جمهوری اسلامی ایران

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف

ضابطه شماره ۶۶۱

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

امور نظام فنی و اجرایی

nezamfanni.ir

وزارت صنعت، معدن و تجارت

معاونت امور معادن و صنایع معدنی

دفتر نظارت و بهره‌برداری

www.mimt.gov.ir

۱۳۹۵

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه‌تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۵/۶۰۲۴۵۲**
	تاریخ:	**۱۳۹۵/۰۴/۱۵**

موضوع: دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف

به استناد ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و مواد (۶) و (۷) آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی- مصوب سال ۱۳۵۲ و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (موضوع تصویب‌نامه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست ضابطه شماره ۶۶۱ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان « دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف » از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۵/۱۰/۰۱ الزامی است.

امور نظام فنی و اجرایی این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.

محمد باقر نوبخت

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

۳- ***در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

۴- ***نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه : تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علیشاه، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:info@nezamfanni.ir **nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ ه مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارهـا، اسـتانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تاکیـد جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجـه و نظـام فنـی اجرایـی کشـور وظیفـه تهیـه و تـدوین ضـوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد. شاخص خردایش مواد در تجهیزات مختلف سنگ‌شکنی و آسـیا، معیـاری بـرای تعیین میزان مصرف انرژی برای خرد کردن یک قطعه تا اندازه مشخص است. بدین منظور، آزمایش‌های مختلف و با استفاده از تجهیـزات استانداردی مانند آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای باند، سقوط وزنه و نظایر آن طراحی شده است تا بـه وسـیله آن‌هـا بتـوان قابلیـت خـردایش قطعات مختلف را تعیین کرد. تعیین میزان سختی و قابلیت خردایش قطعات در تعیین نوع آسیا، میزان انرژی مورد نیاز و سـایر پارامترهـای مهم در طراحی مدارهای خردایش و بهبود عملکرد آن‌ها بسیار موثر است.

این ضابطه با عنوان **"دستورالعمل تعیین شاخص خردایش در آسیاهای مختلف"** اطلاعات لازم به منظـور تعیـین قابلیـت خردایش قطعات مختلف و مکانیزم‌های خردایش مناسب برای خرد کردن آن‌ها را ارایه می‌دهد و با استفاده از نتایج و تجربیـات حاصـل از عملکرد ماشین‌آلات خردایش در مقیاس‌های آزمایشگاهی و صنعتی و اطلاعات شرکت‌های سـازنده، مـی‌تـوان طراحـی و انتخـاب بهینـه تجهیزات را انجام داد. در این گزارش برای قطعات منفصل که از معدن استخراج مـی‌شـود و طـی مراحـل سـنگ‌شـکنی، آسـیا کـردن و آماده‌سازی برای مراحل فرآوری تولید می‌شوند از عبارت ذره استفاده شده است که در صنعت فرآوری به صورت متداول مورد استفاده قـرار می‌گیرد. معمولا منظور از ذره یا ذرات توزیع ابعادی آن‌ها است و به ابعاد مشخصی اشاره نمی‌شود.

در ضابطه حاضر اطلاعات، عوامل و معیارهای مورد نظر به همراه آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین قابلیت خردایش کانسنگ‌ها ارایـه و نحوه تحلیل نتایج به دست آمده از هر آزمایش به منظور تصمیم‌گیری در انتخاب سـنگ‌شـکن‌هـا و آسـیاها ارایـه شـده اسـت. بررسـی عملکرد سیستم‌های طبقه‌بندی موجود در مدارهای بسته آسیا و سنگ‌شکنی مانند سرندها و کلاسیفایرها بر اساس منحنی بـازدهی نیـز از دیگر موارد ذکر شده در این نشریه است. تمامی استانداردهای مورد استفاده در این نشریه بر اساس $ASTM$ است.

با همه‌ی تلاش انجام شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که إن‌شاءا... کاربرد عملی و در سطح وسـیع ایـن ضـابطه توسـط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد نمود. در پایان، از تلاش‌ها و جدیت جناب آقای مهنـدس غلامحسـین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفـر سـرقینی مجـری محتـرم طـرح تهیـه ضـوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنایع و معادن، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌بـرداری معـادن و متخصصـان همکـار در امـر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگـواران در خـدمت بـه مـردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

تیر ۱۳۹۵

omoorepeyman.ir

مجری طرح

آقای جعفر سرقینی	معاون امور معادن و صنایع معدنی – وزارت صنایع و معادن

اعضای شورای عالی به ترتیب حروف الفبا

فرزانه آقا رمضانعلی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
سیف ا... امیری	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
بهروز برنا	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس مهندسی معدن
محمد پریزادی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد مهندسی معدن
عبدالعلی حقیقی	سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور	کارشناس ارشد زمین‌شناسی
جعفر سرقینی	وزارت صنعت، معدن و تجارت	دکتری مهندسی فرآوری مواد معدنی
علیرضا غیاثوند	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن

اعضای کارگروه فرآوری به ترتیب حروف الفبا

احمد امینی	سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور	کارشناس ارشد مهندسی فرآوری مواد معدنی
عبدالعلی حقیقی		کارشناس ارشد زمین‌شناسی
بهرام رضایی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
فرشته رشچی	دانشگاه تهران	دکترای مهندسی متالورژی

اعضای کارگروه تنظیم و تدوین به ترتیب حروف الفبا

آقای مهدی ایران‌نژاد	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
بهرام رضایی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
علیرضا غیاثوند	وزارت صنعت، معدن و تجارت	کارشناس ارشد زمین‌شناسی اقتصادی
حسن مدنی	دانشگاه صنعتی امیرکبیر	کارشناس ارشد مهندسی معدن
بهزاد مهرابی	دانشگاه خوارزمی	دکترای زمین‌شناسی اقتصادی

اعضای گروه هدایت و راهبری پروژه

خانم فرزانه آقارمضانعلی	رئیس گروه امور نظام فنی و اجرایی
آقای علیرضا غیاثوند	رئیس گروه ضوابط و معیارهای معاونت امور معادن و صنایع معدنی
آقای اسحق صفرزاده	کارشناس معدن امور نظام فنی و اجرایی

پیش‌نویس این گزارش توسط آقای **دکتر فرزانگان** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه فرآوری، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

omoorepeyman.ir

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول- دستورالعمل تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای و میله‌ای

۱-۱- آشنایی ۳
۱-۲- اهداف ۳
۱-۳- نحوه تعیین شاخص کار باند به وسیله آسیای گلوله‌ای ۳
۱-۳-۱- آماده‌سازی نمونه ۳
۱-۳-۲- تجهیزات مورد نیاز ۳
۱-۳-۳- روش انجام آزمایش ۴
۱-۳-۴- محاسبات ۷
۱-۴- نحوه تعیین شاخص کار باند به وسیله آسیای میله‌ای ۸
۱-۴-۱- آماده‌سازی نمونه ۸
۱-۴-۲- تجهیزات مورد نیاز ۹
۱-۴-۳- روش انجام آزمایش ۹
۱-۴-۴- محاسبات ۱۱

فصل دوم- دستورالعمل تعیین شاخص هاردگرو

۲-۱- آشنایی ۱۵
۲-۲- اهداف ۱۵
۲-۳- آماده‌سازی نمونه ۱۵
۲-۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌های مرجع استاندارد برای واسنجی ۱۵
۲-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش ۱۶
۲-۴- واسنجی ۱۶
۲-۵- تجهیزات مورد نیاز ۱۸
۲-۵-۱- اجاق خشک‌کن با هوا ۱۸
۲-۵-۲- سینی‌های خشک‌کننده ۱۸
۲-۵-۳- ترازوها ۱۹
۲-۵-۴- تقسیم‌کننده نمونه ۱۹
۲-۵-۵- سرندهای استاندارد ۱۹
۲-۵-۶- سنگ‌شکن ۱۹
۲-۵-۷- دستگاه لرزاننده (سرند مکانیکی) ۲۰
۲-۵-۸- دستگاه تعیین شاخص هاردگرو ۲۰
۲-۶- روش انجام آزمایش ۲۰
۲-۷- محاسبات ۲۱

فصل سوم- دستورالعمل تعیین شاخص کار عملیاتی باند

۳-۱- آشنایی ۲۵
۳-۲- اهداف ۲۵

omoorepeyman.ir

۳-۳- آماده‌سازی نمونه ۲۵
۳-۴- تجهیزات مورد نیاز ۲۶
۳-۵- روش انجام آزمایش ۲۶
۳-۶- محاسبات ۲۶
فصل چهارم- دستورالعمل تعیین تابع توزیع شکست
۴-۱- آشنایی ۳۱
۴-۲- اهداف ۳۲
۴-۳- آماده‌سازی نمونه ۳۲
۴-۴- تجهیزات مورد نیاز ۳۲
۴-۵- روش انجام آزمایش ۳۳
۴-۶- محاسبات ۳۴
۴-۶-۱- روش بروبه ۳۴
۴-۶-۲- روش هربست و فیورستنا ۳۵
فصل پنجم- دستورالعمل تعیین شاخص ساینده‌گی کانسنگ
۵-۱- آشنایی ۳۹
۵-۲- اهداف ۳۹
۵-۳- آماده‌سازی نمونه ۳۹
۵-۴- تجهیزات مورد نیاز ۳۹
۵-۵- روش انجام آزمایش ۴۱
۵-۶- محاسبات ۴۲
فصل ششم- تعیین شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن
۶-۱- آشنایی ۴۵
۶-۲- اهداف ۴۵
۶-۳- آماده‌سازی نمونه ۴۵
۶-۴- تجهیزات مورد نیاز ۴۶
۶-۵- روش انجام آزمایش ۴۶
۶-۶- محاسبات ۴۷
فصل هفتم- دستورالعمل تعیین قابلیت کانسنگ به عنوان بار خردکننده
۷-۱- آشنایی ۵۱
۷-۲- اهداف ۵۱
۷-۳- آماده‌سازی نمونه ۵۱
۷-۴- تجهیزات مورد نیاز ۵۲
۷-۵- روش انجام آزمایش ۵۳
۷-۶- محاسبات ۵۳
فصل هشتم- دستورالعمل تعیین مقاومت فشاری نامحصور (تک محوری)
۸-۱- آشنایی ۵۷
۸-۲- مقاومت فشاری تک محوری سنگ ۵۷
۸-۲-۱- اهداف ۵۷

omoorepeyman.ir

۸-۲-۲- آماده‌سازی نمونه ۵۷
۸-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز ۵۸
۸-۲-۴- روش انجام آزمایش ۵۹
۸-۲-۵- محاسبات ۵۹

فصل نهم- دستورالعمل آزمایش هاپکینسون

۹-۱- آشنایی ۶۳
۹-۲- اهداف ۶۳
۹-۳- آماده‌سازی نمونه ۶۳
۹-۴- تجهیزات مورد نیاز ۶۳
۹-۵- روش انجام آزمایش ۶۴
۹-۶- محاسبات ۶۴

فصل دهم- دستورالعمل تعیین شاخص t_{10}

۱۰-۱- آشنایی ۶۹
۱۰-۲- اهداف ۶۹
۱۰-۳- آماده‌سازی نمونه ۶۹
۱۰-۴- تجهیزات مورد نیاز ۷۰
۱۰-۵- روش انجام آزمایش ۷۱
۱۰-۵-۱- آزمایش سقوط وزنه (شکست ضربه‌ای) ۷۱
۱۰-۵-۲- آزمایش آسیای گردان (شکست سایشی) ۷۲
۱۰-۶- محاسبات ۷۳

فصل یازدهم- دستورالعمل تعیین شاخص کار ضربه‌ای باند

۱۱-۱- آشنایی ۷۹
۱۱-۲- اهداف ۷۹
۱۱-۳- آماده‌سازی نمونه ۷۹
۱۱-۴- تجهیزات مورد نیاز ۷۹
۱۱-۵- روش انجام آزمایش ۷۹
۱۱-۶- محاسبات ۸۰

فصل دوازدهم- دستورالعمل تعیین شاخص کار مک فرسون برای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

۱۲-۱- آشنایی ۸۵
۱۲-۲- اهداف ۸۵
۱۲-۳- آماده‌سازی نمونه ۸۵
۱۲-۴- تجهیزات مورد نیاز ۸۵
۱۲-۵- روش انجام آزمایش ۸۷
۱۲-۶- محاسبات ۸۷

فصل سیزدهم- دستورالعمل انجام آزمایش‌های سریع

۱۳-۱- آشنایی ۹۱
۱۳-۲- آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن ۹۱
۱۳-۲-۱- اهداف ۹۱

omoorepeyman.ir

۱۳-۲-۲- آماده‌سازی نمونه ۹۲
۱۳-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز ۹۲
۱۳-۲-۴- روش انجام آزمایش ۹۳
۱۳-۲-۵- محاسبات ۹۴
۱۳-۳- روش مگدالینویچ در تعیین شاخص کار باند ۹۴
۱۳-۳-۱- اهداف ۹۴
۱۳-۳-۲- آماده‌سازی نمونه ۹۵
۱۳-۳-۳- تجهیزات مورد نیاز ۹۵
۱۳-۳-۴- روش انجام آزمایش ۹۵
۱۳-۳-۵- محاسبات ۹۶
۱۳-۴- روش شبیه‌سازی برای تعیین شاخص کار باند ۹۷
۱۳-۴-۱- اهداف ۹۷
۱۳-۴-۲- آماده‌سازی نمونه ۹۷
۱۳-۴-۳- تجهیزات مورد نیاز ۹۷
۱۳-۴-۴- روش انجام آزمایش ۹۷
۱۳-۴-۵- محاسبات ۹۸
فصل چهاردهم- دستورالعمل انجام آزمایش با آسیاهای غلتکی فشار قوی
۱۴-۱- آشنایی ۱۰۱
۱۴-۲- اهداف ۱۰۲
۱۴-۳- آماده‌سازی نمونه ۱۰۲
۱۴-۴- تجهیزات مورد نیاز ۱۰۲
۱۴-۵- روش انجام آزمایش ۱۰۳
۱۴-۶- محاسبات ۱۰۴
فصل پانزدهم- دستورالعمل تعیین منحنی بازدهی سرندها و کلاسیفایرها
۱۵-۱- آشنایی ۱۰۷
۱۵-۲- روش تعیین منحنی بازدهی ۱۰۷

omoorepeyman.ir

فصل ۱

دستورالعمل تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای و میله‌ای

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

قابلیت خرد شدن مواد با شاخص کار[1] مشخص می‌شود. این شاخص برابر است با کار لازم برای خرد کردن یک تن کوچک (۹۰۷ کیلوگرم) ماده معدنی از ابعادی به طور بینهایت تا اندازه‌ای که ۸۰ درصد آن از سرندی با دهانه ۱۰۰ میکرون عبور کند. برای تعیین قابلیت خردایش ذرات، شرایط استانداردی تعریف شده است که به واسطه آن می‌توان شاخص کار هر ماده‌ای را محاسبه کرد. از آنجا که هر ماده شاخص کار مشخصی دارد، بنابراین به راحتی می‌توان میزان انرژی مورد نیاز برای خردایش را مشخص کرد. از این رو در این بخش به نحوه تعیین شاخص کار باند در آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای پرداخته می‌شود.

۱-۲- اهداف

با تعیین شاخص کار باند، دستیابی به اهداف زیر ممکن خواهد شد:

- شناخت بهتر ماده معدنی از نظر میزان سختی و قابلیت خردشوندگی
- انتخاب درست تجهیزات خردایش و آسیا متناسب با خصوصیات ماده معدنی
- بهینه‌سازی مدار آسیای گلوله‌ای و میله‌ای به منظور بیشینه کردن توان عملیاتی و کمینه کردن انرژی مصرفی
- مقایسه آسیاهای مختلف از نظر کارآیی، بر اساس میزان انرژی مصرفی در هر یک از آن‌ها برای خردایش یک ذره مشخص (شاخص کار تعیین شده برای یک نوع سنگ معدن معین در آسیاهای مختلف می‌تواند نشان دهنده کارآیی این دستگاه‌ها باشد.)

۱-۳- نحوه تعیین شاخص کار باند به وسیله آسیای گلوله‌ای

این شاخص کنترل‌کننده میزان انرژی مصرفی در فرآیند خردایش است و یکی از پارامترهای اصلی در طراحی آسیاها و سنگ‌شکن‌ها محسوب می‌شود. علاوه بر این، با استفاده از این شاخص می‌توان ابعاد آسیای مورد نیاز را با توجه به دبی بار ورودی به آسیا و نیز تخمین توان موتور آن تعیین کرد.

در تعیین شاخص کار باند (گلوله‌ای و میله‌ای) بدون در نظر گرفتن توزیع دانه‌بندی، تنها d_{80} بار ورودی و محصول به کار برده می‌شود.

۱-۳-۱- آماده‌سازی نمونه

حدود ۸ تا ۱۰ کیلوگرم ماده خشک که در مرحله سنگ‌شکنی تا زیر ۳۳۶۰ میکرون خرد شده است، برای انجام این عملیات استفاده می‌شود. برای آماده‌سازی نمونه، مواد در سنگ‌شکن تا زمان رسیدن ابعاد محصول سنگ‌شکن به زیر ۳۳۶۰ میکرون خرد می‌شود.

۱-۳-۲- تجهیزات مورد نیاز

برای انجام این آزمایش، نیاز به آسیای استاندارد آزمایشگاهی باند است. این آسیا قطر داخلی و طول ۳۰۵ میلی‌متر دارد. همچنین آسیای یاد شده آسترهای صاف داشته و فاقد بالابر است. بار خردکننده آن از ۲۸۵ عدد گلوله فولادی با اندازه‌های متفاوت تشکیل

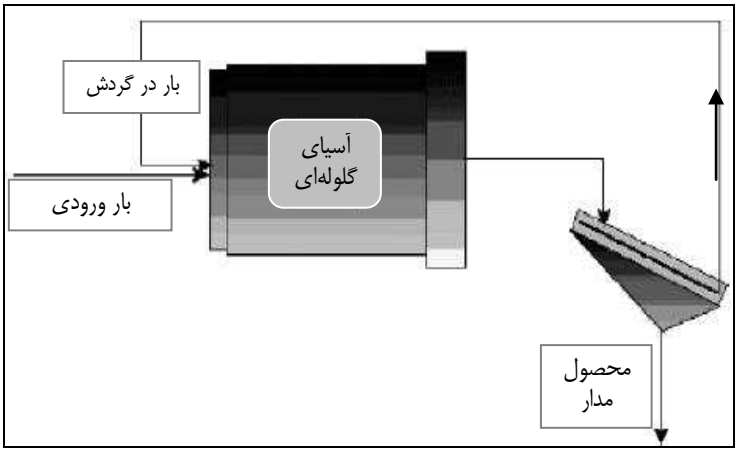
1- Work index (Wi)

omoorepeyman.ir

شده است. وزن کل بار خردکننده حدود ۲۰ کیلوگرم است که محدوده ابعادی آن‌ها در جدول ۱-۱ ارایه شده است و مدار شبیه‌سازی شده این آزمایش در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- ترکیب گلوله‌های آسیای باند

قطر گلوله‌ها (بر حسب میلی‌متر)	تعداد
۳۸٫۱۰	۴۳
۳۱٫۷۵	۶۷
۲۵٫۴۰	۱۰
۱۹٫۰۵	۷۱
۱۵٫۸۷	۹۴



شکل ۱-۱- مدار آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای

۱-۳-۳- روش انجام آزمایش

برای تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای باید مراحل زیر انجام شود:

الف- بعد از آماده‌سازی نمونه، ۷۰۰ سانتی‌متر مکعب از آن برداشته می‌شود. با در دست داشتن چگالی ظاهری ماده معدنی (ρ) می‌توان وزن مقداری از نمونه که حجم آن برابر ۷۰۰ سانتی‌متر مکعب است را از رابطه ۱-۱ به دست آورد:

$$A = \rho \times V = 700\rho \qquad (۱-۱)$$

که در آن:

A وزن بار ورودی به آسیا (گرم)

ρ چگالی ظاهری ماده معدنی تحت آزمایش (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

V حجم ماده معدنی برابر ۷۰۰ سانتی‌متر مکعب

omoorepeyman.ir

ب- قبل از شروع مرحله آسیا و در هنگام تهیه بار ورودی باید دانه‌بندی را کنترل کرد. سرند مناسب برای انجام این بخش، سرند ۲۱۰ یا ۱۵۰ میکرون است زیرا سرند کردن مواد به طریقه خشک با سرندهای کوچکتر مشکل خواهد بود. با استفاده از تجزیه سرندی، دانه‌بندی ماده معدنی تعیین شده و از روی آن d_{80} بار ورودی (F) و درصد مواد عبوری از سرند کنترل در بار ورودی (a) تعیین می‌شود. با تجزیه سرندی بار ورودی و تعیین توزیع دانه‌بندی آن باید اطمینان حاصل کرد که سرند کنترل (D) در دامنه سرندهای مورد استفاده در دانه‌بندی باشد.

پ- اگر نتایج تجزیه سرندی بیانگر این امر باشد که مقدار a (ذرات کوچکتر از دهانه سرند D) بیش از ۲۸ درصد بار ورودی است، بار ورودی مستقیما از سرند کنترل عبور داده می‌شود تا ذرات ریزتر از دهانه سرند یاد شده جدا شوند. سپس با افزودن جرم مورد نیاز بار ورودی از نمونه موجود، جرم بار ورودی به اندازه A رسیده و در داخل آسیا ریخته شده و آزمایش شروع می‌شود. وزن این بخش از ماده معدنی (A) باید همواره در طول آزمایش ثابت باقی بماند.

ت- تعداد دور ایده‌آل آسیا در این مرحله برای اغلب کانسنگ‌ها حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ دور است به گونه‌ای که حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ گرم از محصول آسیا از سرند انتخابی با اندازه D عبور کند. بخش باقی‌مانده روی سرند نیز به داخل آسیا برگردانده می‌شود. باید توجه داشت که به اندازه محصول مدار (بخش زیر سرند) از نمونه موجود در داخل آسیا ریخته شود تا وزن آن (A) همواره ثابت بماند. در این بخش از آزمایش، وزن ماده عبور کرده از سرند D مشخص می‌شود. مقدار ایده‌آل محصول آسیا که اندازه آن از سرند کنترل کمتر است برای دستیابی به بار در گردشی معادل ۲٫۵ برابر بار ورودی تازه ورودی (۲۵۰ درصد) معادل مقدار بار ورودی اولیه تقسیم بر عدد ۳٫۵ و یا ۲۹ درصد بار ورودی جدید خواهد بود (رابطه ۱-۲).

$$\rho = \frac{A}{3.5} \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

p وزن محصول ایده‌آل (گرم)

A بار ورودی اولیه آسیا (گرم)

عدد ۳٫۵ از مجموع بار ورودی واحد و بار در گردشی معادل ۲٫۵ برابر بار ورودی به دست آمده است.

ث- آسیا با n دور به گردش درمی‌آید. به طوری که تعداد دور گردش آسیا برای مواد نیمه‌سخت بین ۵۰ تا ۱۰۰ دور متغیر است (۵۰ دور برای سرند کنترلی با چشمه‌های درشت و ۱۰۰ دور برای سرند با چشمه‌های کوچک).

ج- در پایان هر مرحله آسیا با تعداد دور مشخص، مواد داخل آسیا بر روی سرند کنترل تخلیه شده و گلوله‌ها از مواد معدنی جدا می‌شوند. در هنگام تخلیه مواد داخل آسیا، سطح گلوله‌ها و آسیا باید به دقت بررسی شده و تمامی مواد از سطح آن‌ها جدا شود. سپس گلوله‌ها به داخل آسیا بازگردانده می‌شود.

چ- پس از تخلیه مواد داخل آسیا و سرند کردن آن‌ها، مواد باقی‌مانده روی سرند توزین شده و مقدار آن یادداشت می‌شود (c_i).

ح- بعد از توزین بخش باقی‌مانده روی سرند کنترل، پارامترهای زیر تعیین می‌شوند:

- وزن مواد عبور کرده از سرند (f_i) از رابطه ۱-۳ به دست می‌آید:

$$f_i = A - c_i \qquad (۱-۳)$$

omoorepeyman.ir

– وزن خالص محصول تولید شده در عملیات آسیا (جرم خالص محصول که عبارت است از تفاضل جرم محصول و جرم مواد هم اندازه با محصول در بار ورودی) از رابطه ۱–۴ به دست می‌آید:

$$s_i = f_i - a \times f_i \qquad (۴–۱)$$

– وزن محصول تولید شده در یک دور گردش آسیا از رابطه ۱–۵ به دست می‌آید:

$$G_i = \frac{s_i}{n_i} \qquad (۵–۱)$$

خ– مقدار مشخصی از نمونه‌هایی به وزن تقریبی p به بخش باقی‌مانده روی سرند (بار در گردش) اضافه می‌شود تا مقدار وزن کل آن به اندازه وزن اولیه بار ورودی به آسیا (A)، باشد.

د– قبل از شروع دور دوم آزمایش، باید تعداد دور گردش آسیا تعیین شود. بدین منظور وزن محصول جدیدی که باید در دور بعد آسیا تولید شود، از رابطه ۱–۶ محاسبه و مقدار آن در رابطه ۱–۷ قرار داده می‌شود و دور گردش آسیا تعیین خواهد شد. این کار در آغاز هر مرحله باید انجام شود. علاوه بر این، با تقسیم تعداد دور گردش آسیا بر سرعت آن، می‌توان زمان لازم برای آسیا در این مرحله را محاسبه کرد.

– وزن محصول در دوره جدید آسیا از رابطه ۱–۶ به دست می‌آید:

$$h_{i+1} = p - a \times f_i \qquad (۶–۱)$$

که در آن h_{i+1} میزان محصول تولید شده در دور بعد آسیا است.

– تعداد دور گردش آسیا در دوره جدید آسیا کردن (n_{i+1}) از رابطه ۱–۷ به دست می‌آید:

$$n_{i+1} = \frac{h_{i+1}}{G_i} \qquad (۷–۱)$$

– زمان لازم برای آسیا در دور جدید از رابطه ۱–۸ محاسبه می‌شود:

$$t_{i+1} = \frac{n_{i+1}}{N} \qquad (۸–۱)$$

که در آن:

t_{i+1} زمان لازم برای آسیا (دقیقه)

N سرعت آسیا (دور در دقیقه)

ذ– آزمایش باید به همین ترتیب تکرار شود تا مدار به حالت تعادل و ایستا برسد. معمولا این امر با ۶ تا ۸ بار تکرار امکان‌پذیر خواهد بود. تعادل آزمایش زمانی خواهد بود که تغییرات مقدار G_i در سه تکرار متوالی، کمتر از ۵ درصد باشد.

ر– با تعیین دانه‌بندی محصول‌های عبور کرده از سرند کنترل در طی سه آزمایش آخر، دهانه سرندی که ۸۰ درصد محصول آسیا از آن عبور می‌کند، تعیین می‌شود (P).

ز– تمام اطلاعات به دست آمده از دورهای مختلف آزمایش باید در فرم‌های مخصوص ثبت شود. یک نمونه فرم آزمایشگاهی برای تکمیل اطلاعات آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای در جدول ۱–۲ ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۱-۲- فرم تکمیل اطلاعات مربوط به آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای گلوله‌ای

کد پروژه:	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) $\rho(gr/cm^3)=$	درصد مواد کوچکتر از سرند کنترل a(%)=
نوع نمونه:	وزن بار اولیه A (گرم) $A(gr)=700\rho=$	:(a) $p(gr)=A/3.5=$
نام نمونه:	سرند کنترل D (میکرون) $D(\mu m)=$	وزن بار در گردش p (گرم):

مرحله	تعداد دور گردش آسیا	کل مواد وارد شده به آسیا (gr)			وزن محصول خرد شده (gr)		محصول خالص تولید شده در اثر آسیا		محاسبه تعداد دور گردش آسیا برای آزمایش بعدی				
		بار اولیه		وزن مواد درشت برگشتی	وزن مواد باقی مانده روی سرند	وزن مواد عبور کرده از سرند	وزن محصول خالص تولید شده	وزن محصول تولیدی در یک دور	بار اولیه لازم برای آسیا (gr)		وزن محصولی که باید برای حالت تعادل تولید شود (gr)	تعداد دور پیش‌بینی شده آسیا	زمان پیش‌بینی شده (ثانیه)
		وزن بار اولیه	وزن مواد کوچکتر از سرند						وزن بار اولیه	وزن مواد کوچکتر از سرند			
i	n_i	f_{i-1}	af_{i-1}	c_{i-1}	c_i	$f_i=A-c_i$	$S_i=f_i-af_i$	$G_i=S_i/n_i$	f_i	af_i	$h_{i+1}=P-af_i$	$n_{i+1}=h_{i+1}/G$	$t=n_{i+1}/N$
۱													
۲													
۳													
۴													
۵													
۶													
۷													
۸													
۹													

$D(\mu m)=$ d_{80} $F(\mu m)=$

ΔG_i (سه آزمایش آخر)= d_{80} $P(\mu m)$ (سه آزمایش آخر)=

۱-۳-۴- محاسبات

پس از انجام آزمایش‌ها و تکمیل اطلاعات مورد نیاز، با استفاده از رابطه ۱-۹ می‌توان شاخص کار باند برای آسیای گلوله‌ای را محاسبه کرد.

$$Wi = \frac{44.5}{D^{0.23}G_i^{0.82}}\left(\frac{1}{\frac{10}{\sqrt{P}}-\frac{10}{\sqrt{F}}}\right) \qquad (۹-۱)$$

که در آن:

wi شاخص کار باند بر حسب کیلووات-ساعت بر تن

omoorepeyman.ir

P، d_{80} محصول (میکرون)

F، d_{80} بار ورودی (میکرون)

D اندازه سرند کنترل (میکرون)

G_i مقدار مواد کوچکتر از سرند کنترل در محصول آسیا (گرم در دور)

رابطه تجربی باند به طور ویژه برای مدارهای آسیای بسته و خشک با آسیای گلوله‌ای به قطر ۲٫۴۴ متر و بار ورودی با ابعاد کوچکتر از ۳۳۵۰ میکرون به کار می‌رود. هر چه مقدار شاخص کار باند آسیای گلوله‌ای یک کانسنگ بزرگتر باشد، کانسنگ مقاومت بیشتری در مقابل خردایش خواهد داشت. مقادیر معمول شاخص کار آسیای گلوله‌ای باند برای کانسنگ‌های اکسیده نرم با d_{80} استاندارد ۷۵ میکرون، در محدوده ۵ تا ۱۰ کیلووات–ساعت بر تن، تغییر می‌کند. با افزایش مقاومت، شاخص کار آسیای گلوله‌ای باند برای کانسنگ‌های متوسط در محدوده ۱۰ تا ۱۵ و برای کانسنگ‌های بسیار سخت، بین ۱۵ تا ۲۵ کیلووات–ساعت بر تن خواهد بود. اندازه دهانه سرند کنترل نیز طبق قوانین موجود، $\sqrt{2}$ برابر اندازه d_{80} محصول تولیدی در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال، اگر d_{80} محصول ۱۰۶ میکرون باشد، اندازه دهانه سرند کنترل ۱۵۰ میکرون خواهد بود. همچنین، زمانی که اندازه سرند کنترل ۴۵ میکرون یا کمتر و چسبندگی مواد بالا باشد، از روش تر برای سرند کردن استفاده می‌شود. البته روش تر زمان انجام آزمایش را طولانی‌تر خواهد کرد. زیرا این آزمایش باید بر روی مواد خشک انجام شود که در صورت سرند کردن به روش تر و قبل از شروع مرحله بعدی، نمونه باید به طور کامل در حرارت کوره خشک شود. در بیان نتایج محاسبات برای سایر آسیاها، باید ضرایب متناسب با نوع آسیا تصحیح شود.

۱-۴- نحوه تعیین شاخص کار باند به وسیله آسیای میله‌ای

این شاخص برای محاسبه توان مورد نیاز آسیاهای میله‌ای در مدارهای خردایش به کار می‌رود. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از این شاخص، محاسبه انرژی مورد نیاز برای خردایش دقیق‌تر شده و می‌توان مصرف انرژی را بهینه کرد. در محاسبه انرژی کل مورد نیاز با استفاده از روش باند، شاخص کار آسیای میله‌ای باند، برای محصول سنگ‌شکن‌های ثانویه با اندازه محصول ۲۵ میلی‌متر تا ۲۱۰۰ میکرون و شاخص کار آسیای گلوله‌ای باند برای محدوده دانه‌بندی ۲۱۰۰ میکرون تا اندازه نهایی مورد نظر برای محصول، استفاده می‌شود.

در بررسی قابلیت خردایش مواد با این روش، بدون در نظر گرفتن تمامی توزیع دانه‌بندی، تنها d_{80} بار ورودی و محصول در تعیین شاخص کار باند (گلوله‌ای و میله‌ای) استفاده می‌شود. این امر اگر چه نحوه انجام آزمایش و محاسبات مورد نیاز را ساده‌تر می‌کند اما منجر به محدود شدن این روش در تعیین دقیق شاخص کار دو کانسنگ متفاوت با d_{80} یکسان می‌شود.

۱-۴-۱- آماده‌سازی نمونه

نمونه مورد نیاز برای انجام این آزمایش نیز ماده معدنی خشک است که تا زیر ۱۲٫۵ میلی‌متر تحت خردایش قرار می‌گیرد. برای آماده‌سازی نمونه، می‌توان کانسنگ را در سنگ‌شکن خرد کرد. این کار تا زمانی‌که ابعاد محصول سنگ‌شکن به زیر ۱۲٫۵ میلی‌متر برسد، ادامه دارد. دستیابی به این شرط با استفاده از سرند کنترل می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱-۴-۲- تجهیزات مورد نیاز

آزمایش تعیین شاخص کار آسیای میله‌ای باند در یک آسیای آزمایشگاهی و در شرایط استاندارد انجام می‌شود. قطر داخلی آسیا ۳۰۵ و طول آن ۵۵۹ میلی‌متر است. آسیای یاد شده با سرعت ۴۶ دور در دقیقه به حالت افقی می‌چرخد اما متناوبا به یک سمت کج می‌شود تا از تفرق مواد در دو انتهای آسیا جلوگیری شود.

آسترهای این آسیا موجی شکل بوده و بار خردکننده آن شامل ۸ میله با وزن تقریبی ۳۳ کیلوگرم و طول ۵۳۳ میلی‌متر است. قطر ۶ عدد از میله‌ها ۳۱٫۷۵ میلی‌متر و قطر دو میله دیگر ۴۴٫۵ میلی‌متر است. در شکل ۱-۲، مدار شبیه‌سازی شده آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای میله‌ای نشان داده شده است.

۱-۴-۳- روش انجام آزمایش

نحوه تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای میله‌ای مشابه آزمایش قبل است. برای تعیین شاخص یاد شده باید مراحل زیر انجام شود:

الف- بعد از آماده‌سازی نمونه، ۱۲۵۰ سانتی‌متر مکعب از آن برداشته می‌شود. با در دست داشتن چگالی ظاهری ماده معدنی (ρ) وزن مقداری از نمونه که حجم آن برابر ۱۲۵۰ سانتی‌متر مکعب است را از رابطه ۱-۱۰ به دست می‌آید.

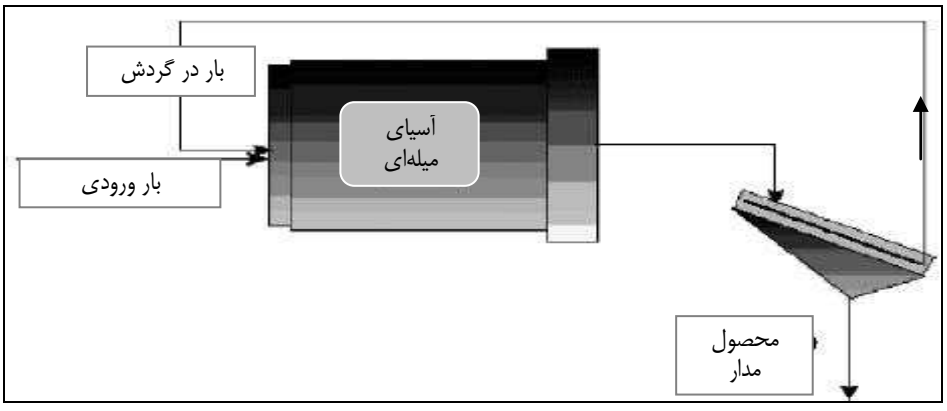
$$A = \rho \times V = 1250\rho \qquad (۱۰-۱)$$

که در آن:

A وزن بار ورودی به آسیا (گرم)

ρ چگالی ظاهری ماده معدنی تحت آزمایش (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

V حجم ماده معدنی تحت آزمایش (سانتی‌متر مکعب) که در اینجا برابر ۱۲۵۰ سانتی‌متر مکعب است.



شکل ۱-۲- مدار آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای میله‌ای

ب- قبل از شروع مرحله آسیا و در هنگام تهیه بار ورودی باید دانه‌بندی آن را کنترل کرد. سرند مناسب برای انجام این بخش، سرند ۲۱۰ یا ۱۵۰ میکرون است زیرا سرند کردن مواد به طریقه خشک با سرندهای کوچکتر مشکل خواهد بود. با استفاده از تجزیه سرندی، دانه‌بندی ماده معدنی تعیین شده و از روی آن d_{80} بار ورودی (F) و درصد مواد عبوری از سرند کنترل در بار ورودی (a)

omoorepeyman.ir

تعیین می‌شود. با تجزیه سرندی بار ورودی و تعیین توزیع دانه‌بندی آن باید اطمینان حاصل شود که سرند کنترل (D) در دامنه سرندهای مورد استفاده در دانه‌بندی باشد.

پ- اگر در تجزیه سرندی بیش از ۵۰ درصد بار ورودی، کوچکتر از دهانه سرند باشد، بار ورودی مستقیما از سرند کنترل عبور داده می‌شود تا ذرات ریزتر از دهانه سرند یاد شده جدا شوند. سپس با افزودن جرم مورد نیاز بار ورودی از نمونه موجود، جرم بار ورودی به اندازه A رسیده و در داخل آسیا ریخته شده تا آزمایش شروع شود. وزن این بخش از ماده معدنی (A) باید همواره در طول آزمایش ثابت باقی بماند.

ت- با فرض بار در گردش برابر ۱۰۰ درصد در حالتی که جرم مواد در گردش برابر با بار ورودی تازه وارد شده به مدار بسته یا جرم مواد وارد شده به تهریز سرند در شرایط پایا باشد، بنابراین جرم مواد داخل آسیا ۲ برابر خواهد شد. محصول دوره تکرار ایده‌آل برای دستیابی به این بار در گردش از رابطه ۱-۱۱ محاسبه می‌شود. این مقدار معادل نصف جرم بار ورودی اولیه آسیا (A) است.

$$p = \frac{A}{2} \qquad (۱۱-۱)$$

که در آن:

p وزن محصول ایده‌آل (گرم)

A بار ورودی اولیه آسیا (گرم)

ث- آسیا با n دور به گردش درمی‌آید. تعداد دور گردش آسیا در ابتدا حدود ۳۰ دور است. در واقع آسیا به صورت افقی ۸ دور چرخش می‌کند، سپس با شیب ۵ درجه به سمت پایین یک دور چرخش می‌کند. سپس ۵ درجه به سمت بالا شیب داده شده، در این وضعیت نیز یک دور می‌چرخد و این چرخه تکرار می‌شود. این امر مانع از تجمع مواد در دو انتهای آسیا می‌شود.

ج- در پایان مرحله آسیا، مواد داخل آسیا با برداشتن صفحات پوششی خارج شده، بدنه آسیا با شیب ۴۵ درجه به پایین کج شده و سپس ۳۰ دور به گردش درآورده می‌شود. میله‌ها داخل آسیا به وسیله سرند شبکه‌ای نگه داشته می‌شوند. بدین ترتیب همه مواد موجود در آسیا تخلیه می‌شود.

چ- پس از تخلیه مواد داخل آسیا و سرند کردن آن‌ها، مواد باقی‌مانده روی سرند توزین شده و مقدار آن یادداشت می‌شود (c_i).

ح- بعد از توزین بخش باقی‌مانده روی سرند کنترل، پارامترهای زیر تعیین می‌شود.

- وزن مواد عبور کرده از سرند (f_i) از رابطه ۱-۱۲ محاسبه می‌شود:

$$f_i = A - c_i \qquad (۱۲-۱)$$

- وزن خالص محصول تولید شده از عملیات آسیا (جرم خالص محصول که عبارت است از تفاضل جرم محصول و جرم مواد هم اندازه با محصول در بار ورودی) از رابطه ۱-۱۳ به دست می‌آید:

$$s_i = f_i - a \times f_i \qquad (۱۳-۱)$$

- وزن محصول تولید شده در یک دور گردش آسیا از رابطه ۱-۱۴ محاسبه می‌شود:

$$G_i = \frac{s_i}{n_i} \qquad (۱۴-۱)$$

خ- مقدار مشخصی از نمونه‌هایی به وزن تقریبی p که قبلا آماده شده است، به بخش باقی‌مانده روی سرند (بار درگردش) اضافه

omoorepeyman.ir

می‌شود تا وزن کل آن به اندازه وزن اولیه بار ورودی به آسیا، A برسد.

د- قبل از شروع دور دوم آزمایش، باید تعداد دور گردش آسیا را در این مرحله تعیین کرد. بدین منظور وزن محصول جدیدی که باید در دور بعد آسیا تولید شود، از رابطه ۱-۱۵ محاسبه می‌شود و مقدار آن در رابطه ۱-۱۶ قرار داده می‌شود و تعداد دور گردش آسیا مشخص می‌شود. این کار در آغاز هر مرحله باید انجام شود. علاوه بر این، با تقسیم تعداد دور گردش آسیا بر سرعت آن، می‌توان زمان لازم برای آسیا در این مرحله را محاسبه کرد.

- وزن محصول در دور جدید آسیا از رابطه ۱-۱۵ محاسبه می‌شود:

$$h_{i+1} = p - a \times f_i \qquad (۱-۱۵)$$

که در آن h_{i+1} میزان محصول تولید شده در دور بعد آسیا است.

- تعداد دور گردش آسیا در دوره جدید آسیا از رابطه ۱-۱۶ محاسبه می‌شود:

$$n_{i+1} = \frac{h_{i+1}}{G_i} \qquad (۱-۱۶)$$

- زمان لازم برای آسیا در دور جدید از رابطه ۱-۱۷ محاسبه می‌شود:

$$t_{i+1} = \frac{n_{i+1}}{N} \qquad (۱-۱۷)$$

که در آن:

t_{i+1} زمان لازم برای آسیا (دقیقه)

N سرعت آسیا (دور در دقیقه)

ذ- آزمایش باید به همین ترتیب تکرار شود تا مدار به حالت تعادل و ایستا برسد. معمولا این امر با ۳ تا ۵ بار تکرار امکان‌پذیر خواهد بود. تعادل آزمایش زمانی خواهد بود که تغییرات مقدار G_i در سه تکرار متوالی، کمتر از ۵ درصد باشد.

ر- با تعیین دانه‌بندی محصول‌های عبور کرده از سرند کنترل در طی سه آزمایش آخر، دهانه سرندی که ۸۰ درصد محصول آسیا از آن عبور می‌کند، تعیین می‌شود.

ز- تمام اطلاعات به دست آمده از دورهای مختلف آزمایش باید در فرم‌های مخصوص یادداشت شود. نمونه فرم آزمایشگاهی برای تکمیل اطلاعات آزمایش تعیین شاخص کار باند با استفاده از آسیای میله‌ای نیز مشابه نمونه ارایه شده در جدول ۱-۲ است.

۱-۴-۴- محاسبات

پس از انجام آزمایش‌ها و تکمیل اطلاعات مورد نیاز، با استفاده از رابطه ۱-۱۸ می‌توان شاخص کار باند برای آسیای گلوله‌ای را تعیین کرد:

$$Wi = \frac{44.5}{D^{0.23} G_i^{0.625}} \left(\frac{1}{\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}}} \right) \qquad (۱-۱۸)$$

که در آن:

omoorepeyman.ir

w_i شاخص کار باند (کیلووات–ساعت بر تن)

P، d_{80} محصول (میکرون)

F، d_{80} بار ورودی (میکرون)

D اندازه سرند کنترل (میکرون)

G_i مقدار مواد کوچکتر از سرند کنترل در محصول آسیا (گرم بر دور)

همانند آزمایش آسیای گلوله‌ای، در این حالت نیز هر چه مقدار شاخص کار باند بیشتر باشد، مقاومت کانسنگ در برابر خردایش بیشتر بوده و انرژی بیشتری برای خرد کردن آن مورد نیاز خواهد بود. تفاوت بارز بین شاخص کار آسیای گلوله‌ای باند و شاخص کار آسیای میله‌ای باند، در مورد یک کانسنگ مشخص، نشانگر مقاومت بالای ذرات درشت‌تر کانسنگ یاد شده است که ممکن است مشکلاتی را در استفاده از آسیای نیمه‌خودشکن ایجاد کند.

شاخص کار باند در هر دو حالت، به دلیل ارایه یک دید مطلوب در مورد خصوصیات کانسنگ تحت فرآوری از نظر سختی و قابلیت خردایش آن در اثر مکانیزم ضربه و بهبود توانمندی افراد در انتخاب بهینه آسیاها در مدارهای فرآوری بسیار حایز اهمیت است. از شاخص کار باند می‌توان برای تعیین کارآیی ماشین‌های خردکننده استفاده کرد. زیرا شاخص کار تعیین شده برای یک نوع سنگ معدن معین با استفاده از تجهیزات مختلف، نشان دهنده کارآیی این دستگاه‌ها است. چگونگی استفاده از این شاخص برای تعیین کارآیی دستگاه‌های خردایش در فصل سوم به طور کامل تشریح می‌شود.

omoorepeyman.ir

فصل ۲

دستورالعمل تعیین شاخص هاردگرو

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

شاخص هاردگرو، معیاری از قابلیت نرم‌شوندگی و یا پودرشوندگی ماده معدنی است. در این آزمایش، کانسنگ از نظر مشخصاتی مانند میزان نرم‌شوندگی یا پودرشوندگی تحت یک انرژی خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس نتایج به دست آمده می‌توان بازیابی وزنی[1] ماده معدنی را ارزیابی کرد. علاوه بر این، میزان انرژی مورد نیاز در فرآیند آسیا یا پودر کردن نیز قابل پیش‌بینی است.

۲-۲- اهداف

با توجه به ساختمان دستگاه مورد استفاده در آزمایش هاردگرو و مکانیزم خردایش ذرات در این دستگاه، نتایج آزمایش یاد شده برای بررسی موادی مانند زغال‌سنگ معتبر است زیرا عامل اصلی خردایش در این دسته از مواد، مکانیزم سایش است. بنابراین آزمایش تعیین شاخص هاردگرو عمدتا در آسیاهایی که شکست ذرات بیشتر بر اساس سایش بین سطوح انجام می‌گیرد، کاربرد دارد و نمی‌توان نتیجه آن را برای آسیاهای گردان که شکست ذرات در آن‌ها بیشتر به دلیل سقوط بار خردکننده و ضربه ناشی از گلوله، میله و یا سایر دانه‌ها اتفاق می‌افتد، مورد استفاده قرار داد. هدف از انجام این آزمایش، تعیین شاخص هاردگرو (قابلیت خرد شدن در اثر سایش) است و عمدتا برای ذرات ریز با ابعاد کمتر از ۷۵ میکرون به کار گرفته می‌شود.

۲-۳- آماده‌سازی نمونه

ابعاد نمونه مورد نیاز برای این آزمایش، ۰٫۶ تا ۱٫۱۸ میلی‌متر است. قبل از تهیه نمونه‌های تحت آزمایش، باید چند نمونه مرجع استاندارد[2] برای واسنجی تهیه کرد.

۲-۳-۱- آماده‌سازی نمونه‌های مرجع استاندارد برای واسنجی

به منظور واسنجی دستگاه چهار نمونه مرجع استاندارد مورد نیاز است. بدین منظور باید از نمونه‌هایی با شاخص قابلیت خردایش ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ استفاده شود. پس از دریافت نمونه باید هر یک از نمونه‌های مرجع استاندارد از نظر مواردی مانند معیارهای زیر مورد بررسی قرار گیرد:

- از تاریخ تهیه نمونه، بیش از ۶ ماه نگذشته باشد.
- میزان مواد باقی‌مانده روی سرند ۴٫۷۵ میلی‌متر (ذرات دانه درشت) مشخص شود.
- نمونه باید عاری از مواد زایدی مانند چوب، کانسنگ، زغال‌سنگ سخت شده و نظایر آن‌ها باشد.
- مقدار مواد زیر ۶۰۰ میکرون (ذرات بسیار ریز) در نمونه، کمتر از ۳۰ درصد باشد.

پس از آماده‌سازی نمونه‌های مرجع، نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش تهیه می‌شود.

omoorepeyman.ir

1- Yield
2- Standard reference sample (SRS)

۲-۳-۲- آماده‌سازی نمونه‌های مورد نیاز برای انجام آزمایش

برای انجام آزمایش تعیین شاخص خردایش در آسیای هاردگرو باید مراحل زیر انجام شود:

الف- نمونه‌ای با ابعاد ۰٫۶ تا ۱٫۱۸ میلی‌متر (معمولا از زغال‌سنگ) تهیه شود.

ب- در صورتی که مقدار ذرات با اندازه ۴٫۷۵ میلی‌متر در نمونه موجود بیش از یک کیلوگرم باشد، باید این بخش از مواد به نمونه‌هایی با وزن کمتر از یک کیلوگرم تقسیم شود. پس از این مرحله، هر یک از نمونه‌ها را باید با استفاده از دستگاه خشک‌کن خشک کرد.

پ- در مرحله سوم، نمونه یک کیلوگرمی از مواد با ابعاد ۴٫۷۵ میلی‌متر که با هوای گرم، خشک شده است به چهار بخش ۲۵۰ گرمی تقسیم شود.

ت- یک سری سرندی برای دانه‌بندی نمونه‌ها آماده شود. در سری مورد استفاده، سرند ۱٫۱۸ میلی‌متر باید در بالا و سرند ۶۰۰ میکرون در پایین قرار گیرد. وجود سرندهای ۴٫۷۵ میلی‌متر و ۲٫۳۶ میلی‌متر در بالای این سری سرندی نیز برای تعیین توزیع دانه‌بندی ذرات و اندازه بالایی نمونه مورد نیاز است. سپس هر یک از بخش‌های ۲۵۰ گرمی بر روی سرندها ریخته شده و به مدت ۲ دقیقه (با نوسان ۱۰ ثانیه ±) در دستگاه لرزاننده[1] قرار گیرد. پس از عملیات سرند، سرندها از دستگاه خارج شده و جرم مواد روی آن‌ها به صورت مجزا توزین و وزن آن‌ها یادداشت شود.

ث- بخش عبور کرده از سرند ۱٫۱۸ میلی‌متری به صورت مجزا نگه داشته شود و بخش بزرگتر از سرند یاد شده در سنگ‌شکن مخصوصی ریخته شود تا تحت خردایش بیشتر قرار گیرد (تنظیمات دهانه و گلوگاه سنگ‌شکن به گونه‌ای است که تنها ذرات بزرگتر از ۱٫۱۸ میلی‌متر خرد می‌شوند). مواد خرد شده مجددا به بخش‌های ۲۵۰ گرمی تقسیم شود. سپس هر یک از نمونه‌ها روی سری سرندی ریخته شده و به مدت ۲ دقیقه (با نوسان ۱۰ ثانیه ±) در دستگاه سرند مکانیکی قرار گیرد. این مرحله تا زمانی ادامه یابد که تمامی مواد از سرند ۱٫۱۸ میلی‌متر عبور کند.

ج- تمامی مواد با ابعاد ۰٫۶ تا ۱٫۱۸ میلی‌متر که از مراحل مختلف خردایش و سرند جمع شده‌اند، با بخش عبوری از سرند ۱٫۱۸ میلی‌متر که در ابتدای مرحله پنجم کنار گذاشته بود، به خوبی مخلوط شود. سپس نمونه به دست آمده به بخش‌هایی به وزن ۱۲۰±۱۰ گرم تقسیم شود.

ح- در مرحله نهایی آماده‌سازی نمونه، ذرات زیر ۶۰۰ میکرون از نمونه حاصل شده از مرحله قبل جدا شود. بدین منظور، مواد روی سرند ۶۰۰ میکرون ریخته شده و به مدت ۵ دقیقه (با نوسان ۱۰ ثانیه ±) در داخل دستگاه لرزاننده قرار گیرد. سپس از دستگاه خارج شده و بخش عبوری از سرند یاد شده جدا شود.

۲-۴- واسنجی

قبل از انجام آزمایش باید همه دستگاه‌ها از قبیل تجهیزات تعیین قابلیت خردایش همراه با سرندها، آسیا و یا سنگ‌شکن مورد بررسی قرار گیرند زیرا در صورتی که تجهیزات یاد شده برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفته و یا تعمیر شده باشند ممکن است دارای عیب و نقص بوده و در صورتی که اپراتور قبلا با چنین دستگاهی کار نکرده باشد، احتمال بروز خطا در انجام آزمایش نیز وجود

1- Shaker

omoorepeyman.ir

خواهد داشت. بنابراین باید قبل از شروع آزمایش دستگاه‌ها واسنجی شوند. به منظور واسنجی کردن مراحل زیر انجام می‌شود:

الف- برای هر واسنجی، چهار نمونه مرجع استاندارد با شاخص‌های خردایش ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ به طور جداگانه همان طور که در بخش آماده‌سازی نمونه اشاره شد، تهیه می‌شود. سپس آزمایش تعیین شاخص هاردگرو روی هر یک از نمونه‌ها اجرا می‌شود و از نتایج به دست آمده برای تعیین معادله خط با استفاده از روش مجموع کمترین مربعات استفاده می‌شود. در صورت لزوم، نتایج یاد شده برای تهیه جدول واسنجی نیز به کار گرفته می‌شود.

ب- در این مرحله، با استفاده از روش مجموع کمترین مربعات، معادله خطی که بیشترین تطابق را با نتایج به دست آمده از آزمایش چهار نمونه مرجع استاندارد داشته باشد، تعیین می‌شود. به عنوان مثال، نتایج به دست آمده از آزمایش تعیین شاخص هاردگرو برای نمونه‌های مرجع استاندارد در جدول ۲-۱ ارایه شده است.

جدول ۲-۱- نتایج آزمایش تعیین شاخص هاردگرو برای چهار نمونه مرجع استاندارد

شاخص قابلیت آسیا کردن هاردگرو	وزن بخش‌های مختلف بر حسب گرم					
	نمونه اولیه	بخش روی سرند ۷۵ میکرون	بخش زیر سرند ۷۵ میکرون (توزین شده)	کل مواد بازیابی شده	بخش از دست رفته	بخش زیر سرند ۷۵ میکرون (محاسبه شده)
۴۰	۵۰	۴۵/۶۵	۴/۲۷	۴۹/۹۲	۰/۰۸	۴/۳۵
۵۸	۵۰	۴۲/۸۶	۷/۱۱	۴۹/۹۷	۰/۰۳	۷/۱۴
۸۳	۵۰	۳۹/۵۶	۱۰/۲۳	۴۹/۷۹	۰/۲۱	۱۰/۴۴
۱۰۰	۴۹	۳۶/۶۱	۱۳/۲۵	۴۹/۸۶	۰/۱۳	۱۳/۳۸

برای تعیین معادله خطی بر اساس مجموع کمترین مربعات از رابطه ۲-۱ استفاده می‌شود.

$$Y = a + bX \qquad (۱-۲)$$

که در آن:

Y شاخص قابلیت خردایش هاردگرو (HGI)

a عرض از مبدا

b شیب خط

X مقدار مواد کوچکتر از ۷۵ میکرون است که از طریق کسر وزن توزین شده بخش روی سرند از وزن کل نمونه، محاسبه شده است (ستون آخر جدول).

a و b را می‌توان با استفاده از اطلاعات موجود در جدول ۲-۲ و روابط ۲-۲ و ۲-۳ محاسبه کرد.

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \qquad (۲-۲)$$

omoorepeyman.ir

$$b = \frac{n\sum XY - \sum X \sum Y}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \qquad (۳-۲)$$

جدول ۲-۲- محاسبه پارامترهای مربوط به مدل خطی برازش شده

شاخص قابلیت آسیا کردن هاردگرو	پارامترها			
	X	Y	X^2	XY
۴۰	۴/۳۵	۴۰	۱۸/۹۲	۱۷۴/۰۰
۵۸	۷/۱۴	۵۸	۵۰/۹۸	۴۱۴/۱۲
۸۳	۱۰/۴۴	۸۳	۱۰۸/۹۹	۸۶۶/۵۲
۱۰۰	۱۳/۳۸	۱۰۰	۱۷۹/۰۲	۱۳۳۸/۰۰
جمع پارامترها	۳۵/۳۱	۲۸۱	۳۵۷/۹۱	۲۷۹۲/۶۴

در روابط ۲-۲ و ۲-۳ n، تعداد نمونه‌های مرجع استاندارد (در این مثال، n برابر با ۴ است) است. با انجام این محاسبات، مقادیر a برابر با ۱۰/۶۳ و b برابر با ۶/۷۵ تعیین می‌شود. بنابراین معادله خط برای نتایج این آزمایشات به صورت $Y=6.75\ X+10.63$ خواهد بود.

۲-۵- تجهیزات مورد نیاز

برای انجام آزمایش تعیین شاخص خردایش هاردگرو، تجهیزات زیر مورد نیاز است.

۲-۵-۱- خشک‌کن با هوا

این دستگاه، وسیله‌ای برای عبور آرام هوای گرم از روی نمونه است. خشک‌کن باید قادر به حفظ دمایی ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد (۱۸ تا ۲۷ درجه فارنهایت) بالاتر از دمای اتاق باشد. دمای خشک‌کن را می‌توان حداکثر تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد (۱۰۴ درجه فارنهایت) افزایش داد و در صورتی که دمای محیط بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد باشد، دمای محیط به عنوان دمای مد نظر به کار می‌رود. در مواردی که سطح زغال‌سنگ تازه باشد و به راحتی اکسید می‌شود، دمای تعیین شده برای خشک کردن نباید بیش از ۱۰ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای اتاق باشد. در مواردی که دمای محدوده بالاتر از ۳۷ درجه سانتی‌گراد (۱۰۰ درجه فارنهایت) باشد، دمای محیط مد نظر قرار می‌گیرد. شدت جریان هوا باید ۱ تا ۴ برابر ظرفیت خشک‌کن در دقیقه باشد.

۲-۵-۲- سینی‌های خشک‌کننده

به منظور خشک کردن نمونه‌ها، مواد را در سینی‌هایی می‌ریزند. ارتفاع لبه سینی‌ها نباید کمتر از ۳۸ میلی‌متر بوده و عمق لایه مواد داخل آن‌ها باید حداکثر ۲۵ میلی‌متر باشد. علاوه بر این، جنس سینی‌ها نباید با زغال‌سنگ واکنش انجام دهند و یا تحت تاثیر فرآیند خشک کردن دچار تغیراتی مانند زنگ‌زدگی، پوسیدگی و نظایر آن‌ها شوند.

omoorepeyman.ir

۲-۵-۳- ترازوها

برای توزین نمونه‌ها و بخش‌های مختلف مواد در حین انجام آزمایش دو نوع ترازو مورد نیاز است که یکی از آن‌ها با حساسیت ۱۰ میلی‌گرم بوده و ظرفیت حداقل ۸۰۰ گرم را دارد. دقت ترازوی دیگر، ۰٫۵ گرم بوده و ظرفیت آن ۱۰۰۰ گرم است که برای توزین نمونه‌های با وزن بیشتر از ۱۰۰۰ گرم که داخل سینی‌های خشک‌کننده قرار دارند، به کار می‌رود.

۲-۵-۴- تقسیم‌کننده نمونه

به منظور تقسیم نمونه‌های ۱۰۰۰ گرمی به چهار بخش ۲۵۰ گرمی در هر آزمایش، از دستگاه تقسیم‌کننده نمونه استفاده می‌شود که برای این کار می‌توان از تقسیم‌کن ریفل[1] استفاده کرد.

۲-۵-۵- سرندهای استاندارد

یک سری سرند آزمایشگاهی استاندارد که معمولا قطر ۲۰٫۳ میلی‌متر دارند همراه با درپوش و سینی، به منظور تعیین دانه‌بندی نمونه‌ها در هر مرحله از آزمایش مورد نیاز است. اندازه سرندها در این سری بر حسب میلی‌متر و مش در جدول ۲-۳ ارایه شده است. سرندهای موجود در آزمایشگاه باید از نظر فرسودگی یا آسیب‌دیدگی بررسی شوند تا سرندهای بیش از حد فرسوده یا آسیب دیده (مانند سرندهای سوراخ یا گسیخته شده) با سرندهای نو جایگزین شوند. شاخص هاردگرو به تجزیه سرندی وابسته و از سوی دیگر، سرند ۷۵ میکرون بسیار ظریف و شکننده است، بنابراین پیشنهاد می‌شود که حداقل یک سری سرند آزمایشگاهی مختص اجرای این آزمایش تهیه و با برچسب مناسب علامت‌گذاری و تنها برای تعیین شاخص هاردگرو استفاده شود.

جدول ۲-۳- سری سرندهای استاندارد مورد استفاده در آزمایش تعیین شاخص هاردگرو

طراحی سرند	
استاندارد U.S.A. (مش)	استاندارد ISO (میلی‌متر)
-	۱۶
۴	۴٫۷۵
۸	۲٫۳۶
۱۶	۱٫۱۸
۳۰	۰٫۶
۲۰۰	۰٫۰۷۵ (۷۵ میکرون)

۲-۵-۶- سنگ‌شکن

به منظور خردایش ذرات بزرگتر از ۴٫۷۵ میلی‌متر که در تجزیه سرندی روی سرند بالایی باقی می‌مانند، تجهیزات خردایشی لازم است که بتوان دهانه آن‌ها را به گونه‌ای تغییر داد که تنها ذرات درشت‌تر خرد شوند. بدین منظور آسیای صفحه‌ای آزمایشگاهی با قابلیت خرد کردن ذرات زغال‌سنگ با اندازه ۴٫۷۵ میلی‌متر و تولید موادی با ابعاد زیر ۶۰۰ میکرون مورد نیاز است. صفحات

1- Riffle divider

omoorepeyman.ir

سنگ‌شکن باید دندانه‌دار و قطر آن‌ها حدود ۱۰۰ میلی‌متر باشد. علاوه بر این، فاصله بین صفحات باید قابل تنظیم بوده و سرعت نسبی دوران صفحات نباید بیش از ۲۰۰ دور در دقیقه باشد.

۲-۵-۷- دستگاه لرزاننده (سرند مکانیکی)

این ماشین باید به گونه‌ای باشد که بتوان سرندهای با قطر ۲۰۳ میلی‌متر (حدود ۸ اینچ) را همراه با درپوش و سینی به صورت قائم در داخل آن‌ها قرار داد. به علاوه ماشین سرند مکانیکی باید قابلیت شبیه‌سازی حرکات نوسانی افقی وارد شده به سرندهای آزمایشگاهی در هنگام سرند کردن دستی را داشته باشد. از این رو، دستگاه باید به گونه‌ای طراحی شود که حرکاتی با دامنه حدود ۲۸ میلی‌متر و آهنگی حدود ۳۰۰ نوسان یا سیکل در دقیقه را ایجاد کند. هم‌زمان با نوسان افقی، یک وزنه ۱٫۹ کیلوگرمی نیز ضربه‌هایی در راستای قائم و با آهنگ حدود ۱۵۰ ضربه در دقیقه به بالای دستگاه وارد می‌کند. این وزنه که در راستای قائم حدود ۲۸ میلی‌متر جابه‌جایی دارد، باعث تغییر لایه‌بندی مواد داخل سرندها و جهت‌گیری ذرات در اثر ضربه به آن‌ها می‌شود.

۲-۵-۸- دستگاه تعیین شاخص هاردگرو

ماشین تعیین شاخص هاردگرو برای اجرای این آزمایش مورد نیاز است. دستگاه تعیین شاخص هاردگرو یک جام[1] ساکن از جنس چدن صیقلی با شیار دایره‌ای افقی دارد که ۸ عدد گلوله فولادی صیقلی با قطر حدود ۲۵٫۴۰ میلی‌متر در آن قرار می‌گیرد. حلقه آسیا در قسمت بالا که با سرعت تقریبی ۲۰ دور در دقیقه به وسیله محور متحرک[2] بالایی دوران می‌کند، عامل اصلی حرکت گلوله‌ها است. وزنه‌هایی به محور متحرک اضافه می‌شود تا نیروی کل قائم وارد شده به گلوله‌ها (نیروی ناشی از وزن وزنه‌ها، شفت، حلقه بالایی و دنده آسیا) برابر ۲۹٫۰±۰٫۲ کیلوگرم باشد. این ماشین به یک شمارنده و دستگاه خودکار مجهز است که به وسیله آن می‌توان دستگاه را پس از ۶۰±۰٫۲۵ دور متوقف کرد.

۲-۶- روش انجام آزمایش

آزمایش تعیین شاخص هاردگرو، طی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

الف- بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها و واسنجی دستگاه ابتدا باید آن را تمیز کرد و روی یک سطح هموار قرار داد. باید تا حد امکان گلوله‌ها در اطراف جام آسیا به صورت هم‌تراز قرار بگیرند. سپس سیستم توقف اتوماتیک دستگاه باید تنظیم شود تا پس از ۶۰±۰٫۲۵ دور، حلقه آسیا در قسمت بالا متوقف شود.

ب- حدود ۵۰ گرم از موادی که قبلا بخش نرمه آن (ذرات زیر ۶۰۰ میکرون) جدا شده است، توزین شده و در داخل جام آسیا به صورت هم‌تراز توزیع شود. در هنگام تخلیه مواد به داخل دستگاه، باید مواد ریخته شده روی قسمت برآمده بخش آسیا دستگاه در قسمت پایین که گلوله‌ها در آن قراردارند، با برس تمیز شود. سپس جام در جای خود قرار گرفته و باید اطمینان حاصل کرد که بار کاملا به محور متحرک وارد شود.

پ- دستگاه را باید روشن کرد و با سرعت ۶۰±۰٫۲۵ دور به حرکت درآورد.

1- Bowl
2- Spindel

omoorepeyman.ir

ت- پس از تعداد دور مشخص و توقف خودکار دستگاه، جام از ماشین خارج شود. در این مرحله باید حلقه بالایی آسیا را برداشت و با یک برس تمیز به دقت ذرات نمونه چسبیده شده به جام و حلقه آسیا را روی سرند ۱۶ میلی‌متر که روی یک سرند ۷۵ میکرونی و سینی زیرین قرار دارد، تخلیه کرد. سپس این کار برای ذرات نمونه چسبیده به گلوله‌ها نیز تکرار شود. مواد چسبیده شده به سرند ۱۶ میلی‌متر با برس تمیز شده و روی سرند ۷۵ میکرون ریخته شود. به جای این سرند، درپوش محکمی روی سرند ۷۵ میکرون قرار گیرد و سری یاد شده (درپوش، سرند ۲۰۰ مش و سینی زیرین) به مدت حدود ۱۰ دقیقه در یک دستگاه سرند مکانیکی قرار داده شود. بعد از این مدت و خارج کردن سری از داخل دستگاه لرزاننده، به دقت گرد نمونه چسبیده به کف سرند ۷۵ میکرون با استفاده از یک برس نرم (به منظور جلوگیری از آسیب دیدن سرند) تمیز شده و داخل سینی ریخته شود. عملیات سرند با این سری و تمیز کردن کف سرند ۷۵ میکرون در دو دوره دیگر با فاصله زمانی حدود ۵ دقیقه تکرار شود.

ث- بخش باقی‌مانده روی سرند ۷۵ میکرون و قسمت عبور کرده از این سرند ۷۵ به طور جداگانه با ترازوی با دقت ۰٫۰۱ گرم توزین شده و نتایج یادداشت شود.

ج- سرند ۷۵ میکرون و محتویات آن توزین شده و وزن خالص سرند از وزن کلی کم شود تا مقدار مواد با اندازه بزرگتر از ۷۵ میکرون به دست آید. به منظور تعیین جرم خالص مواد کوچکتر از ۷۵ میکرون نیز سینی و مواد داخل آن توزین شود. اگر مجموع این دو جرم محاسبه شده، بیش از ۰٫۵ گرم با جرم اولیه نمونه (۵۰±۰٫۰۱ گرم) تفاوت داشته باشد، باید آزمایش مجددا تکرار شود. جرم نمونه عبور کرده از سرند ۷۵ میکرون که از طریق تفریق جرم باقی‌مانده روی سرند ۷۵ میکرون از وزن اولیه نمونه مورد آزمایش محاسبه شده است، در تعیین مجموع کمترین مربعات برای محاسبه شاخص هاردگرو نمونه و یا در رسم نمودار واسنجی دستگاه مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۷- محاسبات

به منظور تعیین شاخص هاردگرو بر اساس جرم محاسبه شده برای بخش عبوری از سرند ۷۵ میکرون نمونه را می‌توان از طریق روابط ۲-۱ تا ۲-۳ که قبلا تشریح شد، محاسبه کرد و نزدیک‌ترین عدد صحیح را به عنوان شاخص هاردگرو نمونه گزارش کرد.

برای سهولت مقایسه بین نتایج ارایه شده به وسیله آزمایشگاه‌های مختلف، درصد رطوبت باقی‌مانده در قسمتی از نمونه استفاده نشده با ابعاد ۰٫۶ تا ۱٫۱۸ میلی‌متر نیز باید در گزارش ذکر شود. به علاوه، درصد بازیابی وزنی مواد با ابعاد ۰٫۶ تا ۱٫۱۸ میلی‌متر را که از نمونه با اندازه بزرگتر از ۴٫۷۵ میلی‌متر و جرم ۱۰۰۰ گرم به دست آمده است نیز باید در نتایج آزمایش آورده شود.

هدف از انجام آزمایش هاردگرو، تعیین شاخص قابلیت خردایش هاردگرو است که قابلیت نرم‌شوندگی نمونه را نشان می‌دهد. شاخص یاد شده معمولا برای مواد بسیار ریز و نرم مانند زغال‌سنگ به کار گرفته می‌شود. با استفاده از رابطه همبستگی تجربی که بین این شاخص و شاخص کار باند وجود دارد، می‌توان با در دست داشتن شاخص هاردگرو، مقدار شاخص کار باند را نیز به طور تقریبی به دست آورد.

اگر روش‌های واسنجی دیگری به جز استفاده از نمونه مرجع استاندارد در آزمایش تعیین شاخص قابلیت خردایش هاردگرو برای واسنجی دستگاه آزمایش استفاده شود، منبع استانداردهای واسنجی مورد استفاده و روش کار آن باید در گزارش نهایی ذکر شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۳

دستورالعمل تعیین شاخص کار عملیاتی باند

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

شاخص کار باند برای تعیین کارآیی دستگاه‌های خردایش موجود در مدارهای فرآوری استفاده می‌شود. شاخص کار به دست آمده از تجهیزات مختلف برای یک نوع سنگ معدن معین، نشان دهنده کارآیی این دستگاه‌ها است.

ایده شاخص کار عملیاتی کارخانه، W_{Oi}، اولین بار توسط رولند[1] به منظور تشخیص تفاوت بین مقدار آزمایشگاهی و واقعی شاخص کار برای یک کانسنگ معلوم، عنوان شد. سپس این ایده توسط رولند و جوس[2] مورد بررسی قرار گرفت و تحت عنوان انرژی مورد نیاز برای خردایش ماده معدنی در آسیاهای آزمایشگاهی و صنعتی مطرح شد. طبق نظر رولند، نسبت شاخص کار عملیاتی به آزمایشگاهی یک کانسنگ مشخص، برابر با نسبت انرژی مورد نیاز برای خردایش آن با آسیاهای آزمایشگاهی و صنعتی است (رابطه ۳-۱).

$$R = \frac{W_{oi}}{Wi} = \frac{\text{انرژی مورد نیاز برای آسیای صنعتی}}{\text{انرژی مورد نیاز برای آسیای آزمایشگاهی}} \qquad (۱-۳)$$

که در آن:

R نسبت شاخص کار عملیاتی

W_{oi} انرژی مورد نیاز برای آسیای صنعتی

Wi انرژی مورد نیاز برای آسیای آزمایشگاهی

۳-۲- اهداف

هدف از تعیین شاخص کار عملیاتی باند در شرایط مختلف عبارت است از:

- ثبت عملکرد آسیا در دوره‌های مشخص (ساعتی، روزانه و نظایر آن‌ها)
- مقایسه عملکرد فعلی تجهیزات با داده‌های قبلی
- مقایسه شرایط عملیاتی با شرایط اسمی تجهیزات و دستگاه‌های مختلف خردایش
- مقایسه مدارهای خردایش در کارخانه‌های مختلف که شرایط یکسانی دارند.
- در طراحی مدارهای جدید یا در بهینه‌سازی مدارهای موجود از این شاخص استفاده می‌شود.

عواملی مانند عدم کارآیی تجهیزات آسیا، عملکرد موتور و نظایر آن در تعیین شاخص کار عملیاتی موثر است و از این رو در هنگام مقایسه این پارامتر با شاخص کار آزمایشگاهی باید کلیه عوامل موثر و تاثیر آن‌ها در تغییر نتایج، مد نظر قرار گیرد.

۳-۳- آماده‌سازی نمونه

شاخص کار عملیاتی در کارخانه و به هنگام بهره‌برداری از آسیای صنعتی تعیین می‌شوند. برای این کار، مواد خاصی مورد نیاز نیست و تنها میزان انرژی الکتریکی مصرفی آسیا در یک دوره زمانی مشخص به وسیله وسایل اندازه‌گیری الکتریکی نصب شده در

1- Roland
2 -Kjos

omoorepeyman.ir

مسیر برق ورودی به آسیا ثبت می‌شود. با توجه به میزان انرژی الکتریکی اندازه‌گیری شده و حجم ماده معدنی خرد شده در این دوره زمانی خاص بر اساس دبی بار ورودی به آسیا شاخص کار عملیاتی محاسبه می‌شود. بنابراین آماده‌سازی نمونه در این آزمایش لازم نیست.

۳-۴- تجهیزات مورد نیاز

برای انجام این آزمایش، باید میزان انرژی الکتریکی ورودی به مدار و توان عملیاتی دستگاه‌های خردکننده مشخص شود و بدین منظور وسایل اندازه‌گیری الکتریکی خاصی باید تهیه و در جاهای مناسب نصب شود.

۳-۵- روش انجام آزمایش

برای تعیین شاخص کار عملیاتی باند در مدار آسیا باید مراحل زیر را انجام داد:

- ابتدا تجهیزات اندازه‌گیری انرژی الکتریکی مصرفی را در مدار نصب کرد.
- از آنجا که انرژی مصرفی از توان آسیا به دست می‌آید، باید توان آسیا اندازه‌گیری شده و داده‌ها ثبت شود. اگر توان آسیا از توان موتور حاصل شود، باید توان در چرخ دنده شفت آسیا نیز در نظر گرفته شود. در صورتی که تجهیزات مستقیما به چرخ دنده شفت متصل شده باشند، توان خروجی موتور، توان چرخ دنده شفت آسیا خواهد بود.
- علاوه بر اندازه‌گیری انرژی الکتریکی مصرفی و توان آسیا، باید از بار ورودی و محصول مدار نمونه‌برداری و با سرند، دانه‌بندی آن‌ها را تعیین کرد. در این مرحله اندازه چشمه سرندی که ۸۰ درصد از مواد بار ورودی و محصول از آن عبور کرده است (d_{80} بار ورودی و محصول) مشخص می‌شود.
- برای تعیین شاخص کار عملیاتی باند، نتایج به دست آمده از مراحل مختلف آزمایش را باید در رابطه ۳-۲ قرار داد و شاخص کار عملیاتی برای کانسنگ مورد آزمایش را محاسبه کرد.

۳-۶- محاسبات

اگر انرژی لازم برای خردایش در کارخانه (کیلووات–ساعت بر تن) اندازه‌گیری می‌شود، با استفاده از رابطه باند، شاخص کار عملیاتی قابل محاسبه است.

$$W_i = W \times \frac{1}{11(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}})} \qquad (۲-۳)$$

که در آن:

W انرژی مصرفی (Kwh/t)

Wi شاخص باند (Kwh/t)

P ابعاد محصول (d_{80} میکرون)

omoorepeyman.ir

F ابعاد بار ورودی (d_{80} میکرون)

از آنجا که در مدار، توان لازم برای انتخاب آسیا برآورد می‌شود، بنابراین انرژی مصرفی از تقسیم توان آسیا بر دبی بار ورودی به آن تعیین می‌شود (رابطه ۳-۳):

$$W = \frac{N}{Q} \qquad (۳-۳)$$

که در آن:

W انرژی مصرفی (کیلووات-ساعت بر تن)

N توان آسیا (کیلووات)

Q دبی بار ورودی (تن بر ساعت)

بنابراین می‌توان با جایگزینی رابطه ۳-۳ در رابطه ۳-۲ شاخص کار عملیاتی باند (W_{oi}) را محاسبه کرد.

$$W_{oi} = \frac{N}{Q} \times \frac{1}{11(\frac{1}{\sqrt{P}} - \frac{1}{\sqrt{F}})} \qquad (۴-۳)$$

در یک مدار باز، پارامترهای F و P را می‌توان مستقیما اندازه‌گیری کرد اما در مدارهای بسته آسیا که کلاسیفایر در مدار نصب بوده و بخش دانه درشت مواد را به آسیا بازمی‌گرداند، شاخص کار بر اساس کار انجام شده برای کاهش اندازه ذرات موجود در بار تازه عنوان می‌شود. بار ورودی به آسیا در این مدارها، ترکیبی از بار اولیه و بخش دانه درشت محصول است که به وسیله کلاسیفایر به آسیا بازگردانده می‌شود.

با تعیین شاخص کار عملیاتی و با داشتن شاخص کار آزمایشگاهی باند که نحوه تعیین آن در فصل اول ارایه شد، می‌توان کارآیی آسیا را با استفاده از رابطه ۳-۵ تعیین کرد. این امر به ویژه هنگام انتخاب تجهیزات جدید برای راه‌اندازی و یا توسعه مدارهای فرآوری بسیار حایز اهمیت است.

$$E = \frac{Wi}{W_{oi}} \times 100 \qquad (۵-۳)$$

هنگامی که از عبارت «بازدهی خردایش» در مورد یک دستگاه خردایش خاص استفاده می شود، منظور نسبت مقدار انرژی استفاده شده برای خردایش ذرات به مقدار انرژی داده شده به دستگاه است. معمولا سنگ‌شکن‌های صنعتی بازدهی مکانیکی خردایش ۷۵ درصد دارند. بنابراین در فرآیندهای سنگ‌شکنی معمولا بازدهی خردایش بالاست. در آسیاهای گلوله‌ای بازدهی خردایش بسیار پایین است (حدود ۱ تا ۵ درصد) و بیشتر انرژی داده شده به دستگاه به شکل‌های دیگر مانند گرما و صدا تلف می‌شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۴

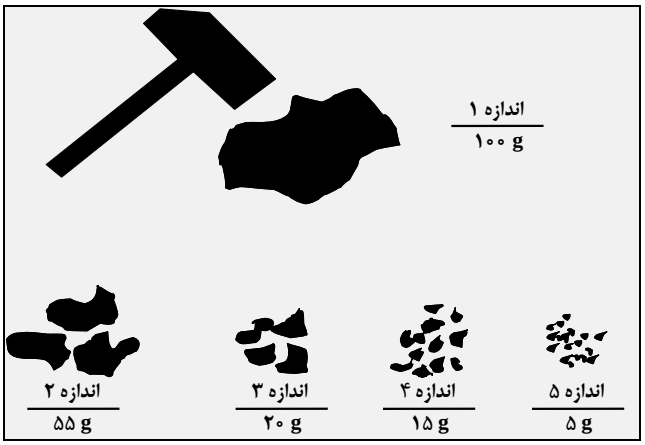
دستورالعمل تعیین تابع توزیع شکست

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۴-۱- آشنایی

تابع توزیع شکست که معمولا به اختصار تابع شکست[1] نیز نامیده می‌شود، بیانگر توزیع دانه‌بندی ذرات تولیدی در اثر تنها یک ضربه وارد شده به یک تک‌ذره است. در آسیاها عملا ذرات خیلی زیادی به طور هم‌زمان تحت خردایش قرار می‌گیرند، تابع توزیع شکست تجمعی[2] که با $B_{i,j}$ نشان داده می‌شود، به صورت کسر مواد ریزتر از i وقتی که از اندازه j خرد می‌شود، تعریف می‌شود. در خردایش، i و j معرف طبقات سرندی ا ست و بنابراین بازه‌ای ازاندازه ذرات به جای اندازه یک ذره خاص در نظر گرفته می‌شود. در مقابل تابع شکست تجمعی، $B_{i,j}$، تابع شکست غیرتجمعی، $b_{i,j}$، تعریف می‌شود که عبارت است از نسبتی از مواد که پس از خرد شدن، از ابعاد j به اندازه i می‌رسند و روی سرند با اندازه i باقی می‌مانند. در شکل ۴-۱، نمونه‌ای از توزیع اندازه ذرات تولید شده در اثر یک ضربه به سنگ اولیه همراه با درصد جرمی آن‌ها در اندازه‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، در اثر یک ضربه به ذره‌ای با اندازه ۱، چهار دامنه ابعادی با درصد جرمی‌های مختلف تولید می‌شود.



شکل ۴-۱-توزیع دانه‌بندی حاصل از شکست تک ذره در اثر فقط یک ضربه

به منظور تعیین مقادیر تابع شکست غیرتجمعی از رابطه ۴-۱ استفاده می‌شود.

$$b_{ij} = B_{i-1\,j} - B_{ij} \qquad (۱-۴)$$

که در آن:

$b_{i,j}$ تابع شکست غیرتجمعی

$B_{i,j}$ تابع توزیع شکست تجمعی

اطلاعات مربوط به تابع شکست تجمعی و غیرتجمعی اندازه‌های مختلف تولید شده از این ضربه نیز در زیر آورده شده است.

$$b_{21} = \frac{55}{100} \qquad b_{31} = \frac{20}{100} \qquad b_{41} = \frac{15}{100}$$

$$B_{21} = \frac{45}{100} \qquad B_{31} = \frac{25}{100} \qquad B_{41} = \frac{10}{100}$$

1- Breakage function
2- Cumulative breakage distribution function

omoorepeyman.ir

روش‌های مختلفی برای تعیین تابع توزیع شکست کانسنگ ارایه شده است که متداول‌ترین آن‌ها هربست و فیورستنا[1] و بروبه[2] است.

۴-۲- اهداف

هدف از آزمایش تعیین تابع توزیع شکست یک کانسنگ، استفاده از آن در شبیه‌سازی و مدلسازی مدارهای آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای است. تابع شکست درروش‌های شبیه‌سازی محاسباتی برای مدلسازی مدارهای آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای بسیار کاربرد دارد. این تابع همراه با تابع انتخاب وتابع توزیع زمان‌ماند، پارامترهای اساسی درمدلسازی نحوه عملکرد آسیاها به شمارمی‌روند.

هدف از تعیین تابع توزیع شکست را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

- شبیه‌سازی مدارهای آسیا به ویژه آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای
- مدلسازی مکانیزم خردایش ذره در داخل آسیا و تعیین مکانیزم‌های غالب خردکننده
- شبیه‌سازی رفتار حرکت بار در داخل آسیا
- بررسی عملکرد آسیاها و بهبود پارامترهای عملیاتی آن در صورت وجود نواقص مکانیکی در خردایش ذرات

۴-۳- آماده‌سازی نمونه

برای انجام آزمایش تعیین تابع شکست، نیاز به نمونه‌های معرف تک اندازه با اندازه اولیه متفاوت است که توزیع اندازه آن‌ها به دقت تعیین شده باشد. هر یک از نمونه‌های تک اندازه، مواد باقی‌مانده روی یک سرند مشخص در سری سرندها است که در تعیین توزیع دانه‌بندی بار ورودی آسیا استفاده می‌شوند.

برای آماده‌سازی نمونه‌ها، حداقل ۲ کیلوگرم ماده معدنی اولیه در سنگ‌شکن آزمایشگاهی تا رسیدن به ابعاد مناسب برای ورود به آسیای گلوله‌ای خرد می‌شود. به منظور تهیه نمونه مناسب، باید خردایش در چند مرحله انجام گیرد و هر بار با استفاده از سرندهای موجود، بخش کوچکتر از اندازه مد نظر از بقیه مواد جدا شود. این مرحله تا زمانی که کلیه مواد از سرند مورد نظر عبور کنند ادامه می‌یابد.

۴-۴- تجهیزات مورد نیاز

آزمایش تعیین تابع شکست در یک آسیای گلوله‌ای با قطر حداقل ۲۵ سانتی‌متر، با سرعتی برابر ۷۰ درصد سرعت بحرانی انجام می‌شود. علاوه بر این، توزیع بار خردکننده باید به گونه‌ای باشد که حجم گلوله‌ها ۳۵ تا ۴۰ درصد حجم آسیا را اشغال کند. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، سنگ‌شکن و سرند آزمایشگاهی مورد نیاز است.

1- Herbst and fuerstenau (H and F)
2- Bérubé

omoorepeyman.ir

۴-۵- روش انجام آزمایش

آزمایش تعیین تابع شکست، شامل خردایش و تعیین دانه‌بندی مرحله به مرحله هر یک از نمونه‌های هم اندازه است. خردایش مواد تا زمانی ادامه می‌یابد که نصف جرم اولیه، خرد شده و به سرندهای زیرین منتقل شود. به عبارت دیگر تا جایی که فقط بین ۴۰ تا ۶۰ درصد مواد اولیه باقی بماند. در نهایت نیز با استفاده از رگرسیون خطی نتایج، $B_{i,j}$ محاسبه می‌شود.

با انتخاب درست اندازه گلوله نسبت به ذراتی که قرار است خرد شوند، فرض بر این است که توزیع اندازه ذرات حاصل از شکست در آسیای آزمایشگاهی، مشابه توزیع آن‌ها در آسیای صنعتی باشد. به همین دلیل تابع شکست، مستقل از محیط خردایش فرض شده و فقط تابعی از نوع سنگ است.

برای انجام آزمایش باید ۱۰۰ درصد مواد در یک دامنه ابعادی (روی یک سرند) باشند. این امر به دلیل کامل نبودن فرآیند جدایش در سرندها و همچنین خرد شدن آن‌ها در حین حرکت سرند عملی نیست. در عمل مقدار ۹۶ تا ۹۸ درصد بخش باقی‌مانده روی سرند، ایده‌آل فرض می‌شود. چون در عمل نمی‌توان از شکست ثانویه ذرات مطمئن بود، به همین دلیل دانه‌بندی ذرات قبل از خردایش مشخص شده و موادی که روی یک سرند قرار دارند، در زمان‌های کوتاه خرد شده و در بین دو مرحله خردایش، دانه‌بندی ذرات تعیین می‌شود. مراحل انجام آزمایش به صورت زیر خواهد بود:

– قبل از خردایش مرحله اول، توزیع دانه‌بندی مواد اولیه تعیین می‌شود.

– نمونه مورد آزمایش حداقل به مدت پنج ثانیه در آسیای آزمایشگاهی خرد می‌شود و مدت زمان آسیا کردن (t) یادداشت می‌شود.

– با استفاده از تجزیه سرندی، توزیع دانه‌بندی محصول آسیا تعیین شده و جرم باقی‌مانده روی سرند اول (m_0) توزین می‌شود.

– تابع انتخاب[1] کانسنگ (S) را در همان طبقه سرندی با استفاده از رابطه ۴-۲ محاسبه می‌کنند.

$$m_i = m_0 e^{-St} \qquad (۴-۲)$$

که در آن:

m_i جرم ماده مد نظر باقی مانده پس از عملیات خردایش روی سرند

m_0 جرم اولیه

S تابع انتخاب مربوط به کانسنگ تحت آزمایش

t مدت زمان آسیا کردن

– با استفاده از نتایج به دست آمده برای تابع انتخاب، مدت زمان کل خردایش برای برقراری شرط باقی ماندن نصف جرم اولیه روی همان طبقه سرندی، محاسبه می‌شود. در واقع t باید به گونه‌ای انتخاب شود که m_i، تقریبا نصف m_0 باشد.

– کل مدت زمان محاسبه شده برای t به ۳ یا ۴ بخش تقسیم شده و نمونه در هر یک از این بازه‌های زمانی خرد می‌شود. پس از هر مرحله خردایش دانه‌بندی محصول آسیا، تعیین می‌شود.

– توزیع دانه‌بندی محصول هر مرحله خردایش و مدت زمان آسیا، در پایان هر مرحله باید یادداشت شود. در پایان نیز داده‌های حاصل از آزمایش به روش محاسباتی یا با استفاده از نرم‌افزارهای موجود تابع شکست کانسنگ تعیین می‌شود.

1- Selection function

omoorepeyman.ir

۴-۶- محاسبات

برای تعیین تابع شکست روش‌های مختلفی ارایه شده است که در اینجا نحوه تحلیل نتایج به دست آمده از آزمایش و تعیین تابع شکست به دو روش بروبه و هربست و فیورستنا توضیح داده می‌شود.

۴-۶-۱- روش بروبه

روش بروبه رگرسیون غیرخطی بر اساس یک تابع درجه دوم از وزن تجمعی مواد باقی‌مانده روی یک طبقه سرندی نسبت به زمان خردایش است (رابطه ۴-۳).

$$\ln(wi\ ) = b_0(i) + b_1(i)t + b_2(i)t^2 \qquad (۳-۴)$$

که در آن:

wi درصد مواد درشت‌تر از سرند

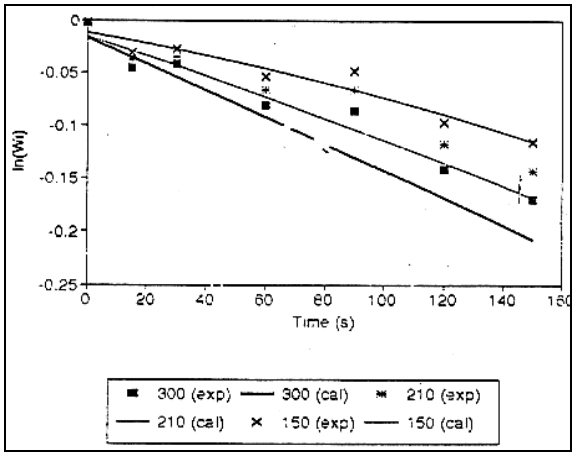
b_0، b_1 و b_2 پارامترهای رگرسیون

t زمان آسیا

در واقع روش بروبه، بر اساس تخمین رخدادی است که در لحظه صفر اتفاق می‌افتد. پارامترهای رگرسیون برای سرندهای مختلف تعیین می‌شود و در نهایت تغییرات اندازه ذرات در دامنه‌های ابعادی مشخص در طول خردایش مطابق شکل ۴-۲ خواهد بود که در آن، نقاط مربوط به نتایج آزمایش برای سه چشمه سرند ۳۰۰، ۲۱۰ و ۱۵۰ مش است. محاسبات برای سرند اول و دوم به صورت زیر است:

سرند اول $\ln(w_1)_t = b_0(1) + b_1(1)t + b_2(1)t^2$

سرند دوم $\ln(w_2)_t = b_0(2) + b_1(2)t + b_2(2)t^2$



شکل ۴-۲-تغییرات کسر مواد درشت‌تر از چشمه سرند در طی زمان خردایش

تابع شکست تحت آزمایش از رابطه ۴-۴ محاسبه می‌شود.

omoorepeyman.ir

$$B_{i1} = \frac{b_1(i)}{b_1(1)} \qquad (۴-۴)$$

۴-۶-۲- روش هربست و فیورستنا

در این روش، تولید نرمه مرتبه صفر باید مشخص باشد، در این صورت تابع شکست تجمعی هر طبقه با تقسیم ثابت آهنگ تولید نرمه هر طبقه اندازه بر تابع انتخاب اندازه اولیه (اصلی) به دست می‌آید. ثابت آهنگ مرتبه صفر یک طبقه سرندی مشخص به وسیله رگرسیون خطی نتایج به دست آمده برای مقدار مواد تولیدی ریزتر از آن طبقه بر حسب زمان تعیین می‌شود. در واقع در این روش فرض می‌شود که تولید ذرات ریز از سینتیک مرتبه صفر نسبت به اندازه اولیه پیروی می‌کند (رابطه ۴-۵).

$$\frac{dY\ (x,t)}{d_t} = F\ (x) \qquad (۵-۴)$$

که در آن:

Y(x)مقدار تجمعی ذرات کوچکتر از x در زمان t

F(x) ثابت آهنگ تولید ذرات کوچکتر از x

رابطه ۴-۵ را می‌توان برای یک اندازه سرندی مشخص به صورت رابطه ۴-۶ بازنویسی کرد:

$$\frac{dY_i(t)}{dt} = F_i \qquad (۶-۴)$$

با توجه به مفهوم تابع انتخاب می‌توان روابط ۴-۷ و ۴-۸ را نوشت:

$$\frac{dY_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{i-1} B_{ij} S_j M_j(t) \qquad (۷-۴)$$

$$\frac{dM_i}{dt} = -S_i M_i \text{ و } \frac{dY_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{i-1} F_i M_j(t) \qquad \left[F_i = B_{ij} S_j\right] \qquad (۸-۴)$$

اگر زمان خردایش خیلی کوتاه باشد و i نیز اندازه سرندهای کوچک باشد، در نتیجه رابطه ۴-۹ به دست می‌آید:

$$F_i = B_{ij} S_j \Rightarrow B_{ij} = \frac{F_i}{S_j} \qquad (۹-۴)$$

با داشتن Fi و Sj و با استفاده از رابطه ۴-۹ می‌توان Bij را محاسبه کرد.

تابع شکست برای یک طبقه سرندی، به صورت ماتریسی ستونی بیان می‌شود و بدون واحد است. پس از محاسبه کامل تابع شکست، این پارامتر یک ماتریس پایین مثلثی خواهد بود، با جمله‌هایی که بخش عبوری از یک طبقه سرندی با اندازه معین i در همان سطر را توصیف می‌کنند (رابطه ۴-۱۰).

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_{2,1} & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_{3,1} & b_{3,2} & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n-1,1} & b_{n-1,2} & b_{n-1,3} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \qquad (۱۰-۴)$$

omoorepeyman.ir

تابع توزیع شکست یکی از پارامترهای اصلی در مدلسازی و شبیه‌سازی مدارهای خردایش است. از سوی دیگر، فرآیند شبیه‌سازی و مدلسازی نیز برای دستیابی به یک دید کلی و جامع از ماده معدنی به منظور طراحی مدارهای جدید و یا بهینه‌سازی مدارهای خردایش موجود، لازم و ضروری است. برای استفاده از این پارامتر در نرم‌افزارهای شبیه‌سازی از قبیل KsimMet، MODSIM و UsinPac لازم است تا تابع شکست برای اندازه‌های اولیه مختلف کانسنگ تعیین شده باشد. در صورتی که تابع شکست نرمال شونده باشد، با به دست آوردن تابع توزیع شکست تنها برای طبقه سرندی اول، می‌توان مقادیر این پارامتر را برای سایر طبقات سرندی نیز به دست آورد. در غیر این صورت، باید تابع شکست، جداگانه برای هر طبقه سرندی محاسبه شود. مفهوم تابع شکست در ارتباط با تمامی مدل‌های خردایش است و بسته به فرآیند مورد نظر تغییر می‌کند. برای مثال در فرآیند سنگ‌شکنی بر اساس نوع مکانیزم خردایش، ممکن است توابع شکست متفاوتی برای یک ماده مشخص ایجاد شود. از این رو، در فرآیند مدلسازی ریاضی خردایش با سنگ‌شکن، انواع مکانیزم‌های خردایش از جمله سایش، ضربه و نظایر آن‌ها پیش‌بینی و گنجانده می‌شود.

تابع شکست اندازه‌گیری شده تنها برای شبیه‌سازی آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای کاربرد دارد و استفاده از این داده‌ها برای شبیه‌سازی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن به دلیل درشتی بیش از حد بار ورودی در این نوع آسیاها مجاز نیست. محدودیت دیگر این آزمایش، پیچیدگی محاسبات نتایج به دست آمده از آن است که نیازمند روش‌های محاسباتی پیچیده و نرم‌افزاهای قدرتمندی مانند صفحه گسترده یا برنامه‌های تخصصی نوشته شده در این زمینه برای تعیین تابع شکست است.

omoorepeyman.ir

فصل ۵

دستورالعمل تعیین شاخص سایندگی کانسنگ

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۵-۱- آشنایی

در محیط آسیا فرآیند خردایش معمولا به صورت تر انجام می‌شود و به دلیل برخورد ذرات با با بدنه آسیا و گلوله‌ها از یک سو و برخورد گلوله‌ها به بدنه آسیا و به هم از سوی دیگر، پدیده سایش فلز هم از سطح آستر آسیا و هم از سطح گلوله‌ها رخ می‌دهد. سایش سطوح فلزی موجود در داخل آسیا به تدریج منجر به تغییرات شیمیایی و الکتروشیمیایی محیط آن می‌شود که این امر به نوبه خود، سایش و در نتیجه مساله خوردگی فلز را افزایش می‌دهد. در مرحله آسیا، بیشترین هزینه پس از مصرف انرژی، به خوردگی فلزات در تماس با ماده معدنی اختصاص می‌یابد. به همین دلیل، در این آزمایش به بررسی میزان ساینگی یک کانسنگ در تماس با موادی مانند گلوله فولادی پرداخته می‌شود.

شاخص سایش کانسنگ برای پیش‌بینی آهنگ فرسایش سطوح فولادی در سنگ‌شکن‌های ژیراتوری، فکی ومخروطی، آستر و واسطه‌های خردایش فولادی در آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای در فرآیندهای تر و خشک و آستر سنگ‌شکن‌های غلتکی به کار می‌رود. این شاخص، با اندازه‌گیری کاهش وزن یک تیغه فولادی استاندارد در تماس با ماده تحت آزمایش در شرایط استاندارد، تعیین می‌شود.

۵-۲-اهداف

هدف از این آزمایش، تعیین میزان قابلیت و قدرت یک ماده معدنی در سایش سطوح فلزی مانند گلوله‌های موجود در محیط آسیا است. با تعیین این پارامتر می‌توان به اهداف زیر دست یافت:

- بررسی شرایط شیمیایی محیط داخل آسیا و کنترل پارامترهایی مانند Eh و pH آن به منظور کاهش میزان خوردگی و سایش گلوله و آستر
- بهبود فرآیند آسیا از نظر مسایل فنی و اقتصادی با کاهش میزان مصرف گلوله
- انتخاب آستر و گلوله متناسب با خصوصیات ساینگی ماده معدنی تحت فرآوری

۵-۳- آماده‌سازی نمونه

برای انجام آزمایش تعیین شاخص ساینگی کانسنگ حدود ۱۶۰۰ گرم ماده معدنی خشک لازم است. برای تهیه این مقدار نمونه، بار ورودی آزمایش ساینگی باید ابتدا به طور کامل خشک شده و دانه‌بندی شود. بدین منظور، با استفاده از سرندهای آزمایشگاهی، دامنه ابعادی نمونه تحت آزمایش، به یک طبقه سرندی بین ۱۳/۵+۱۹- میلی‌متر محدود می‌شود. علاوه بر این، یک تیغه فولادی استاندارد با ابعاد ۶×۲۵×۷۵ میلی‌متر از جنس آلیاژ فولاد کروم-نیکل مولیبدن‌دار با سختی ۵۰۰ برینل مورد نیاز است. در سطح میله مورد نظر نباید هیچگونه ساییدگی وجود داشته باشد.

۵-۴- تجهیزات مورد نیاز

آسیای مورد استفاده در این آزمایش، آسیای استاندارد ساینگی باند به قطر ۳۰۰ و طول ۱۲/۵ میلی‌متر است که حول محور افقی خود با سرعت ۷۰ دور در دقیقه گردش می‌کند. جدار داخلی آسیا آستر موجی شکل دارد تا حرکت بالارونده بار در داخل آسیا را

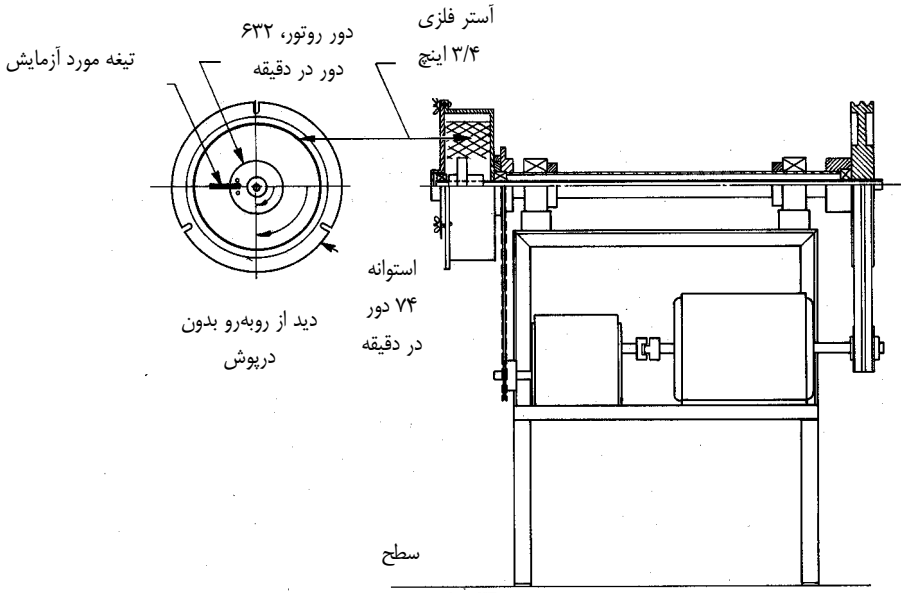
omoorepeyman.ir

تسهیل کند. یکی از دو طرف انتهایی آسیا برای وارد کردن بار و یا تخلیه آن قابل جدا شدن است. در امتداد محور استوانه، روتوری به قطر ۱۱۲/۵ میلی‌متر قرار گرفته است که با سرعت ۶۳۲ دور در دقیقه همسو با جهت گردش استوانه دوران می‌کند. بر روی این روتور، شیاری به عمق ۲۵ میلی‌متر پیش‌بینی شده است تا تیغه فولادی استاندارد در این بخش نصب شود. به این ترتیب شعاع دوران انتهای آزاد پره ۱۰۶/۲۵ میلی‌متر و سرعت محیطی آن ۰/۷۲ متر در ثانیه خواهد بود. شکل ۵-۱ نمای داخلی آسیای آزمایشگاهی و محل قرار گرفتن قطعه فولادی را نشان می‌دهد.

شکل ۵-۱- آسیای مورد استفاده در آزمایش تعیین ساینده‌گی کانسنگ

شرایط و مراحل انجام آزمایش باید کاملا بر اساس مطالب یاد شده باشد که باید به دقت رعایت شود. تیغه‌های مورد استفاده بر حسب نیاز ممکن است از آلیاژهای مختلفی باشد. شکل ۵-۲ نمای عمومی دستگاه را نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل ۵-۲- نمای عمومی دستگاه آزمایش تعیین ساینگی کانسنگ

۵-۵- روش انجام آزمایش

برای تعیین ساینگی یک کانسنگ آزمایش بر اساس مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- ابتدا چهارنمونه ۴۰۰ گرمی از ماده‌ای که قبلا آماده شده است،تهیه شود.
- یک تیغه فولادی با ابعادی که قبلا اشاره شد انتخاب شده و پس از تمیز و خشک کردن، با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شود. وزن اولیه تیغه به عنوان m_b یادداشت شود.
- تیغه در داخل روتور نصب و محکم شود. در صورت استفاده مجدد ازتیغه، طرف ساییده نشده آن باید طوری قرار بگیرد که هنگام عبور از میان بستر ذرات جامد، به ذرات درون آسیا ضربه وارد کند.
- یکی ازنمونه‌های ۴۰۰ گرمی در داخل آسیای آزمایشگاهی مورد استفاده ریخته و درپوش آسیا بسته شود.
- زمان‌سنج خودکار برای توقف آسیا پس از ۱۵ دقیقه گردش تنظیم شود.
- مجددا به مدت ۱۵ دقیقه آسیا به گردش درآید و پس از آن به وسیله زمان‌سنج خودکار مواد داخل آن تخلیه شود.
- این مراحل برای سه نمونه دیگر تکرار شود.
- محصول هر بخش از آزمایش باید به طور جداگانه ذخیره شود.
- تیغه فولادی از داخل آسیا بیرون آورده شده و با الکل یا استون تمیز شود. پس از خشک کردن کامل تیغه، وزن آن با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مجددا توزین و وزن جدید آن به عنوان m_a یادداشت شود.
- مواد تخلیه شده از کل مواد چهار مرحله آزمایش ساینگی مخلوط و توزیع دانه‌بندی آن‌ها تعیین شود.
- اختلاف وزن تیغه در هر دو حالت محاسبه شده و به عنوان شاخص ساینگی (A_i) استفاده شود.

omoorepeyman.ir

۵-۶- محاسبات

پس از انجام مراحل مختلف آزمایش و تعیین جرم فلز ساییده شده ازسطح تیغه در اثر چهار مرحله آسیای نمونه‌ها، شاخص ساینده‌گی از اختلاف بین جرمفعلی(m_b) و جرم فعلی (m_a) تیغه فولادی به صورت رابطه ۵-۱ محاسبه می‌شود.

$$A_i = m_b - m_a \qquad (۱-۵)$$

از آنجا که ساینده‌گی بخش‌های فولادی هزینه زیادی در کارخانه کانه‌آرایی به خود اختصاص می‌دهد، آگاهی از وضعیت ساینده‌گی کانسنگ در بررسی‌های فنی اقتصادی بسیار حایز اهمیت است. با توجه به مقدار به دست آمده برای شاخص ساینده‌گی، کانسنگ‌های مختلف از نوع غیرساینده تا خیلی ساینده تقسیم‌بندی می‌شوند. در جدول ۵-۱، طبقه‌بندی مواد بر مبنای میزان ساینده‌گی آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۵-۱-طبقه‌بندی مواد بر مبنای ساینده‌گی

ساینده‌گی نسبی	شاخص ساینده‌گی
غیرساینده	<۰/۱
ساینده‌گی جزیی	۰/۱ تا ۰/۴
ساینده	۰/۴ تا ۰/۸
خیلی ساینده	>۰/۸

omoorepeyman.ir

فصل ۶

دستورالعمل تعیین شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۶-۱- آشنایی

آزمایش تعیین شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن[1] در سال ۱۹۹۱ به منظور رفع بعضی ابهامات درباره عملکرد این نوع آسیاها توسعه یافت. از آنجا که انجام آزمایش بهترین راه از نظر زمان و هزینه برای درک شرایط حاکم بر محیط آسیای نیمه‌خودشکن در مقیاس کوچک بود، بنابراین تلاش برای ایجاد تجهیزات آزمایشگاهی مناسبی که معرف دستگاه‌های موجود در مدارهای صنعتی باشند، توسعه یافت.

در راستای توسعه این آزمایش، چهار آسیای آزمایشگاهی ساخته شده است. نخستین نمونه، قطعه‌ای از یک لوله با قطر ۳۰۴٫۸ میلی‌متر (۱۲ اینچ) بود که بر روی غلتک‌هایی می‌چرخید. دومین آسیا در معدن سنگ آهن گل گهر ایران برای بررسی مشکل جدی تغییر سختی یک نمونه بسیار نرم ۵۰ تنی ساخته شد که به منظور بررسی عملکرد آسیای نیمه‌خودشکن در خردایش کانسنگ‌های استخراجی، به کار گرفته شد. سومین آسیای آزمایشگاهی توسط مینووکس[2] ساخته شد و یک مدل استاندارد صنعتی بود که مجهز به دریچه‌ای است که با سرعت رها می‌شود، پایه گردان برای تخلیه آسان و زمان‌سنج خودکار متصل به موتور نیز از دیگر متعلقات این آسیا است. نمونه‌ای از این آسیا نیز در یک کارخانه تولید مس در شیلی در آوریل ۱۹۹۷ به کار گرفته شد.

۶-۲- اهداف

هدف از انجام آزمایش «شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن»، تعیین مدت زمانی است که نمونه‌ای با d_{80} بالای ۱۲٫۷ میلی‌متر، خرد شده و به ابعادی برسد که ۸۰ درصد آن ریزتر از اندازه اولیه باشد. تفاوت بین نتایج به دست آمده از انجام آزمایش برای کانسنگ‌های مختلف ناشی از سختی کانسنگ است. مدت زمان صرف شده برای خردایش، با توان مورد نیاز آسیا ارتباط مستقیم دارد. بنابراین از نتایج آزمایش می‌توان برای تحلیل میزان توان مصرفی آسیا استفاده کرد.

اهداف زیر در اجرای این آزمایش مد نظر است:

- بررسی نحوه عملکرد آسیاهای نیمه‌خودشکن در خردایش کانی‌های مختلف با درجات سختی متفاوت
- پیش‌بینی میزان توان مصرفی برای ذرات مختلف و تعیین پارامترهای موثر در این امر
- بهبود عملیات آسیا از نظر فرآیندی و اقتصادی
- بهینه‌سازی مصرف انرژی در مدارهای خردایش به واسطه تطابق شرایط عملیاتی با خصوصیات کانسنگ

۶-۳- آماده‌سازی نمونه

برای انجام این آزمایش، ۲ کیلوگرم ماده معدنی با اندازه حداکثر ۱۹ میلی‌متر مورد نیاز است. در هر سری آزمایش ۲ کیلوگرم از نمونه کانسنگ استفاده می‌شود. بهترین ابعاد بار ورودی، اندازه‌ای است که ۸۰ درصد دانه‌ها در آن ریزتر از ۱۲٫۷ میلی‌متر باشند. اغلب نمونه‌های موجود، قابلیت خردایش و رسیدن به این اندازه را دارند. این عامل بسیار مهم است زیرا نمونه‌ها باید معرف مناسبی از شرایط واقعی با تمام خصوصیات موجود در یک کانسنگ باشند.

1- Semi-autogenous power index (SPI)
2- Minnovex

omoorepeyman.ir

در مرحله آماده‌سازی، نمونه‌ها تحت عملیات خردایش با سنگ‌شکن قرار می‌گیرند. در واقع بار ورودی مورد آزمایش با سنگ‌شکنی فکی به زیر ۱۹ میلی‌متر رسانده می‌شود به طوری که d_{80} خروجی ۱۲٫۷ میلی‌متر باشد.

۶-۴- تجهیزات مورد نیاز

دستگاه به کار گرفته شده در آزمایش تعیین شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن، آسیایی استاندارد با اندازه‌های مشخص است (شکل ۶-۱). برای انجام این آزمایش، روش آسیای مرحله‌ای انتخاب شده و تمامی کانسنگ و بار خردکننده آسیا بعد از هر دوره آسیا، مجددا به داخل آن منتقل می‌شود.

شکل ۶-۱- آسیای آزمایشگاهی مورد استفاده در تعیین شاخص توان نیمه‌خودشکن

آزمایش مرحله‌ای تعیین شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن در یک آسیای آزمایشگاهی با قطر ۳۰۴٫۸ میلی‌متر (۱۲ اینچ) و طول ۱۰۱٫۶ میلی‌متر (۴ اینچ) انجام می‌شود. میزان انباشتگی این آسیا، ۱۵ درصد است که با گلوله‌هایی به قطر ۲۵٫۴ میلی‌متر پر می‌شود. ابعاد آسیای یاد شده به گونه‌ای طراحی شده است که قطری همانند قطر آسیای باند داشته و نسبت قطر به طول آن معادل ۳ به یک باشد. آسیا با سرعتی معادل ۷۰ درصد سرعت بحرانی حرکت می‌کند، ۱۵ درصد حجم آن به وسیله کانسنگ و ۱۵ درصد دیگر با گلوله‌های فولادی به وزن تقریبی ۵ کیلوگرم پر شده است.

۶-۵- روش انجام آزمایش

اجرای مراحل زیر برای انجام آزمایش تعیین توان آسیای نیمه‌خودشکن ضروری است:

omoorepeyman.ir

– دو کیلوگرم نمونه با d_{80} برابر ۱۲٫۵ میلی‌متر انتخاب و با حدود ۵ کیلوگرم بار خردکننده (گلوله فولادی با ابعاد ۲۵٫۴ میلی‌متر) به داخل آسیا منتقل شود. برای این کار، ۴۰۰ گرم از مواد روی سرند ۱۲٫۷ میلی‌متر و ۱۶۰۰ گرم از زیر سرند برداشته شود. مخلوط این دو به داخل آسیا ریخته شده و اولین مرحله خردایش انجام شود.

– پس از گذاشتن درپوش آسیا، سیستم توقف خودکار آسیا برای چند ثانیه تنظیم شده و دستگاه روشن شود.

– مواد به مدت چند ثانیه در آسیا خرد می‌شود. مدت زمان چرخش آسیا باید ثبت شود.

– محصول خرد شده از داخل آسیا خارج و توزیع دانه‌بندی آن تعیین شود.

– d_{80} محصول آسیا پس از تجزیه سرندی و تعیین توزیع دانه‌بندی، مشخص شود.

– در صورت عدم دستیابی به d_{80} مورد نظر، مجددا کل مواد به داخل آسیا منتقل و عملیات خردایش تکرار شود.

– خردایش و تعیین توزیع دانه‌بندی مواد باید تا زمانی که d_{80} محصول معادل ۱٫۷ میلی‌متر شود، ادامه یابد و هر بار مدت زمان آسیا ثبت شود. زیرا هدف آزمایش، رسیدن به حالتی است که ۲۰ درصد (۴۰۰ گرم) روی سرند ۱٫۷ میلی‌متر باقی بماند. بدین منظور، مواد بعد از هر مرحله خردایش، دانه‌بندی شده و در صورت بیشتر بودن مقدار مواد روی سرند ۱٫۷ میلی‌متر، خردایش با همان مواد ادامه یابد.

– مدت زمان کل برای دستیابی به این هدف از حاصل جمع زمان آسیا در دوره‌های مختلف محاسبه شود که این مقدار بیانگر شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن است.

۶-۶- محاسبات

به منظور تبدیل مدت زمان لازم برای دستیابی به d_{80} معادل ۱٫۷ میلی‌متر به شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن، از رابطه تجربی ۶-۱ استفاده می‌شود.

$$W_{SAG} = (2.2 + 0.1t)(P_{80})^{-0.33} \qquad (۱-۶)$$

که در آن:

W_{SAG} توان آسیای نیمه‌خودشکن (کیلووات–ساعت بر تن)

t مدت زمان لازم برای خردایش ذرات تا رسیدن به اندازه زیر ۱٫۷ میلی‌متر (دقیقه)

P_{80} اندازه‌ای که ۸۰ درصد محصول آسیا از آن کوچکتر است (d_{80} محصول).

در رابطه ۶-۱، تاثیر پارامترهایی مانند تناژ بار ورودی به آسیا، حجم بار خردکننده، توزیع اندازه ذرات بار ورودی و بار در گردش بخش سنگ‌شکنی، در مرحله آماده‌سازی نمونه‌ها موثر است.

شاخص توان آسیای نیمه‌خودشکن به منظور تعیین سختی توده کانسنگ برای انجام عملیات مختلف به کار می‌رود. مقادیر این شاخص برای پیش‌بینی توان عملیاتی آسیاهای خودشکن یا نیمه خودشکن و تعیین توان مورد نیاز برای این آسیاها استفاده می‌شود. هر چه مقاومت کانسنگ در برابر خردایش بیشتر باشد، مدت زمان آسیا برای رسیدن به اندازه مورد نظر محصول نیز طولانی‌تر خواهد بود. نتایج آزمایش که به صورت پارامتری از زمان برحسب دقیقه یا ساعت ارایه می‌شود، بر حسب کیلووات–ساعت بر تن تبدیل شده

omoorepeyman.ir

و برای پیش‌بینی توان مصرفی در آسیا و دانه‌بندی محصول محاسبات لازم، در نرم‌افزارهای موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. از مزایای این آزمایش عدم نیاز به مقدار زیادی نمونه است.

نتیجه حاصل از این آزمایش، شاخصی از واکنش شکست کانسنگ به شرایط سایشی در آسیای نیمه‌خودشکن است. نتیجه به دو صورت، یکی بر حسب دقیقه و دیگری بر حسب کیلووات–ساعت بر تن بیان می‌شود. در هر دو صورت، هر چه عدد گزارش شده بیشتر باشد، مقاومت کانسنگ نیز در برابر خردایش بیشتر است.

omoorepeyman.ir

فصل ۷

دستورالعمل تعیین قابلیت کانسنگ به عنوان بار خردکننده

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۷-۱- آشنایی

در آسیاهای خودشکن معمولا برای خردایش موادی که آلودگی به آهن و سایر فلزات در آن‌ها بسیار مهم است، از خود ماده معدنی به عنوان بار خردکننده استفاده می‌شود، این مواد را بار خردکننده می‌نامند. از آنجا که میزان سختی و مقاوت ماده واسطه به عنوان مهم‌ترین پارامتر در انتخاب آن به عنوان بار خردکننده بسیار مهم است، بنابراین در این آزمایش، قابلیت کانسنگ به منظور استفاده به عنوان واسطه خردایش مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج آزمایش برای طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن استفاده می‌شود.

درسال‌های اخیر، آزمایش‌های متنوعی برای شناخت قابلیت بار خردکننده ارایه شده است. هدف اصلی تمامی این آزمایشات، تعیین پایداری و بقای واسطه خردایش درآسیای خودشکن است. یکی از این آزمایش‌ها توسط آلیس چالمرز[1] ارایه شد که از بین همه آزمایش‌ها، موفق‌ترین آزمایش پیشرفته قابلیت بار خردکننده[2] است.

از جمله محدودیت‌های این آزمایش آن است که این آزمایش برآورد غیر مستقیمی از توان مورد نیاز برای آسیا و عدم ارایه داده‌های مناسب برای شبیه‌سازی است. علاوه بر آن چون به صورت ناپیوسته انجام می‌شود، پیش‌بینی محدودی از شرایط بار داخل آسیا در حالت واقعی را ارایه می‌کند.

۷-۲-اهداف

در این آزمایش،قابلیت ماده معدنی برای استفاده از آن به عنوان بار خردکننده اندازه‌گیری می‌شود. ترکیب کمیت و کیفیت ماده معدنی برای تعیین نوع مدار آسیا و در نتیجه کاهش هزینه‌های مربوط به انجام آزمایش‌های نیمه‌صنعتیموثر است. با انجام این آزمایش می‌توان شرایط عملیاتی برای بارهای خردکننده مختلف را بهینه کرد. منظور تعیین اندازه‌ای از بار است که نه می‌تواند ماده معدنی را خرد کند و نه می‌تواند خرد شود. این حجم از واسطه در داخل آسیا جمع شده و باعث کاهش ظرفیت آسیا می‌شود.

به طور کلی هدف از اجرای این آزمایش به شرح زیر است:

- بررسی میزان سختی و مقاومت مواد مختلف برای تعیین بهترین نوع بار خردکننده
- تعیین ابعاد بحرانی
- کاهش هزینه‌های مربوط به آسیا با کاهش ابعاد بحرانی

۷-۳- آماده‌سازی نمونه

مواد مورد نیاز برای انجام این آزمایش، حدود ۷۵۰ کیلوگرم کانسنگ است که در هر مرحله، ۱۰ قطعه کانسنگ بزرگ در ۵ بخش ابعادی در محدوده ۱۰۴ تا ۱۶۵ میلی‌متر با وزن تقریبی ۴۰ کیلوگرم مصرف می‌شود. معمولا انواع مختلف سنگ معدنی که سهم هر یک از آن‌ها بیش از ۱۵ درصد است، به طور جداگانه مورد آزمایش قرار می‌گیرند. نمونه تحت آزمایش باید بین ۲۰۳ تا ۱۰۲ میلی‌متر

1- Allis-chalmers
2- Advanced media competency test (AMCT)

omoorepeyman.ir

باشد و برای هر نمونه ۴۵۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم ماده آماده شود. با توجه به مقدار ماده مورد نیاز برای هر مرتبه آزمایش، مقداری ماده معدنی با استفاده از سنگ‌شکن تا ابعاد ۱۰۴ تا ۱۶۵ میلی‌متر خرد می‌شود.

۷-۴- تجهیزات مورد نیاز

آزمایش پیشرفته قابلیت خردایش با استفاده از آسیایی به قطر ۱٫۸۳ و عرض ۰٫۳۱ متر انجام می‌شود که با سرعت ۲۶ دور در دقیقه (۸۳ درصد سرعت بحرانی) گردش می‌کند. علاوه بر این، پس از انجام این آزمایش، از دستگاه‌های آزمایش ضربه‌ای، آسیای استاندارد گلوله‌ای و میله‌ای باند نیز استفاده می‌شود. شکل ۷-۱ تصویر آسیای خودشکن را نشان می‌دهد. در شکل کاملا اختلاف عرض به قطر آسیا مشاهده می‌شود. در داخل آسیا ۵۰ قطعه سنگ از محدوده‌های ۱۵۲+۱۶۵-، ۱۴۰+، ۱۲۷+، ۱۱۴+ و ۱۰۲+ میلی‌متر هر یک ۱۰ قطعه قرار داده شده و ۵۰۰ دور چرخانده می‌شود و محصول دانه‌بندی شده و تعداد ذرات سالم در هر بخش تا اندازه بزرگتر از ۵۰ میلی‌متر تعیین می‌شود.

شکل ۷-۱- دستگاه تست استحکام کانسنگ معروف به آسیای یک فوت در شش فوت

omoorepeyman.ir

۷-۵- روش انجام آزمایش

برای انجام آزمایش تعیین قابلیت خردایش، اجرای مراحل زیر ضروری است:

- ده قطعه از کانسنگ که در ۵ بخش ابعادی در محدوده ۱۰۴ تا ۱۶۵ میلی‌متر به داخل آسیا منتقل شود.
- آسیا روشن شده و پس از ۵۰۰ دور گردش، متوقف شود. سپس قطعه سنگ‌های داخل آن تخلیه شود.
- مواد تخلیه شده از داخل آسیا، تجزیه سرندی شود.
- آزمایش ضربه‌ای انرژی پایین باند در ۵ بخش ابعادی بر روی قطعه سنگ‌های باقیمانده، انجام شود.
- سایر شاخص‌های باند (میله‌ای و گلوله‌ای) برای کانسنگ مورد نظر تعیین شود.

۷-۶- محاسبات

به طور کلی در این آزمایش، ارزیابی کیفی انجام می‌شود تا مقاومت کانسنگ و وضعیت مدار تعیین شود. در واقع در این آزمایش مقاومت ذرات درشت با کمترین میزان کانسنگ، مورد بررسی قرار می‌گیرد و اطلاعات مفیدی درباره مقاومت کانسنگ درشت، بدون نیاز به مقادیر زیادی از کانسنگ که برای آزمایشات نیمه‌صنعتی ارایه می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش و سایر آزمایش‌های مربوط به شاخص خردایش و ضربه باند، محدوده مقاومت کانسنگ تعیین شده و درباره قابلیت به کارگیری آن به عنوان بار خردکننده تصمیم‌گیری می‌شود. نمودار شاخص کار ضربه‌ای برحسب اندازه رسم می‌شود. آزمایش انرژی شکست، ارتباط بین انرژی مورد نیاز شکست اول و اندازه کانسنگ را ارایه می‌دهد. رابطه به دست آمده همراه با سایر شاخص‌های باند برای بررسی و تحلیل داده‌ها به کار می‌رود.از این آزمایش برای پیش‌بینی تشکیل مواد با ابعاد بحرانی در آسیاهای نیمه‌خودشکن استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۸

دستورالعمل تعیین مقاومت فشاری نامحصور (تک محوری)

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۸-۱- آشنایی

در آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری، نمونه‌های سنگ و یا خاک با استفاده از یک دستگاه استاندارد، در معرض نیروی فشاری قرار می‌گیرند. نیروی وارد شده به تدریج افزایش می‌یابد تا در نمونه شکست اتفاق بیفتد. این پارامتر، نشان دهنده مقاومت نمونه در راستای محور قطعه سنگ است.در این آزمایش، یک مغزه از نمونه به صورت طولی برش داده می‌شود و دو انتهای آن پس از مسطح شدن در قاب بارگذاری قرار می‌گیرد. در این فصل به بررسی قابلیت تحمل تنش‌های فشاری سنگ و خاک از طریق آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری پرداخته می‌شود.

۸-۲- مقاومت فشاری تک محوری سنگ

مقاومت فشاری تک محوری به همراه آزمایش‌های تعیین قابلیت خردایش به منظور شناسایی ماده معدنی و تعیین دقیق رفتار کانسنگ و نحوه عملکرد آن در محیطهای خردایش کاربرد دارد.مقاومت مغزه‌هایی که در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شود، معمولا بیانگر خصوصیات درجا (در محل[1]) کانسنگ نیست. مقاومت کانسنگ در شرایط واقعی به شدت تحت تاثیر وجود ترک‌ها، شکست‌ها و سایر عوامل موجود در ماده معدنی و نیز غیر همگن بودن ساختار آن است و مقادیر به دست آمده از انجام آزمایش تعیین مقاومت فشاری قادر به انعکاس دقیق خصوصیات کانسنگ نیست. از این رو، مقادیر آزمایشگاهی برای نمونه‌های سالم باید با در نظر گرفتن شرایط واقعی حاکم و اعمال ضرایب تعدیل مناسب در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

۸-۲-۱- اهداف

پارامتر مقاومت فشاری تک محوری کانسنگ در طراحی استفاده می‌شود. هدف از اجرای این آزمایش عبارت است از:

- تعیین مقاومت کانسنگ در شرایط اعمال تنش‌های فشاری
- تعیین بهترین مکانیزم خردایش (ضربه، سایش، فشار و نظایر آن‌ها)
- انتخاب صحیح دستگاه‌های خردایش بر اساس مکانیزم غالب خردکننده متناسب با نوع کانسنگ

۸-۲-۲- آماده‌سازی نمونه

نمونه باید از مغزه‌هایی تهیه شود که نمونه معرف معتبری از خصوصیات کانسنگ مورد نظر باشد. این عمل با مشاهده چشمی کانی‌های سازنده، شکل و ابعاد دانه‌ها، جداشدگی و ترک‌ها، خلل و فرج و یا با روش‌های دیگری از قبیل اندازه‌گیری سرعت فراصوت، امکان‌پذیر خواهد بود. برای آماده‌سازی بر حسب قطر مغزه، نسبت طول به قطر باید ۲ تا ۳ برابر باشد. میزان رطوبت نمونه در زمان آزمایش تاثیر مهمی بر تغییر شکل و نحوه شکست کانسنگ در لحظه گسیختگی دارد. بنابراین به منظور افزایش اعتبار نتایج آزمایش، بهتر است که آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌هایی انجام گیرد که نماینده شرایط میدانی هستند. از این رو، شرایط رطوبتی نمونهباید تا زمان اجرای آزمایش حفظ شود. در صورت نیاز به حفظ رطوبت نمونه در حین آزمایش و مجهز نبودن دستگاه به رطوبت‌سنج، باید نمونه با یک پوشش انعطاف‌پذیر درزگیری شده و یا از روکش کائوچویی، سیلیکونی یا پلاستیکی به منظور پوشش

1- In situ

omoorepeyman.ir

سطح خارجی نمونه و جلوگیری از تبخیر سطح آن استفاده شود.

۸-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز

الف- دستگاه بارگذاری

دستگاه بارگذاری با ظرفیت مناسب برای وارد کردن بار با آهنگ افزایش مشخص، استفاده می‌شود. این دستگاه باید در فواصل زمانی مناسب، بازبینی شده و مطابق با شرایط از پیش تعیین شده، تنظیم شود.

ب- صفحات پهن فلزی

دو صفحه پهن فلزی برای انتقال بار محوری به دو انتهای ذره استفاده می‌شود. سختی صفحات یاد شده نباید کمتر از HRC ۵۸ باشد. در صورتی که این صفحات برای اولین بار مورد استفاده قرار گیرند، سطوح تکیه‌گاه[1] نباید روی صفحه بیشتر از ۰٫۰۱۲۵ میلی‌متر جابه‌جا شوند. در واقع حداکثر تغییر مجاز ۰٫۰۲۵ میلی‌متر است. قطر صفحه فلزی باید حداقل به بزرگی قطر نمونه باشد. اما نباید از ۱٫۱۰ برابر قطر نمونه بیشتر شود. ضخامت این صفحات، حداقل باید نصف قطر نمونه باشد.

پ- نشیمن‌گاه کروی

یکی از صفحات فلزی باید به صورت نشیمن‌گاه کروی و دیگری به صورت صفحه صاف و محکم باشد. قطر بخش کروی حداقل باید به بزرگی قطر نمونه باشد، اما نباید از دو برابر قطر نمونه بزرگتر شود. مرکز این کره باید به مرکز انتهای بارگذاری شده نمونه منطبق و به منظور اطمینان از حرکت آزاد، نشیمن‌گاه کروی باید کاملا صیقلی باشد. باید توجه داشت که بخش متحرک صفحات باید در نزدیکی نشیمن‌گاه کروی باشد اما طراحی باید به گونه‌ای باشد که سطوح تکیه‌گاه، قابلیت چرخش و کج شدن در زوایای کوچک در راستاهای مختلف را داشته باشند. شکل ۸-۱ نمای یک دستگاه تعیین مقاومت فشاری تک محوری سنگ را نشان می‌دهد.

شکل ۸-۱-دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری سنگ

1- Bearing

omoorepeyman.ir

۸-۲-۴- روش انجام آزمایش

برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری تک محوری سنگ، باید مراحل زیر به ترتیب انجام شود:

– قبل از هر آزمایشی، توانایی نشیمن‌گاه کروی برای دوران آزادانه در جای خود باید بررسی شود.

– ابتدا باید صفحه صاف پایینی دستگاه روی پایه یا میله محرک راه‌انداز دستگاه بارگذاری قرار داده شود.

– سطوح تکیه‌گاه صفحات فوقانی و تحتانی و سطح نمونه به صورت مالشی کاملا تمیز شده و نمونه مورد آزمایش روی صفحه پایینی قرار داده شود.

– صفحه بالایی روی نمونه قرار داده شده و به خوبی در راستای همدیگر (صفحه و نمونه) تنظیم شود. در این مرحله ممکن است بار محوری کوچکی، تقریبا حدود ۱۰۰ نیوتن، به وسیله دستگاه بارگذاری هنگام قرارگیری صحیح بخش‌های تکیه‌گاه دستگاه، به نمونه وارد شود.

– بار محوری بدون ایجاد شوک تا جایی افزایش داده شود که بارگذاری ثابت شود یا کاهش یافته و یا مقدار کرنش از پیش تعیین شده، حاصل شود. بارگذاری به همان شیوه به منظور اعمال حداکثر آهنگ فشار یا کششی که تا حد امکان در طول آزمایش ثابت بماند، ادامه یابد. حداکثر انحراف از مقدار ثابت آهنگ کشش یا فشار در هر لحظه نباید بیش از ۱۰ درصد باشد. علاوه بر این، آهنگ کشش یا فشار اعمالی برای یک نمونه مشخص، در تمامی سری آزمایش‌ها بررسی آن کانسنگ باید یکسان باشد.

– بیشترین بار تحمل شده به وسیله نمونه اندازه‌گیری و ثبت شود.

۸-۲-۵- محاسبات

مقاومت فشاری مربوط به نمونه مورد آزمایش بر اساس حداکثر بار فشاری و سطح مقطع اولیه از رابطه ۸-۱ محاسبه می‌شود.

$$\sigma = \frac{P}{A} \qquad (۱-۸)$$

که در آن:

σ مقاومت فشاری تک محوری (نیوتن بر متر مربع (پاسکال))

P حداکثر بار اعمال شده بر نمونه تا قبل از لحظه شکست آن (نیوتن)

A سطح مقطع نمونه (متر مربع)

در صورتی که مقاومت فشاری محاسبه شده بالا باشد از سنگ‌شکن فکی با بازوی مضاعف استفاده می‌شود. در جدول ۸-۱ طبقه‌بندی بر اساس محدوده مقاومت فشاری سنگ‌های مختلف ارایه شده است.

اگر مقاومت فشاری برای یک نمونه از ۱۸۰ مگاپاسکال بیشتر باشد، سنگ بسیار مقاوم بوده و علاوه بر نیاز به سنگ‌شکن‌های اولیه قوی، استفاده از یک آسیای نیمه‌خودشکن در کنار این سنگ‌شکن نیز پیشنهاد می‌شود. در ارایه نتایج حاصل از آزمایش تعیین مقاومت فشاری نمونه باید موارد زیر نیز عنوان شود:

– نام و محل برداشت نمونه آزمایش که غالبا محل تهیه نمونه به صورت شماره گمانه و عمق نمونه بیان می‌شود.

– خصوصیات سنگ‌شناسی کانسنگ، نام ترکیب و جهت بارگذاری مرتبط با نوع کانی‌شناسی نمونه

omoorepeyman.ir

- ارتفاع، قطر و نسبت طول به قطر نمونه و رطوبت نمونه قبل از انجام آزمایش
- دمای آزمایش
- آهنگ بارگذاری یا آهنگ تغییر شکل سنگ
- نوع و محل وقوع ترک (ارایه یک طرح شماتیک از نمونه شکسته شده پیشنهاد می‌شود.)

جدول ۸-۱-طبقه‌بندی سنگ‌ها بر مبنای مقاومت فشاری آن‌ها

نوع	مقاومت فشاری بر حسب مگاپاسکال
خیلی مقاوم	>۲۲۱
مقاوم	۲۲۱ تا ۱۱۰
متوسط	۱۱۰ تا ۵۵
ضعیف	۵۵ تا ۲۸
خیلی ضعیف	<۲۸

omoorepeyman.ir

فصل ۹

دستورالعمل آزمایش هاپکینسون

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۹-۱- آشنایی

آزمایش میله فشار هاپکینسون[1] که بر روی نمونه کانسنگ انجام می‌شود، آزمایشی است که در آن با اعمال نیروی فشاری بر روی ماده معدنی، مقاومت آن در برابر اعمال بار و مقاومت آن در واحد سطح در مقابل همین فشار محوری تعیین می‌شود. در واقع این آزمایش، مقدار نیرو (کیلونیوتن) و انرژی ویژه لازم (کیلووات–ساعت برتن) برای شروع شکست کانسنگ را ارایه می‌دهد. مقدار انرژی ویژه یا مقدار نیروی وارد شده به ازای واحد سطح کانسنگ نیز یکی از عوامل بسیار مهم در تحلیل خصوصیات آن و بررسی شرایط عملیاتی بهینه برای خردایش ماده معدنی است.

۹-۲- اهداف

آزمایش میله فشار هاپکینسون در بررسی و تعیین مقاومت ذرات کانسنگ به کار می‌رود. نتایج این آزمایش برای تعیین سطوح انرژی بحرانی به منظور طراحی تجهیزات خردایش و تاثیر وجود ترک و شکاف در کانسنگ در هنگام خردایش مورد استفاده قرارمی‌گیرد. بر اساس نتایج به دست آمده از این آزمایش، دستیابی به اهداف زیر امکان‌پذیر است:

- شناسایی خصوصیات کانسنگ از نظر مقاومت در برابر تحمل بار
- تعیین نقطه گسیختگی ماده و حداکثر بار وارده به آن در آستانه شکست
- انتخاب صحیح تجهیزات خردایش متناسب با خصوصیات ماده معدنی
- بهینه‌سازی مصرف انرژی در تجهیزات خردایش با تعیین حد آستانه بار وارد شده به ذرات کانسنگ برای شکست آن‌ها

۹-۳- آماده‌سازی نمونه

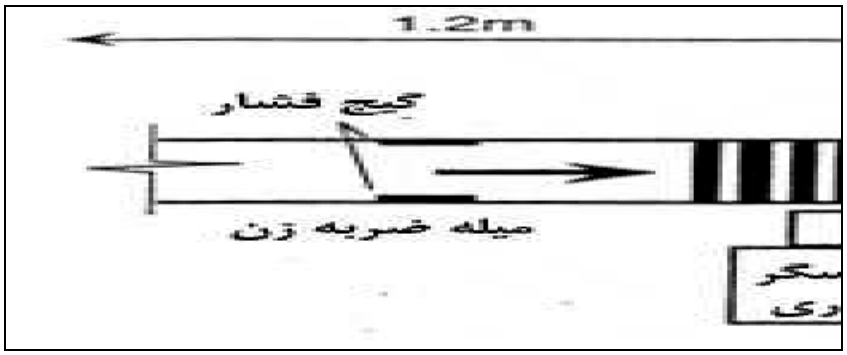
از آنجا که نحوه اجرای آزمایش همانند آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری سنگ است، بنابراین مرحله آماده‌سازی نمونه در این روش نیز مانند آزمایش‌های تک محوری است.

۹-۴- تجهیزات مورد نیاز

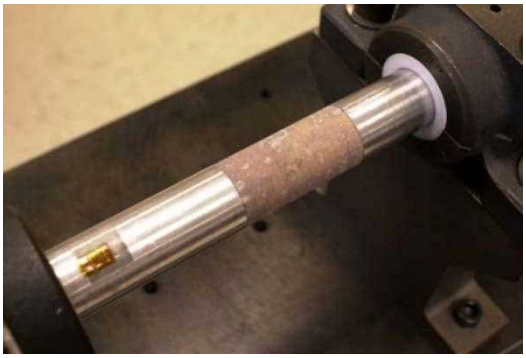
برای انجام این آزمایش از میله فشار هاپکینسون استفاده می‌شود. دستگاه میله فشار هاپکینسون شامل یک میله معلق افقی فولادی به طول ۴٫۶ متر است که نمونه سنگ به یک انتهای آن متصل می‌شود. در شکل ۹-۱ نمای کلی آزمایش میله فشار هاپکینسون، محل قرار گرفتن نمونه در داخل دستگاه و ابعاد و اندازه بخش‌های مختلف دستگاه مشاهده می‌شود. در شکل ۹-۲ نمونه مورد آزمایش و نحوه قرار گرفتن آن در بین دو بخش دستگاه نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

1- The hopkinson pressure bar



شکل ۹-۱- نمای کلی آزمایش میله فشار هاپکینسون



شکل ۹-۲- نحوه قرار گرفتن نمونه کانسنگ در دستگاه آزمایش میله فشار هاپکینسون

۹-۵- روش انجام آزمایش

برای اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر انجام مراحل زیر ضروری است:

- نمونه سنگ پس از آماده‌سازی در داخل دستگاه قرار داده شود. در مرحله اول، این نمونه به یک انتهای دستگاه متصل‌شود.
- نمونه تحت ضربه و فشار قرار گیرد. این کار با برخورد یک میله ضربه به طول ۲٫۱ متر به نمونه امکان‌پذیر است. میله ضربه یاد شده روی نگهدارنده‌های خطی سوار شده و به یک فنر خطی که در انتهای مقابل دستگاه قرار دارد و تا یک فاصله معلوم فشرده شده است، متصل شود.
- به منظور تعیین میزان سرعت ضربه وارده به سنگ، مقدار فشردگی فنر پشت میله ضربه تنظیم شود.
- انرژی ورودی با اندازه‌گیری سرعت میله ضربه در نقطه ضربه با یک حسگر نوری تعیین شود.
- مقدار قرائت شده از حسگر نوری به عنوان انرژی وارد شده به نمونه ثبت شود.
- با تقسیم نیرو بر واحد سطح، انرژی ویژه نمونه تعیین شود.

۹-۶- محاسبات

نیروی وارده بر کانسنگ معادل نیروهای اعمال شده بر آن از سوی انتهای دو میله هنگام برخورد است. این نیرو به صورت موج کرنش (تنجش) طولی در امتداد میله‌های ضربه و هاپکینسون انتشار می‌یابد که به وسیله یک پل، بر روی دو میله اندازه‌گیری

omoorepeyman.ir

می‌شود. بر اساس نتایج ثبت شده در حسگرهای متصل به دو سر میله انرژی عکس‌العمل نیروی وارد شده به نمونه تعیین و در نتیجه مقدار نیروی وارد شده به سنگ محاسبه می‌شود. همچنین مقدار نیروی خاصی که در آن شکست رخ می‌دهد، هنگام رها شدن ناگهانی نیرو در علایم تنجش اندازه‌گیری می‌شود.

شکست سنگ با نقطه‌ای روی نمودار تغییرات نیرو-زمان که در آن نقطه افت ناگهانی نیرو مشاهده می‌شود و با شکسته شدن سنگ به حداقل دو تکه در وسط سنگ همراه است، تعریف می‌شود. نمودار نوسانات انرژی در طول زمان اعمال تنش با بخش ثبت اطلاعات دستگاه در هر لحظه ترسیم شده و در نهایت به عنوان خروجی نهایی ارایه می‌شود. به عنوان مثال در شکل ۹-۳ منحنی نیرو-زمان برای یک نمونه گرانیت نشان داده شده است. مجموع منحنی‌های نیرو-زمان دو میله هاپکینسون و ضربه اجازه می‌دهد تا انرژی کرنش تلف شده از انرژی وارد شده به نمونه کاسته شده و در نتیجه مقدار انرژی واقعی که سبب شکست می‌شود، محاسبه شود. به منظور تعیین انرژی ویژه نیز کافی است تا نیروی وارد شده به نمونه را بر سطح مقطع آن تقسیم کرد (رابطه ۹-۱).

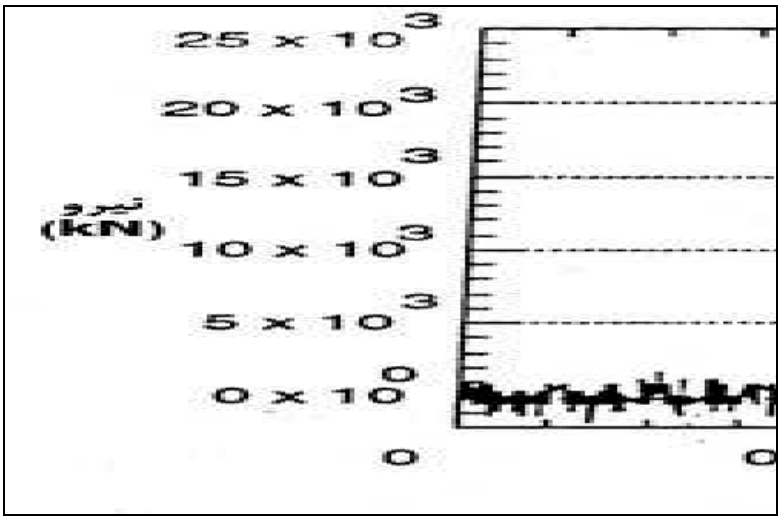
$$F_p = \frac{F}{A} \qquad (۹-۱)$$

که در آن:

F نیروی وارد شده به سطح سنگ (نیوتن)

A سطح مقطع نمونه (متر مربع)

F_p انرژی ویژه (نیوتن بر متر مربع)



شکل ۹-۳- تغییرات نیرو نسبت به زمان

انرژی مورد نیاز برای شکست سنگ در اثر نیروی ضربه‌ای وارد شده به آن یکی دیگر از پارامترهایی است که در شبیه‌سازی نحوه شکست ذرات کانسنگ در داخل محیط‌های خردایشی مانند سنگ‌شکن و آسیا بسیار مفید است. آزمایش میله فشار هاپکینسون رفتار مناسبی از خصوصیات ماده معدنی به ویژه عکس‌العمل آن در مقابل وارد شدن ضربه را نشان می‌دهد. در بررسی‌ها برای اعتبارسنجی نتایج بهتر است داده‌ها تعدیل شود.

omoorepeyman.ir

پارامتر انرژی ویژه نشان دهنده مقاومت سنگ است. تفاوت این روش با آزمایش تعیین مقاومت فشاری تک محوری در نحوه اعمال بار است زیرا در این آزمایش تنش اعمال شده به صورت لحظه‌ای و با آهنگ زیاد در لحظه اول است. این امر یکی از شرایط موجود برای شکست سنگ است که در آن مکانیزم اصلی خردایش، ضربه است. تفاوت این روش با شرایط واقعی، محصور بودن ذره در بین دو میله است که امکان رها کردن تنش همانند دانه‌ها در داخل محیط آسیا و یا سنگ‌شکن وجود ندارد که این امر باید در هنگام بررسی و تحلیل داده‌ها مورد توجه قرار بگیرد.

omoorepeyman.ir

فصل ۱۰

دستورالعمل تعیین شاخص t_{10}

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۰-۱- آشنایی

آزمایش تعیین شاخص t_{10} که به روش سقوط وزنه نیز معروف است، روشی عملی و مفید در تعیین مقاومت فشاری مواد مختلف در یک محدوده ابعادی مشخص است و نتایج حاصل از آن در مدلسازی ریاضی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن به کار می‌رود. در این روش، توزیع دانه‌بندی یک نمونه مشخص بعد از وارد شدن ضربه در اثر سقوط یک جسم سنگین مانند وزنه تعیین می‌شود.

اگر چه روش شاخص t_{10}، یک روش مناسب برای تعیین خصوصیات کانسنگ و مقاومت آن در مقابل ضربه وارده است اما روش یاد شده نواقصی نیز دارد. به عنوان مثال می‌توان گفت که آزمایش سقوط وزنه (تعیین شاخص t_{10}) تنها قادر به پیش‌بینی خصوصیات کانسنگ‌هایی است که در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن تحت خردایش قرار می‌گیرند. از آنجا که این نوع مواد ترد و شکننده‌اند و قبل از شکسته شدن تغییر شکل پلاستیک قابل توجهی ندارند، بنابراین تعیین خصوصیات کانسنگ‌هایی نظیر کانسنگ‌های حاوی کانی‌های رسی که تغییر شکل پلاستیک زیادی قبل از مرحله گسیختگی با این روش قابل اعتماد نیست.

اندازه ذراتی که با این روش تحت آزمایش قرار می‌گیرند عامل محدودکننده دیگری است. نتایج مورد نیاز برای ذرات درشت‌تر، بر اساس داده‌های به دست آمده از محدوده اندازه نمونه مورد آزمایش، تخمین زده می‌شوند. اگر کانسنگی در محدوده اندازه بزرگتر از اندازه ۵۳+۶۳- میلی‌متر مقاومت کمتری داشته باشد، استفاده از نتایج حاصل از این روش مناسب نیست.

۱۰-۲- اهداف

هدف از انجام این آزمایش، تعیین پارامترها و خصوصیات شکست یک کانسنگ تحت اعمال انرژی با سطوح متفاوت است. در بخش شکست انرژی پایین یا شکست سایشی از یک آسیای گردان و در بخش شکست انرژی بالا از دستگاه سقوط وزنه استفاده می‌شود.

از این آزمایش، نتایج زیر به دست می‌آید:

- بررسی خصوصیات کانسنگ از نظر مقاومت در برابر تحمل بار در شرایط اعمال انرژی بالا در زمان کوتاه (ضربه) و انرژی پایین در مدت زمان طولانی (سایش)
- بررسی و شبیه‌سازی رفتار کانسنگ در هر یک از شرایط یاد شده
- شبیه‌سازی مکانیزم خردایش در آسیاها
- انتخاب درست تجهیزات آسیا و سنگ‌شکنی متناسب با خصوصیات کانسنگ با تعیین نوع مکانیزم موثر در شکست سنگ تحت بررسی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در مدار خردایش

۱۰-۳- آماده‌سازی نمونه

نمونه مورد نیاز برای انجام این آزمایش، حدود ۷۵ کیلوگرم از سنگ خرد شده با اندازه‌ای در محدوده ۶+ و ۷۶- میلی‌متر یا ۷۵ کیلوگرم از مغزه حفاری شده بدون برش با طول بزرگتر از ۶۳ میلی‌متر است.

omoorepeyman.ir

حدود ۲۵ کیلوگرم از مواد در آزمایش استفاده می‌شود و تمامی نمونه‌های استفاده شده و نشده برای سایر آزمایش‌ها به کار می‌رود. علاوه بر این، برای انجام آزمایش شکست انرژی پایین یا شکست سایشی، ۳ کیلوگرم از ذرات با اندازه ۳۸+۵۵- میلی‌متر مورد نیاز است.

در آزمایش سقوط وزنه باید از بین ذرات موجود در نمونه اولیه ۷۵ کیلوگرمی، تعداد ۲۰ عدد نمونه کانسنگ با اندازه‌های متفاوت برای هر یک از ۵ محدوده ابعادی از قبل تعیین شده، انتخاب شود (به عنوان مثال، ۲۰ عدد نمونه با اندازه‌های مختلف در فاصله ۵۳ تا ۶۳ میلی‌متر، ۲۰ عدد نمونه با اندازه‌های مختلف در فاصله ۳۷٫۵ تا ۴۵ میلی‌متر). این نمونه‌ها ممکن است شکل‌های نامنظم داشته و به صورت تصادفی در داخل دستگاه سقوط وزنه قرار داده می‌شوند. برای نمونه‌های مغزه حفاری، متناسب با این دستورالعمل مغزه‌ها به ابعاد مورد نظر برش داده می‌شوند.

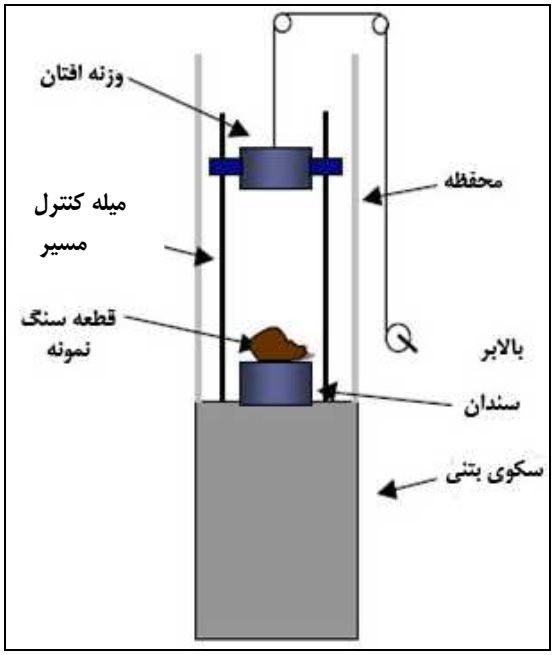
۱۰-۴- تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات مورد نیاز برای انجام آزمایش تعیین شاخص t_{10} برای انرژی سطح بالا و سطح پایین عبارت از دستگاه سقوط وزنه همراه با وزنه‌های مربوط به آن، آسیای گردان آزمایشگاهی با طول ۳۰۵ و قطر ۳۰۵ میلی‌متر با سرعت گردش معادل ۷۰ درصد سرعت بحرانی و مجهز به میله‌های بالابرنده با ابعاد ۶×۴ میلی‌متر است. علاوه بر این، سری سرندهای آزمایشگاهی نیز مورد نیاز است. در شکل ۱۰-۱ دستگاه سقوط وزنه مورد استفاده در این آزمایش نشان داده شده است.

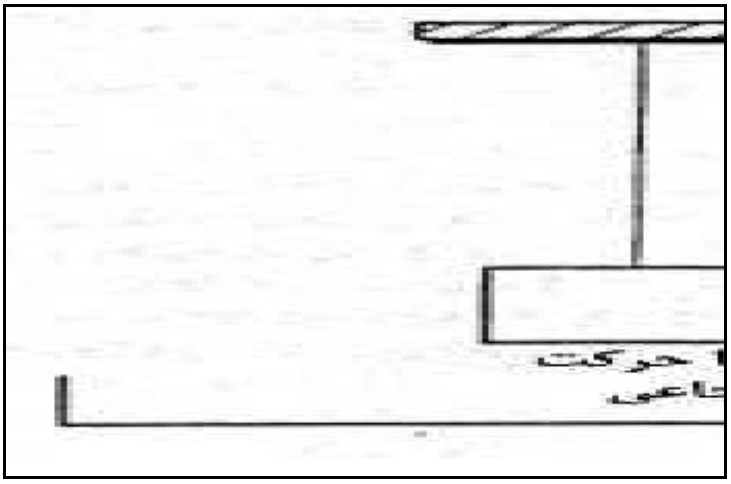
شکل ۱۰-۱- دستگاه سقوط وزنه JK مورد استفاده در آزمایش تعیین شاخص t_{10}

در شکل ۱۰-۲ نمای کلی دستگاه سقوط وزنه، بخش‌های مختلف این دستگاه و محل قرارگیری نمونه‌ها در داخل آن مشاهده می‌شود. در گذشته برای اندازه‌گیری این شاخص از دستگاه دو پاندولی استفاده می‌شد. شکل ۱۰-۳ نمای کلی این دستگاه و قسمت‌های مختلف آن را نشان می‌دهد.

omoorepeyman.ir



شکل ۱۰-۲- بخش‌های مختلف دستگاه سقوط وزنه و محل قرارگیری نمونه



شکل ۱۰-۳- نمای ساده دستگاه آونگ دوقلو

۱۰-۵- روش انجام آزمایش

اندازه‌گیری شاخص t_{10} به دو روش و با دو سطح انرژی مختلف به شرح زیر انجام می‌گیرد.

۱۰-۵-۱- آزمایش سقوط وزنه (شکست ضربه‌ای)

نمونه موجود، تحت شرایط کنترل شده در دستگاه سقوط وزنه خرد می‌شود تا محدوده ابعادی به شرح زیر تولید شود:

- ۵۳+۶۳- میلی‌متر
- ۳۷/۵+۴۵- میلی‌متر

omoorepeyman.ir

- ۲۶٫۵+۳۱٫۵- میلی‌متر
- ۱۹+۲۲٫۴- میلی‌متر
- ۱۳٫۲+۱۶- میلی‌متر

چگونگی انجام آزمایش سقوط وزنه به شرح زیر است:

- قبل از شروع آزمایش باید بالابر دستگاه بازرسی شود.
- نوع وزنه افتان مورد نیاز، انتخاب شده و در جای خود روی دستگاه نصب شود.
- با استفاده از دسته گردان، ارتفاع وزنه تنظیم و در محل خود ثابت شود.
- با کلید، وزنه تا ارتفاعی بیشتر از ارتفاع بلوک فلزی ایمنی بالا برده شده سپس بلوک فلزی ایمنی روی سندان قرار گیرد. پس از قرارگیری بلوک، وزنه به محل تکیه‌گاه خود روی بلوک بازگردانده شود.
- پلاستیک نگهدارنده با انبر برداشته شود.
- سندان، چکش و ناحیه آلوده اطراف آن، با برس دسته بلند تمیز شود. محیط اطراف نمونه کاملا تمیز و ذرات اضافی و باقی مانده از آزمایش قبل از داخل دستگاه خارج شود.
- با استفاده از انبر، ذره مورد آزمایش روی سندان قرار گیرد. سپس درب دسترسی به آن بسته شود.
- بعد از قرارگیری نمونه، وزنه افتان تا ارتفاع توقف، بالا برده شود.
- وزنه افتان آزاد رها و وقوع برگشت وزنه به سمت بالا پس از برخورد ثبت شود. اگر برگشت اتفاق افتاده باشد، ارتفاع جدید باید مجددا محاسبه شود.
- بعد از انجام مرحله قبل، درب دسترسی به منظور اندازه‌گیری فضای باز بین سندان و سطح پایینی دستگاه سقوط وزنه و نیز تعیین ارتفاع قرار، باز شود. این عمل تنها برای ۱۰ ذره اول تحت آزمایش لازم است که پس از اندازه‌گیری باید میانگین آن تعیین شود.
- وزنه افتان بالا برده شده و از قرار داشتن نگهدارنده ایمنی در محل خود اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، با استفاده از یک برس، ذرات خرد شده از روی سندان پاک شود.
- بعد از انجام ۵ آزمایش، ارتفاع سقوط، مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت جابه‌جا شدن وزنه، دوباره تنظیم شود.
- متوسط ارتفاع باقی‌مانده، محاسبه شود.
- آزمایش برای همه محدوده‌های ابعادی انجام شود.
- ذرات شکسته شده، جمع‌آوری و دانه‌بندی آن‌ها تعیین شود.
- این آزمایش برای سطوح انرژی مختلف باید انجام شود.

۱۰-۵-۲- آزمایش آسیای گردان (شکست سایشی)

برای انجام آزمایش شکست سایشی باید مراحل زیر به ترتیب انجام شود:

- سه کیلوگرم از نمونه آماده شده با ابعاد ۳۸+۵۵- میلی‌متر داخل آسیای آزمایشگاهی ریخته شود.
- مواد داخل آسیا با سرعتی معادل ۷۰ درصد سرعت بحرانی به مدت ۱۰ دقیقه خرد شوند.

omoorepeyman.ir

- مواد داخل آسیا تخلیه شده و توزیع دانه‌بندی آن‌ها تعیین شود.
- با توجه به آن که اندازه اولیه در محدوده ۳۸+۵۵- میلی‌متر است، پس از محاسبه میانگین هندسی این اندازه، t_{10} برابر مقدار جرمی است که از سرند با چشمه ۴٫۵۷ میلی‌متر عبور می‌کند. بنابراین مقدار t_{10} بر اساس نتایج به دست آمده از دانه‌بندی محصول آسیا تعیین شود.
- پارامتر سایش، t_a که معادل یک‌دهم مقدار t_{10} در نظر گرفته می‌شود نیز محاسبه شود.

۱۰-۶- محاسبات

در آزمایش ضربه‌ای، نمونه در ۵ بخش ابعادی طبقه‌بندی می‌شود. در هر بخش، حدود ۱۰ تا ۳۰ ذره در سه سطح انرژی مختلف خرد می‌شود و در نتیجه ۱۵ ترکیب اندازه-انرژی به دست می‌آید. سطح انرژی در هر سری آزمایش با ارتفاع و وزن وزنه افتان کنترل می‌شود. تمامی محصولات مراحل خردایش جمع‌آوری می‌شود. سپس توزیع دانه‌بندی آن‌ها تعیین و نسبت به اندازه اولیه نرمال می‌شوند. پس از انجام آزمایش و ثبت تمامی داده‌ها با استفاده از رابطه ۱۰-۱ میزان انرژی شکست ضربه‌ای برای نمونه مورد نظر محاسبه می‌شود.

$$E_i = m_d g(h_i - h_f) \qquad (۱۰-۱)$$

که در آن:

E_i انرژی شکست ضربه‌ای بر حسب کیلوگرم متر مربع بر مجذور ثانیه (ژول)

m_d جرم وزنه افتان اصلی (کیلوگرم)

h_i ارتفاع اولیه سقوط وزنه (متر)

h_f ارتفاع نهایی سقوط وزنه (متر)

با محاسبه مقدار انرژی لازم برای شکست ضربه‌ای با استفاده از رابطه ۱۰-۲ میزان انرژی ویژه خردایش محاسبه می‌شود.

$$E_{cs} = \frac{E_i}{m_p} \qquad (۱۰-۲)$$

که در آن:

E_{cs} انرژی مخصوص خردایش (کیلووات-ساعت بر تن)

m_p میانگین جرم ذرات تحت آزمایش (گرم)

در مدلسازی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، مقدار پارامتر t_{10} که بیانگر درصد عبوری از یک‌دهم اندازه اولیه است، استفاده می‌شود (رابطه ۱۰-۳). در این رابطه، مقادیر t_{10} با دو پارامتر A، b و انرژی شکست ضربه‌ای مرتبط می‌شود.

$$t_{10} = A[1 - e^{(-b.E_{cs})}] \qquad (۱۰-۳)$$

که در آن:

A و b پارامترهای مدل (با رگرسیون خطی مقادیر آن‌ها تعیین می‌شود)

علاوه بر این، بین پارامترهای t_n و t_{10} رابطه ۱۰-۴ برقرار است:

omoorepeyman.ir

$$t_n = 1-\left(1-t_{10}\right)^{\left(\frac{10-1}{n-1}\right)^{\alpha}} \qquad (۴-۱۰)$$

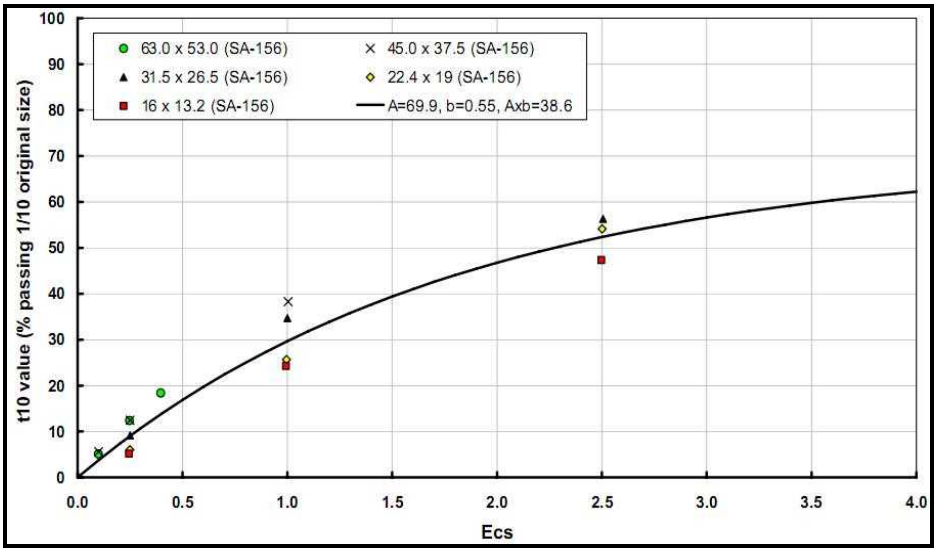
که در آن:

T_n درصد عبوری از یک nام اندازه اولیه ذره (مقادیر مختلف این پارامتر برای محصولات شکست محاسبه می‌شود)

α پارامتر مشخصه نمونه

با قرار دادن مقادیر مختلف برای n در رابطه ۱۰-۴، تابع شکست برای طبقات مختلف سرندی تعیین می‌شود.

پارامتر t_{10} با افزایش مقدار انرژی ورودی افزایش می‌یابد تا جایی که متناسب با پارامتر A نمودار آن تقریبا افقی می‌شود (شکل ۱۰-۴). با استفاده از مقادیر حاصل از ۱۵ ترکیب اندازه-انرژی و استفاده از روش کمترین مربعات، بهترین مقادیر A و b محاسبه می‌شود.



شکل ۱۰-۴- نمودار تغییرات t_{10} بر حسب E_{CS} در آزمایش سقوط وزنه JK

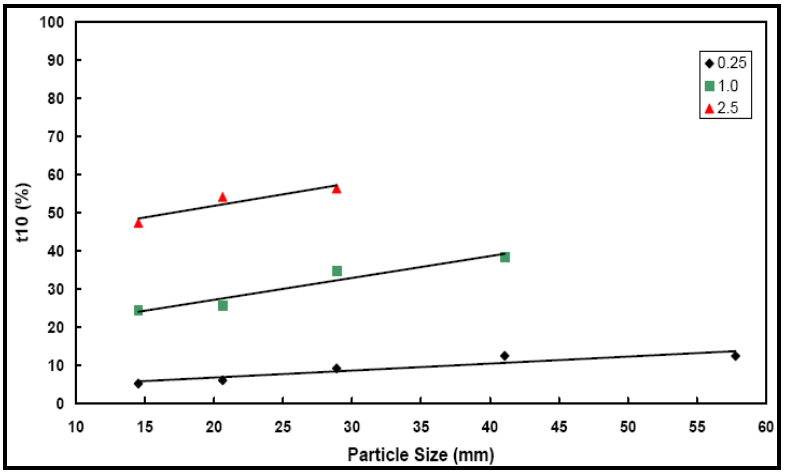
مقادیر نهایی دو پارامتر A و b، با مقاومت کانسنگ در برابر شکست ضربه‌ای ارتباط مستقیم دارند. به طوری که هر چه مقادیر آن‌ها کمتر باشد، کانسنگ سخت‌تر است و مقاومت بیشتری را در مقابل شکست ضربه‌ای از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این، A و b به یکدیگر وابسته هستند به طوری که تغییر در مقدار یکی از آن‌ها مستقیما بر مقدار دیگری تاثیرگذار است. به دلیل این وابستگی، معمولا پارامتر $A\times B$ تعریف می‌شود (جدول ۱۰-۱) که معرف سختی کانسنگ در ارتباط با شکست ضربه‌ای است. این پارامتر، شیب نمودار t_{10} بر حسب E_{cs} است و بیانگر وضعیت شکست کانسنگ در سطوح انرژی پایین‌تر است. از این پارامتر در تفسیر شکست‌هایی که در آسیاهای نیمه‌خودشکن در سطوح انرژی پایین‌تر رخ می‌دهد، استفاده می‌شود.

از ویژگی‌های این روش اندازه‌گیری، تغییر در سختی کانسنگ در محدوده ابعادی ۱۳٫۲ تا ۶۳ میلی‌متر است. در شکل ۱۰-۵ مثالی برای سه سطح انرژی مختلف، ۰٫۲۵، ۱ و ۲٫۵ کیلووات-ساعت بر تن نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۱۰-۱- مقدار پارامترهای آزمایش سقوط وزنه برای مواد مختلف با درجه ساختی متفاوت

خصوصیت	بسیار سخت	سخت	نسبتا سخت	متوسط	نسبتا نرم	نرم	بسیار نرم
$A\times b$	<۳۰	۳۸-۳۰	۴۳-۳۸	۵۶-۴۳	۶۷-۵۶	۱۲۷-۶۷	> ۱۲۷
t_a	<۰٫۲۴	۰٫۲۴ تا ۰٫۳۵	۰٫۳۵ تا ۰٫۴۱	۰٫۴۱ تا ۰٫۵۴	۰٫۵۴ تا ۰٫۶۵	۰٫۶۵ تا ۱٫۳۸	> ۱٫۳۸



شکل ۱۰-۵- تغییرات سختی (مقاومت ضربه‌ای) کانسنگ نسبت به اندازه ذره

با افزایش اندازه ذره اولیه، کاهش عملی سختی کانسنگ در اثر افزایش وجود شکاف‌ها مشاهده می‌شود. برای کانسنگ‌های بسیار مقاوم، تغییرات سختی نسبت به اندازه ذره تقریبا افقی است. در حالی که نمودار t_{10} برای کانسنگ‌های غیرمقاوم ترکدار شیب زیادی دارد که این شیب با ابعاد کانسنگ افزایش می‌یابد. از این نمودارها برای آزمایشاتی که روی مواد ریزتر انجام می‌شود، برای پی بردن به مقاومت کانسنگ در ابعاد درشت‌تر استفاده می‌شود. بدین منظور در ارایه نتایج نهایی، ذکر مقادیر پارامترهای A، b، $A\times b$ و t_a برای هر نمونه به همراه رسم نمودار t_{10} بر حسب E_{cs} انجام می‌گیرد.

در آزمایش سایشی نیز، هر چه مقدار t_a کمتر باشد، نشانگر آن است که درصد کمتری از مواد از اندازه اولیه عبور کرده‌اند و بنابراین، مقاومت کانسنگ در برابر شکست سایشی بیشتر است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱۱

دستورالعمل تعیین شاخص کار ضربه‌ای باند

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۱-۱- آشنایی

شاخص کار ضربه‌ای باند برای طراحی مدارهای خردایش تعیین می‌شود. در این آزمایش، انرژی مورد نیاز برای خرد کردن یک ذره خشک با ضربه دو چکش شناور تعیین می‌شود. این شاخص، بیانگر مقاومت کانسنگ با دانه‌بندی درشت‌تر از حالت‌های قبل است و به منظور محاسبه میزان توان مورد نیاز برای خردایش ذرات در سنگ‌شکن‌ها استفاده می‌شود. به دلیل ناچیز در نظر گرفتن قابلیت خردایش عملیاتی واقعی اکثر مواد مطالعه شده، این آزمایش دقت کافی ندارد.

۱۱-۲- اهداف

هدف از انجام این آزمایش، تعیین پارامترها و خصوصیات خردایش کانسنگ در سنگ‌شکنی است. از آنجا که خردایش در این سنگ‌شکن بر اساس مکانیزم ضربه انجام می‌شود، بنابراین نتایج به دست آمده راهنمای خوبی برای طراحی و انتخاب نوع سنگ‌شکن‌ها و چیدمان آن‌ها در مدارهای فرآوری است. اهداف مورد نظر در انجام این آزمایش به شرح زیر است:

- بررسی نحوه شکست کانسنگ در اثر ضربه
- تعیین توزیع دانه‌بندی ذرات با خصوصیات مختلف پس از اعمال ضربه
- شبیه‌سازی مکانیزم خردایش در سنگ‌شکن‌ها و انتخاب درست تجهیزات متناسب با خصوصیات بار ورودی
- پیش‌بینی انرژی مورد نیاز برای خردایش یک ذره تا رسیدن به ابعاد مورد نظر
- بررسی کارآیی سنگ‌شکن‌های مختلف بر اساس انرژی مصرفی برای یک کانسنگ مشخص با شاخص کار ضربه‌ای معلوم

۱۱-۳- آماده‌سازی نمونه

برای انجام این آزمایش، حدود ۲۰ ذره زیر نمونه با ابعاد ۵۰ تا ۷۶ میلی‌متر از کانسنگ خشک مورد نیاز است. باید ضخامت، وزن و جرم مخصوص هر یک از ذرات به دقت اندازه‌گیری و ثبت شود.

۱۱-۴- تجهیزات مورد نیاز

تجهیزات مورد نیاز برای این آزمایش دستگاه ضربه‌ای باند همراه یک سری سرندی استاندارد است. نمونه‌های تحت آزمایش هر یک به صورت جداگانه در محل تعبیه شده، قرار می‌گیرند و به وسیله ریسمانی که از روی طوقه‌ها می‌گذرد، آونگ‌ها را تا ارتفاع مشخصی بالا می‌برند و به طور هم‌زمان رها می‌کنند.

۱۱-۵- روش انجام آزمایش

در این آزمایش سنگ‌هایی با اندازه بین ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر بین دو وزنه ۱۳٫۶ کیلوگرمی قرار داده می‌شوند که با آزاد کردن چرخ‌ها، وزنه به نمونه برخورد کرده و باعث شکست آن می‌شود. با تغییر محل وزنه‌ها، نیروی لازم برای خردایش سنگ فراهم می‌شود (شکل ۱۱-۱). برای تعیین شاخص کار ضربه‌ای باند، انجام مراحل زیر ضروری است:

omoorepeyman.ir

– نمونه مورد آزمایش را باید بین دو چکش نگه داشت و یا آویزان کرد.

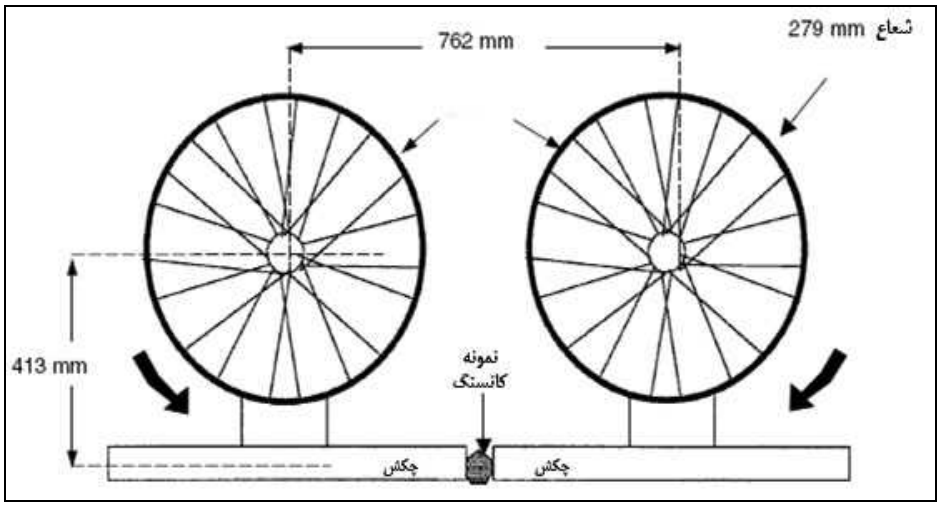
– چکش‌ها تا اندازه‌ای که با خط قائم زاویه ۱۰ درجه تشکیل دهند، بالا برده و سپس رها شوند.

– پس از وارد آمدن ضربه، نمونه مورد آزمایش از نظر ایجاد ترک و شکست بررسی شده و تعداد ذرات خرد شده ثبت شود.

– اگر نمونه خرد نشده باشد، ارتفاع چکش‌ها به اندازه ۵ درجه افزایش و آزمایش مجددا تکرار شود. این کار تا زمانی ادامه یابد که نمونه حداقل به سه قسمت تقسیم شود.

– ارتفاع چکش‌ها در هر مرتبه باید ثبت شود.

– بسته به رفتار زیرنمونه‌های مورد آزمایش این آزمون بر روی ۱۰ تا ۲۰ نمونه باید انجام شود.



شکل ۱۱-۱- دستگاه آزمایش ضربه‌ای باند همراه با نمونه قرار گرفته در نقطه ضربه

۱۱-۶- محاسبات

مقاومت ضربه‌ای نمونه از رابطه ۱۱-۱ محاسبه می‌شود.

$$ICs = \frac{2}{d} W_h H_h \qquad (۱-۱۱)$$

که در آن:

ICs انرژی سنگ‌شکن ضربه‌ای (ژول بر میلی‌متر ضخامت نمونه)

d ضخامت ماده (میلی‌متر)

W_h وزن یکی از چکش‌ها (کیلوگرم)

H_h ارتفاع نهایی چکش (متر)

مقدار ICs از میانگین ۱۰ یا ۲۰ آزمایش تعیین می‌شود. مقاومت فشاری ضربه‌ای کانسنگ محاسبه شده به این روش، برای محاسبه شاخص کار باند (رابطه ۱۱-۲) به کار می‌رود.

$$W_i = \frac{53.49 IC_s}{Sg} \qquad (۲-۱۱)$$

omoorepeyman.ir

که در آن:

Wi شاخص کار (کیلووات–ساعت بر تن)

Sg جرم مخصوص ذره

رابطه ۱۱–۲ با تبدیل واحد به صورت رابطه ۱۱– ۳ تبدیل می‌شود:

$$Wi = \frac{2.59 IC_s}{Sg} \qquad (۳-۱۱)$$

که در آن:

ICs انرژی سنگ‌شکن ضربه‌ای (فوت–پوند بر اینچ)

هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، مقاومت کانسنگ در برابر شکست بیشتر است و این بدان معنی است که برای خردایش باید از سنگ‌شکن قوی‌تری استفاده کرد. اگر مقدار این شاخص بیشتر از شاخص کار گلوله‌ای یا میله‌ای باشد، توصیه بر این است که از آسیای نیمه‌خودشکن در مدار خردایش استفاده شود.

شاخص کار ضربه‌ای باند، معیار مناسبی برای تعیین میزان انرژی مورد نیاز برای خردایش ذرات درشت با استفاده از سنگ‌شکن‌ها است و بر اساس آن نوع و تعداد سنگ‌شکن‌ها در مدار تعیین می‌شود. شرایط واقعی حاکم بر خردایش کانسنگ در سنگ‌شکن تا حدودی از شرایط آزمایش یاد شده متفاوت است. زیرا در محیط سنگ‌شکن، برخورد ذرات به یکدیگر و سایر پارامترهای موجود در خردایش ذره و کاهش انرژی مورد نیاز موثر است.

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

فصل ۱۲

دستورالعمل تعین شاخص کار مک‌فرسون برای آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۲-۱- آشنایی

شاخص کار مک فرسون[1] بیانگر مقدار انرژی مورد نیاز برای خرد کردن کانسنگ در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن است. این شاخص با انجام آزمایش مک‌فرسون و بر اساس مقدار توان اندازه‌گیری شده در هنگام آزمایش و معادلات باند محاسبه می‌شود. با استفاده از این آزمایش، قابلیت به کارگیری آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن همراه با آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای برای خردایش مواد معدنی استفاده می‌شود. یکی از محدودیت‌های این روش، نیاز به وزن نمونه اولیه زیاد است.

۱۲-۲- اهداف

دراین آزمایش از شاخص کار آسیای خودشکن مک‌فرسون همراه با شاخص‌های کار آسیای گلوله‌ای و میله‌ای باند برای تعیین توان مورد نیاز و چیدمان تجهیزاتی مانند آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در مدار همراه با سایر دستگاه‌ها استفاده می‌شود. در این آزمایش، تئوری سه‌گانه خردایش باند برای محاسبه توان خالص مورد نیاز به کار می‌رود.

در این آزمایش اهداف زیر مورد نظر است:

- بررسی نحوه خردایش ماده معدنی و رفتار آن در داخل آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن
- امکان‌سنجی به کارگیری آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن در مدارهای خردایش
- پیش‌بینی انرژی مورد نیاز برای خردایش یک ذره تا رسیدن به ابعاد مورد نظر در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

۱۲-۳- آماده‌سازی نمونه

درشت‌ترین ابعاد در این آزمایش ۳۱٫۷۵ میلی‌متر است و وزن نمونه برای دستیابی به شرایط پایدار برای زمان حداقل ۶ ساعت باید کافی باشد. این شرایط به طور معمول با ۱۰۰ کیلوگرم نمونه حاصل می‌شود اما معمولا برای کانسنگ‌های نرم و یا متراکم، نمونه‌ای معادل ۱۷۵کیلوگرم لازم است. به طور کلی نمونه لازم حدود ۲۵۰ کیلوگرم ماده معدنی است که ابعاد آن باید کوچکتر از ۳۱٫۷۵ میلی‌متر باشد. این امر با سرند کنترلی ۱٫۱۹ میلی‌متر امکان‌پذیر است.

در صورت لزوم، اندازه ماده معدنی اولیه که به عنوان نمونه به کار می‌رود، باید با استفاده از مراحل مختلف سنگ‌شکنی به ابعاد مناسب مورد نیاز آزمایش (کوچکتر از ۳۱٫۷۵ میلی‌متر) رسانده شود.

۱۲-۴- تجهیزات مورد نیاز

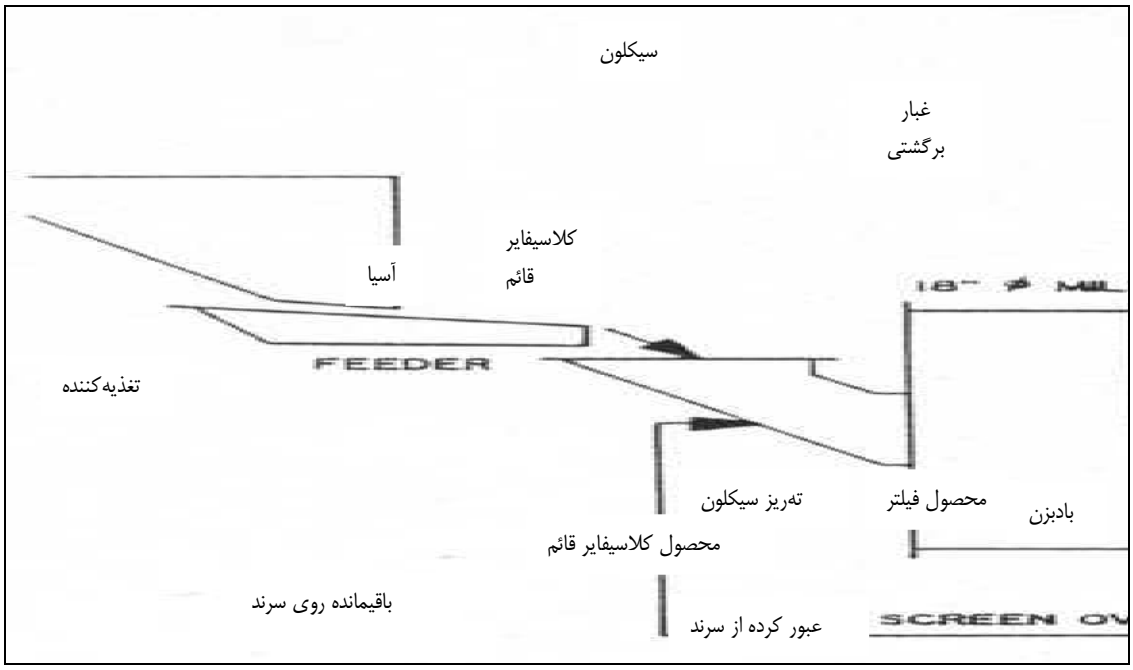
این آزمایش به صورت پیوسته در یک آسیای نیمه‌خودشکن با قطر ۴۵۷ و طول ۱۵۲ میلی‌متر انجام می‌شود و با استفاده از یک بادبزن، هوای مورد نیاز برای خارج کردن مواد خرد شده از داخل آسیا به جریان در می‌آید. همچنین سیستم جمع‌آوری نیز مواد خرد شده را از جریان هوا بازیابی می‌کند. این سیستم شامل کلاسیفایر قائم، یک سیکلون و یک غبارگیر است. تەریز سیکلون در ابعاد سرندی ۱۴۰۰ میلی‌متر طبقه‌بندی شده و بخش دانه درشت به داخل آسیا بازگردانده می‌شود.

1-Mac person index

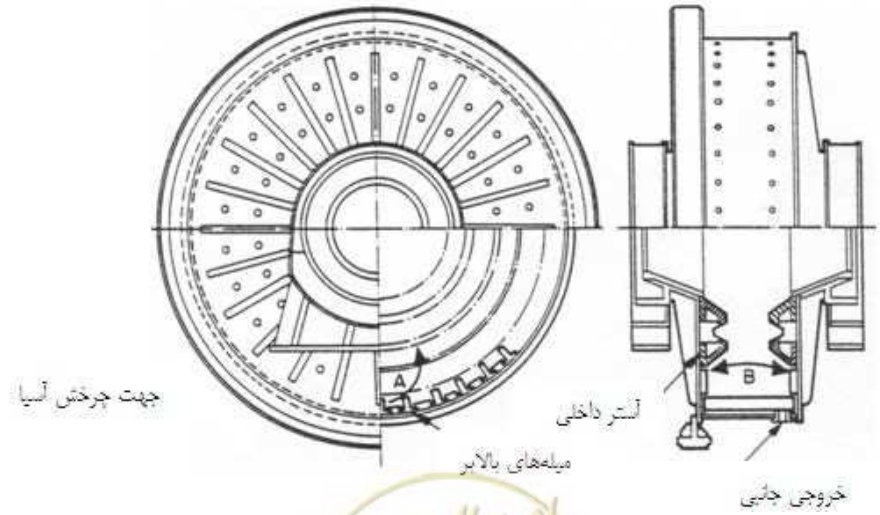
omoorepeyman.ir

آسیا با یک تغذیه‌کننده سینترون[1] که به طور خودکار با سیستم کنترل میلترونیکس[2] راه‌اندازی می‌شود، باردهی می‌شود. با توجه به اهمیت یکنواخت بودن باردهی یک میکروفون در بدنه آسیا نصب و به کمک آن به طور پیوسته آهنگ باردهی در سطح ۲۵ درصد کنترل می‌شود. تنظیم جریان هوای داخل آسیا باید به نحوی باشد تامیزان بار در گردش در حدود ۵ درصد کل بار ورودی شود.

شکل ۱۲-۱ نمای کلی مدار آزمایش آسیای خودشکن مک‌فرسون را نشان می‌دهد. در شکل ۱۲-۲ نیز نمایی از آسیای خودشکن مورد استفاده در این آزمایش و فضای داخلی آن نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱- نمای کلی مدار آزمایش شاخص کار آسیای خودشکن مک‌فرسون



شکل ۱۲-۲- نمای آسیای خودشکن در آزمایش مک‌فرسون

1- Syntron
2- Milltronics

omoorepeyman.ir

۱۲-۵- روش انجام آزمایش

در این آزمایش، آزمون‌های استاندارد میله‌ای و گلوله‌ای باند به همراه آزمایش خودشکن خشک انجام می‌شود. سیستم به طور پیوسته به مدت ۱ تا ۲ ساعت و به صورت خشک کار می‌کند و با مکش هوا ذرات خرد شده از سیستم خارج می‌شود. رابطه بین قطر و طول آسیا به صورت $L = 0.63D$ تعریف می‌شود که در آن، D قطر آسیااست. آسیا با سرعت ۸۴٫۵ درصد سرعت بحرانی کار می‌کند. زمانی که سیستم به حالت پایدار رسید (معمولا با نمونه‌برداری پیوسته از محصول آسیا کنترل می‌شود)، توان خالص آسیا محاسبه و با استفاده از روابط موجود، شاخص کار خودشکن (AWi) محاسبه می‌شود. برای انجام این آزمایش، مراحل زیر به ترتیب انجام می‌شود:

- بخش‌های مختلف آسیا از جمله باردهی، کنترل و جریان هوا مورد بررسی قرار گیرد.
- کانسنگ آماده شده به داخل تغذیه‌کننده آسیا ریخته شود.
- برای دستیابی به حالت پایدار حداقل ۶ ساعت مواد در آسیا خرد شوند.
- در پایان آزمایش، توزیع دانه‌بندی تعیین و نمونه‌ها نگهداری شوند.
- توزیع ابعاد و جرم مخصوص هر بخش ابعادی تعیین شود.

۱۲-۶- محاسبات

توان دریافتی و عملیاتی آسیا، به همراه توزیع ابعادی محصول برای محاسبه انرژی لازم است (رابطه ۱۲-۱):

$$W(kwh/t) = \frac{\text{توان خالص آسیا}}{\text{خروجی آسیا (کیلوگرم در ساعت)}} \qquad (۱-۱۲)$$

بر اساس رابطه شاخص کار باند شاخص کار مطابق رابطه ۱۲-۲ محاسبه می‌شود:

$$AWi = \frac{W}{\frac{10}{P_{80}} - \frac{10}{F_{80}}} \qquad (۲-۱۲)$$

که در آن:

W توان آسیا (وات)

P_{80} و F_{80} به ترتیب اندازه‌ای که ۸۰ درصد عبور کرده محصول و بار اولیه از آن کوچکتر است (میکرون).

اگر این مقدار کمتر از ۱۱ باشد، بدون افزایش مقیاس و اعمال ضرایب تعدیل، برای طراحی در مقیاس صنعتی استفاده می‌شود. چنانچه این مقدار بزرگتر از ۱۱ باشد به دلیل در نظر نگرفتن تاثیر ضربه در آسیاهای بزرگتر (به ویژه زمانی که سنگ معدن سخت باشد) باید ضریب تصحیح اعمال شود. هر چه مقدار این شاخص بیشتر باشد، بیانگر این امر است که مقاومت کانسنگ در برابر خردایش بیشتر است. اگر چه اهمیت دستیابی به شرایط پایدار در آزمایش‌های خردایش به طور گسترده مورد قبول واقع شده است، اما آزمایش مک‌فرسون تنها آزمایش آسیای خودشکن یا نیمه‌خودشکن در مقیاس کوچک است که در آن این گزینه در نظر گرفته می‌شود. باتوجه به امکان تجمع بخش سخت‌تر مواد در آسیا، حفظ شرایط پایدار در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن بسیار مهم است زیرا باعث کاهش ظرفیت و میزان تولید آسیا می‌شود.

omoorepeyman.ir

برای تعیین ویژگی‌های نمونه، شاخص کار صنعتی با شاخص کار میله‌ای و گلوله‌ای باند باید مقایسه شود. در صورت برابر بودن این شاخص‌ها می‌توان از آسیای نیمه‌خودشکن استفاده کرد و چنانچه شاخص کار گلوله‌ای باند خیلی بزرگتر از شاخص کار آسیای میله‌ای و صنعتی باشد، نیاز است در مدار از یک سنگ‌شکن استفاده شود.

علاوه بر داده‌های مربوط به ظرفیت آسیا و محصول خرد شده، اطلاعات بیشتری باید جمع‌آوری شود تا بتوان محاسبات مربوط به توان آسیا، افزایش مقیاس، سایش فولاد و نحوه چیدمان دستگاه‌های دیگر را انجام داد. این اطلاعات شامل موارد زیر است:

- نمای کلی عملیات و مدار آن
- نوع کانسنگ، دانه‌بندی، جرم مخصوص، رطوبت و سایر خصوصیات آن
- تناژ بار ورودی
- خصوصیات بار ورودی به آسیا (وزن، دبی و دانه‌بندی)
- خصوصیات محصول آسیا (دبی، دانه‌بندی و چگالی)
- حجم هوای عبوری، چگالی و افت فشار آسیا برای آسیاهای خشک
- توان آسیا (ناخالص و خالص)
- سرعت آسیا (دور در دقیقه)
- خصوصیات بار در گردش از قبیل تناژ و چگالی
- میزان سایش فولاد برای گلوله‌ها، آستر و چشمه‌ها

omoorepeyman.ir

فصل ۱۳

دستورالعمل انجام آزمایش‌های سریع

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۳-۱- آشنایی

انجام آزمایش‌ها در مقیاس آزمایشگاهی و نیمه‌صنعتی برای تعیین شاخص‌ها و معیارهای مورد نیاز شبیه‌سازی و مدلسازی شرایط حاکم بر مدارهای خردایش صنعتی زمان‌بر بوده و مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است. استفاده از روش‌های سریع که امکان انجام مدلسازی با سطح اطمینان مناسب را فراهم می‌سازد با در نظر گرفتن اغلب پارامترهای موثر در کارآیی مدارها به عنوان یک روش سریع و آسان در این فصل ارایه می‌شود. نتایج این مطالعات به عنوان داده‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی به کار می‌رود.

۱۳-۲- آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن

آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن[1] با هدف دستیابی به پارامترهای مورد نیاز برای شبیه‌سازی مدارهای خردایش بر اساس خصوصیات کانسنگ با استفاده از مغزه‌های حفاری یا در مواردی که مقدار کانسنگ محدود باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این آزمایش روش سریع آزمایش سقوط وزنه است و برای تعیین سریع پارامترهای A و b در رابطه شاخص t_{10} با انرژی خردایش ویژه معلوم، به کار می‌رود. آزمایش استاندارد سقوط وزنه پارامترهای ویژه مورد نیاز در نرم‌افزارهای شبیه‌ساز نظیر JKSimMet به دست می‌دهد. در این نرم‌افزارها، پارامترها با جزییات تجهیزات و شرایط عملیاتی مختلف ترکیب می‌شوند. با استفاده از این نرم‌افزارها عملکرد آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن پیش‌بینی و بررسی می‌شود. به کمک این اطلاعات امکان بررسی خصوصیات کانسنگ برای مدلسازی مدارهای سنگ‌شکنی نیز وجود دارد.

۱۳-۲-۱- اهداف

با نتایج آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن، رابطه‌ای بین انرژی ویژه آسیا (کیلووات–ساعت بر تن) و درصد عبوری محصول خرد شده از اندازه سرندی خاص ایجاد می‌شود. این نتایج برای تعیین شاخص سقوط وزنه که معیاری از مقاومت کانسنگ در شرایط وقوع شکست ضربه‌ای است، به کار می‌رود. E_{cs} مستقیما با پارامترهای شکست کانسنگ، A و b، مرتبط است (رابطه ۱۰-۲) و بنابراین می‌توان از آن برای تخمین مقادیر این پارامترها استفاده کرد.

پارامترهای A و b، در مدلسازی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن برای شبیه‌سازی رفتار بار و پیش‌بینی نحوه وقوع شکست کانسنگ درون آسیا به کار می‌روند. در این شرایط بر اساس مدلسازی‌ها پیش‌بینی میزان تولید، توان دریافتی و توزیع دانه‌بندی امکان‌پذیر خواهد بود. با استفاده از مدلسازی می‌توان نمای کلی مدار خردایش را به گونه‌ای طراحی کرد که تاثیر بروز تغییرات احتمالی در خصوصیات کانسنگ بر شرایط عملیاتی مدار نیز مورد بررسی قرار گیرد.

انرژی ویژه ضربه‌ای با مقاومت کانسنگ در مقابل شکست ضربه‌ای ارتباط معکوس دارد. رابطه بین نتایج حاصل از آزمایش خردایش در آسیای نیمه‌خودشکن و انرژی ویژه با استفاده از روابط ریاضی موجود، ارایه می‌شود. به گونه‌ای که انرژی ویژه ضربه‌ای با انرژی ویژه مورد نیاز برای مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن مرتبط می‌شود. در این روابط، تاثیر عواملی مانند حجم بار خردکننده، اندازه ذرات موجود در بار ورودی، نسبت ظاهری، عملکرد آسیا با یا بدون سنگ‌شکن و وجود یک کلاسیفایر مانند هیدروسیکلون در مدار بسته آسیا، بر عملکرد آسیا و میزان انرژی ویژه خردایش مورد توجه قرار می‌گیرد. مهم‌ترین کاربردهای نتایج

1- SAG mill comminution (SMC)

omoorepeyman.ir

حاصل از آزمایش سقوط وزنه عبارتند از:

– مقدار انرژی ویژه با پارامترهای آزمایش سقوط وزنه، A و b مرتبط و برای پیش‌بینی خروجی مدارهای خردایش برای یک نوع کانسنگ خاص قابل استفاده است.

– این آزمایش با آزمایش مقاومت فشاری تک محوری (UCS) و آزمایش تعیین شاخص بار نقطه‌ای مرتبط بوده و در جاهایی که اندازه‌گیری مستقیم مقاومت فشاری تک محوری و شاخص بار نقطه‌ای امکان‌پذیر نباشد، می‌توان از نتایج آن در مدلسازی خردایش ناشی از آتشباری استفاده کرد.

۱۳-۲-۲- آماده‌سازی نمونه

نمونه مورد نیاز برای انجام این آزمایش، برش‌های یک‌چهارم مغزه‌های حفاری است. این برش‌ها باید چنان انتخاب شوند که حجم آن‌ها معادل حجم میانگین ذرات در یک بخش اندازه سرندی آزمایش استاندارد سقوط وزنه باشد. این آزمایش در مورد مواد خرد شده‌ای که تغییرات جرمی آن‌ها در یک محدوده ابعادی مشخص است، قابل اجرا است.

در صورتی که از برش‌های یک‌دوم یا تمامی مغزه‌ها استفاده شود، باید به عنوان یک مرحله مقدماتی در انجام آزمایش، مغزه‌ها به چهار قسمت مساوی تقسیم شوند. برای آماده‌سازی بخش‌های خرد و لبه‌های نوک تیز در طول مغزه بریده و مغزه به شکل منظم درمی‌آید. قبل از آن که طول یک‌چهارم‌های مغزه برای تولید برش‌های مناسب برای انجام آزمایش سقوط وزنه بریده شود، هر یک از آن‌ها در داخل محیط هوا و آب توزین می‌شود تا جرم مخصوص آن‌ها اندازه‌گیری و میزان جرم در واحد طول آن‌ها محاسبه شود.

اندازه زیرنمونه‌ها به قطر مغزه اصلی بستگی دارد و انتخاب زیرنمونه به گونه‌ای انجام می‌شود که ذرات مورد نظر بیشتر به صورت ذرات بزرگ و پهن باشند. با تعیین جرم مخصوص مغزه، می‌توان حجم مورد نظر را به صورت جرم بیان کرد و با مشخص شدن جرم متوسط در واحد طول، یک برش میانگین برای مغزه محاسبه می‌شود.

در صورتی که تنها نمونه‌های کلوخه‌ای یا به صورت مغزه‌های ترد و شکننده باشد که نتوان آن را برش داد، از روش انتخاب ذره استفاده می‌شود. مقدار نمونه مورد نیاز در آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن در جدول ۱۳-۱ نشان داده شده است. آماده‌سازی نمونه به دو روش زیر انجام می‌گیرد:

– روش برش مغزه، در شرایطی که نمونه سخت و مقدار آن محدود باشد.

– روش خردایش و انتخاب از مغزه‌ها، در شرایطی که مقدار کانسنگ زیاد و ترد و شکننده باشد.

در روش برش مغزه برای مغزه‌هایی با قطر بزرگتر، طول‌های بیشتری مورد نیاز است. یک‌دوم مغزه، یک‌چهارم مغزه و کلوخه‌های کانسنگ نیز قابل استفاده‌اند. مقادیر ارایه شده در جدول ۱۳-۱ را می‌توان در ضرایب ۲ و ۴ نیز ضرب کرد.

۱۳-۲-۳- تجهیزات مورد نیاز

برای انجام این آزمایش، دستگاه سقوط وزنه مورد نیاز است که در فصل دهم به تفصیل درباره این دستگاه و چگونگی عملکرد آن توضیح داده شد. از این دستگاه برای تعیین شاخص t_{10} نیز استفاده می‌شود.

omoorepeyman.ir

جدول ۱۳-۱- مقدار نمونه مورد نیاز برای آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن

محدوده قطر مغزه (میلی‌متر)		طول مورد نیاز مغزه (متر)	
ماکزیمم	مینیمم	روش برش مغزه	روش خردایش و انتخاب
		در صورتی که نمونه کافی وجود نداشته باشد (نیازمند مغزه محکم با قطر کمتر از ۷۵ میلی‌متر و با شکستگی‌های کم است).	در صورتی که نمونه به مقدار زیاد وجود داشته باشد (در صورتی که نمونه شکننده یا ترد بوده یا شکستگی‌های زیاد داشته باشد، الزامی است).
۳۹٫۴	۳۲٫۳	۰٫۸	۶٫۹
۴۵٫۴	۳۹٫۵	۰٫۹	۵٫۲
۵۲٫۷	۴۵٫۵	۱٫۱	۳٫۹
۶۰٫۳	۵۲٫۸	۱٫۴	۲٫۹
۶۹٫۴	۶۰٫۴	۱٫۷	۲٫۲
۷۹٫۹	۶۹٫۵		۱٫۷
۸۹٫۱	۸۰٫۰		۱٫۳

۱۳-۲-۴- روش انجام آزمایش

به منظور انجام این آزمایش باید مراحل زیر به ترتیب اجرا شود:

- ذرات کافی از مغزه‌هایی که به چهار قسمت مساوی تقسیم شده‌اند، برای تولید ۱۰۰ ذره بریده شوند.
- ذرات بریده شده در مرحله قبل به ۵ گروه ۲۰ تایی تقسیم شوند.
- هر گروه با استفاده از دستگاه سقوط وزنه در سطوح انرژی مختلف آزمایش شود.
- در هر گروه (دو گروه با هفت نمونه و یک گروه با شش نمونه)، ذرات در سه جهت مختلف در داخل دستگاه آزمایش قرار داده شوند (در صورتی که بیست تکه نمونه در دسترس باشد). جهت‌گیری‌های یاد شده، در شکل ۱۳-۱ نشان داده شده است.
- ارتفاع باقی‌مانده وزنه اصلی (فضای خالی) برای هر ذره ثبت شود.
- بعد از خرد کردن همه ذرات در یک گروه، محصولات خرد شده با استفاده از سرندی که اندازه آن معادل یک‌دهم اندازه اولیه ذره است، سرند شوند.
- درصد جرمی عبوری از سرند یاد شده به عنوان مقدار t_{10} در همان سطح انرژی ثبت شود.

شکل ۱۳-۱- جهت‌گیری‌های مختلف ذرات نمونه برای آزمایش سقوط وزنه

omoorepeyman.ir

۱۳-۲-۵- محاسبات

انجام محاسبات از رابطه ۱۰-۲ و ۱۰-۳ انجام می‌گیرد. آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن، آزمایش دقیقی است که در آن از مغزه‌های حفاری (برای دستیابی به مشابه‌سازی ذرات با اندازه‌های نزدیک به یکدیگر) و یا از مواد خرد شده‌ای با محدوده تغییرات جرمی مشخص، استفاده می‌شود. سپس ذرات در سطوح مشخص انرژی ضربه‌ای خرد می‌شوند. در این آزمایش هم اندازه ذرات و هم انرژی مصرفی برای خرد کردن آن‌ها، به دقت کنترل شود. به همین دلیل این آزمایش‌ها تکرارپذیری مثبتی دارند. در این آزمایش‌ها تغییر در اندازه بار و انرژی ورودی موثر است که اغلب ثابت در نظر گرفته می‌شوند. آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن برای اجرای پروژه‌های جدید کارخانه‌های خردایش یا بهبود شرایط عملیاتی کارخانه‌های در حال کار، قابل انجام است. آزمایش‌های خردایش آسیای نیمه‌خودشکن برای دریافت اطلاعات مفید در مورد خروجی مدار خردایش یا خصوصیات کانسنگ بعد از عملیات آتشباری خیلی سریع انجام می‌گیرد. در صورت وجود تیپ‌های مختلف کانسنگی بر روی هر نوع کانسنگ یک آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن انجام شود. برخی مزایای آزمایش خردایش آسیای نیمه‌خودشکن سریع عبارتند از:

- مقدار کمی از نمونه (در حد چند کیلوگرم) لازم است.
- مغزه و یا حتی کلوخه کانسنگ برای انجام آزمایش مناسب است و صرف زمان زیادی برای آماده‌سازی نمونه‌ها لازم نیست.
- نتایج حاصل از این آزمایش برای پیش‌بینی خروجی مدار خردایش و همچنین مشخصات ذرات بعد از عملیات آتشباری قابل استفاده است.
- آزمایش در شرایط کنترل شده انجام می‌شود و قابلیت تکرارپذیری دارد.
- به دلیل کنترل دقیق اندازه بار ورودی و انرژی مصرفی، نتایج تحت تاثیر این تغییرات قرار نمی‌گیرد.

۱۳-۳- روش مگدالینویچ[1] در تعیین شاخص کار باند

روش تعیین شاخص کار باند برای اندازه‌گیری قابلیت خردایش کانسنگ‌ها در آسیای میله‌ای و گلوله‌ای، بسیار طولانی است. از این رو، برخی روش‌های تقریبی ارایه شده است که به کمک آن‌ها می‌توان در زمانی کوتاه و با روشی سریع، به نتایج تقریبی قابل قبول برای تعیین شاخص کار باند دست یافت.

در روش مگدالینویچ برای تعیین شاخص کار باند، تعداد مراحل آسیا از ۵ مرحله به ۲ مرحله کاهش داده شده است. اولین مرحله خردایش به منظور تعیین آهنگ آسیای مواد عبور کرده از سرند و تعیین توزیع دانه‌بندی محصول آسیا است. آهنگ آسیای حاصل در مرحله دوم آزمایش برای تعیین تعداد دور آسیا در به دست آوردن بار در گردشی معادل ۲۵۰ درصد بار ورودی به آسیا استفاده می‌شود.

۱۳-۳-۱- اهداف

هدف اصلی از این آزمایش تعیین مقادیری برای شاخص کار باند با استفاده از روش‌های سریع آزمایشگاهی و با دقت مناسب است. بنابراین این آزمایش همانند آزمایش باند است.

omoorepeyman.ir

1- Magdalinovic

۱۳-۳-۲- آماده‌سازی نمونه

در این آزمایش حدود ۵ کیلوگرم ماده معدنی استفاده می‌شود. بدین منظور با استفاده از عملیات خردایش به وسیله سنگ‌شکن و تجزیه سرندی ذرات، بار ورودی خشک با ابعاد کمتر از ۳٫۳۵ میلی‌متر تهیه می‌شود.

۱۳-۳-۳- تجهیزات مورد نیاز

در این روش از آسیای استاندارد باند با طول و قطر ۳۰۵ میلی‌متر و مقدار گلوله تعیین شده برای آسیای گلوله‌ای باند که مشخصات آن در فصل یک آمده است استفاده می‌شود.

۱۳-۳-۴- روش انجام آزمایش

در این آزمایش مراحل زیر انجام می‌شود:

الف- مانند روش باند نمونه موجود تا ابعاد زیر ۳٫۳۵ میلی‌متر خرد و دانه‌بندی آن مشخص شود.

ب- با استفاده از تجزیه سرندی و توزیع دانه‌بندی تعیین شده در مرحله قبل، اندازه F_{80} بار ورودی مشخص و ثبت شود.

پ- معادل ۷۰۰ سانتی‌متر مکعب نمونه خرد شده به عنوان بار ورودی به آسیا توزین و تحت عنوان M_0 ثبت شود.

ت- با استفاده از تقسیم‌کننده نمونه، بار ورودی جدید به دو بخش مساوی تقسیم شود (M/3.5).

ث- حدود ۴ کیلوگرم از کانسنگ بر روی سرند کنترل (با اندازه‌ای نزدیک به حد جدایش کلاسیفایر یا سرند موجود در مدار بسته با آسیا) تجزیه سرندی شده و مواد عبور کرده از سرند جدا شود.

ج- مواد باقی‌مانده روی سرند با استفاده از تقسیم‌کننده به دو بخش مساوی تقسیم شود (2.5M/3.5). این جرم که با M_C یادداشت می‌شود، بیانگر جرم بار ورودی در بخش بار در گردش است.

چ- یک قسمت از جرم محاسبه شده در مرحله قبل با یک بخش از جرم محاسبه شده در مرحله ت مخلوط شود تا بار ورودی به آسیا برای اولین مرحله آسیا تهیه شود.

ح- دو قسمت باقی‌مانده نیز به عنوان بار ورودی به دومین مرحله آسیا با هم مخلوط شوند. بار ورودی به هر دو مرحله از نظر جرم و اندازه باید مقداری مشخص و یکسان داشته باشد.

خ- نمونه اول در داخل آسیای گلوله‌ای ریخته شده و آسیا برای ۱۰۰ دور با سرعت ۷۰ درصد سرعت بحرانی تنظیم شود.

د- بعد از آسیا، کل محصول آسیا با استفاده از سرند کنترل، سرند شده و جرم مواد باقی‌مانده روی سرند توزین شود. این جرم، M_{OS}، باید در شرایطی که بار در گردش برابر ۲۵۰ درصد است، با M_C برابر باشد.

ذ- ثابت آهنگ آسیای مواد باقی‌مانده روی سرند با استفاده از روابط موجود محاسبه شود.

ر- تعداد کل دورهای آسیا در اولین مرحله خردایش (N_2) نیز از روابط محاسباتی تعیین شود.

ز- آسیا با بار ورودی دوم پر شده و برای تعداد دور گردشی معادل N_2 تنظیم شود.

ژ- پس از آسیا، کل بار داخل آسیا با استفاده از سرند کنترل، سرند شده و جرم عبور کرده از سرند و باقی‌مانده روی آن محاسبه شود. جرم باقی‌مانده روی سرند تقریبا باید برابر 2.5M/3.5 و جرم مواد عبور کرده از سرند، M_{US}، نیز باید تقریبا برابر با M/3.5 باشد.

omoorepeyman.ir

س- توزیع دانه‌بندی مواد عبور کرده از سرند تعیین و P_{80} محصول مشخص و ثبت شود.

ش- با استفاده از روابط ارایه شده در بخش محاسبات، میزان مواد عبور کرده از سرند به ازای هر دور گردش آسیا، G، در مرحله دوم آسیا محاسبه شود.

ص- در پایان با استفاده از رابطه شاخص کار باند، این شاخص محاسبه شود.

۱۳-۳-۵- محاسبات

در طول آزمایش تعیین شاخص کار باند باید در مرحله اول آسیا کردن ابتدا ثابت آهنگ آسیا کردن و تعداد کل دورهای گردش آسیا برای مرحله دوم تعیین شود. پارامترهای مورد نیاز را می‌توان با استفاده از روابط ۱۳-۱ و ۱۳-۲ محاسبه کرد:

$$k = \frac{n\left(\ln M_o - \ln M_{OS}\right)}{N} \qquad (۱-۱۳)$$

که در آن:

n تعداد دور گردش آسیا در هر دقیقه

N تعداد دور گردش آسیا در مرحله اول آزمایش (N_2)

M_{OS} جرم باقی‌مانده روی سرند بعد از آزمایش

M_0 جرم باقی‌مانده روی سرند در ابتدای آزمایش

تعداد دور گردش آسیا که برای مرحله دوم آسیا کردن لازم است از رابطه ۱۳-۲ به دست می‌آید.

$$N_2 = \frac{n\ln\left(1+0.4m_o\right)}{k} \qquad (۲-۱۳)$$

که در آن:

M_0 بخش باقی‌مانده روی سرند در بار ورودی جدید به آسیا در مرحله دوم

بعد از اتمام آزمایش جرم بخش عبور کرده از سرند کنترل در محصول آسیا به ازای هر دور گردش آسیا از رابطه ۱۳-۳ محاسبه می‌شود.

$$G = \frac{M_{US} - \frac{1}{3.5}M\left(1-m_o\right)}{N_2} \qquad (۳-۱۳)$$

با داشتن مقادیر یاد شده شاخص کار باند با استفاده از رابطه ۱۳-۴ تعیین می‌شود.

$$Wi,_{test} = \frac{89.95}{A^{0.23}G^{0.82}\left(\frac{10}{\sqrt{p_{80}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80}}}\right)} = \qquad (۴-۱۳)$$

که در آن:

$Wi_{,TEST}$ شاخص کار باند (کیلووات-ساعت بر تن)

A اندازه سرند کنترل (میکرون)

omoorepeyman.ir

در این روش مدت زمان اندازه‌گیری بسیار کاهش می‌یابد و درصورتی که کانسنگ همگن باشد، مقادیر شاخص کار به دست آمده حدود ۷ درصد روش باند است. با این وجود، در صورتی که کانسنگ از دو جز نرم و سخت تشکیل شده باشد، شرایط صحیح حاکم بر آزمایش باند به گونه‌ای است که بار در گردش از جز سخت تشکیل می‌شود. بنابراین مقدار شاخص کار آسیا کردن بزرگتری را نسبت به مدار بسته آسیا نشان می‌دهد. از آنجا که در روش مگدالینویچ بار ورودی یکسانی برای هر دو مرحله آسیا استفاده می‌شود، بخش مواد سخت در بار در گردش شبیه‌سازی نمی‌شود و شاخص کار به دست آمده از این روش کمتر از مقدار واقعی است.

نتایج به دست آمده برای هر کانسنگ در برگه‌های گزارش نتایج مشابه فصل اول ارایه می‌شود. روش تعیین شاخص کار مگدالینویچ اگر چه یک روش ساده و سریع برای تعیین شاخص کار باند است، اما ممکن است نتایج به دست آمده در همه شرایط معتبر نباشد. بنابراین توصیه می‌شود که بر اساس نوع کانسنگ، پیچیدگی کانی‌شناسی و سایر عوامل در انتخاب نوع آزمایش برای تعیین شاخص کار دقت شود. ممکن است برای کانسارهای با ترکیب کانی‌شناسی پیچیده، شاخص کار کمتری نسبت به شرایط واقعی تعیین شود که باعث بروز خطا در پیش‌بینی میزان انرژی مورد نیاز در هنگام طراحی مدار و انتخاب تجهیزات مورد نیاز شود.

۱۳-۴- روش شبیه‌سازی برای تعیین شاخص کار باند

روش تعیین شاخص کار باند برای اندازه‌گیری قابلیت خردایش کانسنگ‌ها در آسیای میله‌ای و گلوله‌ای، بسیار طولانی است و بنابراین از روش‌های تقریبی نظیر شبیه‌سازی می‌توان استفاده کرد.

۱۳-۴-۱- اهداف

هدف تعیین شاخص کار باند به روشی کوتاه‌تر و آسان‌تر به منظور استفاده در فرآیندهای شبیه‌سازی و طراحی مدار است. این روش در راستای دستیابی به اهداف اصلی آزمایش تعیین شاخص کار باند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱۳-۴-۲- آماده‌سازی نمونه

نمونه مورد نیاز برای فرآیند شبیه‌سازی مشابه آزمایش باند است که در مرحله سنگ‌شکنی تا زیر ۳۳۶۰ میکرون (زیر ۶ مش) خردایش شده است. برای آماده‌سازی نمونه، می‌توان کلوخه‌های کانسنگ را در سنگ‌شکن خرد کرد. این کار تا زمان رسیدن ابعاد محصول سنگ‌شکن به زیر ۳۳۶۰ میکرون (زیر ۶ مش) ادامه می‌یابد. با استفاده از سرند، توزیع دانه‌بندی بار ورودی تا رسیدن به این شرط بررسی می‌شود.

۱۳-۴-۳- تجهیزات مورد نیاز

برای انجام این آزمایش، آسیای استاندارد آزمایشگاهی باند مورد نیاز است. (به فصل سوم، بخش ۳-۴ مراجعه شود.)

۱۳-۴-۴- روش انجام آزمایش

مراحل انجام این آزمایش، همانند آزمایش تعیین شاخص باند است، با این تفاوت که اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی و تخمین شاخص‌های مورد نیاز از دو مرحله اول آزمایش باند تامین می‌شود.

omoorepeyman.ir

۱۳-۴-۵- محاسبات

در این روش، جرم مواد دانه درشت روی سرند کنترل، M_{OS}، پس از اولین مرحله خردایش آزمایش باند از رابطه ۱۳-۵ بـه دسـت می‌آید.

$$M_{OS} = M_0 \times M \times f(t) \qquad (۱۳-۵)$$

که در آن:

M_o جرم مواد دانه درشت روی سرند کنترل در بار ورودی اولیه آسیا

M جرم گلوله‌های آسیا

$f(t)$ تابعی از زمان آسیا کردن

از رابطه تجربی ۱۳-۶ برای تعیین قابلیت خردایش استفاده می‌شود.

$$G_{bp} = -M_o M_1 GK \qquad (۱۳-۶)$$

که در آن:

G_{bp} جرم مواد عبور کرده از سرند در هر دور گردش آسیا (گرم بر دور)

M_1 جرم بار ورودی جدید در اولین مرحله آسیا کردن

G پارامتر آسیا کردن ناپیوسته

K آهنگ آسیا کردن بار ورودی جدید

آهنگ آسیا کردن بار ورودی جدید از رابطه ۱۳-۷ محاسبه می‌شود.

$$K = \frac{2.5}{3.5}\left[\frac{G'}{R_o G'} - 1\right] + 1 \qquad (۱۳-۷)$$

که در آن:

G' پارامتر آسیا کردن بار در گردش

R_0 ضریب بدون واحد مربوط به کسر ذرات درشت‌تر از سرند

در عمل، K برابر واحد در نظر گرفته می‌شود. سرانجام شاخص کار با استفاده از رابطه تجربی ۱۳-۸ به دست می‌آید.

$$W_i = 2.648 P_1^{0.406} \left(-G_2\right)^{-0.810} \left(R_o M_1\right)^{-0.853} \left(1 - R_o\right)^{-0.099} \qquad (۱۳-۸)$$

که در آن:

G_2 پارامتر قابلیت آسیا کردن حاصل از مرحله دوم خردایش

P_1 اندازه‌ای است که ۸۰ درصد محصول در اولین مرحله از آن عبور می‌کند.

مقادیر اندازه‌گیری شده G (گرم بر دور) با استفاده از این روش برای کانسنگ‌های نرم بیشتر از مقادیر انـدازه‌گیـری شـده و بـرای کانسنگ‌های سخت کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است که موجب بروز خطا در تخمین انرژی مصرفی برای خردایش ذرات می‌شود.

omoorepeyman.ir

فصل ۱۴

دستورالعمل انجام آزمایش با آسیاهای غلتکی فشار قوی

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۴-۱- آشنایی

آسیاهاي غلتکي فشار قوي به دليل مصرف بهينه انرژی، افزايش ريزترک‌ها و آزادسازی ترجيحی ذرات علاوه بر ميزان توليد و نسبت خردايش بالا در خردايش کانسنگ‌های سخت در مدارهای فرآوری استفاده شده است. از اين آسياهادر صنعت سيمان براي آسيا کردن کلينکر، سنگ آهک، سرباره و ديگر مواد نسبتا غيرساينده نيز استفاده مي‌شود. علت اصلي استفاده از HPGR مصرف انرژي پايين (تا ۳۰ درصد براي مواد معدني و تا ٤۰ درصد براي سيمان) در مقايسه با آسياها و سنگ‌شکن‌هاي متداول است (شکل ۱٤-۱).

شکل ۱۴-۱- نمایی از دستگاه HPGR در کارخانه گندله‌سازی

علت کاهش مصرف انرژي، بارگيري نسبتا يکنواخت مواد در منطقه فشار است در حالي که بارگيري در سنگ‌شکن‌ها و به ويژه آسياهاي گردان بسيار متغير است. کارآمدترين مکانيزم شکست از لحاظ انرژي، عملکرد آهسته فشار بر روي ذرات است که باعث گسيختگي ساختاري آن‌ها مي‌شود و در اين حالت اتلاف انرژي به صورت گرما و صدا به حداقل مي‌رسد. شکل ۱٤-۲ مکانيزم خرد شدن در دستگاه‌های مختلف خردايش را نشان می‌دهد. آزمايش آسياهاي غلتکي فشار قوي به دو روش زير انجام می‌شود:

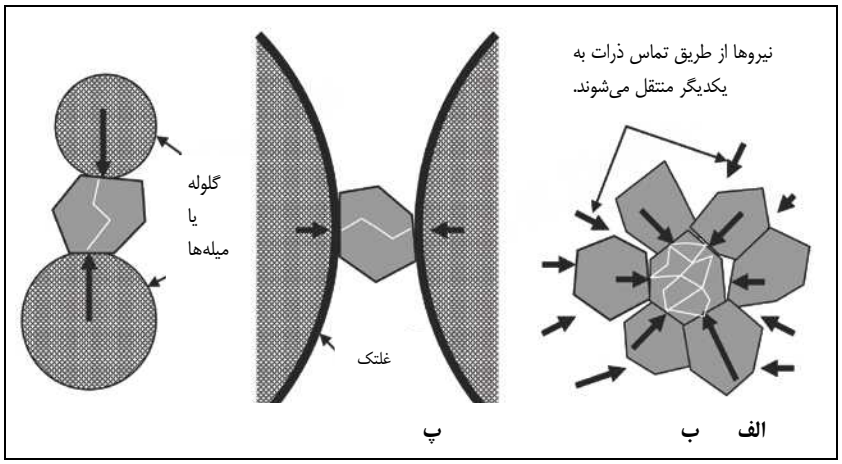
الف- واکنش انرژی کانسنگ به HPGR

در اين حالت معمولا شش آزمايش به منظور دستيابی به مشخصات موثر کانسنگ در فشارهای عملياتی مختلف انجام می‌گيرد. هدف از اين آزمايش، دستيابی به بهترين خردايش در واکنش به انرژی است. انرژی مخصوص ورودی معمولا در محدوده ۱ تا ٤ کيلووات-ساعت بر تن است که متناظر با نيروی مخصوصی در محدوده ۲ تا ٦ نيوتن بر ميلی‌متر مربع است.

ب- واکنش به تغييرپذيری کانسنگ

آزمايش‌هاي تغييرپذيری کانسنگ بر روی انواع زيادی از کانسنگ‌ها انجام می‌گيرد تا واکنش نسبی کانسنگ به شرايط يکسان فرآيند HPGR ارزيابی شود. شرايط آزمايش از داده‌هاي پيشين يا در حالت بهينه انتخاب و برای ساير آزمايش‌ها حفظ می‌شود.

omoorepeyman.ir



شکل ۱۴-۲-الف- مقایسه نیروهای خردایش درHPGR، ب-آسیاهای غلتکی متداول،پ- آسیاهای گلوله‌ای یا میله‌ای

۱۴-۲- اهداف

هدف از این آزمایش، تعیین خواص سایشی کانسنگ‌های مختلف است. پارامترهای کلیدی که از آزمایش HPGR به دست مي‌آید عبارتند از:

- آهنگ تولید مخصوص ماده معدنی خرد شده
- نیروی فشاری مخصوص که برای دستیابی به ابعاد مشخص باید به کار رود.
- میزان انرژی مخصوص مصرفی به ازاي واحد سطح
- توان مورد نیاز در شرایطي که ظرفیت تولید و اندازه غلتک‌ها مشخص باشد.

شاخص سایشی به دست آمده در این آزمایش مربوط به شرایط فرسایشی دستگاه آزمایشگاهی و فولاد آلیاژي سخت نیکلي است و آهنگ فرسایش را در شرایط افزایش مقیاس صنعتی نشان نمی‌دهد. برای تخمین طول عمر سطوح ضد سایش غلتک‌های صنعتی برای یک کانسنگ خاص، این شاخص باید افزایش مقیاس شود.

۱۴-۳- آماده‌سازی نمونه

در این آزمایش میزان نمونه پیشنهادی برای هر بار عبور از میان غلتک‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ کیلوگرم است. نمونه باید تا ابعاد زیر ۹٫۵ میلی‌متر (یا کمتر، در صورت نیاز، برای مثال تا زیر ۶٫۷ میلی‌متر) خرد شود.

۱۴-۴- تجهیزات مورد نیاز

براي انجام این آزمایش، از دستگاه آزمایشگاهی کروپ پولیسیوس[1] (شکل ۱۴-۳) استفاده مي‌شود. در این آزمایش حرکت بار در قیف دستگاه (با ظرفیت ۸۰ کیلوگرم) کنترل تا بار با آهنگ ثابتی به دستگاه وارد شود.

omoorepeyman.ir

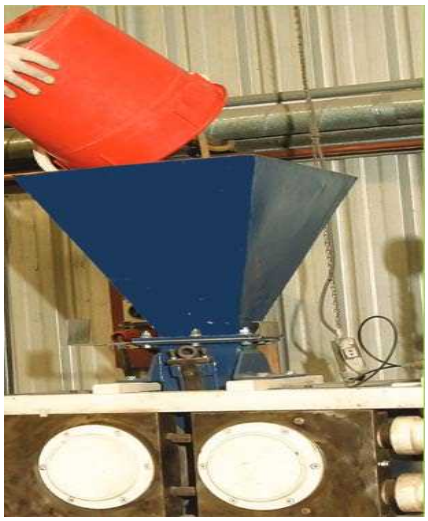
1- Krupp polysius

شکل ۱۴-۳- HPGR در مقیاس آزمایشگاهی

۱۴-۵- روش انجام آزمایش

این آزمایش طي مراحل زیر انجام مي‌شود:

- قبل از انجام آزمایش باید وزن غلتک‌ها تعیین و ثبت شود.
- بر روی یک نمونه معرف از نمونه‌های ورودی، تجزیه سرندی انجام شده و چگالی حجمی آن اندازه‌گیری شود.
- نمونه آماده شده از طریق قیف به دستگاه باردهي شود (شکل ١٤-٤).
- پس از خرد شدن مواد درون دستگاه و خالی شدن قیف، دستگاه خاموش و توزیع دانه‌بندی محصول و میزان جدایش[1] آن، تعیین شود.
- پس از انجام تجزیه سرندی در مرحله قبل، چگالی مواد خروجی از آسیا تعیین شود.
- سرانجام پس از انجام هر مرحله از آزمایش، غلتک‌ها باید توزین و وزن جدید آن‌ها ثبت شود.



شکل ۱۴-۴- نحوه باردهی در دستگاه کروپ پولیسیوس

omoorepeyman.ir

1- De-agglomeration

۱۴-۶- محاسبات

آهنگ مخصوص فرسایش به صورت نسبت کاهش وزن استوانه‌ها به مقدار مواد خرد شده بیان می‌شود. در واقع برای تعیین میزان سایش ذرات مختلف از رابطه ۱۴-۱ استفاده می‌شود.

$$A = \frac{\Delta M}{Q_t} = \frac{M_0 - M'}{Q_t} \qquad (۱-۱۴)$$

که در آن:

A آهنگ سایش ویژه

M_0 جرم اولیه

M' جرم نهایی پس از انجام تمام مراحل آسیا کردن مربوط به غلتک‌ها (گرم)

Q_t وزن کل مواد خرد شده (تن)

نتایج به دست آمده از این آزمایش در انتخاب نوع آسیا برای خردایش کانی‌های مختلف بر اساس میزان سایش آن‌ها و به ویژه در انتخاب نوع آسیاهای غلتکی فشار قوي استفاده مي‌شود. جدول ۱۴-۱ آهنگ فرسایش برخی از کانسنگ‌ها را نشان مي‌دهد. در صورتی که آهنگ فرسایش بیش از ۴۰ گرم بر تن باشد، کانسنگ مورد نظر به عنوان بسیار ساینده محسوب و در صورتي که بین ۱۰ تا ۴۰ باشد به عنوان مواد با ساینگی متوسط در نظر گرفته می‌شوند.

جدول ۱۴-۱- آهنگ فرسایش برخی از کانسنگ‌ها

کانسنگ	آهنگ فرسایش (g/t)
کیمبرلیت	بیشتر از ۶ و در اغلب موارد بیشتر از ۲۰
کانسنگ آهن کلوخه‌ای	۱۰ تا ۱۵
کانسنگ مس/طلا	بسیار ساینده: بیشتر از ۴۰ متوسط: ۱۰ تا ۴۰ ساینگی کم: کمتر از ۱۰

omoorepeyman.ir

فصل ۱۵

دستورالعمل تعیین منحنی بازدهی سرندها و کلاسیفایرها

omoorepeyman.ir

omoorepeyman.ir

۱۵-۱- آشنایی

سرندها و کلاسیفایرها کاربردهای زیادی در مدارهای بسته خردایش در مراحل سنگ‌شکنی و آسیا کردن دارند و کارآیی بخش خردایش کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تاثیر عملکرد این تجهیزات قرار دارد. از آنجا که حصول اطمینان از عملکرد مطلوب همه تجهیزات موجود در مدارهای فرآوری از جمله سرندها و کلاسیفایرها برای رسیدن به اهداف پیش‌بینی شده در طراحی مدارهای خردایش بسیار اهمیت دارد، بنابراین در این فصل به نحوه بررسی و ارزیابی عملکرد این تجهیزات پرداخته می‌شود. با تعیین منحنی بازدهی می‌توان عملکرد و بهینه‌سازی تجهیزات را بررسی کرد.

۱۵-۲- روش تعیین منحنی بازدهی

برای تعیین منحنی بازدهی بر اساس ابعاد، مراحل زیر انجام می‌شود:

- نمونه‌برداری از جریان‌های موجود در دستگاه طبقه‌بندی‌کننده شامل سرندها، کلاسیفایرهای مکانیکی، هیدروسیکلون‌ها و جداکننده‌های هوایی. این جریان‌ها عبارت از جریان بار وروی، جریان خروجی مربوط به محصول درشت دانه[1] و جریان خروجی مربوط به محصول دانه ریز[2]. در مورد هیدروسیکلون‌ها معمولا به جریان محصول دانه درشت، تهریز[3] و به جریان محصول دانه ریز سرریز[4] گفته می‌شود. در جداکننده‌های هوایی که بیشتر در کارخانه‌های سیمان از آن‌ها استفاده می‌شود، به محصول دانه درشت، رد شده‌ها[5] و به محصول دانه ریز، قبول شده‌ها[6] گفته می‌شود. برای آن که نمونه‌های تهیه شده، معرف عملکرد و شرایط متوسط بار ورودی کارخانه باشند، نمونه‌برداری حتما باید در شرایط پایدار و در بازه زمانی حدود دو ساعت و یا بیشتر انجام گیرد. هنگام نمونه‌برداری باید شرایط عملیاتی کارخانه شامل شدت جریان جرمی مواد در مسیرهای مختلف، چگالی پالپ و نظایر آن ثبت شود. علاوه بر این، مقدار وزن نمونه برای آن که توزیع ابعادی ذرات با خطای قابل قبول تعیین شوند باید به مقدار کافی باشد.
- تعیین توزیع ابعاد ذرات جمع‌آوری شده از جریان‌های اطراف دستگاه طبقه‌بندی‌کننده با استفاده از روش‌های مختلفی مانند تجزیه سرندی، هیدروسیکلوسایزر و روش لیزری[7]
- انجام محاسبات موازنه جرم
- تصحیح داده‌ها
- وارد کردن اطلاعات پس از تصحیح
- محاسبه کسر جرمی از بار ورودی که به بخش دانه درشت محصول منتقل شده است (ضریب توزیع).
- ترسیم مقادیر جرم بازیابی شده به محصول دانه درشت بر حسب ابعاد ذرات که منحنی بازدهی واقعی نامیده می‌شود.

1- Coarse or oversize product
2- Fines or undersize product
3- Underflow
4- Overflow
5- Rejects
6- Accepts
7- Laser particle size analyzer

omoorepeyman.ir

– تعیین مقادیر مربوط به حد جدایش واقعی (d_{50a})، مقدار بازدهی مربوط به ذرات با ابعاد نزدیک به صفر (نقطه برخورد منحنی بازدهی بر حسب ابعاد ذرات با محور قائم) و شاخص نقص[1] (I) که نشان دهنده عدم دقت جدایش به وسیله دستگاه طبقه‌بندی‌کننده است. شاخص نقص از رابطه ۱۵–۱ محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{d_{75} - d_{25}}{2d_{50c}} \qquad (۱–۱۵)$$

که در آن:

d_{75} و d_{25} به ترتیب اندازه‌ای که ۷۵ و ۲۵ درصد بار ورودی به بخش دانه درشت منتقل می‌شود.

d_{50c} حد جدایش تصحیح شده

– ترسیم مقادیر بازدهی تصحیح شده بر حسب ابعاد ذره که منحنی بازدهی تصحیح شده نامیده می‌شود. تصحیح مقادیر بازدهی شده واقعی در هیدروسیکلون‌ها با استفاده از رابطه ۱۵–۲ انجام می‌گیرد.

$$R_i^c = \frac{R_i^a - R_f}{۱ - R_f} \qquad (۲–۱۵)$$

که در آن:

R_i^c بازدهی تصحیح شده مربوط به ذرات با اندازه i

R_i^a بازدهی واقعی مربوط به ذرات با اندازه i

R_f بازدهی آب یا هر سیال دیگر به ته‌ریز هیدروسیکلون

– برازش مدل ریاضی بر اساس رابطه رزین–راملر (رابطه ۱۵–۳) به نقاط مربوط به منحنی بازدهی واقعی برای هیدروسیکلون‌ها و جداکننده‌های هوایی و تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مربوط به حد جدایش تصحیح شده، شاخص دقت یا تیزی جدایش و مقدار اتصال کوتاه که در مجموع معرف عملکرد یا بازدهی جدایش هستند.

$$R_i^a = R_f + \left(1 - R_f\right) \times \left[1 - \exp\left(-0.693 \times \left(x_i / d_{50c}\right)^m\right)\right] \qquad (۳–۱۵)$$

و

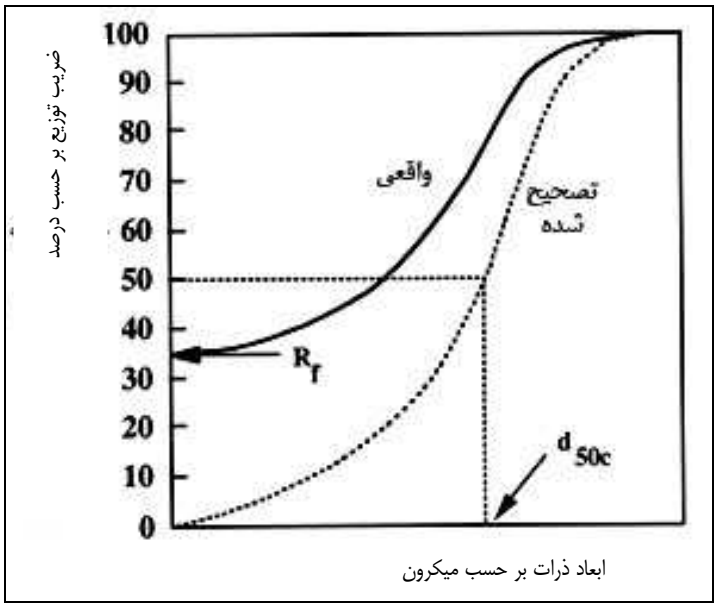
$$R_i^c = 1 - \exp\left(-0.693 \times \left(x_i / d_{50c}\right)^m\right) \qquad (۴–۱۵)$$

پارامتر m معیار خوبی یا چگونگی عملکرد هیدروسیکلون در جدا کردن ذرات ریز و درشت از یکدیگر است. هیدروسیکلونی با مقدار m بزرگتر از ۳ جدایش تیز یا دقیق دارد و مقدار m کوچکتر از ۲ نشان دهنده جدایش نامناسب و کم دقت است.

در شکل ۱۵–۱ نمونه‌ای از منحنی‌های بازدهی واقعی و تصحیح شده برای یک هیدروسیکلون نشان داده شده است. همان طور که در شکل دیده می‌شود، منحنی بازدهی تصحیح شده از مبدا مختصات می‌گذرد که این امر بیانگر بازدهی صفر ذرات بسیار ریز به ته‌ریز هیدروسیکلون است.

omoorepeyman.ir

1- Imperfection index



شکل ۱۵-۱- نمونه‌ای منحنی بازدهی واقعی و تصحیح شده برای یک هیدروسیکلون

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر ششصد عنوان ضابطه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی، نشریه و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست ضوابط منتشر شده در پایگاه اطلاع‌رسانی**nezamfanni.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

امور نظام فنی و اجرایی

Islamic Republic of Iran
Management and Planning Organization

Instruction for comminution Index in Different Mills

No. 661

Office of Deputy for Strategic Supervision
Department of Technical and Executive Affairs

nezamfanni.ir

Ministry of Industry, Mine and Trade
Deputy of Mine Affairs and Mineral Industries
Office for Mining Supervision and Exploitation
http://mimt.gov.ir

2016

omoorepeyman.ir

این نشریه

روش‌های تعیین شاخص‌های مورد استفاده در خردایش مواد معدنی در مدارهای خردایش را ارایه می‌دهد. در نشریه حاضر اطلاعات، عوامل و معیارهای مورد نظر به همراه آزمایش‌های مورد نیاز برای تعیین قابلیت خردایش کانسنگ‌ها و نحوه تحلیل نتایج به دست آمده از هر آزمایش به منظور تصمیم‌گیری در انتخاب سنگ‌شکن‌ها و آسیاها ارایه شده است.

omoorepeyman.ir