

Jerzy MIELCZARSKI*

SPEKTRALNE IRS-IR I XPS BADANIA ADSORPCJI ETYLOWEGO KSANTOGENIANU NA NIEAKTYWOWANYM SFALERYCIE

Adsorpcję etylowego ksantogenianu badano na dwóch różnych próbkach sfalerytu, wykorzystując spektroskopię elektronową (XPS) i spektroskopię całkowitego wewnętrznego odbicia w podczerwieni (IRS-IR) pozwalającą prowadzić pomiary "in situ". Jedną z badanych próbek dobrze flotuje z kwaśnego ($\text{pH} = 4,8-5,7$) i słabo zasadowego ($\text{pH} = 7,6-8,2$) roztworu. Stwierdzono, że przyczyną flotowalności jest samoaktywacja próbki przez zawarty w niej ołów, który wiąże ksantogenian z roztworu tworząc monowarstwową formę etylowego ksantogenianu ołowiu. Powyżej pH około 8,5 nie obserwowano już na tej próbce wzrostu adsorpcji ksantogenianu ani jej flotowalności. Depresję sfalerytu stwierdzono również w roztworze obojętnym pomimo znacznej adsorpcji ksantogenianu. Jest to spowodowane utworzeniem się pokrycia wysepkowego straconej formy etylowego ksantogenianu ołowiu. Druga badana próbka sfalerytu w całym zakresie pH od 4 do 10 adsorbowała tylko nieznaczną ilość ksantogenianu (około 15% statystycznej monowarstwy), która nie nadawała powierzchni ziaren właściwości hydrofobowych wymaganych do ich wyflotowania.

Wstęp

Powszechnie wiadomo, że sfaleryt nie flotuje przy użyciu etylowego ksantogenianu. Dopiero zastosowanie aktywatora - siarczanu miedzi lub wyższych homologów ksantogenianu pozwala sfaleryt wyflotować.

Znane są przypadki dobrej flotacji sfalerytu już po dodaniu etylowego ksantogenianu [1-4]. Przyczyna tego zjawiska nie jest wyjaśniona [5]. Niektórzy autorzy [1, 2] sugerują, że żelazo obecne w próbce sfalerytu powoduje utlenienie etylowego ksantogenianu do dwuksantogenu a utworzony produkt nadaje ziarnom minerału właściwości hydrofobowe.

* Instytut Chemii i Technologii Nieorganicznej Politechniki Śląskiej

Niniejsza praca ma na celu wyjaśnić sposób wiązania etylowego ksantogenianu na niektórych próbkach sfalerytu oraz przyczynę ich flotowalności.

W badaniach wykorzystano najnowsze techniki spektralne, metodę całkowitego wewnętrznego odbicia w podczerwieni (IRS - IR) pozwalającą prowadzić badania adsorpcji "in situ" oraz spektroskopię elektronową (XPS). Wysoka czułość stosowanych metod pozwoliła obserwować zmiany zachodzące na powierzchni minerału przy pokryciach mniejszych niż monowarstwowe.

Materiały i odczynniki

Do badań wybrano dwie próbki sfalerytu pochodzące z polskich złóż. Charakterystykę próbek przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Charakterystyka badanych próbek

Próbka	% wagowy				Powierzchnia właściwa, m ² /g
	Zn	Fe	Pb	Cu	
Sfaleryt I	61,7	0,19	0,32	0,005	1,9
Sfaleryt II	61,1	1,4	1,15	0,02	2,4

Etylowy ksantogenian potasowy otrzymano przez reakcję wodorotlenku potasowego z dwusiarczkiem węgla i etanolem. Otrzymany produkt był oczyszczony przez kilkakrotną krystalizację z alkoholu etylowego. Pozostałe odczynniki wykorzystane podczas badań były czystości cz.d.a. Trzykrotnie destylowaną wodę używano we wszystkich doświadczeniach.

Aparatura i metodyka pomiarów

Widma refleksyjne w podczerwieni były otrzysmywane za pomocą spektrofotometru Specord 71 IR wspomagane przez komputer Nova 2, z wykorzystaniem przystawki refleksyjnej własnej konstrukcji [6]. Jak oszacowano, stosowany układ pomiarowy pozwalał na obserwację pasm absorpcji produktu adsorpcji np. etylowego ksantogenianu miedzi przy pokryciu około 20% monowarstwy.

Pomiary XPS wykonano wykorzystując spektrofotometr VG ESCA-3, przy promieniowaniu Al K_α (h_ν = 1486,6 eV). Rozdzielczość jak oszacowano wynosiła około 1,3 eV. Ciśnienie w części pomiarowej aparatury wynosiło 10⁻⁶ Pa. Jako wzorzec używano linii C1s (285,0 eV).

Adsorpcję etylowego ksantogenianu prowadzono w następujący sposób: Próbkę sfalerytu około 0,5 g wprowadzono do 200 ml roztworu ksantogenianu o zadanym pH, regulowanym przez dodanie HCl lub KOH. Zawiesinę mieszało przez 15 min. a następnie przez 5 min. pozostawiono do dekantacji. W pobranej próbce roztworu oznaczano zawartość ksantogenianu spektralnie w zakresie UV. Powtarzając cykl mieszania, dekantacja zawiesiny i oznaczenie stężenia ksantogenianu w roztworze określano kinetykę adsorpcji ksantogenianu.

Osad sfalerytu z pozostałą ilością roztworu kontaktowano z elementem refleksyjnym i badano spektralnie w podczerwieni. Natomiast do badań XPS sfaleryt był przemyty małą ilością wody o pH takim samym jak pH roztworu podczas adsorpcji i suszony w temperaturze pokojowej. Badania flotacji prowadzono w zmodyfikowanym aparacie Hallimonda [7]. Stosowano 100 ml roztworu o stężeniu $8 \cdot 10^{-5}$ mol/l ksantogenianu oraz 0,5 grama próbki. Przepływ azotu wynosił 1,5 l/h. Próbkę przed flotacją była kondycjonowana 3 min w roztworze o zadanym pH.

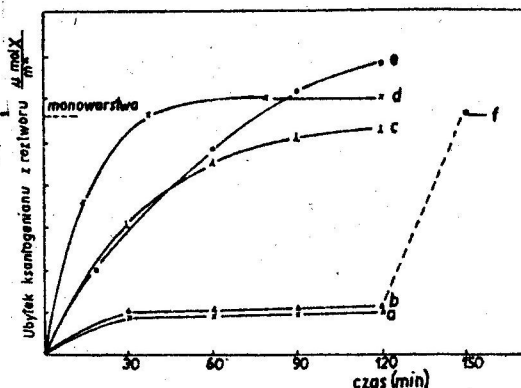
Rezultaty i dyskusja

Adsorpcja etylowego ksantogenianu na próbce sfalerytu I

Stwierdzono, że ilość ksantogenianu, która ubyła z roztworu podczas adsorpcji (rys. 1a) jest niewielka i wystarcza jedynie na około 15% pokrycia powierzchni próbki rodnikami ksantogenianowymi (przyjmując zgodnie z pracą [8], że powierzchnia jaką zajmuje jeden jon ksantogenianu wynosi $29\text{\AA}^2$). Jak pokazano na rys. 1a, ksantogenian jest wiązany w pierwszych minutach kontaktu próbki z roztworem. Następujący później nieznaczny już spadek stężenia ksantogenianu w roztworze jest porówny-

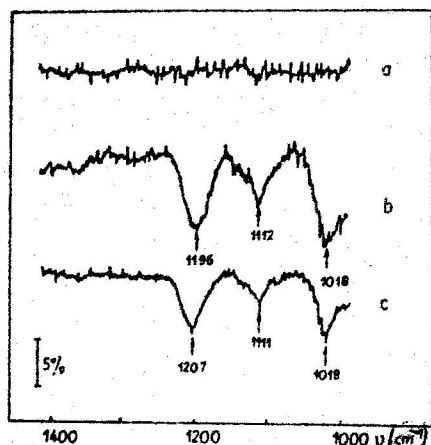
Rys. 1. Kinetyka adsorpcji etylowego ksantogenianu na próbkach sfalerytu przy różnym pH, stężenie początkowe $5,2 \cdot 10^{-5}$ mol/l;

- a - sfaleryt I, pH = 4-10
- b - sfaleryt II, pH = 8,8 - 9,5,
- c - sfaleryt II, pH = 7,6 - 8,2,
- d - sfaleryt II, pH = 4,8 - 5,2,
- e - sfaleryt II, pH = 6,5 - 7,1,
- f - próbka b po zmianie pH na 4,6 - 4,9



walny z ilością ksantogenianu, który ulega rozkładowi. Jak wiadomo szybkość rozkładu ksantogenianu jest największa w roztworach kwaśnych [9]. Taki przebieg adsorpcji ksantogenianu obserwowano w badanym zakresie pH od 4 do 10.

Równocześnie z obserwacją zmian stężenia ksantogenianu w roztworze prowadzono badania spektralne w podczerwieni zmian zachodzących na powierzchni sfalerytu. W widmach refleksyjnych (rys. 2a) nie obserwowano pojawienia się nowych pasm wskazujących na adsorpcję ksantogenianu na powierzchni sfalerytu. Stosowano roztwory o stężeniu od $5 \cdot 10^{-5}$ do $1 \cdot 10^{-3}$ mol/l a czas adsorpcji przedłużono do 3 godzin.

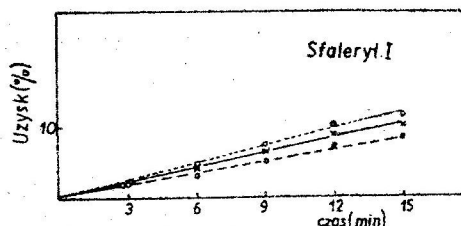


Rys. 2. Widma refleksyjne sfalerytu II w kontakcie z roztworem ksantogenianu, stężenie początkowe - $5,2 \cdot 10^{-5}$ mol/l:

- a - pH = 9,0 - 9,2
- b - pH = 4,8 - 5,0
- c - pH = 6,5 - 7,1

Zaadsorbowano ilość ksantogenianu wynosząca około 15% monowarstwowego pokrycia, jest zbyt mała aby można ją było obserwować spektralnie.

Przebieg adsorpcji ksantogenianu etylowego był podobny do opisa-



Rys. 3. Kinetyka flotacji sfalerytu I z roztworem etylowego ksantogenianu o stężeniu $7 \cdot 10^{-5}$ mol/l:

- x - wyniesienie mechaniczne,
- - roztwór o pH = 4,8 - 5,1,
- o - roztwór o pH = 7,4 - 8,2

nych już wcześniej w literaturze [10-13]. Obserwowano również nieznaczna adsorpcję ksantogenianu, który można było łatwo usunąć z powierzchni sfalerytu przez przemywanie jej wodą.

Prowadzone badania kinetyki flotacji tej próbki sfalerytu dały rezultaty zgodne z oczekiwaniem (rys. 3). Wyniesienie po dodaniu ksantogenianu do roztworu zmieniło się nieznacznie, niezależnie od tego czy roztwór był kwaśny, czy zasadowy.

Adsorpcja etylowego ksantogenianu na próbce sfalerytu II

Zdecydowanie inaczej przebiega proces adsorpcji ksantogenianu na

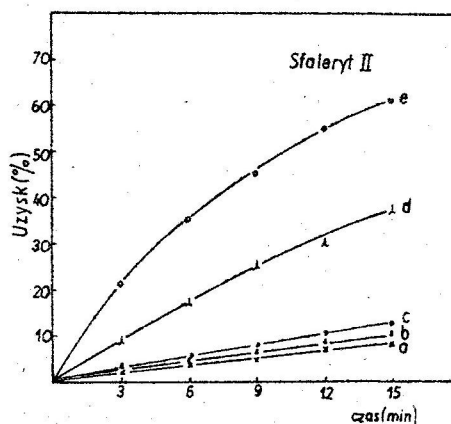
próbce sfalerytu II. Konsekwencją tego jest dobra flotowalność badanej próbki w pewnych zakresach pH.

Jak przedstawiono na rysunku 1d ilość etylowego ksantogenu za-adsorbowanego z roztworu kwaśnego ($\text{pH} = 4,8 - 5,2$) osiąga szybko poziom wystarczający do uzyskania pokrycia monowarstwowego powierzchni sfalerytu. Otrzymane widmo refleksyjne tej próbki (rys. 2b) potwierdza utworzenie na powierzchni sfalerytu produktu adsorpcji. Położenie pasm absorpcji w widmie oraz ich kształt wskazują, że obserwowanym produktem adsorpcji jest monowarstwowa forma etylowego ksantogenu ołowiu. Taki produkt adsorpcji został już stwierdzony kilkakrotnie na powierzchni galeny lub syntetycznego siarczku ołowiu [14 - 17]. Ołów, z którym wiąże się ksantogenian był zawarty w badanej próbce w ilości 1,15% wagowych (tabela 1).

Przeprowadzone badania flotowalności sfalerytu II z roztworów kwaśnych (rys. 4e) pozwoliły stwierdzić, że utworzona monowarstwowa forma etylowego ksantogenu ołowiu nadaje powierzchni sfalerytu właściwości hydrofobowe.

W przypadku adsorpcji z roztworów słabo alkalicznych $\text{pH} = 7,6 - 8,2$ ilość ksantogenu, która ubyła z roztworu rośnie wolniej (rys. 1c) niż w przypadku roztworów kwaśnych (rys. 1d) osiągając ten sam poziom po około trzech godzinach. Konsekwencją tego jest obserwowana w widmie refleksyjnym w podczerwieni mniejsza intensywność pasm absorpcji. Trzeba jednak zaznaczyć, że ich położenie i kształt są takie same jak w widmie próbki sfalerytu po adsorpcji z roztworu kwaśnego (rys. 2b). Flotowalność sfalerytu w tym zakresie pH rośnie, po kontaktowaniu z roztworem ksantogenu (rys. 4d), ale jest niższa niż w przypadku zastosowania roztworów kwaśnych (rys. 4e).

Prowadząc badania z roztworu o pH około 9 obserwuje się nieznaczną adsorpcję ksantogenu na powierzchni sfalerytu II (rys. 1b) porównywalną z adsorpcją na sfalerycie I (rys. 1a). zapewniającą jedynie około 15% pokrycia powierzchni. Oczywiście wówczas na powierzchni sfalerytu II nie obserwuje się już pasm wskazujących na utworzenie produktu adsorpcji



Rys. 4. Kinetyka flotacji sfalerytu II z roztworu etylowego ksantogenu o stężeniu $7 \cdot 10^{-5}$ mol/l;

a - wyniesienie mechaniczne,
b - $\text{pH} = 8,5 - 9,5$, c - $\text{pH} = 6,1 - 7,2$; d - $\text{pH} = 7,2 - 8,2$;
e - $\text{pH} = 4,8 - 5,5$

a flotowalność takiej próbki (rys. 4b) jest porównywalna z wyniesieniem mechanicznym (rys. 4a).

Jeżeli natomiast pH zawiesiny zmieni się z około 9 na kwaśne (pH około 4,5), to już po 30 min. ilość zaadsorbowanego ksantogenu na próbce sfalerytu II jest równoważna monowarstwowemu pokryciu powierzchni (rys. 1g). Otrzymuje się wówczas wyniki badań spektralnych w podczerwieni oraz flotowalności zbliżone do wyników otrzymanych podczas kontaktowania próbek tylko z roztworem kwaśnym.

Z powyższych badań wynika, że jeżeli ksantogen adsorbuje się na powierzchni sfalerytu w ilości dostatecznej pozwalającej na utworzenie pokrycia zbliżonego do monowarstwy to równocześnie obserwuje się produkt adsorpcji, który nadaje ziarnom właściwości hydrofobowe. Okazuje się jednak, że adsorpcja ksantogenu w ilości pozwalającej na utworzenie monowarstwowego pokrycia nie jest warunkiem wystarczającym do zapewnienia wzrostu flotowalności badanego minerału.

Obserwując zmiany ilości ksantogenu w roztworze o pH zbliżonym do obojętnego można stwierdzić, że ilość wiązanego ksantogenu rośnie systematycznie (rys. 1e) przekraczając poziom pokrycia monowarstwowego. W widmie refleksyjnym sfalerytu po adsorpcji z roztworu obojętnego obserwuje się pasma, wskazujące na utworzenie produktu adsorpcji (rys. 2c), który jednak nie zapewnia próbce dobrej flotowalności (rys. 4c).

Analiza widm w podczerwieni obserwowanych produktów adsorpcji z roztworów kwaśnych i zasadowych (rys. 2) pozwala stwierdzić, że widmo produktu otrzymanego w roztworze obojętnym (rys. 2c) jest zbliżone do widma refleksyjnego strąconego etylowego ksantogenu ołowiu [15]. Obserwuje się podobne położenie pasm absorpcji, głównie pasma przy 1207 cm^{-1} . Natomiast w widmie na rysunku 2b pasmo przy około 1200 cm^{-1} ulega przesunięciu o 10 cm^{-1} jak również obserwuje się wzrost szerokości połówkowej pasm absorpcji.

Takie zmiany w widmie wskazują na monowarstwową formę etylowego ksantogenu ołowiu. Jak wykazały ostatnie prace z wykorzystaniem spektroskopii elektronowej (ESCA) zaadsorbowany etylowy ksantogen tworzy zorientowaną monowarstwę na miedzi metalicznej [18] i chalkozynie [19]. Efekt zorientowania pierwszej zaadsorbowanej warstwy stwierdzono również w układzie chalcogenów - etylowy dwutiofosforan [20].

Przeprowadzone w ramach niniejszej pracy badania XPS miały na celu stwierdzenie jakie zmiany zachodzą na powierzchni próbki sfalerytu II i jak wpływają na przebieg procesu adsorpcji ksantogenu. Próbkę sfalerytu była badana po adsorpcji z roztworu kwaśnego (pH = 4,8-5,0), obojętnego (pH = 6,5-7,1) i zasadowego (pH = 9,0 - 9,2). Oprócz linii S, C, O, Zn, zwrócono również uwagę na emisję sygnałów Cu, Fe i Pb. Położenie obserwowanych pasm przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

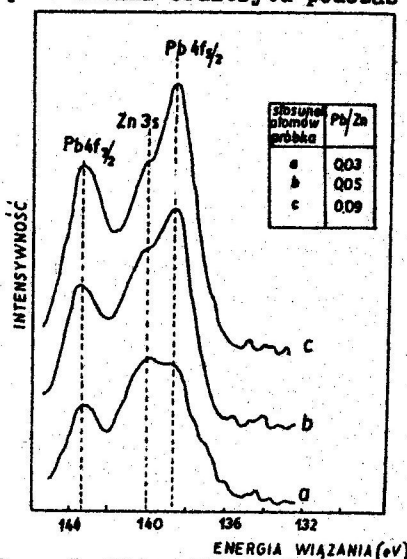
Energie wiązań elektronów linii podstawowych próbek sfalerytu po adsorpcji ksantogenu oraz etylowego ksantogenu ołowiu, galeny i siarki

	Zn3s	S2p	Zn2p _{3/2}	Pb4f _{5/2}	Pb4f _{7/2}	Fe2p _{3/2}	Cu2p _{3/2}
Sfaleryt II pH = 9,0-9,2	139,7	161,9	1021,6	138,6	143	714 b.sł.	n.obs.
Sfaleryt II pH = 6,5-7,1	140	162,0	1021,6	138,5	143,4	n.obs.	n.obs.
Sfaleryt II pH = 4,8-5,0	140	161,9	1021,5	138,5	143,5	n.obs.	n.obs.
PbX ₂	-	162,6	-	139,0	144,0	-	-
PbS	-	160,3	-	137,1	142,0	-	-
S ^{II}	-	164,04	-	-	-	-	-

* cytowane za pracą Wagnera [21], b.sł. - bardzo słabe pasmo, n.obs. - nie obserwowano

Zasadnicze różnice między widmami poszczególnych próbek dotyczą linii ołowiu. Jak stwierdzono stosunek ołowiu do cynku na powierzchni sfalerytu II zmienia się w zależności od warunków adsorpcji (rys. 5). Największą ilość ołowiu stwierdzono na powierzchni sfalerytu podczas adsorpcji z roztworów kwaśnych, najmniejszą z roztworów zasadowych. Wynik ten potwierdza wcześniejszą interpretację, że jony ołowiu są odpowiedzialne za wzrost adsorpcji ksantogenu etylowego z roztworu. Z roztworów kwaśnych obserwuje się blisko pięciokrotne wzbogacenie powierzchni sfalerytu II w ołów, w stosunku do wartości średniej dla całej próbki.

Należy zaznaczyć, że na powierzchni sfalerytu nie obserwuje się żelaza oraz miedzi. Żelazo, któremu przypisywano [1,2] decydującą rolę w procesie wiązania etylowego ksantogenu jest prawdopodobnie obserwowane (tabela 2) tylko na powierzchni sfalerytu podczas adsorpcji z roztworu zasadowego.



Rys. 5. Widma XPS sfalerytu II po adsorpcji ksantogenu;

a - pH = 9,0 - 9,2,
b - pH = 6,5 - 7,1,
c - pH = 4,8 - 5,0

W warunkach tych nie zanotowano wyraźnego wzrostu zaadsorbowanej ilości ksantogenu. Nie stwierdzono również na powierzchni sfalerytu siarki elementarnej, której obecność może być łatwo wykryta metodą XPS.

Stosowano również bombardowanie próbek sfalerytu jonami argonu, pozwalające na badanie kolejnych warstw przepowierzchniowych metodą XPS. Stwierdzono, że stosunek Pb/Zn osiąga szybko wartość około 0,03 w przypadku próbek po adsorpcji z roztworów kwaśnych. Potwierdza to fakt, że wzrost stężenia ołowiu ograniczony jest do kilku warstw powierzchniowych.

Stwierdzono również po bombardowaniu jonami argonu różnice w przesunięciu linii ołowiu w stosunku do pozostałych pasm w przypadku próbki po adsorpcji z roztworu obojętnego. Wskazuje to na rozmieszczenie ołowiu na powierzchni sfalerytu w postaci wysepek (klasterów).

Potwierdzono tym samym interpretację danych otrzymanych z badań metodą spektroskopii refleksyjnej w podczerwieni, że tworzący się produkt adsorpcji ma strukturę zbliżoną do strąconego etylowego ksantogenu ołowiu.

Podsumowanie

Obserwowana flotacja sfalerytu po jego kontaktowaniu z etylowym ksantogenem jest wynikiem samoaktywacji próbki przez zawarty w niej ołów. Ilość ołowiu w warstwie powierzchniowej przekracza kilkakrotnie jego średnie stężenie w próbce. Ksantogen etylowy wiąże się z jonami ołowiu na powierzchni sfalerytu tworząc monowarstwową formę etylowego ksantogenu ołowiu, która jest odpowiedzialna za wyflotowanie minerału. Taki przebieg adsorpcji obserwuje się z roztworów kwaśnych i słabo zasadowych.

Z roztworów zasadowych ($\text{pH} > 8,5$) nie obserwuje się wyraźnego wzrostu ołowiu na powierzchni sfalerytu. Nie obserwuje się też wzrostu adsorpcji ksantogenu jak również flotowalności próbki sfalerytu.

W roztworze zbliżonym do obojętnego ilość ołowiu na powierzchni próbki wzrasta, jednak utworzony produkt adsorpcji formuje się w postaci wysepek (klasterów) nie nadając ziarnom dostatecznej hydrofobowości koniecznej do ich wyflotowania.

W warunkach prowadzonych doświadczeń nie stwierdzono na powierzchni badanych próbek sfalerytu obecności etylowego dwuksantogenu jak również elementarnej siarki.

Niniejsza praca pokazuje, że wykorzystanie równocześnie obu metod spektralnych ATR - IR i XPS pozwala wyjaśnić wiele zjawisk zachodzących na powierzchni minerału podczas adsorpcji odczynnika flotacyjnego.

Literatura

- [1] Girczys J., Laskowski J., 1972. Trans. Inst. Min. Metall., 81; C 118
- [2] Mukherjee A.D., Sen P.K., 1976. J.Mines, Metals Fuels, Oktober; 327
- [3] Bogdanov O.S., Podnek A.K., Semenova E.A., 1965. Trudy Inst. Mechanobr. Vypusk 135.
- [4] Draskić D., Gifling M., Pavlica J., 1980 Complex Sulphide Ores Congress, published by the IMM, 113.
- [5] Samasundaran P., 1980 . ibid., 93.
- [6] Strojek J.W., Mielczarski J., 1974. Roczniki Chem., 48; 1747.
- [7] Siwek B., Zembala M., Pomianowski A., 1981. Inter. J. Miner. Process. 8; 85.
- [8] Gaudin A.M., Preller G.S., 1946. AIME Min. Tech., 10; 2002.
- [9] Granville A., Finkelstein H.P., Allison S.A., 1972. Trans. IMM, 1; C 81.
- [10] Yonezawa T., 1961. Bull. Inst. Min. Metall., 70; 329.
- [11] Pomianowski A., Leja J., 1964. Trans. AIME 229; 307.
- [12] Allison S.A., Gold L.A., Nicol M.J., Granville A., 1972. Met. Tran., 3; 2613.
- [13] Pomianowski A., Szczypa J., Poling G., Leja J., 1975. 11th Inter. Miner. Process. Congr., Cagliari; paper 23.
- [14] Leja J., Little L.H., Poling G.W., 1963. Trans. IMM, 72, 414-423.
- [15] Mielczarski J., Nowak P. and Strojek J.W., 1980. Polish J. Chem., 54; 279.
- [16] Nowak P., Mielczarski J., Strojek J.W., 1980. Polish J. Chem., 54, 517.
- [17] Leppinen J., Mielczarski J., wysłane do Inter. J. Miner. Process.
- [18] Mielczarski J., Werfel F., Suoninen E., 1983, Appl. Surf. Sci. 17, 160.
- [19] Mielczarski J., Suoninen E., 1984 Surf. Interface Anal. 6, 34.
- [20] Mielczarski J., Minni E., 1984 ibid., 6, 221.
- [21] Wagner C.D., Riggs W.M., Davis L.E., Moulder J.F., Muilenberg G.E., 1979, Handbook of x-ray, Photoelectron Spectroscopy, Perkin - Elmer Corporation.

ABSTRACT

Mielczarski J., 1985. Spectroscopic IRS - IR and XPS study of ethyl xanthate adsorption on non - activated sphalerite.
Physicochem. Probl. Miner. Process., 17; 89-98.
(polish text)

The adsorption of ethyl xanthate on two samples of sphalerite was investigated with X-ray photoelectron spectroscopy XPS and "in situ" internal reflection spectroscopy in infrared IRS - IR. One sample showed good floatability in acidic (pH 4.8 - 5.7) and weakly basic (pH 7.6 - 8.2) solutions. It was found that the sphalerite was self-activated by the lead contained in the mineral and a monolayer of lead ethyl xanthate was formed on the surface. Above pH about 8.5 neither xanthate adsorption nor sphalerite flotation is observed. The flotation depression observed in neutral solutions, despite a significant amount of xanthate adsorbed, is caused by clusters of precipitated form of lead ethyl xanthate on the sphalerite surface.

The second sample of sphalerite investigated within the range of pH from 4 to 10 adsorbed only very small amount of ethyl xanthate (about 15% of statistical monolayer) which did not provide sufficient hydrophobic properties required for flotation.

СОДЕРЖАНИЕ

Мельчарски Е., 1985. Спекторные IRS-IR и XPS исследования адсорбции этилового ксантогената на неактивированном сфалерите. Физико-химические вопросы обогащения, 17; 89-98.

Адсорбция этилового ксантогената исследована на двух различных пробах сфалерита, применяя электронную спектроскопию / XPS / и инфракрасную спектроскопию полного внутреннего отражения / IRS-IR /, позволяющую вести измерения "in situ". Одна из исследуемых проб хорошо флотирует в кислом /pH = 4,8 - 5,7/ и слабо основном /pH = 7,6-8,2/ растворах. Определено, что причиной флотируемости является самоактивизация пробы через содержащийся в ней свинец, который связывает ксантогенат из раствора, образуя монослойную форму этилового ксантогената свинца. При pH выше около 8,5 не наблюдается на этой пробе повышения адсорбции ксантогената, а также ее флотируемости. Депрессия сфалерита определена также в нейтральном растворе, несмотря на значительную адсорбцию ксантогената. Причиной этого является образование островного покрытия осажденной формы этилового ксантогената свинца. Вторая исследуемая проба сфалерита во всем диапазоне pH от 4 до 10 адсорбировала только незначительное количество ксантогената /около 15% статистического монослоя/, которое не придавало поверхности зерен гидрофобных свойств, требуемых для их флотировки.