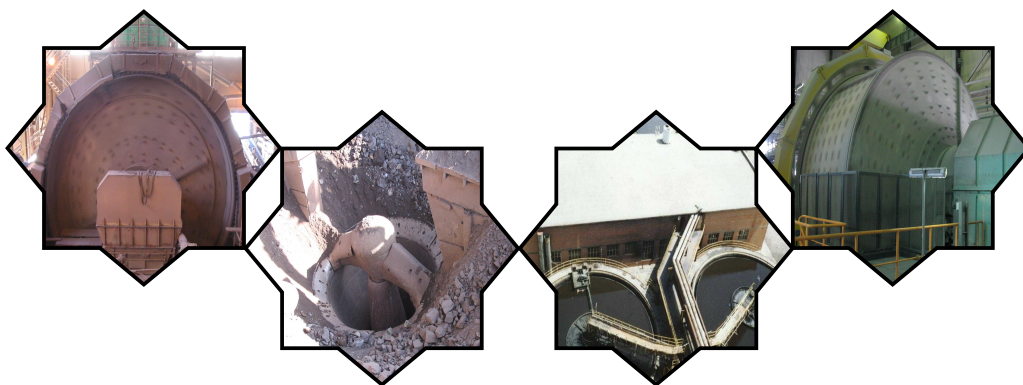




دانشگاه شهید باهنر کرمان
دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی معدن

جزوه

آزمایشگاه کانه آرائی



دکتر صمد بنیسی

ویرایش سوم

مهر ۱۳۸۹



دستورالعمل های عمومی

- قبل از انجام آزمایش نحوه انجام آن را به دقت مطالعه کنید.
- آزمایش ها باید توسط دانشجو انجام شود. استاد و دستیار آزمایشگاه آماده جوابگویی به سوالات هستند.
- در نقل و انتقال وسایل دقت کنید. استفاده غیر اصولی از دستگاه ها منجر به خرابی دستگاه و حوادث ناگوار می شود.
- نکات ایمنی مربوط به هر دستگاه را رعایت کنید.
- روش ارائه شده برای انجام هر آزمایش را به دقت دنبال کنید تا به نتایج مطلوب برسید.
- مشاهدات غیر معمول را یادداشت کنید تا بتوانید درباره آنها با استاد بحث کنید.
- محیط و وسایل را بلافاصله بعد از هر آزمایش تمیز و مرتب نمایید.

تهیه گزارش آزمایشگاه

بعد از هر آزمایش گزارش آن باید تایپ شده قبل از آزمایش بعدی در محل آزمایشگاه تحویل داده شود و یا پرونده آن به پست الکترونیکی استاد ارسال گردد.

گزارش ها بعد از موعد مقرر با احتساب تاخیر و کسر نمره تحویل گرفته می شود.
گزارش باید مختصر (۵ - ۴ صفحه) باشد. رعایت موارد زیر در نوشتن گزارش الزامی است.
گزارش باید با کامپیوتر آماده شود.

- ۱) **عنوان:** شامل نام و نام خانوادگی، نام درس، عنوان آزمایش و تاریخ
- ۲) **مقدمه:** مشخص کردن دلیل انجام چنین آزمایشی در کانه آرای و اهداف آن
- ۳) **تئوری:** عنوان کردن خلاصه مطالب مهم در مورد آزمایش
- ۴) **نحوه انجام:** فقط مواردی که متفاوت با دستورالعمل داده شده انجام گرفته است، ذکر گردد.
- ۵) **نتایج:** جدول ها و شکل ها باید شماره و توضیح داشته باشند. در صورتی که محاسبات تکراری باشند، فقط یک نمونه ذکر شود.
- ۶) **بحث:** مشخص شود که نتایج بدست آمده با تئوری سازگار است یا خیر. (ذکر پیشنهادها برای بهتر کردن آزمایش فراموش نشود).
- ۷) **پاسخ به سوالات**
- ۸) **خلاصه و نتیجه گیری:** خلاصه آن چه که انجام شده به همراه نتایج اصلی ارائه شود.

آزمایش اول

آماده سازی نمونه

مقدمه

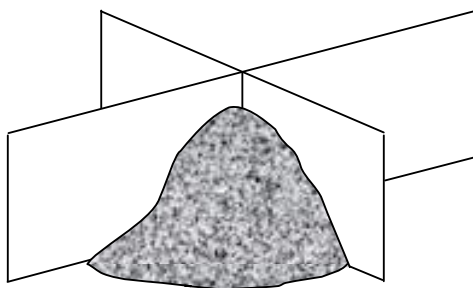
آماده سازی نمونه معمولاً کاری طولانی و خسته کننده است. اما باید توجه داشت که آماده سازی دقیق نمونه دستیابی به نتایج قابل تکرار و معتبر را در مراحل بعدی کار تضمین می کند. ارزیابی یک توده بزرگ یا معدن از طریق همین نمونه های کوچک انجام می شود و هر گونه خطایی در نمونه گرفته شده اثر مستقیم بر میزان صحت کار دارد. بررسی های آزمایشگاهی رفتار سنگ معدن را در مقابل روش های مختلف جداسازی و متغیرهای عملیاتی مشخص می کند. از نتایج آزمایشگاهی برای طراحی کارخانه های کانه آرایی و یا طراحی فرآیندهای خاص در مقیاس صنعتی استفاده می شود. بنابراین نمونه ای که در آزمایشگاه تهیه می شود باید نمایانگر یا نماینده توده معدنی در تمام خواص فیزیکی یا شیمیایی و کانی شناسی باشد.

نمونه های گرفته شده از معدن معمولاً دارای قطعات درشت هستند و برای قابل استفاده بودن در عملیات پرعیارسازی و مطالعات جانبی لازم است به ابعاد کوچکتر تبدیل شوند. این کار نمونه را برای مخلوط شدن بهتر و نمونه گیری مناسب آماده می کند. روش های نمونه گیری مختلفی وجود دارد که در این آزمایش دو روش مورد بررسی قرار می گیرد.

تئوری

نمونه گیری مخروطی و چهار قسمتی

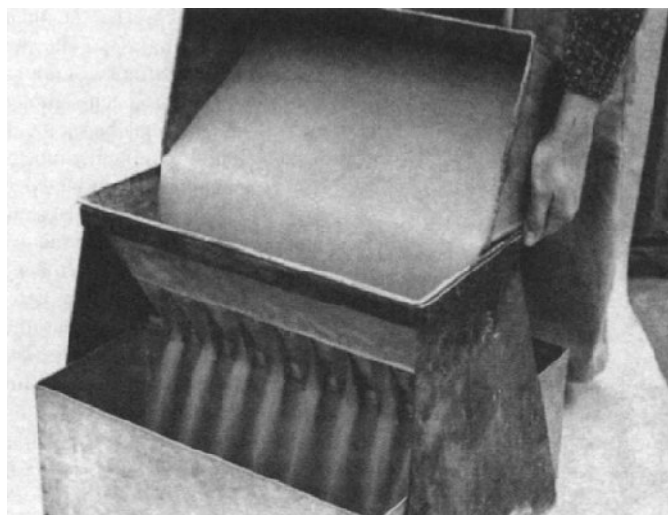
از این روش برای تهیه نمونه های کوچک از نمونه های بزرگ (چند کیلوگرمی) استفاده می شود. مواد را بر روی یک سطح تمیز و صاف می ریزند، با هم مخلوط می کنند و سپس آن را به صورت یک مخروط در می آورند. مخروط از نوک به طرف کف فشار داده می شود تا سطح صافی به موازات قاعده آن به وجود آید. سپس این توده به وسیله دو صفحه عمود بر هم به چهار قسمت مساوی تقسیم می شود. دو بخش از این چهار بخش که مقابل هم قرار گرفته اند حذف و از سایر مواد جدا می شوند. دو بخش باقی مانده مجدداً خوب مخلوط شده، سپس به صورت مخروط درآورده می شود و مراحل قبلی تکرار می شوند. این کار آن قدر تکرار می شود تا نمونه با وزن مناسب بدست آید. هزینه این روش کم است و نمونه های حاصل از توده های بزرگ مواد به میزان زیاد نمایانگر کل توده هستند. اگر این روش برای تقسیم نمونه های کوچک استفاده شود نتایج چندان دقیق نخواهد بود.



شکل ۱-۱: نمای کلی تقسیم نمونه به روش مخروطی و چهار قسمتی

تقسیم کننده مجرای

این وسیله از یک ظرف که در دو طرف آن تعدادی مجرای مشابه وجود دارد، تشکیل شده است. خروجی این مجراها به صورت یکی در میان در هر طرف قرار گرفته اند. مواد از بالا به داخل محفظه به شکل V ریخته می شود. در هر نوبت، مواد تقریباً نصف شده و در ظرف هایی که در زیر محفظه و در دو طرف قرار گرفته اند، جمع آوری می شوند. در هر نوبت استفاده از این وسیله، مواد به نصف مقدار قبلی تقلیل می یابد تا این که نمونه با اندازه مورد نظر بدست آید.



شکل ۱-۲: تقسیم کننده مجرای

اهداف

- آشنایی با آماده سازی نمونه از مواد دانه ای و مقایسه دو روش تقسیم نمونه

مواد

مواد خرد شده مناسب برای آماده سازی نمونه (چند کیلوگرم)

وسایل

تقسیم کننده مجرای، سرندهای ۱۰ تا ۲۷۰ مش، سینی و درپوش سرنده، ترازو، لرزاننده (Shaker)

روش

بخش اول: تقسیم نمونه با استفاده از تقسیم کننده مجرای

- ۱- نمونه داده شده را وزن کنید.
- ۲- نمونه داده شده را با استفاده از تقسیم کننده مجرای تقسیم کنید تا وزن مواد باقی مانده در هر ظرف ۲۵۰-۲۰۰ گرم باشد.
- ۳- دو نمونه باقی مانده را به دقت وزن کنید.
- ۴- آنالیز سرندي را برای هر دو نمونه با استفاده از سرندهای موجود و دستگاه لرزاننده سرندي انجام دهید (دستگاه لرزاننده را روی ۵ دقیقه تنظیم کنید).
- ۵- مواد روی هر سرندي را به دقت وزن کرده و در فرم آنالیز سرندي ثبت کنید (نمونه فرم در پیوست ارائه شده است).

بخش دوم: تقسیم نمونه با روش مخروطی و چهار قسمت کردن

- ۱- مواد باقی مانده از بخش اول را روی یک سطح صاف ریخته و با استفاده از روش مخروطی و چهار قسمت کردن، تقسیم کنید. این کار را تا زمانی که وزن نمونه به ۱۰۰۰-۸۰۰ گرم (هر قطعه ۲۵۰-۲۰۰ گرم) تقلیل یابد، ادامه دهید.
- ۲- دو قسمت از آن را انتخاب کرده و به دقت وزن کنید.
- ۳- آنالیز سرندي را مانند قسمت اول برای هر دو قسمت تکرار کنید.

نتایج

- ۱- نتایج آنالیز سرندي را برای هر چهار نمونه در جدول پیوست وارد کنید.
- ۲- نتایج آنالیز سرندي را به صورت درصد تجمعی زیر سرندي بر حسب اندازه ذرات در مقیاس لگاریتمی - لگاریتمی رسم کنید.
- ۳- d_{80} (اندازه هشتاد درصد عبوری مواد) را برای هر چهار نمونه تعیین کنید.
- ۴- با مقایسه نتایج بدست آمده، معلوم کنید که کدام یک از دو روش تقسیم نمونه دقیق تر است.

سوالات

- ۱- اگر خطای هر تقسیم ۳ درصد باشد، خطای کل آزمایش تقسیم نمونه چه مقدار خواهد بود؟
- ۲- شاخص مناسبی برای ارزیابی کارایی دو وسیله تقسیم نمونه پیشنهاد نمایید.
- ۳- عواملی که بر کارایی نمونه گیری تاثیر دارند را نام ببرید.
- ۴- اشتباه معمول در انجام این آزمایش را بیان کنید. چه راهی برای جلوگیری از آن پیشنهاد می کنید؟
- ۵- آیا رابطه ای بین اندازه ذرات و توزیع آنها و روش تقسیم نمونه بکار گرفته شده، وجود دارد؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرای، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرای، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.
- ۳- م. ر. یاراحمدی، ه. رضائیان، ص. بنیسی، بررسی و بهینه سازی میزان دقت سیستم نمونه برداری در کارخانه نیمه صنعتی مجتمع مس سرچشمه، مجموعه مقالات کنفرانس مهندسی معدن ایران، ۱۳۸۳، ص ۱۳۲۲-۱۳۰۵.
- 4- B.A. Wills and T. Napier – Munn, Will's, Mineral Processing Technology, Seventh Edition, Elsevier, 2007.
- 5- M.C. Fuerstenau, K. N. Han, Mineral Processing, SME, Littleon, CO. USA, 2003.
- ۶- ح. نوبخت، ص. بنیسی و ح. رنجبر، مقایسه ای نحوه آماده سازی و آنالیز نمونه در کارخانه ذغالشویی زرنده، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ص ۱۹۹-۱۹۱، ۱۳۸۳.

پیوست

جدول 1-1: نمونه فرم ثبت نتایج آنالیز سرنندی

شماره آزمایش	مانده روی سرنند (گرم)	شماره نمونه	مانده روی سرنند (%)	درصد تجمعی مواد زیر سرنند
مجموع				

آزمایش دوم

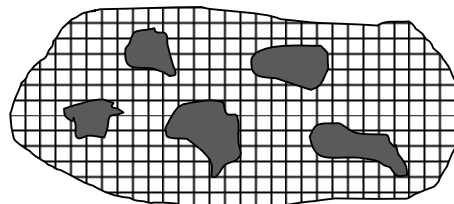
تعیین درجه آزادی

مقدمه

یکی از مهم ترین اهداف خردایش، آزاد کردن کانی های بارزش از گانگ در درشت ترین اندازه ممکن است. اگر این امر ممکن شود، نه تنها هزینه خردایش کم می شود، بلکه در مراحل بعدی، عملیات خردایش بهتر و ارزان تر خواهد بود. در صورتی که هدف، تولید محصولات با عیار بالا باشد، در نتیجه آزاد شدن کانی ها ضروری است.

تئوری

در عمل، آزادسازی کامل کانی ها به ندرت امکان پذیر است، حتی اگر سنگ معدن تا حد دانه های کانی بارزش خرد شود. شکل ۱-۲ این مشکل را به خوبی نشان می دهد. یک تکه از سنگ معدن به اندازه های کوچک تر از کانی بارزش خرد شده، ولی آزادشدگی کامل حاصل نشده است (خطوط عمود بر هم، نشان دهنده ذرات فرضی تولید شده پس از خردایش می باشند).



شکل ۲-۱: آزاد شدن ذرات بارزش در اثر خردایش بیشتر

همان طور که مشاهده می شود ذرات تولید شده قسمتی از گانگ را نیز به همراه دارند و آزاد شدگی کامل حاصل نشده است. با این وجود حجم عمده ای از گانگ از کانی بارزش آزاد شده است. ذرات قفل شده کانی بارزش و گانگ محصول میانی نامیده می شوند و آزاد شدگی بیشتر با خردایش زیادتر این قسمت امکان پذیر می باشد.

درجه آزادی عبارت است از نسبت کانی بارزش آزاد به کل ذرات کانی بارزش. درجه آزادی در موقعی که مرزهای بین کانی و گانگ ضعیف است، بالا می باشد. ولی معمولاً پیوند بین کانی و گانگ محکم است و در طی خردایش اجزا تشکیل دهنده با هم شکسته می شوند. این امر باعث تولید محصول میانی زیاد و ذرات آزاد شده کم می شود. راه های جدیدی برای افزایش درجه آزادی با جهت دادن تنش ها در مرزهای کریستالی کانی ها در دست بررسی است. این امر منجر به شکستن سنگ بدون خرد شدن کانی بارزش می شود.

اهداف

- نحوه تعیین درجه آزادی

- مشخص کردن رابطه بین درجه آزادی و اندازه ذرات

مواد

۲۵۰-۲۰۰ گرم از یک سنگ گرانیت که تا زیر ۴ مش خرد شده است.

وسایل

یک سری از سرندهای استاندارد شده با اندازه ۴، ۸، ۱۰، ۱۴، ۱۶، ۳۰، ۴۰، ۶۰ مش و یک میکروسکوپ چشمی

روش

- ۱- نمونه را سرنند کنید.
- ۲- از هر بخش ۲۰۰ دانه به طور تصادفی جدا کنید.
- ۳- ذرات درشت آزاد بیوتیت (دارای بیش از ۸۰ درصد کانی باارزش)، فلدسپات (دارای ۸۰ درصد گانگ) و ذرات قفل شده (بین ۸۰-۲۰ درصد کانی باارزش) را با چشم غیر مسلح و ذرات ریز آنها را با استفاده از میکروسکوپ شمارش کنید.
- ۴- محدوده بین ۲۰ تا ۸۰ درصد کانی باارزش را به سه گروه با فاصله ۲۰ درصدی تقسیم کنید. این کار در محاسبه کل کانی باارزش بکار گرفته می شود.
- ۵- مشاهدات خود را در فرم ثبت نتایج مطابق جدول ارائه شده در پیوست یک وارد کنید.

نتایج

- ۱- منحنی درصد آزادی کانی باارزش (>۸۰٪) و گانگ (<۲۰٪) را بر حسب میانگین هندسی اندازه ذرات (محور X) در مقیاس تمام لگاریتمی رسم کنید.
- ۲- رابطه زیر برای بیان درجه آزادی پیشنهاد شده است:

$$Y = 100 \exp(-kx) \quad (1-2)$$

- که در آن Y درجه آزادی و X میانگین هندسی اندازه ذرات و k فاکتور آزادی است.
- پارامتر k را برای هر دو منحنی بدست آمده در مرحله ۱، با استفاده از تابع Solver در نرم افزار Microsoft Excel محاسبه کنید. (نحوه انجام در پیوست دو آمده است).
- ۳- درباره میزان اعتبار رابطه بالا برای توصیف ارتباط بین درجه آزادی و اندازه ذرات بحث کنید.
 - ۴- آیا کانی باارزش و گانگ عمدتاً در مرز دانه ها از یکدیگر جدا شده اند؟ توضیح دهید.
 - ۵- اندازه بهینه خردایش برای رسیدن به حداکثر درجه آزادی را با توجه به درجه آزادی کانی باارزش چگونه می توان ارزیابی کرد؟

سوالات

- ۱- درجه آزادی کانی بارزش را در شکل ۱-۲ تعیین کنید.
- ۲- آیا امکان آزاد سازی کامل کانی بارزش وجود دارد؟ چرا؟
- ۳- فرض کنید که کانی بارزش و گانگ به صورت مربع و با اندازه های یکسان به صورت یک در میان در سطح کانی قرار گرفته اند. با رسم شکل، درجه آزادی کانی بارزش را برای وقتی که زمینه مورد نظر تا نصف اندازه ذرات خرد شود، محاسبه کنید؟
- ۴- چگونه می توان در خردایش مواد فقط درجه آزادی ذرات بارزش را بالا برد؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرائی، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرائی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.
- ۳- ص. بنیسی، ح. ایران منش، م. ر. شایسته فر، م. بهروز، حداقل نمونه لازم برای تعیین درجه آزادی کانی های دارای مس در معدن مس سرچشمه، مجله علوم زمین، جلد ۱۲ شماره ۵۴، ۱۳۸۴.
- 4- B.A. Wills and T. Napier – Munn, Will's, Mineral Processing Technology, Seventh Edition, Elsevier, 2007.
- ۵- م. تاجداری، ح. شکرچیان و ص. بنیسی، تاثیر دانسیته کانی ها بر دقت تعیین درجه آزادی از مقاطع صیقلی، ششمین سمینار بلور شناسی و کانی شناسی ایران، ۱۳۷۶.
- 6- S. Banisi, H.R. Iran-Manesh, H. Shekarchiyan, M.R. Shayestehfar, Mineralogical Tracing of Metallurgical Results - The Sarcheshmeh Copper Mine Case, 35 th Annual Canadian Mineral Processors Operators Conference, Ottawa, Canada, 2003.
- 7- S. Banisi, M. Tajdari, and H. Shekarchian, Determination of Error of Liberation Analysis at the Sarcheshmeh Copper Mine, Applied Mineralogy '01, Brisbane, Australia, 2001.

پیوست یک

جدول ۱-۲: نمونه فرم ثبت اطلاعات بررسی درجه آزادی

ذرات کانی بازرزش آزاد شده (%)	تعداد ذرات					اندازه میانگین (میکرون)	اندازه ذرات (مش)
	گانگ (<۲۰٪)	کانی بازرزش (>۸۰٪)	قفل شده				
			۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	۶۰-۸۰		
							+۴
							-۴+۸
							-۸+۱۰
							-۱۰+۱۴
							-۱۴+۱۶
							-۱۶+۳۰
							-۳۰+۴۰
							-۴۰+۶۰

پیوست دو

نحوه کار با تابع Solver در نرم افزار Microsoft Excel

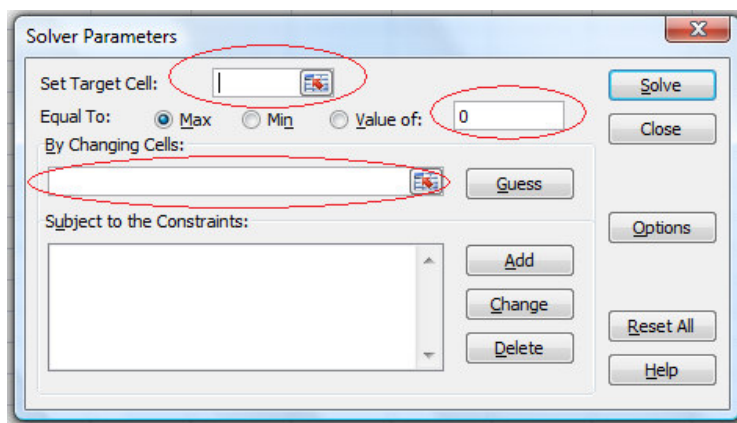
برای محاسبه مقدار فاکتور آزادی k ، ابتدا با فرض مقدار اولیه برای آن، مقدار درجه آزادی برای ابعاد مختلف از رابطه ۱-۲ محاسبه می شود. سپس مطابق جدول ۲-۲، توان دوم اختلاف مقدار محاسبه شده با مقدار بدست آمده از آزمایش بعنوان مجموع مربعات خطا وارد می شود.

سپس با استفاده از تابع Solver در نرم افزار Microsoft Excel، مقدار بهینه برای فاکتور آزادی (k) با کمینه کردن مجموع مربعات خطا، محاسبه می شود.

جدول ۲-۲: فرم مربوط به نحوه محاسبه فاکتور آزادی (k)

۴		فاکتور آزادی (k):	
مربع اختلاف	درجه آزادی محاسباتی (%)	درجه آزادی آزمایش (%)	اندازه میانگین (میکرون)
$(3-2)^2$	۳	۲	۱
۵	مجموع مربعات خطا		

ابتدا تابع Solver را از منوی Data انتخاب کنید. پنجره مربوط به این تابع در شکل ۲-۲ نشان داده شده است.



شکل ۲-۲: پنجره تابع Solver در نرم افزار Microsoft Excel

در این پنجره سلول مربوط به مجموع مربعات خطا (شماره ۵) در بخش Set Target Cell وارد می شود و مقدار Min به عنوان هدف انتخاب می گردد. سلول مربوط به فاکتور آزادی (k) (شماره ۴) نیز در بخش By Changing Cells وارد می شود. با فشار دادن دکمه Solve، مقدار بهینه برای فاکتور آزادی با کمینه کردن مجموع مربعات خطا محاسبه می شود.

آشنایی با سنگ شکن فکی

مقدمه

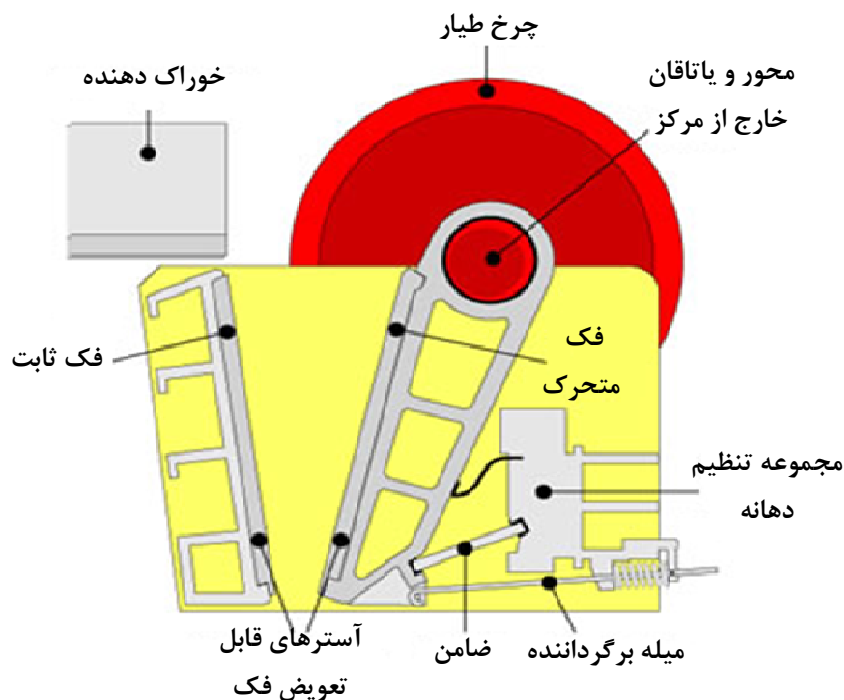
از آن جایی که اغلب کانی ها به صورت ریز در سنگ ها پراکنده بوده و با گانگ همراه می باشند، قبل از هر گونه جدایش باید آن ها آزاد شوند. این کار با خردایش که در آن اندازه ذرات به طور تدریجی کاهش داده می شود، انجام می گیرد.

سنگ شکنی اولیه، اولین مرحله مکانیکی در فرآیند خردایش است که هدف اصلی آن آزاد سازی کانی های باارزش از گانگ می باشد. این عملیات عموماً خشک است و معمولاً در دو یا سه مرحله انجام می شود. سنگ های استخراج شده از معدن که می تواند به بزرگی ۱/۵ متر در عرض باشند، در سنگ شکن های اولیه تا ۲۰-۱۰ سانتی متر خرد می شوند.

تئوری

سنگ شکن های اولیه، ماشین های بزرگی هستند که برای کاهش اندازه کانه استخراجی از معدن به یک اندازه مناسب برای حمل و نقل و خوراک دهی به سنگ شکن های ثانویه بکار گرفته می شوند. دو نوع سنگ شکن

اولیه ای که عمدتاً در عملیات کانه های فلزی استفاده می شود عبارتند از: سنگ شکن های فکی (شکل ۱-۳) و سنگ شکن های ژیراتوری.



شکل ۱-۳: شمای کلی سنگ شکن فکی

مشخصه بارز سنگ شکن های فکی دو صفحه ای است که مانند فک حیوانات باز و بسته می شوند. فک ها نسبت به هم زاویه دار می باشند و یک فک طوری وصل شده که نسبت به فک ثابت دیگر متحرک باشد. مواد خوراک دهی شده به فک ها به طور متناوب فشرده و آزاد می شوند. این عمل باعث سقوط بیشتر سنگ ها به محفظه سنگ شکنی می گردد.

اهداف

- آشنایی با نحوه کار سنگ شکن فکی

- تعیین رابطه بین نرخ خوراک دهی و تولید نرمه (ذرات ریز ناخواسته)

مواد

۱۰-۱۲ کیلوگرم سنگ بزرگتر از ۱۵ سانتی متر

وسایل

سنگ شکن فکی آزمایشگاهی $۳۴/۱۱ \text{ cm} \times ۸/۶۲ \text{ cm}$

یک سری از سرندهای استاندارد با اندازه های $۹/۵$ ، $۴/۷۵$ ، $۲/۳۶$ ، $۱/۱۸$ و $۰/۶$ میلی متری

روش

۱- بعد از توزین با استفاده از پتک سنگ ها را به زیر ۵ سانتی متر خرد کنید. ضربات خیلی شدید باعث تولید زیاد ذرات ریز می شود. این کار را به آرامی انجام دهید تا مقدار ذرات کوچکتر از ۶ میلیمتر (دهانه سنگ شکن) به حداقل برسد.

۲- ذرات ریزتر از ۱ سانتی متر را کنار بگذارید.

۳- مواد باقی مانده را به دو قسمت مساوی تقسیم کنید. این کار باید با استفاده از دست انجام گیرد به طوری که هر دو قسمت از نظر دانه بندی یکسان باشند. هر دو نمونه را وزن کنید.

۴- یک قسمت از ماده را در طی ۵ دقیقه به سنگ شکن (تقریباً ۱ کیلوگرم در دقیقه) وارد کنید. به عبارت دیگر در هر بار یک قطعه را وارد محفظه سنگ شکنی کنید. مواد خرد شده از نمونه اولی را کنار بگذارید.

۵- قسمت دوم نمونه را در مدت ۱ دقیقه به سنگ شکن وارد کنید (تقریباً ۵ کیلوگرم در دقیقه). نحوه خوراک دهی طوری باشد که محفظه سنگ شکنی همواره پر باشد.

۶- با استفاده از سرندهای داده شده، هر دو نمونه را با دست الک کنید (چون مقدار مواد زیاد و دانه درشت می باشند).

نتایج

۱- درصد مواد باقی مانده روی سرندهای $۲/۳۶$ میلی متر (۸ مش)، $۱/۱۸$ میلی متر (۱۶ مش) و $۰/۶$ میلی متر (۳۰ مش) را بر روی دو نمودار به صورت نیمه لگاریتمی رسم کنید (محور X اندازه ذرات).

۲- تاثیر نرخ خوراک دهی بر مقدار تولید ذرات ریز را توضیح دهید.

سوالات

- ۱- مکانیزم اصلی شکست مواد در سنگ شکن های فکی وقتی که نرخ خوراک دهی کم باشد، چیست؟ اگر نرخ خوراک دهی افزایش یابد، آیا مکانیزم شکست متفاوت خواهد بود؟
- ۲- ظرفیت دو سنگ شکن فکی و ژیراتوری که از نظر اندازه مشابه هستند را با هم مقایسه کنید.
- ۳- سنگ شکنی در مدار بسته و باز در چه مراحل بکار می روند؟ این دو روش را با رسم شکل توضیح دهید؟
- ۴- مرطوب بودن سنگ ها ممکن است چه تاثیری در کارایی سنگ شکنی داشته باشد؟ چه راه حلی را برای رفع این مشکل پیشنهاد می کنید؟
- ۵- چگونه می توان در سنگ شکن های فکی کوچک، محصول نسبتاً یکنواختی از نظر اندازه تهیه کرد؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- ک. برزو اصفهانی، سنگ شکن ها، مرکز تحقیقات مهندسی جهاد سازندگی، اصفهان، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرایی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

3- B.A. Wills and T. Napier – Munn, Will's, Mineral Processing Technology, Seventh Edition, Elsevier, 2007.

آزمایش چهارم

آشنایی با سنگ شکن غلتکی

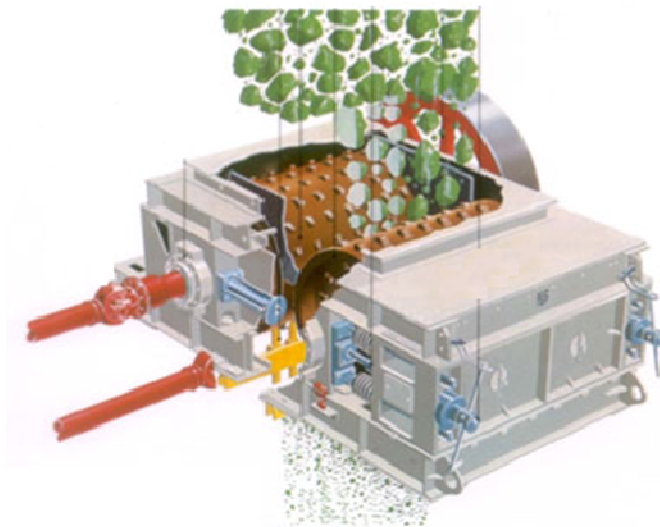
مقدمه

سنگ شکنی اولین مرحله فرآیند آزاد سازی کانی باارزش از گانگ می باشد. مزیت دیگر سنگ شکنی آسان نمودن حمل و نقل مواد در کارخانه است.

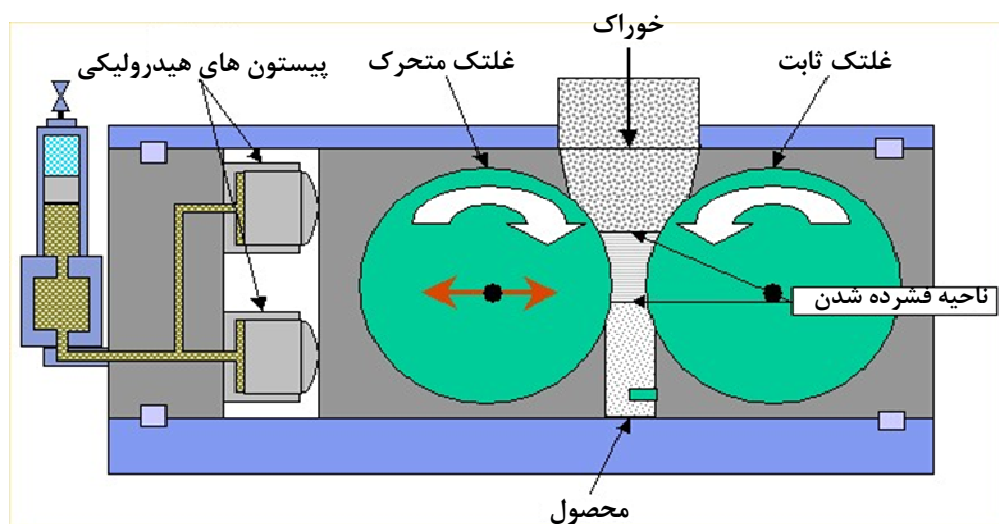
در سنگ شکنی اولیه اندازه محصول معمولاً ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر می باشد که به سنگ شکن های ثانویه فرستاده می شود تا محصول با اندازه ۰/۵-۶ سانتی متر بدست آید. بر خلاف سنگ شکن های اولیه، سنگ شکن های ثانویه در مدار بسته نیز بکار برده می شوند. این کار علاوه بر امکان پذیر نمودن کنترل دقیق اندازه محصول، عملیات سنگ شکنی را انعطاف پذیر می سازد.

تئوری

در مرحله سنگ شکنی ثانویه، از سنگ شکن های غلتکی (شکل ۴-۱) و بخصوص از نوع جدید آن که به سنگ شکن غلتکی فشار بالا معروف است (شکل ۴-۲)، استفاده می شود. نحوه کار این نوع سنگ شکن ها ساده است و دو استوانه ای که در جهت عکس همدیگر می چرخند عمل خردایش را انجام می دهند.



شکل ۴-۱: شمای کلی سنگ شکن غلتکی



شکل ۴-۲: شمای کلی سنگ شکن غلتکی فشار بالا

خوراک در بین دو غلتک ریخته می شود و در اثر فشار وارده از طرف غلتک ها خرد می شود. فاصله بین دو غلتک حداکثر اندازه محصول را تعیین می کند. سنگ شکن های غلتکی با یک استوانه چرخنده نیز ساخته می شود که

سنگ ها در بین استوانه و یک صفحه ثابت خرد می شوند. بعضی از سنگ شکن ها دارای ۳، ۴ و یا ۶ استوانه می باشند.

اهداف

- آشنایی با نحوه کار سنگ شکن غلتکی
- تاثیر نسبت کاهش (خردایش) در تولید ذرات ریز

مواد

- ۳-۵ کیلوگرم سنگ باقی مانده روی الک ۹/۵ میلی متر از آزمایش شماره ۳
- ۲-۴ کیلوگرم سنگ باقی مانده روی الک ۴/۷۵ میلی متر از آزمایش شماره ۳
- ۱-۳ کیلوگرم سنگ باقی مانده روی الک ۲/۳۶ میلی متر از آزمایش شماره ۳

وسایل

- سنگ شکن غلتکی آزمایشگاهی ۳۰۵ mm×۲۰۳mm
- یک سری از سرندهای استاندارد با اندازه های ۸، ۱۶، ۳۰، ۴۰، ۶۰ مش

روش

- ۱- دو نمونه اول را وزن کنید.
- ۲- فاصله بین غلتک ها را با استفاده از تسمه فلزی مناسب روی ۴/۵ میلی متر تنظیم کنید.
- ۳- نمونه اول را به صورت تدریجی در سنگ شکن بریزید.
- ۴- مواد خرد شده را وزن نموده، آنالیز سرندهای را به صورت دستی انجام دهید (چون مقدار مواد زیاد و دانه درشت می باشند).

- ۵- فاصله بین غلتک ها را با استفاده از تسمه فلزی مناسب روی ۳ میلی متر تنظیم کرده و مرحله ۳ و ۴ را عیناً برای نمونه دوم تکرار کنید.
- ۶- توسط اهرم های تنظیم و با کمک تسمه فلزی مناسب، فاصله بین غلتک ها را به یک میلی متر کاهش دهید و نمونه سوم را در سنگ شکن بریزید.
- ۷- مواد خرد شده را وزن نموده و نمونه ای به وزن ۲۵۰-۳۰۰ گرم از آن بردارید.
- ۸- نمونه گرفته شده را با استفاده از دستگاه لرزاننده (Shaker) با سرندهای ۴، ۸، ۱۰، ۱۶، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ مش الک کنید.

نتایج

- ۱- نتایج آنالیز سرندي نمونه اول و دوم را به صورت نیمه لگاریتمی رسم کنید.
- ۲- تاثیر اندازه خوراک را بر دامنه توزیع اندازه ذرات محصول چگونه توصیف می کنید؟
- ۳- نتایج آنالیز سرندي نمونه سوم را به صورت نیمه لگاریتمی رسم کنید.
- ۴- با توجه به نسبت کاهش سه نمونه، رابطه آن را با تولید ذرات ریز تشریح کنید.

سوالات

- ۱- با سنگ شکن غلتکی آزمایشگاه (قطر ۳۰۵ میلی متر) با فرض ضریب اصطکاک ۰/۲۵ بزرگترین ذره ای که می توان از آن محصولی با قطر ۲ میلی متر بدست آورد را محاسبه کنید.
- ۲- موارد کاربرد سنگ شکن غلتکی را نام ببرید.
- ۳- چه راه هایی را برای کم کردن ساییدگی سطح غلتک ها پیشنهاد می کنید؟
- ۴- معمولاً از سنگ شکن غلتکی در چه مراحل استفاده می گردد و در چه نوع مداری بکار برده می شود؟
- ۵- مهم ترین مزیت سنگ شکن غلتکی فشار بالا را نام ببرید.

منابعی برای مطالعه بیشتر

۱- ک. برزو اصفهانی، سنگ شکن ها، مرکز تحقیقات مهندسی جهاد سازندگی، اصفهان، ۱۳۷۲.

۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرائی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

3- B.A. Wills and T. Napier – Munn, Will's, Mineral Processing Technology, Seventh Edition, Elsevier, 2007.

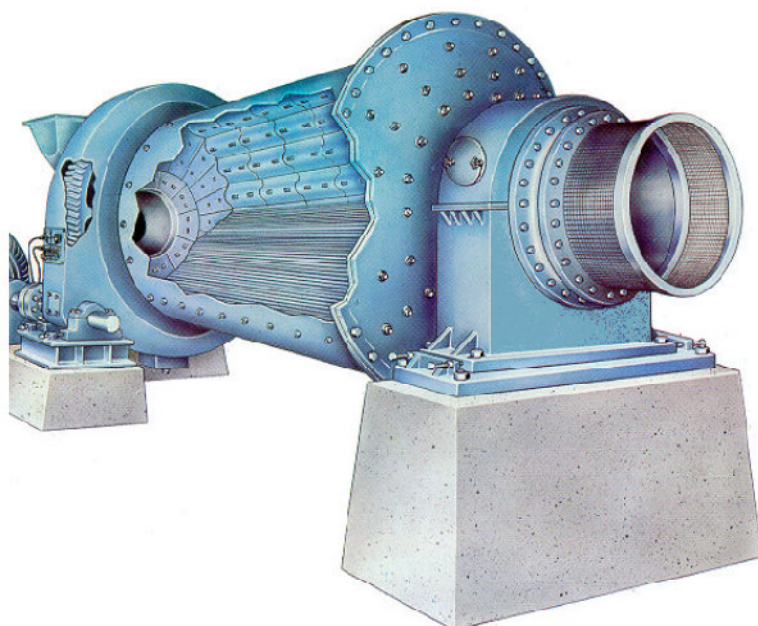
نرم کردن مواد با آسیای میله ای

مقدمه

در مرحله آخر سنگ شکنی و یا اول نرم کردن از آسیاهایی که بار خرد کننده آن ها میله می باشد، استفاده می شود (شکل ۵-۱). از آن جایی که برای استفاده بهینه از انرژی، خرد کردن باید به صورت تدریجی صورت گیرد، ماشین های خرد کننده مختلفی با توجه به اندازه خوراک ورودی طراحی شده اند. علاوه بر صرفه جویی در انرژی، ساخت ماشین هایی که بتوانند در یک مرحله عمل خردایش را انجام دهند از نظر مکانیکی بسیار مشکل می باشد.

تئوری

آسیاهای میله ای، سنگ شکن های ریز یا ماشین های نرم کننده درشت محسوب می شوند. این آسیاها خوراکی به بزرگی ۵ سانتی متر را می توانند به محصولی به اندازه ۳۰۰ میکرون خرد کند و معمولاً نسبت کاهش اندازه بین ۱۵-۲۰ به ۱ می باشد. این آسیاها وقتی که کانه مرطوب و یا رسی باشد، به صورت سنگ شکن ریز بکار می رود، چون در هنگام استفاده از سنگ شکن های معمولی برای این نوع کانه ها ممکن است باعث گیر کردن سنگ شکن شود.



شکل ۵-۱: نمای کلی آسیای میله ای

مشخصه بارز آسیاهای میله ای نسبت طول به قطر آن ها می باشد که معمولاً بین $1/5$ تا $2/5$ می باشد. این نسبت دارای اهمیت خاصی است چون باید از چرخش میله ها و گیر افتادن آن ها در عرض آسیا جلوگیری کند. میله ها معمولاً چند سانتی متر کوتاهتر از طول آسیا می باشند. آسیاهای میله ای مانند دیگر آسیاهای نرم کننده به میزان توان خود شناخته می شوند نه ظرفیت. چون ظرفیت با عوامل زیادی مانند قابلیت خرد شدن و نسبت کاهش در ارتباط می باشد. به دلیل خطر خم شدن میله ها، طول این آسیاها بیش از $6/5$ متر در نظر گرفته نمی شود.

اهداف

- آشنایی با نحوه کار آسیای میله ای

- بررسی تاثیر قطر میله ها بر دامنه اندازه محصول نهایی

مواد

۳-۵ کیلوگرم سنگ باقی مانده روی الک $4/75$ میلی متر، $2/36$ میلی متر و $1/18$ میلی متر

وسایل

آسیای میله ای آزمایشگاهی $180\text{ mm} \times 360\text{ mm}$

یک سری از سرندهای استاندارد ۲۷۰-۳۰ مش

روش

۱- ۳۰۰ گرم از مواد روی سرنده $4/75$ میلی متر، ۴۰۰ گرم از مواد روی سرنده $2/36$ میلی متر و ۳۰۰ گرم از مواد روی سرنده $1/18$ میلی متر که مربوط به مواد باقی مانده از آزمایش چهارم می باشد را با یکدیگر مخلوط کنید تا نمونه خوراک برای این آزمایش بدست آید.

۲- به همین روش، دو نمونه دیگر نیز تهیه کنید.

۳- نمونه ها را مجدداً وزن کنید.

۴- با قرار دادن میله های $1/5$ سانتی متری در داخل آسیا، نمونه اول را در آن بریزید.

۵- به مدت ۲۰ دقیقه مواد را آسیا کنید. مواد را از آسیا خارج کرده و نمونه ای به وزن ۲۵۰-۳۰۰ گرم بردارید.

۶- نمونه را با استفاده از الک های موجود و لرزاننده به مدت ۵ دقیقه الک کنید.

۷- با خارج کردن میله های قبلی و قرار دادن میله های $2/4$ سانتی متری، نمونه دوم را در آسیا ریخته و مراحل ۵ تا ۷ را تکرار کنید.

۸- با قرار دادن تمام میله ها نمونه سوم را در آسیا ریخته و مراحل ۵ تا ۷ را تکرار کنید.

نتایج

۱- به شکل نیمه لگاریتمی (محور X اندازه لگاریتمی) نتایج آنالیز سرندهی سه نمونه خرد شده و خوراک را رسم کنید.

۲- تاثیر قطر میله ها را در اندازه محصول نهایی تشریح کنید.

۳- درصد حجم اشغال شده توسط میله ها را برای سه حالت محاسبه کنید. کدام یک به حالت استاندارد نزدیک تر است؟

۴- درصد مواد زیر ۲۰۰ مش (محور γ) بر حسب حجم اشغال شده توسط میله ها را رسم کنید.

سوالات

- ۱- تفاوت مکانیزم خردایش در آسیای گلوله ای و میله ای را بیان کنید.
- ۲- چه رابطه ای باید بین اندازه مواد ورودی و اندازه میله آسیا وجود داشته باشد؟
- ۳- ترکیب اندازه قطر میله ها در آسیا برای دستیابی به بالاترین کارایی چیست؟ توضیح دهید.
- ۴- اگر خروجی آسیای میله ای در دور بدنه باشد، چه تاثیری در اندازه محصول خرد شده می گذارد؟
- ۵- چه راهی را برای تعیین زمان مناسب تعویض میله ها در کارخانه پیشنهاد می کنید؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- ک. برزو اصفهانی، سنگ شکن ها، مرکز تحقیقات مهندسی جهاد سازندگی، اصفهان، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرائی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.
- 3- B.A. Wills and T. Napier – Munn, Will's, Mineral Processing Technology, Seventh Edition, Elsevier, 2007.

تعیین اندیس کار به روش مقایسه ای

مقدمه

کاهش اندازه ذرات یا خردایش در تمام کارخانه های کانه آرایی انجام می شود. هدف از خردایش ممکن است یکی از موارد زیر باشد:

- تولید ماده ای با اندازه معین برای فروش مانند زغال، تالک و سنگ برای راه سازی
- آزاد سازی کانی ها قبل از جدایش
- در معرض قرار دادن سطوح کانی ها برای شستشوی شیمیایی مانند فروشست مس با اسیدسولفوریک

خردایش به دو قسمت کلی سنگ شکنی و نرم کردن تقسیم می شود که هر کدام معمولاً از سه مرحله تشکیل شده است. خردایش پرهزینه ترین واحد از نظر هزینه های سرمایه ای و عملیاتی است. در نتیجه تحقیقات زیادی در مورد انتخاب صحیح اندازه واحدها و تعیین کارایی آنها صورت گرفته است. یکی از روش ها تعیین اندیس کار باند است که نشان دهنده مقاومت کانه در مقابل شکست است که به صورت kWh/t بیان می شود. اندیس کار برای تعیین اندازه آسیاهای نرم کننده توسط باند (Fred Bond) ابداع شد، اما وی برای سنگ شکنی نیز اندیس کار خاصی را ارائه

کرده است که بکار گرفته می شود. اندیس کار بستگی به خاصیت کانه و روش شکست دارد. این اندیس به عنوان شاخص سختی یا قابلیت نرم شدن کانه شناخته می شود.

تئوری

الف) کلی: انرژی یا کار $W(x)$ لازم برای کاهش ذرات با اندازه x با کاهش x افزایش می یابد. تحقیقات زیادی برای تعیین تابع $W(x)$ انجام گرفته است. باند با توجه به بررسی کارخانه های مختلف، دریافت که کار لازم برای شکستن یک ماده به طور عکس با ریشه دوم x متناسب است:

$$W(x) = k\left(\frac{1}{\sqrt{x}}\right) \quad (1-6)$$

باند $W(x)$ را بر حسب kWh/t بیان کرد و x را به صورت اندازه ای که ۸۰ درصد مواد از آن عبور کنند تعریف نمود. k ثابت تناسب است. کار لازم برای کاهش از اندازه (خوراک) $x=F$ به (محصول) $x=P$ برابر است با:

$$W = k\left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}}\right) \quad (2-6)$$

باند با حل معادله ۲-۶ برای شرایط حدی، بی نهایت F و $P = 100 \mu m$ ، اندیس کار (W_i) را تعریف کرد.

$$W_i = K \frac{1}{\sqrt{100}}$$

$$K = 10W_i$$

و با جایگذاری در معادله ۲-۶:

$$W = 10W_i\left(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}}\right) \quad (3-6)$$

روش باند برای تعیین W_i خیلی وقت گیر است و به طور معمول برای یک شخص با تجربه ۱۲ ساعت طول می کشد. در نتیجه، روش های ساده تری پیشنهاد شده که روش مقایسه ای یکی از آن هاست.

ب) روش مقایسه ای تعیین W_i : این روش بر این فرض بنا شده که اگر دو کانه با وزن و دامنه اندازه یکسان برای یک زمان مساوی در یک آسیا خرد شوند، کار انجام شده روی آن ها یکسان است. اگر برای یک کانه معلوم باشد (کانه مرجع) و برای کانه دوم معلوم نباشد از رابطه باند خواهیم داشت:

$$W = 10W_{ir} \left(\frac{1}{\sqrt{P_r}} - \frac{1}{\sqrt{F_r}} \right) = 10W_{iu} \left(\frac{1}{\sqrt{P_u}} - \frac{1}{\sqrt{F_u}} \right) \quad (4-6)$$

که در آن u و r به ترتیب اشاره به کانه مرجع و مجهول دارند. مقادیر P_r, F_r, P_u, F_u از آنالیز سرنندی نمونه ها تعیین می شوند و چون W_{ir} معلوم است در نتیجه W_{iu} قابل محاسبه است.

اهداف

- آشنایی با نحوه کار آسیای گلوله ای
- تعیین اندیس کار به روش مقایسه ای

مواد

کانه مرجع و کانه مجهول هر کدام ۱ کیلوگرم

وسایل

آسیای گلوله ای آزمایشگاهی $305mm \times 203mm$

یک سری از سرندهای استاندارد (۱۰ تا ۲۰۰ مش)

روش

- ۱- یک کیلوگرم از نمونه مرجع را که از سرنده ۸ مش رد شده و روی سرنده ۲۰۰ مش مانده است تهیه کنید.
- ۲- ۲۵۰-۳۰۰ گرم از نمونه را برداشته و برای ۱۰ دقیقه الک کنید و آنالیز دانه بندی را ثبت نمایید.
- ۳- نمونه الک شده و باقی مانده نمونه مرجع را در آسیا ریخته و به مدت ۸ دقیقه آسیا کنید.

۴- از محصول نرم شده نمونه ای بین ۱۵۰-۲۰۰ گرم را برداشته و الک کنید.

۵- مراحل ۱ تا ۴ را برای کانه مجهول نیز تکرار کنید.

نتایج

۱- نتایج آنالیز سرندي خوراک و محصول را برای هر دو نمونه به صورت نیمه لگاریتمی رسم کنید.

۲- از روی منحنی ها، اندازه هایی که از آن ۸۰ درصد مواد عبور می کنند را تعیین کنید.

۳- با فرض اندیس کار ۱۲ kWh/t برای کانه معلوم با استفاده از معادله باند (رابطه ۶-۴) اندیس کار مجهول را محاسبه کنید.

سوالات

۱- چه رابطه ای باید بین اندازه خوراک و اندازه گلوله وجود داشته باشد؟

۲- در بعضی کارخانه ها سرعت عملیاتی آسیاها بیش از سرعت حدی محاسبه شده است، علت این کار را بیان کنید.

۳- مشخصات یک آستر (Liner) خوب برای آسیاها چیست؟ آسترهای لاستیکی را با آسترهای فولادی چگونه مقایسه می کنید؟

۴- دلیل اصلی خطای بدست آمده از روش تعیین اندیس کار به روش مقایسه ای چیست؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرائی، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.

۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرائی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

3- S. Banisi, G. Langari-Zadeh, M. Pourkani, M. Kargar, and A.R. Laplante, Measurement of Ball Size Distribution and Wear Kinetics in an 8 m x 5 m Primary Mill of Sarcheshmeh Copper Mine, *CIM Bulletin*, Vol. 93, No. 1042, 110-121, 2000.

آزمایش هفتم

هیدروسیکلون

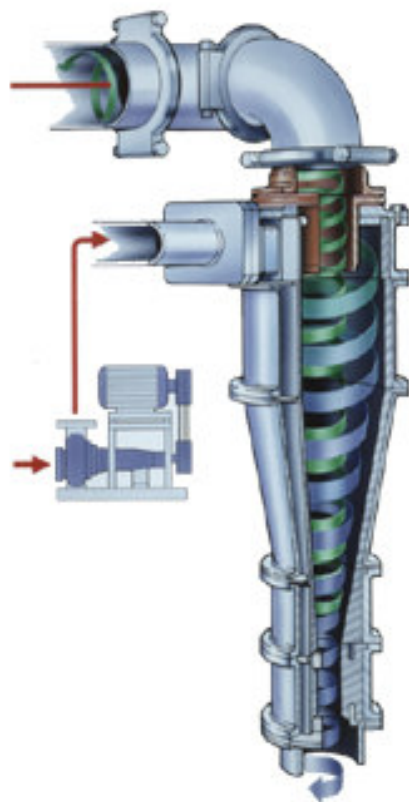
مقدمه

طبقه بندی مواد روشی است که مخلوط کانی ها را به یک یا چند محصول بر پایه سرعت سقوط دانه ها در یک سیال تقسیم می کند. در کانه آرایی، سیال معمولاً آب است و طبقه بندی کردن تر عموماً برای ذراتی که سرند کردن آنها بازدهی مناسبی ندارد، استفاده می شود. چون سرعت ذرات در یک سیال نه تنها به اندازه آن ها بلکه به وزن مخصوص و شکل آن ها بستگی دارد، در نتیجه تاثیر وزن مخصوص در طبقه بندی ذرات بر حسب اندازه باید به حداقل رسانده شود. یکی از اثرات وزن مخصوص در طبقه بندی، متفاوت بودن بار در گردش ذرات با دانسیته بالا در مقایسه با گانگ با دانسیته کمتر می باشد. به عنوان مثال در کارخانه های پرسیاسازی طلا، بار در گردش طلا نسبت به گانگ بیش از ۴۰ برابر است.

تئوری

هیدروسیکلون یکی از مهم ترین وسیله هایی است که در صنعت کانه آرایی استفاده می شود و کاربرد اصلی آن طبقه بندی کردن مواد در محدوده ذرات ریز (کوچک تر از ۳۰۰ میکرون) است (شکل ۷-۱). این وسیله به طور

پیوسته کار می کند و از نیروهای گریز از مرکز برای شتاب دادن به سرعت ته نشینی ذرات استفاده می کند. هیدروسیکلون ها در عملیات نرم کردن معمولاً در مدار بسته بکار گرفته می شوند.



شکل ۷-۱: شمای کلی هیدروسیکلون

هیدروسیکلون شامل یک ظرف مخروطی شکل با دو دهانه در ته ریز و سرریز است که به یک قسمت استوانه ای وصل شده است و خوراک آن به طور مماسی وارد می شود. بالای قسمت استوانه ای با یک صفحه که از میان آن یک لوله محوری سرریز می گذرد، بسته شده است. این لوله به داخل سیکلون ادامه پیدا می کند که به پیدا کننده گرداب (دیافراگم و یا Vortex Finder) معروف است و از رفتن مستقیم خوراک به سرریز جلوگیری می کند. خوراک تحت فشار از ورودی مماسی که به آن حرکت چرخشی می دهد وارد می شود. این امر باعث ایجاد یک گرداب در سیکلون با یک منطقه کم فشار در طول محور عمودی می شود. هسته هوایی در طول این محور ایجاد می شود که عمدتاً به دلیل وصل بودن ته ریز به اتمسفر است و بخشی نیز به دلیل هوای بیرون آمده از محصول در منطقه کم فشار می باشد. ذرات ریز داخل جریان در معرض دو نیروی مخالف هستند: یکی نیروی گریز از مرکز به طرف بیرون و

دیگری نیروی مقاومت سیال در جهت داخل. نیروی خارج از مرکز به ذره در حال ته نشینی شتاب می دهد و بدین طریق ذرات بر اساس اندازه و وزن مخصوص جدا می شوند. ذرات با سرعت ته نشینی زیاد به سمت دیواره جایی که سرعت کمترین است حرکت می کنند و از ته ریز بیرون می روند. ذرات با سرعت ته نشینی کم در اثر نیروی مقاومت سیال به سمت منطقه کم فشار در امتداد محور حرکت می کنند و از طریق پیدا کننده گرداب به طرف بالا و سرریز انتقال پیدا می کنند.

اهداف

- آشنایی با نحوه کار هیدروسیکلون
- رسم منحنی جدایش سیکلون
- بررسی تاثیر فشار و اندازه ته ریز بر میزان آب راه یافته به ته ریز

مواد

۱/۵-۲ کیلوگرم کانه سولفیدی زیر ۲۷۰ مش

وسایل

هیدروسیکلون آزمایشگاهی با قطر ۵ سانتی متر، زمان سنج، ظروف نمونه گیر

روش

- ۱- سیکلون که خوراک آن فقط آب است را به کار بیاندازید.
- ۲- از سرریز و ته ریز به طور هم زمان با ثبت مدت نمونه گیری و وزن، نمونه بگیرید (سه نمونه).
- ۳- با باز کردن شیر جانبی، فشار را از ۱۰psi به ترتیب به ۸psi و ۶psi کاهش دهید و برای هر فشار مرحله ۲ را تکرار کنید.
- ۴- با تعویض دهانه ته ریز ۶ میلی متری با ۸ میلی متری مراحل ۲ و ۳ را تکرار کنید.

۵- با فشار ۱۰ psi و دهانه ته ریز ۸ میلی متر، ذرات جامد را در تانک بریزید. مدتی صبر کنید تا شرایط کار سیکلون به حالت پایدار برسد.

۶- از سرریز و ته ریز به طور هم زمان سه بار نمونه بگیرید. همراه با ثبت مدت نمونه گیری، وزن و حجم نمونه ها را نیز اندازه گرفته و ثبت کنید. در زمان کار با جامد، مخلوط را همواره هم بزنید و در آخر آزمایش حتماً لازم است که سیکلون برای مدتی با آب بدون جامد کار کند تا ذرات جامد در محفظه پمپ باقی نمانند.

۷- با فرض دانسیته ۲/۸ گرم بر سانتی متر مکعب برای جامد، درصد حجمی جامد را محاسبه کنید.

نتایج

۱- دبی خوراک را بر حسب فشار به صورت لگاریتمی- لگاریتمی رسم کنید. با توجه به رابطه ۱-۷ با محاسبه k ، معتبر بودن رابطه را برای سیکلون آزمایشگاهی بررسی کنید (D_c قطر سیکلون بر حسب سانتی متر، P فشار بر حسب kPa و Q بر حسب m^3/h می باشد).

$$Q = 9.4 \times 10^{-3} D_c^2 p^{0.5} \quad (1-7)$$

یا

$$Q = kp^{0.5} \quad (2-7)$$

۲- مقدار R (بخشی از آب خوراک که به ته ریز رفته) را بر حسب فشار (محور X) برای هر دو دهانه ته ریز رسم کنید.

۳- اگر آنالیز اندازه ذرات نمونه های سرریز و ته ریز به صورت درصد باقی مانده در سرنده به صورت زیر باشد، منحنی جدایش تصحیح شده و تصحیح نشده آن را رسم کنید.

اندازه (میکرون)	-۱	+۱-۲	+۲-۳	+۳-۴	+۴-۵	+۵-۶	+۶-۸	+۸-۱۰	+۱۰-۳۰	+۳۰-۵۰
ته ریز	۱	۳	۴	۶	۷	۹	۱۱	۱۴	۲۰	۲۵
سرریز	۱۱	۲۲	۱۹	۱۴	۱۱	۸	۷	۳	۳	۲

با استفاده از رابطه ۳-۷ اندازه جدایش را برای سیکلون آزمایشگاه محاسبه کنید.

$$d_{50c} = \frac{12.65 D_c^{0.675} \exp(-0.301 + 0.0945V - 0.00356V^2 + 0.0000684V^3)}{P^{0.3} (S-1)^{0.5}} \quad (3-7)$$

که در آن V درصد حجمی جامد و S دانسیته جامد بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و d_{50c} بر حسب میکرون می باشد.

سوالات

- ۱- چرا کارایی سرندها در جدا کردن ذرات بر حسب اندازه بهتر از سیکلون ها است؟
- ۲- علت اصلی بکار بردن سیکلون ها در مدار بسته نرم کنی چیست؟
- ۳- اگر قطر سیکلون بزرگتر شود، چه تغییری در حد جدایش حاصل می شود؟ چرا؟
- ۴- برای کم کردن حد جدایش یک سیکلون چه باید کرد؟
- ۵- کدام قسمت از سیکلون در معرض سایش شدید است و چه پیشنهادی برای کم کردن آن دارید؟
- ۶- برای کاهش میزان آب راه یافته از خوراک به ته ریز چه پیشنهادی دارید؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرای، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرای، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.
- ۳- ح. مرادی، م. پورکانی، م. ج. حبیبیان و ص. بنیسی، مدلسازی سیکلونهای مدار آسیای اولیه مجتمع مس سرچشمه، مجموعه مقالات اولین سمینار متالورژی فلزات غیر آهنی، مجتمع مس سرچشمه، کرمان، ص ۸-۱۰، ۱۳۷۵.
- 4- S. Banisi, and H. Dehghan-Nayeri, Effect of Angle of Hydrocyclone Inclination on Cut-Size, *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol. 44, No.1, 79-83, 2005.
- ۵- ع. فاضلی، ع. کارگر، م. پورکانی و ص. بنیسی، افزایش کارایی هیدروسیکلونهای مدار آسیاکنی اولیه کارخانه پرعیارکنی مجتمع مس سرچشمه، مجموعه مقالات هفتمین کنگره سالانه انجمن مهندسی متالورژی ایران، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی و علم مواد، تهران، ۱۳۸۲.

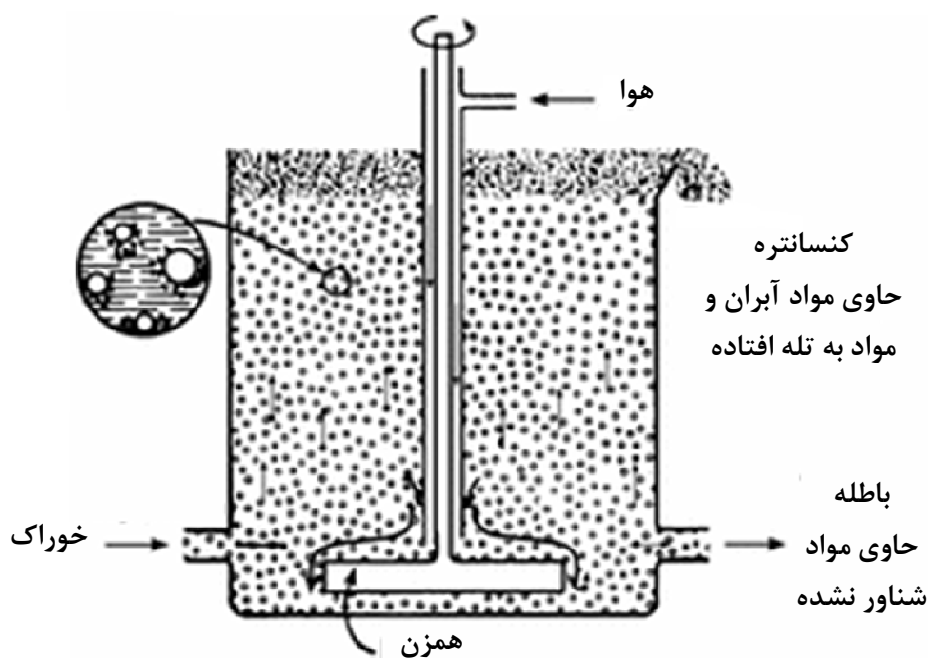
فلوتاسیون

مقدمه

فلوتاسیون بدون تردید مهم ترین و همه جانبه ترین روش جدایش کانی ها است و استفاده از آن در زمینه های جدید و برای فرآوری مواد بیشتر در حال گسترش است. با ورود فلوتاسیون در سال ۱۹۰۶، فرآوری کانه های عیار پایین و مختلط (دارای چند کانی باارزش) که قبلاً غیر اقتصادی بود، عملی شد. در اوایل کار باطله خیلی از کارخانه های کانه آرای، دارای عیار بالاتری نسبت به خوراک کارخانه های فلوتاسیون مدرن بود. اگرچه این روش در ابتدا برای فرآوری سولفیدهای مس، سرب و روی ابداع شد، ولی امروزه کاربرد آن گسترش یافته و اکسیدها از جمله هماتیت، کاسیتريت و کانی های اکسیدی مانند مالاکیت و کانه های غیر فلزی مانند فلورین، فسفات ها و زغال را نیز شامل می شود. امروزه فلوتاسیون برای گرفتن چربی از پساب کارخانه های تولید لبنیات و مرکب گیری از کاغذ بکار گرفته می شود (شکل ۸-۱).

تئوری

در فلوتاسیون از اختلاف خواص فیزیکی و شیمیایی سطوح ذرات کانی ها استفاده می شود. بعد از مخلوط کردن ذرات با مواد شیمیایی چنین تفاوت هایی در خواص سطحی بین کانی های موجود در پالپ آشکار می شود. برای این که فلوتاسیون صورت گیرد، حباب هوا باید قادر باشد به ذرات متصل شود و آن ها را به سطح آب حمل کند. این فرآیند را می توان فقط برای ذرات نسبتاً ریز (کوچک تر از ۱۰۰ میکرون) بکار برد، چون اگر ذرات بزرگ باشند، نیروی چسبندگی بین ذره و حباب هوا کمتر از وزن ذره و حباب می شود و در نتیجه حباب هوا بار خود را می اندازد.



شکل ۱-۱: شمای عملیات فلوتاسیون

در پر عیارسازی توسط فلوتاسیون، کانی با ارزش معمولاً به کف منتقل می شود و گانگ در پالپ باقی می ماند. این نوع فلوتاسیون به فلوتاسیون مستقیم معروف است و اگر گانگ شناور شود و کانی با ارزش در پالپ باقی بماند، فلوتاسیون معکوس می باشد.

حباب های هوا فقط می توانند به ذرات کانی هایی بچسبند که تا اندازه ای آبران (هیدروفوبیک) باشند. زمانی که حباب های هوا به سطح سلول جداکننده رسیدند، موقعی می توانند به نگهداری از ذرات ادامه دهند که تشکیل یک

کف پایدار دهند و در غیر این صورت آن ها ترکیده و ذرات کانی را خواهند انداخت. برای دستیابی به چنین شرایطی، لازم است که از مواد شیمیایی خاصی که کف ساز نام دارند، استفاده شود.

خاصیت آبرانی باید به خیلی از کانی ها به نحوی داده شود تا بتوانند شناور شوند. برای این کار از مواد فعال کننده سطح که کلکتور نام دارند استفاده می شود و زمان لازم برای جذب سطحی در مدت به هم زدن که به زمان آماده سازی معروف است، فراهم می شود. کلکتورها ترکیبات آلی هستند که به سطوح کانی ها خاصیت آبرانی می دهند. به عبارت دیگر با کاهش پایداری لایه های هیدراته جدا کننده سطوح کانی ها از حباب هوا، اتصال ذرات به حباب ها را عملی می سازند. کلکتورها ممکن است ترکیبات یونی باشند که در آب یونیزه شوند و یا ترکیبات غیر یونی باشند که در آب غیر قابل حل باشند و با پوشاندن سطح کانی با یک لایه نازک به آن خاصیت آبرانی دهند.

کلکتورهای یونیزه که بیشترین کاربرد را دارند، ساختمان غیر متقارن و هیتروپلار دارند. به عبارت دیگر مولکول آن ها شامل یک گروه هیدروکربن غیر قطبی و یک گروه قطبی است. رادیکال هیدروکربن غیر قطبی خواص آبرانی قوی دارد در حالی که گروه قطبی با آب واکنش می دهد.

کف سازها که وظیفه پایدار کردن حباب ها را بر عهده دارند از بسیاری از جنبه ها به کلکتورهای یونی شبیه هستند. کف سازها معمولاً مواد آلی فعال کننده سطح و هیتروپلار می باشند و قادرند در سطح بین آب-هوا جذب سطحی شوند. سر قطبی کف ساز با آب ترکیب می شود و سر دیگر آن که غیر قطبی است به طرف هوا تمایل پیدا می کند. در نتیجه، دور حباب های هوا با مولکول های کف ساز پوشیده می شود و چون حباب ها دارای بارهای الکتریکی هستند همدیگر را دفع می کنند و این به پایداری آن ها کمک می کند.

اهداف

- آشنایی با عوامل موثر در فلوتاسیون کانی ها

- تاثیر مقدار کف ساز بر بازیابی

مواد

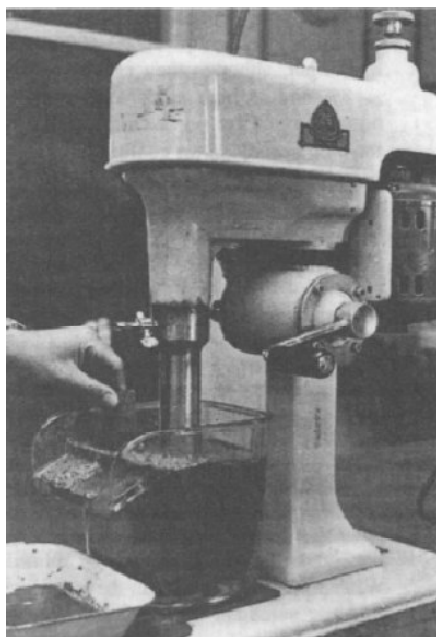
کانه سولفیدی زیر ۷۵ میکرون، کلکتور (گزنات)، کف ساز (MIBC)

وسایل

فلوتاسیون آزمایشگاهی با سلول ۱ لیتری، فیلتر فشاری، دستگاه خشک کن

روش

- ۱- نمونه را به دو قسمت مساوی (هر نمونه ۳۰۰ گرم) تقسیم کنید.
- ۲- مقداری آب به نمونه اضافه کنید تا درصد جامد ۲۸ شود.
- ۳- با اضافه کردن کلکتور و کف ساز به مقدار ۲۵ گرم بر تن (ماده خشک) هم زن دستگاه را روشن کنید (شیر هوا بسته باشد).
- ۴- pH پالپ را به ۱۰/۵ - ۱۱ برسانید.
- ۵- برای جذب سطحی مواد شیمیایی روی ذرات کانی ها، اجازه دهید دستگاه ۷ دقیقه با بسته بودن شیر هوا کار کند.
- ۶- با باز کردن شیر هوا و شناور شدن ذرات کانی ها، به آهستگی با استفاده از صفحه فلزی (کاردک) کف را به ظرف نمونه گیر کنسانتره هدایت کنید (شکل ۸-۲). بعد از ۱ دقیقه ظرف نمونه گیر را عوض کنید. اینکار را تا دقیقه ششم تکرار کنید. در دقیقه ششم با جمع کردن نمونه دستگاه را خاموش کنید.



شکل ۸-۲: نحوه جمع آوری کنسانتره با استفاده از کاردک

- ۷- برای یکسان نگه داشتن سطح پالپ در سلول، هم زمان با برداشت کف به سلول آب اضافه کنید.

۸- هر شش نمونه را با استفاده از دستگاه فیلتر فشاری، فیلتر کنید و با نوشتن نام و گروه خود، نمونه را در خشک کن بگذارید.

۹- با دو برابر کردن مقدار کف ساز، مراحل ۱ تا ۸ را تکرار کنید.

۱۰- بعد از خشک شدن نمونه ها آن ها را وزن کنید.

نتایج

۱- با فرض این که عیار فلز خوراک ۱ درصد باشد و با توجه به عیار فلز کنسانتره که توسط مسئول آزمایشگاه در اختیار شما قرار می گیرد، منحنی بازیابی تجمعی را بر حسب زمان برای هر دو حالت رسم کنید.

۲- اگر رابطه بازیابی تجمعی (R) و زمان (t) با رابطه ۸-۱ قابل بیان باشد:

$$R = 1 - \exp(-kt) \quad (1-8)$$

مقدار k (ثابت نرخ واکنش) را برای هر دو نمونه با استفاده از تابع Solver در نرم افزار Microsoft Excel محاسبه کرده و بحث کنید (نحوه استفاده از تابع Solver در پیوست دو آزمایش دوم ارائه شده است).

۳- تاثیر کف ساز را در عملیات توضیح دهید.

سوالات

۱- فلوتاسیون معکوس در چه مواردی بکار می رود؟

۲- اثر pH در فلوتاسیون چیست؟

۳- اگر سه سلول فلوتاسیون به طور سری قرار گرفته باشند و هر سه سلول بازیابی برابر داشته باشند بازیابی کل مدار چقدر خواهد بود؟ (راهنمایی: این مدار سه کنسانتره و یک باطله نهایی دارد).

۴- اگر عمق کف در یک سلول کم باشد، چه تاثیری در عملیات دارد؟ در چه مرحله ای از مدار فلوتاسیون به عمق کف زیاد نیاز است؟

۵- اگر قرار باشد به یک ردیف سلول فلوتاسیون که به طور سری قرار گرفته اند مواد شیمیایی بیشتری اضافه شود، مناسب ترین محل کجا خواهد بود؟

۶- آیا باید نوع کلکتوری که در مراحل مختلف فلوتاسیون اضافه می شود، متفاوت باشد؟ توضیح دهید.

منابعی برای مطالعه بیشتر

- ۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرایبی، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.
- ۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرایبی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.
- ۳- ص. بنیسی و م. نثاری، فلوتاسیون ستونی، انتشارات شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۱.
- 4- S. Banisi, M. Sarvi, D. Hamidi and Fazeli, Flotation Circuit Improvements at the Sarcheshmeh Copper Mine, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy (Trans. Inst. Min. Metall. C)*, Vol. 112, C198-C205, December 2003.
- 5- S. Banisi, and J.A. Finch, Testing a Flotation Column at the Sarcheshmeh Copper Mine, *Minerals Engineering*, Vol. 14, No. 7, 1177-1182, 2001.

جداسازی جامد از مایع

مقدمه

در اغلب فرآیندهای جدایش کانی ها از آب زیادی استفاده می شود و در نتیجه کنسانتره نهایی باید از پالپی که در آن نسبت آب به جامد زیاد است جدا شود. آبگیری یا جداسازی جامد از مایع، وظیفه آماده سازی کنسانتره خشک برای حمل و نقل را بر عهده دارد.

روش های آبگیری به طور کلی به سه گروه تقسیم می شوند: ۱- ته نشینی ۲- فیلتر کردن ۳- خشک کردن حرارتی

زمانی که اختلاف دانسیته زیادی بین مایع و جامد وجود داشته باشد، ته نشینی موثرترین روش است. در کانه آرایشی این شرایط تقریباً همیشه صادق است، چون سیال حمل کننده آب است. با این وجود، ته نشینی همیشه در فرآیندهای هیدرومتالورژیکی قابل استفاده نیست، چون در اغلب موارد سیال حمل کننده ممکن است دارای دانسیته خیلی نزدیک به دانسیته جامد باشد. در چنین شرایطی، فیلتر کردن بکار می رود.

آبگیری در کانه آرایشی معمولاً ترکیبی از روش های بالا است. عمده آب توسط ته نشینی که در نهایت پالپی با درصد جامد ۵۵-۶۵ تولید می کند، جدا می شود. در این مرحله معمولاً ۸۰ درصد آب بازیابی می شود. در فیلتر کردن مواد

جامد روی محیط متخلخل تجمع می کند که کیک نامیده می شود و مقدار جامد آن بین ۸۰-۹۰ درصد می باشد. برای تولید محصول نهایی با رطوبت کمتر از ۵ درصد به خشک کردن حرارتی نیاز است.

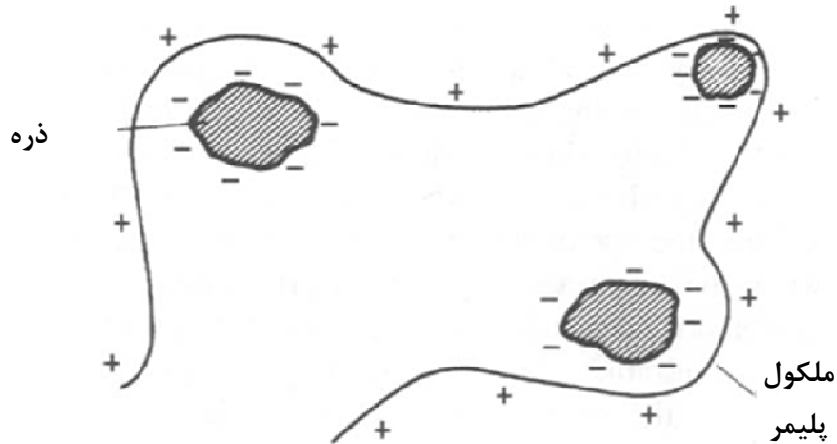
تئوری

ته نشینی سریع ذرات جامد در یک مایع باعث تولید مایع نسبتاً شفاف در بالا و پالپ با درصد جامد زیاد در پایین می شود. ولی وقتی ذرات خیلی ریز (چند میکرون) باشند، سرعت ته نشینی خیلی کم است و جداسازی در مقیاس صنعتی غیر عملی می شود. برای زیادتیر کردن سرعت ته نشینی ذرات سعی بر این است که آن ها به هم نزدیک شده و تجمع کنند و در نتیجه سرعت ته نشینی ذرات افزایش یابد. برای تجمع ذرات خیلی ریز از دو روش کواگولاسیون و فلوکولاسیون استفاده می شود. در کواگولاسیون بارهای الکتریکی اطراف ذرات با اضافه کردن بارهای مختلف خنثی می شوند و در اثر از بین رفتن نیروی دافعه الکترواستاتیکی بین آن ها، ذرات به هم نزدیک شده و در اثر نیروی جاذبه واندروالسی به هم چسبیده و به سرعت سقوط می کنند. در شرایط معمولی بار سطح ذرات منفی است و از یون های Al^{3+} , Fe^{3+} , Ca^{2+} برای خنثی کردن آنها استفاده می شود. کواگولاسیون زمانی صورت می گیرد که ذرات نسبت به محیط دربرگیرنده دارای بار صفر باشد و این معمولاً در نقطه بار صفر (Zero Point of Charge) رخ می دهد.

در فلوکولاسیون مولکول های پلیمرهای زنجیر بلند به صورت پل بین ذرات پراکنده عمل می کنند و باعث سقوط آن ها می شوند (شکل ۹-۱). پلی اکریلامیدها به طور وسیعی به عنوان فلوکولانت در صنعت استفاده می شوند.

غلظت یون های اضافه شده به پالپ در کواگولاسیون تاثیر مستقیمی در سرعت ته نشینی دارد و بعد از یک غلظت بحرانی اثر منفی دارد. به عبارت دیگر، سطوح ذرات بعد از خنثی شدن، بار مخالف پیدا می کنند و دوباره در اثر دفع الکترواستاتیکی پراکنده می شوند.

اضافه کردن فلوکولانت اثر منفی ندارد ولی باعث جلوگیری از تراکم نهایی ماده ته نشین شده می شود و از طرف دیگر هزینه بالا می رود.



شکل ۹-۱: نحوه عملکرد فلوکولانت

اهداف

- تاثیر کواگولانت و فلوکولانت بر سرعت ته نشینی مواد
- بررسی تاثیر غلظت و مقدار مواد شیمیایی بر سرعت ته نشینی مواد
- تعیین سرعت ته نشینی مواد

وسایل

استوانه های مدرج ۱۰۰ میلی لیتری، زمان سنج

مواد

سنگ معدن مس زیر ۱۰۰ میکرون، سولفات آلومینیوم، فلوکولانت (سوپر فلاک)

روش

الف- قسمت اول

- ۱- در هر ۴ استوانه مدرج ۱۰۰ میلی لیتری، مقدار ۵ گرم سنگ معدن مس بریزید و بقیه آن را با آب پر کنید (تا ۱۰۰ میلی لیتر).
- ۲- ۴ استوانه را به خوبی به هم بزنید تا ذرات خیس شده و هوای گیر افتاده خارج شود.
- ۳- استوانه اولی را بعد از به هم زدن روی سطح میز بگذارید و نحوه ته نشینی ذرات را بررسی کنید.
- ۴- در استوانه دومی ۰/۱ گرم سولفات آلومینیوم بریزید و بعد از به هم زدن روی میز بگذارید. مشاهدات خود را (وضعیت آب در قسمت بالای استوانه، شکل فلاک ها و سرعت پایین آمدن خط گل) در مورد نحوه ته نشینی ذرات بنویسید.
- ۵- در استوانه سوم ۰/۳ گرم سولفات آلومینیوم بریزید و خوب به هم بزنید. با گذاشتن استوانه روی میز، نحوه ته نشینی ذرات را بررسی کنید.
- ۶- در استوانه چهارم، ۱ میلی لیتر از محلول ۰/۵ گرم بر لیتر فلوکولانت ریخته و خوب به هم بزنید. نحوه ته نشینی ذرات را به دقت تحت نظر بگیرید.

ب- قسمت دوم

- ۱- بعد از تمیز کردن استوانه ها، ۵ گرم سنگ معدن مس را در استوانه های اول و دوم و ۱۰ گرم در استوانه های سوم و چهارمی بریزید.
- ۲- استوانه اولی را با آب پر کرده و ۰/۳ گرم سولفات آلومینیوم به آن اضافه کنید.
- ۳- استوانه دومی را با آب پر کرده و ۰/۶ گرم سولفات آلومینیوم به آن اضافه کنید.
- ۴- استوانه سومی را با آب پر کرده و ۰/۳ گرم سولفات آلومینیوم به آن اضافه کنید.
- ۵- استوانه چهارمی را با آب پر کرده و ۰/۶ گرم سولفات آلومینیوم به آن اضافه کنید.
- ۶- استوانه اولی را به خوبی به مدت ۳۰ ثانیه تکان دهید (با سر و ته کردن) در صورتی که سطح آنها پایین آمده باشد به آنها آب اضافه کنید.

۷- استوانه را روی میز بگذارید و ارتفاع سطح گل را هر ۱۵ ثانیه اندازه بگیرید.

۸- مرحله ۶ و ۷ را برای ۳ استوانه باقی مانده تکرار کنید.

نتایج

۱- مشاهدات خود را از قسمت اول آزمایش بنویسید. تاثیر فلوکولانت و کواگولانت را در ته نشینی چگونه ارزیابی می کنید.

۲- سرعت ته نشینی را برای هر ۴ استوانه رسم کنید و تاثیر درصد جامد و غلظت کواگولانت را مورد بررسی قرار دهید.

سوالات

۱- بازوهای تیکنر باید با سرعت مناسبی حرکت کنند، مشخصات این سرعت مناسب چیست؟

۲- در زمان ورود خوراک به تیکنر، چه مواردی باید رعایت شود؟

۳- پارامترهای مهم کنترل در عملیات تیکنر چیست؟

۴- چرا سطح تیکنر نسبت به عمق آن خیلی زیاد می باشد؟

۵- اثر یون آلومینیوم در تجمع ذرات بیشتر است یا یون کلسیم؟

۶- آیا اضافه کردن فلوکولانت در چند مرحله به جای یک مرحله، در مسیر انتقال پالپ به تیکنر، می تواند در کارآیی عملیات تاثیر داشته باشد؟ توضیح دهید.

منابعی برای مطالعه بیشتر

۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرائی، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.

۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرائی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

3- S. Banisi, M. Yahyaei, Feed Dilution Based Design of a Thickener for Refuse of a Coal Preparation Plant, Coal Preparation, Taylor & Francis, Vol. 28, No. 4, 2008.

جدایش در جریان قائم – جیگ

مقدمه

یکی از قدیمی ترین روش های پرعیار کردن ثقلی مواد استفاده از وسیله ای به نام جیگ است (شکل ۱۰-۲). این وسیله معمولاً برای پرعیار کردن مواد دانه درشت مورد استفاده قرار می گیرد و اگر دانه بندی خوراک آن محدود باشد (به عنوان مثال ۳-۱۰ میلی متر) می توان کانی هایی با جرم مخصوص نسبتاً نزدیک را از هم جدا کرد (به عنوان مثال فلوئورین با جرم مخصوص ۳/۱۵ از کوارتز با جرم مخصوص ۲/۶۵). اگر اختلاف جرم مخصوص زیاد باشد، می توان در دامنه وسیع تری از دانه بندی، مواد را از یکدیگر جدا نمود. در حال حاضر کارخانه های کانه آرایشی متعددی به طور وسیع از جیگ برای فرآوری موادی مانند زغال سنگ، کاسیتريت، تنگستن، طلا، کرومیت، باریت و کانه های آهن استفاده می کنند. جیگ ها ظرفیت متفاوتی دارند و می توان توسط آنها موادی تا ابعاد ۱ میلی متر را با کارایی خوب و تا ابعاد ۱۵۰ میکرون با کارایی قابل قبول پرعیار کرد. در صورتی که نرمه موجود در خوراک زیاد باشد، اختلالاتی در کار جیگ ایجاد می شود، لیکن با کنترل مقدار نرمه می توان کارایی آن را افزایش داد.

جیگ دنور (Denver) (جیگ موجود در آزمایشگاه) از وسایلی است که قادر است در دامنه وسیعی از دانه بندی کار کند. حرکت نوسانی در این جیگ توسط یک دیافراگم ایجاد می شود. این جیگ مجهز به یک شیر دوار است و می توان آن را به نحوی تنظیم کرد که در هر مرحله ای که مورد نظر باشد، باز شود. بدین ترتیب می توان آن را هم

زمان با حرکت کشتی و یا بالعکس هم زمان با حرکت جهشی تنظیم کرد. به عبارت دیگر، با تغییر زمان باز شدن شیر، می توان شرایط کار جیگ را از حالتی که حرکت کشتی به طور کامل حذف شده است، تا حالتی که حرکت کشتی و حرکت جهشی کاملاً یکسان هستند، تغییر داد. به این ترتیب محدوده کاربرد جیگ افزایش یافته و در هر مورد می توان توسط جیگ جدایشی با دقت زیاد انجام داد.

تئوری

از میان روش های جدایش ثقلی که در طبقه بندی جریان قائم قرار می گیرند، می توان به جدایش واسطه سنگین و طبقه بندی ابعاد اشاره کرد. واسطه سنگین معمولاً برای ذرات درشت بکار می رود، در حالی که طبقه بندی برای ذرات ریز کاربرد دارند. این محدودیت کاربرد در صورت استفاده از جریان جیگ (رو به بالا و پایین) از طریق یک بستر متراکم از ذرات به شرط اعمال نیروی کافی برای انبساط این بستر در حین بالا رفتن یک سیکل جریان با بالا و پایین، کاهش می یابد. حرکت جیگ کمک می کند که ذرات در حین بازگشت لایه بندی شوند. استفاده از یک نیروی کشتی به این امر کمک می کند. در هر جیگ دو نوع حرکت وجود دارد: حرکت جهشی و حرکت کشتی. اگر مواد معدنی بر روی یک سرن در یک جعبه سرباز قرار گیرند با عبور یک جریان آب از سرن، می توان یک حرکت رو به بالا (جهشی) با یک شدت متناسب ایجاد کرد. این حرکت جهشی انرژی لازم را برای انبساط بستر متراکم مواد، به آب می دهد. با استفاده از نیروی کشتی، بستر مواد منبسط شده به تدریج متراکم می شود. مجموع این عملیات فرآیند جیگ نامیده می شود و وسیله ای که بر این اساس برای جدایش کانی ها از یکدیگر طراحی شده است جیگ نام دارد.

بعد از تکرار جایگزینی مواد، ذرات در جیگ لایه بندی می شوند. این لایه بندی به نحوی است که ذرات کانی سنگین در ته بستر قرار می گیرند و ذرات کانی سبک به طرف بالا رانده می شوند (این جدایش چندان تحت تاثیر ابعاد ذرات نیست). آخرین مرحله لایه بندی و زمان لازم برای رسیدن به این مرحله به عوامل زیر بستگی دارند:

الف) دانه بندی کل خوراک در جیگ

ب) وزن مخصوص، شکل و اندازه تک تک ذرات

ج) وزن مخصوص متوسط کل خوراک شامل خلل و فرج

$$د) \text{ وزن مخصوص نسبی: } \frac{(\rho_h - \rho_m)}{(\rho_l - \rho_m)}$$

که در آن:

ρ_h : وزن مخصوص کانی با دانسیته بالا

ρ_m : وزن مخصوص پالپ

ρ_l : وزن مخصوص کانی با دانسیته پایین

ه) شدت حرکت جهشی

و) شدت جریان آب در جعبه جیگ

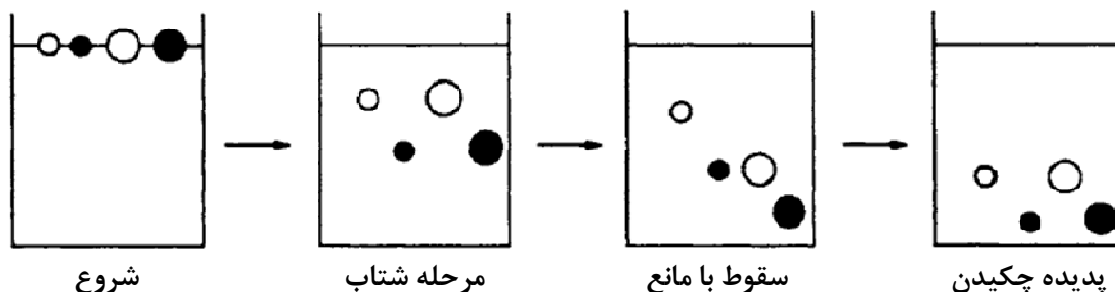
در فرآیند جیگ، جدایش کانی ها با وزن مخصوص های متفاوت در یک بستر صورت می گیرد. در این بستر توسط یک جریان جهشی آب، نوعی لایه بندی به وجود می آید. بستر مواد با عبور جریان آب منبسط می شود. میزان انبساط لایه کنترل می شود تا ذرات بزرگ سنگین تحت شرایط سقوط با مانع، ته نشین شوند و ذرات سنگین ریز از میان خلل و فرج نفوذ کرده و از بستر عبور کنند.

مراحل اصلی شناخته شده که لازمه تشکیل لایه بندی مناسب برای جدایش در جیگ هستند را می توان به صورت زیر خلاصه کرد (شکل ۱۰-۱):

الف) حرکت شتابدار اولیه ذرات در ابتدای سقوط ذرات در داخل سیال. در این حالت سرعت ذره خیلی کم است، لذا از طرف سیال مقاومتی در مقابل حرکت ذره اعمال نمی شود. به عبارت دیگر نیروی مقاومت سیال ناچیز و قابل چشم پوشی است. در این حالت، ذرات فقط تحت تاثیر نیروی وزن خود (و نه اندازه) سقوط می کنند. این مرحله به عنوان شتاب اولیه افتراقی شناخته می شود.

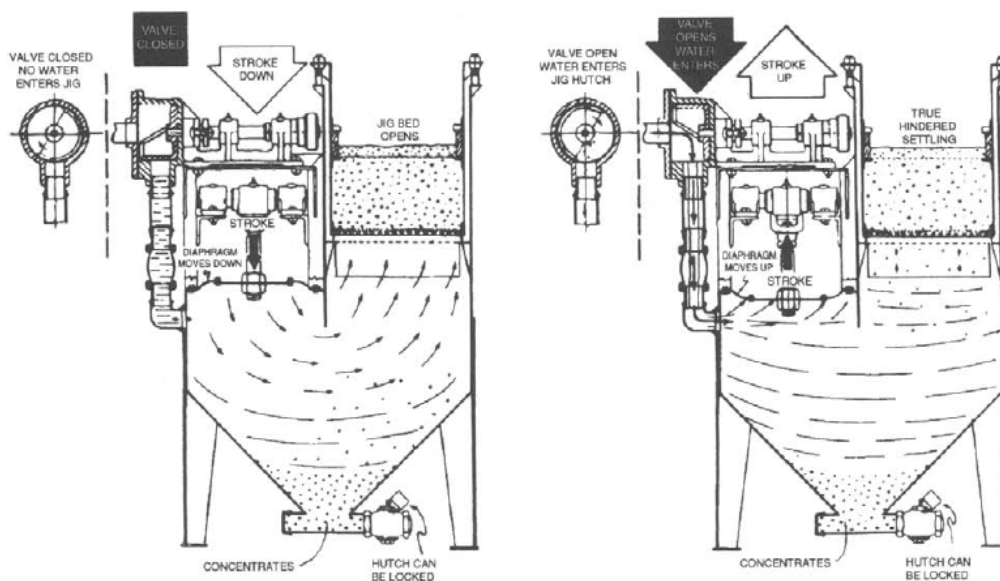
ب) مرحله ای که بستر مواد هنوز باز و منبسط است. در این حالت ذرات سرعت نسبتاً زیادی کسب می کنند و در نتیجه نیروی مقاومت سیال وارد عمل می شود. در این حالت که شرایط سقوط با مانع حاکم است، نسبت سقوط کانی های سنگین به سبک با اندازه یکسان از حالت سقوط آزاد بیشتر است.

ج) در مرحله متراکم شدن بستر یعنی در انتهای حرکت جهش، ذرات بزرگ در بستر به یکدیگر نزدیک می شوند و خلل و فرج موجود راه را برای نفوذ ذرات ریز باز می کند. این نوع از لایه بندی دوباره مواد در اصطلاح "چکیدن" نیز نامیده می شود.



شکل ۱۰-۱: مراحل ایده آل جدایش مواد در جیگ اولیه متفاوت

اگر اختلاف وزن مخصوص کانی های موجود در خوراک ناچیز باشد، برای دستیابی به یک جدایش مطلوب، توزیع دانه بندی خوراک باید خیلی محدود باشد و حرکت کششی نیز باید به آرامی اعمال شود (تحت چنین شرایطی لایه بندی مواد عمدتاً بر اساس وزن مخصوص صورت می گیرد). اگر خوراک جیگ قبلاً با روش های هیدرولیکی (طبقه بندی مواد در سیال) آماده شده باشد، کانی های سنگین در مقایسه با کانی های سبک در ابعاد کوچک تری پر عیار شده اند. بنابراین فرآیند جیگ باید به عبور ذرات کوچک سنگین کمک کند تا از منافذ بستر عبور کنند. این امر استفاده از نیروی کششی قوی را طلب می کند.



شکل ۱۰-۲: نمای کلی از نحوه کار جیگ صنعتی

کارایی جیگ را می توان از روابط زیر بدست آورد.

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \quad \text{یا} \quad R = \frac{Cc}{Ff} \quad (1-10)$$

که در آن:

C: وزن کنسانتره (ته ریز)

F: وزن خوراک

c: عیار کنسانتره

f: عیار خوراک

t: عیار باطله

اهداف

- نمایش فرآیند لایه بندی در بستر جیگ
- مشاهده اختلاف در شدت لایه بندی مواد به صورت تابعی از معیار جدایش (زمان تشکیل لایه بندی)
- نمایش اثر لایه مصنوعی
- مشاهده پدیده چکیدن

مواد

- کرومیت خرد شده (از زیر ۱۰ مش تا ۱۶+ مش) با وزن مخصوص نسبی ۴/۶
 - کلسیت خرد شده (از زیر ۱۰ مش تا ۱۶+ مش) با وزن مخصوص نسبی ۲/۷
- رنگ کرومیت سیاه مایل به خاکستری است، کلسیت سفید شفاف. این اختلاف در رنگ به تشخیص رفتار هر بخش در جیگ کمک می کند.

وسایل

جیگ آزمایشگاهی نیمه دائم (Denver) $2 \times 1 - 0.5$ با سرند ۴ میلی متری

۲ تا ۳ کیلوگرم گلوله های فولادی با قطرهای بزرگ تر از ۳ میلی متر

زمان سنج

روش کار

- ۱- کرومیت و کلسیت را به نسبت وزنی ۱ به ۲ مخلوط کنید.
- ۲- درصد حجمی کرومیت را نسبت به کل خوراک با شمارش حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ دانه خوراک بدست آورید و از آن جا با توجه به دانسیته کرومیت و کلسیت درصد وزنی کرومیت و کلسیت (عیار) را بدست آورید.
- ۳- تعدادی گلوله فولادی داخل جیگ بریزید تا لایه ای به ضخامت ۴ سانتی متر تشکیل شود.
- ۴- مقداری از کرومیت (۳-۵ mm) را روی گلوله ها بریزید تا سطح گلوله ها پوشیده شود.
- ۵- شیر آب را باز کنید و شدت جریان آب را از ته ریز اندازه بگیرید.
- ۶- جیگ را روشن کنید و تعداد حرکات جهشی آن را در دقیقه بشمارید.
- ۷- شیر ته ریز را طوری تنظیم کنید که سطح آب در محفظه جیگ ۵ سانتی متر بالای لایه مصنوعی ثابت بماند.
- ۸- ۲ کیلوگرم مخلوط کرومیت-کلسیت را وارد محفظه جیگ کنید.
- ۹- ۳۰ ثانیه صبر کنید، سپس جیگ را خاموش کنید.
- ۱۰- شیر آب را قطع کنید.
- ۱۱- درصد حجمی کرومیت و کلسیت را در سرریز و ته ریز با شمردن ۱۵۰ تا ۲۰۰ دانه از هر کدام (سرریز و ته ریز) بدست آورید (میانگین قطر ذرات را ۱۳ مش در نظر بگیرید) و از آن جا با توجه به دانسیته کرومیت و کلسیت عیار (درصد وزنی) کرومیت و کلسیت را بدست آورید.
- ۱۲- مراحل ۱ تا ۱۱ را با زمان ماندهای ۶۰، ۹۰، ۱۵۰، ۱۸۰ و ۲۱۰ ثانیه انجام دهید.

۱۳- میزان خوراک را دو برابر کنید و مراحل ۱ تا ۱۲ را انجام دهید.

۱۴- نتایج را در فرم ثبت نتایج که نمونه آن در پیوست ارائه گردیده است یادداشت کنید.

نتایج

۱- کارآیی جیگ را در هر حالت بدست آورید.

۲- تاثیر زمان ماند را بر کارآیی جیگ با رسم نمودار تشریح کنید.

۳- تاثیر خوراک دهی را بر کارآیی جیگ با رسم نمودار تشریح کنید.

۴- زمان ماند بهینه را برای رسیدن به بیشترین کارآیی روی هر دو نمودار نشان دهید.

سوالات

۱- درباره نقش لایه مصنوعی در جیگ و این که چه کاری انجام می دهد، توضیح دهید.

۲- نسبت جدایش و نسبت پرعیار سازی را در هر مورد محاسبه کنید.

۳- درباره تغییرات قابل پیش بینی در نحوه جدایش مواد در حالات زیر بحث کنید.

الف) افزایش شدت جریان آب

ب) افزایش تعداد حرکات جهشی در دقیقه و کاهش طول حرکات

ج) افزایش شدید خوراک دهی

۴- چرا نرمه گیری از خوراک، قبل از جیگ یکی از عوامل عمده در موفقیت عملیات جدایش می باشد؟

منابعی برای مطالعه بیشتر

۱- م. اولیازاده، آزمایش های کانه آرایی، مرکز انتشارات صنعت فولاد، تهران، ۱۳۷۲.

۲- ح. نعمت الهی، مبانی کانه آرایی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

پیوست

جدول ۱۰-۱: نمونه فرم ثبت نتایج کارآیی جیگ

درصد بازیابی		عیار (درصد وزنی)		وزن کل (g)	محصول
کلسیت	کرومیت	کلسیت	کرومیت		
					سنگین
					سبک