

به نام خدا
فرآیندی برای تصفیه مس در حالت جامد
چکیده: فرآیندی برای زدودن ناخالصی هل از کنستانتره مس قبل از گزارش ارائه شده
است. کنستانتره در یک محفظه خلاء تحت تجزیه حرارتی در دمایی در حدود 950°C
قرار گرفته است. این پیش عملیات زدودن کامل آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، سرب و
روی را بخوبی ناخالصی ها، از کنستانتره مس ممکن می سازد.

کلمات کلیدی: کانه های صنعتی، کانه سولفیدی، پیرومتالوژی، فرآیند معدنی، آلودگی^۱

مقدمه

در متالوژی مس، زدایش ناخالصی ها برای تولید مس با کیفیت بالا بسیار بحرانی و
حساس است. در تکنیک پروماتولوژی مس، که نزدیک به 80 درصد تولید مس در دنیا
را به خود اختصاص می دهد، زدودن ناخالصی ها به کمک یک فرآیند پر پیچ و خم که
در هزینه نهایی تولید بسیار قابل توجه است، حاصل می شود. با مسلم فرض کردن
ثابت ناخالصی ها در کانه مس و کاهش در مقدار مس موجود در کانه های در حال
استحصال، انتظار می رود که حتی شرایط شراط بحرانی تری را در آینده داشته باشیم.
در همان حال تعداد زیادی از معادن در نقاط مختلف دنیا مانند معدن چاکویی کاماتا
در شیلی، با این مشکل روبرو شده اند. زدایش ناخالصی ها، توسط مراحل تبخیر و
سرباره گیری در هنگام گدازش، واگردانی^۲ و تصفیه آتشی به انجام می رسد، فرآیندی
که در نهایت با تصفیه الکترولیزی خاتمه می یابد. علیرغم اصلاحات چشمگیر صورت

¹ -Pollution

² -Conversion

گرفته در دهه های اخیر بر روی مراحل گدازش و واگردانی، به ویژه به علت ساخت کوره های تشعشی، روش های زدودن ناخالصی ها تغییر نکرده اند و محدودیتی جدی برای فرآیندهای مدرن گداخت^۳ و واگردانی شده اند. مزیت اصلی گداخت تشعشی در تولید ماتهای با کیفیت بالا قرار دارد، که این ماتها می توانند به سطوح بالاتر از 70٪ برسند، اما این امر نیازمند زدایش ناخالصی هایی مانند آرسنیک، آنتیموان و بیسموت است که بسیار مشکل و هزینه بر است. به ویژه کنسانتره هایی با مقادیر بالای ناخالصی بسیار آسانتر است تا درجه و کیفیت مات را محدود کنند. دشواری زدودن ناخالصی ها، ایده متالوژیست ها را برای بدست آوردن مس بلیستر در یک مرحله بی نتیجه گذاشته است.

مشکل زدودن ناخالصی ها از مس بلیستر، فاکتوری مهم بود که بر ضد و مخالف فرآیند تولید مستقیم مس، فرآیند نوراندا، کار می کرد. که در نهایت این فرآیند به یک فرآیند نسبتاً سنتی تبدیل شود که در آن کنسانتره در یک واحد تحت گزارش قرار می گیرد و سپس در یک منورتور پیرس - اسمیت استاندارد تحت عملیات قرار می گیرد.

فرآیندی جدید برای زدودن ناخالصی ها با سبک و سیاق پیرومتالوژی در یان مقاله ارائه شده است.

این فرآیند تفاوت شگرف در این ناخالصی هایی نظیر آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، سرب، روی و سایر ناخالصی ها قبل از گدازش کنسانتره زدوده می شوند، با فرآیند جاری و متداول دارد. این فرآیند شامل گازی کردن و زدایش ناخالصی ها توسط قرار دادن کنسانتره در معرض تجزیه حرایتی در یک محفظه خلاء در دمایی تقریباً 950

³-Fusion

است. شیب فشار بوجود آمده توسط پمپ خلاء، توده گازی چند جزءای را به درون یک تونل با یک پروفیل دمایی کاهنده می راند، در نتیجه میعات و بازیابی گام به گام عناصر مختلف را ممکن می سازند. این مقاله بیشتر با جنبه های عملی فرآیندی، به ویژه آنهایی که مربوط به تاثیر فرآیند بر زدایش ناخالصی هایی مانند آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، سرب، سلسیم و روی دارد، سر و کار دارد. مزایای این فرآیند نسبت به تکنولوژی معمول مورد تایید قرار گرفته اند. طراحی کوره برای انجام دادن فرآیند در مقیاس صنعتی در اینجا بحث نشده است. همچنین سایر جنبه های بنیادی که نیاز به مطالعه دقیق تری دارند، در این مقاله مورد بحث قرار نگرفته اند.

زدایش ناخالصی ها

طرح اولیه ساده شده ای از تجهیزات استفاده شده در آزمایشگاه بریا زدودن ناخالصی ها در شکل 1 نشان داده شده است. کوره الکتریکی 1 از نوع لوله ای با سه بخش و مقطع است که هرکدام می توانند بطور مستقل به کمک ترموکوپل ها و میکروپروسورها کنترل شوند. کنسانتره به شکل گرد در یک بوته از جنس کوارتز که در قسمت سمت راست لوله کوارتزی 2، ناحیه یا که بیشترین دما را دارد، جای گرفته بود، نشانده شده است. یک پروفیل کاهنده به کمک دیوارها و مانع های حرارتی در طول لوله کوارتزی ایجاد شده است. نمونه ها را می توان از طریق مفصل کروی 3 خارج نمود. در این مفصل، آب بنید و درزگیری به آسانی به کمک سیلیکون حاصل می شود، مفروض اینکه خلاء - اندازه گیری شده با گیج خلاء 4- بسیار بالا نسبت، تقریباً

5/51 میلی متر جیوه. برای خارج کردن نمونه در انتهای فرآیند، فشار درون لوله 2 به کمک شیر خلاء 5 در فشار اتمسفری تنظیم می شود.

عناصری که در حالت گازی در دمای اتاق باقی می مانند در چگالنده نیتروژن مایع 6 تقطیر می شوند. این گازها عمدتاً SO_2 و H_2S و بخار هستند که همگی برای پمپ خلاء مکانیکی 7 زیان آور هستند. گازهای سمی به کمک شیر خلاء 8 در چگالنده 6 در هوا آزاد می شوند که این چگالنده را می توان بصورت فیزیکی از لوله کوارتز 2 و پمپ خلاء 7 به ترتیب توسط شیر 9 و 10 ایزوله جدا کرد. در این مقاله با دو گونه کنسانتره متفاوت از دو معدن شیلی کار می شود. این کنسانتره به ترتیب به کنسانتره های 1 و 2 نامیده می شوند. کنسانتره 1 تقریباً تمیز است و غلظت آرسنیک در حدود 3000PPM دارد و اول مورد بحث قرار می یگیرد.

عملیات نوعی در دمای اتاق با خلاء ای بین 0.01 تا 0.001 میلی متر جیوه آغاز می شود. دما با نرخ $20^{\circ}C$ در دقیقه تا دمای نهایی $850^{\circ}C$ افزایش می یابد و همزمان یک افزایش فشار به کمک بخارسازی بوجود می آید. فشار وابستگی به دمایی را با ماکزیمم هایی در $350^{\circ}C$ و $550^{\circ}C$ متناظر با ماکزیمم نرخ های تولید گاز نشان می دهد. عمده عنصر گاز شده از لحاظ جرم گوگرد است که عمده آن زیر $600^{\circ}C$ تبدیل به گاز می شود. فشار معمولاً زیر 1 میلی متر جیوه، در طی زمان حرارت دادن است و فشار چند دقیقه پس از رسیدن به دمای کالری $850^{\circ}C$ شروع به کاهش تا 0.01 میلی متر جیوه می کند.

به دلیل پروفیل دمایی کاهنده، توده گازی چند جزءای تاخیر شده، وقتی که در طول لوله کوارتزی پخش شد، شروع به تقطیر شدن می کند و بنابراین رسوبات گوناگونی شکل می گیرد. با معلوم و واضح بودن رنگ هر کدام از رسوبات، هر رسوب به وضوح از بقیه تشخیص داده می شود. اگرچه این مقاله با ترکیب شیمیایی رسوب سر و کار ندارد، در زمینه کلی آسان است که اجزاء سازنده آنها را حدس زد. رسوبات همگی در حالت جامد هستند و فیلمی را تشکیل می دهند که بطور یکنواخت روی سطح درونی لوله کوارتزی توزیع و پخش شده اند.

عملیات، مقدار کنسانتره، طول لوله کوارتزی، پروفیل دمایی، ظرفیت پمپ خلاء و غیره بستگی دارند.

وقتی کنسانتره 1، به مدت 1 ساعت در دمای 850°C در خلاء 0.01 میلی متر جیوه تحت عملیات قرار می گیرد مقدار آرسنیک از 3000PPM به کمتر 1PPM کاهش می یابد و این موضوع این عملیات را از زدودن آرسنیک بسیار موثر و قابل اجرا یم کند. این نتیجه جالب توجه است، زیرا که بطور کلی، آرسنیک در کنسانتره مس، چنانکه در کنسانتره 1 وجود دارد، عمدتاً بصورت انارژیت و آرسنوپریت وجود دارد. از اینم رو تاثیر و سودمندی این عملیات، فارغ از اینکه کانه و کنسانتره از کدام معدن آورده شده اند، بسیار بالا است.

درباره اثربخشی و سودمندی زدودن ناخالصی ها، جالب توجه است که اثر سه متغیر اساسی: دما و زمان عملیات و درجه خلاء را مورد مطالعه قرار دهیم. جدول 1 (به PPM) میزان تاثیر عملیات بر زدودن آرسنیک، تنتیموان، سرب و روی را وقتی

کنسانتره 1، در 900°C به مدت 1 ساعت در خلاء تقریباً 1 میای متر جیوه مورد چهار رسوب پس از عمیلت روی کنسانتره 1 به مدت 1 ساعت در دمای 850°C در خلاء 5.51 میلی متر جیوه، به وضوه تشخیص هستند. گوگرد تقطیر شده زیر 200°C ، دو رسوب را در انتهای سمت راست لوله کوارتزی شکل می دهد. رسوب اول از سمت راست به چپ در بازه دمایی بین دمای اتاق و دمای تقریباً 100°C شکل می گیرد که رنگ سفید شیری دارد و مانند گوگرد آمورف است. رسوب دوم در دماهای بین تقریباً 100°C و 200°C با رنگ زرد روشن شکل می گیرد.

رسوب آرسنیک در بازه دمایی بین کمی بالای 200°C و 550°C شکل می گیرد. این امر ممکن می سازد که رسوب گوگرد و آرسنیک بدون تداخل کردن و هم پوشی با هم رخ دهند.

در نهایت رسوبی سفید وجود دارد که در دماهای بین 500°C و 800°C شکل می یگرد و عمدتاً شامل روی آنتیموان است.

باید خاطرنشان کرد که اگر بخواهیم دقیق شویم، محدوده های دمای نقل شده برای رسوبات مختلف و معین برای این فرایند نیستند، چون که آنها به فاکتورهایی مانند دمای عملیات قرار گرفته است، نشان می دهند. این عملیات نشان می دهد که برای زدودن آرسنیک خیلی موثر است اما عملاً هیچ تاثیری در زدودن آنتیموان، سرب و روی ندارد.

مقادیر سرب و روی در نمونه 2 بیشتر از نمونه اصلی و اولیه هستند، چرا که کنسانتره نزدیک به 12٪ از جرم خود را از دست داده است. قبلاً به این موضوع اشاره شده است

که وقتی کنسانتره 1. در $850^{\circ}C$ در طی 1 ساعت در خلاء تقریباً 0.01 میلی متر جیوه مورد عملیات قرار می یگیرد، در نهایت کاملاً عاری از آرسنیک می شود. از این رو، بنا بر جدول 1، فاشر نقش قابل ملاحظه ای را در اثربخشی فرایند بازی می کند. در نتیجه خلاءلی در حدود 0.01 میلی متر جیوه در اکثر آزمایش ها مورد استفاده قرار خواهد گرفت، اما با دماهای مختلف و زمانهای مختلف عملیات.

جدول 2 مقادیر را بریا کنسانتره 1 نشان می دهد، که داده ها برای نمونه اصلی و اولیه برای انجام دادن یک مقایسه تکرر شده اند. نمونه 2 مربوط به عملیات در دمای $900^{\circ}C$ به مدت 1 ساعت است و لذا زمان و دمای عملیات مشابه مقادیر نمونه 2 در جدول 1 هستند، اما چنانکه فقط شماره شده است خلاء در اینجا تقریباً 0.01 میلی متر جیوه است. اثربخشی عملیات شدیداً نسبت به نمونه 2 در جدول 1 افزایش می یابد، مفروضو بر اینکه آرسنیک، آنتیموان، و سرب اکنون تقریباً بطور کامل زدوده شده اند. به هر حال میزان اثربخشی در زدودن روی بسیار ضعیفتر است.

به این دلیل، زمان عملیات به دو ساعت در نمونه 3 تمدید شده است، با همان دما و درجه خلاء موجود در نمونه 2. در این حالت، زدودن روی تقریباً به 70% می رسد. برای درک بهتر زدودن روی تقریباً به 70% می رسد. برای درک بهتر زدودنم روی، دما در نمونه 4 تا $950^{\circ}C$ ، یا همان زمان و درجه خلاء در نمونه 2 در جدول 2، افزایش یافت. تحت این شرایط جدید، امکان این وجود دارد که بیشتر از 95% مقدار اولیه و اصلی روی از کنسانتره زدود.

با آن که نوع ناخالصی ها و مقدار آن از هر معدن تا معدن دیگر فرق می کند، معمولاً کانه های حاوی این ناخالصی ها مشابه هستند. این ویژگی حاکی از این است که یمنان اثربخشی عملیات حاضر، در زدودن ناخالصی ها تا حد زیادی مستقل از محل منبع کنسانتره مس تست. با این همه شناسایی و ادراک دقیق زدودن ناخالصی ها نیازمند مطالعات ویژه روی کنسانتره مخصوص است. به عبارت کلی، می توان گفت که عملیاتی به مدت 1 ساعت در $950^{\circ}C$ با خلاءای در حدود 0.01 میلی متر جیوه زدودن کامل آرسنیک، آنتیموان و سرب و زدودن 95٪ روی را حاصل می کند. بیسموت، سلنیم نیز ناخالصی های وارد در پرومتالوژی مس هستند، اما مقدار این ناخالصی ها در کنسانتره 1، بلرایی مورد مطالعه قرار دادن زدود و نشان بسیار کوچک است. برخلاف کنسانتره 1، کنسانتره 2 بسیار آلوده و کثیف است زیرا که 41/000PPM آرسنیک و 3100PPM آنتیموان دارد. علیرغم مقدار بالای مس آن و مقدار پایین آهن آن، لیت مقادیر بالای آرسنیک و آنتیموان اجازه نمی دهند که این کنسانتره تحت فرایند رویه های پیرومتالوژی استاندارد قرار گیرد.

جدول 3 نتایج بدست آمده وقتی که کنسانتره 2 در دمای $950^{\circ}C$ به مدت 1 ساعت در خلاء 0.01 میلی متر جیوه تحت عملیات قرار می گیرد را نشان می دهد. این کنسانتره هیچ چیز تازه ای را نسبت به کنسانتره 1 وقتی که به زدودن آرسنیک، آنتیموان، سرب و روی می رسد، نشان نمی دهند. باقی ماندن 230ppm از آرسنیک عمدتاً به علت مقدار بالای این عناصر جای گرفته در کنسانتره اصلی و اولیه است، اما ف به هر حال درصی زدودن بیشتر از 99٪ است. گرچه این باقیمانده بی ضرر است، ولی

می توان آنرا تقریباً بطور کلی با افزایش زمان عملیات زدود نتیجه جدید دارای اهمیت بسیار این نتیجه مربوط به بیسموت است، چون مطابق جدول 3، بیسموت بطور کامل از کنسانتره زدوده شده است. متأسفانه بیشتر سلنیم در کنسانتره باقی مانده است. با وجود این، اثربخشی عملیات در زدودن سلنیم را می توان قطعاً با افزایش دادن زمان و دمای عملیات بهبود بخشید.

این حقیقت که کنسانتره نهایی مورد عمل قرار گرفته عاری از ناخالصی ها است و حاوی مقادیر بالای مس و مقادیر کم آهن است، این عملیات را عملیاتی قدرتمند برای این کنسانتره یم سازد. این خواص می توانند موجب حصول یک مس نیمه بلیستر در یک تک مرحله پس از گدازش شوند. علاوه بر این با توجه به داده های جدول 3، این عملیات ممکن می سازد که بیش از یک سوم گوگرد بصورت گوگرد عنصری با درجه خلوص بالا بازیابی شود. زیرا که ناخالصی هایی نظیر روی، آنتیموان، و آرسنیک در مناطقی با دماهای بیشتر رسوب می کنند.

مزایای این فرآیند.

فرایند تصفیه مس در حالت جامد که در بخش 2 شرح داده شد، مزایایی را نسبت به تکنولوژی کنونی در مراحل مختلف مطرح شده در رویه پیرومتالوژی، یعنی گدازش، واگردانی، تصفیه آتشی، تصفیه الکترولیزی، واحد اسید، بازیابی عناصر با ارزش و کنترل آلودگی عرضه یم کند. تا حد زیادی این مزایا از ساده گردانی ناشی شده از عدم حضور ناخالصی ها در مراحل متناظیر ناشی می شود. بنابراین یک کاهش در هزینه تولید

مس بدست می آید. این بخش با مزایای این فرآیند با آنالیز کردن جداگانه مراحل مختلف سر و کار دارد.

گدازش:

گدازش کنسانترهخ محصولات زیر را تولید می کند: غبار، گازها، و سرباره. حذف ناخالصی ها قبل از گدازش موجب کاهش هزینه در عملیات هرکدام از آنها می شود.

مات:

فرآیند گدازش مدرن مبتنی بر استفاده از اکسیژن با استفاده از عملیات شرح داده شد. در اینجا بهینه می شود، زیرا که عیار مات بیشتر از این توسط حضور ناخالصی ها در کنسانتره محدود نمی شود.

مفروض اینکه عیار مات بطور اساسی به خارج قسمت بینم جرم اکسیژن و جرم کنسانتره بستگی دارد، غنی سازی اکسیژن فاکتور دیگری است که عیار مات را تحت فشار قرار می دهد و مهار می کند. زیرا که برای کنسانتره های معمولی غنی سازی بیشتر از 70٪ حرارت بسیار زیاد را در کوره ایجاد خواهد کرد. این فشار و مانع در اینجا غالب می شود، زیرا که این عملیات نزدیک به یک سوم مقدار اولیه و اصلی گوگرد را چنانچه در جدول 3 نشان داده شده است، می زداید. در این حالت، کنسانتره با مقدار گوگرد 24٪ باقی می ماند که غنی سازی زیاد اکسیژن را ممکن یم سازد. توجه داشته باشید که اگرچه فرآیند مطرح شده در اینجا بخش مهمی از گوگرد را م یزداید، این تا حدی با این حقیقت که کنسانتره باید در دمای تقریبی $900^{\circ}C$ وارد کوره تشعشی شود جبران می شود.

غبار:

جدی ترین مشکل کوره تشعشعی تولید غبار است که می تواند نزدیک به 10% جرم کل کنسانتره وارد شد. به کوره را تشکیل دهد. این غبار باید برای جلوگیری کردن از هدر رفتن غیرقابل قبول مس بازیابی شود. اما با این امر معلوم که مقدار ناخالصی ها در غبار بسیار بیشتر از کنسانتره اولیه است، بازگردانی مستقیم غبار برای کنسانتره های اولیه با مقدار ناخالصی های از آنجائیکه تحت عملیات اشاره شده در اینجا، ناخالصی ها قبل از گذارش کنسانتره زدوده یم شوند. غبار می تواند بطور عادی مستقیم بازگردانی شود.

همچنین این فرایند یک اثر مهم روی احتراق و گداخت ذرات در کنسانتره دارد و همچنین می تواند مقدار غبار را تحت تاثیر خود قرار دهد. سینتیک واکنش کنسانتره آشکارا با فرآیندهای متداول و جاری مورد استفاده فرق می کند، چرا که ذرات پس از از دست دادن گوگرد ناپایدار وارد کوره می شوند که ترک های متعددی را به علت دیدن و گوگرد زدایی شدن ارائه می کند و همچنین به علت اینکه کنسانتره در دمای تقریباً $900^{\circ}C$ دارد کوره می شود. خواص فیزیکی ذرات در فرآیند متداول مورد استفاده برای گذارش، جائیکه کنسانتره با یک دمای نسبتاً پایین وارد می شود و جائیکه مقدار گوگرد ناپایدار هنوز کامل و دست نخورده است، بسیار متفاوت است. انفجار ذرات در کنسانتره در هنگام اشتعال می تواند فاکتور مهنمی را تولید غبار تشکیل دهد. فرایند متداول مورد استفاده قطعات و خرده های متعددی را بوجود آورد که از ناحیه دما بالای کوره می گریزند و رها یم شوند و از این رو از گداخت کامل آنها

جلوگیری می کنند. چون که فرآیند پیشنهاد شده برای زدودن ناخالصی ها قبل از گداخت پدیده انفجار و خورد شدن ذرات را کاهش می دهد، چیزی که بطور طبیعی می توان انتظار داشت این است که غبار کمتری تولید شود.

گازها:

معمولاً، دی اکسید گوگرد بوجود آمده در هنگام گزارش و واگردانی تبدیل به اسید سولفوریک می شود، فرآیندی که نیازمند یک مرحله پیچیده و پرزحمت تمیز رکدن گار برای حذف کردن ناخالصی هایی نظیر آرسنیک، آنتیموان و سایر ناخالصی ها است. بویژه حذف آرسنیک بسیار حساس است، چرا که این عنصر نه تنها کیفیت اسید را تحت تاثیر قرار می دهد، بلکه مشکل خوردگی بعضی از قطعات حساس واحد تولید اسید را افزایش می دهد. زدودن ناخالصی ها قبل از گدازش، تمیز کردن گازها را آسان نموده و مشکل خوردگی و سایش را در واحد اسید کاهش می دهد، به علاوه این کار باعث تولید اسید سولفوریک با کیفیت بالا می شود.

سرباره:

این حقیقت که سرباره بوجود آمده در فرایند مدرن گزارش حاوی مقدار زیادی مس است بدین معنی است که اگر بازیابی مس باید Max باشد سرباره می بایست تحت عملیات قرار گیرد. فرایند حاضر برتای نصفیه مس در حالت جامد سرباره ای را تولید می کند که عاری از ناخالصیهاست. لذا تحت عملیات قرار دادن آن را آسان می کند. به عنوان نتیجه ای از این عملیات برای زدودن ناخالصیها مقداری از مس محتوی درون ذرات چنانکه می توان به اسانی به کمک یک میکروسکوپ الکترونی نشان داد، تبدیل

به ویسکر می شود. این اثر می توان به طور مثبتی به کاهش مقدار مس در سرباره کمک کند.

واگردانی:

هدف اصلی واگردانی این است که آهن و گوگرد موجود در مات تولید شده در هنگام گزارش را اکسید کند. گوگرد، کنورتور را به صورت دی اکسید گوگرد ترک می کند. درحالیکه آهن به کمک فلاکسها به درون سرباره می رود. این امر مس بلیستری را با خلوصی در حدود 99٪ حاصل می کند. محصولات مشابه همچنانکه در گزارش به وجود می آیند در واگردانی نیز به وجود می آیند اما با مس بلیستری که نقش مات را بازی می کنند.

بنابراین فرایند مورد ملاحظه حاضر در مرحله واگردانی مزایای مشابهی را مانند آنچه قبلاً در حالت مرحله گزارش به آن اشاره شد ارائه می کند. در فرایند متداول به کار رفته ناخالصیهای درون مات در هنگام واگردانی اندکی تبخیر شده و به درون سرباره می روند. مفروض اینکه در فرایند مطرح شده در اینجا مات قبلاً از ناخالصیهای مانند آرسنیک، آنتیموان، بیسموت و سایر ناخالصیها عاری شده است، این بحث خارج از موضوع یم شود.

تصفیه آتشی:

مزایای فرایند زدودن ناخالصیها قبل از گزارش مخصوصاً وقتی چشمگیر می شود که مرحله تصفیه آتشی مطرح می شود. هدف عمده تصفیه آتشی حذف ناخالصیهای مانند

آرسنیک، آنتیمون، بیسموت و سایر ناخالصیها به کمک اکسیداسیون و سرباره سازی است. به کمک عملیات شرح داده شده.

در اینجا مس بلیستر عاری از ناخالصیهاست. که این امر مرحله تصفیه آتشی را غیرضروری می سازد. و یا حداقل آنرا به یک فرایند حذف کردن گوگرد و آهن موجود در مس بلیستر کاهش می دهد.

فرایند تصفیه آتشی متداول شامل عملیتهای گوناگون پی در پی است که این عملیاتها بسیار دیرپای هستند.

به ویژه این عملیات نیازمند سوختها و فلاکسهای گرانبهائی است. حذف بیسموت عملاً توسط تصفیه آتشی غیرممکن است، مفروض اینکه هیچ فلاکس مناسبی برای این ناخالصی وجود ندارد. از اینرو بیسموت باید در مرحله تصفیه الکترولیزی تصفیه شود. مشکل دیگر تصفیه آتشی این است که م شدیداً اکسید می شود، که بعداً نیاز به یک مرحله احیاء دارد که آن نیازمند سوختهای ویژه ای است. همچنین فرایند اکسیداسیون و سرباره یازی خردگی و سایش شدید را در آستر نسوز کوره ایجاد می کند، همچنین تلفات مس و عناصر قیمتی را در سرباره موجب می شود. تمام این زیانهای اشاره شده در بالا در فرایند حالت جامد تصفیه مس مطرح در اینجا از بین می روند.

تصفیه الکترولیزی:

همچنین پیش عملیات مورد بحث روی کنسانتره مرحله تصفیه الکترولیزی را اسان می سازد و از اینرو هزینه ها را کاهش می دهد. از آنجائیکه در این حالت آند عاری از ناخالصیهایی نظیر آرسنیک، آنتیمون و بیسموت است، لذا هیچ امکان تشکیل ترکیبات

ناشی شده از واکنش آرسنیک با آنتیمون و بیسموت وجود ندارد که این ترکیبات به عنوان منشاء اصلی آلودگی کاتد مطرح شده اند. علاوه بر این نبود ناخالصیها دروم الکترولیت فرایند پیچیده خالص سازی الکترولیت را در هنگام مرحله تصفیه الکترولیزی تقریباً به طور کامل غیرضروری می سازد به ویژه مشکلات مربوط به تشکیل آر ساین خطرناک را از بین می برد.

وقتی که ناخالصیها قبل از گدازش زدوده می شوند مقدار لجنهای آندی شناور به طور چشمگیری کاهش می یابد و لذا کیفیت فیزیکی رسوب کاتدی بهبود می یابد. به ویژه مشکل تشکیل دندریت مربوط به حضور آنتیمون از بین می رود، به علاوه وقتی که الکترولیت با لجنهای آندی شناور الوده می شود چگالی جریان پارامتر عملیاتی بحرانی تری می شود، چرا که چگالی جریان بالا موجب و باعث اثر کشیده شدن ناخالصیها و در پی آن آلودگی کاتد می شود. این اثر وقتیکه الکترولیت مقادیر بسیار کم ناخالصیها را دارد، بسیار ضعیف است. از اینرو اگر کنسانتره در معرض عملیات حاضر قرار یگرد به نظر می رسد که افزایش چگالی جریان بیشتر از مقادیر طبیعی متداول به کار برده شده، ممکن و شدنی است.

لجنهای آندی: در تصفیه الکترولیزی، لجنهای آندی محصولات فرعی مهمی هستند چرا که آنها حاوی عناصر گرانبه‌تری مانند نقره، طلا، پلاتین، پالادیم، سانیوم و تلوریم است. یک مرحله مهم برای بازیابی این عناصر عبارتست از اکسیداسیون و سرباره سازی ناخالصیهایی مانند آرسنیک، آنتیمون، بیسموت و سرب. این رویه نیازمند سوختها و فلاکسهای

بسیار ویژه ای است و تا حدی قسمتی از عنصر گرانتقیمت در سرباره تلف می شود. وقتی که ناخالصیها بر طبق عملیات حاضر زدوده می شوند این اشکال و زیان برطرف می شود، همچنین این عملیات مراحل شامل شده در بازیابی عناصر گرانتقیمت مختلف را آسان می سازد. همچنین زدودن ناخالصیها قبل از گداخت به طور قابل ملاحظه ای مقدار لجنهای آندی را کاهش می دهد، حقیقتی که همچنین به آسان سازی بازیابی عناصر قیمتی کمک می کند. راجع به این موضوع باید توجه داشت که مطابق یافته های تعدادی از مولفین و محققین، مقدار لجنهای آندی به طور اساسی توسط مقدار سرب درون آند تعیین می شود. پیش عملیات مطرح شده در اینجا به طول کامل سرب را از کنسانتره می زداید به طوریکه کاهش قابل ملاحظه ای را در لجن آندی می تواند انتظار داشت.

بازیابی سایر عناصر:

فرایند حاضر، بازیابی سایر عناصر مختلف را که داریا ارزش مشابه مانند عناصر موجود در لجنهای آندی نیستند ممکن می سازد. اما با این حال این عناصر ارزش تجاری دارد. در میان این عناصر آنتیموان، بیسموت، سرب، روی و قلع و جیوه قرار دارد که همگی در حال حاضر دور انداخته می شوند.

کادمیم

بازیابی این عناصر می تواند لز لحاظ اقتصادی جالب باشد مخصوصاً در حالتی که کنسانتره هایی با مقادیر بالای این عناصر داشته باشیم.

همچنین این فرایند به طور قابل نسبت های ملاحظه ای از سلنیم، تلوریم، ژرمانیم، رنیوم و گالیوم را می زداید اما میزان اثربخشی بازیابی این عناصر هنوز ناشناخته است. بازیابی گوگرد عنصری نیازمند ملاحظات ویژه ای است. همانطور که معلوم شده است دی اکسید گوگرد به وجود آمده در مراحل گدازش و واگردانی برای جلوگیری از آلودگی محیط زیست که می تواند در صورت رهاسازی مستقیم این گاز به درون هوا اتفاق تفتد می بایست تحت عملیات قرار گیرد. درون دستگته گدازشگر این گاز تبدیل به اسید سولفوریک می شود که دارای کاربردهای مختلفی در فرایندهای صنعتی است. با این حال تولید اسید سولفوریک وقتی که دستگاه گدازشگر دور از بازار فروش اسید است و یا وقتی که پتانسیل تولید اسید بیشتر از نیازهای محلی برای اسید است، چنانکه این حالت در شیلی وجود دارد، دارای مشکلاتی است. این مشکلات مربوط به هزینه های بالای نگهدایر و نقل و انتقال اسید سولفوریک است. هزینه های که گاهی اوقات اگر غیرممکن نباشد کاهش آلودگی محیط زیست به کمک تولید اسید سولفوریک را مشکل می سازند.

در شیلی که بزرگترین تولید کننده مس دنیاست این مشکل هنوز بحرانی نشده است چرا که در بخش مهمی از کنسانتره بدون هیچگونه انجام فرایند اضافی صادر می شود و همچنین به خاطر اینکه مقادیر از دی اکسید گوگرد به وجود آمده به اسید سولفوریک تبدیل نشده بلکه درون هوا آزاد می شود.

تقریباً تمام اسید سولفوریک تولید شده برای فرایندهای هیدرومتالوژی بازیابی مس از کانه های اکسیدی که از معادنی می آیند که خیلی از دستگاه گدازشگر دور نیستند

مصرف می شوند. به هر حال از آنجائیکه معادن اکسیدی ظرف چند دهه آینده تمام خواهند شد این تصویر به طور چشمگیری در آینده تغییر خواهد کرد به علاوه مققرات زیست محیطی سختگیرانه تر خواهد شد و رهاسازی دی اکسید گوگرد درون هوا بیش از این ممکن نخواهد بود.

فرایند بخت شده در اینجا تقریباً $\frac{1}{3}$ مقدار گوگرد کنسانتره را به صورت گوگرد عنصری می زداید که این امر بدین معنی است که تولید اسید سولفوریک به مقدار $\frac{1}{3}$ کاهش خواهد یافت. گوگرد عنصری مضرات اسید سولفوریک را ندارد، لذا ایده آل خواهد بود. اگر بیشتر گوگرد درون کنسانتره را می شد به صورت گوگرد عنصری بازیابی کرد. عملیات حاضر این امکان را فراهم می سازد. در واقع قسمتی از کنسانتره را عاری از ناخالصیهاست می توان با هیدروژن در دمای بالا تحت عملیات قرار دارد تا سولفید هیدروژن را که می تواند با دی اکسید گوگرد برای بدست آوردن گوگرد عنصری بر طبق یک تکنولوژی معرف ترکیب کرد تولید کرد.

آشکار است که وقتی کنسانتره توسط هیدروژن مورد تهاجم قرار می گیرد، آهن درون ته مانده را می توان تقریباً به طور کامل و انتخابی نسبت به مس به کمک اسید هیدروکلریک لیچ کرد. برای جلوگیری کردن از تولید بیش از اندازه اسید سولفوریک در شیلی در آینده، احتمالاً لازم است که فرایندهای پیرو متالوژی کنونی را با یک فرایند هیدرومتالوژی مانند آنچه در اینجا شرح داده شده است ترکیب کرد.

کنترل آلودگی:

پیرومتالوژی مس موجب مشکلات زیست محیطی خطرناکی به علت تولید مواد سمی مانند آرسنیک، کادمیم، جیوه و سرب می شود. آرسنیک به صورت تری اکسید آرسنیک زدوده می شود که ماده ای سمی است و دور انداختن آن به خاطر قابلیت حل شدن بالای آن درون آب مشکل است. این مشکل وقتی که کنسانتره مقادیر زیادی آرسنیک دارد پیچیده تر می شود. چنانکه این مشکل برای مثال در چاکویی کاناتا جایی که دور انداختن نه مانده آرسنیک واحد تولید اسید تا حدی بغرنج و پیچیده است رخ می دهد به علاوه آرسنیک سرباره، غبار و گازهای باقیمانده را آلوده می کند.

فرایند ارائه شده در اینجا آرسنیک را به طور کامل از کنسانتره می زداید. آن هم به روشی که برای محیط زیست بی ضرر است، چونکه آرسنیک زدوده شده عمدتاً به صورت آرسنیک عنصری پاسولفیدی است که اینها عملاً در آب نامحلول هستند. همچنین برای کادمیم، جیوه و سرب از انجائیکه آنها به طور کامل قبل از گداخت کنسانتره زدوده یم شوند مشکل کنونی آلودگی فلزات سنگین از بین می رود، از اینرو دور انداختن سرباره هیچ آسیبی را به محیط زیست نمی رساند.

فرایند حالت جامد برای تصفیه مس که در اینجا بحث شد می تواند با فرایندهای گدازش واگردانی متفاوت با موارد متداول کنونی به اجرا درآید. به هر حال این امر براب گدازش تشعشعی که در پی آن فرایند واگردانی تشعشعی کنکات - اتوکمپو انجام یم ود مقتضی و متناسب است. چرا که پس از آن امکان بهره گیری کامل از غنی سازی زیاد اکسیژن وجود دارد. از این گذشته این تکنولوژی امکان کنترل شدید آلودگی محیط زیست را فراهم می سازد، چنانکه می توان در گدازشگر مدرن یوتا جایی که

گوگرد به میزان 99/9 کنترل می شود می توان دید که این امر این گدازشگر را تمییزترین در نوع خود در دنیا کرده است.

www.kandoo.cn.com

www.kandoo.cn.com

www.kandoo.cn.com

نتیجه گیری:

تجزیه حرارتی کنسانتره مس به مدت یک ساعت در دمای $950^{\circ}C$ در یک محفظه با خلاء 0.01 میلی متر جیوه امکان زدودن کامل ناخالصیهای مضرى مانند آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، سرب و روی را فراهم می سازد. این عملیات می تواند موجب تصفیه مس در حالت جامد قبل از گدازش در یک مقیاس صنعتی شود. فرایندی که ساده سازیهای بزرگی را در مراحل مختلف پیرومتالورژی مس وارد می کند.

گذشته از این اگر مواد گازی شده به درون یک تونل با یک پروفیل دمایی کاهنده رانده شود امکان بازیابی بیش از یک سوم گوگرد محتوی در کنسانتره به صورت گوگرد عنصری با خلصو بالا وجود دارد به علاوه این عملیات امکان بازیابی عنصری مانند روی، سرب، آنتیموان، کادمیم و جیوه را فراهم می سازد. طراحی یک کوره صنعتی مخصوص که امکان تحت عملیات قراردادن کنسانتره را مطابق با این فرایند فراهم کنند در مقالات آینده خواهد آمد. این کوره کنسانتره را در یک مسیر مداوم تحت عملیات قرار می دهد و کنسانتره به کمک انرژی حرارتی در گازها گداخت و واگردانی حرارت می بیند.