جمهوری اسلامی ایران

سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی

ضابطه شماره ۳۷۲

سازمان برنامه و بودجه کشور

معاونت فنی و توسعه امور زیربنایی

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

۱۳۹۶

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان برنامه و بودجه کشور
رییس سازمان

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	**شماره:**	**۹۶/۱۴۳۳۷۸۵**
	تاریخ:	**۱۳۹۶/۰۷/۱۵**

موضوع: راهنمای آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی

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 ۳۷۲ امور نظام فنی و اجرایی، با عنوان «راهنمای آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۳۹۶/۱۲/۰۱ 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

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه 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 برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

Email:nezamfanni@mporg.ir **web: nezamfanni.ir**

omoorepeyman.ir

باسمه تعالی

پیشگفتار

نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره۴۲۳۳۹/ ت ۳۳۴۹۷ ه مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات وزیران) به کارگیری معیارها، استانداردها 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 تاکید جدی قرار داده است و این امور به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و نظام فنی اجرایی کشور وظیفه تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای فنی طرح‌های توسعه‌ای کشور را به عهده دارد.

مطالعات آزمایشگاهی، اولین مرحله بررسی فرآیندهای فرآوری و متالورژیکی مواد معدنی است. آزمایش‌های اولیه علاوه بر ارزیابی عملکرد عملیات کارخانه، در تمامی مراحل از جمله انتخاب تجهیزات، تعیین نوع و میزان مواد شیمیایی مورد استفاده و سایر پارامترها موثر است. انجام مراحل بعدی نیز که شامل واحد پیشاهنگ و صنعتی است، با مطالعات آزمایشگاهی انجام می‌گیرد.

فرآیند خشک کردن در مواردی که میزان رطوبت ماده معدنی به حدی باشد که عملیات گداز را به تاخیر اندازد و یا باعث اختلال در عملکرد کوره شود، انجام می‌گیرد، همچنین در مواردی برای حذف رطوبت ماده معدنی در مراحل مختلف کانه‌آرایی (مانند دانه‌بندی، تعیین شاخص باند، خردایش، جدایش‌های فیزیکی و نظایر آن) کاربرد دارد. فرآیند تشویه معمولا بر روی مواد معدنی سولفیدی که علاوه بر رطوبت گوگرد و آرسنیک نیز دارند، انجام می‌شود، در حالی که فرآیند تکلیس برای خروج رطوبت و حذف دی‌اکسید کربن از مواد معدنی کربناتی و هیدراتی به کار می‌رود.

با توجه به اهمیت فرآیندهای خشک کردن، تشویه و تکلیس، انجام آزمایش‌های مربوطه بر روی نمونه‌های معدنی به منظور ارتقای کیفی مطالعات آزمایشگاهی و اعتبارسنجی نتایج ضروری است.

ضابطه حاضر با عنوان «راهنمای انجام آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی» در راستای اهداف وزارت صنعت، معدن و تجارت و در چارچوب برنامه تهیه ضوابط و معیارهای معدن تهیه شده است. این ضابطه شامل اصطلاحات و تعاریف مرتبط در انجام آزمایش‌ها، عوامل موثر بر هر یک از فرآیندها، تجهیزات لازم و روش‌های آماده‌سازی و انجام آزمایش‌ها است که مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

با همه‌ی تلاش‌های انجام شده، قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که امیداست کاربرد عملی و در سطح وسیع این ضابطه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم نماید. در پایان، از تلاش‌ها و جدیت جناب آقای مهندس غلامحسین حمزه مصطفوی و کارشناسان امور نظام فنی و اجرایی همچنین جناب آقای دکتر جعفر سرقینی مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی بخش معدن کشور در وزارت صنعت، معدن و تجارت، کارشناسان دفتر نظارت و بهره‌برداری معادن و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این ضابطه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

غلامرضا شافعی

معاون فنی و توسعه امور زیربنایی

شهریور ۱۳۹۶

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
محمدرضا خالصی	دانشگاه تهران تربیت مدرس	دکترای مهندسی فرآوری مواد معدنی
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 نشریه توسط **خانم مهندس زهرا مصحفی** و **آقایان مهندس عبداله سمیعی بیرق** و **مهندس محمد مشکینی** تهیه شده و پس از بررسی و تایید توسط کارگروه فرآوری، به تصویب شورای عالی برنامه رسیده است.

omoorepeyman.ir

عنوان	فهرست مطالب	صفحه

فصل اول- کلیات 1

1-1- آشنایی 3

1-2- تعاریف و مفاهیم 3

1-3- اهداف 4

1-3-1- اهداف فرآیند خشک کردن 4

1-3-2- اهداف فرآیند تشویه 5

1-3-3- اهداف فرآیند تکلیس 5

1-4- دامنه کاربرد 5

1-4-1- دامنه کاربرد فرآیند خشک کردن 5

1-4-2- دامنه کاربرد فرآیند تشویه 5

1-4-3- دامنه کاربرد فرآیند تکلیس 7

1-5- ضرورت انجام فرآیندهای خشک کردن، تشویه و تکلیس 8

1-6- مشخصات فرد آزمایش‌کننده 9

1-7- اطلاعات و اسناد مورد نیاز 9

فصل دوم- راهنمای آزمایش خشک کردن مواد معدنی 11

2-1- آشنایی 13

2-2- عوامل موثر در فرآیند خشک کردن 13

2-3- تجهیزات خشک کردن 13

2-3-1- تجهیزات قبل از عملیات 13

2-3-2- تجهیزات در حین عملیات 13

2-3-3- تجهیزات بعد از عملیات 13

2-4- آزمایش خشک کردن مواد معدنی 14

2-4-1- آماده‌سازی 14

2-4-2- روش آزمایش 14

2-4-3- فرم اطلاعات لازم برای آزمایش خشک کردن 15

2-5- نکات ایمنی 16

فصل سوم- راهنمای آزمایش تشویه مواد معدنی 19

3-1- آشنایی 21
3-2- عوامل موثر در فرآیند تشویه 21
3-3- تجهیزات تشویه مواد معدنی 21
3-3-1- تجهیزات قبل از عملیات 21
3-3-2- تجهیزات در حین عملیات 22
3-3-3- تجهیزات بعد از عملیات 22
3-4- آزمایش تشویه مواد معدنی 22
3-4-1- آماده‌سازی 22
3-4-2- روش آزمایش 23
3-4-3- فرم اطلاعات لازم برای آزمایش تشویه 25
3-5- نکات ایمنی 27
فصل چهارم- راهنمای آزمایش تکلیس مواد معدنی 29
4-1- آشنایی 31
4-2- عوامل موثر در فرآیند تکلیس 31
4-3- تجهیزات تکلیس مواد معدنی 31
4-3-1- تجهیزات قبل از عملیات 31
4-3-2- تجهیزات در حین عملیات 32
4-3-3- تجهیزات بعد از عملیات 32
4-4- آزمایش تکلیس ماده معدنی 32
4-4-1- آماده‌سازی 32
4-4-2- روش آزمایش 33
4-4-3- فرم اطلاعات لازم برای آزمایش تشویه 35
4-5- نکات ایمنی 37
پیوست- مثال‌های موردی برای فرآیندهای تشویه و تکلیس 39

فصل ۱

کلیات

omoorepeyman.ir

۱-۱- آشنایی

خشک کردن، تشویه و تکلیس مواد معدنی از فرآیندهای عملیاتی است که با توجه به نوع ماده معدنی به صورت جداگانه و یا به صورت ترکیبی بر روی کانسنگ، محصول پرعیار[1]، پالپ فیلتر شده[2] و باطله انجام می‌شود. این فرآیندها به طور انحصاری مربوط به یک رشته خاص مانند کانه‌آرایی نیستند بلکه در فرآوری مواد معدنی، متالورژی استخراجی و شیمی نیز استفاده می‌شوند. بنابراین، انجام آزمایش‌های مربوط به هر کدام از فرآیندها، علاوه بر تعیین شمای اولیه عملیات، انتخاب ماشین‌آلات و تجهیزات اصلی خطوط تولید، شرایط را برای عملیات صنعتی فراهم می‌کند.

۱-۲- تعاریف و مفاهیم

برخی از تعاریف و مفاهیم در این بخش ارایه شده است، برای اطلاعات بیشتر به نشریه "واژه‌ها و اصطلاحات پایه فرآوری مواد معدنی، شماره ۴۴۱" مراجعه شود.

آماده‌سازی نمونه: به عملیاتی اطلاق می‌شود که باید بر روی نمونه کلی انجام گیرد تا بتوان از آن یک یا چند زیرنمونه برای اندازه‌گیری کمیت مورد نظر به دست آورد. این عملیات شامل خشک کردن، خرد کردن، پودر کردن، تقسیم کردن، سرند کردن، همگن کردن و توزین نمونه است.

تشویه: هنگامی که مواد معدنی علاوه بر رطوبت، دارای گوگرد، آنتیموان و آرسنیک باشد، آن را در کوره‌های ویژه‌ای به منظور خروج تمام یا بخشی از این مواد حرارت می‌دهند که این فرآیند تشویه نامیده می‌شود. این عملیات در مورد دسته‌ای از مواد معدنی به کار می‌رود که گوگرد، آنتیموان و آرسنیک موجود در آن‌ها به هنگام گدازش، باعث ایجاد اختلال در عملکرد کوره می‌شود و بنابراین باید قبل از گدازش به وسیله فرآیند تشویه آن‌ها را جدا کرد. تشویه فرآیندی است که کانسنگ یا محصول پرعیار سولفیدی در مجاورت هوا یا اکسیژن در دمای کمتر از نقطه ذوب حرارت داده شده و مواد فرار نظیر گوگرد، آرسنیک، فسفر، رطوبت و نظایر آن از آن خارج می‌شوند. انواع فرآیندهای تشویه شامل تشویه اکسیدی، سولفاتی، کلریدی، مغناطیسی و خوداحیایی است. فرآیند تشویه معمولا خودسوز است و جریان غلیظی از گاز دی‌اکسید گوگرد (حدود ۵ تا ۱۵ درصد) تولید می‌کند که باید برای حفاظت محیط زیست به نحو مطلوب کنترل شود.

تکلیس: فرآیند تکلیس شامل جدا کردن آب، دی‌اکسید کربن یا گازهای دیگری است که با پیوند شیمیایی در ترکیب‌هایی مانند هیدرات‌ها یا کربنات‌ها وجود دارد. تکلیس فرآیند حرارتی است که سبب تجزیه حرارتی، تغییر فاز یا حذف مواد فرار از مواد معدنی می‌شود. این فرآیند در دمای کمتر از نقطه ذوب محصولات انجام می‌شود.

خشکانه[3] (دسیکاتور): خشکانه محفظه شیشه‌ای درپوش‌داری است که برای نگهداری مواد در فضای خشک استفاده می‌شود. بوته‌های چینی یا پلاتینی پس از انتقال از کوره و نیز مواد خشک شده در خشک‌کن آزمایشگاهی برای سرد کردن و

1- Concentrate
2-Filtrate pulp
3 -Desiccator

omoorepeyman.ir

جلوگیری از جذب رطوبت در خشکانه نگهداری می‌شوند. از انواع مختلف عوامل خشک‌کننده نظیر سیلیکاژل برای جذب رطوبت در خشکانه استفاده می‌شود.

خشک‌کن: دستگاهی که از آن برای خشک کردن و حذف رطوبت مواد جامد استفاده می‌شود.

خشک کردن: در مواردی که میزان رطوبت ماده معدنی به حدی باشد که عملیات گداز را به تاخیر اندازد و یا سبب ایجاد اختلال در کوره شود، ابتدا آن را خشک می‌کنند. ساده‌ترین روش خشک کردن مواد به این ترتیب است که آن‌ها را روی سطحی پهن می‌کنند و آن را از زیر به وسیله هوای گرم حرارت می‌دهند.

کوره بستر سیال[1]: کوره بستر سیال، بهترین وسیله برای فرآیند تشویه و تکلیس به شمار می‌رود. این کوره‌ها در محدوده وسیعی از مواد معدنی و کنسانتره‌های سولفیدی آهنی و غیرآهنی مانند مس، روی، نیکل و نظایر آن‌ها کاربرد دارد. محدوده دمایی این کوره‌ها بین ۴۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. درجه حرارت و هوای آن‌ها به صورت خودکار کنترل می‌شود. سطح بستر آن‌ها از پودر مواد مقاوم مانند اکسید آلومینیم دارای خلل و فرج ساخته شده است. ورود هوا از طریق این خلل و فرج باعث تحرک این مواد در کوره و باعث انتقال حرارت می‌شود. انرژی این کوره‌ها به وسیله جریان الکتریکی تامین می‌شود.

کوره مافل[2]: یکی از کوره‌های متداول برای تشویه، تکلیس، ذوب و نظایر آن در دمای تا ۱۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است. حرارت در این کوره‌ها به صورت المنت‌های برقی جاسازی شده در بدنه سرامیکی است. در ساختار این کوره حرارت به تمام قسمت‌های آن به طور یکنواخت پخش می‌شود. در این کوره‌ها بارگذاری معمولا از جلوی محفظه کوره برای کاربردهای دمای بالا مانند تشویه، تکلیس، ذوب و نظایر آن انجام می‌شود.

۱-۳- اهداف

هدف از تدوین این راهنما، ارایه روش‌ها، عوامل موثر در انجام فرآیندها، کاربردها، تجهیزات مورد نیاز، آماده‌سازی نمونه، صلاحیت فنی فرد یا افراد آزمایش‌کننده، اسناد، مدارک و اطلاعات مورد نیاز برای فرآیندهای خشک کردن، تشویه و تکلیس در مقیاس آزمایشگاهی است. با در دسترس داشتن این راهنما، زمینه برای انجام آزمایش‌های مورد نظر بر روی نمونه‌های معدنی فراهم می‌شود که می‌توان آن را به نمونه کلی، توده معدنی، محصول پرعیار، باطله و یا جریان پالپ در مقیاس‌های صنعتی تعمیم داد.

۱-۳-۱- اهداف فرآیند خشک کردن

خشک کردن در مقیاس آزمایشگاهی با یکی از اهداف زیر انجام می‌شود:

- انبار (آرشیو نمونه) و نگهداری نمونه
- آماده‌سازی نمونه برای آزمایش‌های مختلف
- تعیین مواد فرار یا تعیین مقدار رطوبت نمونه

1- Fluidized bed furnace
2- Muffle furnace

omoorepeyman.ir

- تعیین خصوصیات مرتبط با طراحی خشک‌کن‌های صنعتی

۱-۳-۲- اهداف فرآیند تشویه

به منظور دستیابی به یک یا تعدادی از اهداف زیر، سنگ معدن یا محصول پرعیار سولفیدی تحت فرآیند تشویه قرار می‌گیرند:

- اکسیداسیون جزیی به منظور از دست دادن بخشی از محتوای گوگرد
- اکسیداسیون سولفات‌ها (تشویه سولفاتی)
- حذف کامل گوگرد با هدف تبدیل کانسنگ سولفیدی به کانسنگ اکسیدی (تشویه مرده)
- حذف مواد فرار به شکل اکسیدی
- حذف رطوبت به صورت فرآیند همراه

شرایط برای دستیابی به هر یک از این اهداف متفاوت است و بر اساس خواص ترمودینامیکی هر کدام از سیستم‌های مربوط به فلز، گوگرد و اکسیژن تعیین می‌شود.

۱-۳-۳- اهداف فرآیند تکلیس

- خارج کردن دی‌اکسیدکربن و سایر مواد فرار ماده معدنی
- اکسید کردن تمام یا بخشی از ماده معدنی
- بازیابی مواد معدنی از کانسنگ‌ها
- پیش‌فرآیند عملیات ذوب، پخت و گدازش مواد معدنی
- پیش‌فرآیند عملیات کانه‌آرایی
- خارج کردن آب ماده معدنی مورد نظر به صورت رطوبت جذب شده یا آب ساختاری

۱-۴- دامنه کاربرد

این راهنما در آزمایشگاه‌های کانه‌آرایی، فرآوری مواد معدنی، متالورژی استخراجی و مراکز تحقیقاتی کاربرد دارد.

۱-۴-۱- دامنه کاربرد فرآیند خشک کردن

در فرآوری مواد معدنی ممکن است فرآیند خشک کردن قبل از انجام مراحل پودر کردن، سرند کردن، جدایش الکترواستاتیکی، برخی از روش‌های جدایش ثقلی، تشویه، تکلیس و کلیه روش‌هایی که نیاز به ماده خشک برای انجام عملیات دارند استفاده شود. در مورد برخی از مواد معدنی، در پایان مرحله فرآوری و برای خشک کردن محصول پرعیار تولید شده، از این فرآیند استفاده می‌شود.

۱-۴-۲- دامنه کاربرد فرآیند تشویه

کاربرد اصلی فرآیند تشویه خروج گوگرد از کانسنگ‌های سولفیدی است ولی در موارد زیر نیز استفاده می‌شود:

- آماده‌سازی نمونه‌ها برای فروشویی نظیر کانسنگ‌های کم عیار طلا

omoorepeyman.ir

- حذف آنتیموان از کانسنگ‌های طلا و نقره
- آماده‌سازی کانی آرسنوپیریت برای عملیات سیانوراسیون به منظور استحصال طلای همراه
- آزادسازی فلزات از کانسنگ‌های سولفیدی
- خارج کردن گاز دی‌اکسیدگوگرد
- حذف آرسنیک از کانی آرسنوپیریت و آنتیموان از استیبنیت به منظور جلوگیری از اختلال در عملیات گدازش کوره
- حذف فسفر، گوگرد، آب و دیگر مواد فرار موجود در کانسنگ
- فراهم کردن شرایط بهینه برای فروشویی عناصر نادر خاکی
- حذف مواد آلی موجود در دیاتومیت و افزایش درخشندگی و کیفیت آن
- تولید سولفوریک اسید به عنوان محصول فرعی از کانسنگ‌های سولفیدی
- تشویه نرمه‌های آهن برای گندله‌سازی و جلوگیری از اتلاف آن‌ها به صورت باطله
- پیش‌فرآوری برای دیگر روش‌های پرعیارسازی
- احیای اکسیدهای منگنز کم عیار
- تبدیل سولفیدهای فلزی به اکسیدها
- استحصال فلز لیتیم از کانی اسپودومن
- استحصال نقره و تیتانیم از کانی آرژانتیت با استفاده از تشویه کلریدی
- افزایش خاصیت هدایت الکتریکی کانی‌های سولفیدی با کاهش یا حذف گوگرد
- تبدیل کانه‌های کم عیار هماتیتی به منیتیت
- تشویه نمکی محصول پرعیار منیتیت وانادیم‌دار به منظور استحصال وانادیم
- تبدیل سولفیدهای غیرمغناطیسی (پیریت) به سولفیدهای مغناطیسی (پیروتیت) در دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد
- تبدیل سولفیدهای غیرمغناطیسی (پیریت) به اکسیدهای مغناطیسی (منیتیت) در دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد

در جدول ۱-۱ برخی از انواع فرآیندهای تشویه و اهداف آن‌ها ارایه شده است.

جدول ۱-۱- انواع فرآیندهای تشویه و کاربرد آن‌ها

نوع تشویه	نوع کانی	دما (درجه سانتی‌گراد)	محصول	هدف
اکسیدی	گالن	۸۰۰-۱۰۰۰	فلز سرب و اکسید سرب	تبدیل سولفور نامحلول به اکسید سرب
کلریدی	ایلمنیت	۵۰۰	کلرید تیتانیم	تبدیل کانی ایلمنیت به اکسید تیتانیم و حذف آهن از ایلمنیت
سولفاتی	کانی‌های سولفیدی مس -کبالت	۶۵۰-۷۰۰	سولفات مس و ترکیب اکسید مس-سولفات مس	استحصال مس از ترکیب کانی سولفیدی مس-کبالت
مغناطیسی	پیریت	۵۰۰-۶۰۰	منیتیت	تبدیل سولفید آهن غیرمغناطیسی به اکسید آهن مغناطیسی
خود احیایی	کالکوسیت	۵۰۰-۱۰۰۰	فلز مس	تبدیل مستقیم سولفید مس به فلز مس

omoorepeyman.ir

۱-۴-۳- دامنه کاربرد فرآیند تکلیس

فرآیند تکلیس در کربنات‌ها، اکسیدها، بی‌کربنات‌ها و هیدروکسیدها به کار می‌رود. برخی از کاربردهای دیگر آن عبارتند از:

- تجزیه کانی‌های کربناته مانند سنگ آهک برای خارج کردن دی‌اکسید کربن یا تجزیه کربنات آهن به اکسید آهن
- حذف آب پیوندی به صورت بخار آب از بوکسیت یا تجزیه هیدروکسید آهن به اکسید آهن و بخار آب
- تجزیه مواد فرار موجود در کک نفتی
- عملیات حرارتی به منظور تغییر فاز، مانند تبدیل کانی آناتاز به روتیل یا واشیشه‌ای شدن[1] (تغییر حالت از شیشه‌ای به بلورین) مواد شیشه‌ای
- حذف یون‌های آمونیم در سنتز زئولیت
- حذف آب از خاک رس و هیدروکسید آلومینم
- حذف کامل دی‌اکسیدکربن از فسفات‌های کربنات‌دار
- افزایش خاصیت دی‌الکتریکی کائولینیت به منظور کاربرد آن در روکش سیم‌های برق، تولید سیمان پوزولانی و افزایش مقاومت مکانیکی و شیمیایی عایق‌ها
- تولید اکسید مولیبدن خالص از مولیبدات آمونیم
- استحصال پلوتونیم از سنگ کربناته در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد
- تولید دیرگدازهای مقاوم در برابر رطوبت اتمسفر و دی‌اکسیدکربن از هیدروکسید منیزیم و دولومیت
- خروج آب پیوندی از سنگ معدن هیدروکسید آلومینیم در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و تبدیل آن به آلومینا با هدف کاربرد در ساخت مواد الکتریکی و الکترونیکی و جواهرات مصنوعی مورد استفاده در لیزرهای مختلف
- خروج آب و مواد فرار از کک به منظور تولید مواد ساینده و انواع روکش‌ها
- تولید سیمان پرتلند
- تولید کربنات سدیم از کانی ترونا به منظور ساخت سود سوزآور در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد

دما، نوع کوره و محصول حاصل از تکلیس برخی از کانی‌ها و ترکیبات کربناتی و هیدروکسیدی در فشار یک اتمسفر در جدول ۱-۲ ارایه شده است.

جدول ۱-۲- دما، نوع کوره و محصول حاصل از تکلیس برخی از ترکیبات کربناته و هیدروکسیدی در فشار یک اتمسفر

نوع کوره آزمایشگاهی	دما (درجه سانتی‌گراد)	کانسنگ	محصول
مافل	مساوی یا کمتر از ۲۰۰	کربنات آهن و کربنات منیزیم	اکسید منیزیم و اکسید آهن
مافل	مساوی یا بیشتر از ۴۰۰	کربنات منگنز و کربنات منیزیم	اکسید منگنز و اکسید منیزیم
مافل	مساوی یا بیشتر از ۹۰۰	کربنات کلسیم	اکسید کلسیم
مافل	مساوی یا بیشتر از ۱۰۰۰	کربنات باریم و کربنات سدیم	اکسید باریم و اکسید سدیم
مافل یا بستر سیال	مساوی یا بیشتر از ۱۱۰۰	بوکسیت	اکسید آلومینیم

1- Devitrification

omoorepeyman.ir

۱-۵- ضرورت انجام فرآیندهای خشک کردن، تشویه و تکلیس

الف- خشک کردن

در فرآوری، از خشک کردن معمولا قبل یا بعد از هر مرحله از عملیات آزمایشگاهی استفاده می‌شود. به عنوان مثال پس از پرعیارسازی کانسنگ ممکن است رطوبت موجود در کانسنگ بیش از حد باشد و باعث ایجاد مشکلاتی در فرآیندهای بعدی شود. نیاز به خشک کردن نمونه‌های آزمایشگاهی می‌تواند دلایل متفاوتی داشته باشد که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- تعیین درصد جامد خشک و درصد جامد پالپ
- ارتقای کارآیی عملیات در مراحل سرند کردن، طبقه‌بندی به وسیله سیکلون‌های هوایی و یا ترسیب الکترواستاتیکی
- نیاز به مواد کاملا خشک به منظور افزایش کارآیی برخی فرآیندها مانند ذوب سریع[1]
- آماده‌سازی نمونه‌های معدنی برای تجزیه‌های مختلف

ب- تشویه

فرآیند تشویه یکی از عملیات متالورژی استخراجی است و به عنوان پیش‌فرآیند برای این عملیات به کار می‌رود که با حرارت دادن کانسنگ یا محصول پرعیار سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، پیروتیت، سولفید مولیبدن و نظایر آن) در مجاورت هوا یا اکسیژن انجام می‌شود. اغلب قبل از اینکه فرآیند تشویه انجام شود، سنگ معدن به وسیله فرآیندهای فیزیکی مانند فلوتاسیون و یا روش‌های مغناطیسی پرعیار تا حدودی خالص‌سازی می‌شود تا این فرآیند با سهولت بیشتری انجام شود. این فرآیند در برخی از موارد برای تسهیل فرآیندهای جدایش فیزیکی و شیمیایی بر روی ماده معدنی و محصول پرعیار نیز انجام می‌شود.

این فرآیند در اثر واکنش‌های حرارتی جامد و گاز، به اکسیداسیون، احیا، کلریناسیون، سولفاتی و هیدرولیز حرارتی کانسنگ‌ها منجر می‌شود. در طول فرآیند سولفیدها به اکسید تبدیل شده و گوگرد به صورت دی‌اکسیدگوگرد خارج می‌شود. عملیات تشویه بر روی ترکیبات کربنی و تلوریدی نیز انجام می‌شود.

در برخی موارد از فرآیند تشویه قبل از عملیات ذوب و برای خارج کردن گوگرد و مواد فرار استفاده می‌شود. این مواد ممکن است در فرآیند ذوب سبب کاهش کارآیی شود. این مرحله منجر به ذخیره سوخت و افزایش ظرفیت کوره ذوب می‌شود. تشویه و یا هر فرآیند حرارتی پیش‌فرآوری کانسنگ یا محصول پرعیار به شدت به خصوصیات حرارتی آن فرآیند بستگی دارد.

در تشویه مواد معدنی تنها اکسید فلز و گاز دی‌اکسیدگوگرد تولید نمی‌شود، بلکه ممکن است فازهای مختلفی از ترکیبات سولفاتی، سولفیدی، اکسیدی و گاز تری‌اکسیدگوگرد تولید شود که به شرایط تشویه و ترکیبات ماده معدنی بستگی دارد.

پ- تکلیس

فرآیند تکلیس یا به صورت مستقل برای تولید یک ماده معدنی با ارزش و یا به صورت یک فرآیند پرعیارسازی اولیه برای تسهیل عملیات بعدی انجام می‌شود. ضرورت انجام فرآیند تکلیس مواد معدنی به صورت زیر است:

- بهبود کیفیت مواد معدنی و یا تسهیل عملیات دیگر در فرآوری و متالورژی استخراجی

1- Flash smelting

omoorepeyman.ir

– حذف مواد فرار مانند آب، دی‌اکسیدکربن، مواد آلی و نظایر آن در ماده معدنی به منظور جلوگیری از بروز مشکل در برخی از فرآیندها مانند ذوب کانسنگ یا فرآیندهای انحلال با هدف افزایش کارآیی و کیفیت عملکرد فرآیند و افزایش کیفیت محصول تولید شده

– تولید محصول خالص بدون مواد فرار در ساختار آن (در فرآیند ترسیب و حذف فلزات سنگین از پسماندهای صنعتی، وجود رطوبت و برخی از مواد آلی در روند فرآیند اثر منفی دارد، بنابراین لازم است که ابتدا فرآیند تکلیس بر روی آن انجام شود.)

– تبدیل تعدادی از مواد معدنی به یک ماده با ارزش صنعتی (مانند کاربرد آلومینای تکلیس شده در ساخت جواهرات) با از دست دادن آب پیوندی

– تغییر فاز کانی‌ها

– کاهش هزینه‌ها و اقتصادی شدن فرآیند پرعیارسازی یا تولید محصول برای عملیات بعدی

– تغییر خصوصیات ماده معدنی برای کاربردهای خاص. به طور مثال در اثر تکلیس کانی کائولن برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تغییر می‌کند به طوری که باعث افزایش درخشندگی، سختی، بهبود خاصیت الکتریکی و تغییر اندازه و شکل ذرات آن می‌شود.

۱-۶- مشخصات فرد آزمایش‌کننده

فرد آزمایش‌کننده باید واجد شرایط، تخصص فرآوری، سطح آموزش و تجربه مناسب مشخص باشد و دوره‌های ایمنی، بهداشت و محیط زیست را گذرانده باشد. این آزمایش‌ها باید توسط تکنسینی که حداقل دارای دو سال سابقه کار در آزمایشگاه باشد، انجام گیرد.

۱-۷- اطلاعات و اسناد مورد نیاز

انجام آزمایش‌های دقیق و معتبر بر روی نمونه، به مجموعه‌ای از اطلاعات و اسناد علمی نیازمند است که زمینه را برای آزمایش‌ها و تصمیم‌گیری‌های بعدی هموار می‌سازد. مهم‌ترین اسناد و مدارکی که در انجام آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس بر روی انواع مختلف نمونه‌های معدنی در مقیاس‌های آزمایشگاهی لازم است عبارتند از:

– گزارش مطالعات کانی‌شناسی و خواص‌سنجی نمونه مانند کانی‌های اصلی تشکیل دهنده کانسنگ و مقدار آن‌ها، وضعیت درگیری کانی‌ها، تعیین کانی‌های با ارزش و اقتصادی برای فرآوری و پرعیارسازی، درجه آزادی کانی‌های مورد نظر و نظایر آن

– گزارش‌های مربوط به نحوه نگهداری و محافظت نمونه‌ها

– گزارش‌های مربوط به اثرات زیست‌محیطی مواد زیانبار موجود در نمونه و رعایت توصیه‌های ایمنی

– اطلاعاتی در مورد حالت فیزیکی، نوع و وضعیت نمونه، مقدار نمونه، درصد رطوبت، ابعاد نمونه و توزیع ابعادی نمونه

omoorepeyman.ir

فصل ۲

راهنمای آزمایش خشک کردن مواد معدنی

omoorepeyman.ir

۲-۱- آشنایی

خشک کردن در مقیاس آزمایشگاهی به منظور آماده‌سازی نمونه برای آزمایش‌های مورد نظر، انبار و نگهداری نمونه، تعیین میزان رطوبت و یا تعیین خصوصیات مرتبط با طراحی خشک‌کن‌های صنعتی انجام می‌شود.

۲-۲- عوامل موثر در فرآیند خشک کردن

با توجه به هدف آزمایش خشک کردن در مقیاس آزمایشگاهی، برخی از عوامل تاثیرگذار بر عملیات خشک کردن عبارت‌اند از:

- وزن نمونه
- آهنگ تبخیر
- رطوبت اولیه
- رطوبت نهایی
- دمای محفظه خشک‌کن
- انرژی ورودی به سیستم خشک‌کن
- انرژی مصرف شده
- توان یا بازدهی سیستم خشک‌کن

۲-۳- تجهیزات خشک کردن

۲-۳-۱- تجهیزات قبل از عملیات

- دستگاه‌های خردایش (سنگ‌شکن، آسیا، پودرکن و نظایر آن)
- ترازوی آزمایشگاهی
- وسیله نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حاوی نمونه
- ظروف توزین درپوش‌دار

۲-۳-۲- تجهیزات در حین عملیات

- خشک‌کن‌های متداول آزمایشگاهی، خلا و میکروویو
- زمان‌سنج

۲-۳-۳- تجهیزات بعد از عملیات

- ترازوی آزمایشگاهی
- خشکانه

omoorepeyman.ir

– وسیله نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حاوی نمونه

۲-۴- آزمایش خشک کردن مواد معدنی

۲-۴-۱- آماده‌سازی

آماده‌سازی نمونه مهم‌ترین مرحله پس از انجام نمونه‌برداری است که در مورد عملیات خشک کردن شامل موارد زیر است:

– خرد کردن نمونه‌های کلوخه‌ای برای افزایش سطح آزاد

– همگن‌سازی نمونه بعد از خردایش

– شناسایی نمونه از نظر وجود کانی‌ها و مواد حساس به حرارت، سمی و تبخیرپذیر بودن

در صورتی که نمونه از جریان پالپ در هر کدام از بخش‌های مدار کارخانه کانه‌آرایی از جمله جداکننده‌های مغناطیسی، ثقلی و نظایر آن تهیه شده باشد، ممکن است انجام کلیه مراحل یاد شده لازم نباشد. دقت لازم برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها در مرحله آماده‌سازی باید انجام شود. نمونه‌هایی که اکسید می‌شوند و یا در اثر تماس با هوا و یا رطوبت تغییر حالت و عیار می‌دهند باید در کیسه‌های پلاستیکی مهر و موم شده یا در ظرف‌های فلزی یا پلی‌اتیلنی درپوش‌دار نگهداری شوند. در صورتی‌که حاوی سولفیدهای ناپایدار باشند باید در جای خنک نگهداری شوند. در مواردی که سنجش میزان رطوبت اولیه نمونه از اهداف عملیات باشد باید در حین نمونه‌گیری و آماده‌سازی، رطوبت نمونه حفظ شود.

۲-۴-۲- روش آزمایش

روش انجام عملیات خشک کردن مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی به شرح زیر است:

– نمونه ماده معدنی (کانسنگ، پالپ، محصول پرعیار و باطله) آماده‌سازی شده و با دقت توزین می‌شود.

– قبل از قرار دادن نمونه ماده معدنی در دستگاه خشک‌کن برای رسیدن به حالت تعادل با توجه به نوع دستگاه و هدف آزمایش از ۱۰ دقیقه تا ۳۰ دقیقه در دمای حدود ۸۵ درجه سانتی‌گراد تنظیم می‌شود.

– پس از اینکه دمای دستگاه به تعادل رسید مقدار مشخصی از ماده معدنی به همراه ظرف توزین درون خشک‌کن گذاشته می‌شود.

– بلافاصله پس از بستن درب دستگاه، اندازه‌گیری زمان آغاز می‌شود.

– در فواصل زمانی مشخص یا در صورت امکان به طور پیوسته، وزن نمونه ماده معدنی به همراه ظرف تعیین می‌شود.

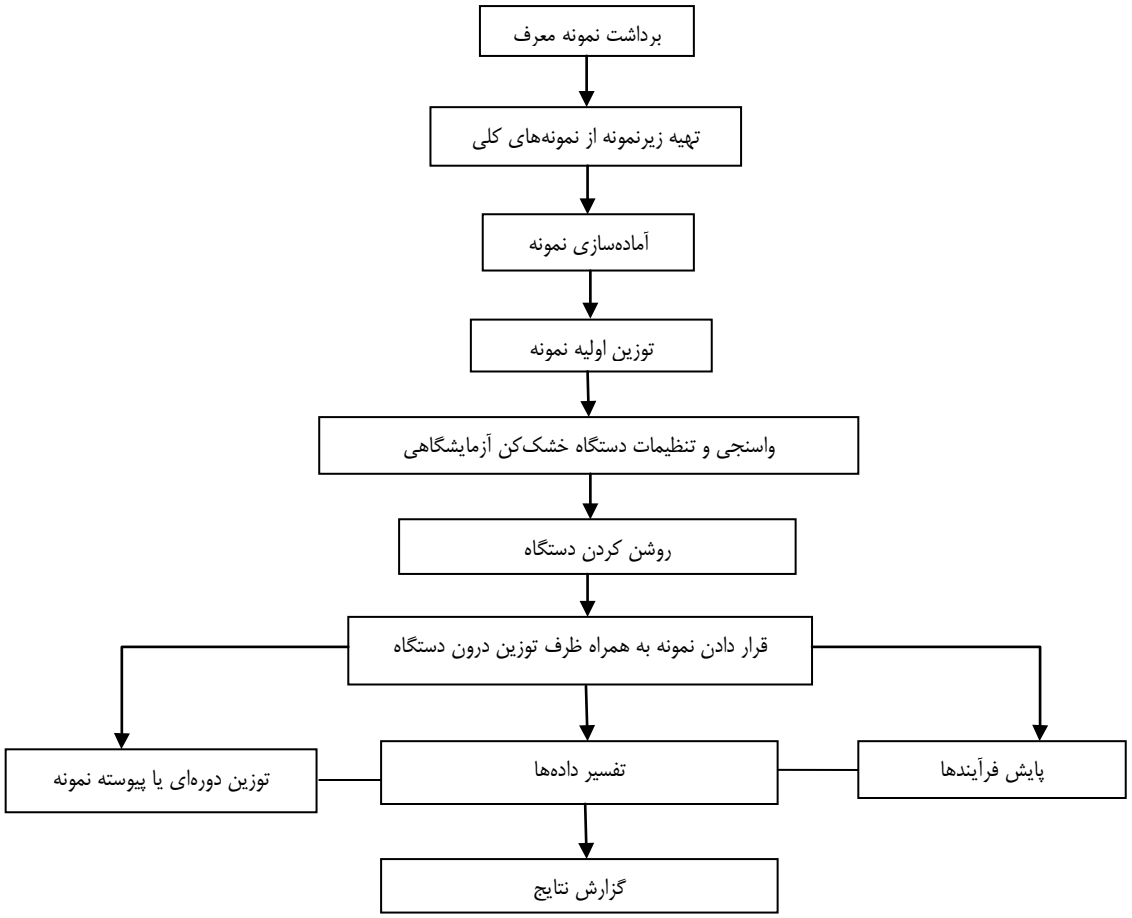
– با توجه به هدف آزمایش، پس از طی مدت زمان تعیین شده و یا رسیدن به رطوبت مورد نظر، ظرف حاوی نمونه ماده معدنی از دستگاه خارج می‌شود.

– در صورتی که هدف از انجام آزمایش صرفا خشک کردن کامل نمونه ماده معدنی باشد، در صورتی که قرائت دو توزین متوالی عملا یکسان شدند، نمونه از دستگاه خارج می‌شود.

omoorepeyman.ir

- درپوش ظرف حاوی نمونه گذاشته شده و در داخل خشکانه قرار داده می‌شود.
- کلیه عملیات توزین پس از سرد شدن نمونه انجام می‌شود.
- با انجام محاسبات لازم درصد رطوبت و آهنگ خشک شدن نمونه ماده معدنی تعیین می‌شود.

مراحل آزمایش خشک کردن در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.



شکل ۲-۱- روندنمای مراحل آزمایش خشک کردن

۲-۴-۳- فرم اطلاعات لازم برای آزمایش خشک کردن

فرم اطلاعات آزمایش خشک کردن مواد معدنی در جدول ۲-۱ ارایه شده است.

جدول ۲-۱- مشخصات و اطلاعات آزمایش خشک کردن مواد معدنی

۱) مشخصات عمومی			
- آزمایش‌کننده		- تاریخ انجام آزمایش	
- نام شرکت یا شخص درخواست‌کننده آزمایش		- شماره آزمایش	
- نام آزمایش		- نام آزمایشگاه	
- مواد مصرفی		دمای آزمایشگاه (درجه سانتی‌گراد)	
- تجهیزات مورد استفاده			
مقدار نمونه (گرم):			

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۲-۱- مشخصات و اطلاعات آزمایش خشک کردن مواد معدنی

<table>
<tr><td colspan="4">۲) مشخصات نمونه</td></tr>
<tr><td colspan="4">- حالت نمونه: □ جامد □ پالپ فیلتر شده
- نمونه مورد نظر برای آزمایش:
کانسنگ □ نمونه اولیه خرد شده □ محصول پیش‌فرآوری □
- آماده‌سازی نمونه:
الف) خردایش:
سنگ‌شکنی □ آسیا □
ب) طبقه‌بندی:
لازم است □ لازم نیست □</td></tr>
<tr><td colspan="4">۳) آزمایش و نتایج:</td></tr>
<tr><td>زمان (دقیقه)</td><td>وزن ظرف نمونه (گرم)</td><td>وزن ظرف با نمونه (گرم)</td><td>وزن (ظرف با نمونه - ظرف نمونه) (گرم)</td></tr>
<tr><td></td><td rowspan="6"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="4">توضیحات</td></tr>
</table>

۲-۵- نکات ایمنی

خطرات احتمالی ناشی از استفاده از خشک‌کن‌های آزمایشگاهی شامل موارد زیر است:

- سوختگی ناشی از حرارت دستگاه
- برق‌گرفتگی در اثر تماس با قسمت‌های الکتریکی دستگاه
- آتش گرفتن دستگاه
- جراحت یا بریدگی ناشی از شکستن ظروف شیشه‌ای

برای جلوگیری از موارد یاد شده باید کلیه افرادی که از دستگاه استفاده می‌کنند آموزش‌های لازم را گذرانده باشند.

موارد ایمنی که هنگام استفاده از خشک‌کن‌های آزمایشگاهی باید رعایت شود، شامل موارد زیر است:

- کنترل زمان تعمیرات دوره‌ای دستگاه طبق راهنمای کارخانه سازنده
- استفاده از تجهیزات ایمنی مانند دستکش مقاوم به حرارت، عینک و لباس مخصوص
- تنظیم دمای خشک کردن به وسیله پیچ تنظیم
- برای کنترل دمای درون دستگاه نباید از دماسنج جیوه‌ای استفاده کرد زیرا ممکن است مخزن جیوه در اثر حرارت شکسته شده و اپراتور در معرض خطر تماس با جیوه قرار گیرد.
- مقدار نمونه در خشک‌کن باید متناسب با ظرفیت آن باشد.
- نمونه نباید برای مدت زمان بسیار طولانی در داخل دستگاه به حال خود رها شود.

omoorepeyman.ir

- برای خشک کردن نباید از ظروف پلاستیکی استفاده شود.
- پس از انجام آزمایش، کلیه قسمت‌های دستگاه تمیز شود.
- پس از پایان آزمایش، دستگاه خاموش شود.

کلیه موارد یاد شده باید در حالات زیر مجددا تکرار شود:

- پس از بروز هر سانحه
- هنگام آموزش به اپراتورهای جدید
- تحویل دستگاه به گروه جدید
- تغییر تجهیزات یا مواد
- در فواصل زمانی مناسب

omoorepeyman.ir

فصل ۳

راهنمای آزمایش تشویه مواد معدنی

omoorepeyman.ir

۳-۱- آشنایی

تشویه فرآیندی است که طی آن کانسنگ یا محصول پرعیار سولفیدی در مجاورت هوا یا اکسیژن در دمای کمتر از نقطه ذوب حرارت داده شده و مواد فرار نظیر گوگرد، آرسنیک، رطوبت و نظایر آن از آن خارج می‌شوند.

۳-۲- عوامل موثر در فرآیند تشویه

- خصوصیات کانی‌شناسی نمونه
- دانه‌بندی و ابعاد ذرات نمونه
- ناخالصی‌های موجود در کانسنگ
- میزان گازها، مواد فرار و عناصر تولید شده در کوره تشویه
- نوع و ظرفیت کوره تشویه
- دما و آهنگ تغییرات آن
- مدت زمان قرارگیری نمونه در داخل کوره تشویه
- انتقال حرارت
- سیالیت
- نوع گاز یا ماده خنک‌کننده
- گرد و غبار و گازهای تمیزکننده
- نوع و میزان مواد افزودنی مانند برخی از نمک‌ها و آب برای آگلومراسیون
- فشار هوای ورودی در برخی از تشویه‌کننده‌ها
- اتمسفر داخلی کوره

۳-۳- تجهیزات تشویه مواد معدنی

۳-۳-۱- تجهیزات قبل از عملیات

- تجهیزات شناسایی و تجزیه شیمیایی و کانی‌شناسی نمونه مانند XRF، XRD، SEM، تجهیزات تهیه مقاطع میکروسکوپی، DTA، TGA، AAS و نظایر آن
- دستگاه خردایش (سنگ‌شکن، پودرکن، آسیا و نظایر آن)
- سرند
- تجهیزات پرعیارسازی مانند جداکننده‌های ثقلی، مغناطیسی، فلوتاسیون و نظایر آن در صورت نیاز
- ترازوی آزمایشگاهی
- خشک‌کن آزمایشگاهی

omoorepeyman.ir

- دستگاه آگلومراسیون
- ظروف متداول آزمایشگاهی و وسیله نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حامل نمونه

۳-۳-۲- تجهیزات در حین عملیات

- کوره آزمایشگاهی (کوره مافل یا کوره بستر سیال)
- بوته آزمایشگاهی در اندازه و حجم‌های متفاوت
- دستگاه آنالیز حرارتی (DTA/TGA)
- آبفشان آزمایشگاهی در صورت مجهز نبودن دستگاه آگلومراسیون به آن
- زمان‌سنج

۳-۳-۳- تجهیزات بعد از عملیات

- ترازوی آزمایشگاهی
- خشکانه (دسیکاتور)
- سرند
- ظروف متداول آزمایشگاهی و وسیله نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حامل نمونه
- دستگاه خردایش (سنگ‌شکن، پودرکن، آسیا و نظایر آن) در صورت آگلومره شدن
- برخی از تجهیزات تجزیه شیمیایی و کانی‌شناسی نمونه مانند XRF، SEM، AAS و نظایر آن

۳-۴- آزمایش تشویه مواد معدنی

۳-۴-۱- آماده‌سازی

- برای آزمایش تشویه مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی از مراحل مختلف معدنکاری و فرآوری شامل اکتشاف، استخراج و فرآوری مواد معدنی، باطله‌ها، سرباره‌ها و نظایر آن نمونه معرف برداشت می‌شود. با استفاده از روش‌ها و تجهیزات مناسب نمونه‌برداری، نمونه لازم از محل مورد نظر برداشته شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شود.
- اولین مرحله بعد از نمونه‌برداری و انتقال آن به آزمایشگاه، شناسایی و تجزیه شیمیایی و کانی‌شناسی به منظور مشخص شدن کانی‌ها و عناصر تشکیل دهنده آن، تعیین میزان ترکیبات و عناصر نمونه است.
- در صورت نیاز خشک کردن نمونه به روش طبیعی در هوای آزاد انجام می‌شود. در صورتی که خشک کردن طبیعی باعث ایجاد تغییراتی مانند اکسیداسیون کانی شود این فرآیند در داخل خشک‌کن انجام می‌شود.
- پس از خشک کردن در صورت نیاز عملیات خردایش بر روی نمونه انجام می‌شود. در این صورت ابتدا نمونه به وسیله سنگ‌شکن‌های آزمایشگاهی مختلف در طی یک یا دو مرحله خرد می‌شود.
- محصول حاصل از مراحل مختلف خردایش به وسیله سرند به بخش‌های ابعادی مختلف طبقه‌بندی می‌شود.

omoorepeyman.ir

– با توجه به اهمیت آزمایش، محصول مورد نظر از هر بخش ابعادی پس از اختلاط و همگن‌سازی به وسیله تقسیم‌کننده مناسب به نمونه‌های از یک گرم تا دو کیلوگرمی برای انجام آزمایش تشویه تقسیم می‌شود. بهتر است که برای انتخاب ابعاد بهینه، آزمایش‌های مختلف تشویه بر روی تمامی بخش ابعادی انجام شود.

– در صورتی‌که مراحل عملیات به صورتی پیش رود که نیاز به پرعیارسازی اولیه باشد، قبل از اینکه فرآیند تشویه انجام شود فرآیندهای پرعیارسازی مانند جدایش مغناطیسی، الکتریکی، ثقلی، فلوتاسیون و نظایر آن بر روی نمونه مورد نظر انجام می‌شود.

– در آزمایش تشویه مواد معدنی، در صورت ریزدانه بودن، ذرات کانی آگلومره می‌شود.

آماده‌سازی نمونه برای تشویه در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

۳-۴-۲- روش آزمایش

– ماده معدنی آماده‌سازی شده توزین شده (در صورت نیاز پس از آگلومره شدن) و وزن آن یادداشت می‌شود.

– در صورتی که بار ورودی اولیه به صورت گندله باشد، قطعات درشت‌تر در کف ظرف تشویه (بوته سیلیسی یا صفحه فولادی) ریخته شده و بقیه به ترتیب درشت تا ریز ریخته می‌شوند تا با ایجاد فضای بیشتر کارآیی آزمون افزایش یابد.

– در برخی از مواقع به منظور پایدارسازی دمای داخل کوره گاز آرگون سریعا به داخل کوره وارد می‌شود تا فضای کوره برای عملیات تشویه آماده شده و نیز هوای اولیه بیرون رانده شود. در بعضی مواقع قبل از انتقال مواد معدنی به کوره به منظور پایدارسازی دمای داخل کوره و خروج هوا از آن مدتی کوره را روشن می‌کنند و حرارت می‌دهند.

– ظرف تشویه حاوی مواد معدنی (اکثرا سولفیدی) به داخل کوره مافل یا کوره بستر سیال از نوع آزمایشگاهی منتقل می‌شود.

– پس از روشن کردن کوره و تنظیم دمای مورد نظر، مواد معدنی داخل آن در مدت زمان معین (بسته به نوع ماده معدنی معمولا بین یک تا ۱۱ ساعت) تحت فرآیند تشویه قرار می‌گیرد.

– در طی این فرآیند در صورت لزوم هوای مورد نیاز به داخل کوره دمیده می‌شود.

– در پایان عملیات تشویه، پس از خارج شدن گازهای تولید شده از قسمت خروجی گازها، درب کوره باز شده و محتویات داخل کوره (ظرف حاوی نمونه‌های تشویه شده) بیرون آورده می‌شود.

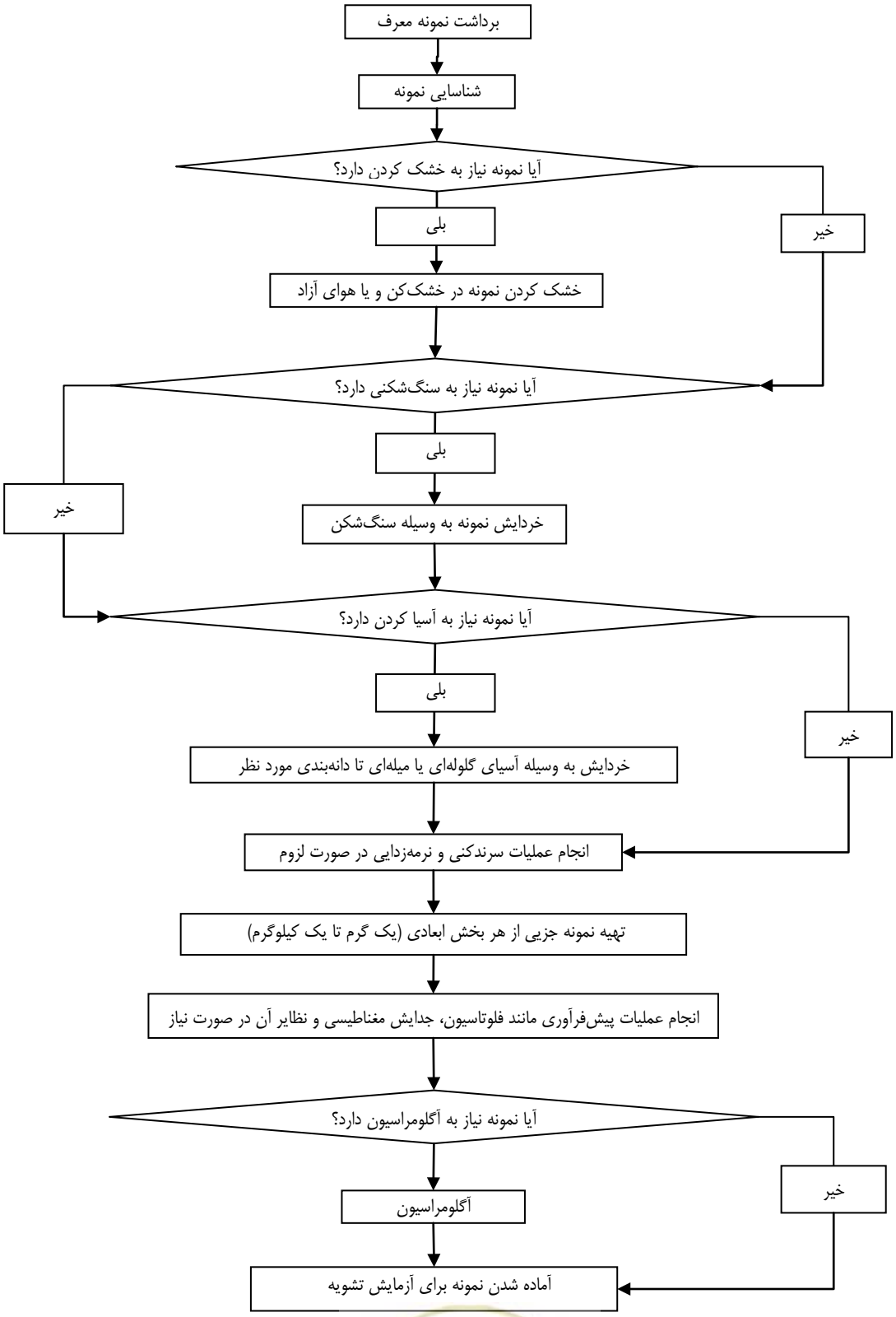
– نمونه تشویه شده در خشکانه سرد می‌شود.

– در صورتی که در حین فرآیند تشویه آگلومره تشکیل شود، بعد از فرآیند تشویه عملیات خردایش بر روی آن‌ها انجام می‌گیرد.

– بعد از این مرحله نمونه‌ها توزین شده تا کاهش وزن در اثر فرآیند تشویه مشخص شود. توصیه می‌شود برای به دست آوردن نتیجه دقیق‌تر بر روی نمونه‌ها به منظور بهینه‌سازی شرایط، تجزیه شیمیایی انجام گیرد. این آزمایش‌ها در نسبت‌ها و مقادیر متفاوت و پارامترهای موثر در فرآیند تشویه (دما، ابعاد ذرات، زمان و نظایر آن) تکرار و در نهایت شرایط بهینه تشویه مشخص می‌شود.

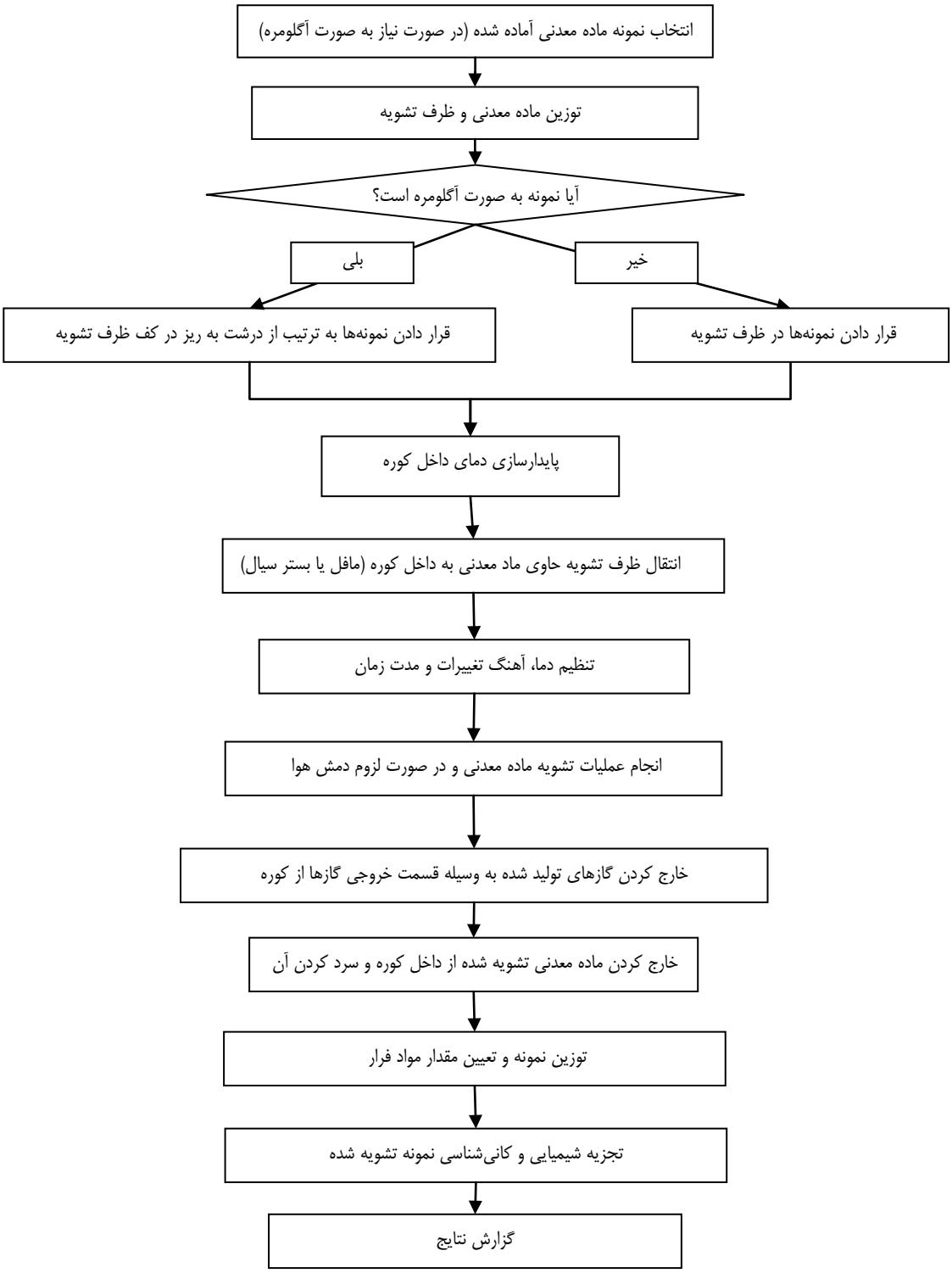
مراحل انجام آزمایش تشویه در شکل ۳-۲ نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۱- روندنمای آماده‌سازی نمونه برای تشویه

omoorepeyman.ir



شکل ۳-۲- روندنمای مراحل آزمایش تشویه

۳-۴-۳- فرم اطلاعات لازم برای آزمایش تشویه

فرم اطلاعات آزمایش تشویه مواد معدنی در جدول ۳-۱ ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۳-۱- مشخصات و اطلاعات آزمایش تشویه مواد معدنی

۱) مشخصات عمومی			
- آزمایش‌کننده		- تاریخ انجام آزمایش	
- نام شرکت یا شخص درخواست‌کننده آزمایش		- شماره آزمایش	
- نام آزمایش		- نام آزمایشگاه	
- مواد شیمیایی لازم در صورت نیاز به آگلومراسیون			
- تجهیزات مورد استفاده			

۲) مشخصات نمونه

- حالت نمونه تحویل شده: □ جامد □ پالپ
- نمونه مورد نظر برای آزمایش:

کانسنگ □ نمونه اولیه خرد شده □ محصول پیش‌فرآوری □

- آماده‌سازی نمونه:

الف) خردایش:

سنگ‌شکنی □ آسیا □

ب) طبقه‌بندی و تفکیک ابعادی نمونه:

لازم است □ لازم نیست □

پ) پیش‌فرآوری قبل از تشویه:

جدایش الکتریکی □ فلوتاسیون □ جدایش ثقلی □ جدایش مغناطیسی □ سنگ‌جوری □

ت) آگلومراسیون:

لازم است □ لازم نیست □

توصیف نمونه:

- وزن تقریبی نمونه: ..... ابعاد نمونه: ..... میزان رطوبت (آب موجود در نمونه): ..... میزان گوگرد: ..... میزان آرسنیک: .....سایر مواد فرار.....
- نوع کانسنگ:

□ فلزی (سولفید○ اکسید○ کربنات○ سولفات ○ سیلیکات) ○ □ غیرفلزی یا کانی صنعتی (نام برده شود)

- فراوانی کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ: .....
- مرحله مطالعات و محل برداشت نمونه:

□ اکتشاف عمومی (برداشت‌های سطحی ○ ترانشه‌ها ○ تونل‌ها و چاهک‌ها ○ جبهه‌کارهای اکتشافی○)

□ اکتشاف تفصیلی (ترانشه‌ها ○ تونل‌ها○ چاه‌ها○ گمانه‌ها○ جبهه‌کارهای اکتشافی○)

□ استخراج و بهره‌برداری (جبهه‌کارهای پیشروی ○ تونل‌ها ○ کارگاه‌های استخراج○)

□ کارخانه کانه‌آرایی (محل‌های نمونه‌برداری): .....

□ سد باطله

- نحوه ارسال و حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه: .....

۳) اهداف مطالعات:

- مطالعات آزمایشگاهی □
- مطالعات پرعیارسازی (پیش‌فرآوری □ تهیه کنسانتره □)
- بررسی کارایی یا راندمان تجهیزات فرآوری □
- بهینه‌سازی فرآیندها □
- سایر □

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۳-۱- مشخصات و اطلاعات آزمایش تشویه مواد معدنی

۴) برای تشویه اطلاعات زیر کامل شود:

- روش کار (به صورت خلاصه): .....
- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات تشویه:.....
- پارامترهای موثر و عملیاتی: فشار:.....دما:.....ظرفیت:.....ابعاد.....زمان.....میزان هوای ورودی.....سایر (ذکر شود.)
- مقدار مصرف انرژی: .....
- مشکلات زیست‌محیطی : ندارد □ دارد (ذکر شود.) □
- ملاحظات: .....

۵) شرایط آزمایش و نتایج:

شماره نمونه	وزن اولیه (گرم)	ابعاد (سانتی‌متر، میلی‌متر یا میکرون)	شکل نمونه‌ها	زمان تشویه (دقیقه)	دما (سانتی‌گراد)	اختلاف وزن قبل و بعد ازتشویه (گرم)
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						

توجه: احتمال دارد که در جدول بالا در تعدادی از مراحل مقادیر برخی از پارامترها مانند (وزن، دما، زمان و نظایر آن) برای مشخص کردن شرایط بهینه مساوی و ثابت باشد.

۶) توضیحات

۳-۵- نکات ایمنی

- مسوولیت به کار انداختن و مراقبت کوره تشویه و تجهیزات باید به افراد آموزش دیده محول شود.
- قبل از قرار دادن نمونه در داخل کوره باید از نبود و مخلوط نشدن مواد قابل انفجار و خطرناک در داخل آن اطمینان حاصل شود.
- کوره و تجهیزات جانبی آن قبل از استفاده باید با دقت پایش شده و پس از رفع معایب موجود، شرایط عملیاتی برای فرآیند آماده شود.
- برای جلوگیری از مخاطرات باید به طور منظم محفظه، درب و سایر تجهیزات جانبی و نیز بخش کنترل به وسیله مسوول آزمایشگاه کنترل شود.
- در مورد کوره‌های بدون قفل ایمنی، دریچه ورود گاز (هوا، آرگون و نیتروژن) باید بسته باشد و قبل از باز کردن درب، اجازه داده شود تا دمای کوره با دمای آزمایشگاه یکسان شود.
- در تمام مراحل کاربرها باید هنگام باز کردن و کار با کوره‌ها از دستکش و ماسک محافظ استفاده کنند.
- در هنگام کار با کوره باید توجه داشت تا درب آن زیاد باز نماند زیرا در این حالت حرارت تولید شده داخل آن به سرعت خارج می‌شود.
- از آنجا که در اثر فرآیند تشویه مواد فرار مانند اکسیدهای گوگرد، آنتیموان، آرسنیک و نظایر آن ممکن است در کوره تولید شود، باید از قسمت تخلیه، این گازها به بیرون از آزمایشگاه یا یک ظرف و سیلندر مخصوص هدایت شود تا از احتمال بروز خطر

omoorepeyman.ir

و آسیب آن کاسته شود. توصیه می‌شود که مکان قرارگیری کوره در زیر هود باشد. هود باید مجهز به هواکش قوی و قادر به تعویض سریع تمامی هوای آزمایشگاه باشد.

– آزمایشگاه باید مجهز به یک سیستم اطفای حریق فعال و استاندارد باشد.

– از قرار دادن ظروف حاوی مواد شیمیایی فرار و آتش‌زا نظیر الکل، اتر، بنزن، سولفید کربن و نظایر آن در مجاورت کوره اجتناب شود.

omoorepeyman.ir

فصل ۴

راهنمای آزمایش تکلیس مواد معدنی

omoorepeyman.ir

۴-۱- آشنایی

فرآیند تکلیس شامل جدا کردن آب، دی‌اکسید کربن و گازهای دیگری است که با پیوند شیمیایی در ترکیب‌هایی مانند هیدرات‌ها یا کربنات‌ها وجود دارند.

۴-۲- عوامل موثر در فرآیند تکلیس

عوامل موثر در فرآیند تکلیس به شرح زیر است:

- دما
- دانه‌بندی و کانی‌شناسی
- تخلخل
- چگونگی پخش ذرات درون محفظه تکلیس
- زمان توقف ذرات جامد درون محفظه تکلیس
- اثرات مواد افزودنی و کانی‌های همراه
- ناخالصی‌های موجود در کانسنگ
- میزان گازها و مواد فرار در حین تکلیس در داخل کوره
- نوع و ظرفیت کوره
- نوع گاز یا جریان خنک‌کننده

۴-۳- تجهیزات تکلیس مواد معدنی

۴-۳-۱- تجهیزات قبل از عملیات

- تجهیزات شناسایی و تجزیه شیمیایی و کانی‌شناسی نمونه مانند XRF، XRD، SEM، تجهیزات تهیه مقاطع میکروسکوپی، DTA، TGA، AAS، ICP و نظایر آن
- تجهیزات پرعیارسازی اولیه مانند جداکننده‌های ثقلی، مغناطیسی، فلوتاسیون و نظایر آن
- ترازوی آزمایشگاهی
- خشک‌کن آزمایشگاهی
- دستگاه خردایش (سنگ‌شکن، پودرکن، آسیا و نظایر آن)
- سرند آزمایشگاهی
- ظروف آزمایشگاهی و وسایل نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حامل نمونه

omoorepeyman.ir

۴-۳-۲- تجهیزات در حین عملیات

- کوره آزمایشگاهی
- بوته آزمایشگاهی در اندازه و حجم‌های متفاوت
- دستگاه آنالیز حرارتی (DTA/TGA)
- زمان‌سنج

۴-۳-۳- تجهیزات بعد از عملیات

- ترازوی آزمایشگاهی
- خشکانه (دسیکاتور)
- سرند آزمایشگاهی
- ظروف آزمایشگاهی و وسایل نگهداری و جابه‌جاکننده ظرف حاوی نمونه
- دستگاه خردایش (سنگ‌شکن، پودرکن، آسیا و نظایر آن) در صورت آگلومره شدن
- برخی از تجهیزات تجزیه شیمیایی و کانی‌شناسی نمونه مانند XRF، SEM و AAS

۴-۴- آزمایش تکلیس ماده معدنی

۴-۴-۱- آماده‌سازی

آماده‌سازی نمونه‌ها، برای آزمایش تکلیس مواد معدنی به صورت زیر است (شکل ۴-۱):

- با استفاده از روش‌ها و تجهیزات مناسب نمونه‌برداری، نمونه معرف لازم از محل مورد نظر و از مراحل مختلف معدنکاری و فرآوری شامل اکتشاف، استخراج، کانه‌آرایی و فرآوری مواد معدنی، باطله‌ها، سرباره‌ها و و نظایر آن) برداشته شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شود.

- بعد از انتخاب نمونه و انتقال آن به آزمایشگاه، شناسایی و تجزیه شیمیایی به منظور تعیین کانی‌ها و عناصر تشکیل دهنده و میزان این ترکیبات و عناصر انجام می‌گیرد، که با استفاده از روش‌های مختلف XRF، XRD، SEM، AAS، ICP و نظایر آن انجام می‌شود.

- اگر نمونه نیاز به خردایش به وسیله سنگ‌شکن داشته باشد، خشک کردن نمونه امری ضروری است. خشک کردن نمونه ممکن است در هوای آزاد انجام شود. در صورتی که خشک کردن طبیعی باعث ایجاد تغییراتی مانند اکسیداسیون کانی شود این مرحله در داخل خشک‌کن انجام می‌گیرد.

- بسیاری از نمونه‌های معدنی (معمولا کانسنگ‌های حاصل از مراحل اکتشاف و استخراج) با توجه به محل نمونه‌برداری نیاز به خردایش دارند، زیرا در اثر خردایش فضا و سطح لازم برای رسیدن به دمای مورد نظر مهیا و امکان خروج گازهای فرار و رطوبت فراهم می‌شود. بنابراین بعد از خشک کردن طبیعی نمونه (در صورت نیاز) عملیات خردایش بر

omoorepeyman.ir

روی آن انجام می‌گیرد. در این مرحله ابتدا نمونه به وسیله سنگ‌شکن‌های آزمایشگاهی مختلف در طی یک یا دو مرحله خرد می‌شود.

– محصول حاصل از مراحل مختلف خردایش به وسیله سرند کنترل می‌شود و در صورت نیاز به وسیله آسیاهای میله‌ای و گلوله‌ای آزمایشگاهی تحت خردایش قرار می‌گیرد.

– بعد از اتمام مرحله خردایش، نمونه به وسیله سرندهای آزمایشگاهی به بخش‌های ابعادی مختلف طبقه‌بندی می‌شود. البته فرآیند سرند کردن ممکن است قبل از انجام خردایش بر روی نمونه انجام گیرد.

– محصول مورد نظر از هر بخش ابعادی پس از اختلاط و همگن‌سازی به وسیله تقسیم‌کننده مناسب با توجه به اهمیت آزمایش به نمونه‌هایی از یک گرم تا یک کیلوگرم برای انجام آزمایش تکلیس تقسیم می‌شود. از آنجا که فرآیند تکلیس به پارامترهای موثری از جمله دانه‌بندی ذرات ماده معدنی بستگی دارد بنابراین با انجام آزمایش تکلیس و بررسی پارامترهای مختلف شرایط بهینه برای ابعاد نمونه تعیین و مناسب‌ترین بخش ابعادی برای ذرات انتخاب می‌شود.

۴-۴-۲- روش آزمایش

– نمونه آماده‌سازی شده از هر بخش ابعادی که معمولا از کانی‌های کربناتی است توزین و وزن آن یادداشت می‌شود.

– ظرف تکلیس (بوته یا جام آزمایشگاهی) معمولا به وسیله ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم وزن می‌شود.

– در این مرحله مقداری نمونه از هر یک از بخش‌های ابعادی برداشته و بعد از توزین در ظرف تکلیس ریخته می‌شود.

– در برخی مواقع قبل از انتقال نمونه به کوره به منظور پایدارسازی دمای داخل کوره و خارج کردن هوا از آن به مدت لازم کوره را روشن می‌کنند و حرارت می‌دهند.

– ظرف تکلیس حاوی نمونه (اکثرا کربناتی) به داخل کوره منتقل می‌شود. کوره روشن شده و پس از تنظیم دمای مورد نظر، نمونه داخل آن در مدت زمان معین (بسته به نوع نمونه در شرایط بهینه معمولا بین یک تا ۱۱ ساعت) تحت فرآیند تکلیس قرار می‌گیرد.

– در طی انجام فرآیند تکلیس، در صورت لزوم هوای مورد نیاز به داخل کوره دمیده می‌شود.

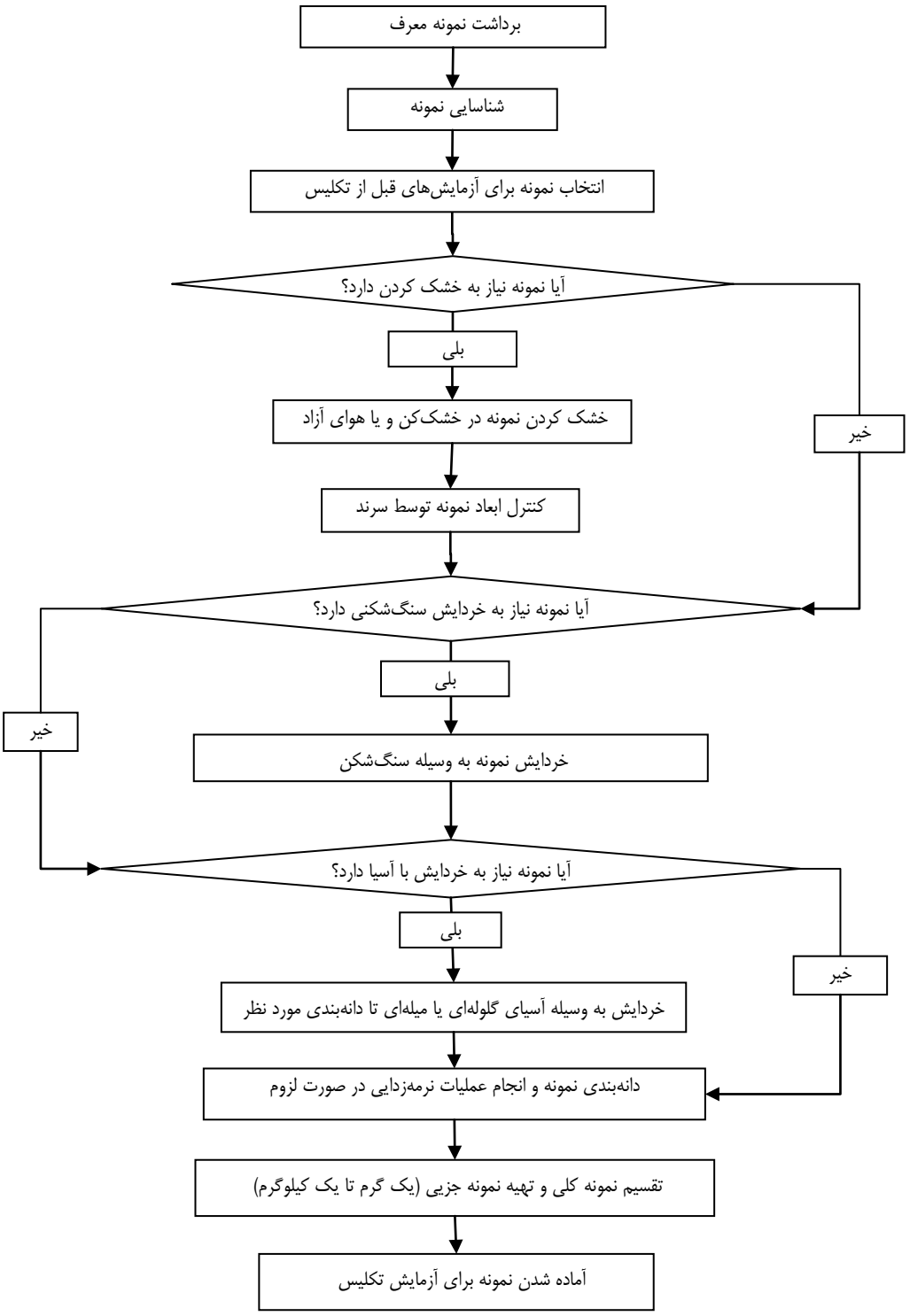
– در پایان عملیات تکلیس، پس از خروج گازهای تولید شده به وسیله قسمت خروج گازها، درب کوره باز شده و محتویات داخل کوره (ظرف حاوی مواد تکلیس شده) از آن خارج می‌شود.

– مواد تکلیس شده را در خشکانه قرار می‌دهند تا خنک شود.

– بعد از این مرحله نمونه‌ها با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شده تا کاهش وزن در اثر فرآیند تکلیس، میزان مواد فرار خروجی مانند آب و دی‌اکسیدکربن مشخص شوند. برای دستیابی نتیجه دقیق‌تر می‌توان تجزیه شیمیایی نیز بر روی نمونه‌ها به منظور کاهش میزان مواد فرار و نیز بهینه‌سازی شرایط تکلیس انجام داد.

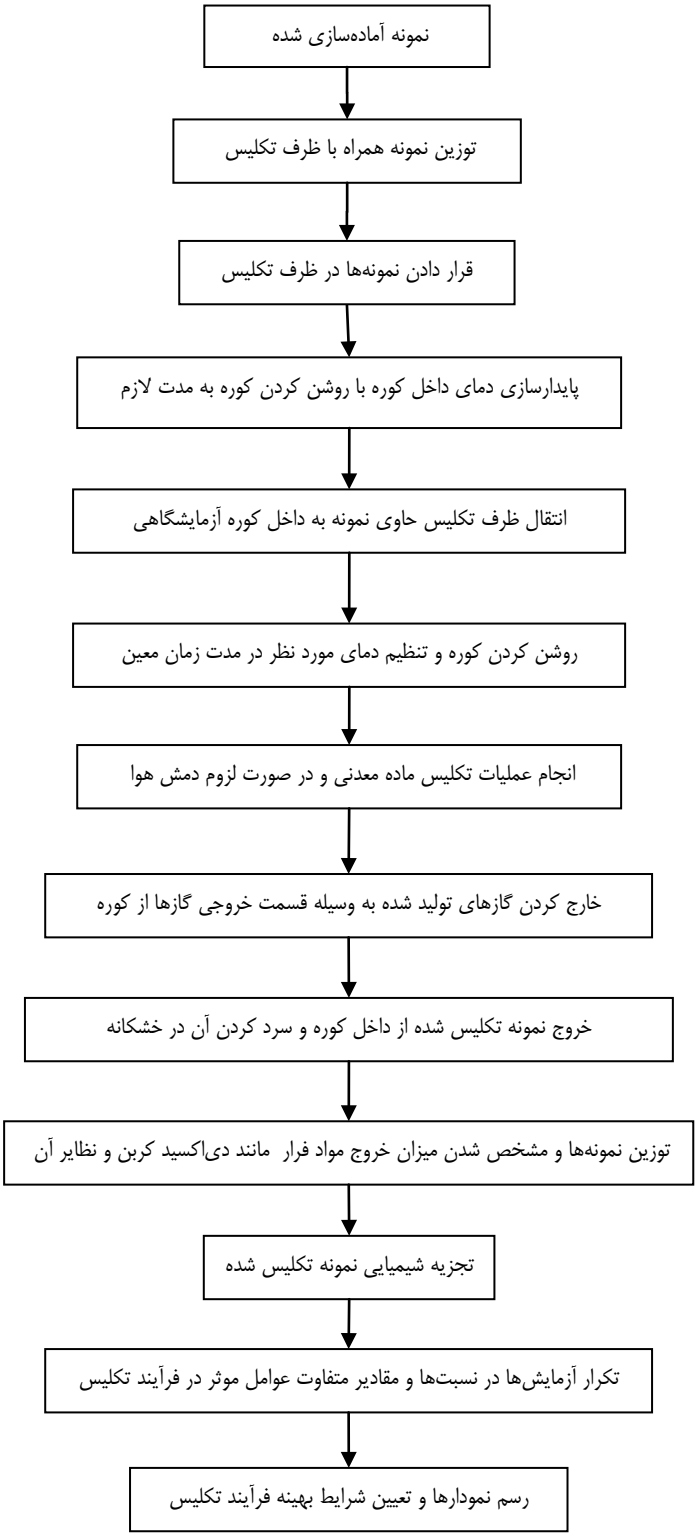
– این آزمایش‌ها در نسبت‌ها و مقادیر متفاوت عوامل موثر در فرآیند تکلیس (دما، ابعاد، زمان و نظایر آن) تکرار می‌شود. به عنوان مثال در گستره دمایی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد با توجه به نوع ماده تکلیس شونده، زمان ۱۰، ۲۰، ... و ۱۲۰ دقیقه و ابعاد ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ میکرون و بالاتر (در حد میلی‌متر یا سانتی‌متر) آزمایش تکلیس انجام شده و نمودارهای مربوطه رسم می‌شوند. در نهایت شرایط بهینه تکلیس مشخص می‌شود. مراحل آزمایش تکلیس در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۱- روندنمای آماده‌سازی آزمایش تکلیس

omoorepeyman.ir



شکل ۴-۲- روندنمای مراحل آزمایش تکلیس

۴-۴-۴- فرم اطلاعات لازم برای انجام آزمایش تکلیس

فرم اطلاعات کامل برای آزمایش تکلیس مواد معدنی در جدول ۴-۱ ارایه شده است.

omoorepeyman.ir

جدول ۴-۱- مشخصات و اطلاعات انجام آزمایش تکلیس مواد معدنی

۱) مشخصات عمومی

- آزمایش‌کننده		- تاریخ انجام آزمایش	
- شرکت یا شخص درخواست‌کننده آزمایش		- شماره آزمایش	
- نام آزمایش		- نام آزمایشگاه	
- تجهیزات مورد استفاده			

۲) مشخصات نمونه

- حالت نمونه تحویل شده: □ جامد □ پالپ

- نمونه مورد نظر برای آزمایش:
کانسنگ □ نمونه اولیه خرد شده □ محصول پیش‌فرآوری و یا کنسانتره □

- آماده‌سازی نمونه:

الف) خردایش:
سنگ‌شکنی □ آسیا □

ب) طبقه‌بندی:
لازم است. □ لازم نیست. □

پ) پرعیارسازی اولیه قبل از تکلیس:
جدایش الکتریکی □ فلوتاسیون □ جدایش ثقلی □ جدایش مغناطیسی □ سنگ‌جوری □

توصیف نمونه:

- مقدار تقریبی نمونه: ..... ابعاد نمونه: ..... میزان آب موجود در نمونه: ..... میزان دی‌اکسیدکربن: ..... سایر مواد فرار:.....

- نوع کانسنگ:

□ فلزی (سولفید○ اکسید○ کربنات○ سولفات○ سیلیکات○) □ غیرفلزی یا کانی صنعتی (نام برده شود)

- فراوانی کانی‌های تشکیل دهنده کانسنگ: .....

- مرحله مطالعات و محل برداشت نمونه:

□ اکتشاف مقدماتی (برداشت‌های سطحی ○ ترانشه‌ها ○ تونل‌ها و چاهک‌ها ○ جبهه‌کارهای اکتشافی○)

□ اکتشاف تفصیلی (ترانشه‌ها ○ تونل‌ها○ چاه‌ها○ گمانه‌ها○ جبهه‌کارهای اکتشافی○)

□ استخراج و بهره‌برداری (جبهه‌کارهای پیشروی ○ تونل‌ها ○ کارگاه‌های استخراج○)

□ کارخانه کانه‌آرایی (محل‌های نمونه‌برداری): .....

□ سد باطله

- نحوه ارسال و حمل نمونه‌ها به آزمایشگاه: .....

۳) اهداف مطالعات:

- مطالعات آزمایشگاهی □
- مطالعات پرعیارسازی (پیش‌فرآوری □ تهیه کنسانتره □)
- بررسی کارآیی یا راندمان تجهیزات کارخانه □
- بهینه‌سازی فرآیندهای کارخانه□
- سایر (نام برده شود.)□

omoorepeyman.ir

ادامه جدول ۴-۱- مشخصات و اطلاعات انجام آزمایش تکلیس مواد معدنی

۴) برای تکلیس اطلاعات زیر کامل شود:

- استاندارد مورد استفاده: .....
- مشخصات فنی دستگاه‌ها و تجهیزات تشویه:.....
- پارامترهای موثر و عملیاتی: فشار:.....دما:.....ظرفیت:.....ابعاد:.....زمان:.....میزان هوای ورودی:.....سایر (ذکر شود.):....
- مقدار مصرف انرژی: .....
- مشکلات زیست‌محیطی : ندارد □ دارد (ذکر شود.)□
- ملاحظات: .....

۵) شرایط آزمایش و نتایج:

شماره نمونه	وزن اولیه (گرم)	ابعاد (سانتی‌متر، میلی‌متر یا میکرون)	زمان تکلیس (دقیقه)	دما (سانتی‌گراد)	وزن ماده تکلیس شده (گرم)	اختلاف وزن قبل و بعد از تکلیس(گرم)
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
...						

توجه: احتمال دارد که در جدول بالا در تعدادی از مراحل مقادیر برخی از پارامترها مانند (وزن، دما، زمان و نظایر آن) برای مشخص کردن شرایط بهینه مساوی و ثابت باشد.

۶) توضیحات

۴-۵- نکات ایمنی

- مسوولیت به‌کار انداختن و مراقبت کوره آزمایشگاهی و تجهیزات باید به افراد آموزش دیده محول شود.
- قبل از قرار دادن نمونه در داخل کوره باید از نبود و مخلوط نشدن مواد قابل انفجار و خطرناک در داخل آن اطمینان حاصل شود.
- کوره و تجهیزات جانبی آن قبل از استفاده باید با دقت پایش شده و پس از رفع معایب احتمالی، شرایط عملیاتی برای فرآیند مهیا شود.
- برنامه‌ای برای جلوگیری از مخاطرات شامل بازرسی منظم محفظه، درب و سایر تجهیزات جانبی و نیز کنترل آن‌ها به وسیله مسوول آزمایشگاه وجود داشته باشد.
- در مورد کوره‌های بدون قفل ایمنی، دریچه ورود گاز (هوا، آرگون و نیتروژن) باید بسته باشد و قبل از باز کردن درب، اجازه داده شود دمای کوره با دمای آزمایشگاه یکسان شود.
- کاربرها باید هنگام باز کردن و کار با کوره‌ها از دستکش و ماسک محافظ استفاده کنند.
- در هنگام کار با کوره باید توجه داشت تا درب آن زیاد باز نماند زیرا در این حالت حرارت تولید شده داخل آن به سرعت خارج می‌شود.
- توصیه می‌شود که مکان قرارگیری کوره در زیر هود باشد. هودها باید مجهز به هواکش قوی و قادر به تعویض سریع تمامی هوای آزمایشگاه باشد.

omoorepeyman.ir

– آزمایشگاه باید مجهز به سیستم اطفای حریق فعال باشد.

– از قرار دادن ظروف حاوی مواد شیمیایی فرار و آتش‌زا نظیر الکل، اتر، بنزن، سولفید کربن و نظایر آن در مجاورت کوره اجتناب شود.

– دقت شود زمانی که در آزمایشگاه با کوره آزمایشگاهی عملیات حرارتی انجام می‌شود، دستگاه‌های تهویه روشن و کارآیی لازم را داشته باشند.

omoorepeyman.ir

پیوست

مثال‌های موردی برای فرآیندهای تشویه و تکلیس

omoorepeyman.ir

مثال پ-۱- فرآیند تشویه

مثال: یک تن کنسانتره مس ترکیبی مشابه جدول زیر دارد:

ترکیبات تشکیل دهنده	Cu	SiO_2	Fe	S	Al_2O_3	CaO
درصد	۸٫۸	۱۹	۷٫۲۹	۹٫۳۶	۳٫۵	۳٫۰

پس از تشویه محصول آنالیز زیر را دارد:

ترکیبات تشکیل دهنده	Cu	SiO_2	Fe	S	Al_2O_3	CaO	O_2
درصد	۱٫۱۱	۲۴	۶٫۳۷	۱۰	۷٫۶	۴٫۰	۲۷٫۱۰

Cu در محصول تشویه به صورت Cu_2S است و بخشی از Fe به صورت Fe_2O_3 و بخشی دیگر به صورت Fe_3O_4 اکسید تبدیل شده است.

از ۵۰۰۰ متر مکعب هوا در شرایط استاندارد و سوخت برای احتراق ۵ کیلوگرم کربن خالص به ازای هر تن کنسانتره استفاده شده است.

از سولفید اکسید شده ۸۵ درصد به صورت SO_2 و ۱۵ درصد به صورت SO_3 خارج می‌شود.

مطلوب است:

- وزن کانی تشویه شده
- درصد گوگرد حذف شده
- حجم و ترکیب گازها
- هوای لازم برای احتراق کربن و تشویه

نکات لازم

- گازهای تولید شده در اثر تشویه و احتراق کربن در راکتور مخلوط شده و از سیستم خارج می‌شود.
- عملیات تشویه در حالت جامد است و حالت مذاب وجود ندارد و محصول نیز در حالت جامد است.
- تشویه ضرورتا یک فرآیند اکسیداسیون است، اکسیدهایی مانند SiO_2، Al_2O_3 و CaO اکسید نمی‌شوند اما مقدار آن‌ها از لحاظ وزنی تغییر می‌کند و مقدار مس، آهن و گوگرد به دلیل فرآیند اکسیداسیون تغییر می‌کند.
- بر حسب شرایط اکسیداسیون Fe به Fe_2O_3 و Fe_3O_4 تبدیل می‌شود.
- در تشویه جزیی، معمولا تمامی گوگرد اکسید نمی‌شود.
- گوگرد موجود در نمونه تشویه به صورت Cu_2S و FeS است.
- در محصول تشویه اکسیژن در فرم ترکیبی با آهن و یا مس است.
- مقدار هوای مورد استفاده معمولا یک بار زمانی که واکنشگرها و محصولات مشخص شدند، تعیین می‌شود.
- یک مول هوا شامل ۰٫۲۱ مول اکسیژن (O_2) و ۰٫۷۹ مول نیتروژن (N_2) است. یک مول اکسیژن و ۳٫۷۶ مول از نیتروژن ۴٫۷۶ مول را تشکیل می‌دهند.

وزن کانی تشویه شده را می‌توان از موازنه SiO_2، Al_2O_3 و CaO (قبل و بعد از عملیات تشویه) استفاده کرد.

omoorepeyman.ir

روش محاسبه

با استفاده از درصد SiO_2 و یا Al_2O_3 داده شده در جدول وزن محصول تشویه شده به دست می‌آید.

- وزن کانی تشویه شده

$$M = \frac{\text{درصد } SiO_2 \text{ درکانی تشویه نشده}}{\text{درصد } SiO_2 \text{ درکانی تشویه شده}} = \frac{19}{24} \times 1000 = 791 \ \text{Kg}$$

- مقدار Cu_2S

$$N = \frac{\text{وزن مولکولی } Cu_2S \times \text{وزن کانی تشویه شده} \times \text{درصد } Cu \text{ در محصول تشویه شده}}{\text{وزن مولکولی مس در } Cu_2S}$$

$$N = \frac{0.111 \times 791 \times 160}{128} = 109.75 \ \text{Kg}$$

- مقدار S در محصول

$$S = \text{وزن محصول تشویه شده} \times \text{درصد S در محصول تشویه شده}$$

$$S = 791 \times 0.1 = 79.1 \ \text{Kg}$$

- مقدار S همراه با Fe در محصول

$$\text{مقدار S همراه با Fe} = (\text{مقدار } Cu_2S \times \frac{\text{وزن مولکولی S}}{\text{وزن مولکولی } Cu_2S}) - \text{مقدار S در محصول‌تشویه شده}$$

$$\text{مقدار S همراه با Fe} = (79.1 - \frac{32}{160} \times 109.75) = 57.15 \ \text{Kg}$$

- مقدار FeS

$$FeS = \frac{\text{وزن مولکولی } FeS \times \text{مقدار } S \text{ همراه } FeS}{\text{وزن مولکولی S}}$$

$$FeS = \frac{57.15 \times 88}{32} = 157.16 \ \text{Kg}$$

- مقدار SiO_2

$$SiO_2 = \text{وزن محصول تشویه شده} \times \text{درصد } SiO_2 \text{ در محصول تشویه شده}$$

$$SiO_2 = \frac{791 \times 24}{100} = 190 \ \text{Kg}$$

- مقدار CaO

$$CaO = \text{وزن محصول تشویه شده} \times \text{درصد CaO در محصول تشویه شده}$$

$$CaO = \frac{791 \times 0.4}{100} = 3.2 \ \text{Kg}$$

omoorepeyman.ir

- مقدار Al_2O_3

Al_2O_3 = درصد Al_2O_3 در محصول تشویه شده × وزن محصول تشویه شده

$Al_2O_3 = \frac{791 \times 6.7}{100} = 53$ Kg

- مقدار Fe_2O_3 و Fe_3O_4

برای به دست آوردن مقدار Fe_2O_3 و Fe_3O_4 باید Fe اکسید شده محاسبه شود.

- مقدار Fe اکسید شده به Fe_2O_3 و Fe_3O_4

Fe اکسید شده به Fe_2O_3 و Fe_3O_4 = Fe کل − Fe موجود در FeS $= \frac{791 \times 37.6}{100} - \frac{157.16 \times 56}{88} = 197$ Kg

- مقدار O_2

O_2 = درصد O_2 در محصول تشویه شده × وزن محصول تشویه شده

$O_2 = \frac{791 \times 10.27}{100} = 81$ Kg

O_2 در کانی تشویه شده یا به صورت Fe_2O_3 و یا به صورت Fe_3O_4 است. بنابراین موازنه آهن و اکسیژن انجام می‌شود. اگر فرض شود که x کیلوگرم Fe_2O_3 و y کیلوگرم Fe_3O_4 در کانی تشویه شده موجود است. بنابراین داریم (وزن مولکولی Fe و O به ترتیب برابر ۵۶ و ۱۶ است):

$$\frac{2Fe}{Fe_2O_3} = \frac{112}{160} = 0.7 \quad \text{و} \quad \frac{3Fe}{Fe_3O_4} = \frac{168}{232} = 0.72$$

$$\frac{3O}{Fe_2O_3} = \frac{48}{160} = 0.3 \quad \text{و} \quad \frac{4O}{Fe_3O_4} = \frac{64}{232} = 0.28$$

با در نظر گرفتن مقادیر یاد شده میزان Fe_2O_3 و Fe_3O_4 محاسبه می‌شود:

$0.7x + 0.72y = 197$
$0.3x + 0.28y = 81$
$Fe_2O_3 = 158$ Kg
$Fe_3O_4 = 120$ Kg

تجزیه شیمیایی تقریبی محصول تشویه شده

مواد تشکیل دهنده	Cu_2S	Al_2O_3	SiO_2	CaO	FeS	Fe_2O_3	Fe_3O_4	مجموع
مقدار (کیلوگرم)	۷۵/۱۰۹	۵۳	۱۹۰	۲/۳	۱۶/۱۵۷	۱۵۸	۱۲۰	۱۱/۷۹۱

حجم و ترکیب گازها

- کل گوگرد اکسید شده

$$S\ (\text{کل}) = \frac{\text{مقدار S در محصول تشویه شده} - \text{وزن کل گوگرد در 1000کیلوگرم نمونه}}{\text{وزن گوگرد مولکولی}}$$

omoorepeyman.ir

$$S\ (\text{کل}) = (369 - 79.1) \times \frac{1}{32} = 9.054\ \text{Kg/ mol}$$

- گوگرد اکسید شده به SO_2

به فرض از کل سولفید اکسید شده ۸۵ درصد به صورت SO_2 و ۱۵ درصد به صورت SO_3 خارج شود:

$$\text{گوگرد اکسید شده به } SO_2 = (0.85) \times 9.054 = 7.70\ \text{Kg/ mol}$$

- گوگرد اکسید شده به SO_3

$$\text{گوگرد اکسید شده به } SO_3 = (0.15) \times 9.054 = 1.36\ \text{Kg/ mol}$$

واکنش‌های اکسیداسیون عبارتند از:

$S + O_2 \longrightarrow SO_2$
$S + 1/2O_2 \longrightarrow SO_3$
$2Fe + 3/2O_2 \longrightarrow Fe_2O_3$
$3Fe + 2O_2 \longrightarrow Fe_3O_4$
$C + O_2 \longrightarrow CO_2$

از میزان عناصر اکسید شده می‌توان اکسیژن را (استیوکیومتری) به دست آورد:

– مقدار O_2 لازم (استیوکیومتری)

$$O_2\ (\text{استیوکیومتری}) = \frac{7.70}{S \rightarrow SO_2} + \frac{1.36 \times 1.5}{S \rightarrow SO_3} + \frac{\frac{158}{160} \times 1.5}{Fe \rightarrow Fe_2O_3} + \frac{\frac{120 \times 2}{232}}{Fe \rightarrow Fe_3O_4} + \frac{\frac{5}{12}}{C \rightarrow CO_2} = 12.667\ \text{Kg/ mol}$$

- مقدار O_2 واقعی مورد نیاز

$$O_2\ \text{واقعی مورد نیاز} = \frac{5000 \times 0.21}{22.4} = 46.875\ \text{Kg /mol}$$

- مقدار O_2 اضافی در گازها

$$O_2\ \text{اضافی} = 46.875 - 12.667 = 34.21\ \text{Kg/ mol}$$

- مقدار N_2

$$\text{مقدار } N_2\ \text{مورد نیاز} = \frac{5000 \times 0.79}{22.4} = 176.34\ \text{Kg/ mol}$$

– حجم گازها

نام گاز	SO_2	SO_3	O_2	N_2	CO_2	مجموع
مقدار (کیلو گرم بر مول)	۷۰٫۷	۳۶۰٫۱	۲۱٫۳۴	۳۴٫۱۷۶	۴۲٫۰	۰۳٫۲۲۰
درصد گاز	۵۰٫۳	۶۳٫۰	۵۴٫۱۵	۱۴٫۸۰	۱۹٫۰	۱۰۰

$$\text{حجم گازها (یک اتمسفر و دمای صفر درجه سانتی‌گراد)} = 220.03 \times 22.4 = 4928.67 m^3$$

$$\text{درصد هوای اضافی} = \frac{34.21}{12.667} \times 100 = 273.7\ \%$$

فرآیند تکلیس

یک تن نمونه کانسنگ آهک و دولومیت با ترکیب زیر تحت فرآیند تکلیس قرار می‌گیرد:

نام مواد تشکیل دهنده	H_2O	$MgCO_3$	$CaCO_3$
درصد	۸	۸	۸۴

با توجه به اطلاعات اولیه مقدار محصولات تکلیس را محاسبه کنید:

omoorepeyman.ir

روش محاسبه:

در طی انجام فرآیند تکلیس کانی آهک و دولومیت واکنش‌های زیر انجام می‌گیرد:

$CaCO_3 = CaO + CO_2$

$MgCO_3 = MgO + CO_2$

با توجه به درصد مواد اولیه میزان هر یک از آن‌ها در ۱۰۰۰ کیلوگرم به شرح زیر به دست می‌آید:

نام مواد تشکیل دهنده	H_2O	$MgCO_3$	$CaCO_3$
مقدار (کیلوگرم)	۸۰	۸۰	۸۴۰

محصولات تکلیس عبارتند از: CaO، MgO، CO_2 و H_2O

بنابراین با توجه به موارد یاد شده میزان هر کدام از مواد زیر تعیین می‌شود:

- مقدار CaO

$$CaO = \frac{\text{مقدار کلسیم کربنات در 1000 کیلو گرم نمونه}}{\text{وزن مولکولی کلسیم کربنات}}$$

$$CaO = \frac{840}{100} = 8.4 \text{ Kg/ mol}$$

- مقدار MgO

$$MgO = \frac{\text{مقدار منیزیم کربنات در 1000 کیلو گرم نمونه}}{\text{وزن مولکولی منیزیم کربنات}}$$

$$MgO = \frac{80}{84} = 0.952 \text{ Kg/ mol}$$

- مقدار CO_2

$$\text{سهم } CO_2 \text{ از } CaCO_3 = \frac{\text{مقدار کلسیم کربنات در 1000 کیلو گرم نمونه}}{\text{وزن مولکولی کلسیم کربنات}}$$

$$\text{سهم } CO_2 \text{ از } CaCO_3 = \frac{840}{100} = 8.4 \text{ Kg/ mol}$$

$$\text{سهم } CO_2 \text{ از } MgCO_3 = \frac{\text{مقدار منیزیم کربنات در 1000 کیلو گرم نمونه}}{\text{وزن مولکولی منیزیم کربنات}}$$

$$\text{سهم } CO_2 \text{ از } MgCO_3 = \frac{80}{84} = 0.952 \text{ Kg/ mol}$$

$$CO_2 \text{ (کل)} = 8.4 + 0.952 = 9.352 \text{ Kg/ mol}$$

- مقدار H_2O

$$H_2O = \frac{\text{مقدار آب در 1000 کیلو گرم نمونه}}{\text{وزن مولکولی آب}}$$

$$H_2O = \frac{80}{18} = 4.444 \text{ Kg/ mol}$$

omoorepeyman.ir

خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه 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
Plan and Budget Organization

Guideline for Drying, Roasting and Calcination in Laboratory Scale

No. 372

Office of Deputy for Technical and Infrastructure Development Affairs

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

2017

omoorepeyman.ir

این نشریه

در مورد اهداف، دامنه کاربرد، ضرورت انجام فرآیندها، اطلاعات و اسناد مورد نیاز، مشخصات فرد آزمایش‌کننده، تجهیزات مورد نیاز، عوامل موثر، آماده‌سازی نمونه‌ها و روش‌های انجام آزمایش‌های خشک کردن، تشویه و تکلیس مواد معدنی در مقیاس آزمایشگاهی بحث می‌کند.

omoorepeyman.ir