_r za pomocą wyrażenia (Drzymała, 1999):

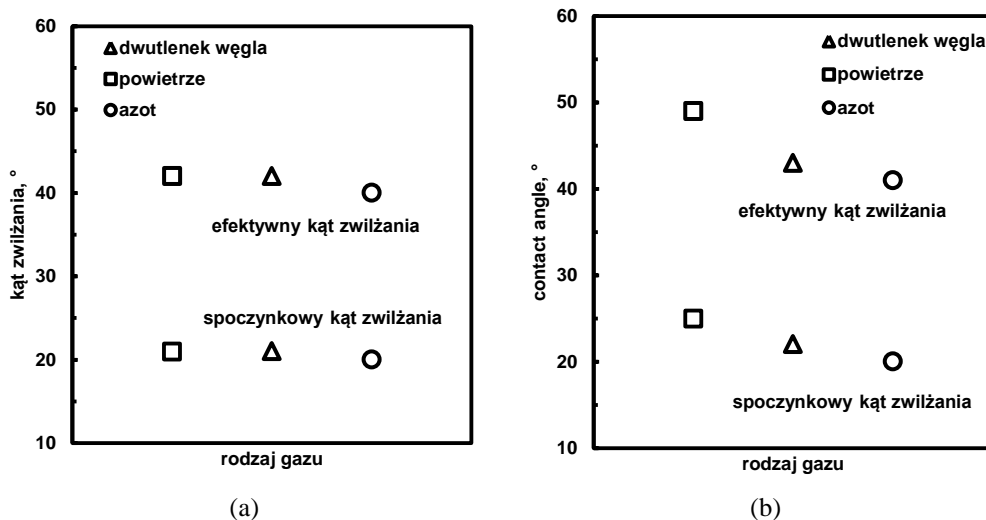
$$\theta_r = \arcsin \left[\frac{d_p}{d_b} \sin \left(\frac{\theta_d}{2} \right) \right] + \frac{\theta_d}{2}. \quad (2)$$

W tabeli 1. przedstawiono wartości parametru k wyznaczone dla każdej przeprowadzonej flotacji oraz obliczone wartości efektywnego oraz spoczynkowego kąta zwilżania.

Tabela 1.
Obliczone wartości parametru k oraz efektywnego i spoczynkowego kąta zwilżania

Gaz	Odczynnik flotacyjny	Stała kinetyki pierwszego rzędu k , 1/s	Efektywny kąt zwilżania θ_d , °	Spoczynkowy kąt zwilżania θ_r , °
Powietrze	woda	0.0738±0.032	44	22
		0.0626±0.0034	41	20
	C ₄ P ₃	0.0972±0.015	51	26
Dwutlenek węgla		0.0818±0.025	47	23
	woda	0.0581±0.076	39	20
		0.0678±0.0084	42	21
	C ₄ P ₃	0.0796±0.0025	46	23
Azot		0.0615±0.0025	40	20
	woda	0.0585±0.0069	39	20
		0.0623±0.0076	41	20
	C ₄ P ₃	0.0610±0.0032	40	20
		0.0622±0.0036	41	20

Na rysunku 2. przedstawiono wpływ rodzaju gazu na wyznaczone flotometryczne kąty zwilżania łupka w wodzie i w obecności speniacza. Można zauważyć, że wartości zarówno efektywnego jak i spoczynkowego kąta zwilżania w wodzie w niewielkim stopniu zależą od zastosowanego do flotacji gazu. Pewne różnice natomiast występują w obecności speniacza. Najwyższe efektywne i spoczynkowe wartości kąta zwilżania obserwowane są w powietrzu, natomiast najniższe w obecności azotu. Wartości kątów zwilżania wyznaczone równaniem Varbanova i in. (1993) są bardzo czułe na kinetykę flotacji. Dlatego niższe uzyski łupka w obecności azotu i dwutlenku węgla skutkują niższą wyznaczoną flotometryczną hydrofobowość łupka.



Rysunek 2.

Wpływ rodzaju gazu na flotometryczny kąt zwilżania łupka w (a) wodzie i (b) C₄P₃

WNIOSKI

W pracy wykazano, że łupek miedzionośny nie flotuje w samej wodzie destylowanej, natomiast podlega flotacji w obecności speniaczy. Pokazano również, że rodzaj użytego gazu ma pewien wpływ na wyniki flotacji łupka w celce Hallimonda. Najlepsze wyniki otrzymano w procesie flotacji z powietrzem, natomiast najgorsze w azocie.

PODZIĘKOWANIA

Praca powstała w oparciu o wyniki badań przedstawionych w pracy dyplomowej J.M. Jastrzębskiego pt. „Influence of the gas type on flotation of copper-bearing shale”, zrealizowanej na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Praca była częściowo realizowana w ramach zlecenia statutowego Politechniki Wrocławskiej B50199.

LITERATURA

BAKALARZ A., 2014. *Charakterystyka chemiczna i mineralogiczna wybranych łupków pochodzących z Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego*. w: Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 13-18.

- CLARK D.W., NEWELL A.J.H., CHILMAN G.F., CAPPS P.G., 2000. *Improving flotation recovery of copper sulphides by nitrogen gas and sulphidisation conditioning*. Minerals Engineering, Vol. 13, No. 12, pp. 1197-1206
- DRZYMAŁA J., 1994. *Characterization of materials by Hallimond tube flotation. Part 1: maximum size of entrained particles*. Int. J. Miner. Process. 42, 139-152
- DRZYMAŁA J., 1999. *Entrainment of particles with density between 1.01 and 1.10 g/cm³ in a monobubble hallimond flotation tube*. Minerals Engineering, 12 (3), 329-331
- DRZYMAŁA J., 2007. *Mineral processing. Foundations of theory and practice of mineralurgy*. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław
- KIJEWSKI P., JAROSZ J., 1996. *Właściwości kopaliny*. Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Część II Geologia. CBPM „Cuprum“ Sp. z o.o., Wrocław
- KLASSEN V.I., MOKROUSOV V.A., 1963. *An introduction to the theory of flotation*. Butterworths, London, 493 pp
- KOWALCZUK P.B., BULUC B., SAHBAZ O., DRZYMAŁA J., 2014. *In search of an efficient frother for pre-flotation of carbonaceous shale from the Kupferschiefer stratiform copper ore*. Physicochem. Probl. Miner. Process. 50(2), 835-840
- PENG M., DRZYMAŁA J., 2004. *Porównywanie uzysków łupka miedzionośnego flotacyjnie separowanego z mieszaniny modelowej z kwarcem w obecności spieniaczy*. Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 71-75
- SZYSZKA D., PAZIK P., ZWIERZCHOWSKA A., 2014. *Flotacja łupka miedzionośnego w obecności eterów butylowo-etylenoglikolowego i butylowo-dwuetylenoglikolowego*. Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 103-106
- WITECKI K., DUCHNOWSKA M., KOWALCZUK P.B., 2014. *Rozmiar i hydrofobowość flotujących ziarn łupka miedzionośnego w obecności spieniaczy*. Łupek miedzionośny, Drzymała J., Kowalczyk P.B. (red.), WGGG PWr, Wrocław, 2014, 83-90
- YUAN X.-M., PALSSON B.I., FORSSBERG K.S.E., 1995. *Flotation of a complex sulphide ore I. Cu/Zn selectivity control by adjusting pulp potential with different gases*. Int. J. Miner. Process. 46 155-179
- ZARUDZKA E., 2010. *Wpływ kwaśnego ługowania rud siarczkowych na ich flotację*. Rozprawa doktorska. Politechnika Wroclawska, Wydział Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii