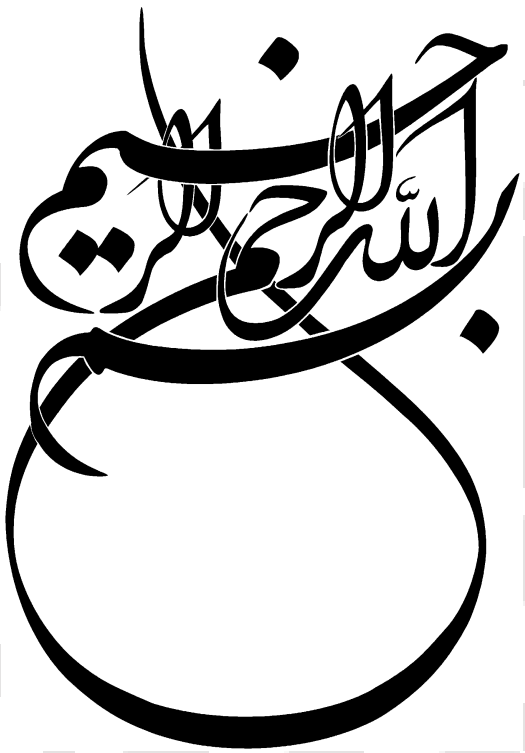

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

مقدمه‌ای بر آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مولفان
دکتر محمد نوع‌پرست
مهندس مهدی قراباغی
مهندس هادی عبداللهی

انتشارات نوآور

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۸۱

سرشناسه	: نوع‌پرست، محمد، ۱۳۳۸ـ
عنوان و نام‌پدیدآور	: مقدمه‌ای بر آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن / مولفان محمد نوع پرست، مهدی قراباغی، هادی عبداللهی.
مشخصات نشر	: تهران: نوآور، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۸ ص.: مصور، جدول.
شابک	: ۹۷۸ـ۹۶۴ـ۲۸۰۴ـ۷۳ـ۳
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۳۲۶۱۳۰

مقدمه‌ای بر آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن

مؤلفان: دکتر محمد نوع‌پرست ـ مهندس مهدی قراباغی ـ مهندس هادی عبداللهی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

حروف‌نگاری: واحد رایانه نوآور

ناظر چاپ: علی‌رضا نصیرنیا

نوبت چاپ:

قیمت:

شابک: ۹۷۸ـ۹۶۴ـ۲۸۰۴ـ۷۳ـ۳

تهران ـ خ ستارخان، بین فلکه اول صادقیه و چهارراه اسدی برج نگین،
پلاک ۱۲۸۶، طبقه ۷ واحد ۳۳، انتشارات نوآور تلفن: ۴۴۲۶۹۳۸۲

نشانی ما در اینترنت: www.noavarpub.com

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار

فصل اول / کلیات

۱-۱- مقدمه

۱-۲- تاریخچه خردایش خودشکنی

۱-۲-۱- خردایش (آسیای) خودشکن اولیه

۱-۳- ویژگی‌های خردایش خودشکنی

۱-۳-۱- مشخصات عمومی

۱-۳-۲- مشخصات اصلی کانسنگ

۱-۴- قابلیت خردایش ماده معدنی

فصل دوم / آسیای خودشکن

۲-۱- خردایش خودشکن

۲-۲- قابلیت تبدیل به خردایش نیمه‌خودشکن

۲-۲-۱- آسیاهای خودشکن تر

۲-۳- کارهای آزمایشی

۲-۳-۱- توجیه انجام آزمایش

۲-۳-۲- آزمایش‌های تعیین قابلیت بار خردکننده

۲-۳-۳- آزمایش‌های نیمه‌صنعتی

۲-۴- توان مصرفی آسیا

۲-۵- کارآیی

۲-۵-۱- بار و مدار آسیای خودشکن

فصل سوم / آسیاهای نیمه‌خودشکن

۳-۱- آسیاهای نیمه‌خودشکن تر

۳-۱-۱- بحث کلی

۳-۱-۲- ارزیابی آسیای نیمه‌خودشکن

۳-۲- آزمایش

۳-۳- مقایسه اطلاعات آزمایشی و نتایج کارخانه

فصل چهارم / آسیاهای خشک

۴-۱- مقدمه

۴-۲- سیستم آسیای آئروفال

۴-۲-۱- تشریح آسیای آئروفال

۴-۲-۲- کنترل و تغذیه سنگ معدن

۴-۲-۳- سیستم‌های جمع‌آوری

۴-۲-۴- سیستم‌های خروجی و گرم‌کننده هوا

۴-۳- آزمایش سنگ معدن

۴-۴- بزرگ‌نمایی مقیاس از اطلاعات آزمایشی

۴-۴-۱- نیرو و ظرفیت آسیا

فصل پنجم / تجهیزات مدار خودشکنی و نیمه‌خودشکنی

۵-۱- مقدمه

۵-۲- خصوصیات ساختاری آسیا

۵-۲-۱- داخل آسیا

۵-۲-۲- پوسته آسیا

۵-۲-۳- کانال ورودی به آسیا

۵-۲-۴- یاتاقان محور آسیا

۵-۳- محرک آسیا

۵-۴- شوت‌های خوراک

۵-۵- آسترهای آسیا

۵-۶- ماشین‌های نصب آستر

۵-۶-۱- دستگاه‌های حرکت‌دهنده با سرعت کم

۵-۷- سنگ‌های روی سرندی

۵-۸- سنگ‌شکنی

۵-۹- اختلاط خوراک و ذخیره

تلفن ۶۶۴۸۱۲۰۰

۶-۱۰-۲- شبکه‌های مسدود شده
۶-۱۰-۳- شبکه‌های شکسته شده
۶-۱۰-۴- تکه فلزات شکسته
۶-۱۰-۵- آب شستشو
۶-۱۰-۶- قطع انرژی و توان
۶-۱۱- نیروی کار عملیاتی و وظائف
فصل هفتم / کنترل و ابزار دقیق و تعمیر و نگهداری لازم در فرآیندهای خودشکن و نیمه‌خودشکن
۷-۱- مقدمه
۷-۲- کنترل و مانیتورینگ فرآیند
۷-۲-۱- کنترل آسیا
۷-۲-۲- ابزار کنترلی (ابزار دقیق)
۷-۲-۳- کنترل مرکزی
۷-۲-۴- سیستم‌های کنترل کامپیوتری
۷-۲-۵- انواع ابزار کنترل
۷-۲-۶- آسیای اولیه
۷-۲-۷- پمپاژ و طبقه‌بندی آسیای اولیه
۷-۲-۸- تجهیزات مدار ثانویه
۷-۳- تعمیر و نگهداری
۷-۳-۱- آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن
۷-۳-۲- پوسته آسیا
۷-۳-۳- محور
۷-۳-۴- یاتاقان‌های محور
۷-۳-۵- نیروی محرکه آسیا
۷-۳-۶- آسترگذاری آسیا
۷-۳-۷- تجهیزات جانبی مدار
فصل هشتم / کارخانه‌های فرآیندی و بررسی‌های اقتصادی
۸-۱- اطلاعات فرآیند
۵-۹-۱- خوراک‌دهی آسیا
۵-۹-۲- ابعاد محصول
۵-۹-۳- سرندهای ترومل
۵-۹-۴- سرندهای ارتعاشی
۵-۹-۵- سرندهای ثابت
۵-۹-۶- کلاسیفایر
۵-۱۰- تجهیزات طبقه‌بندی خوراک و انتقال محصول
۵-۱۱- خردایش ثانویه
۵-۱۲- تجهیزات جانبی
فصل ششم / انتخاب فلوشیت
۶-۱- مقدمه و کلیات طراحی آسیا
۶-۲- معدن پیما
۶-۳- کارخانه سیمیلکامین
۶-۴- کارخانه لورنکس
۶-۵- کارخانه مس ایسلند
۶-۶- دیاگرام جریان و جانمایی متداول
۶-۷- تجارب عملیاتی و رفع مشکلات
۶-۸- متغیرهای ثابت
۶-۸-۱- خصوصیات خوراک
۶-۸-۲- سرعت آسیا
۶-۸-۳- ابعاد گلوله و شارژ آن
۶-۸-۴- آسترهای آسیا
۶-۸-۵- سرند
۶-۸-۶- سیکلون
۶-۹- کنترل متغیرها
۶-۹-۱- نرخ خوراک‌دهی
۶-۹-۲- دانسیته پالپ آسیا
۶-۹-۳- ابعاد محصول
۶-۱۰- اختلال و مشکلات معمول فرآیند
۶-۱۰-۱- خصوصیات ماده معدنی

۸-۲- فاکتورهای اقتصادی
۸-۲-۱- هزینه‌های سرمایه‌ای
۸-۲-۲- هزینه‌های عملیاتی
۸-۳- نصب و عملکرد
مراجع
۸-۱-۱- شرکت مانگولا، مانگولا، رودزیا
۸-۱-۲-کارخانه ملی گلوله فولادی کیـواتین، مین
۸-۱-۳- شرکت سیمان لاورنس، میسیساوگا، اونتاریو

نشرنوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

پیشگفتار

خردایش مواد در هر فرآیند فرآوری، اولین مرحله عملیاتی است. از لحاظ هزینه سرمایه‌گذاری اولیه و نیز اجرائی، عملیات خردایش پرهزینه‌ترین بخش در فرآیندهای فرآوری می‌باشد. معمولاً دست‌یابی به درجه آزادی مناسب با استفاده از روش‌های سنگ‌شکنی مقدور نبوده و نیاز است تا خردایش مواد معدنی در آسیاهای گردان انجام شود. از انواع آسیاهای میله‌ای، گلوله‌ای، قلوه‌سنگی، خودشکن و نیمه‌خودشکن برای خردایش کانی‌ها استفاده می‌شود، که دراین کتاب به بررسی مقدماتی از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن پرداخته شده است.

بحث با بیان کلیات و تاریخچه خردایش خودشکنی و نیمه‌خودشکنی و ویژگی‌های این نوع خردایش‌ها آغاز می‌شود و در ادامه در فصل دوم آسیاهای خودشکن و آزمایش‌هایی که قبل از طراحی و انتخاب آنها باید مدنظر قرار گیرد، توان مصرفی و کارآیی آنها ارایه شده است. آسیاهای نیمه‌خودشکن، بررسی‌های آزمایشگاهی و پایلوت مقدم بر انتخاب آن، از مهم‌ترین مواردی است که در فصل سوم ذکر شده است. در فصل چهارم نیز آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن خشک مانند آسیاهای آئروفال، سیستم‌های مربوط به این نوع آسیاها، آزمایش‌های طراحی و نیز بزرگ‌نمایی مقیاس آنها مورد بررسی قرار گرفته است. تجهیزات آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن مانند محور، پوسته آسیا، محرک، آسترهای آسیا، نوع و سیستم خوراک‌دهی و طبقه‌بندی خوراک و محصول و سایر تجهیزات جانبی از موارد مهم دیگری است که مباحث فصل پنجم به بررسی آنها اختصاص دارد. طراحی آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، انتخاب فلوشیت و بررسی جانمایی و دیاگرام جریان‌های متداول در مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، مشکلات موجود در فرآیند و پارامترهای موثر بر عملکرد آسیا و کنترل آنها به همراه مثال‌هایی از فلوشیت‌های موفق، در فصل ششم ارایه شده است. با توجه به اهمیت کنترل و تعمیر و نگهداری پیشگیرانه در دست‌یابی به حداکثر راندمان و جلوگیری از کاهش کارآیی مدار، همواره از سیستم‌های کنترلی در مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن استفاده می‌شود. بحث کنترل و مانیتورینگ فرآیند به همراه تعمیر و نگهداری‌های لازم در مدار آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، به‌دلیل اهمیت موضوع، به‌طور جداگانه در فصل هفتم مورد بررسی قرار گرفته است. در نهایت بررسی‌های فاکتورهای اقتصادی استفاده از سیستم‌های خردایش خودشکن و نیمه‌خودشکن به‌همراه مثال‌هایی از مدارهای مورد استفاده، در فصل هشتم ارایه شده است.

این کتاب با مدنظر قرار دادن جنبه‌های عملی و مباحث تئوریکی می‌تواند توسط کارشناسان فرآوری، اپراتورهای فرآیند و دانشجویان رشته‌های فرآوری مواد معدنی و متالورژی مورد استفاده قرار گیرد. بحث‌های مربوط به محرک آسیا و بخش ابزار دقیق نیز برای استفاده مهندسان برق که در کارخانه‌های فرآوری حضور دارند، مفید خواهد بود.

در خاتمه مولفان از تمامی دوستانی که در تهیه این اثر آنان را یاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

فصل اول

کلیات

۱–۱– مقدمه

آسیای خودشکن[1]، آسیایی است که در آن خردایش ماده معدنی در اثر برخورد مستقیم بین ذرات با اندازه‌های مختلف موجود در خوراک و نیز دیواره داخلی آسیا انجام می‌شود. در این نوع آسیا، خردایش بدون استفاده از بار خردکننده خارجی صورت می‌گیرد که این موضوع یکی از تفاوت‌های اساسی این آسیاها با آسیاهای میله‌ای، گلوله‌ای و خردایش قلوه‌سنگی[2] است. بار خردکننده در خردایش قلوه‌سنگی مشتمل بر قطعات با ابعاد خاصی از خود کانسنگ و یا گاهی قطعاتی از سنگی دیگر است که به‌عنوان خردایش قلوه‌سنگی شناخته شده است. از نظر عمومی، خردایش قلوه‌سنگی شامل عملیاتی است که با استفاده از آسیاهای گردان صورت می‌پذیرد و بار خردکننده به‌جای گلوله‌های فولادی، شامل انواع قلوه‌سنگ‌ها (هم از ماده معدنی و هم از سایر مواد) است.

آسیاهای «نیمه‌خودشکن[3]» نیز همان آسیاهای خودشکن هستند، که در آنها برای افزایش نرخ کاهش ابعاد ذرات خوراک، از گلوله‌های خردکننده استفاده می‌شود و خردایش صرفاً ناشی از کنش و واکنش ذرات بر روی هم نیست. در یک آسیای نیمه‌خودشکن، ۱۰–۵ درصد حجم آسیا توسط گلوله‌ها اشغال می‌شود، در صورتی که این عدد در آسیاهای گلوله‌ای به ۴۵–۲۵ درصد می‌رسد.

در آسیاهای خودشکن/نیمه‌خودشکن درشت‌ترین ذرات خوراک، به‌عنوان بار خردکننده عمل می‌کنند، در صورتی که در آسیاهای قلوه‌سنگی، بخش میانی خوراک، بار خردکننده را تشکیل می‌دهد. عامل خردایش در آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن ترکیبی از ضربه و سایش در خلال گردش آسیا است.

1. Autogenous Mill (AG Mill)
2. Pebble Milling
3. Semi-Autogenous Mill (SAG Mill)

تلفن: ۲–۶۶۴۱۹۱۰۲

ذرات در پاشنه بار آسیا ضربه را از سقوط و سایر بارهای خردکننده دریافت می‌کنند. ذرات موجود در بدنه بار آسیا نیز از ارتفاع‌های مختلف می‌لغزند و در اثر سایش، خرد می‌شوند.

عملیات آسیاهای خودشکن/نیمه‌خودشکن شامل استفاده از بار خردکننده ارزان‌تر به‌عنوان جایگزین گلوله‌های فولادی است –که تأثیر زیادی بر سایش آسترها دارند– و از لحاظ عملیاتی ارزان‌تر خواهند بود.

در عملیات مرسوم خردایش مواد معدنی، کاهش ابعاد ذرات و آزاد کردن کانی‌های باارزش، معمولاً با استفاده از فلوشیت‌هایی که شامل دو، سه و یا چهار مرحله سنگ‌شکنی است، انجام می‌گیرد. سنگ‌شکنی با یک تا سه مرحله آسیا، با استفاده از ترکیب‌های مختلفی از آسیاهای میله‌ای، گلوله‌ای و یا قلوه‌سنگی دنبال می‌شود. در این بخش به تشریح عملیات خردایش با استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، به‌عنوان مرحله اصلی فرآیند خردایش می‌پردازیم. خروجی سنگ‌شکن اولیه و یا در بعضی مواقع مواد استخراج شده مستقیماً به مدار خردایش آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن وارد می‌شود. تولید محصول نهایی ممکن است در یک مرحله خردایش، در یک مسیر بسته و با کمک یک وسیله طبقه‌بندی انجام گیرد، یا در چند مرحله و با استفاده از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن، به‌عنوان آسیاهای اولیه و آسیاهای قلوه‌سنگی و گلوله‌ای، به‌عنوان آسیاهای ثانویه انجام پذیرد. در برخی عملیات، بخشی از خروجی آسیای اولیه، در یک مرحله میانی، در مداری که خودشکن–گلوله‌ای– سنگ‌شکن[1] نامیده می‌شود، خرد می‌شود. فلوشیت‌های متفاوت زیادی وجود دارد، اما عمومی‌ترین و مهم‌ترین آنها خردایش ماده معدنی ذخیره شده، توسط آسیا و با استفاده از فیدر و سیستم نوار نقاله، سرند، پمپ و کلاسیفایر است. خردایش به‌وسیله آسیاهای خودشکن در فرآیندهای خشک و تر به‌کار برده می‌شود، اگرچه امروزه فرآیند تر، به روش خشک ترجیح دارد.

برای ارزیابی امکان استفاده از خردایش خودشکنی یا نیمه‌خودشکنی در هر مورد خاص، تأکید زیادی بر انجام آزمایش‌های مورد نیاز شده است. در این باره فاکتورهایی که باید جهت دست‌یابی به معیارهای طراحی مناسب این نوع مدار خردایش مدنظر قرار گیرند، با جزئیات کامل مورد بحث قرار گرفته‌اند. با بررسی نتایج حاصل از این آزمایش‌ها، کاربرد موفقی برای این نوع خردایش نتیجه می‌شود؛ بنابراین ارزیابی دقیق نتایج آزمایش‌ها و استفاده از روش عملی مهندسی در طراحی فلوشیت و انتخاب تجهیزات بسیار مهم است.

در مقایسه با تجهیزات مورد نیاز در فلوشیت‌های مرسوم، فلوشیت‌هایی که از آسیاهای خودشکن و نیمه‌خودشکن استفاده می‌کنند، مراحل فرآیندی کمتری نیاز دارند و این امر سبب توسعه آنها شده است. همچنین پتانسیل کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی، مزیتی برای این مدارها محسوب می‌شود.

در سال‌های اخیر این آسیاها به‌طور موفقیت‌آمیزی جایگزین مدارهای مرسوم آسیاهای گلوله‌ای و میله‌ای شده‌اند. در استرالیا تعداد آسیاهای خودشکن/نیمه‌خودشکن از ۶ دستگاه در سال ۱۹۸۴ به بیش از

1. Autogenous-Ball Mill-Crusher (ABC)

۴۰ دستگاه در سال ۱۹۸۹ افزایش یافته است. تعداد آسیاهای نصب شده در جهان در این سال، حدود ۴۷۱ دستگاه بود که البته از آن زمان تاکنون نیز همواره در حال افزایش است. یکی از مهم‌ترین جذابیت‌های این آسیاها امکان حذف حداقل یک مرحله سنگ‌شکنی از مدارهای مرسوم است که سبب کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای در طراحی کارخانه خواهد شد. آسیاهای نیمه‌خودشکن برای خردایش کانسنگ‌های طلا و مس –که کوارتز، سنگ‌های فوق بازیک و یا سایر کانسنگ‌ها، میزبان آنها هستند– به‌طور گسترده‌ای استفاده شده‌اند. اندیس کار باند این کانسارها در محدوده ۱۴–۱۲ کیلو وات ساعت بر تن متغیر است. متعاقباً کاربرد آسیاهای نیمه‌خودشکن، برای خردایش کانسنگ‌های نرم‌تر؛ نظیر بوکسیت و کانسنگ‌های رسی طلا نیز گسترش یافته است.

۱–۲– تاریخچه خردایش خودشکنی

خردایش خودشکنی که در آن خردایش ماده معدنی بدون استفاده از قطعات فلزی یا غیرفلزی صورت می‌گیرد، دارای قدمت زیادی در فرآوری مواد معدنی است. اگرچه زمان استفاده از خردایش خودشکنی به اوایل سال‌های فرآوری مواد معدنی، یعنی زمانی که آسیاهای گردان برای اولین بار مورد استفاده قرار گرفتند، برمی‌گردد، انگیزه فراوانی در استفاده از این نوع خردایش در دهه‌های اخیر ایجاد شده است. مروری بر جنبه‌های تاریخی خردایش خودشکنی، امکان بررسی نحوه توسعه و پیشرفت انواع مختلف آسیاها و فرآیندها را فراهم می‌کند. قبل از استفاده از آسیاهای میله‌ای و چند سال بعد از توسعه سیستم خوراک‌دهی پیوسته به آسیاهای گردان، این آسیاها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تاریخ استفاده از این نوع خردایش، همواره با تاریخ معدن‌کاری همراه بوده است. تمام رویدادهای مهم توسعه خردایش خودشکنی، به‌جز یک مورد –که در مورد کانسنگ نقره رخ داده– مربوط به معادن طلا است. مشابه بسیاری از ویژگی‌های دیگر فرآوری پیشرفته مواد معدنی، در صورتی که استخراج طلا در گذشته، مانند زمان حال بخش کوچکی از معدن‌کاری می‌بود، توسعه خردایش خودشکنی تا حد زیادی کند می‌شد؛ در واقع می‌توان ادعا کرد که طلا اسرار خردایش «سنگ روی سنگ[1]» را آشکار نمود.

در گذشته، کانسنگ طلا ابتدا در باتری‌های استامپی[2] خرد شده و سپس برای آمالگاسیون روی صفحات مسی –که با جیوه پوشانده شده بود– ریخته می‌شد. در سال ۱۸۹۰ فرآیند سیانوراسیون طلا توسط مک آرتور[3] و فارست[4] برای انحلال طلا در محلول رقیق قلیایی سیانور، معرفی شد. با خردایش بیش‌تر کانسنگ، طلای بیش‌تری در مقایسه با روش آمالگاسیون به‌دست می‌آمد.

آسیاهای گردان، انتخاب مناسبی برای خردایش محصولات درشت استامپ بود. بسیاری از آنها از نوع آسیاهای لوله‌ای دریچه‌ای بودند و بیش از ۱۰۰۰ دستگاه از آنها در بین سال‌های ۱۹۰۷ تا ۱۹۱۳ به بازار

1. Rock-on-Rock
2. Stamp Batteries
3. McArthur
4. Forrest

تلفن: ۲–۶۶۴۱۹۱۸۴

عرضه شدند. قطر این آسیاها معادل ۵، ۵/۵ و ۶ فوت و طول آنها ۲۰ تا ۲۲ فوت بوده که در این میان، آسیاهای با قطر ۵ فوت و طول ۲۲ فوت، از بقیه مرسوم‌تر بودند. واژه آسیای لوله‌ای، به شکل آسیا مربوط نمی‌شد، بلکه این واژه شامل تمام آسیاهای گردان بود که از قلوه‌سنگ‌های خردکننده استفاده می‌کردند. فلینت یا سنگ‌های چرت که در سواحل دانمارک و نروژ یافت می‌شدند، احتمالاً بادوام‌ترین و مقاوم‌ترین بار خردکننده در برابر سایش برای آسیاهای گردان بودند. آنها به مقدار زیادی در آسیاهای لوله‌ای مورد استفاده قرار می‌گرفتند.

آسترهای اولیه آسیاها نیز همگی از بلوک‌های سیلیس یا قطعات فلینت دانمارک بودند، که به کمک سیمان پرتلند، نصب می‌شدند. سنگ‌های مقاوم محلی یا چدن مقاوم بعداً مورد استفاده قرار گرفتند. آسترهای چدن، لیفترها را حمل می‌کردند، اما به پوسته آسیا[1] پیچ نشده بودند. اولین آسترهای فلزی دندانه‌دار (لیفتر به‌صورت پیوسته با لاینر) جهت جلوگیری از لغزش قلوه‌سنگ‌ها در آسیا در سال ۱۹۰۵ در ال اورو[2] مکزیک مورد استفاده قرار گرفتند. این موارد و همچنین موارد فوربس[3]، کوماتا[4]، تونوپاه[5] و نوع آزبورن[6] طی پنج سال در آفریقای جنوبی گسترش یافتند و در کاهش سایش و فرسودگی آستر بسیار موفق بودند. عمر آسترها معمولاً دو سال بود و آسترهای سیلیسی با عمر برابر و یا حتی بیش‌تر، قیمت کم‌تری داشتند.

اولین آزمایش‌های خردایش با آسیای خودشکن در اواخر قرن نوزدهم، هنگامی که آسیاهای گردان برای اولین بار در مدارهای فرآوری مواد معدنی مطرح شد، گزارش شده است. با تجهیزات موجود در آن زمان، خردایش با آسیای گلوله‌ای بسیار مقرون به صرفه بود. «کنت ال گراهام[7]» اولین کسی بود که از آسیای خودشکن استفاده کرد. او در سال ۱۹۰۷ در معدن شرکت گلدن هویس دیپ[8] در نزدیکی ژوهانسبورگ[9]، آزمایش مقایسه‌ای بر روی دو آسیای لوله‌ای انجام داد. در یکی از آسیاها تکه‌هایی از کانسنگ طلا یا بانکت[10] و در دیگری قلوه‌سنگ‌های وارداتی دانمارکی، بار خرد کننده را تشکیل می‌دادند. او اولین گزارش خردایش خودشکنی را منتشر کرد. در این آزمایش که ۸۱ روز به طول انجامید، قلوه‌سنگ‌های از جنس ماده معدنی، صرفه‌جویی آشکاری نسبت به قلوه‌سنگ‌های سیلیسی دانمارکی نشان دادند.

مقاله گراهام همچنین ابتکار بی چیو[11] در معادن کرون دیپ[12] را –که در آن برای اولین بار، یک سرند

1. Mill Shell
2. El Oro
3. Forbes
4. Komatah
5. Tonopah
6. Osborne
7. Kenneth L. Graham
8. Geldenhuis Deep
9. Johannesburg
10. Banket
11. B. Chew
12. Crown Deep

نشر نوآور
تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

ترومل[1] به خروجی آسیا متصل شد- نیز توصیف می‌کند. اولین گزارش در مورد خردایش خودشکن که در خارج از آفریقای جنوبی به چاپ رسید، تشریح آزمایش گراهام در انتشارات معدنی و علوم بود. استفاده از تخلیه شبکه‌ای در این دوره توصیف شد. خبر این آزمایش موفقیت‌آمیز بر روند استفاده از این نوع خردایش، تأثیر بسزایی داشت، به‌طوری که تا پایان سال ۱۹۰۸ تعداد آسیاهای لوله‌ای در راند[2] آفریقای جنوبی از ۷۲ دستگاه به ۱۲۰ دستگاه افزایش یافت. احتمالاً بیش‌تر این مدارها در صورت وجود، اکنون از آسیاهای خودشکن استفاده می‌کنند.

در آفریقای جنوبی، فرآیند خودشکن با نام قدیمی آن، یعنی آسیای قلوه‌سنگی شهرت یافت، در حالی که این نام، خردایش با قطعات خود کانه و خردایش با قلوه‌سنگ‌های خارجی را از هم متمایز نمی‌کرد؛ بنابراین برای روشن بودن تفاوت این دو در آن زمان، روش اول، خردایش قلوه‌سنگی (سنگی) نامیده می‌شود.

اولین مرحله تاریخی در توسعه همان بود که امروزه به‌عنوان آسیای خودشکن ثانویه یا آسیای قلوه‌سنگی مطرح شده و در آن قطعاتی از ماده معدنی با قطر ۲ تا ۴ اینچ، خوراک را به‌گونه‌ای خرد می‌کردند که ابعاد تمام آنها از $\frac{1}{8}$ اینچ کوچک‌تر باشد. مرحله بعدی توسعه که امروزه به خودشکنی میانی معروف است، شامل استفاده از تعداد بیش‌تری قطعات حدوداً ۵ اینچی برای خردایش کانه تا حدی بود که بتوان از آن به‌عنوان خوراک آسیای میله‌ای و یا حتی کوچک‌تر از آن استفاده کرد. این روش، در راند و سایر مناطقی که در آنها سرندهایی با چشمه‌های درشت، برای افزایش ظرفیت آسیا به‌کار می‌رفتند، گسترش یافت. در موارد بسیاری، از آسیاهای خودشکن ثانویه و میانی برای افزایش ظرفیت خردایش با مدارهای آسیاهای گلوله‌ای و آسیای میله‌ای-آسیای گلوله‌ای، جایگزین شده‌اند. سومین مرحله توسعه، به‌کارگیری آسیای خودشکن تر اولیه بود. در این روش کانسنگ استخراجی و محصول سنگ‌شکن اولیه با هم، خوراک آسیای خودشکن را تشکیل می‌دادند. این شیوه سال‌ها بعد، جداگانه در آمریکا و آفریقای جنوبی توسعه یافت.

چهارمین و آخرین مرحله توسعه، استفاده از آسیای اولیه خشک است که در آمریکا و کانادا گسترش یافت. نکته قابل توجه این است که مراحل چهارگانه فوق، همه از معدن‌کاری طلا سرچشمه گرفته‌اند.

اولین استفاده تجاری از خردایش خودشکنی در خارج از راند، در سال ۱۹۱۲ در معدن طلای سانتا گرترادیس[3] در پاچوکا[4] واقع در ۵۵ مایلی شمال شرقی مکزیکوسیتی رخ داد و با نصب و راه‌اندازی در گلد فیلدز[5] نوادا در سال ۱۹۱۵-۱۹۱۴ ادامه یافت. اولین فردی که نام او با خردایش خودشکنی در خارج از راند مطرح شد، «هوگ روز[6]»، مدیر سانتا گرترادیس بود.

1. Trommel
2. Rand
3. Santa Gertrudis
4. Pachuca
5. Gold Feilds
6. Hugh Rose

تلفن: ۲-۸۴۱۹۱-۶۶