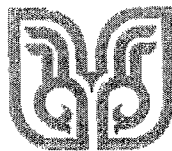


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

عَلَّامٌ ١٤١٧



**دانشگاه شهید باهنر کرمان**

دانشکده فنی - بخش مهندسی متالورژی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی متالورژی

گرایش خوردگی و حفاظت از مواد

**بررسی خوردگی مبدل‌های حرارتی واحد لیچینگ  
مجتمع مس سرچشمه**

مؤلف:

**هومن رمضانیان**

استاد راهنما:

**دکتر محمد کرمی نژاد**

استاد مشاور:

**دکتر مرتضی زندرحیمی**

زمستان ۱۳۸۰

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی متالورژی دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور  
شناخته نمی شود.

نام و نام خانوادگی دانشجو: هومن رمضانیان

استاد راهنما : دکتر محمد کرمی نژاد

استاد مشاور : دکتر مرتضی زندرجمی

استاد مدعو : دکتر عبدالحمید جعفری

استاد مدعو : دکتر امیر صرافی



تقدیم به همسر مہربانم

## تشکر و قدر دانی

بدین وسیله از جناب آقای دکتر کرمی نژاد که در طول پروژه راهنما و راهگشای اینجانب بوده اند و همچنین از جناب آقای دکتر زند رحیمی که در انجام این مهم مرا یاری نموده اند تشکر و قدردانی به عمل می آید.

همچنین از مدیران محترم امور لیچینگ ، امور ذوب و امور آموزش و تجهیز نیروی انسانی که در انجام این پروژه کمکهای شایانی را نموده اند قدردانی بعمل می آید.

در ضمن از پرسنل امور لیچینگ که همکاری خالصانه ای را داشته اند تشکر

میشود.

## چکیده

یکی از فاکتورهای موثر در افزایش راندمان فرآیند الکترووینینگ کارخانه لیچینگ مجتمع مس سرچشمه دمای محلول الکتروولیت درون سلولهاست. بدلیل جنبش بیشتر مولکولها در اثر گرما و انتقال سریعتر یونها در محلول، عملیات الکترووینینگ با راندمان بیشتری صورت میگیرد. گرم شدن محلولهای الکتروولیت در واحد الکترووینینگ توسط دو مبدل حرارتی از نوع شاسی و صفحه انجام میشود. بعلت وجود ذرات معلق در محلول، یونهای مزاحم (مانند کلر)، ایجاد شوک و تنشهای حرارتی صفحات فولادی این مبدلها دچار خوردگی شده و نیاز به تعویض پیدا میکنند. از طرفی خارج شدن مبدلها از مدار باعث وقفه در تولید شده و خسارات جبران ناپذیری را به سیستم وارد میکند. در این تحقیق بر روی عوامل متعدد موثر در خوردگی این صفحات، مطالعات گسترده ای صورت گرفته و با تهیه نمونه هایی، فاکتورهای مهم در خوردگی آزمایش شده است. همچنین با تهیه عکسهای میکروسکوپی و شناسایی فازهای مواضع تخریب شده مشخص شده است که عمده ترین عامل فرسودگی، ذرات معلق موجود در محلول ورودی به مبدل است که با حمله به محللهای تضعیف شده در اثر تنشهای حرارتی باعث سوراخ شدن صفحات مبدل میگردند. با آزمایشات انجام گرفته ثابت شده است که برای جلوگیری از این معضل مینایست ذرات معلق و یونهای مزاحم قبل از ورود به مبدل حذف شوند و همچنین با اپراتوری مناسب میتوان از ایجاد شوک حرارتی و بروز تنش جلوگیری کرده و مانع از خوردگی زود هنگام مبدلها شد.

## فهرست:

### صفحه

### عنوان

#### فصل ۱: کلیات

- ۱-۱- انحلال توده ای (HEAP LEACHING) ..... ۲
- ۲-۱- استخراج توسط حلال آلی ..... ۲
- ۳-۱- واحد الکترووینینگ ..... ۳
- ۴-۱- ضرورت انجام تحقیق ..... ۵
- ۵-۱- مبدل حرارتی واحد لیچینگ ..... ۵

#### فصل ۲: مروری بر تحقیقات گذشته

- ۱-۲- مبدل حرارتی ..... ۱۳
- ۲-۲- طراحی بهینه ..... ۱۵
- ۳-۲- انواع مبدل ..... ۱۷
- ۴-۲- انتقال حرارت ..... ۲۰
- ۵-۲- هدایت حرارتی ..... ۲۰
- ۶-۲- انتقال حرارت به طریق جابجایی ..... ۲۱
- ۷-۲- روابط ریاضی در طراحی ..... ۲۳
- ۸-۲- ضریب فولینگ ..... ۲۴
- ۹-۲- اختلاف دمای متوسط لگاریتمی ..... ۲۴
- ۱۰-۲- آلودگی مبدل ..... ۲۵
- ۱۱-۲- کثیف شدن مبدل ..... ۲۶
- ۱۲-۲- ضرایب افت فشار برای انقباض و انبساط ناگهانی ..... ۲۸

- ۳۰-۲-۱۳- آزمایش برای نشت.....
- ۳۰-۲-۱۴- طراحی یک مبدل صفحه و شاسی.....
- ۳۱-۲-۱۵- آلیاژهای مورد استفاده در مبدلها.....
- ۳۳-۲-۱۵-۱- مقاومت آلیاژ در برابر اکسیداسیون.....
- ۳۵-۲-۱۵-۲- فلزات مدرن مهندسی.....
- ۳۸-۲-۱۵-۳- فولاد کم آلیاژی.....
- ۳۹-۲-۱۵-۴- فولادهای زنگ نزن آستنیتی.....
- ۳۹-۲-۱۵-۵- فولادهای زنگ نزن مولیبدن دار.....
- ۳۹-۲-۱۵-۶- فولادهای زنگ نزن محتوی ۱۲ درصد کرم.....
- ۴۰-۲-۱۵-۷- فولادهای زنگ نزن محتوی ۱۷ درصد کرم.....
- ۴۰-۲-۱۵-۸- آلیاژ ۲۰.....
- ۴۱-۲-۱۵-۹- نیکل و آلیاژهای دیگر.....
- ۴۱-۲-۱۵-۱۰- (هستلوی B).....
- ۴۲-۲-۱۵-۱۱- (هستلوی C).....
- ۴۴-۲-۱۵-۱۲- آلومینیوم.....
- ۴۴-۲-۱۵-۱۳- روی.....
- ۴۵-۲-۱۵-۱۴- قلع.....
- ۴۵-۲-۱۵-۱۵- سرب.....
- ۴۵-۲-۱۵-۱۶- منیزیم.....
- ۴۶-۲-۱۵-۱۷- مس و آلیاژهای آن.....
- ۴۷-۲-۱۵-۱۸- تانتال.....
- ۴۷-۲-۱۵-۱۹- تیتانیم.....
- ۴۷-۲-۱۶- طراحی با توجه به خوردگی.....



- ۱۷-۲- قوانین طراحی ..... ۴۸
- ۱۸-۲- خوردگی کائیتاسیون در مجاری مبدل‌های حرارتی ..... ۴۹

### فصل ۳: روش پژوهش

- ۱-۳- بررسی علل خوردگی مبدل ..... ۵۳
- ۲-۳- سرعت محلول ..... ۵۳
- ۳-۳- غلظت اسید موجود در محلولها ..... ۵۶
- ۴-۳- بررسی یونهای مزاحم ..... ۵۷
- ۵-۳- ذرات معلق ..... ۵۷
- ۶-۳- اثرات تنش های مکانیکی و حرارتی ..... ۶۱
- ۷-۳- بررسیهای ریزساختاری ..... ۶۴
- ۸-۳- بررسی دانه بندی ذرات ساینده ..... ۶۵

### فصل ۴: تحلیل داده ها و بحث

- ۱-۴- بررسی سرعت محلول در مبدل‌های حرارتی ..... ۶۷
- ۲-۴- بررسی غلظت اسید موجود در محلول ..... ۷۰
- ۳-۴- یون های موجود در محلول ورودی ..... ۷۲
- ۴-۴- ذرات معلق ..... ۷۷
- ۵-۴- بررسی وجود تنش و بر طرف کردن آن ..... ۷۹
- ۶-۴- نتایج حاصل از مطالعه با میکروسکوپ نوری ..... ۸۱
- ۷-۴- نتایج بررسیهای ریز ساختاری به کمک میکروسکوپ الکترونی ..... ۸۴
- ۸-۴- نتایج حاصل از دانه بندی ذرات ساینده ..... ۹۲

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات

۹۵.....نتایج ۱-۵

۹۶.....پیشنهادات ۲-۵

ضمیمه

۹۹ - ۱۱۲

روش های تعمیرات و نگهداری از مبدل

۱۱۳

- منابع و مراجع

فصل ۱

کلیات

## ۱-۱- انحلال توده ای ( HEAP LEACHING )

طرح لیچینگ به منظور بازیابی مس موجود در سنگهای باطله اکسیدی مس سرچشمه احداث گردیده است. سنگهای اکسیدی مس حاصل از عملیات روباز نمودن معدن مس سرچشمه و برداشت رگه های اکسیده همراه سنگهای سولفور در مجتمع فعلی قابل استفاده نبوده و در نتیجه، طی سالیان متمادی بهره برداری از معدن مذکور، بعنوان باطله در جوار معدن در دو توده انباشته شده است براساس آمار و گزارشات موجود در شرکت ملی صنایع مس ایران میزان ذخیره سنگ معدن اکسیده تاکنون حدود ۲۴ میلیون تن بوده است و برآورد شده که طی سالهای آتی بهره برداری از معدن، این میزان به ۲۷ میلیون تن بالغ گردد. در روش انحلال توده ای سنگ معدن پس از دانه بندی مناسب به محل احداث هیپ انتقال یافته و تحت پاشش محلول آب و اسید قرار میگیرد. سطح تحتانی پس از زیر سازی مناسب توسط یک لایه نفوذ ناپذیر ( معمولاً از جنس پلی اتیلن ) عایق بندی شده تا از نفوذ و هرز رفت محلول به زمین پیشگیری نماید. لوله هایی از جنس پلی اتیلن نیز به روی لایه عایق به منظور تخلیه و هدایت محلول حامل از انحلال قرار میگیرد. دوره (سیکل) انحلال و نرخ پاشش محلول آب و اسید بر روی سنگ و ارتفاع توده با توجه به مینرالوژی سنگ معدن متفاوت میباشد پس از اتمام سیکل انحلال، سنگ معدن تازه بر روی سنگهای قبلی ریخته شده و مجدداً تحت پاشش آب و اسید قرار میگیرند. در مورد بعضی از انواع سنگ معدن پس از اتمام سیکل انحلال، سنگ معدن از محل هیپ به دورریزگاه منتقل و سنگ معدن تازه جایگزین میگردد.

## ۱-۲- استخراج توسط حلال آلی

در این روش محلول حاوی مس در قسمت جذب در اثر تماس با حلال آلی جاذب مس به آن منتقل میگردد. حلال آلی جاذب با تنظیم شرایط، مس را بطور انتخابی از فاز آلی جدا مینماید حلال آلی حاوی مس در قسمت دفع در اثر تماس با محلول اسید سولفوریک با غلظت ۱۸۰ - ۱۷۰ گرم در لیتر، مس را به آن منتقل مینماید و فاز آلی عاری از مس مجدداً به قسمت جذب برگردانده میشود. در عمل در قسمت جذب

محلول آبی حاوی مس و حلال آلی جاذب در یک مخلوط کننده با یکدیگر مخلوط شده و در اثر این تماس مس از فاز آبی به فاز آلی منتقل میشود. مخلوط دو فاز برای جدایش به ته نشین کننده وارد شده فاز آلی از قسمت فوقانی و فاز آبی از قسمت تحتانی ته نشین کننده خارج میشوند.

بخش جذب معمولاً شامل دو مخلوط کن و دو جدا کننده بوده و فازهای آبی و آلی بطور ناهم جهت وارد هر یک از این بخشها میشوند زمان اقامت در مخلوط کننده ها در حد ۱-۲ دقیقه میباشد. حلال آبی بار دار از قسمت جذب به قسمت دفع انتقال می یابد. در بخش دفع، حلال آلی مجدداً در یک یا دو مخلوط کن و ته نشین کننده با محلول حاوی اسید سولفوریک مخلوط شده و مس به فاز آبی شامل اسید سولفوریک انتقال می یابد.

واحد استخراج با حلال شامل دو مخلوط کن و دو ته نشین کننده در قسمت جذب و یک یا دو مخلوط کن و ته نشین کننده در قسمت دفع میباشد. محلول حاوی اسید سولفوریک و مس از واحد دفع به منظور احیای مس به واحد الکترولیز انتقال می یابد. پارامتر مهم در واحد استخراج، اسیدیته (pH) محلول فاز آبی می باشد. اسیدیته مطلوب در حد ۲/۲ - ۱/۸ میباشد. در شرایط کمتر و یا بالاتر از حد مورد نظر امکان جذب یونهای فلزی دیگر نیز فراهم آمده که در نتیجه باعث بالا رفتن ناخالصی در واحد الکترولیز شده و این امر هزینه راهبری را تحت تاثیر قرار خواهد داد.

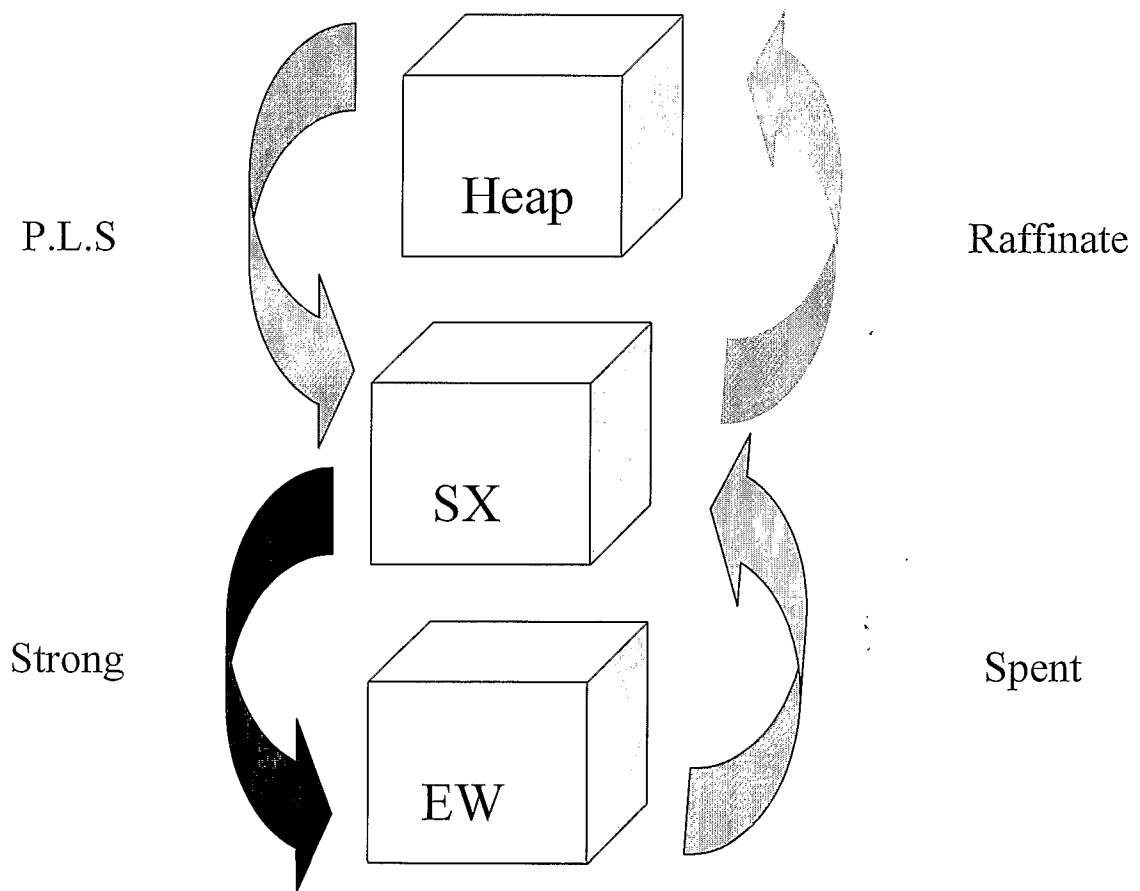
### ۱ - ۳ - واحد الکترووینینگ

در این واحد مس موجود در محلول حاوی مس در اثر اعمال جریان الکتریکی احیا میگردد. احیای مس در سلولهای الکترولیز انجام شده و کاتد ها و آندها وظیفه انتقال جریان الکتریسیته به محلول و در نهایت رسوب مس روی کاتد را دارند. کاتدها از جنس ورق استنلس استیل و آندها آلیاژ سرب، کلسیم و قلع هستند. جنس سلولهای الکترولیز از بتن همراه با پوشش ضد اسید میباشد. در هر سلول تعداد معینی کاتد و آند قرار دارد. جریان الکتریسیته مستقیم توسط دستگاههای یکسو کننده تامین میشود. بمنظور پیشگیری از ترسیب سولفات مس (کریستاله شدن) در سلولهای الکترولیز و

لوله های ارتباطی محلول حاوی ماده مس قبل از ورود به سلولهای الکترولیز توسط مبدل‌های حرارتی تا حد ۴۰ درجه سانتیگراد گرم میشوند. در اثر اعمال جریان الکتریکی، مس احیا شده و بر روی ورقه های کاتد راسب می گردد.

ورقه های کاتد هر هفته یک بار از سلولها خارج شده و توسط دستگاه ورق کنی جدا میگردند. کاتدها مجدداً به سلول الکترولیز برگشت داده شده و مس حاصل برای صدور به بازار مصرف بسته بندی میشوند.

شکل (۱-۱) نمایی از واحدهای لیچینگ و ارتباط آنها با یکدیگر را نمایش میدهد.



شکل (۱-۱): شماتیک واحدهای لیچینگ و ارتباط آنها با یکدیگر

## ۱ - ۴ - ضرورت انجام تحقیق

در بدو راه اندازی واحد لیچینگ مجتمع مس سرچشمه مشکلات عدیده ای در عملیات بوجود می‌آمد که از آن جمله میتوان به نفوذ اسید سولفوریک به واحد بویلر اشاره کرد. البته به محض نفوذ اسید به آب کندانس، pH در آب کندانس که میبایست ۷ باشد تقلیل یافته و شیر ابزار دقیقی که با تغییرات pH عمل میکند عملاً مبدل‌های حرارتی را از مدار خارج مینماید. این مشکل باعث افت راندمان تولید در واحد الکترووینینگ شده و به علت سرد بودن محلول حاوی مس در مسیرها مشکلات عدیده ای جهت عملیات تولید میشود. علت اصلی نفوذ اسید به آب کندانس سوراخ شدن صفحات مبدل‌های حرارتی میباشد که در اثر خوردگی این صفحات ایجاد میشود.

با توجه به اینکه سوراخ شدن صفحات مبدل منجر به تعویض آنها میشود، هزینه های زیادی اعم از نیروی انسانی و افت تولید و ... به سیستم تحمیل میشود. از طرفی چون صفحات این مبدلها از خارج از کشور تامین میگردد و بسیار گران قیمت میباشد لزوم انجام این پروژه جهت جلوگیری از خوردگی و سوراخ شدن این صفحات توجه میگردد.

## ۱ - ۵ - مبدل حرارتی واحد لیچینگ

جهت آشنایی بیشتر با مبدل‌های حرارتی واحد لیچینگ مجتمع مس سرچشمه تمام مشخصات فنی و عملیاتی آنها آورده شده است.

این مبدلها به منظور گرم کردن محلول حاوی مس ورودی به قسمت تولید کاتد با استفاده از جریان برق (الکترووینینگ یا EW) طراحی و نصب گردیده است. دو مبدل این وظیفه را انجام میدهند که یکی از آنها مبدل اولیه یا Inter Changer نامیده میشود که محلول ورودی به واحد EW را با در تماس قرار دادن با محلول خروجی از واحد EW گرم میکند و مبدل دوم که ثانویه نامیده میشود (Heatexchanger) حجمی کوچکتر در مقایسه با مبدل اول را دارا است و محلول ورودی به واحد EW را در تماس با بخار تولیدی واحد بویلر قرار میدهد و بدین وسیله محلول گرمتر میشود.

در شکل ۱ - ۲ نقشه تجهیزات مبدلها نشان داده شده است.