

اثرات شکل بار خرد کننده بر روی نرخ شکست در صنایع سرامیک، کاشی و سیمان (مقایسه رفتار خردایش گلوله و سیلیس)

مهندس محسن یعقوبی (شرکت صنایع سیمان نهاوند)
مهندس فریدون رحمانی (شرکت سیمان یاسوج)

چکیده :

در صنایع فرآوری مواد معدنی که عمدتاً بعنوان صنایع انرژی بر نیز معرفی میشوند مانند هر بنگاه اقتصادی دیگر، مباحث صرفه اقتصادی، افزایش راندمان و بهره وری دستگاهها و استفاده بهینه از انرژی از اهمیت تعیین کننده ای در حفظ و بقا سازمان بر خوردار اند. بادر نظر گرفتن این فاکتورها، دستیابی به یک خردایش کارا و موثر، بادر نظر گرفتن نگهداری و حفظ هرچه بیشتر منابع انرژی اثر هنگفتی بر روی هزینه های عملیاتی می تواند داشته باشد.

از تجهیزات با کاربرد بسیار بالا در صنایع کانی (سیمان، کاشی، سرامیک و...) انواع و اقسام آسیاهای گلوله ای میباشند که در این نوع آسیاها، گلوله ها و سیلیس هاب عنوان بارهای خرد کننده به خدمت گرفته می شوند.

با این پیش فرض، نوع و شکل بار خرد کننده شامل گلوله یا سیلیس از اهمیت بسزایی در نرمی محصول و میزان مصرف انرژی الکتریکی برخوردار است.

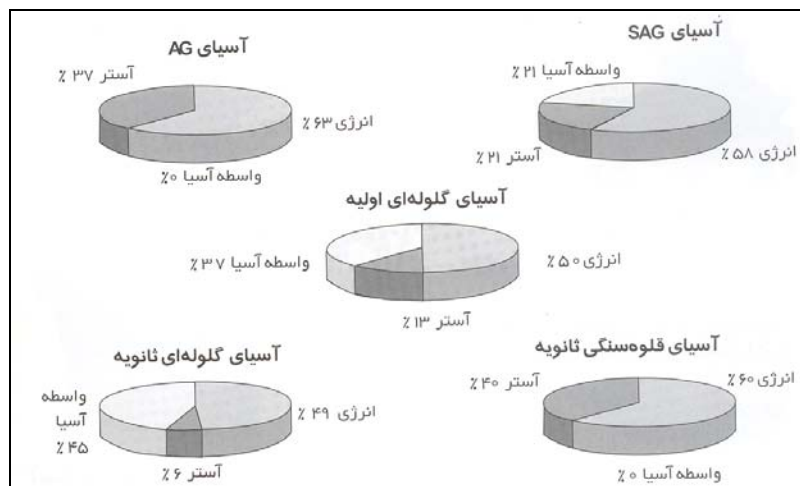
بارهای خرد کننده سیلندری که شکل نسبتاً کروی و نسبت طول به قطر مساوی دارند، سیلیس (*cylpebs*) نامیده شده و اخیراً وارد صنایع سیمان، سرامیک و کاشی شده اند. به منظور ارزیابی عملکرد این بار خرد کننده که رقیبی جدی برای گلوله به شمار می رود، آزمایشهای مقایسه ای نرخ شکست (تابع انتخاب) با استفاده از سیلیس و گلوله تحت شرایط یکسان از جرم و خوراک انجام شده است. نتایج آزمایشات نشان داد که نرخ خردایش سریعتر با به کار بردن شارژ سیلیس در آسیاهای گلوله ای به دست می آید.

کلمات کلیدی : خردایش، بار خرد کننده، نرخ شکست، گلوله و سیلیس

1- مقدمه

برای فرآوری مواد معدنی نیاز به رساندن کانی به درجه آزادی مطلوب می باشد که این امر در مواد پیچیده بسیار حساس و پر هزینه می باشد. بر اساس آمارها واحد آسیا کردن در یک کارخانه فرآوری بیشترین سهم مصرف انرژی را بخود اختصاص داده است و هزینه های عملیاتی آن نظیر انرژی، لاینر و بار خردکننده سهم قابل توجهی از کل هزینه را در یک واحد فرآوری شامل می شود.

همانطور که در شکل (1) نشان داده شده است، از کل هزینه های مربوط به آسیا کردن مواد حدود 21 تا 45 درصد مربوط به بار خرد کننده می باشد که بار خرد کننده نیز تأثیر مستقیمی بر روی انرژی مصرفی در یک آسیا می گذارد. به همین علت انتخاب بار خردکننده ای که بتواند عملیات آسیاکردن مواد را بصورت بهینه انجام دهد و ضمن مقاومت در برابر سایش، مصرف انرژی را در آسیا کاهش دهد و تأثیر منفی بر بازدهی عملیات بعدی نگذارد، بسیار حایز اهمیت می باشد.



شکل (1)- توزیع هزینه های معمول آسیا کردن

کار اولیه بار خرد کننده در آسیاهای گردان مانند آسیاهای گلوله ای، میله ای و آسیاهای خود شکن و گاهی اوقات به طور مکانیکی در آسیاهای سایشی قائم¹، خردایش و نرم کردن ذرات کانی است. در سالیان اخیر بارهای خرد کننده با شکلهای غیر معمول در بازار موجود بوده اند. نمونه ای از این بارهای خرد کننده سیلندری سیلیس است که توسط shi در سال 2004 ساخته و به بازار عرضه شده است. سیلیس ها به دلیل شکلشان، در مقایسه با گلوله های با جرم و اندازه یکسان دارای مساحت سطح بیشتر و دانسیته بالک بالاتر می باشند. همچنین سیلیسهای دارای طول و قطر یکسان، در مقایسه با گلوله های همجنس 50% مساحت سطح بیشتر و 45% وزن بیشتر دارند. به علاوه، سیلیس ها نسبت به گلوله های فولادی 9% و نسبت به گلوله های چدنی 12% دانسیته بالک بالاتر دارند (در محاسبات مربوط به شارژ، دانسیته بالک گلوله را $4.5 \frac{t}{m^3}$ و سیلیس را $4.7 \frac{t}{m^3}$ در نظر می گیرند و این نشان می دهد که در شرایط حجمی یکسان، وزن شارژ سیلیس بیشتر و بالتبع مصرف انرژی فزون تر است). موضوع این مقاله، مقایسه گلوله و سیلیس از لحاظ سینتیک های خردایش است.

2- تنوري

آزمایشات نشان داده است که خردایش ناپیوسته مواد ترد در انواع مختلف آسیاهای آزمایشگاهی کوچک از سینیتیک مرتبه اول پیروی می کند و معادله آن به شکل زیر است:

$$\log[w_1(t)] = \log[w_1(0)] - \frac{s_1 t}{2.3}$$

که $w_1(t)$ کسر وزنی مانده آسیا است که از سایز 1 در زمان t موجود است. s_1 نرخ ویژه شکست² می باشد و از شیب $w_1(t)/w_1(0)$ در مقابل زمان در منحنی نیمه لگاریتمی به دست می آید.

فرمول پیشنهاد شده در مقالات مختلف برای تغییر نرخ مخصوص شکست S_i با اندازه ذره عبارتست از :

$$S_i = \frac{a_T \left(\frac{x_i}{x_0} \right)^\alpha}{\left[1 + \frac{x_i}{\mu} \right]^A} \quad A > 0$$

که a_T و α برای خردایش مواد مشخص در آسیای مخصوص تحت شرایط عملیاتی معین، ثابت هستند و x_0 اندازه مرجع است که معمولاً $1000 \mu m$ در نظر گرفته می شود. μ اندازه ذره است که در مخرج 0/5 است و A ضریب چگونگی کاهش نرخ شکست است.

3- طراحی آزمایش

1-3- شارژ خردایش

بارهای خرد کننده مورد استفاده در این آزمایشات سیلیسهای ساخته شده از جنس چدن به ابعاد $20 \times 20 \text{ mm}$ و گلوله های 20 mm می باشد. وزن مخصوص سیلیس و گلوله به ترتیب 7.35 gr/cm^3 و 7.69 gr/cm^3 و مساحت سطحشان به ترتیب 18.84 و 12.56 سانتیمتر مربع است.

2-3- مواد آزمایش

هفت فراکسیون اندازه خوراک از کوارتز با وزن مخصوص 2.68 gr/cm^3 شامل 99.62% SiO_2 برای همه آزمایشات استفاده شده است.

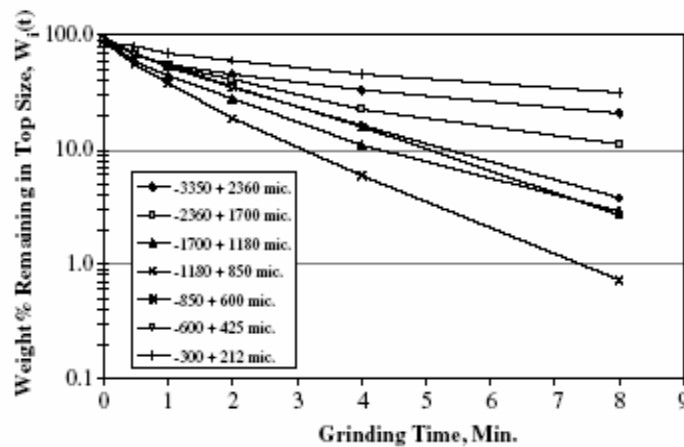
3-3- روش انجام آزمایش

آزمایشات خردایش در یک آسیای آزمایشگاهی فولادی (ابعاد آن مشابه آسیای گلوله ای باند است اما شارژ مورد آزمایش با آسیای گلوله ای باند فرق دارد.) با طول 30.5 cm ، قطر 30.5 cm و لاینرهای یکنواخت و گوشه های مدور با سرعت دورانی 70 rpm انجام شده است. در مدت همه آزمایشات، خوراک آسیا ثابت و مقدار آن 3000 gr است. برای شارژهای خردایش، 19794.2 gr

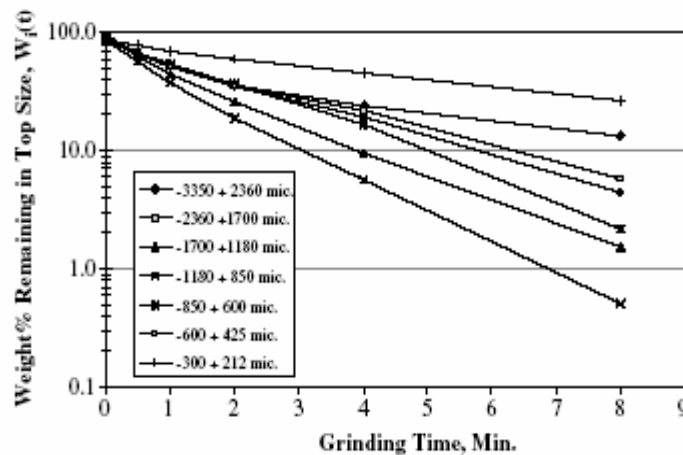
سیلیپس و 19776.9 gr گلوله استفاده شده است. به منظور تعیین نرخ ویژه شکست، نمونه های خوراک در 7 فراکسیون آماده شده اند و توسط سیلیپس و گلوله به طور مجزا در دوره های زمانی انتخاب شده (0/5، 1، 2، 4 و 8 دقیقه)، عملیات خردایش رویشان انجام شده است. بعد از هر پریود خردایش، 375 gr از نمونه برداشته شده و 15 دقیقه عملیات سرند کنی بر روی آن انجام می شود.

4- نتایج و بحث

نمودار مرتبه اول برای اندازه های مختلف خوراک خرد شده توسط سیلیپس و گلوله در شکل (2) و (3) ارائه شده است.

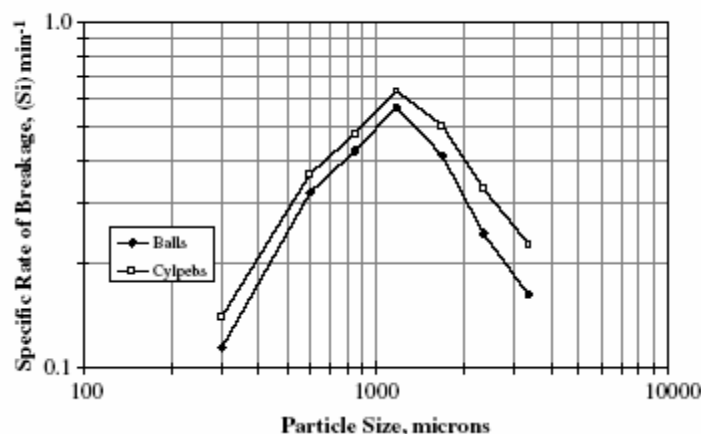


شکل (2)- نمودار مرتبه اول برای خردایش خشک با شارژ گلوله



شکل (3)- نمودار مرتبه اول برای خردایش خشک با شارژ سیلیپس

نتایج نشان می دهد که خردایش همه فراکسیونها با سینیتیک خردایش مرتبه اول و ضرایب همبستگی 0.9197-0.9991 می تواند توصیف شود. تفاوت های نرخ ویژه شکست برای شارژ های سیلیپس و گلوله در شکل (4) نشان داده شده است.

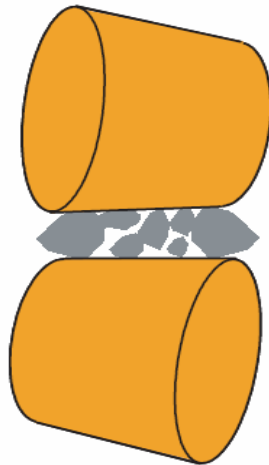


شکل (4) - تفاوت نرخهای ویژه شکست با اندازه

نرخ ویژه شکست در دامنه اندازه خوراک $11180 + 850 \mu m$ - افزایش یافته اما در دامنه بزرگتر از این مقدار به شدت برای هر دو شارژ کاهش می یابد. زمانی که مواد خیلی بزرگ و سخت هستند، این ویژگی سبب می شود که توسط سیلپیس و گلوله به درستی شکسته و خردایش نشوند و بنابراین نرخ ویژه شکست پایینی را دارا باشند.

پارامترهای نرخ ویژه شکست a_T ، α ، μ و A با استفاده از رگرسیون غیر خطی به دست می آیند (از شکل 3 و معادله 2). این مقادیر برای شارژ گلوله به ترتیب $1/57$ ، $0/73$ ، $1/27$ ، $3/65$ و برای شارژ سیلپیس $0/82$ ، $1/50$ ، $1/28$ و $3/29$ می باشند. همانگونه که از شکل 3 مشخص است نرخ شکست سیلپیس نسبت به گلوله سریعتر است. این مورد می تواند به برخورد خطی و نقطه ای سیلپیس با یکدیگر نسبت داده شود که در شکل (5) به وضوح نشان داده شده است.

دلیل اینکه چرا سیلپیس ها برای ذرات درشت محصول ریزتری تولید می کنند اما برای ذرات ریز اینگونه نیست، مکانیزم برخورد در فعالیت خردایش است. در کنار مکانیزم برخورد نقطه ای گلوله ها، سیلپیسها دارای مکانیزم خردایش دیگری بوده و آن شامل برخورد خطی در راستای بخش سیلندری و برخورد سطحی بین سطوح ابتدایی و انتهایی است. همانگونه که در شکل (5) نشان داده شده است برخورد سطحی و خطی سیلپیس به طور فزاینده ای تمایل بار خرد کننده را برای خردایش ذرات افزایش می دهد. یکبار که ذرات درشت بین بخش خطی یا در بین سطوح آن قرار می گیرد، از خردایش بیشتر ذرات ریزتر ممانعت به عمل می آورد و این چیزی شبیه به عملکرد آسیاهای میله ای است. ضمن اینکه آیتم دیگری که در این مورد می توان آن را مورد تعمق قرار داد این است که احتمالاً سازندگان سیلپیس برای ساخت این بار خرد کننده از نحوه عملکرد سینی و غلتک در آسیاهای غلتکی (VRM) نیز ایده گرفته اند و در این حالت می توان غلتک و سینی را به صورت دو سیلپیس بزرگ مقیاس توصیف کرد.



شکل (5)- فعالیت نرم کنی برخورد خطی سیلیس تمایل برای خردایش ذرات درشت را به طور تبعیض آمیزی افزایش می دهد.

5- نتیجه گیریها

تحت شرایط یکسان، سیلیسها نسبت به گلوله ها نرخ خردایش سریعتری تولید می کنند. این تفاوت در نرخهای شکست برای فراکسیونهای درشت نسبت به فراکسیونهای ریز بیشتر است که با بررسی مکانیزم های خردایش به اثبات رسید. از بین گلوله های کروی و سیلیس، سیلیس در آسیا کردن ذرات درشت کارایی بیشتری دارد و کارایی این دو نوع در ابعاد ریز تقریباً یکسان است. علت کارایی بالاتر گلوله ای سیلیس نسبت به گلوله های کروی، افزایش سطح خارجی سیلیس (در مقایسه با گلوله های همجنس %50 مساحت سطح بیشتر) در مقابل گلوله های هم وزن کروی می باشد.

تعاریف:

1- آسیاهای سایشی (قائم):

از معروفترین این آسیاها، نوع برجی است. این نوع آسیاها از مخزن قائمی تشکیل شده اند که مجهز به میله ای مارپیچی شکل اند و بار خرد کننده آنها را گلوله های فولادی تشکیل می دهد. بار اولیه از قسمت فوقانی دستگاه به همراه آب وارد دستگاه می شود و ضمن سقوط در مخزن، با چرخش میله مارپیچی تحت مکانیزم سایش، مالش و اصطکاک نرم می شود. مواد پس از آسیا شدن، به کمک فشار آب به سطح مخزن هدایت شده و سپس وارد کلاسیفایر می شود. ذرات درشت تر از حد لازم برای نرم شدن مجدد، مجدداً به داخل مخزن بر می گردند. فضای کم، کاهش سر و صدا، مصرف انرژی موثر، کنترل نرم شونده مواد و هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی پایین، از جمله محسنات این نوع آسیا است. خرد شدن عمدتاً در اثر مالش و سایش است که در اثر فشار زیاد وارد شده بر مواد در اثر وزن گلوله ها تسریع می شود. با توجه به این فشار زیاد و همچنین تولید حرارت و سر و صدای کمتر نسبت به آسیاهای گلوله ای گردان، مصرف انرژی در این نوع آسیا کمتر است.

از آسیاهای قائم به روش خشک (صنایع سیمان) نیز می توان استفاده کرد. در این صورت به جای پمپ از یک وانتیلاتور استفاده می شود. حداکثر بار ورودی به آسیاهای قائم 6 میلیمتر

ورودي آسيا، دانه بندي محصول آسيا، تابع شکست ماده معدني و توزيع زمان ماند در وسيله خرد کننده موجود باشد.

3- تابع شکست (Breakage function):

تابع شکست بيانگر نحوه توزيع دانه بندي يك طبقه اندازه، ذرات ماده معدني پس از يك مرتبه خردايش است و با $B_{i,j}$ و $b_{i,j}$ نمايش داده مي شوند. $B_{i,j}$ يعني كسري از ذرات طبقه ابعادي j كه پس از خرد شدن به طبقه ابعادي ريزتر i مي رسند. $b_{i,j}$ يعني كسري از طبقه j كه پس از خرد شدن در طبقه i قرار مي گيرند. با اين تعاريف مي توان نوشت:

$$b_{ij} = B_{i-1,j} - B_{i,j}$$

(تابع شکست از ویژگیهاي يك کانه است و مستقل از شرایط خردايش فرض مي شود. تابع شکست در ذرات مي تواند به صورت نرمال يا غير نرمال باشد. چنانکه تابع شکست قابل نرمال شدن باشد، فرمول زیر بر قرار مي باشد:

$$b_{ij} = b_{i+1,j+1}$$

و چنانچه تابع شکست به صورت غير نرمال باشد، با تغيير ابعاد بار اوليه، تابع شکست تغيير مي کند. در اين صورت جهت محاسبه تابع شکست، فرمول زیر ارايه مي گردد:

$$B_{i,1} = \Phi(d_{i-1}/d_1)^\alpha + (1 + \Phi)(d_{i-1}/d_1)^\beta$$

- d_i برابر ابعاد ذراتي است که در يکي از فراکسيون هاي پايين تر با فاصله $\sqrt{2}$ قرار دارد، d_1 برابر ابعاد خوراك بار اوليه مي باشد (بالا ترين سرنند در آناليز سرندي)، Φ برابر نقطه تقاطع امتداد بخش خطي منحنی با محور قائم مي باشد، α برابر شیب پايين ترين قسمت توزيع تجمعي مي باشد، β ديگر پارامتر توزيع سايز مي باشد.

مقادير Φ و α و β را مي توان با رسم نمودار لگاريتمي کاهش ابعاد در صورت جمعي عبور کرده، بدست آورد. سايز j تنها مورد يکبار شکست قرار گرفته و ذرات حاصل از شکست در طبقات پايين تر که اندازه کاهش آنها ضريبي از $\sqrt{2}$ مي باشد تقسيم مي شود. احتمال اين تقسيم با B_{ij} نشان داده مي شود و برابر با قسمتي از وزن مواد است که از اندازه j شکسته شده و به سايزهاي پايين تر از j رفته است.)

مراجع:

- 1- Shi, F. Comparison of grinding media-cylpebs versus balls. Mineral Engineering. No 17(2004). pp(1259-1268).
- 2- Ipek, H. The effect of grinding media shape on breakage rate. Mineral Engineering. No 19(2006). pp(91-93).
- 3- رحمانی، فریدون، یعقوبی. محسن، " راهبردهای جدید بهینه سازی خردایش سیمان " ، ماهنامه پردازش، اسفند 88.
- 4- یعقوبی. محسن، رحمانی. فریدون، " کاربردهای توابع شکست و انتخاب برای افزایش مقاومت ملات در آسیاهای سیمان "، ماهنامه صنعت سیمان، بهمن و اسفند 87..
- 5- C.C. Pilevneli*, S. Kızgut, I. Toroglu, D. C_uhadaroglu, E. Yigit. Open and closed circuit dry grinding of cement mill rejects in a pilot scale vertical stirred mill. Powder Technology 139 (2004) 165– 174