

بررسی بازیابی گالن معدن « اِرا » چهاردانگه ساری به روش کنترل الکتروشیمیایی در حضور و عدم حضور کلکتور

محمدباقر اسلامی اندارگلی^۱؛ سهیل مشرفی^۲

(۱) و (۲) اعضاء هیأت علمی مهندسی استخراج معدن دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه
مازندران - سوادکوه - پل سفید - دانشگاه آزاد اسلامی واحد سوادکوه - گروه مهندسی معدن
تلفن: ۵۲۲۱۷۷۴ - ۰۱۲۴ و ۶۵۰۷ - ۱۲۸ - ۰۹۱۱ دورنگار: ۵۲۲۳۰۱۵ - ۰۱۲۴
Email: v_esl136@yahoo.com
Email: vhdeslami@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق تأثیر محیط‌های الکتروشیمیایی مختلف در خاصیت شناوری گالن بررسی گردید. این محیط‌های الکتروشیمیایی شامل آسیای گلوله‌ای جهت خردایش کانسنگ گالن و سلول فلوتاسیون دنور جهت شناوری گالن بوده است. به منظور دستیابی به حداکثر بازیابی از محلول هیپوسولفیت سدیم در غلظتهای ۰/۰۶ و ۰/۱۲ مولار و گازهای نیتروژن و هوا به منظور کنترل پتانسیل پالپ در سلول فلوتاسیون دنور استفاده شد. نمونه کانسنگ گالن از معدن « اِرا » بخش چهاردانگه کیاسر شهرستان ساری است که شامل کانی گالن (PbS) به میزان تقریبی حداقل ۲۲ درصد، فلورین (CaF₂) ۷۳/۳۷ درصد و کوارتز (SiO₂) ۲/۵۴ درصد و کانی‌های سرروزیت (PbCO₃) و کائولینیت (Al₂Si₂O₅(OH)₄) به مقدار جزئی نیز موجود است. حداکثر بازیابی گالن پس از انجام مراحل آماده‌سازی و فلوتاسیون کانسنگ گالن در محلول ۰/۱۲ مولار هیپوسولفیت سدیم رخ داده است. حداکثر بازیابی در این محلول در حضور و عدم حضور کلکتور (KAX) در حدود پتانسیل ۲۸۰ تا ۳۵۰ میلی‌ولت به ترتیب ۸۵٪ و ۶۳٪ است. در صورتی که بازیابی گالن در آب در حضور و عدم حضور کلکتور (KAX) به ترتیب ۷۰٪ و ۵۲٪ و در حدود پتانسیل ۱۷۵ تا ۲۱۰ میلی‌ولت رخ می‌دهد.

کلمات کلیدی: گالن، الکتروشیمیایی، هیپوسولفیت سدیم، پتانسیل پالپ، کلکتور، فلوتاسیون.

Investigation Recovery Of Lead Ore By Means Of Electrochemical In The Presence And Absence Of Collector

Mohammad Bagher Eslami Andargoli, Soheil Moshrefi

Abstract

In this experiment, the effect of various electrochemical environments in the flotation of galena was examined. The electrochemical environments, consisting of ball mill for grinding galena ore and Denver flotation cell for flotation of galena. In order to reach the maximum recovery of sodium hyposulfite at the densities of 0.06 and 0.12 molar and gases of nitrogen and air has been used to control the pulp potential in Denver flotation cell. The sample of galena are is from "Era mine" of Kiyasar from Sari in Iran which contains: Galena mineral estimated rate of at least 22%, 73.37% Florin (CaF₂), 2.54% Quartz (SiO₂) and others minerals like Cerussite (PbCO₃) and Kaolinite (Al₂Si₂O₅(OH)₄) in a low cuntitres. The process and floatation of galena are in %12 molar sodium hyposulfite solution. The amount of recovery in this solution in the presence and absence of potassium amyl xanthate (KAX) at an estimated potential of 280 to 350 mv is 85% and 63% respectively. Where this amount of recovery galena in water in present and absence of collector K.A.X. would be 70% and 52% at an approximate potential of 175 to 210 mv.

Key words: Galena, Electrochemical, Sodium Hyposulfite, pulp potential, Collector, Flotation.

هرکانی سولفیدی، پتانسیل ساکن متفاوتی داشته و حتی همان کانی از مکان‌های متفاوت، پتانسیل‌های ساکن متفاوتی دارد. بارخردایش فولادی، پتانسیل ساکن پایین‌تری در مقایسه با کانی‌های سولفیدی دارد. تماس گالوانیکی بین کانی‌های سولفیدی یا بین بارخردایش و کانی‌ها، خاصیت شناوری کانی‌های سولفیدی را متأثر می‌سازد. با توجه به این که پتانسیل‌های ساکن کانی‌های سولفیدی بیشتر از پتانسیل ساکن بارخردایش فولادی است لذا کانی‌های سولفیدی به صورت کاتد و بارخردایش فولادی به صورت آند عمل می‌کنند. در عملیات خردایش، کانی‌ها و بارخردایش فولادی پیوسته در تماس با یکدیگر بوده و جریان گالوانیکی بین آنها برقرار می‌گردد. حضور اکسیژن در پالپ منجر به پتانسیل‌های ساکن نجیب‌تر می‌شود. در تأثیر متقابل کانی - کانی، کانی با پتانسیل بالاتر به صورت کاتد و کانی با پتانسیل پایین‌تر به صورت آند عمل می‌کند. تأثیرات متقابل گالوانیکی در یک سیستم چند کانی - بارخردایش فولادی، پیچیده‌تر از سیستم‌های دوتایی می‌باشد. این تأثیرات نتیجه پتانسیل ترکیبی است [۱]، [۳]، [۵]، [۹]، [۱۱]، [۱۲]. حضور اکسیژن نیز تأثیرات متقابل گالوانیکی را افزایش می‌دهد [۲]، [۷]، [۸]، [۱۰].

مطالعات ولتامتری سیکلی محققین نشان می‌دهد که مرحله اولیه اکسیداسیون گالن بصورت زیر است:



و واکنش گالن در محلولهای قلیایی بصورت زیر است:



هو و کانوی (۱۹۷۸)، $\text{Pb}(\text{OH})_2$ را بعنوان یک لایه منفعل در سطح گالن معرفی کردند. بنابراین انتخاب گلوله‌ها و میله‌های سرامیکی یا ضد زنگ، هوادهی با نیتروژن، خردکردن کانی به طور جداگانه و ترکیب صحیحی از آنها قبل از فلوتاسیون از پارامترهای مؤثر برای کم کردن تأثیرات متقابل گالوانیکی هستند [۲].

ترکیب شیمیایی و مینرالوژی کانسنگ گالن

در این تحقیق نمونه کانسنگ گالن از معدن «اِ را» بخش چهاردانگه کیاسر شهرستان ساری است. ترکیب شیمیایی و مینرالوژی کانسنگ گالن مورد مطالعه در جدول‌های (۱) و (۲) خلاصه شده است. نمونه کانسنگ گالن شامل کانی گالن (PbS) به میزان تقریبی حداقل ۲۲ درصد، فلورین (CaF_2) ۷۳/۳۷ درصد و کوارتز (SiO_2) ۲/۵۴ درصد و کانی‌های سروزیت (PbCO_3) و کائولینیت ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) به مقدار جزئی نیز وجود دارد.

جدول ۱ - ترکیب شیمیایی نمونه کانسنگ گالن

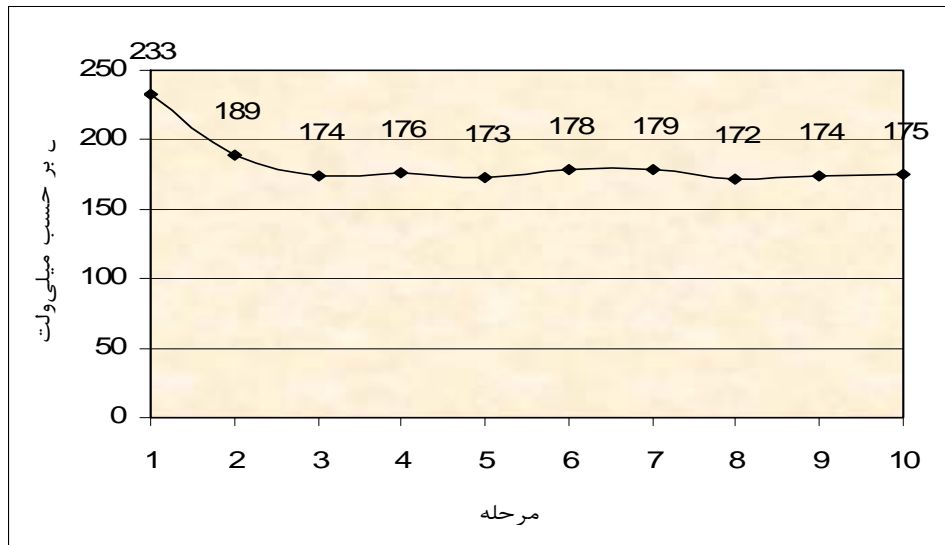
SiO_2 %	Al_2O_3 %	Fe_2O_3 %	Ca %	F %	Pb %	S %	Na_2O %	MgO %	L.O.I %
۲/۵۷۳	۰/۴۷	۰/۲۶	۳۷/۳۲	۳۵/۴۳	۲۰/۱۳	۳/۰۲	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۹

جدول ۲ - ترکیب مینرالوژی نمونه گالن

گالن (PbS) %	فلورین (CaF_2) %	کوارتز (SiO_2) %	سروزیت و کائولینیت و ... %
۲۲/۰۳	۷۳ / ۳۷	۲ / ۵۴	۲/۰۶

روشهای آماده‌سازی و آزمایش‌های فلوتاسیون

- ۱- نمونه کانسنگ در یک آسیای گلوله‌ای فولادی تر به مدت ۷ دقیقه تا زیر ۱۰۰ مش (۱۵۰ میکرون) خرد می‌شود.
- ۲- برای آزمایش فلوتاسیون یک کیلوگرم نمونه زیر ۱۰۰ مش در یک ظرف ۲ لیتری سلول دنور آماده می‌شود.
- ۳- آماده‌سازی و آزمایش فلوتاسیون در محلولهای هیپوسولفیت سدیم ۰/۰۶ مولار ، ۰/۱۲ مولار و آب به طور جداگانه انجام می‌شود.
- ۴- از محلول هیپوسولفیت یا هیپوسولفیت سدیم ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) برای کنترل پتانسیل استفاده شده و بلافاصله قبل از هر آزمایش تهیه می‌گردد.
- ۵- آمیل گزنات پتاسیم (KAX) به عنوان کلکتور در آزمایشهای فلوتاسیون استفاده می‌شود. این کلکتور دو بار از محلول استن کریستالیزه شده و در یخچال نگهداری می‌گردد. غلظت بهینه کلکتور در آزمایشات ۰/۱ کیلوگرم بازاء هر تن است.
- ۶- از روغن کاج به عنوان کف ساز استفاده می‌گردد.
- ۷- از بی‌کربنات سدیم (Na_2CO_3) نرمال و اسیدسولفوریک (H_2SO_4) نرمال برای کنترل و ثابت نگهداشتن pH پالپ فلوتاسیون استفاده می‌گردد.
- ۸- گاز مورد استفاده در آزمایشات فلوتاسیون هوا و نیتروژن می‌باشد.
- ۹- در طی مراحل آماده‌سازی و فرآیند فلوتاسیون پتانسیل پالپ با الکتروود پلاتین کنترل می‌گردد.
- ۱۰- میزان خطای کنترل پتانسیل پالپ در یک پتانسیل معین اکسایشی یا کاهش ± 20 میلی‌ولت می‌باشد.
- ۱۱- بازیابی فلوتاسیون یا با وزن کردن بخش کنسانتره و باطله و یا از طریق محاسبات متالورژیکی محاسبه می‌شود. در کلیه آزمایشهای فلوتاسیون از دستگاه فلوتاسیون « دنور » استفاده شده است. مقادیر پتانسیل با یک الکتروود ریدوکس ترکیبی و pH نیز با همان الکتروود که به دستگاه دو منظوره متصل است کنترل می‌گردد. پتانسیل پالپ در مدار خردایش به علت وجود شرایط احیایی معمولاً پایین است. لذا با هوادهی در هنگام شناورسازی پتانسیل پالپ افزایش می‌یابد. حدود پتانسیل آندی با هوا و حدود پتانسیل کاتدی با نیتروژن و محلول هیپوسولفیت سدیم تنظیم می‌گردد. شکل (۱) نمونه‌ای از پتانسیل مراحل آماده‌سازی و فلوتاسیون در آب را نشان می‌دهد.



شکل ۱- مقادیر پتانسیل پالپ در طول مراحل آماده‌سازی و آزمایش فلوتاسیون در آب

- مرحله (۱): پتانسیل پالپ پس از ۷ دقیقه خردایش و ۲ دقیقه هم‌زدن در سلول (مقدار پتانسیل ۲۳۳ میلی‌ولت).
- مرحله (۲): تنظیم pH پالپ در مقدار ۸/۵ با بی‌کربنات سدیم به مدت ۵ دقیقه ، پتانسیل آماده‌سازی ۱۸۹ میلی‌ولت.

مرحله (۳): افزودن بازدارنده سیلیکات سدیم (Na_2SiO_3) به میزان 500 gr/t (به مقدار 25 cc محلول 5%) زمان آماده‌سازی به مدت 7 دقیقه و پتانسیل 174 میلی‌ولت .

مرحله (۴): افزودن کلکتور آمیل گزنات پتاسیم (KAX) به میزان 250 gr/t (به مقدار 15 cc محلول 1%) زمان آماده‌سازی 2 دقیقه و پتانسیل 176 میلی‌ولت.

مرحله (۵): افزودن یک قطره روغن کاج به عنوان کف‌ساز به پالپ و آماده‌سازی به مدت 1 دقیقه و شروع هوادهی؛ پتانسیل 173 میلی‌ولت .

مراحل (۶) الی (۱۰): عملیات کف‌گیری می‌باشد.

بحث و بررسی

۱- فرآیندهای الکتروشیمیایی در محلول الکترولیت و سطح کانی گالن

اکثر فلزات و کانی‌ها وقتی در تماس گالوانیکی با یک الکترولیک قرار می‌گیرند، به شدت خورده می‌شوند. خردایش را می‌توان به تعداد زیادی کوپل‌های گالوانیکی میکروسکوپی در سطح کانی‌ها یا فلزات نسبت داد. ترکیب الکترولیت، محیط اطراف کانی، سرعت جریان، غلظت گازهای محلول و خیلی عوامل دیگر روی پتانسیل تأثیر می‌گذارد. بنابراین پتانسیل الکتروشیمیایی در سراسر سطح کانی تغییر خواهد کرد. معادله نرنست برای سیستم‌های سولفیت - سولفات و هیپوسولفیت - سولفیت به شرح ذیل است:

(الف) سیستم هیپوسولفیت - سولفیت:

$$E_h = +0.252 - \frac{0.059}{2} \log \frac{[S_2O_4^{=}]^2}{[SO_3^{=}]} - 2(0.059) pH \quad (3)$$

(ب) سیستم سولفیت - سولفات:

$$E_h = -0.074 - \frac{0.059}{2} \log \frac{[SO_3^{=}]}{[SO_4^{=}]} - 0.059 pH \quad (4)$$

همچنین معادلات الکتروشیمیایی سیستم‌های مذکور که در الکتروپلاتین رخ می‌دهد به شرح ذیل می‌باشد:



فرآیندهایی که در سطح کانی واقع در الکترولیت رخ می‌دهد بدین صورت است که در بخش‌های آندی که پتانسیل الکترونگاتیو هستند، الکترون‌های آزاد از آند به کاتد انتقال می‌یابند. در سطح کاتد الکترون به وسیله عوامل احیاء جمع آوری می‌شوند. به طور کلی حفره‌ها، ترکها، چاله‌ها، خراش‌ها، گوشه‌های سطح و به طور کلی قسمت‌های کمی از سطح کانی، آندی می‌باشند. واکنش در سطح گالن در سیستم بارخردایش فولادی - گالن به میزان تماس گالوانیکی آنها در مدار خردایش بستگی دارد. در سطح گالن (کاتد) اکسیژن جذب شده مطابق واکنش ذیل احیاء می‌شود:



و واکنش آندی در سطح گلوله فولادی مطابق معادله ذیل صورت می‌گیرد:



آزمایشات فلوتاسیون نشان می‌دهد که هیدروکسید آهن ناشی از معادله (۱۰)، خاصیت شناوری گالن را به شدت کاهش می‌دهد. به علاوه کاهش تدریجی در بازیابی گالن در اتمسفرهای هوا یا اکسیژن مشاهده می‌شود، در صورتی که در حضور هیپوسولفیت سدیم بازیابی افزایش می‌یابد. تشکیل سولفور عنصری فرضیه‌ای است که مسئول بهبود خاصیت شناوری است. وقتی هیپوسولفیت سدیم به آب مقطر اضافه می‌شود در شروع محلول بی‌رنگ است اما به رنگ زرد سفید تغییر می‌یابد و pH محلول اسیدی می‌شود. این نشان می‌دهد که تشکیل سولفور عنصری در محلول مطابق با واکنش ذیل است:

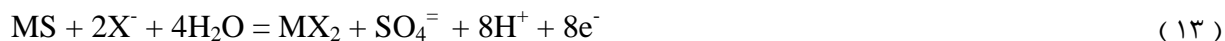


از نقطه نظر پتانسیل پالپ، پراکسید هیدروژن عامل اکسایش است و پتانسیل پالپ با افزودن پراکسید هیدروژن آندی‌تر می‌شود. اکسیداسیون بیش از حد ممکن است منتهی به کاهش شدید بازیابی و یا حتی بازداشت کانی گردد. شناوری کانی‌های سولفیدی با یک مکانیزم الکتروشیمیایی به وقوع می‌پیوندد که درگیر فرآیندهای اکسیداسیون آندی کانی‌ها و کلکتور و فرآیند کاهش کاتدی اکسیژن است. با مقایسه پتانسیل‌های اندازه‌گیری شده الکترودهای کانی در محلولهای حاوی زنتات با پتاسیل ریدوکس $\text{X}^- - \text{X}_2$ ، ثابت شده است که در سطح کانی‌های با پتانسیل بیش از پتانسیل ریدوکس زنتات-دی‌زنتوژن، دی‌زنتوژن (X_2) تشکیل و در سطح کانی‌های با پتانسیل کمتر از این پتانسیل، زنتات فلزی (MX_2) تشکیل می‌گردد. خاصیت شناوری ضعیف هنگامی حاصل می‌گردد که پتانسیل پالپ کمتر از پتانسیل تشکیل دی‌زنتوژن بوده و یا اکسیداسیون بیش از حد کانی‌های سولفیدی در پتانسیل خیلی بالا رخ دهد. واکنش کاتدی در شناوری کلکتور القایی کانی‌های سولفیدی احیاء اکسیژن است در صورتی فرآیندهای آندی ممکن است یک یا کل واکنشهای ذیل باشد [۲]، [۴]، [۶]، [۸]:

الف) جذب شیمیایی:



ب) تشکیل زنتات فلزی:



ج) تشکیل دی‌زنتوژن:



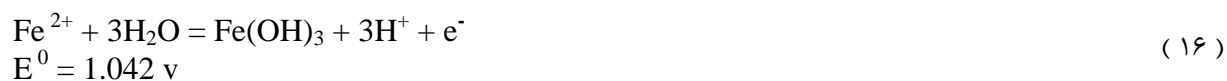
که X^- یون زنتات و X_2 دی‌زنتوژن است. بنابراین، دی‌زنتوژن (X_2) و یا زنتات فلزی (MX_2) مسئول شناوری کانی سولفیدی در حضور زنتات هستند.

در حضور یونهای تترابورات، سولفات، کلرید، سولفیت تشکیل یک لایه اکسید یا هیدروکسید مشکل‌تر خواهد بود و سطح الکتروده از نظر الکتروشیمیایی فعال خواهد شد.

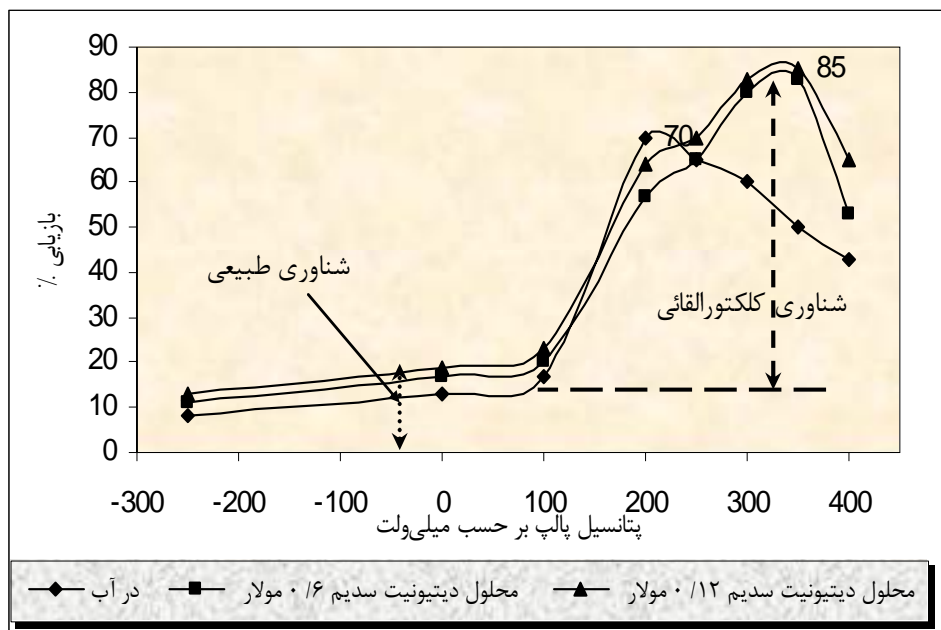
اثر پتانسیل پالپ در شناوری گالن

کانی‌های سولفیدی به طور مؤثری در حضور اکسیژن با کلکتورهای سولفیدریلی زنجیره کوتاه شناور می‌شوند. معمول‌ترین کلکتور در شناوری سولفیدها، کلکتورهای زنتات هستند. مدل اولیه مکانیزم شناوری کانی سولفیدی جذب شیمیایی بوده است اما با گسترش تئوری الکتروشیمیایی، ترکیبی از پتانسیل مخلوطی همراه با جذب شیمیایی مدل قابل قبول‌تری است. بطور کلی، کانی‌های سولفیدی نیمه‌هادی هستند و می‌توانند به عنوان دهنده و گیرنده الکترون عمل کنند. اگر چه پدیده سطح درفلوتاسیون ممکن با واکنش آندی و کاتدی ساده‌ای تفسیر شود ولی آنها معمولاً درگیر تأثیرات متقابل پیچیده‌تری از فرآیندهای شیمیایی و الکتروشیمیایی هستند [۲].

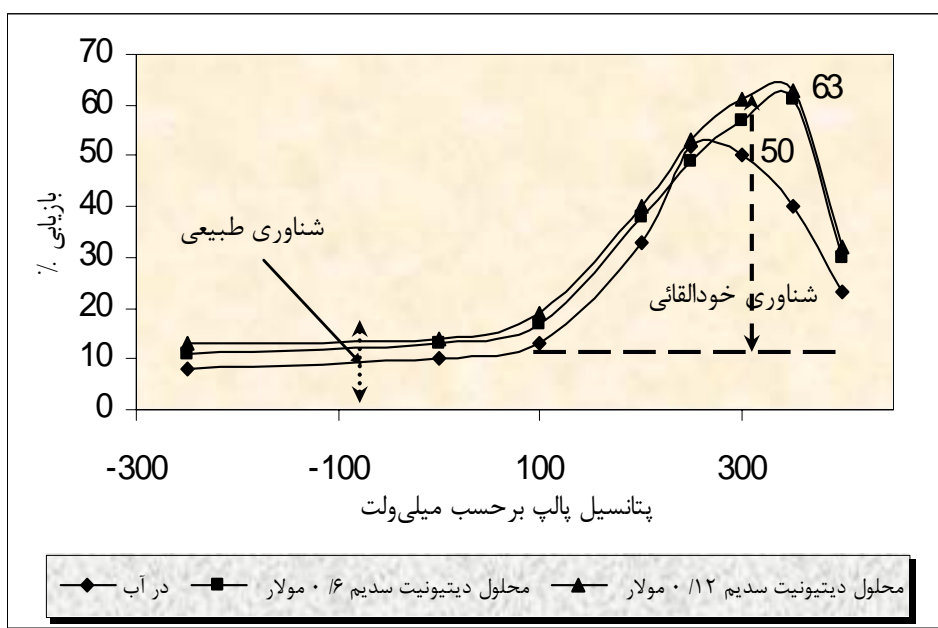
حدود آندی با هوا ایجاد شده در صورتی که حدود کاتدی با هیپوسولفیت سدیم و گاز نیتروژن کنترل می‌شود. کانی گالن در حدود پتانسیل مختلف شناور می‌شود. خاصیت شناوری آن در حدود پتانسیل اکسایشی یا احیاء زیاد، کاهش می‌یابد. بازیابی‌های کم در پتانسیل‌های اکسایشی زیاد بواسطه اکسیداسیون بیش از حد است. بار خردایش فولادی در تماس گالوانیکی با هر سولفید فلزی تحت اکسیداسیون آندی قرار می‌گیرد. در صورتی که احیاء اکسیژن در سطح گالن به صورت واکنش کاتدی می‌باشد. واکنش‌های اکسیداسیون آندی گلوله فولادی به شرح ذیل می‌باشد:



اکسیداسیون گلوله فولادی در تماس گالوانیکی می‌تواند مانع از خوداکسیداسیون گالن شود و با تشکیل پوشش هیدروکسید فریک $\text{Fe}(\text{OH})_3$ روی سطح گالن موجب کاهش خاصیت شناوری گالن گردد. خاصیت شناوری پایین‌تر گالن در آب به واسطه تشکیل هیدروکسید آهن ناشی از تماس گالوانیکی با گلوله‌های فولادی آسیا در مرحله خردایش است. یون آهن ناشی از بار خردایش فولادی آسیا در فلوتاسیون نقش اساسی را بازی می‌کند. یونهای آهن محلول از گلوله‌های فولادی موجب اکسیداسیون سریع زنتات به زنتوزن می‌شوند. در شکلهای (۲) و (۳) اثر پتانسیل پالپ در بازیابی گالن در حضور و عدم حضور کلکتور (KAX) را نشان می‌دهد. حداکثر شناوری کلکتورالقائی گالن در حدود پتانسیل ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلی‌ولت اتفاق می‌افتد (شکل ۲). در پتانسیلهای زیر ۲۵۰ میلی‌ولت به علت کمبود اکسیژن و در پتانسیلهای بالای ۳۵۰ میلی‌ولت به علت اکسیداسیون بیش از حد گالن بازیابی گالن به شدت کاهش می‌یابد. اما حداکثر شناوری خودالقائی (بدون کلکتور Collectorless) گالن در حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌ولت رخ می‌دهد (شکل ۳). در این شرایط نیز شناوری خودالقائی گالن در خارج از حدود مذکور به شدت کاسته می‌شود.



شکل ۲- اثر پتانسیل پالپ در بازیابی گالن در حضور کلکتور (KAX)



شکل ۳ - اثر پتانسیل پالپ در بازیابی گالن در عدم حضور کلکتور

نتیجه‌گیری

- ۱- در طی تماس گالوانیکی بین گالن و بار خردایش فولادی، اکسیداسیون گلوله فولادی در حضور گالن افزایش می‌یابد و گونه‌های آب‌پذیر حاصل از اکسیداسیون در سطح کانی گالن رسوب می‌کند. این امر اثر معکوسی در شناوری گالن دارد. اما اکسیداسیون گلوله فولادی خود موجب آماده‌سازی پالپ به صورت الکتروشیمیایی در پتانسیل پایین می‌گردد.
- ۲- در سیستم شناوری با کلکتور، بواسطه کویل گالوانیکی گالن - بار خردایش فولادی در مرحله خردایش، خاصیت شناوری گالن کاهش می‌یابد. لذا اگر مقداری از کلکتور مصرفی در آسیا افزوده شود شناوری گالن بهبود می‌یابد.
- ۵- حداکثر بازیابی شناوری خودالقائی و کلکتورالقائی گالن در محلول ۰/۱۲ مولار هیپوسولفیت سدیم به ترتیب ۶۳٪ و ۸۵٪ و در حدود پتانسیل ۲۸۰ تا ۳۵۰ میلی‌ولت بوده است.
- ۶- حداکثر بازیابی شناوری خودالقائی و کلکتورالقائی گالن در محلول ۰/۰۶ مولار هیپوسولفیت سدیم به ترتیب ۶۱٪ و ۸۳٪ و در حدود پتانسیل ۲۶۰ تا ۳۲۰ میلی‌ولت بوده است.
- ۷- حداکثر بازیابی شناوری خودالقائی و کلکتورالقائی گالن در آب به ترتیب ۵۲٪ و ۷۰٪ و در حدود پتانسیل ۱۷۵ تا ۲۱۰ میلی‌ولت بوده است.
- ۸- بیشترین مقدار بازیابی گالن مربوط به محلول ۰/۱۲ مولار هیپوسولفیت سدیم می‌باشد که فقط ۲٪ بیش از بازیابی در محلول ۰/۰۶ مولار است.
- ۹- بازیابی گالن در محلول هیپوسولفیت سدیم حداقل ۱۳٪ بیش از آب می‌باشد.
- ۱۰- تماس گالن با بار خردایش فولادی به علت تأثیر متقابل گالوانیکی، اثر معکوسی در شناوری گالن دارد.

مراجع

- [1] Cheng, X., 1991, " *Effects of Pulp Potentials and Chalcopyrite - Pyrrhotite Interaction on Flotation Separation* ", a thesis submitted to the faculty of the graduate school of the university of minnesota.
- [2] Cheng, X., 1993, " *Electrochemical Characteristics of Pyrrhotite and its Implication to Flotation* ", a thesis submitted to the faculty of the graduate school of the university of minnesota.
- [3] Ekmekçi Z. and Demirel H., 1997, " *Effects of galvanic interaction on collectorless flotation behaviour of chalcopyrite and pyrite* ", Elsevier Science Ltd, Intern. J. Miner. Process., Vol. 52, pp. 31-48.
- [4] Ekmekçi Z., Buswell M.A., Bradshaw D.J. and Harris P.J., 2005, " *The value and limitations of electrochemical measurements in flotation of precious metal ores* ", Elsevier Science Ltd, Intern. J. Miner. Process., Vol. 18, pp. 825-831.
- [5] Gonçalves K. L. C., Andrade V. L. L. and Peres A. E. C., 2003, " *The effect of grinding conditions on the flotation of a sulphide copper ore* ", Elsevier Science Ltd, Intern. J. Miner. Process., Vol. 16, pp. 1213-1216.
- [6] Holmes, P.R., and Crundwell, F.K., 1995, " *Kinetic aspects of galvanic interactions between minerals during dissolution* ", Elsevier Hydrometallurgy, pp.353-375.
- [7] Martin, C. J., Rao, S. R., Finch, J. A., and Leroux, M., 1989, " *Complex Sulfide Ore Processing with Pyrite Flotation by nitrogen* ", Intern. J. Miner. process., Vol. 26, pp. 95-110.
- [8] Pang, J., and Chander, S., 1990, " *Oxidation and Wetting Behavior of Chalcopyrite in the Absence and Presence of Xanthates* ", Miner. Metall. Process., Vol. 7, pp. 149-155.
- [9] Pozzo, R. L., 1987, " *Electrochemical Interactions Between Sulfide Minerals and Grinding Media and Their Effects on Flotation and Media Wear* ", Ph. D. Thesis, University of Minnesota.

- [10] Rand , D. A. J. , and Woods , R. , 1984 , “ *Eh Measurements in Sulfide Mineral Slurries* ” , Inter. J. Miner. process. , Vol. 13 , pp.29-42 .
- [11] Rao , M. K. Y. , and Natarajan , K. A. , 1990 , “ *Effect of Electrochemical Intractions among Sulfide Minerals and Grinding Medium on the Flotation of Sphalerite and Galena* ” , Inter. J. Miner. process. , Vol. 29 , pp. 175-194 .
- [12] Yelloji Rao M. K. and Natarajan K. A. ,1990, "*Effect of electrochemical interactions among sulphide minerals and grinding medium on the flotation of sphalerite and galena* " , Elsevier Science Ltd , Intern. J. Miner. Process. , Vol. 29 , pp. 175-194.