



استخراج فلزات با فرآیندهای هیدرومتالورژی

اصول و کاربردها

مؤلفان:

دکتر مهدی مزمل - حکم آبادی
(عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی شاهرود)

مهندس نیما صادقی

مهندس حامد شوشتری گوگ تپه

۲۰۱۴۷۲۹



انتشارات ستایش

سرشناسه	مزمّل حکم آبادی، مهدی، ۱۳۶۰ -
عنوان و نام پدیدآور	استخراج فلزات با فرآیندهای هیدرومتالورژی / مولفان مهدی مزمّل حکم آبادی، حامد شوشتری گوگ تپه، نیما صادقی.
مشخصات نشر	تهران: ستایش، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	۲۲۷ ص: مصور.
شابک	978-600-7445-67-9 : ۱۴۸۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	فیفا
یادداشت	واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه.
موضوع	متالورژی آبی
موضوع	Hydrometallurgy
موضوع	متالورژی
موضوع	Metallurgy
موضوع	استخراج محلولی
موضوع	Solution mining
موضوع	آب
موضوع	Leaching
شناسه افزوده	شوشتری گوگ تپه، حامد، ۱۳۷۱ -
شناسه افزوده	صادقی، ما، ۱۳۷۵ -
رده بندی کنگره	۱۳۹۵، ۵۴۵، ۴ TN۶۸۸
رده بندی دیویی	۶۶۹/۰۲۸۳
شماره کتابشناسی ملی	۴۴۳۲۱۰۶

Metallurgical
Education
Institute
انتشارات ستایش



تهران - صندوق پستی: ۹۹۵-۱۳۱۴۵ تلفن: ۶۶۹۴۸۹۹۵-۰۲۱-۰۶۹۴۸۹۹۵

استخراج فلزات با فرآیندهای هیدرومتالورژی

مولفان: مهدی مزمّل حکم آبادی، حامد شوشتری گوگ تپه، نیما صادقی

ناشر: انتشارات ستایش

نوبت چاپ: اول / ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۴۴۵-۶۷-۹

قیمت: ۱۴۸۰۰۰ ریال

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

فهرست

پیشگفتار	۱۰
ک فصل اول: مقدمه‌ای بر فرآیندهای هیدروم탈ورژی	۱۳
ک فصل دوم: اصول و روش‌های لیچینگ	۱۵
۱-۲-۱-۵ ۱-۲-۱-۵	۱۵
۲-۲-۱-۵ ۲-۲-۱-۵	۱۵
۱-۲-۲-۱۷ ۱-۲-۲-۱۷	۱۷
۲-۲-۲-۲۰ ۲-۲-۲-۲۰	۲۰
۳-۲-۲-۲۲ ۳-۲-۲-۲۲	۲۲
۴-۲-۲-۲۳ ۴-۲-۲-۲۳	۲۳
۱-۴-۲-۲-۲۴ ۱-۴-۲-۲-۲۴	۲۴
۲-۴-۲-۲-۳۷ ۲-۴-۲-۲-۳۷	۳۷
۳-۴-۲-۲-۳۹ ۳-۴-۲-۲-۳۹	۳۹
۳-۲-۳-۴۲ ۳-۲-۳-۴۲	۴۲
۱-۳-۲-۴۲ ۱-۳-۲-۴۲	۴۲
۲-۳-۲-۴۳ ۲-۳-۲-۴۳	۴۳
۳-۳-۲-۴۸ ۳-۳-۲-۴۸	۴۸
۱-۳-۳-۲-۴۸ ۱-۳-۳-۲-۴۸	۴۸
۲-۳-۳-۲-۴۹ ۲-۳-۳-۲-۴۹	۴۹
۴-۳-۲-۵۰ ۴-۳-۲-۵۰	۵۰
۵-۳-۲-۵۷ ۵-۳-۲-۵۷	۵۷
۶-۳-۲-۵۹ ۶-۳-۲-۵۹	۵۹
۷-۳-۲-۶۱ ۷-۳-۲-۶۱	۶۱
۸-۳-۲-۶۲ ۸-۳-۲-۶۲	۶۲
۴-۲-۶۷ ۴-۲-۶۷	۶۷

۶۷.....	۱-۴-۲ لیچینگ شیمیایی.....
۷۱.....	۲-۴-۲ لیچینگ باکتریایی.....
۷۲.....	۳-۴-۲ نگاهی اجمالی بر عوامل مؤثر در فرآیند لیچینگ کانی‌های معدنی.....
۷۳.....	۵-۲ انواع روش‌های لیچینگ.....
۷۳.....	۱-۵-۲ لیچینگ در محل.....
۷۵.....	۲-۵-۲ لیچینگ توده‌ای یا تپه‌ای.....
۷۶.....	۳-۵-۲ لیچینگ حوضچه‌ای یا نفوذی.....
۷۷.....	۴-۵-۲ لیچینگ متلاطم.....
۷۷.....	۵-۲ لیچینگ تحت فشار.....
۷۹.....	۶-۲ سال‌های کاربردی از لیچینگ مواد معدنی.....
۷۹.....	۱-۶-۲ لیچینگ، غیراکسیدان.....
۷۹.....	۶-۲-۱ لیچینگ اسید سولفوریکی اکسیدهای مس.....
۸۰.....	۶-۲-۱-۱ لیچینگ تحت فشار بوکسیت.....
۸۱.....	۶-۲-۱-۳ لیچینگ احیاء پیرولوزیت.....
۸۳.....	۶-۲-۲ لیچینگ اکسیدان.....
۸۳.....	۶-۲-۱-۲ فرآیندهایی که در آن‌ها سیدننده (اکسژن یا کلر) استفاده می‌شود.....
۸۷.....	۶-۲-۲-۲ فرآیندهایی که در آن‌ها از میان‌واسطه (آهن و مس) استفاده می‌شود.....
۹۰.....	۶-۲-۳ فرآیندهایی که در آن‌ها از جریان الکتریکی استفاده می‌شود (الکترولیچینگ).....
۹۲.....	تمرینات فصل دوم.....
۹۵.....	مراجع فصل دوم.....
۹۷.....	فصل سوم: تصفیه و تغلیظ.....
۹۷.....	۱-۳ مقدمه.....
۹۸.....	۲-۳ تصفیه به روش تعویض یونی.....
۱۰۳.....	۱-۲-۳ زئولیت‌ها.....
۱۰۵.....	۲-۲-۳ رزین‌های تعویض یونی.....
۱۰۶.....	۱-۲-۲-۳ انواع رزین‌های تعویض یونی.....
۱۰۷.....	۲-۲-۲-۳ ساختار فیزیکی رزین‌های تعویض یونی.....
۱۰۹.....	۳-۲-۲-۳ ظرفیت تعویض یونی رزین‌ها.....
۱۱۰.....	۴-۲-۲-۳ ترمودینامیک تعویض یونی رزین‌ها.....
۱۱۱.....	۵-۲-۲-۳ سینتیک تعویض یونی رزین‌ها.....

- ۱۱۲..... ۳-۲-۶ مراحل تعویض یونی رزین‌ها
- ۱۱۵..... ۳-۲-۷ روش‌های اجرایی فرآیند تعویض یونی رزین‌ها
- ۱۱۹..... ۳-۲-۸ کاربردهای متالورژیکی رزین‌های تعویض یونی
- ۱۲۰..... ۳-۳ جذب با استفاده از کربن فعال
- ۱۲۱..... ۳-۳-۱ آماده‌سازی کربن فعال
- ۱۲۲..... ۳-۳-۲ سازوکار جذب بر روی کربن فعال
- ۱۲۲..... ۳-۲-۱ نظریه‌ی فرامکین در مورد جذب کربن فعال
- ۱۲۳..... ۳-۲-۲ نظریه‌ی مک دوگال در مورد جذب کربن فعال
- ۱۲۳..... ۳-۳-۳ نظریه‌ی فرن‌دلیچ در مورد جذب کربن فعال
- ۱۲۳..... ۳-۲-۳ عوامل مؤثر در جذب طلا و نقره به وسیله کربن فعال
- ۱۲۴..... ۳-۴ استخراج ذرات
- ۱۲۵..... ۳-۴-۱ روش‌های میکرو استخراج حلالی
- ۱۲۸..... ۳-۴-۲ سازوکارهای استخراج حلالی
- ۱۲۹..... ۳-۴-۱-۲ استخرهای تعویض‌کننده یونی (کاتیون‌ها و آنیون‌ها)
- ۱۲۹..... ۳-۴-۲-۲ استخراج‌کننده‌های حل‌کننده (انحلالی)
- ۱۳۰..... ۳-۴-۲-۳ استخراج‌کننده‌های شلائب‌کننده
- ۱۳۱..... ۳-۴-۳ سازوکار و تعادل ترمودینامیک در سیستم استخراج حلالی
- ۱۳۳..... ۳-۴-۱-۳ تأثیر pH بر روند استخراج
- ۱۳۵..... ۳-۴-۲-۲ تأثیر غلظت استخراج‌کننده بر استخراج
- ۱۳۵..... ۳-۴-۳-۳ تأثیر دما بر روند استخراج
- ۱۳۶..... ۳-۴-۴ سینتیک استخراج حلالی
- ۱۳۶..... ۳-۴-۱-۴ نظریه دولایه‌ای نازک
- ۱۳۸..... ۳-۴-۴-۲ نظریه تازه شدن سطح
- ۱۳۹..... ۳-۴-۵ انواع استخراج‌کننده‌های اسیدی
- ۱۳۹..... ۳-۴-۶ شرایط عمومی استخراج‌کننده‌ها
- ۱۴۱..... ۳-۴-۷ نقش استخراج حلالی در بازیابی فلزات
- ۱۴۲..... ۳-۴-۸ معیارهای تصفیه و تغلیظ
- ۱۴۳..... ۳-۴-۹ روش‌های استخراج
- ۱۴۶..... ۳-۴-۱۰ نمودار تعادل استخراج مک‌کیب-تیلی
- ۱۵۰..... ۳-۴-۱۱ چلاندن و تهی‌سازی

۱۵۱	۱۲-۴-۳ مثالی از کاربرد استخراج حلالی در هیدرومتالورژی
۱۵۴	تمرینات فصل سوم
۱۵۷	مراجع فصل سوم

فصل چهارم: اصول و روش‌های بازیابی

۱۵۹	۱-۴ مقدمه
۱۶۰	۱-۱-۴ جوانه‌زنی بلورها
۱۶۱	۲-۱-۴ رشد بلورها
۱۶۲	۲-۴ طاقه‌بندی فرآیندهای ترسیب
۱۶۲	۳-۴ ترسیب فیزیکی
۱۶۳	۱-۴-۱ بلورسازها
۱۶۷	۴-۴ ترسیب شیمیایی
۱۶۷	۱-۴-۴ ترسیب یونی
۱۶۸	۱-۱-۴-۴ ترسیب سولفیدهای فلزی
۱۷۱	۲-۱-۴-۴ ترسیب هیدروکسیدهای فلزی
۱۷۳	۳-۱-۴-۴ ترسیب کربنات‌ها
۱۷۴	۲-۴-۴ ترسیب احیایی
۱۷۴	۱-۲-۴-۴ ترسیب احیای گازی
۱۷۹	۲-۲-۴-۴ سماتنه کردن
۱۸۱	۱-۲-۲-۴-۴ ترمودینامیک سماتنه کردن
۱۸۲	۲-۲-۲-۴-۴ سینتیک سماتنه کردن
۱۸۵	۳-۲-۴-۴ بازیابی الکتریکی
۱۸۷	۱-۳-۲-۴-۴ واکنش‌های اکسایش-کاهش
۱۸۷	۲-۳-۲-۴-۴ الکترودهای فلزی
۱۸۹	۳-۳-۲-۴-۴ سلول‌های الکتروشیمیایی و تعادل اکسایش-کاهش
۱۹۱	۴-۳-۲-۴-۴ پتانسیل الکترودی استاندارد
۱۹۲	۵-۳-۲-۴-۴ قوانین فارادی
۱۹۴	۶-۳-۲-۴-۴ عوامل مؤثر بر بازیابی فلز از الکترولیت
۱۹۶	۵-۴ مثال‌های کاربردی از بازیابی فلزات
۱۹۶	۱-۵-۴ فرآیندهای حذف آهن
۲۰۱	۲-۵-۴ سماتنه کردن مس

۲۰۲	 ۱-۲-۵-۴ لاندرها یا شستشودهنده‌های گرانشی
۲۰۲	 ۲-۲-۵-۴ لاندرها یا شستشودهنده‌های فعال شده
۲۰۳	 ۳-۲-۵-۴ رسوب دهنده‌های استوانه‌ای
۲۰۳	 ۴-۲-۵-۴ رسوب دهنده‌های مخروطی
۲۰۵	 ۳-۵-۴ بازیابی الکتریکی مس
۲۰۷	 ۶-۴ دستاوردهای کاربردی در فرآیند سمانته کردن
۲۰۸	 ۷-۴ دستاوردهای کاربردی در فرآیند بازیابی الکتریکی
۲۲۰	 تمرینات فصل چهارم
۲۲۳	 مراجع فصل چهارم
۲۲۵	 واژه‌نامه

پیشگفتار

آن علم طلب که سوخته است	تلم ار چه به مرمت بلند است
اما نه طیب آدمی کش	می‌باش طیب صوی بش
اما نه فیه حیل آموز	می‌باش فیه طاعت اندوز
کان دانش را تمام دانی	مگر کش . . . ورق که خوانی

از دیرباز ساخت ابزارها، صنایع و زندگی از چالش‌های اصلی انسان اولیه بود. از چوب، سنگ و دیگر سازه‌های طبیعی، عنوان مواد سازنده در دوران پارینه سنگی استفاده می‌شد. با اختراع آتش، گستره مواد افزونی یافت. انسان دریافت که با استفاده از حرارت آتش می‌تواند مواد محکم‌تر و کارپذیرتر را از دل سنگ‌ها استخراج نماید. این کشف به قدری اهمیت داشت که عصر برنز بخشی از سامانه‌ی تکامل تاریخ جامعه انسانی شد و این تحول با کشف آهن و ظهور عصر آهن تکامل یافت. در سال‌های متمادی گذارش به یک سده معدنی و تولید فلزات به یک روش کارآمد در صنایع بشری تبدیل شد. اما در قرن بیستم به دلیل که انقلابی در متالورژی استخراجی روی داد و هیدرومتالورژی به عنوان یک روش بدیع معرفی شد. این ناهاده از این روش برای استخراج اورانیوم بر اعتبار آن افزود. در سال‌های بعد این روش تولید انسان اهمیت یافت که زمینه اصلی پژوهش‌ها در زمینه استخراج فلزات به هیدرومتالورژی اختصاص یافت و فلزات غیرآهنی (نظیر روی، مس و نیکل) با این روش تولید شد. در این راستا و به منظور شناخت جنبه‌های علمی حاکم، مؤلفان مناسب دیدند تا کتابی را به رشته تحریر درآورند که در آن به مبانی، اصول و کاربردهای استخراج فلزات با فرآیندهای هیدرومتالورژی پرداخته شود.

کتاب حاضر در چهار فصل کلی تدوین شده است که در فصل اول به مقدمه‌ای در مورد فرآیندهای هیدرومتالورژی پرداخته شده و در فصل دوم اصول و روش‌های لیچینگ بحث می‌شود. در فصل سوم چگونگی تصفیه و تغلیظ محلول‌های باردار ارائه و در نهایت اصول و روش‌های بازیابی یون‌های فلزی از محلول تصفیه شده در فصل چهارم معرفی می‌شود.

در تألیف این کتاب سعی شده، مطالب با بیانی ساده و به‌صورت پیوسته ارائه شده و تمرین‌های لازم در پایان هر فصل با هدف درک بهتر مفاهیم آورده شود. امید است مطالب این اثر برای اساتید، دانشجویان کارشناسی و کارشناسی‌ارشد مهندسی مواد، مهندسی معدن و همچنین مهندسان و صنعتگرانی که در این زمینه فعالند، مفید واقع شود. انتظار بر آن است تا بتوانیم از پیشنهادات، اشکالات و انتقادهای خوانندگان و صاحب‌نظران محترم، جهت تصحیح و بهبود بیان مطالب در چاپ‌های بعدی بهره‌مند شویم.

مؤلفان بر خود لازم می‌دانند که اکتب قدراتی خود را از آقایان دکتر مهدی اجاقی و مهندس علی سعیدآذر که ویرایش علمی و ادبی مطالب را بر عهده داشته‌اند، اعلام نمایند.

www.ketab