

Janusz J. LEKKI*

KSANTOGENIANOWA FLOTACJA PIRYTU

Wykonano próby flotacji pirytu w funkcji stężenia ksantogenianu i pH. Metodą flotacyjną wyznaczono obszar flotowalności całkowitej oraz obszary flotowalności szybkiej. Identyfikowano produkty powierzchniowe (IR ATR) oraz mierzono potencjał stacjonarny elektrody piritowej i ruchliwość elektroforetyczną ziarn pirytu. Stwierdzono, że flotacja pirytu zachodzi w kwaśnym i alkalicznym zakresie pH i jest funkcją stężenia ksantogenianu i pH. Stwierdzono, że podstawowym produktem sorpcji ksantogenianu na pirycie jest fazowa forma dwuksantogenu. Dwuksantogen jest zużywany w szerokim zakresie pH zbliżonym do obojętnego, tworząc $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{X}$.

Jest również możliwe wytrącanie się w roztworze tego związku powodując wystąpienie obszaru depresji przez jego sorpcję na powierzchni dwuksantogenu. W kwaśnych roztworach na warstwie dwuksantogenu może sorbować się FeX_3 wytrącony w roztworze.

Pokazano, że obszary flotowalności całkowitej oraz flotowalności szybkiej odpowiadają obszarom dominacji dwuksantogenu zaś obszar depresji dominacji $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{X}$. Dobra zgodność danych pomiarowych z fazami układu pozwala interpretować dane pomiarowe wielu badaczy.

Wprowadzenie.

Obecnie uznaje się mechanizm hydrofobizacji pirytu ksantogenianem za wyjaśniony, przyjmując za pracami podsumowanymi przez Woodsa [1], że substancją odpowiedzialną za hydrofobizację powierzchni tego minerału jest dwuksantogen powstający zgodnie z mechanizmem elektrochemicznym -

* Instytut Przeróbki Kopalni Politechniki Śląskiej

korozyjnym. Przyjęty mechanizm nie wyjaśnia :

-obserwowanych zmian ruchliwości elektroforetycznej pirytu w roztworach ksantogenu [2],

-minimum flotacji przy pH zbliżonym do obojętnego [2,3] oraz całkowitej depresji w roztworach alkalicznych.

Jedni autorzy przyjmują, że depresja ta jest spowodowana konkurencyjnym działaniem jonów wodorotlenowych [4] inni, że rozkładem dwuksantogenu [2], piryt zaś katalizuje ten proces [5]. Dotychczas nie znalazły też wyjaśnienia przyczyny wysokiego potencjału stacjonarnego tego minerału. W niniejszej pracy pokazano, że w oparciu o równoczesne pomiary spektralne i dzetametryczne oraz termodynamikę stabilnych i metastabilnych faz objętościowych tego układu można wyjaśnić wszystkie podane fakty eksperymentalne.

Materiały, odczynniki, urządzenia.

Do badań używano dwu klas ziarnowych pirytu: klasę ziarnową 0,045-0,12 do flotacji zaś poniżej 0,03 mm do badań dzetametrycznych i spektralnych. Otrzymano je przez kruszenie monokryształów pirytu z K.W.K. Halemba o zawartości zanieczyszczeń poniżej 1%. Analiza rentgenowska wykazała, że nie zawiera on markazytu ani innych minerałów akcesorycznych. Potencjał stacjonarny elektrody pirytowej o konstrukcji jak w pracy [6] mierzono w odpowiednich argonem roztworach. Etylowy ksantogenian potasu (KX) syntetyzowano wg preparatyki podanej w pracy [7] i po podwójnej krystalizacji stosowano we wszystkich pomiarach. Dwuksantogen etylowy otrzymano przez miareczkowanie jodem. Do regulacji pH używano 0,1 n roztworu H_2SO_4 (cz.d.a.) lub 0,1 n roztworu KOH (cz.d.a.).

Testy flotacyjne wykonywano w jednopęcherzykowym aparacie Hallimonda zasilanym argonem ($2,2 \text{ dm}^3/\text{h}$). Sposób prowadzenia prób oraz ich opracowanie przedstawiono w pracy [8]. Widma IR ATR rejestrowano spektrofotometrem SPECORD 71 IR wyposażonym w jednowiązkową przystawkę ATR [9]. Stosowano element refleksyjny wykonany z germanu o parametrach $n=4, Q=45^\circ, N=17$. Pomiarów ruchliwości elektroforetycznej dokonano w celce kwarcowej własnej konstrukcji, stosując zasilacz produkcji Politechniki Śląskiej [10]. Pomiary wykonano na górnym i dolnym poziomie celki wynikającym ze wzoru White'a [11]. Potencjał dzeta (wg Smoluchowskiego) obliczono dla średniej szybkości cząsteczek obserwowanej na obu poziomach pomiarowych.

Wyniki pomiarów.

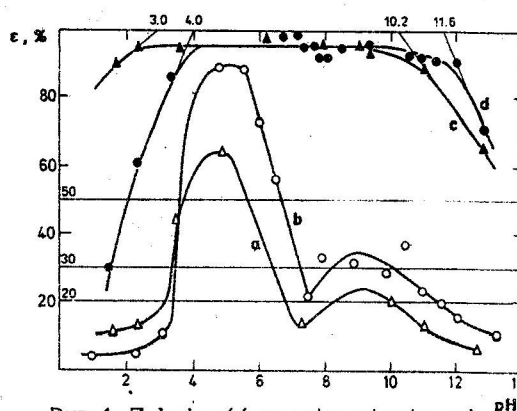
Na rys.1 pokazano zmianę uzysku pirytu w funkcji pH po 3 i 30 min. flotacji w roztworach 1×10^{-4} (krzywe a i c) oraz 1×10^{-3} (krzywe b i d) ksantogeanu w kmol/m^3 . Na rysunku zaznaczono liniami poziomymi uzyski 20, 30 i 50%. Z krzywych c i d wyznaczono pH krytyczne w sposób pokazany na rysunku zaś przecięcie linii 20, 30 i 50% z krzywymi a i b posłużyło do wyznaczenia krzywych flotowalności szybkiej. Taki sposób prowadzenia i opracowania eksperymentów flotacyjnych przedstawiono w pracy [8]. Wyznaczone obszary flotowalności całkowitej oraz mapę izoużytków flotowalności szybkiej pokazuje rys.8 skonstruowany na podstawie danych z rys.1 oraz danych dla stężeń 3×10^{-4} i 6×10^{-4} w kmol/m^3 .

Dla porównania rezultatów na rys.8 pokazano też dane Yorka [12] zmodyfikowaną przez Gaudina [4] zależność Barskiego dla pirytu: oraz dane Abramowa [13] który pierwszy zaproponował flotacyjny sposób wyznaczania krytycznego pH.

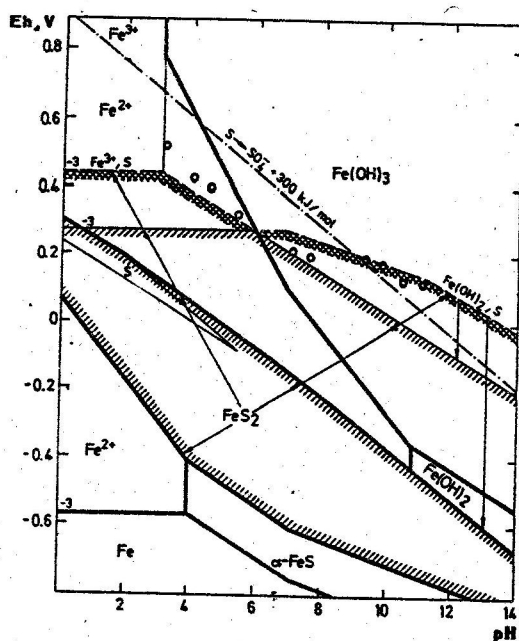
Wyniki pomiarów potencjału stacjonarnego pirytu w odpowiedzonym roztworze elektrolitu naniesiono na diagramy Eh-pH tego układu i pokazano na rys.2, zaś wyniki pomiarów w roztworze ksantogeanu naniesiono na diagramy pokazane na rys.5 i 6.

Rezultaty pomiarów produktów sorpcji ksantogeanu na pirycie z roztworów o stężeniu 10^{-3} kmol/m^3 pokazano na rys.3.

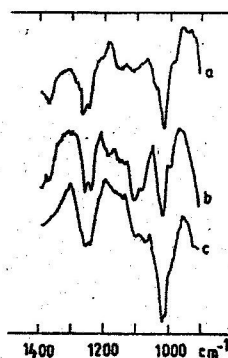
Krzywa a pokazuje widmo produktu sorpcji w roztworze o pH=4,7, krzywa b w roztworze obojętnym pH=7,1 zaś krzywa c w roztworze alkalicznym o pH=9,4. Na rys.4 pokazano wyniki pomiarów potencjału dzeta pirytu w roztworze wodnym (krzywa a) oraz w roztworze ksantogeanu (krzywa b). Na rysunku tym pokazano też przebiegi potencjału dzeta substancji wzorcowych FeX_3 oraz $\text{Fe(OH)}_2\text{X}$ (z pracy [14]).



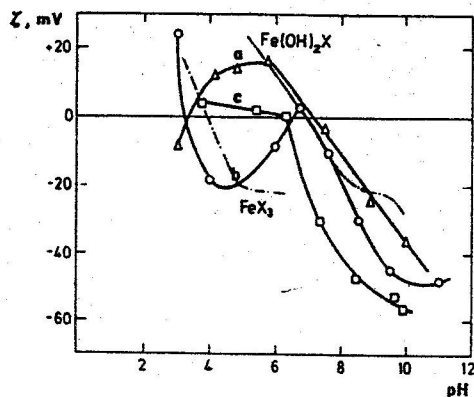
Rys.1. Zależność uzysku pirytu od pH po 3 oraz 30 min flotacji w roztworach $\text{KEX } 10^{-4} \text{ kmol/m}^3$ (krzywe a, c) oraz 10^{-3} (krzywe b, d). Uziarnienie $-0.12 + 0.045 \text{ mm}$ zagęszcz. ziarn 0.7 g/0.1 dm^3 , czas agitacji 10 min, przepł. argonu $2.25 \text{ dm}^3/\text{h}$ (flot. Hallim.)



Rys. 2. Poszerzenie odporności pirytu (linie cienkie) (Peters [20]) oraz dalsze poszerzenie tego obszaru wynikające z założenia reakcji inicjujących utlenianie (linie przerywane). (oo) - wyniki pomiarów potencjału stacjonarnego pirytu ($\text{Ar. } 2 \times 10^{-2} \text{ KNO}_3$)



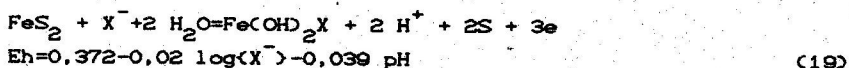
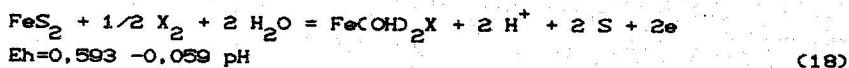
Rys. 3. Widma refleksyjne produktów sorpcji ksantogenianu o stęż. 10^{-3} kmol/m^3 na pirycie.
a) pH = 4.7
b) pH = 7.1
c) pH = 9.4



Rys. 4. Zależność potencjału dzeta pirytu od pH roztworu.
a) $\text{FeS}_2/\text{H}_2\text{O}$
b) $\text{FeS}_2/\text{KX } 10^{-3}$
c) $\text{FeS}_2/\text{X}_2 \text{ } 8 \times 10^{-5} \text{ (} 10^{-4} \text{ NaClO}_4 \text{)}$

Omówienie wyników.

W niniejszej pracy interpretacje wyników oparto o analizę termodynamiczną badanych układów. Stąd pierwszą część omówienia stanowią diagramy Eh-pH układu: Fe-S-H₂O. Do obliczenia równowag reakcji wzięto entalpie tworzenia w 25°C - ΔG_f° wszystkich form jonowych z pracy Naumowa i wsp. [15], ΔG_{FeS_2} z danych [16], entalpie innych substancji stałych z pracy Garrelsa i Christa [17]. Za pracę [18] przyjęto, że produktem utlenienia jest wodorotlenek żelaza (III) oraz jony siarczanowe lub siarka elementarna. Na rys. 2 pokazano diagram skonstruowany przy założeniu stabilnych form utleniania siarki (linie grube), zaś liniami cienkimi zaznaczono diagram skonstruowany przy założeniu stabilności siarki elementarnej. Dla sporządzenia diagramu układu Fe-S-HX-H₂O równowagi reakcji od 1 do 17 układu Fe-HX-H₂O podane w pracy [14] uzupełniono równowagami reakcji pirytu z ksantogianem i dwuksantogianem zachowując numerację z pracy [14].



Dla układu Fe-S-HX-H₂O, przy konstrukcji którego zakłada się utlenianie siarki do jonów siarczanowych, równowagi reakcji od (7) do (17) wyznaczają obszary stabilności FeX₃ oraz Fe(OH)₂X. Zależności te pokazuje rys. 5. Dla tego samego układu, ale przy założeniu stabilności siarki otrzymuje się jedynie niewielki obszar stabilności Fe(OH)₂X wyznaczony przez reakcje: (7) (15), (16) oraz reakcje (18) i (19), co ilustruje rys. 6.

Próba termodynamicznej interpretacji obszaru flotowalności pirytu.

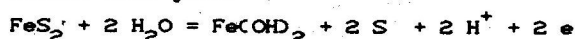
Jeżeli na skali: stężenie ksantogianu -pH oznaczy się pole, w którym zachodzi flotacja z całkowitym wyniesieniem minerału, to obszar ten jest obszarem flotowalności całkowitej zgodnie z definicją podaną w pracy [8]. Obszar ten po stronie alkalicznych pH jest wyznaczony przez pH_{cr} dla każdego stężenia ksantogianu. Na rys. 1 pokazano sposób wyznaczania krytycznych pH. Z rys. 8 jest widoczna dobra zgodność tak wyznaczonych wartości pH_{cr} z pomiarami krytycznego pH wyznaczonymi metodą

uwięzionego pęcherzyka (York) lub całą krzywą znaną jako krzywa CCC (critical curv concentracion), która w modyfikacji Gaudina dla pirytu ma postać:

$$X^-/[OH^-]^{0,8} = 10^{-0,96}$$

Dolny limit flotacji, czyli pH_{cr} w kwaśnych roztworach, przypada w zakresie dominacji nietrwałego kwasu ksantogenowego.

Stąd brak jest jakichkolwiek danych literaturowych. Fizykochemiczny sens górnego limitu flotacji (czyli krzywej CCC) podali Janetzki ze wsp. [18] na podstawie badań kinetycznych. Stwierdzili oni, że przy krytycznym pH szybkości utleniania tak ksantogenianu jak i pirytu są takie same, zaś przy niższych od krytycznego wartościach pH może zachodzić jedynie utlenianie ksantogenianu, bo potencjały katodowej redukcji tlenu na pirycie są zbyt niskie aby zachodził proces jego utleniania. W niniejszej pracy przyjęto za pracą Burkina [19], że proces utleniania pirytu jest inicjowany reakcją tworzenia wustytu FeO po najłatwiejszej drodze, bo zachodzącej bez zmiany układu sieciowego; jako że zarówno piryt jak i wustyt posiadają regularną strukturę $NaCl$. Wtedy reakcja decydująca o potencjale będzie reakcja zapisana dla uwodnionego tlenku żelaza (II) jako:



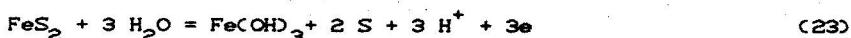
$$Eh = 0,798 - 0,059pH$$

(20)

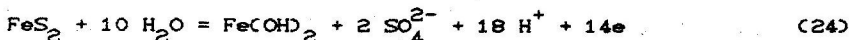
W szerokim zakresie potencjałów minerały siarczkowe są odporne. Peters [20] przypisał to wysokiemu nadnapięciu jakie jest niezbędne dla utlenienia siarki do jonów siarczanowych (linia przerywana kropkami na rys 2.). Jak widać z rysunku zarówno $Fe(OH)_2$ jak i siarka przy tak wysokich potencjałach jakie wynikają z równania (20) są termodynamicznie nietrwałe, tym samym jest energetycznie możliwe ich przechodzenie w formy stabilne zgodnie z reakcjami:



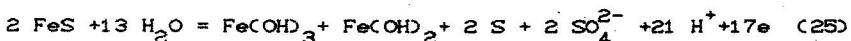
Suma reakcji (20) i (21) daje proces:



zaś suma reakcji (20) i (22), proces:

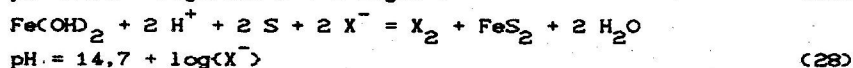
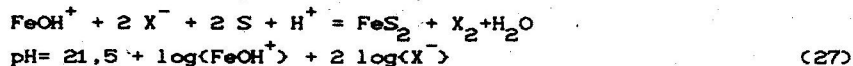
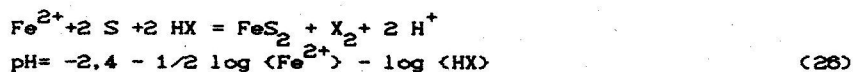


Z kolei suma obu procesów (23) i (24) daje sumaryczny proces anodowego roztwarzania pirytu w alkalicznym pH:



Oba procesy składowe (23) i (24) sumarycznej reakcji roztwarzania pirytu (25) na diagramach Eh-pH wyznaczają obszary odporności pirytu. Wszystkie

te zależności ilustruje rys.2, na którym zestawiono diagramy skonstruowane przy założeniu utleniania siarki siarczkowej do siarczanu (linie grube) oraz zakładając stabilność siarki (cienkie linie). Zaś linią przerywaną zaznaczono metastabilne równowagi reakcji ustalających potencjał. Zakresowane pola na tym rysunku oznaczają obszary odporności pirytu. W obszarze odporności pirytu może utleniać się jon ksantogenianowy do dwuksantogenu. Pokazany na diagramie przebieg potencjału stacjonarnego pirytu wskazuje, że jest możliwe utlenienie ksantogenianu do dwuksantogenu, nawet w roztworach odtlenionych. Utlenianie pirytu może rozpocząć się dopiero po osiągnięciu potencjałów równowagowych reakcji inicjujących utlenianie. Tym samym obszar odporności pirytu poszerza się do tych linii wywołując również poszerzenie obszaru współistnienia z dwuksantogenem (co pokazują strzałki na rys.2). Formalnie równowagi reakcji wyznaczających obszar współistnienia dwuksantogenu z pirytem można przedstawić jako:

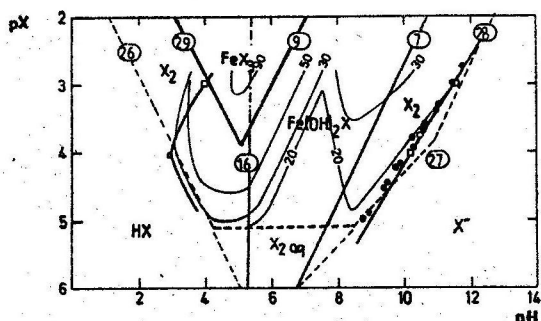


Linie równowag tych reakcji naniesiono na rys.8 pokazujący literaturowe [4,12,13] i własne wyniki pomiarowe zakresu flotacji pirytu. Porównanie tych danych pokazuje ich dobrą zgodność wykazując, że alkaliczny obszar depresji jest funkcją stężenia ksantogenianu i pH. Prawdopodobnie towarzyszącym procesem jest rozkład dwuksantogenu, jak sugerują niektórzy autorzy [2,5].

Budowa hydrofobowych pokryć na powierzchni pirytu.

Termodynamikę układu opisują diagramy pokazane na rysunkach 5 oraz 6. Jeśli założy się, że pirit utlenia się z wydzielaniem jonów siarczanowych w roztworach ksantogenianu, wtedy staje się termodynamicznie możliwe wytrącenie FeX_3 oraz $\text{Fe(OH)}_2\text{X}$ w roztworze. Przy wyższych potencjałach redox w roztworze oprócz obu tych substancji może pojawić się dwuksantogen. Jeśli natomiast przyjąć utlenianie pirytu zachodzące z wydzielaniem siarki, wtedy w układzie pojawia się $\text{Fe(OH)}_2\text{X}$ z dwuksantogenem (rys.6). Należy zauważyć, że w szerokim zakresie pH substancja ta powstaje wskutek reakcji pirytu z dwuksantogenem (prosta 18 na rys.6). Może też powstawać na drodze reakcji pirytu z jonami ksantogenianu (prosta 18 na rys.6). Potencjał stacjonarny pirytu pokazany

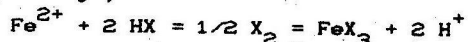
na rysunkach 5 i 6 wskazuje, że istnieje możliwość powstania takich produktów nawet w roztworach odtlenionych. Termodynamiczna analiza łącznie z podaną interpretacją rezultatów pomiarów substancji wzorcowych [14] daje podstawę do zaproponowania mechanizmu powstawania i budowy hydrofobowych pokryw powstających na nieutlenionym pirycie. Pierwszym objętościowym produktem powstającym na pirycie jest dwuksantogen. Obszar współistnienia pirytu i dwuksantogenu wyznaczają reakcje (26), (27) i (28). Dwuksantogen na powierzchni nie może tworzyć pokryw pasywnych powierzchnię ponieważ w swej ciekłej formie formuje mikrokrople na powierzchni. Nie pokryta dwuksantogenem powierzchnia reaguje produkując: siarkę, siarczan oraz wodorotlenek żelaza (III). Układ opisują więc równocześnie oba diagramy: zakładający stabilne produkty utleniania siarki, tj jony siarczanowe (rys. 5) i zakładający stabilność siarki (rys. 6). W napowietrzonych roztworach po 40 min kontaktu ksantogenianu z pirytem analiza IR ATR pokazuje (rys. 3 krzywe a, b, c), że podstawowym produktem sorpcji ksantogenianu jest dwuksantogen (pasma $1240-1260\text{cm}^{-1}$). Otrzymane widma są sumą wszystkich produktów na powierzchni. Prawdopodobnie w roztworze kwaśnym drugim produktem jest FeX_3 . W roztworze obojętnym oraz alkalicznym (krzywe b, c) można zauważyć zmianę kształtu i obrysu widm w zakresie 1000 i 1100cm^{-1} . W tym zakresie długości fal znajdują się widma produktów utleniania pirytu, tj. tlenków i wodorotlenków żelaza (III), jak też siarczanów i tiosiarczanów. Należy zauważyć, że widma te posiadają podobny kształt jak widmo dwuksantogenu z wodorotlenkami żelaza otrzymane przez rozkład FeX_3 w pracy [14]. Dane te świadczą więc o tym, że w roztworach napowietrzonych równolegle z procesem tworzenia dwuksantogenianu powierzchnia pirytu ulega utlenianiu podobnie jak w roztworach nie zawierających ksantogenianu. Przyjmując, że produktem utleniania pirytu jest Fe(OH)_3^0 można wyniki podsumować następująco: spektralna analiza powierzchni pozwala identyfikować X_2 , o obecności pozostałych świadczą wyniki pomiarów potencjału dzeta badanego pirytu pokazane na rys. 4. Z rysunku jest widoczny prawie identyczny przebieg mierzonych potencjałów z przebiegiem potencjału dzeta FeX_3 i $\text{Fe(OH)}_2\text{X}$ (w pracy [14]). Równocześnie zwraca uwagę olbrzymie podobieństwo tych krzywych z mierzona ruchliwością elektroforetyczną pirytu w roztworze ksantogenianu obserwowane w pracy [2]. Można więc postulować, że na powierzchni pirytu w roztworze ksantogenianu są obecne FeX_3 oraz $\text{Fe(OH)}_2\text{X}$. Substancje te prawdopodobnie stanowią powierzchnię graniczną pomiędzy warstwą hydrofobową a roztworem. Nie można ich identyfikować spektralnie przy stosowanej przez nas aparaturze pomiarowej. Natomiast decydują o potencjale dzeta. Wszystkie obserwowane fakty eksperymentalne wyjaśniają modele pokryw hydrofobowych pokazane na rys. 7.



Rys. 8. Korelacja między równowagami reakcji wyznaczających obszar dominacji X_2 (26, 27, 28) z obszarem flotowalności całkowitej oraz korelacja izouzytków flotowalności szybkiej z obszarem dominacji FeX_3 , $Fe(OH)_2X$

Flotowalność szybka pirytu.

Przedstawione na rys. 1 zależności pokazują wyniesienie pirytu w funkcji pH roztworów ksantogenu po 3 i 30 min flotowania. Porównanie krzywych pokazuje, że obszar depresji w obojętnych i słabo alkalicznych roztworach jest funkcją czasu flotacji - przy 30 min flotacji obszar ten nie występuje. Natomiast depresja alkaliczna wyznaczona przez krytyczne pH posiada trwały charakter i zgodny z obszarem współistnienia dwuksantogenu i pirytu (rys. 8). Całkowita flotowalność pirytu jest więc funkcją stężenia kolektora oraz pH i odpowiada za nią dwuksantogen. Ta odpowiedzialna za flotację substancja może być zużywana na utworzenie hydrofilnego $Fe(OH)_2X$, lub blokowana przez wytrącony w roztworze $Fe(OH)_2X$. $Fe(OH)_2X$ jest więc przyczyną depresji flotowalności szybkiej w obojętnych i słabo alkalicznych roztworach. Dla porównania mapy izouzytków flotowalności szybkiej z obszarami dominacji FeX_3 oraz $Fe(OH)_2X$ w warunkach równowagi z dwuksantogenem obliczono równowagę reakcji;



$$2 pH = -0,59 - \log(Fe^{2+}) - 2 \log(HX) \dots$$

(29)

i naniesiono na rys. 8 łącznie z pozostałymi równowagami reakcji tych substancji. Z rysunku jest widoczna korelacja tych obszarów dominacji z izouzytkami flotowalności szybkiej.

Podsumowanie

Hydrofobizacja pirytu jest procesem elektrochemicznym w odróżnieniu od hydrofobizacji galeny czy chalkozynu, dla których elektrochemiczna droga nie jest konieczna. Elektrochemiczny proces tworzenia dwuksantogenianu na powierzchni pirytu jest ułatwiony dzięki temu, że konkurencyjna reakcja - utleniania pirytu wymaga osiągnięcia wysokich potencjałów, przy których zachodzą reakcje inicjujące utlenianie. Wnioski te pozostają w zgodzie z badaniami kinetycznymi Janetzkie'ego i wsp. [18]. Różnią się jedynie tym, że nadnapiecie reakcji utleniania pirytu przypisuje się reakcjom inicjującym. W odróżnieniu od galeny i chalkozynu, dla których produkty powierzchniowe są wystarczające do utworzenia pokrycia hydrofobowego, utworzenie takiego pokrycia na pirycie wymaga wydzielenia dwuksantogenu w postaci fazy i rozpoczyna się przy potencjale odwracalnym tej reakcji. Świadczą o tym wyniki pomiarowe w eksperymentach, w których prowadzono flotację w funkcji potencjału [21, 22]. Dlatego diagramy fazowe pokazane na rysunkach 4 i 5 są wystarczające do przewidywania warunków powstawania pokryw hydrofobowych i w konsekwencji flotacji pirytu. Elektrochemiczny charakter procesów hydrofobizacji czyni koniecznym kontrolę potencjału redox pulp flotacyjnych dla sterowania flotacją pirytu. Kontrola pH oraz stężenia jonów żelaza (II) pozwala ustrzec się szkodliwych dla flotacji warunków sprzyjających zużyciu aktywnego kolektora - dwuksantogenu na produkcję hydrofilnego $\text{Fe}(\text{OH})_2 \cdot \text{X}$.

Literatura.

1. R. Woods, Flotation of Sulfide Minerals, in: Reagents in Mineral Technology, P. Somasundaran, B. M. Moudgil (editors) Marcel Dekker, Inc. New York and Basel, 1988 (40-78)
2. D. W. Fuerstenau, R. K. Mishra, On the mechanism of pyrite flotation with xanthate collectors, in Complex Sulfide Ores, ed. M. J. Jones, Inst. Min. Metall., 1980, pp. 272-278.
3. M. C. Fuerstenau, M. C. Kuhn, D. A. Elgillani, The role of dixanthogen in xanthate flotation of pyrite, Trans. Am. Inst. Min. Engrs. 1968, 241 pp. 148-156.
4. A. M. Gaudin, Flotacja, wyd. łask, Katowice, 1963, s. 600
5. J. A. Mielczarski, Polit. Śląska. Zeszyty Naukowe Nr. 1014. Gliwice 1987 (praca habilitacyjna)
6. T. Chmielewski, J. Lekki, Minerals Engineering, vol. 2, No. 3. pp. 397-391, (1989).
7. Ch. C. Price, G. W. Stacy; Organic Syntheses 3, 668, (1935).

8. J. Lekki. Określenie flotowalności minerałów przez wyznaczenie: krytycznych pH, zakresów flotacji, krzywej flotowalności szybkiej oraz obszarów flotacji. Fizykochemiczne Metody Wzbogacania Kopaliny, V Gliwickie Sympozjum Teorii i Praktyki Procesów Przerobczych, Gliwice, 1986, s. 51-56.
9. M. Kleikowska, M. apkowski, J. Strojek, Przystawka całkowitego wewnętrznego odbicia do spektrofotometrów, Patent PRL Nr 110960.
10. J. Lekki, S. Sobieraj, K. Gosiewski, Instrukcja obsługi dzetametry produkcji Politechniki Łódzkiej, Gliwice 1972, 27.
11. P. White, The Theory of Electro-osmotic Circulation Closed Vessels Phil. Mag. S. 7, v. 23, 1927, p 811-823
12. K. I. Sutherland, I. W. Wark, Principles of Flotation, Melbourne 1954.
13. A. A. Abramow, O nieobchodimoy koncentracji ksantogenatu pri flotacji sulfidow żelaza, Trudy Inst. Mechanobr., Leningrad 1968, s. 323-332.
14. J. Lekki, Spektralne (IR ATR) i dzetametryczne badania wodnych zawiesin etylowego ksantogenu żelaza, Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii, 21, (1989) 115-125.
15. G. B. Naumov, B. N. Ryzenko, I. L. Chodakowski, Sprawocznik termodynamicznych wieloczyn, Atomizdat, Moskwa, 1971.
16. M. P. Morozowa, G. A. Stoljarowa, Izv. AN SSSR, Nieorg. materiały 1966, t. 2., s. 2070.
17. R. M. Garrelas, C. L. Christ, Solutions Minerals and Equilibria, Harper and Row, New York, 1965.
18. N. D. Janetski, S. I. Woodburn, R. Woods, An Electrochemical Investigation of Pyrite Flotation and Depression, Inter. Jour. of Mineral Processing., 4, 1977, pp 227-239
19. R. A. Burkin, The Chemistry of Hydrometallurgical Processes F. N. Spoon, London 1966.
20. E. PETERS, Leaching of sulfides, Advances in Mineral Processing. Ed. Samasundaran, AIME, New Orleans, Louisiana, March 3-5, 1986, pp. 445-462.
21. J. E. Gebhardt, N. F. Desnap, P. E. Richardson, Electrochemical Conditioning of a Mineral Particle Bed Electrode for Flotation. Bureau of Mines Report of Investigations, 1985, 8951, p 10.27.
22. P. E. Richardson, G. W. Walker, The Flotation of Chalcocite, Bornite, Chacopyrite, and Pyrite in Electrochemical-Flotation Cell, XVth International Mineral Processing Congress, Cannes, France, 1985, vol. II, pp. 198-210.

ABSTRACT

Lekki J., 1990. Xanthate flotation of pyrite, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 22; 75-87 (polish text)

This paper provides a more complete picture of the surface properties of pyrite in the absence and presence of ethyl xanthate ions at different pH of the aqueous suspension. For this purpose pyrite samples were floated in a monobubble Hallimond tube with potassium ethyl xanthate (KX) of different concentrations, and of different pH of the pyrite suspension. Flotation tests were used to determine the so-called complete and rapid flotation regions for pyrite. Electrophoretic mobility of pyrite particles as well as IR-ATR spectra of the pyrite surface in the presence of KX were measured to identify surface products. By comparing flotation results with pyrite surface species present under different conditions it was established that dioxanthogen, X_2 , was the main xanthate form on the pyrite surface within a wide pH range. However, at pH about 7, X_2 reacts with pyrite forming $Fe(OH)_2X$ resulting in depression of pyrite flotation. $Fe(OH)_2X$ may also be present on the pyrite surface due to its formation in the aqueous solution and subsequent sorption on the pyrite surface. In the acidic range of pH good flotation was observed due to the presence of X_2 on the FeS_2 surface. FeX_3 may also form in acidic environment and sorption adsorption on the pyrite surface. Finally, the results of flotation tests and observed surface species were compared with species predicted by a thermodynamic analysis of the pyrite-water-xanthate system after certain assumptions were made. It was shown that the Eh-pH diagram could be used in order to explain experimental data.