

Tomasz CHMIELEWSKI
Witold A. CHAREWICZ

Instytut Chemii Nieorganicznej
i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich
Politechniki Wrocławskiej

Janusz LEKKI

Instytut Górnictwa
Politechniki Wrocławskiej

ELEKTROCHEMICZNE ASPEKTY INTENSYFIKACJI PROCESU ŁUGOWANIA SIARCZKOWEGO KONCENTRATU MIEDZI

Opisano sposób intensyfikacji ługowania miedzi z koncentratu siarczkowego poprzez zastosowanie procesu ciśnieniowego z jednoczesną regeneracją czynnika trawiącego. Stwierdzono doświadczalnie, że ciśnienie tlenu jest najistotniejszym parametrem przyspieszającym proces ługowania, natomiast wpływ stężenia kwasu siarkowego na szybkość ługowania okazał się nieistotny. Obserwowane w trakcie ługowania wzrastające hamowanie rozpuszczania siarczków wytłumaczono w oparciu o wyniki badań elektrochemicznych przeprowadzonych przy użyciu elektrod wykonanych z naturalnych siarczków miedzi. Uznano, że hamowanie rozpuszczania siarczków miedzi jest wywołane tworzeniem się na ich powierzchni warstewek produktów stałych.

1. Wprowadzenie

W wyniku prac nad hydrometalurgiczną przeróbką siarczkowych koncentratów flotacyjnych prowadzonych pod kierunkiem Łętowskiego, w Instytucie Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich Politechniki Wrocławskiej opracowano i opatentowano oryginalną, tzw. kwaśną, metodę otrzymywania miedzi z tych koncentratów [1]. W metodzie tej ługowanie koncentratu prowadzi się w dwu- lub trójstopniowym układzie przeciwprądowym w temperaturze 363-368 K za pomocą kwaśnego roztworu siarczanu żelazowego o stężeniu 30-90 gFe/dm³. W tym sposobie ługowania do roztworu przechodzi ok. 97% miedzi zawartej w koncentracie. Czynniki ługujący regenerowany jest na drodze utleniania żelaza (II) pod ciśnieniem tlenu ok. 1000 kPa.

Istotnymi dla doskonalenia opracowanej technologii okazały się

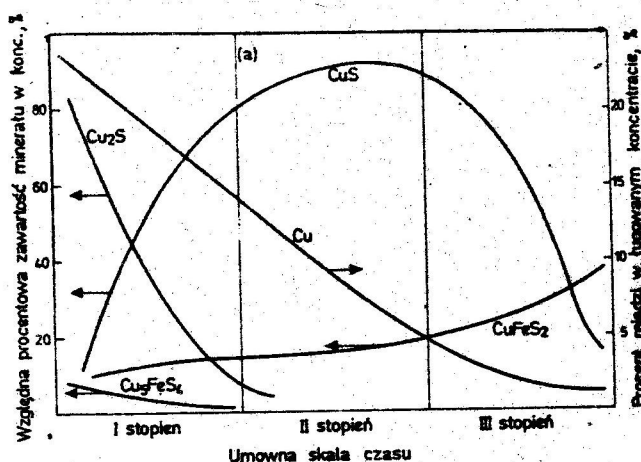
problemy intensyfikacji ługowania oraz skrócenia czasu trwania cyklu operacji ługowanie-regeneracja. Mimo zastosowania stężonych roztworów $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (do 90 gFe/dm^3) i temperatury 368 K łączny czas ługowania wynosił ok. 6 godzin, a odpad po ługowaniu zawierał jeszcze ok. 1-2% Cu.

W celu zintensyfikowania operacji ługowania Chmielewski [13] proponował ługowanie roztworem siarczanu żelazowego z jednoczesną regeneracją czynnika trawiącego pod ciśnieniem tlenu. Ługowanie z jednoczesną regeneracją stworzyło szereg możliwości udoskonalenia procesu technologicznego. Ponieważ faza stała po ługowaniu zawierała nadal 1-2% miedzi, skoncentrowano się nad poznaniem przyczyn zahamowania procesu ługowania. Korozyjny charakter rozpuszczania siarczków miedzi w roztworach utleniaczy a także ich dobre przewodnictwo pozwoliły na wykorzystanie w tym celu badań elektrochemicznych na elektrodach wykonanych z naturalnych siarczków miedzi, które wchodziły w skład ługowanego koncentratu.

2. Badania własne

2.1. Materiały i aparatura

Próby ciśnieniowego ługowania z jednoczesną regeneracją prowadzono, używając koncentratu flotacyjnego z KGHM Lublin. Wszystkie badania prowadzono przy użyciu tej samej partii koncentratu w celu wyeliminowania ewentualnego wpływu jego składu na wyniki badań. Próbkę koncentratu poddawano wstępnemu ługowaniu do zawartości miedzi ok. 14%, która odpowiadała zawartości miedzi w koncentracie po I stopniu ługowania konwencjonalnego za pomocą stężonego roztworu siarczanu żelazowego. Wynika to ze zmian składu mineralogicznego obserwowanych w czasie trójstopniowego ługowania surowego koncentratu flotacyjnego (24% Cu, 2% Fe, 20% dolomitu) w stężonym roztworze $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ [2]. Zmiany te, przedstawione schematycznie na rys. 1 wykazują, że po I stopniu ługowania do roztworu przechodzi ok. 50% miedzi. Ten pierwszy, szybki etap ługowania, związany jest z kowelinizacją chalkozynu i wzbogacaniem fazy stałej w trudniej ługujące się siarczki miedzi - głównie w CuS . W drugim, znacznie wolniejszym etapie, siarczki miedzi rozpuszczają się dość równomiernie, natomiast w trzecim stopniu faza stała wzbogaca się o chalkopiryt - najtrudniej w tych warunkach ługujący się siarczek miedzi. Na podstawie zmian składu mineralogicznego ługowanego koncentratu oraz opisanej w literaturze kinetyki rozpuszczania poszczególnych siarczków miedzi [3-12] uznano, że intensyfikacja powinna dotyczyć II i III stopnia ługowania, czyli ługowania koncentratu, z którego wyługowano ok. 50% początkowej zawartości miedzi.



Rys. 1. Względne zmiany składu mineralogicznego koncentratu żugowanego trójstopniowo stężonym roztworem siarczynu żelazowego. (na podstawie danych Łętowskiego [2])

Skład roztworu żugującego przyjęto zgodnie z założeniami technologii [1]. Początkowe stężenie żelaza (III) wynosiło ok. 30 gFe/dm^3 , kwasu siarkowego $40\text{--}80 \text{ gH}_2\text{SO}_4/\text{dm}^3$ i miedzi $15\text{--}20 \text{ gCu/dm}^3$.

Badania nad ciśnieniowym żugowaniem koncentratu miedziowego prowadzono w autoklawie o pojemności 2 dm^3 wykonanej ze stali kwasoodpornej i wyposażonej w mieszadło-turbinkę zapewniające nasycenie roztworu tlenem. Temperaturę procesu regulowano za pomocą termometru kontaktowego z dokładnością $\pm 2 \text{ K}$. Zawory w pokrywie autoklawu zapewniły doprowadzenie tlenu pod żądanym ciśnieniem, mierzonym za pomocą manometru z dokładnością $\pm 10 \text{ kPa}$ w zakresie $210\text{--}1000 \text{ kPa}$. W pomiarach ciśnienia uwzględniano prężność pary wodnej w temperaturze procesu.

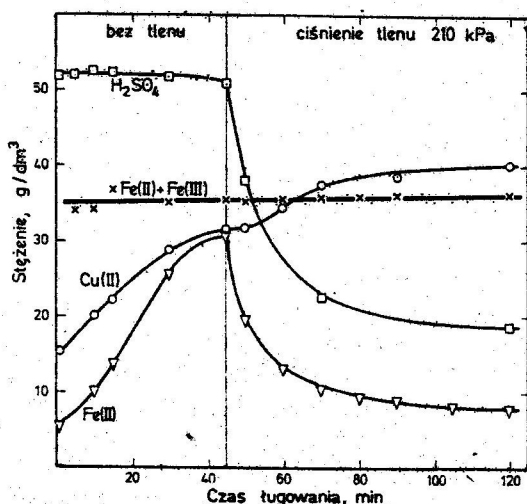
Żugowania prowadzono w temperaturze 368 K . Po ustaleniu temperatury do autoklawu wprowadzano tlen pod ciśnieniem i włączano mieszadło, które rozbiło szklane naczynie z koncentratem, rozpoczynając w ten sposób proces żugowania. W trakcie żugowania pobierano próbki. Analizowano stężenia Cu(II) , Fe(II) , sumy Fe i H_2SO_4 w roztworze oraz Cu i Fe w fazie stałej.

Pomiary elektrochemiczne prowadzono w roztworze H_2SO_4 na elektrodach wykonanych z naturalnych siarczaków (chalkozyn, kowelin, bornit i chalkopiryt), które w trójelektrodowym układzie pomiarowym stanowiły elektrodę badaną. Rejestrowano anodowe krzywe woltamperometryczne w ustalonym dla danego siarczaku zakresie potencjałów. Stosowano zestaw pomiarowy składający się z potencjostatu PS-80, generatora typ 711 (Unipan) oraz rejestratora XY (Sefram).

/ 2.2. Wyniki badań i ich dyskusja

Skutki wprowadzenia tlenu pod ciśnieniem do reaktora można obserwować na rys. 2, przedstawiającym zmiany stężeń Cu(II) , Fe(II) , sumy Fe i H_2SO_4 w trakcie procesu ługowania prowadzonego w ten sposób, że po 45 minutach konwencjonalnego ługowania koncentratu roztworem $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ do układu wprowadzony był tlen pod ciśnieniem 210 kPa. Po widocznym zahamowaniu procesu ługowania po 45 minutach, wywołanym spadkiem stężenia czynnika ługującego, następuje ponowny wzrost szybkości ługowania w obecności tlenu. Mamy w tym przypadku do czynienia z dwoma procesami chemicznymi; ługowaniem - w którym następuje zużywanie się czynnika trawiącego (redukcja Fe(III) do Fe(II)); oraz regeneracją - podczas której żelazo (II) zostaje ponownie utlenione tlenem do żelaza (III). Ponieważ w warunkach prowadzonego procesu szybkość regeneracji była większa niż szybkość ługowania, następuje korzystny dla ługowania wzrost stężenia żelaza (III) w roztworze.

Wpływ ciśnienia tlenu na szybkość ługowania miedzi badano w zakresie 210-1000 kPa. Na rys. 3 przedstawiono zmiany stężenia miedzi (II) w roztworze oraz zmiany zawartości miedzi w ługowanym koncentracie podczas ługowania prowadzonego pod ciśnieniem tlenu; 210, 510 i 1000 kPa. Z zależności tych wynika istotny wpływ ciśnienia parcjalego tlenu na szybkość procesu ługowania. Jak dowiodły wcześniejsze badania nad ciśnieniowym utlenianiem żelaza (II) do żelaza (III) [13, 14], ze wzrostem ciśnienia parcjalego tlenu rośnie szybkość utleniania Fe(II) do Fe(III) .

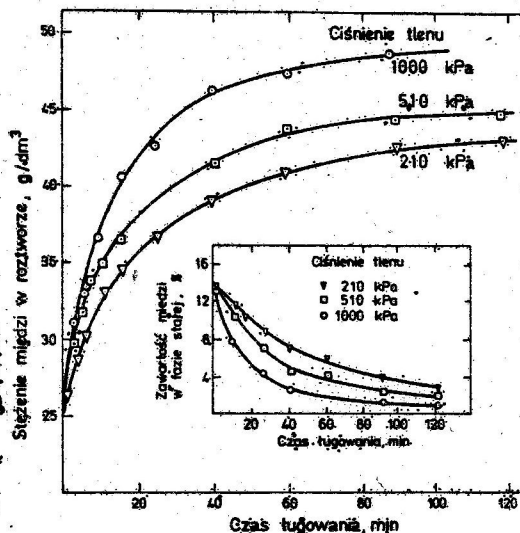


Rys. 2. Zmiany stężeń Cu(II) , Fe(II) , H_2SO_4 i sumy Fe w roztworze podczas ługowania koncentratu. Do czasu 45 min. ługowanie prowadzono bez dostępu tlenu, po czym wprowadzono tlen pod ciśnieniem 210 kPa.

$(c_{\text{Fe(III)}}^0 = 30 \text{ g/dm}^3, c_{\text{H}_2\text{SO}_4}^0 = 52 \text{ g/dm}^3, c_{\text{Cu(II)}}^0 = 15 \text{ g/dm}^3, T = 368\text{K}, \text{stosunek faz s/l}=1:4,5; \text{koncentrat po I stopniu ługowania})$

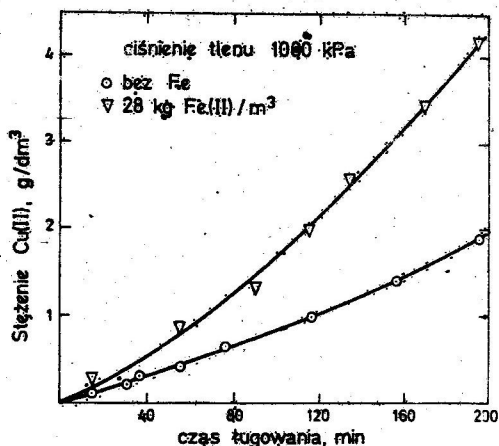
Rys.3. Zmiany stężenia miedzi(II) w roztworze i zmiany zawartości miedzi w koncentracie podczas ługowania pod ciśnieniem tlenu: 210, 510 i 1000 kPa.

($c_{\text{Fe(III)}}^0 = 30 \text{ g/dm}^3$, $c_{\text{H}_2\text{SO}_4}^0 = 50 \text{ g/dm}^3$, $c_{\text{Cu(II)}}^0 = 20 \text{ g/dm}^3$, $T = 368 \text{ K}$)



Rys. 4. Zmiany stężenia miedzi(II) podczas ługowania koncentratu tlenem w roztworze kwasu siarkowego oraz w tych samych warunkach w obecności FeSO_4 o stężeniu 30 g/dm^3

($c_{\text{H}_2\text{SO}_4}^0 = 50 \text{ g/dm}^3$, stosunek faz $s/l=1:8$, $p_{\text{O}_2}=1000 \text{ kPa}$, $T=368 \text{ K}$, szybkość mieszania - 120 min^{-1})



Rośnie więc stężenie czynnika ługującego w układzie. Nie można również na tym etapie badań wykluczyć bezpośredniego udziału tlenu w procesie ługowania.

Zaobserwowano, że wpływ ciśnienia parcjalnego tlenu jest szczególnie widoczny w pierwszej fazie ługowania (do 40-50 minut). Po obniżeniu zawartości miedzi w ługowanym koncentracie do ok. 1-2 % zwiększenie ciśnienia tlenu nie powoduje oczekiwanych skutków w postaci dalszego przyspieszenia procesu. Analiza fazy stałej po ługowaniu wykazała, że pozostała miedź znajduje się w niej w postaci chalkopirytu.

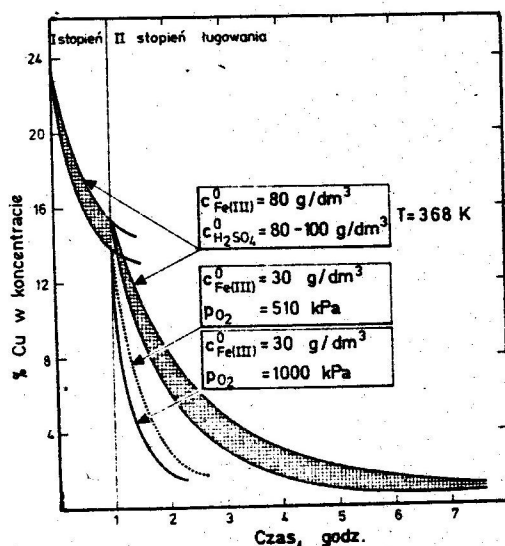
Wpływ stężenia kwasu siarkowego na szybkość ługowania w badanym

zakresie 40–80 gH₂SO₄/dm³ okazał się niewielki. Fakt ten jest zgodny z danymi większości autorów, którzy badali wpływ stężenia kwasu siarkowego na szybkość ługowania poszczególnych siarczków miedzi.

Rolę tlenu w procesie ługowania ciśnieniowego prześledzić można na podstawie zależności stężenia miedzi (II) w roztworze od czasu ługowania koncentratu tlenem pod ciśnieniem 1000 kPa w obecności żelaza (II) i bez żelaza (rys. 4). Z przebiegu krzywych na rys. 4 wynika, że w obecności żelaza (II) obserwuje się znaczne przyspieszenie procesu ługowania. W wyniku utlenienia żelaza (II) do (III) tlenem wzrasta bowiem agresywność roztworu ługującego. Czynnikiem ługującym o dominującym znaczeniu staje się więc żelazo (III), a rola tlenu w układzie ogranicza się do regeneracji Fe(II) do Fe(III).

Dla wykazania skuteczności metody ługowania ciśnieniowego w hydrometalurgicznej przeróbce koncentratu miedziowego zestawiono wyniki ługowań konwencjonalnych za pomocą stężonego roztworu Fe₂(SO₄)₃ [15] z wynikami otrzymanymi przy zastosowaniu metody ciśnieniowej z jednoczesną regeneracją (rys. 5). Przebiegi zmian zawartości miedzi w koncentracie w czasie ługowania dla obu metod wykazują celowość zastosowania ługowania ciśnieniowego. Można w ten sposób prawie trzykrotnie skrócić czas ługowania miedzi z koncentratu po I stopniu ługowania konwencjonalnego, a także znacznie obniżyć stężenie żelaza(III) w roztworze.

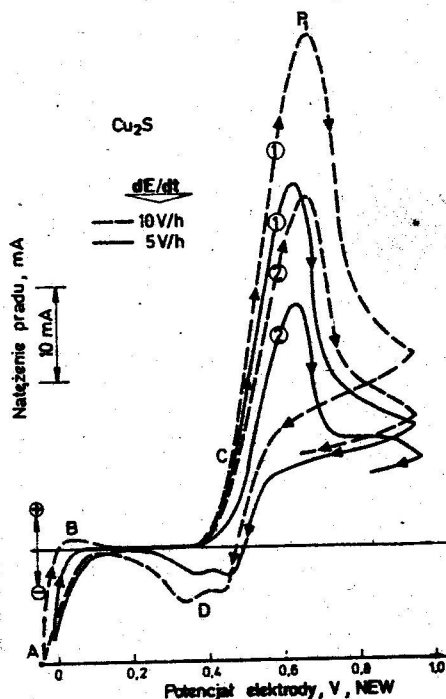
Stwierdzono, że w trakcie ługowania ciśnieniowego obserwuje się, podobnie jak w ługowaniu konwencjonalnym, zahamowanie procesu rozpuszczania miedzi, gdy jej zawartość w ługowanym koncentracie osiąga 1–2 %. Nie wyługowana miedź pozostaje w fazie stałej w postaci chalkopirytu.



Rys. 5. Porównanie szybkości ługowania ciśnieniowego i konwencjonalnego. Grube linie ilustrują zmiany zawartości miedzi w koncentracie podczas dwustopniowego ługowania stężonym roztworem siarczanu żelazowego (80 gFe/dm³). Linie cienkie ilustrują zmiany zawartości miedzi w koncentracie podczas ługowania ciśnieniowego w roztworze o obniżonym do 30 g/dm³ stężeniu żelaza(III).

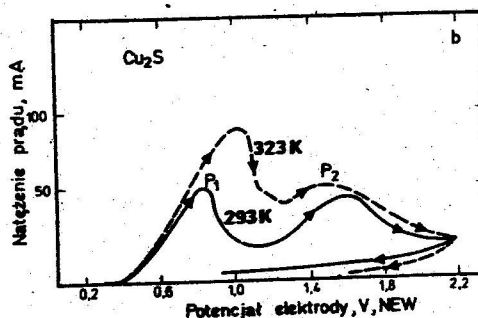
W celu zbadania przyczyn hamowania procesu rozpuszczania poszczególnych siarczków miedzi oraz uzasadnienia różnych podatności tych siarczków na ługowanie kwaśnymi roztworami utleniaczy wykonano pomiary elektrochemiczne. W szczególności skoncentrowano się na określeniu warunków tworzenia warstewek produktów na powierzchni ługowanych minerałów i wpływu tych warstewek na proces rozpuszczania. Potencjał, jaki badany siarczek miedzi osiąga w roztworze w obecności utleniacza był modelowany przez spolaryzowanie elektrody wykonanej z tego siarczku potencjałem liniowo zmieniającym się w czasie. Stąd mierzony prąd, odpowiadający szybkości rozpuszczania, charakteryzował kinetyczne efekty obecności produktów rozpuszczania na powierzchni poszczególnych siarczków.

Wcześniejsze badania nad polaryzacją elektrod; chalkozynowej, kowelinowej, bornitowej i chalkopirytowej [13] uzupełnione danymi literaturowymi nt. kinetyki i mechanizmów rozpuszczania chalkozynu i kowelinu [3-6], bornitu [7-9] oraz chalkopirytu [10-12] pozwoliły zidentyfikować poszczególne reakcje elektrochemiczne zachodzące z udziałem tych minerałów i wytypować zakresy potencjałów odpowiadające procesom anodowym występującym w warunkach ługowania. W pomiarach doprowadzono początkowo do wydzielenia na elektrodach produktów stałych, a następnie określać ich wpływ na dalszy proces rozpuszczania.



Rys. 6. Krzywe polaryzacji anodowej chalkozynu w roztworze kwasu siarkowego o stężeniu 50 g/dm³ w temperaturze 293 K. Szybkości polaryzacji; 5 i 10 V/h, (1, 2 - kolejne cykle pomiarowe)

Rys. 7. Krzywe polaryzacji anodowej chalkozynu w roztworze kwasu siarkowego w temperaturach 293 i 323 K



Na rys. 6 pokazano dwa kolejne cykle anodowe zarejestrowane na chalkozynie w roztworze kwasu siarkowego przy szybkościach polaryzacji 5 i 10 V/h. Pik P_1 występujący na krzywych przy wartościach potencjału powyżej 0,4 V związany jest z pierwszym etapem rozpuszczania Cu_2S i tworzeniem warstewki kowelinu, która hamuje ten etap rozpuszczania;



Rozszerzenie zakresu polaryzacji do ok. 2,2 V (rys. 7) wywołało pojawienie się drugiego pik - P_2 , którego maksimum odpowiada wartości potencjału ok. 1,6 V. Obecność tego pik przypisano hamowaniu drugiego etapu rozpuszczania chalkozynu;

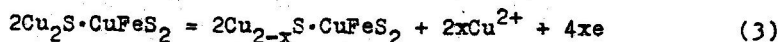
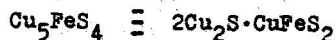


Bezpośrednim powodem hamowania jest więc obecność siarki elementarnej, która powstaje w procesie rozpuszczania. Obserwowane zmniejszenie natężenia prądu - w wyniku wydzielania się siarki - odpowiada zmniejszeniu szybkości ługowania chalkozynu w roztworze utleniaczy.

Trzy kolejne cykle anodowe zmierzone dla naturalnego kowelinu w roztworze H_2SO_4 w temperaturze 293 K przedstawiono na rys. 8. Na krzywych tych obserwuje się pik, którego maksimum leży przy wartościach potencjału znacznie wyższych od wartości potencjału dla pierwszego pik zarejestrowanego dla chalkozynu. Potencjał pik zarejestrowanego dla elektrody kowelinowej odpowiada natomiast wartości potencjału drugiego pik obserwowanego na krzywej rejestrowanej dla elektrody chalkozynowej. Oba piki związane są z hamowaniem procesu rozpuszczania wywołanym tworzeniem warstewki siarki elementarnej. Kolejnym dowodem takiego hamowania jest malejące w kolejnych cyklach natężenie prądu na elektrodzie kowelinowej.

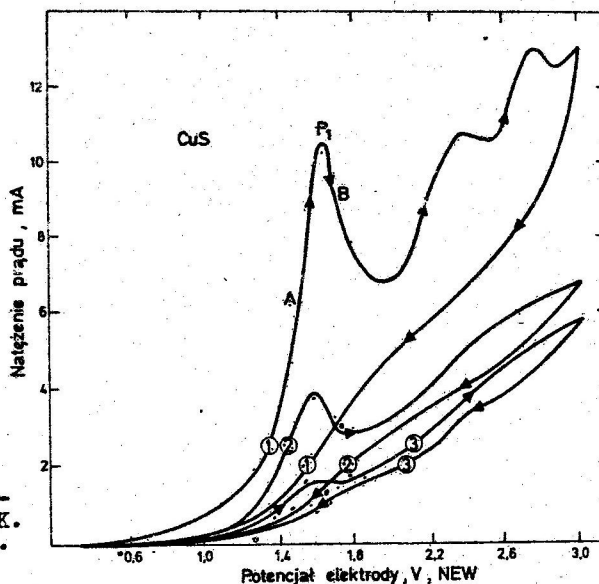
Porównanie przebiegów krzywych anodowych dla chalkozynu i kowelinu ujawnia znaczne nadnapiecie rozpuszczania CuS w porównaniu z nadnapiciem pierwszego etapu rozpuszczania Cu_2S . Wysokie nadnapiecie procesu anodowego jest więc głównym powodem słabej podatności tego minerału na ługowanie roztworami utleniaczy.

Przebieg anodowej krzywej polaryzacyjnej dla naturalnego bornitu pokazano na rys. 9. Na krzywej obserwuje się dwa piki. Pierwszy pik przypisano hamowaniu I etapu rozpuszczania bornitu;

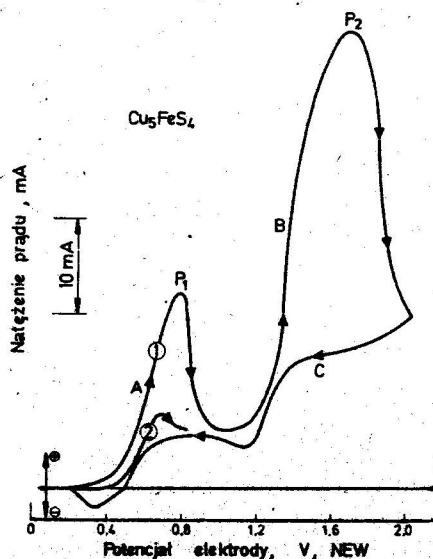


Granicznym przypadkiem tego procesu jest powstanie produktu przejściowego o składzie $2\text{CuS} \cdot \text{CuFeS}_2 \rightleftharpoons \text{Cu}_3\text{FeS}_4$ - idaitu.. Obecność produktu o takim składzie stwierdzili Ugarte i Burkin [16].

Porównanie nad napięć anodowego rozpuszczania i potencjałów pików chalkozynu i bornitu (w pierwszym etapie) wykazuje podobieństwa tych wielkości. W obu tych przypadkach przechodzenie miedzi(II) do roztworu związane jest z procesem jej utleniania w chalkozynie i bornicie ze stopnia +1 na +2.

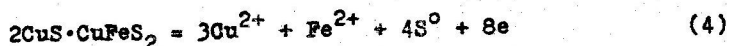


Rys. 8. Przebieg kolejnych cykli anodowych dla kowelinu w roztworze kwasu siarkowego w temperaturze 293K. Szybkość polaryzacji 10V/h.



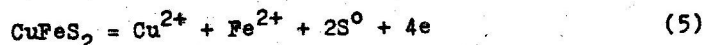
Rys. 9. Krzywa polaryzacyjna elektrody bornitowej w roztworze kwasu siarkowego w temperaturze 293 K. Szybkość polaryzacji 10 V/h.

Pierwszy etap rozpuszczania bornitu jest hamowany w wyniku blokowania powierzchni minerału warstwą powstającego produktu pośredniego - Cu_3FeS_4 . Drugi etap rozpuszczania bornitu prowadzi do wydzielania siarki elementarnej;

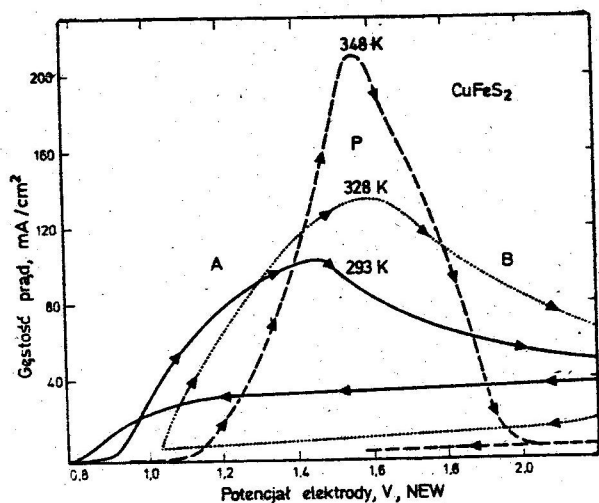


W porównaniu z pierwszym etapem, proces ten biegnie ze znacznym nadnapięciem, o czym świadczy położenie drugiego pików zarejestrowanego dla elektrody bornitowej.

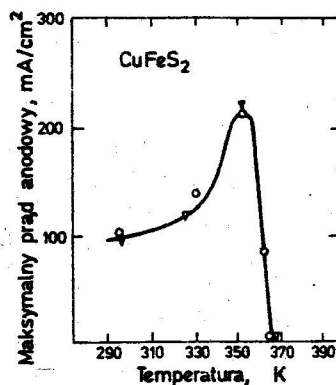
Przebieg krzywych polaryzacyjnych rejestrowanych dla elektrody chalkopirytowej (rys. 10) wskazuje na znaczne nadnapięcie anodowe rozpuszczania tego minerału, porównywalne z nadnapięciem obserwowanym dla kowelinu. Na krzywych tych, przy wartościach potencjału 1,5-1,6 V obserwuje się pik związany z hamowaniem procesu rozpuszczania CuFeS_2 przez warstwą siarki elementarnej powstającej w procesie anodowego rozpuszczania chalkopirytu:



Zdolność hamowania procesu rozpuszczania przez warstwą siarki zmienia się z temperaturą. Stwierdzono, że prąd pikowy rośnie z temperaturą do ok. 348 K, zaś powyżej tej temperatury zmniejsza się znacznie. Na rys. 11 po-



Rys. 10. Przebiegi krzywych polaryzacji anodowej chalkopirytu w roztworze kwasu siarkowego. Szybkość polaryzacji 10 V/h.



Rys. 11. Zależność prądu pikowego od temperatury dla elektrody chalkopirytowej w roztworze kwasu siarkowego.

kazano zależność prądu pików, zarejestrowanych dla dwu próbek chalkopiryty, od temperatury. Można w związku z tym uważać, że pod wpływem temperatury następuje zmiana fizycznych własności siarki powstającej na powierzchni rozpuszczanego chalkopiryty. Zmiana ta jest najlepiej widoczna w temperaturach przekraczających 348K, tj. w warunkach, kiedy siarka staje się plastyczna i dobrze związana z powierzchnią chalkopiryty.

Pomiary krzywych polaryzacyjnych dla elektrod z naturalnych siarczków miedzi pozwoliły wykazać, że rozpuszczanie chalkozynu i bornitu jest procesem dwuetapowym o niskim nad napięciu pierwszego etapu rozpuszczania. Kowelin i chalkopiryt rozpuszczają się natomiast ze znacznym nad napięciem, związanym z utlenianiem siarki siarczkowej i tworzeniem warstewki siarki elementarnej. Przyjęto, że uzyskane zależności prąd-potencjał stanowią kryterium podatności siarczków miedzi na ługowanie w kwaśnych roztworach utleniaczy. Sposób zastosowania pomiarów woltamperometrycznych do określania warunków hamowania procesu ługowania siarczków miedzi podano w pracy [17].

3. Wnioski

Wykazano, że metoda ługowania z jednoczesną regeneracją żelaza(III) pod ciśnieniem tlenu stanowi skuteczny sposób intensyfikacji procesu ługowania siarczkowych koncentratów miedzi. Można w ten sposób prawie trzykrotnie skrócić czas operacji ługowania oraz znacznie obniżyć stężenie siarczanu żelazowego w roztworze ługującym w porównaniu z konwencjonalną metodą ługowania koncentratu w stężonych roztworach $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$. Stwierdzono, że wzrost ciśnienia parcjalego tlenu w zakresie 210-1000 kPa wywołuje przyspieszenie procesu ługowania miedzi z koncentratu. Wpływ stężenia kwasu siarkowego w zakresie od 40 do 80 $\text{gH}_2\text{SO}_4/\text{dm}^3$ okazał się natomiast mało istotny.

Wykazano, że w procesie ługowania z jednoczesną regeneracją tlen pełni rolę utleniacza żelaza(II) do żelaza(III), natomiast jego rola jako czynnika bezpośrednio ługującego jest ograniczona.

Przyczyny hamowania procesu rozpuszczania poszczególnych siarczków miedzi określano na podstawie przebiegów krzywych woltamperometrycznych na elektrodach wykonanych z chalkozynu, kowelinu, bornitu i chalkopiryty. Hamowanie rozpuszczania tych siarczków spowodowane jest tworzeniem się warstw stałych produktów na ich powierzchni.

Wykazano, że mała podatność kowelinu i chalkopiryty na ługowanie roztworami siarczanu żelazowego wywołana jest wysokim nad napięciem procesu anodowego rozpuszczania tych siarczków. Bezpośrednią przyczyną silnego hamowania rozpuszczania kowelinu i chalkopiryty jest tworzenie się warstewki siarki elementarnej, której właściwości izolujące są

szczególnie widoczne w temperaturach przekraczających 348 K.

Niskie nad napięcie anodowego rozpuszczania chalkozynu i bornitu przyczynia się do znacznej ich podatności na ługowanie w badanych warunkach.

LITERATURA

- [1] Łętowski P., Michalak S., Kołek A., Kołodziej B., Chmielewski T., Klinghoffer O., Czernecki M., Otrzymywanie miedzi miedzi z siarcz-
kowych koncentratów na drodze hydrometalurgicznej, Patent PRL,
Nr 91919, 1979.
- [2] Łętowski P., dane niepublikowane.
- [3] Sullivan J.D., Trans. Am. Inst. Min. Metall., 106, (1933), 515-546.
- [4] Mulak W., Roczn. Chem., 43, (1969), 1387-1394.
- [5] Kopylov G.A., Orlov A.I., Zhurn. Irkutsk. Politchn. Inst., 46,
(1969), 127-132.
- [6] Thomas G., Ingraham T.R., MacDonald R.J.C., Can. Met. Q., 6,
(1967), 281-291.
- [-7] Sullivan J.D., W. S. Bur. Mines, Rept. Invest., 486.
- [8] Kopylov G.A., Orlov A.I., Izv. Vyssh. Utsch. Zav. Tsvet. Metall.,
6, (1963), 68-74.
- [9] Dutrizac J.E., MacDonald R.J.C., Ingraham T.R., Metall. Trans., 1,
(1970), 225-231.
- [10] Ichikuni M., Bull. Chem. Soc. Japan, 33, (1960), 1159-1166.
- [11] Dutrizac J.E., MacDonald R.J.C., Ingraham T.R., Trans. Metall. Soc.
AIME, 245, (1969), 955-959.
- [12] Ferreira R.C.H., Burkin A.R., "Acid leaching of chalcopyrite",
in; Leaching and Reduction in Hydrometallurgy, edited by Burkin
A.R., Inst. Min. and Metall., London 1975, pp 54-66.
- [13] Chmielewski T., Praca doktorska, Politechnika Wrocławska, 1982.
- [14] Chmielewski T., Charewicz W.A., Hydrometallurgy, 12, (1984), 21-30.
- [15] Łętowski P., Kołodziej B., Czernecki M., Jędrzak A., Adamski Z.,
Hydrometallurgy, 4, (1978), 169.
- [16] Ugarte F.J., Burkin A.R., "Mechanism of formation of idaite from
bornite by leaching with ferrie sulphate solution", in; Leaching
and Reduction in Hydrometallurgy, edited by Burkin A.R., Inst.
Min. and Metall., London 1975.
- [17] Chmielewski T., Lekki J., Zastosowanie pomiarów woltamperometrycz-
nych do określania warunków hamowania procesu ługowania siarczków
miedzi, XI Seminarium; "Procesy technologiczne surowców mineral-

nych z uwzględnieniem międzyfazowych zjawisk powierzchniowych w układach zdyspergowanych", Baranów Sand., 1984.

ELECTROCHEMICAL ASPECTS OF INTENSIFICATION OF THE LEACHING OF SULPHIDE COPPER CONCENTRATE

The investigation is presented on leaching of copper sulphide concentrates by applying the oxygen under pressure with simultaneous regeneration of the leaching agent. The oxygen pressure was determined to be the most important for accelerating the examined process while the influence of sulphuric acid concentration on the leaching rate was not significant.

The inhibition of dissolution of copper sulphides was observed in the course of leaching process. This was explained in the light of electrochemical measurements with electrodes prepared from natural copper sulphides. It was suggested that inhibition of dissolution of copper sulphides resulted from formation of layers of solid products on the minerals' surface.