

تأثیر شکل ذرات بر شناورسازی کوارتز

فهیمة دهقانی^۱، بهرام رضایی^{۲*}، محمد رضا اصلانی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۲. استاد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (brezai1@yahoo.com)
۳. دانشجوی دوره دکترا مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

یکی از پارامترهای فیزیکی بسیار مهم ذرات، شکل آنهاست که دارای نقش حیاتی در صنایعی است که مواد مختلف را به شکل پودر به کار می‌برند. در این تحقیق تأثیر روش خردایش (آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای) بر روی شکل ذرات کوارتز و همچنین تأثیر شکل ذرات بر روی سینتیک فلوتاسیون آنها مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای شکل ذرات برای محصولات آسیاهای، توسط تصاویر به دست آمده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و با استفاده از سیستم آنالیز تصویری کلمکس ویژن پی ای به دست آمد. آزمایشات فلوتاسیون توسط سلول آزمایشگاهی دنور انجام شد. نتایج نشان داد که ذرات تولید شده توسط آسیای میله‌ای دارای میزان کشیدگی و پهنای بیشتر و میزان گردی و عرض نسبی کمتری، نسبت به ذرات تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای هستند. در آزمایشات فلوتاسیون میزان ثابت سینتیک، برای محصول آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای به ترتیب $6/75 \cdot \text{min}^{-1}$ و $6/341 \cdot \text{min}^{-1}$ به دست آمد. همچنین ذراتی با میزان کشیدگی و پهنای بیشتر و میزان گردی و عرض نسبی کمتر، قابلیت فلوتاسیون بیشتری داشتند.

مشخصات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۹ آذر ۱۳۸۹
دریافت پس از اصلاح ۲۱ اسفند ۱۳۸۹
پذیرش نهایی ۲۸ اردیبهشت ۱۳۹۰

کلمات کلیدی:

خردایش
شکل ذرات
سینتیک
فلوتاسیون
کوارتز

۱- مقدمه

اهداف خردایش در فرآوری مواد معدنی شامل آزادسازی کانی‌های با ارزش از گانگ، افزایش سطح خارجی مواد و آماده‌سازی آن‌ها برای بعضی از واکنش‌های شیمیایی و تهیه مواد معدنی با ابعاد و شکل مشخص برای مصارف مختلف است [۱،۲]. خردایش و آسیاکردن باعث ایجاد تغییر در شکل و توزیع ابعادی، سطح ویژه، انرژی آزاد سطح، قابلیت رسانایی مواد، تجزیه شیمیایی، تخریب و تغییر شبکه می‌شود. این تغییرات در نتیجه نیروهای فشاری، کششی، ضربه‌ای، سایشی و اصطکاکی هستند که از مشخصه‌های بارز عملیات خردایش می‌باشند. میزان این تغییرات به شدت تحت تأثیر خصوصیات آسیا و مواد، روش خردایش، انرژی ورودی، فشار و دمای محیط قرار می‌گیرد [۳]. تفاوت شکل ذرات در آسیاهای مختلف، مربوط به مکانیزم خردایش آن‌ها مانند سایش، ضربه و لب‌پر شدن می‌شود که این مکانیزم‌ها تا حدی به روش خردایش بستگی دارد. مکانیزم اصلی خردایش در آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای ضربه است و گلوله‌ها و میله‌هایی که به عنوان واسطه‌های خردایش استفاده می‌شوند به ترتیب بار نقطه‌ای و خطی بر روی ذرات اعمال می‌کنند و باعث تولید ذرات با شکل‌های مختلف می‌شوند [۲،۴]. با کاهش ابعاد ذرات، به نظر می‌رسد که سطوح ذرات بسیار مهم خواهد شد و کاهش ابعاد، خواص و ویژگی‌های سطح مانند شکل را تحت تأثیر قرار خواهد داد [۳].

شکل ذرات یک پارامتر مهم برای پیش‌بینی رفتار ذرات است که بر روی نحوه شکست، گسیختن، سائیدن، متراکم کردن، واکنش، روانی سیال، رسوب، فلوتاسیون، آگلومراسیون و ساختار مواد تأثیر می‌گذارد [۵،۶]. در صنایع معدنی، روش‌های جدایش به شکل ذره بسیار حساس هستند به نحوی که ممکن است تجهیزات و مدارهای واحد کانه‌آرایی، جهت بهینه کردن بازیابی، بر اساس توزیع شکل ذرات در خوراک، محصول و باطله طراحی شوند [۶،۷]. شکل ذرات نه تنها برای صنایع معدنی با اهمیت است بلکه برای بسیاری از صنایع مانند مهندسی عمران، شیمی، متالورژی، داروسازی، رنگ، فلزات، سرامیک، مواد غذایی و صنایعی که با گرد و غبار و دود سر و کار دارند، بسیار با اهمیت می‌باشد [۳-۵].

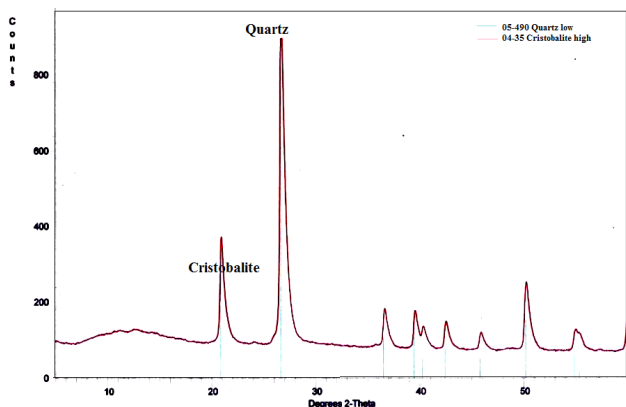
شکل ذرات بر روی خواص فیزیکی و شیمیایی و سطحی ذرات تأثیر می‌گذارد و فرآیندهای بعدی از قبیل فلوتاسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۵،۶]. تیکر (۱۹۹۱) نشان داد که ذرات کاسیتريت تولید شده توسط آسیای خودشکن گردتر از

ذرات کاسیتريت تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای است. هیکی‌ایلماز و همکارانش (۲۰۰۴) نشان دادند که ذرات تالک و کوارتزی که توسط آسیای میله‌ای خرد شده‌اند، میزان کشیدگی و پهنای بیشتری دارند و آبران‌تر هستند [۴]. اولوسوی و همکارانش (۲۰۰۴) با خردایش کلسیت و باریت توسط سه آسیای گلوله‌ای، میله‌ای و خودشکن به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان کشیدگی، پهنای و آبرانی ذرات کلسیت مربوط به محصولات آسیای خودشکن است، در حالی که برای باریت مربوط به محصولات آسیای گلوله‌ای می‌باشد [۲]. کورسو و همکارانش (۲۰۰۶) نشان دادند که ذرات تالک با کشیدگی و پهنای بیشتر تأثیری مثبت و ذرات تالک با گردی و عرض نسبی کمتر تأثیری منفی بر روی بازیابی فلوتاسیون ستونی دارند [۸]. پرینسن (۱۹۶۹) فرض کرد که کشش سطحی بین ذره و حباب در ذرات منشوری و زاویه‌دار بسیار بیشتر از ذرات کروی است. شولز (۱۹۸۱) پیشنهاد کرد که احتمال اتصال ذرات گرد به حباب، به دلیل این‌که جهت گسیختن فیلم مایع فاقد لبه هستند، بسیار کم است. وتروبا و همکاران (۱۹۹۱) ثابت کردند که احتمال جدا شدن ذرات گرد از حباب هوا بسیار بیشتر از ذرات منشوری است [۱۰-۴،۸-۲]. هر چند یک سری تحقیقات در این زمینه انجام شده است، با این وجود پارامترهای شکل هنوز به طور کامل و جامع بسط داده نشده و در حال تحقیق هستند [۵].

جدول (۱): ترکیب شیمیایی کوارتز

ترکیب شیمیایی	درصد
SiO ₂	۹۸/۱
Al ₂ O ₃	۰/۲۵
SO ₃	۰/۳۲
CaO	۰/۳۶
BaO	۰/۱۲۵
Fe ₂ O ₃	۰/۲۸
WO ₃	۰/۲۳
MgO	۰/۰۴۰
Co ₃ O ₄	۰/۰۲۳
MnO	۰/۰۱۷
TiO ₂	۰/۰۱۳
K ₂ O	۰/۰۱۷
P ₂ O ₅	۰/۰۱۱

کانی‌شناسی به ترتیب به وسیله دستگاه‌های XRF و XRD بر روی نمونه معرف انجام شد که نتایج آن به ترتیب در جدول (۱) و شکل (۱) نشان داده شده است. درصد SiO_2 در این نمونه ۹۸/۱ است که بیانگر خلوص کافی کانی مورد مطالعه برای این تحقیق می‌باشد.



شکل (۱): آنالیز کانی‌شناسی کوارتز به روش XRD

۲-۲- آزمایش‌های خردایش

در این تحقیق کانی کوارتز به ترتیب توسط سنگ‌شکن‌های فکی، مخروطی و استوانه‌ای خرد شد. ابعاد خوراک برای هر دو آسیای گلوله‌ای و میله‌ای $۲۳۸۰+۸۴۱$ - میکرون و وزن خوراک ۱۰۰۰ گرم بود. آسیای گلوله‌ای، دارای طول ۱۸۴ میلی‌متر و قطر داخلی ۲۰۰ میلی‌متر و حجم ۹۵۰۰ سانتی‌متر مکعب بوده و وزن کل گلوله‌ها $۶/۱۲$ کیلوگرم و قطر گلوله‌ها ۲۵ و ۳۱ میلی‌متر بود. همچنین آسیای میله‌ای دارای طول ۳۶۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۱۵۰ میلی‌متر بود. وزن کل میله‌ها $۱۰/۴۷$ کیلوگرم و قطر میله‌ها ۱۴ ، ۱۸ و ۲۴ میلی‌متر بود. زمان آسیا کردن در آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای به ترتیب ۴۵ و ۵۵ دقیقه بود. همه آزمایش‌های خردایش در شرایط خشک انجام شدند. بعد از آسیا کردن، کوارتز توسط سرد تر به مدت ۱۵ دقیقه سرد شده و در نهایت فراکسیون $۲۱۲+۲۵۰$ - میکرون برای انجام مراحل بعدی انتخاب گردید.

۲-۳- توصیف شکل ذرات

نمونه معرف از محصول هر آسیا برای مطالعات SEM تهیه شد. جهت ایجاد رسانایی بیشتر، نمونه‌ها با لایه‌ای از طلا پوشش داده شدند. چون نمونه استفاده شده برای SEM صیقل داده نمی‌شوند، از این‌رو احتمال تغییر شکل ذرات از بین می‌رود. چند تصویر از موقعیت‌های مختلف محصولات هر آسیا

اولوسوی و همکارانش (۲۰۰۳) و هیکی ایلماز و همکارانش (۲۰۰۴) تأثیر شکل ذرات کوارتز را بر روی بازیابی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیقات آنها از لوله هالیموند برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون استفاده نمودند، میزان نمونه مورد استفاده در هر آزمایش فلوتاسیون $۰/۵$ گرم بود. همچنین محدوده ابعادی مورد استفاده توسط این محققان $۲۵۰+۴۵$ - میکرون بود [۳،۴].

همان‌گونه که بیان شد محققان قبلی همگی به بررسی تأثیر پارامترهای شکل ذرات بر روی بازیابی پرداخته‌اند و تاکنون تأثیر پارامترهای شکل ذرات بر روی سینتیک فلوتاسیون مورد بررسی قرار نگرفته است، به دلیل فقدان این مسأله، این تحقیق به بررسی تأثیر پارامترهای شکل ذرات مانند کشیدگی، پهنای، گردی و عرض‌نسبی بر روی سینتیک فلوتاسیون ذرات کوارتز محصول آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای و رقابت بین ذرات و قابلیت فلوتاسیون ذرات با شکل‌های مختلف می‌پردازد. همچنین آزمایش‌های فلوتاسیون توسط یک سلول آزمایشگاهی دنور انجام شد و وزن کوارتز مورد استفاده در هر آزمایش فلوتاسیون ۱۰۰ گرم بود، در حالی که در مطالعات قبلی این آزمایشات توسط روش‌های میکروفلوتاسیون و لوله هالیموند انجام شده بود که نمونه مورد استفاده در هر آزمایش فلوتاسیون $۰/۵$ گرم بود. به عبارت دیگر به دلیل اینکه با افزایش مقیاس آزمایش‌ها، نتایج قابل اعتمادتر می‌شوند، آزمایش‌های فلوتاسیون انجام شده در این تحقیق در مقیاس بزرگتری نسبت به تحقیقات قبلی انجام شد. محدوده ابعادی مورد استفاده برای ذرات کوارتز در تحقیقات قبلی $۲۵۰+۴۵$ - میکرون بود، این محدوده ابعادی به دلیل وسیع بودن باعث می‌شود که علاوه بر شکل، ابعاد ذرات نیز شناورسازی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهند از این‌رو برای کاهش تأثیر ابعاد ذرات در این آزمایش‌ها، محدوده ابعادی $۲۱۲+۲۵۰$ - میکرون که یک محدوده ابعادی کوچکتری است در نظر گرفته شد تا تأثیر پارامتر ابعاد ذرات کاهش یابد. همچنین در این تحقیق، پارامتر زمان نیز در حین بازیابی در نظر گرفته شده و بازیابی در زمان‌های گوناگون به دست آمده که در تحقیقات اشاره شده در این مقاله، عامل زمان در نظر گرفته نشده بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد

کانی کوارتز مورد نیاز برای انجام آزمایشات از معدن کوارتز میزوج قزوین تهیه شد. آنالیزهای شیمیایی و

تجمعی به دست آمده و در نهایت با استفاده از معادله مرتبه اول سینتیک (معادله ۷)، ثابت سینتیک گردید [۱۳].

$$R = R^*(1 - e^{-Kt}) \quad (7)$$

که در این رابطه، متغیرها به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R = \text{بازیابی در هر زمان}$$

$$R^* = \text{بازیابی در زمان بسیار طولانی}$$

$$K = \text{ثابت سینتیک مرتبه اول}$$

$$t = \text{زمان تجمعی از نقطه شروع}$$

نمودار $(-Ln \frac{R^*-R}{R^*})$ بر حسب زمان یک خط راست

می‌باشد که شیب این خط برابر ثابت سینتیک فلوتاسیون است.

همه آزمایش‌ها، سه مرتبه تکرار شدند و قابلیت

تکرارپذیری نتایج خوب بود.

۳- بحث و نتیجه

۳-۱- تأثیر آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای بر روی شکل

ذرات کوارتز

چند تصویر از موقعیت‌های مختلف نمونه معرف محصول آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای با میکروسکوپ الکترونی مانند شکل (۲) تهیه شد. پارامترهای شکل ذرات با استفاده از سیستم آنالیز تصویری و معادله‌های (۱) تا (۶) به دست آمد که در جدول (۲) نشان داده شده است. جدول (۲) نشان می‌دهد که مقادیر کشیدگی و پهنای ذرات کوارتز تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای کمتر از ذرات تولید شده توسط آسیای میله‌ای است. در حالیکه مقادیر گردی و عرض نسبی ذرات کوارتز تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای بیشتر از ذرات کوارتز محصول آسیای میله‌ای است.

داده‌های حاصل از آنالیز تصاویر، برای تعیین این که آیا پارامترهای شکل محصولات دو آسیای گلوله‌ای و میله‌ای به طور آماری با یکدیگر تفاوت دارند یا نه با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه مورد بررسی قرار گرفتند. سطح اعتماد مورد استفاده در این آنالیز ۹۵٪ بود. نتایج به دست آمده در جدول (۳) نشان داده شده است.

با میکروسکوپ الکترونی مدل ایکس ال ۳۰ ساخت شرکت فیلیپس با بزرگنمایی مناسب تهیه شد. سپس طول (L) و عرض (W)، بیش از ۱۰۰ ذره، در هر نمونه معرف، با استفاده از سیستم آنالیز تصویری کلیمکس ویزن پی ای اندازه‌گیری شد. با اندازه‌گیری طول و عرض و با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲)، می‌توان مساحت (A) و محیط (P) را برای هر ذره محاسبه نمود. سپس چهار پارامتر بی‌بعد شکل که شامل میزان کشیدگی (ER)، گردی (RO)، پهن‌شدگی (F) و عرض‌نسبی (RW) می‌شود را می‌توان با استفاده از معادلات (۳) تا (۶) محاسبه نمود [۱۲-۸، ۱۰-۲].

$$A = \frac{\pi LW}{4} \quad (1)$$

$$P \approx \left(\frac{\pi}{2}\right) \left[1.5(L + W) - (LW)^{\frac{1}{2}}\right] \quad (2)$$

$$ER = \frac{L}{W} \quad (3)$$

$$F = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (4)$$

$$RO = \frac{4\pi A}{P^2} \quad (5)$$

$$RW = \frac{W}{L} \quad (6)$$

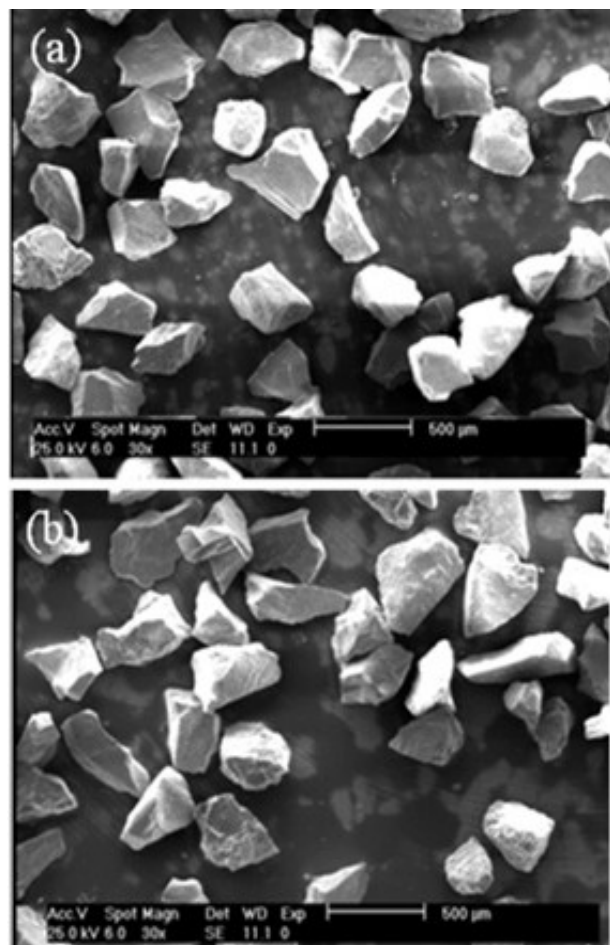
در معادله‌های (۴) و (۵) مشاهده می‌شود که گردی عکس پهنی است. حداقل پهنی و حداکثر گردی، یک است [۴].

۴-۲- آزمایش‌های فلوتاسیون

آزمایش‌های فلوتاسیون در یک سلول آزمایشگاهی دنور مدل D۱۲ و با استفاده از سلول ۱/۵ لیتری انجام شد. وزن نمونه برای انجام هر آزمایش، ۱۰۰ گرم بود. نمونه را با حدود ۱۲۰۰ میلی‌لیتر آب در سلول ۱/۵ لیتری ریخته و با pH ۹ تنظیم شد. جهت آماده‌سازی اولیه، به مدت ۲ دقیقه نمونه با سرعت ۱۰۰۰ دور در دقیقه به هم زده شد. سپس کلکتور به میزان ۱۵۰۰ گرم بر تن به پالپ افزوده گردید. نوع کلکتور آرماک سی و زمان آماده‌سازی ۴ دقیقه بود. پس از اندازه‌گیری و تنظیم دوباره pH پالپ در ۹، شیر هوا را باز نموده و هر ۱۰ ثانیه کف‌ها را جمع‌آوری کرده و سپس شیر هوا پس از ۷۰ ثانیه جمع‌آوری کف بسته شد. بعد از جمع‌آوری کف، بار کف‌ها خشک و توزین شد و با استفاده از مقادیر به دست آمده میزان بازیابی و بازیابی

جدول (۲): پارامترهای شکل ذرات کوارتز ۲۱۲+۲۵۰- میکرون توسط مطالعات SEM

مشخصات ذرات	نوع آسیا	
	میلله‌ای	گلوله‌ای
تعداد	۱۰۸	۱۰۵
مساحت (μm^2)	۹۹۹۵۴/۴۱۰	۱۰۰۰۸۱/۷۰۰
محیط (μm)	۱۱۶۵/۹۱۱	۱۱۶۴/۶۰۱
طول (μm)	۴۴۹/۷۰۴	۴۴۷/۴۶۲
عرض (μm)	۲۸۲/۹۱۶	۲۸۴/۷۸۵
کشیدگی	۱/۵۹۰	۱/۵۷۱
پهنا	۱/۰۸۳	۱/۰۷۸
گردی	۰/۹۲۴	۰/۹۲۷
عرض نسبی	۰/۶۲۹	۰/۶۳۷



شکل (۲): مقایسه شکل ذرات تولید شده توسط آسیاهای گلوله‌ای و میلله‌ای (a: محصول آسیای گلوله‌ای، b: محصول آسیای میلله‌ای)

۳-۲- تأثیر شکل بر روی شناورسازی ذرات کوارتز

بعد از انجام آزمایش‌های فلوتاسیون، مقادیر بازیابی و بازیابی تجمعی و ثابت سینتیک محاسبه شد. مقادیر ثابت سینتیک برای محصولات آسیاهای میلله‌ای و گلوله‌ای به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۹۸۸ و ۰/۹۹۰ به دست آمد.

جدول (۴) نتایج فلوتاسیون را برای محدوده ابعادی ۲۱۲+۲۵۰- میکرون، ذرات کوارتز محصول آسیاهای گلوله‌ای و میلله‌ای نشان می‌دهد. مقادیر ثابت سینتیک فلوتاسیون برای محصولات آسیاهای گلوله‌ای و میلله‌ای به ترتیب ۶/۳۴۱ و

همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود مقادیر F برای پارامترهای کشیدگی، پهنا، گردی و عرض نسبی به ترتیب ۴/۹۸۸۹، ۸/۲۴۴۱، ۱۰/۵۳۵۹ و ۶/۹۰۴۲ است که این مقادیر همگی از F_{crit} که در سطح اعتماد ۹۵٪ برابر با ۳/۸۸۵۹ است، بیشتر است و این نشان می‌دهد که تفاوت بین پارامترهای شکل ذرات تولید شده توسط آسیاهای گلوله‌ای و میلله‌ای دارای اهمیت است. به عبارت دیگر مقادیر کشیدگی و پهنای ذرات کوارتز محصول آسیای گلوله‌ای به طور با اهمیتی کمتر از محصول آسیای میلله‌ای است و مقادیر گردی و عرض نسبی ذرات کوارتز محصول آسیای میلله‌ای به طور با اهمیتی کمتر از محصول آسیای گلوله‌ای است. پس نتایج آنالیز واریانس یک طرفه نشان می‌دهد که یک تفاوت با اهمیتی بین پارامترهای شکل ذرات کوارتز تولید شده در دو آسیای گلوله‌ای و میلله‌ای وجود دارد.

نتایج به دست آمده از جداول (۲) و (۳) نشان می‌دهند که آسیا کردن بر روی شکل ذرات تأثیر می‌گذارد و در نهایت ذرات کوارتز تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای دارای مقادیر کشیدگی و پهنای کمتر و گردی و عرض نسبی بیشتر نسبت به ذرات کوارتز تولید شده توسط آسیای میلله‌ای است.

اختلاف در شکل ذرات در این دو آسیا ناشی از مکانیزم‌های مختلف شکست بر روی شکل ذرات است. همان‌گونه که قبلاً نیز عنوان شد بار خرد کننده در آسیاهای گلوله‌ای و میلله‌ای به ترتیب گلوله‌ها و میلله‌ها هستند. گلوله‌ها و میلله‌هایی که به عنوان بار خرد کننده استفاده می‌شوند به ترتیب بر روی ذرات بار نقطه‌ای و خطی اعمال می‌کنند. نیروی شکست عمده در آسیای گلوله‌ای سایش و لب پر شدن است، در حالیکه ضربه، فاکتور اصلی در آسیای میلله‌ای است. سایش

میله‌ای در این محدوده ابعادی بیشتر از محصول آسیای گلوله‌ای است.

۶/۷۵۰ بر دقیقه است. نتایج به دست آمده از آزمایش‌های فلوتاسیون نشان می‌دهد که ثابت سینتیک محصول آسیای

جدول (۳): نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه (پارامترهای شکل ذرات کوارتز تولید شده توسط دو آسیای گلوله‌ای و میله‌ای)

پارامترها	رابطه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مجزورات	F	F _{crit}
کشیدگی	بین گروه‌ها	۰/۴۶۸۵۱۵	۱	۰/۴۶۸۵۱۵	۴/۹۸۸۹۶۳	۳/۸۸۵۹۰۸
	درون گروه‌ها	۱۹/۸۱۵۰۹	۲۱۱	۰/۰۹۳۹۱		
عرض نسبی	بین گروه‌ها	۰/۰۸۱۰۵۷	۱	۰/۰۸۱۰۵۷	۶/۹۰۴۲۱۹	۳/۸۸۵۹۰۸
	درون گروه‌ها	۲/۴۷۷۱۸۸	۲۱۱	۰/۰۱۱۷۴		
پهنا	بین گروه‌ها	۰/۰۴۷۲۱۲	۱	۰/۰۴۷۲۱۲	۸/۲۴۴۰۶۵	۳/۸۸۵۹۰۸
	درون گروه‌ها	۱/۲۰۸۳۴۲	۲۱۱	۰/۰۰۵۷۲۷		
گردی	بین گروه‌ها	۰/۰۳۴۶۰۱	۱	۰/۰۳۴۶۰۱	۱۰/۵۳۵۹۹	۳/۸۸۵۹۰۸
	درون گروه‌ها	۰/۶۹۲۹۴۴	۲۱۱	۰/۰۰۳۲۸۴		

جدول (۴): بازبایی در زمان‌های مختلف برای محدوده ابعادی ۲۱۲+۲۵۰- میکرون محصول آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای

آسیای گلوله‌ای			آسیای میله‌ای		
زمان	بازبایی	تجمعی (%)	زمان	بازبایی	تجمعی (%)
(ثانیه)	(%)	(%)	(ثانیه)	(%)	(%)
۱۰	۶۰/۴۶	۶۰/۴۶	۱۰	۶۶/۳۳	۶۶/۳۳
۲۰	۲۸/۴۵	۸۸/۹۱	۲۰	۳۱/۰۳	۹۲/۳۵۹
۳۰	۷/۹۸	۹۶/۸۹	۳۰	۴/۸۱۰	۹۷/۱۷۰
۴۰	۱/۹۹	۹۸/۸۸	۴۰	۱/۷۵۲	۹۸/۹۲۳
۵۰	۰/۳۴۵	۹۹/۲۳	۵۰	۰/۵۸۷	۹۹/۵۱۰
۶۰	۰/۲۹۷	۹۹/۵۰	۶۰	۰/۲۲۹	۹۹/۷۳۹
۷۰	۰/۲۰۱	۹۹/۷۰	۷۰	۰/۱۱۵	۹۹/۸۵۵

$\ln \frac{R^* - R}{R^*} = KX + B$	$\ln \frac{R^* - R}{R^*} = KX + B$
$k = ۶/۳۴۱ \text{ (min}^{-1}\text{)}$	$k = ۶/۷۵۰ \text{ (min}^{-1}\text{)}$
$B = ۰/۱۵۰$	$B = ۰/۱۰۷$
$r^2 = ۰/۹۹۰$	$r^2 = ۰/۹۸۸$

بیشتری در شروع فلوتاسیون می‌باشند، که بیانگر آبرانی و قابلیت شناور شدن بیشتر این ذرات است. این نشان می‌دهد که ذرات شناور شونده تند در محصولات آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای ذراتی با شکل‌های کشیده و پهن هستند. همچنین در این جداول مشاهده می‌شود که سرعت بازبایی برای ذرات گرد با افزایش زمان فلوتاسیون افزایش می‌یابد.

در جدول (۳) مشاهده شد که میزان کشیدگی و پهناي ذرات کوارتز در این محدوده ابعادی به ترتیب ۱/۵۷۱ و ۱/۰۷۸ برای محصول آسیای گلوله‌ای و ۱/۵۹۰ و ۱/۰۸۳ برای محصول آسیای میله‌ای است و مقادیر گردی و عرض نسبی به ترتیب ۰/۹۲۷ و ۰/۶۳۷ برای محصول آسیای گلوله‌ای و ۰/۹۲۴ و ۰/۶۲۹ برای محصول آسیای میله‌ای است. براساس این نتایج مقادیر کشیدگی و پهنا در محصولات آسیای میله‌ای بیشتر از آسیای گلوله‌ای است. از سوی دیگر مقادیر گردی و عرض نسبی در محصول آسیای میله‌ای کمتر از آسیای گلوله‌ای می‌باشد.

از نتایج به دست آمده از فلوتاسیون و پارامترهای شکل مربوط به محصولات آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای در این محدوده ابعادی می‌توان به این نتیجه رسید که در این محدوده ابعادی هرچه میزان کشیدگی و پهناي ذرات بیشتر باشد، میزان ثابت سینتیک هم بیشتر خواهد بود و هر چه میزان گردی و عرض نسبی بیشتر باشد میزان ثابت سینتیک کمتر خواهد بود.

شکل (۳) نمودار بازبایی تجمعی بر حسب زمان را برای محصولات این دو آسیا در این محدوده ابعادی با یکدیگر مقایسه می‌کند، که تأیید کننده مطالب فوق است.

پس از کفگیری و خشک کردن نمونه‌ها، نمونه‌های معرفی از هر ۱۰ ثانیه کفگیری تهیه شد. نتایج حاصل از مطالعات SEM، برای محصولات هر دو آسیا در جداول (۵) و (۶) داده شده است. نتایج نشان می‌دهد ذراتی که کشیدگی و پهناي بیشتری دارند، سریعتر از ذرات گرد فلوته می‌شوند. به عبارت دیگر ذرات کشیده و پهن دارای سرعت بازبایی

تأثیر شکل ذرات بر شناورسازی کوارتز

بسیار کم است و احتمال جدا شدن این ذرات از حباب هوا بسیار بیشتر از ذرات کشیده است، تمامی این مسائل به نحوی باعث می‌شوند که ذرات کشیده و پهن نسبت به ذرات گرد سریعتر فلوته شوند [۲، ۴، ۸-۱۰].

قابلیت شناورشدن سریعتر ذرات پهن و کشیده و همچنین شناورشدن کند ذرات گرد را می‌توان بدین‌گونه توجیه کرد که نیروی کشش سطحی ذرات کشیده‌تر به دلیل ناحیه تماس بزرگتر و خط تماس طولانی‌تر نسبت به ذرات گرد بیشتر است. همچنین احتمال اتصال ذرات گرد به حباب، به دلیل این که فاقد لبه‌هایی برای گسیختن فیلم مایع هستند،

جدول (۵): پارامترهای شکل ذرات کوارتز، محصول آسیای گلوله‌ای، محدوده ابعادی ۲۱۲+۲۵۰- میکرون، بعد از هر ۱۰ ثانیه کف‌گیری

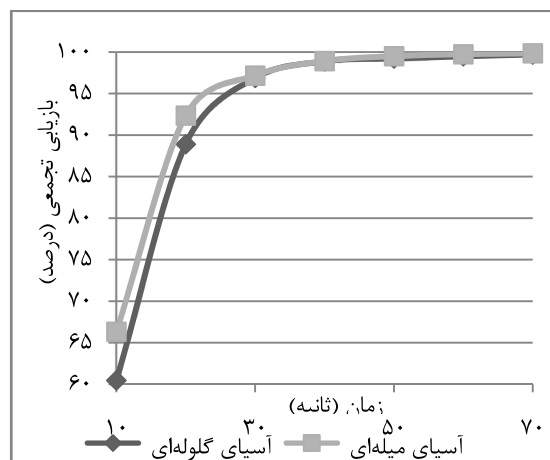
زمان ثانیه	مساحت μm^2	محیط μm	طول μm	عرض μm	کشیدگی	پهنا	گردی	عرض نسبی
۱۰	۹۹۶۱۰/۶۵۰	۱۱۶۴/۸۲۱	۴۴۹/۸۵۲	۲۸۱/۹۳۴	۱/۵۹۶	۱/۰۸۴	۰/۹۲۳	۰/۶۲۷
۲۰	۱۰۱۳۹۶/۷۰۰	۱۱۷۱/۱۸۸	۴۴۹/۲۰۴	۲۸۷/۴۰۲	۱/۵۶۳	۱/۰۷۷	۰/۹۲۹	۰/۶۴۰
۳۰	۹۷۱۵۵/۴۰۰	۱۱۴۲/۱۲۴	۴۳۴/۵۲۳	۲۸۴/۶۸۵	۱/۵۲۶	۱/۰۶۸	۰/۹۳۶	۰/۶۵۵
۴۰	۹۶۸۰۷/۲۶۰	۱۱۳۹/۴۹۷	۴۳۳/۰۳۰	۲۸۴/۶۴۳	۱/۵۲۱	۱/۰۶۷	۰/۹۳۷	۰/۶۵۷
۵۰	۹۹۹۴۰/۸۱۰	۱۱۵۶/۶۷۴	۴۳۸/۵۸۹	۲۹۰/۱۳۲	۱/۵۱۲	۱/۰۶۵	۰/۹۳۹	۰/۶۶۲
۶۰	۱۰۳۵۵۴/۰۰۰	۱۱۷۵/۰۳۷	۴۴۳/۴۴۷	۲۹۷/۳۲۸	۱/۴۹۱	۱/۰۶۱	۰/۹۴۲	۰/۶۷۰
۷۰	۹۸۹۰۷/۷۲۰	۱۱۴۷/۳۶۸	۴۳۲/۰۸۲	۲۹۱/۴۵۷	۱/۴۸۲	۱/۰۵۹	۰/۹۴۴	۰/۶۷۵

۴- نتیجه‌گیری

۱- ویژگی‌های شکل ذرات کوارتز با استفاده از SEM تعیین شد. ذرات تولید شده توسط آسیای گلوله‌ای دارای گردی و عرض نسبی بیشتری بوده، در حالی که ذرات تولید شده توسط آسیای میله‌ای دارای پهنای و کشیدگی بیشتری می‌باشند.

۲- سینتیک فلوتاسیون محصول آسیای میله‌ای بیشتر از محصول آسیای گلوله‌ای است.

۳- ذراتی که دارای پهنای و کشیدگی بیشتری هستند، سریعتر از ذراتی که دارای گردی و عرض نسبی بیشتری هستند، فلوته می‌شوند. به عبارت دیگر در رقابت بین ذرات در طی فلوتاسیون، ذرات کشیده‌تر و پهن‌تر موفق‌تر هستند.



شکل (۳): مقایسه بازیابی تجمعی بر حسب زمان برای محدوده ابعادی ۲۱۲+۲۵۰- میکرون محصول آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای

جدول (۶): پارامترهای شکل ذرات کوارتز، محصول آسیای میله‌ای، محدوده ابعادی ۲۱۲+۲۵۰- میکرون، بعد از هر ۱۰ ثانیه کف‌گیری

زمان ثانیه	مساحت μm^2	محیط μm	طول μm	عرض μm	کشیدگی	پهنا	گردی	عرض نسبی
۱۰	۹۷۷۴۶/۰۰۰	۱۱۵۳/۹۱۴	۴۴۵/۶۷۴	۲۷۹/۲۴۹	۱/۵۹۶	۱/۰۸۴	۰/۹۲۲	۰/۶۲۷
۲۰	۱۰۵۳۵۱/۳۰۰	۱۱۹۶/۵۵۰	۴۶۱/۰۷۰	۲۹۰/۹۲۶	۱/۵۸۵	۱/۰۸۱	۰/۹۲۵	۰/۶۳۱
۳۰	۹۵۹۱۵/۵۱۰	۱۱۳۹/۴۴۴	۴۳۷/۳۰۷	۲۷۹/۲۶۲	۱/۵۶۶	۱/۰۷۷	۰/۹۲۸	۰/۶۳۹
۴۰	۱۰۰۴۲۱/۴۰۰	۱۱۶۲/۱۳۱	۴۴۲/۹۵۳	۲۸۸/۶۵۵	۱/۵۳۵	۱/۰۷۰	۰/۹۳۴	۰/۶۵۲
۵۰	۹۶۰۵۳/۵۰۰	۱۱۳۵/۸۶۸	۴۳۲/۳۴۶	۲۸۲/۸۷۳	۱/۵۲۸	۱/۰۶۸	۰/۹۳۶	۰/۶۵۴
۶۰	۱۰۰۴۷۳/۲۰۰	۱۱۶۰/۹۳۷	۴۴۱/۲۳۳	۲۸۹/۹۲۹	۱/۵۲۲	۱/۰۶۷	۰/۹۳۷	۰/۶۵۷
۷۰	۹۸۱۹۶/۵۷۰	۱۱۴۶/۰۲۷	۴۳۴/۱۰۵	۲۸۸/۰۱۳	۱/۵۰۷	۱/۰۶۴	۰/۹۴۰	۰/۶۶۳

تشکر و قدردانی

نویسندگان از کارشناسان آزمایشگاه‌های فلوتاسیون و کانه‌آرایی دانشکده معدن دانشگاه امیرکبیر، مهندس محمد رضا اصلانی و مهندس مصطفی چگینی، قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [۱] بهرام رضایی (۱۳۷۶) "تکنولوژی فرآوری مواد معدنی"، مؤسسه تحقیقاتی و انتشاراتی نور، چاپ اول، صفحه ۴۳.
- [2] U. Ulusoy, C. Hiçyılmaz and M. Yekeler (2004) "Role of shape properties of calcite and barite particles", *Chemical Engineering and Processing*, 43, 1047–1053.
- [3] U. Ulusoy, M. Yekeler and C. Hiçyılmaz (2003) "Determination of the shape, morphological and wettability properties of quartz and their correlations", *Minerals Engineering*, 16, 951–964.
- [4] C. Hiçyılmaz, U. Ulusoy and M. Yekeler (2004) "Effects of the shape properties of talc and quartz particles", *Applied Surface Science*, 233, 204–212.
- [5] M. M. Ahmed (2010) "Effect of comminution on particle shape and surface roughness and their relation to flotation process", *International Journal of Mineral Processing*, 94, 180-191.
- [6] T. E. Durney and T. P. Meloy (1986) "Particle shape effects due to crushing method and size", *International Journal of Mineral Processing*, 16, 109-123.
- [7] R. Bozkurt, A. Taşdemir and O. N. Celik (1998) "The breakage characterization of pyrite by image analyzer", S. Atak, G. ? nal, and M. S. Celik, Editors, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, Balkema, Rotterdam, 49-54.
- [8] H. Kursun and U. Ulusoy (2006) "Influence of shape characteristics of talc mineral on the column flotation behavior", *International Journal of Mineral Processing*, 78, 262-268.
- [9] C. Hiçyılmaz, U. Ulusoy, S. Bilgen, M. Yekeler and G. Akdogan (2006) "Response of rough and acute surfaces of pyrite with 3-D approach to the flotation", *Journal of Mining Science*, 46 (4), 393-402.
- [10] U. Ulusoy and M. Yekeler (2007) "Floatability of barite particles with different shape and roughness", *Indian Journal of Chemical technology*, 14, 616-625.
- [11] W. H. Beyer (1978) *Handbook of Mathematical Sciences*, CRC Press, Florida, USA, 7-30.
- [12] E. Forsberg and H. Zhai (1985) "Shape and surface properties of particles liberated by autogenous grinding", *Scand. J. Metall. L*, 14, 25-32.
- [13] M. Polat and S. Chander (2000) "First-order flotation kinetics models and methods for estimation of the true distribution of flotation rate constants", *International Journal of Mineral Processing*, 58 (1-4), 145-166.

Influence of Particles Shape on Quartz Flotation

Fahime Dehghani¹, Bahram Rezaei², Mohammad Reza Aslani³

1. M.Sc. Student in Mining Engineering, Amirkabir University of Technology.

2. Professor of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology.

3. Ph. D. Student in Mining Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article history:

Received 30 November 2010

Received in revised form 12 March 2011

Accepted 18 May 2011

Key words:

Hybrid membrane – amine system

Economic evaluation

Gas sweetening

The particle shape is an important physical characteristic that plays an essential role in industries employing various materials in powdered form. This paper studies the influence of comminution method (ball and rod mills) on quartz particles shape and also the influence of the particles shape on their flotation kinetics. Shape parameters of the particles were investigated by the particle images obtained from the scanning electron microscope (SEM) using a Clemex vision PE image analysis system. The flotation tests were performed by a Denver laboratory cell. Results showed that elongation and flatness parameters values of rod mill product is more than ball mill product, but roundness and relative width parameters values of rod mill product is less than ball mill product. In flotation tests, kinetics constant of rod mill product and ball mill product were determined 6.750min⁻¹ and 6.341min⁻¹, respectively. Also flotation of quartz particles, with higher elongation and flatness and with lower roundness and relative width indicated more floatability.

All right reserved.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.