

کاربرد مایکروویو در فرآوری مواد معدنی

Application of Microwave in Mineral Processing

تالیف:

دکتر سید محمدجواد کلینی

(دانشیار دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر بهزاد شهبازی

(کارشناس مسئول آزمایشگاه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس)

سرشناسه:

کلینی، سید محمدجواد، ۱۳۳۶

عنوان و نام پدید آور:

کاربرد میکروویو در فرآوری مواد معدنی/تالیف سید محمدجواد

مشخصات نشر:

تفرش، دانشگاه تفرش، ۱۳۹۶

مشخصات ظاهری:

ج.، مصور، جدول، نمودار

شابک:

۹۷۸-۹۶۴-۶۲۴۴-۸۰-۱

یادداشت:

چاپ اول: ۱۳۹۶

موضوع:

فرآوری مواد معدنی

موضوع:

فرآوری مواد معدنی—راهنمای آموزشی (عالی)

شناسه ورود

شهبازی، بهزاد، ۱۳۵۵

رده بندی کنگره:

رده بندی دیویی:

شماره کتابشناسی ملی

عنوان کتاب: کاربرد میکروویو در فرآوری مواد معدنی

ناشر: انتشارات دانشگاه تفرش

مولفان: دکتر سید محمدجواد کلینی و دکتر بهزاد شهبازی

شمارگان: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۲۵۰۰۰۰ ریال

نوبت چاپ: اول

چاپ و صحافی:



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشگاه تفرش

Email: nashr@tafreshu.ac.ir انتشارات دانشگاه تفرش:

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه تفرش محفوظ است.

فصل اول: اصول، تئوری و کاربردهای مایکروویو

۱	۱-۱- آشنایی با مایکروویو
۳	۱-۲- تئوری ماکروویو
۵	۱-۳- رفتار مواد در میدان مایکروویو
۸	۱-۴- عمق نفوذ مایکروویو
۱۰	۱-۵- بازتابش، عبور و جذب مایکروویو
۱۱	۱-۶- انواع ممکن‌های مایکروویو
۱۱	۱-۶-۱- حالت پخش
۱۲	۱-۶-۲- گرمکن‌های سطحی، حالت
۱۲	۱-۶-۳- گرمکن‌های چینه‌ای، حالت
۱۴	۱-۷- ساز و کار تولید گرمایی مایکروویو
۱۵	۱-۷-۱- هدایت یونی
۱۶	۱-۷-۲- چرخش دو قطبی
۱۶	۱-۸- مقایسه گرمایش متداول و مایکروویو
۱۸	۱-۹- عوامل موثر بر نحوه جذب انرژی مایکروویو
۱۸	۱-۹-۱- تاثیر مشخصات ماده معدنی بر نحوه جذب انرژی مایکروویو
۱۸	۱-۹-۱-۱- تاثیر حجم و سطح مواد بر نحوه جذب انرژی مایکروویو
۲۱	۱-۹-۱-۲- تاثیر تمرکز گرمایش بر نحوه جذب انرژی مایکروویو
۲۲	۱-۹-۱-۳- تاثیر خصوصیات دی الکتریک کانی‌ها در میدان مایکروویو
۲۳	۱-۹-۱-۴- تاثیر کانی‌شناسی و اندازه دانه‌ها بر عمل‌آوری مایکروویو
۲۴	۱-۹-۱-۵- تاثیر سایر مشخصات نمونه بر نحوه جذب مایکروویو
۲۵	۱-۹-۲- تاثیر مشخصات دستگاه گرمکن بر نحوه جذب انرژی مایکروویو
۲۵	۱-۹-۲-۱- تاثیر محل قرار گرفتن نمونه در گرمکن
۲۶	۱-۹-۲-۲- تاثیر ابعاد و هندسه گرمکن
۲۶	۱-۹-۲-۳- تاثیر سینی گردان
۲۶	۱-۹-۲-۴- تاثیر همزن‌های امواج

- ۱-۱- اندازه‌گیری دما در تابش مایکروویو ۲۶
- ۱-۱-۱- حد مجاز پرتوگیری مایکروویو ۲۸
- ۱-۱۲- کاربردهای صنعتی مایکروویو ۲۸
- ۱-۱۳- مزایا و معایب مایکروویو ۳۰
- ۱-۱۴- خلاصه فصل اول ۳۲
- ۱-۱۵- منابع فصل اول ۳۴
- ۱-۱۶- منابع تکمیلی فصل اول ۳۴

فصل دوم: عمل‌آوری حرارتی متداول در فرآوری مواد معدنی

- ۱-۲- آشنایی با عمل‌آوری حرارتی متداول ۳۷
- ۲-۲- استفاده از عمل‌آوری حرارتی متداول در خردایش ۳۸
- ۱-۲-۲- تأثیر عمل‌آوری حرارتی متداول بر درجه آزادی کانی‌ها ۳۸
- ۲-۲-۲- سرد کردن سریع نمونه عمل‌آوری شده ۳۹
- ۳-۲-۲- بررسی انتخابی ۴۰
- ۳-۲- استفاده از عمل‌آوری حرارتی متداول در جدایش مغناطیسی ۴۰
- ۴-۲- استفاده از عمل‌آوری حرارتی متداول در تکتلیس ۴۱
- ۱-۴-۲- کوره‌های تک محفظه‌ای ۴۲
- ۲-۴-۲- کوره‌های دو محفظه‌ای ۴۴
- ۳-۴-۲- کوره‌های دوار ۴۵
- ۵-۲- خلاصه فصل دوم ۴۶
- ۶-۲- منابع فصل دوم ۴۷
- ۷-۲- منابع تکمیلی فصل دوم ۴۸

فصل سوم: کاربرد مایکروویو در خردایش مواد معدنی

- ۱-۳- آشنایی با فرآیند خردایش ۴۹
- ۲-۳- نحوه شکست ذرات توسط عمل‌آوری مایکروویو ۵۱
- ۳-۳- تولید و توسعه ریز شکاف‌ها با عمل‌آوری مایکروویو ۵۴
- ۴-۳- افزایش درجه آزادی با عمل‌آوری مایکروویو ۵۶
- ۵-۳- افزایش قابلیت خردایش مواد معدنی با عمل‌آوری مایکروویو ۵۷
- ۱-۵-۳- کاهش مقاومت مکانیکی کانسنگ در آزمایش‌های بار نقطه‌ای ۵۷

- ۶۰-۲-۵-۳- کاهش مقاومت مکانیکی کانسنگ در آزمایش‌های سقوط وزنه
- ۶۰-۱-۲-۵-۳- کانسنگ کربناته مس
- ۶۱-۲-۲-۵-۳- کانسنگ آهن
- ۶۶-۳-۵-۳- تاثیر میکروویو در آهنگ شکست ذرات
- ۷۰-۴-۵-۳- تاثیر میکروویو در انرژی مصرفی در خردایش
- ۷۳-۶-۳- تاثیر میکروویو در خردایش کانسنگ‌های مختلف
- ۷۳-۱-۶-۳- خردایش کانسنگ مس با عمل‌آوری میکروویو
- ۷۴-۱-۱-۶-۳- خرد و آسیا کردن کانسنگ مس
- ۷۷-۲-۱-۶-۳- بررسی درجه آزادی کانی‌ها در کانسنگ مس
- ۸۷-۲-۶-۳- خردایش کانسنگ سرب و روی با عمل‌آوری میکروویو
- ۸۸-۳-۶-۳- خردایش کانسنگ آهن با عمل‌آوری میکروویو
- ۸۸-۴-۶-۳- خردایش کانسنگ طلا با عمل‌آوری میکروویو
- ۸۹-۵-۶-۳- خردایش کانسنگ ایلیمینیت با عمل‌آوری میکروویو
- ۸۹-۶-۶-۳- خردایش کانسنگ با عمل‌آوری میکروویو
- ۹۲-۷-۳- خلاصه فصل سوم
- ۹۴-۸-۳- منابع فصل سوم
- ۹۵-۹-۳- منابع تکمیلی فصل سوم

فصل چهارم: کاربرد میکروویو در جدایش مغناطیسی مواد معدنی

- ۱۰۱-۱-۴- آشنایی با کاربرد میکروویو در جدایش مغناطیسی
- ۱۰۲-۲-۴- کلیاتی در مورد روش‌های متداول جدایش مغناطیسی مواد معدنی
- ۱۰۵-۳-۴- جدایش مغناطیسی مواد معدنی پس از عمل‌آوری میکروویو
- ۱۱۰-۱-۳-۴- بهبود جدایش مغناطیسی کانسنگ‌های آهن
- ۱۱۸-۲-۳-۴- بهبود جدایش مغناطیسی کانسنگ‌های مس
- ۱۱۹-۳-۳-۴- بهبود جدایش مغناطیسی پیریت
- ۱۲۱-۴-۳-۴- بهبود جدایش مغناطیسی سیدریت
- ۱۲۱-۵-۳-۴- بهبود جدایش مغناطیسی ایلیمینیت
- ۱۲۳-۴-۴- خلاصه فصل چهارم
- ۱۲۴-۵-۴- منابع فصل چهارم
- ۱۲۵-۶-۴- منابع تکمیلی فصل چهارم

فصل پنجم: کاربرد مایکروویو در فرآیند فلوتاسیون

- ۱۲۷ ۵-۱- آشنایی با کاربرد مایکروویو در فلوتاسیون
- ۱۲۸ ۵-۲- کلیاتی در مورد روش‌های متداول فلوتاسیون مواد معدنی
- ۱۳۱ ۵-۲-۱- فلوتاسیون سولفیدها
- ۱۴۰ ۵-۲-۲- فلوتاسیون اکسیدها و سیلیکات‌ها
- ۱۴۹ ۵-۲-۳- فلوتاسیون نمک‌های کم‌محلول
- ۱۵۵ ۵-۲-۴- فلوتاسیون نمک‌های پر محلول
- ۱۵۸ ۵-۲-۵- فلوتاسیون زغال‌سنگ
- ۱۶۷ ۵-۳- فلوتاسیون مواد معدنی پس از عمل‌آوری مایکروویو
- ۱۶۷ ۵-۳-۱- تاثیر مایکروویو بر کارایی فلوتاسیون کانسنگ‌های مس
- ۱۸۴ ۵-۳-۲- تاثیر مایکروویو بر کارایی فلوتاسیون کانسنگ تیتانیوم (ایلمنیت)
- ۱۸۷ ۵-۳-۳- تاثیر مایکروویو بر کارایی فلوتاسیون زغال‌سنگ
- ۱۸۷ ۵-۳-۳-۱- تاثیر مایکروویو بر قابلیت فلوتاسیون ماسرال‌ها
- ۱۸۹ ۵-۳-۳-۲- تاثیر مایکروویو بر فلوتاسیون زغال‌سنگ اکسیده
- ۱۹۰ ۵-۳-۳-۳- تاثیر مایکروویو بر حذف بوگ‌داز زغال‌سنگ
- ۱۹۲ ۵-۴- خلاصه فصل پنجم
- ۱۹۴ ۵-۵- منابع فصل پنجم
- ۱۹۵ ۵-۶- منابع تکمیلی فصل پنجم

فصل ششم: کاربرد مایکروویو در لیچینگ مواد معدنی

- ۱۹۷ ۶-۱- آشنایی با کاربرد مایکروویو در فرآیند لیچینگ
- ۱۹۸ ۶-۲- کلیاتی در مورد روش‌های متداول لیچینگ مواد معدنی
- ۱۹۹ ۶-۲-۱- روش‌های لیچینگ اسیدی
- ۲۰۴ ۶-۲-۲- روش‌های لیچینگ قلیایی
- ۲۰۸ ۶-۲-۳- لیچینگ تشخیصی
- ۲۰۸ ۶-۲-۴- لیچینگ الکترولیتی (الکترولیچینگ)
- ۲۰۸ ۶-۲-۵- لیچینگ میکروبی (بیولیچینگ)
- ۲۰۹ ۶-۳- لیچینگ مواد معدنی پس از عمل‌آوری مایکروویو
- ۲۰۹ ۶-۳-۱- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کانسنگ مس

۲۳۸	۲-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کانی‌های کبالت-مس
۲۴۰	۳-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کانی‌های نیکل-کبالت-منگنز
۲۴۰	۴-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کانی‌های سرب و روی
۲۵۸	۵-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کانسنگ مقاوم طلا
۲۶۳	۶-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ پلاتین
۲۶۴	۷-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ مولیبدن
۲۶۵	۸-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ کلماتیت
۲۶۶	۹-۳-۶- تاثیر مایکروویو بر کارایی لیچینگ زغال سنگ
۲۶۹	۴-۶- خلاصه فصل ششم
۲۷۱	۵-۶- منابع فصل ششم
۲۷۳	۶-۶- منابع فصل ششم

فصل هفتم: کاربرد مایکروویو در سایر فرآیندهای پریارسازی

۲۷۷	۱-۷- آشنایی با کاربرد مایکروویو در سایر فرآیندهای پریارسازی
۲۷۸	۲-۷- کاربرد مایکروویو در سنجش، ذوبت، خشک کردن و آگیری
۲۷۸	۱-۲-۷- سنجش روی خط رطوبت خشک مایکروویو
۲۸۰	۲-۲-۷- خشک کردن زغال سنگ
۲۸۱	۳-۲-۷- خشک کردن سیلیس
۲۸۳	۴-۲-۷- خشک کردن و آگیری از مواد شیمیایی
۲۸۴	۳-۷- کاربرد مایکروویو در کاهش مشکلات زیست محیطی
۲۸۵	۱-۳-۷- رفع آلودگی خاک به کمک مایکروویو
۲۸۶	۲-۳-۷- عمل‌آوری لجن‌ها و باطله‌های صنعتی به کمک مایکروویو
۲۸۷	۴-۷- توصیف و طبقه‌بندی روی خط کانسنگ به کمک مایکروویو
۲۸۸	۱-۴-۷- توصیف کانسنگ
۲۸۹	۲-۴-۷- طبقه‌بندی کانسنگ
۲۸۹	۵-۷- کاربرد مایکروویو در تشویه و ذوب کنسانتره‌های سولفیدی
۲۹۰	۶-۷- کاربرد مایکروویو در لیچینگ باطله‌های الکترونیکی
۲۹۱	۷-۷- کاربرد مایکروویو در احیای کربن بی‌رمق
۲۹۱	۸-۷- کاربرد مایکروویو در تف‌جوشی
۲۹۴	۹-۷- کاربرد مایکروویو در تعیین انواع گوگرد در زغال سنگ

۲۹۴	۷-۱۰- خلاصه فصل هفتم
۲۹۸	۷-۱۱- منابع فصل هفتم
۲۹۹	۷-۱۲- منابع تکمیلی فصل هفتم
	فصل هشتم: کاربرد مایکروویو در تولید نانو ذرات
۳۰۱	۸-۱- آشنایی با نانو ذرات
۳۰۳	۸-۲- روش‌های سنتز نانوذرات
۳۰۶	۸-۳- کنترل ابعاد، شکل و ساختار
۳۰۶	۸-۳-۱- کنترل ابعاد نانوذرات
۳۰۹	۸-۳-۲- کنترل شکل نانوذرات
۳۱۱	۸-۴- تولید نانوذرات با حرارت‌دهی مایکروویو
۳۱۲	۸-۴-۱- سنتز نانوذرات نقره با استفاده موثر از مایکروویو ۵/۸ گیگاهرتز
۳۱۴	۸-۴-۲- سنتز نانوذرات فلزی با استفاده از مایکروویو ۹۱۵ مگاهرتز
۳۱۶	۸-۴-۳- سنتز نانوذرات تحت میدان مغناطیسی مایکروویو
۳۱۸	۸-۴-۴- سنتز نانوذرات بلوری توسط روش هیدروترمال سبز مایکروویو
۳۲۲	۸-۵- تولید محلول نانومواد با حرارت‌دهی مایکروویو
۳۲۲	۸-۵-۱- سنتز نانوبلور اکسید روی
۳۲۲	۸-۵-۱-۱- سنتز خوشه‌های نانوبلور اکسید روی
۳۲۳	۸-۵-۱-۲- سنتز نانوذرات اکسید روی در بنزین الکلی
۳۲۴	۸-۵-۱-۳- کنترل رشد نانوساختارهای پایه و پیوند اکسید روی
۳۲۴	۸-۵-۲- سنتز نانوساختارهای اکسید آهن آلفا
۳۲۵	۸-۵-۲-۱- کره‌های توخالی اکسید آهن آلفا
۳۲۶	۸-۵-۲-۲- نانو بلور اکسید آهن آلفا با تنظیم پیوسته نسبت ابعادی و کنترل دقیق شکل
۳۲۷	۸-۵-۳- نانوساختارهای سلسله مراتبی خود ساخت اکسید آهن آلفا
۳۲۹	۸-۵-۳- نانوساختارها و نانوکامپوزیت‌های پایه عنصر
۳۲۹	۸-۵-۳-۱- نانوساختارهای نقره
۳۳۰	۸-۵-۳-۲- نانوساختارهای تلوریم
۳۳۱	۸-۵-۳-۳- کلونیدهای سلنیم-کربن
۳۳۲	۸-۵-۴- گرافین

۸-۶- خلاصه فصل هشتم

۲۲۴

۸-۷- منابع فصل هشتم

۲۲۵

۸-۸- منابع تکمیلی فصل هشتم

۲۲۶

www.ketab.ir

پیش‌گفتار

کاهش روز افزون منابع معدنی و افزایش تقاضا از مهم‌ترین عواملی هستند که بشر را به سمت استفاده از فن‌آوری‌های نوین، در فرآوری مواد معدنی سوق داده و متخصصان را بر آن داشته تا به منظور استفاده بهینه از منابع معدنی موجود، تکنولوژی‌های نوینی را در فرآوری مواد معدنی به وجود آورند. یکی از این فن‌آوری‌ها که در دهه‌های اخیر سهم شایانی از مطالعات را به خود اختصاص داده، استفاده از انرژی مایکروویو است. بررسی‌های انجام شده در این زمینه نتایج قابل توجهی از تاثیر انرژی مایکروویو بر خواص کانی‌ها را نشان می‌دهد. نه خود نوید بخش افق‌هایی روشن در مهندسی فرآوری مواد معدنی از لحاظ افزایش بازایی، فلزات، افزایش کارایی فرآیند، کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در زمان، کاهش آلاینده‌ها و موارد مشابه است. یکی از مکانیزم‌های ممکن در افزایش کارایی و کاهش زمان واکنش‌ها، دماهی کانستنگ و ایجاد شکست در نمونه است. عاملی که در حد، کننده این روش، مباحث اقتصادی و انرژی مصرفی بالا است. سابقه استفاده از عمل‌آوری حرارتی برای شکست سنگ در فرآیند خردایش به اوایل قرن بیستم بر می‌گردد. عمل‌آوری حرارتی کانستنگ‌ها قبل از خردایش نه تنها باعث کاهش مقاومت کانستنگ می‌شود، بلکه باعث ذرات تولیدی نیز بهبود می‌یابد. برخی شکاف‌های بین ذره‌ای پس از عمل‌آوری حرارتی به وضوح مشاهده شده است و در بیشتر موارد شکاف‌های بین ذره‌ای عمیقی رخ می‌دهد. فرآیندهای پرعیارسازی بعد از عمل‌آوری حرارتی و سپس خردایش، نشان دهنده بهبود درجه آزادی و بازایی است. بدین منظور روش عمل‌آوری حرارتی با مایکروویو پیشنهاد می‌شود. برخی کانی‌های باطله در مقابل مایکروویو شفاف ولی بعضی دیگر به خوبی مایکروویو را جذب می‌کنند و گرم می‌شوند، بنابراین گرمایش انتخابی ایجاد می‌شود. این روش به طور قابل توجهی نسبت به سایر فرآیندهای عمل‌آوری حرارتی، اقتصادی‌تر است.

بنابراین در سال‌های اخیر میکروویو کاربردهای زیادی در خردایش، فلوتاسیون، لیچینگ و موارد مشابه پیدا کرده است. در واقع در کانسنگ‌ها کانی‌های متفاوتی از نظر توانایی جذب پرتوهای میکروویو وجود دارند که با قرارگیری در معرض این امواج آهنگ گرمایش متفاوتی را از خود نشان می‌دهند. این آهنگ گرمایش متفاوت باعث تفاوت در آهنگ انبساط و در نتیجه تنش‌های حرارتی می‌گردد. اگر تنش‌های ایجاد شده بیش از مقاومت کانی تحت تابش باشد، ریزترک‌هایی در طول مرز بین دو کانی ایجاد شده و بنابراین شکست رخ می‌دهد و آزادسازی افزایش می‌یابد. علاوه بر این گرمای ناشی از میکروویو باعث اکسیداسیون سطح کانی‌ها می‌شود که تاثیر منفی بر روی کارایی روش‌هایی مانند فلوتاسیون دارد. بنابراین باید اکسیداسیون سطحی کانی‌ها در عمل‌آوری میکروویو به دقت در نظر گرفته شود.

در این کتاب در ابتدا اصول و کاربردهای میکروویو در صنایع مختلف ارائه شده است و در ادامه مکانیزم‌های شکست در کانی‌ها، میدان میکروویو مورد توجه قرار می‌گیرد. از آنجا که تاثیر اصلی میکروویو شکست انتخابی کانی‌ها است، بنابراین در یک فصل جداگانه تاثیر میکروویو در فرآیند خردایش مواد معدنی ارائه شده است. در این راستا نحوه ایجاد ریز ترک‌ها در مواد معدنی مانند کانسنگ‌های سرب و روی، آهن، طلا، ایلمنیت و زغال سنگ آورده شده است. عمل‌آوری میکروویو علاوه بر خردایش و فرآیندهای پریارسازی نیز تاثیر زیادی دارد و باعث افزایش کارایی، کاهش زمان و کاهش هزینه و بهبود فرآیند می‌شود. بنابراین تاثیر آن بر روی فرآیندهایی مانند جدایش مغناطیسی، فلوتاسیون، لیچینگ، شستشوی زغال سنگ و موارد مشابه نیز بطور مفصل بحث شده و در هر مورد مثال‌های مفیدی ارائه شده است. در انتهای این کتاب نحوه استفاده از میکروویو در تولید نانوذرات در ابعاد، شکل و ساختارهای مختلف آورده می‌شود.

کتاب حاضر در هشت فصل برای دانشجویان و کارشناسان رشته‌های مختلف مهندسی فرآوری مواد معدنی، مهندسی متالورژی استخراجی، مهندسی شیمی معدنی و بسیاری از رشته‌های دیگر تالیف شده است. امید است که تلاش انجام شده در تالیف این کتاب

راهگشای محققان و دانشجویان بوده و کمبود منابع موجود را برطرف نماید. در خاتمه از خوانندگان محترم تقاضا نمودیم که با ارائه اشکالات احتمالی و پیشنهادهای ارزشمندتان در بهبود کیفیت کتاب در چاپ‌های آتی ما را یاری نمایند.

سید محمد جواد کلینی

بهزاد شهبازی

www.ketab.ir