٣٩١١٠

به نام خدا

دانشکده مهندسی موادومتالورژی

۱۳۸۰ /۱۲/ ۱۹

بررسی تأثیر نحوه سردکردن سرباره کوره شعله ای برباز‌یابی مس محتوی آن

016558

احمد احمدی

پایان نامه جهت دریافت
درجه کارشناسی ارشددررشته
مهندسی متالورژی – استخراج فلزات

۲۹۸۸۰

اساتید راهنما : دکترجلیل وحدتی خاکی
دکترمسعودگودرزی

آذرماه ۱۳۸۰

۲۹۱۱۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده

و

همسرم عزیزم که بدون همراهی او

انجام این تحقیق میسر نمی گشت.

چکیده :

کاهش مس تلف شده در سرباره کوره شعله ای با نگه داری در دمای $1200^{\circ}C$ امکانپذیر می باشد . احیاء مگنتیت محتوی سرباره با یکی از عوامل احیاءکننده می تواند در جهت کاهش ویسکوزیته وتسریع ته نشینی مؤثر باشد . نتایج آزمایشات انجام گرفته برروی سرباره مس سرچشمه گویای این نکته است که در مقطع سرباره کوره ریورب مس سرچشمه ، ذرات مس خالص وجود ندارد .وتقریباً اکثر ذرات مس محتوی سرباره بصورت کروی با ترکیب مات ، با اندازه ذرات محبوس شده بین ٤٤٦ ـ ١ میکرون می باشند . بهترین دمای نگهداری سرباره ، درمحدوده دما های بررسی شده ($1300^{\circ}C$ –۱۰۰۰)، دمای $1200^{\circ}C$ می باشد. در این دما ، ذوب کامل وویسکوزیته مناسب برای ته نشین سازی ذرات محتوی مس با حداقل تلاطم (کف کردن مذاب)حاصل گردید.

فازدوم (مات)بدون اضافه کردن اضافه شونده،پس از٤ ساعت ایجادشد،که اززمینه اصلی کاملا مستقل می باشد . پس از گذشت ۲/۵- ۵ ساعت از زمان ته نشین سازی ، ذرات باقیمانده به شکل کاملا کروی وبا ابعاد کمتر از ۱۰ میکرون مشاهده شدند که این موضوع باتوجه به آنالیز این ذرات که محتوی مس ،گوگردوآهن (مات) می باشند، بامحاسبات مربوطه مطا بقت دارد..حداکثر قطر قطرات باقیمانده در بخش پائین در نمونه ،پس از ۳ ساعت زمان ته نشینی ۷/۵ میکرون بوده وحداکثر قطر قطرات در بخش بالائی نمونه ٤/۱۸ میکرون بود که با توجه به سقوط سریعترقطرات با ابعاد بزرگتر با مدل مطابقت دارد همچنین آنالیز سرباره اولیه وسرباره ته نشین سازی شده ،گویای وجودمس اکسیدی به صورت محلول درسرباره می باشد.اکسید مس محتوی سرباره از مقدار۰/۲۲در زمانهای نگهداری بیش از سه ساعت به رقمی کمتر از۰/۱ درصدرسیده است .

دندریت های رشدیافته در فاز دوم که غنی از مس می باشد، می تواند در اثر جدایش مس از فازمات بوده یا اینکه مطابق بررسی های رودل به دلیل سرد کردن آهسته سرباره حاصل شده باشد.

با اضافه کردن پیریت وکربن ،فاز دوم درمدت زمان کمتری(۲ ساعت) حاصل می گردد.میزان بازیابی با اضافه کردن کربن پس از۲ ساعت به بیش از ۹۰ درصد بالغ می گردد که این میزان بازیابی با اضافه کردن ۷ درصد پیریت در همین مدت زمان حاصل می شود.اضافه کردن همزمان کک وپیریت ،میزان بازیابی راتا ۹۳ درصد نتیجه می دهد واین میزان بازیابی با مدت زمان ٤ ساعت به ۹٦ درصد بالغ خواهد گردید. با اضافه کردن کنسانتره به سرباره پس از۲ ساعت فاز دوم تشکیل شده ومیزان مس محتوی سرباره به ۰/۳٤درصد رسید.این موضوع با ادامه زمان بازیابی به۳ساعت به ۰/۲۱ تغییریافت.ترکیبات فلوریدیKF,NaF تاثیرمشابهی بر بازیابی دارند بطوریکه با اضافه کردن NaFوKF به سرباره پس از۲ ساعت فاز دوم تشکیل شد.

بسمه تعالی

تشکر و قدردانی

من لم یشکرالمخلوق لم یشکرالخالق

سپاس خداوندی را که دربسیط خلقت خویش حتی ذره ای را ازنعمت بیدریغش محروم نگردانیدومارابه توفیق انجام امور نائل فرمود.

بدینوسیله اززحمات صمیمانه کلیه عزیزان ودوستان در شرکت ملی صنایع مس ایران خصوصا مدیریت محترم مجتمع مس سرچشمه جناب آقای مهندس مرادعلیزاده به جهت ایجاد امکانات ارتباطی فیمابین دانشگاه وصنعت ومدیریت محترمه مرکز تحقیقات و مطالعات سرکار خانم مهندس پرتوآذر ، مدیریت محترم تحقیقات پیرومتالورژی ، آقای مهندس عماد نیک نژاد،کارشناسان محترم مرکز تحقیقات آقایان مهندسین حسنی،سعیدوپرسنل محترم آزمایشگاه پیرومتالورژی علی الخصوص آقای ابراهیمی،همچنین پرسنل محترم آزمایشگاه های شیمی تر و مینرالوژی ،متالوگرافی وXRF، صمیمانه قدردانی می نمایم .

همچنین عنایت عزیزان اساتید دانشگاه که با راهنمائی های خویش موجب بهبود روند پیشرفت پروژه گردیده اند،آقایان دکتر جلیل وحدتی خاکی ودکتر مسعود گودرزی موجب امتنان است .

از زحمات بیدریغ دوستان در آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشگاه بالاخص مدیریت محترم آن مجموعه آقای دکتر بیت الهی ،سرکار خانم مهندس صالحپور وسرکار خانم مهندس صمدانی به جهت کمک در انجام بهتر این پروژه صمیمانه تشکر می نمایم .

ازتشریف فرمایی کلیه عزیزان درجلسه دفاعیه علی الخصوص آقایان دکتروقار، دکتررضوی زاده ودکترباقی تشکروقدررانی می نمایم .

در انتها از کلیه عزیزانی که در هر شکل در انجام این پروژه مرا یاری رساندند،قدردانی وتشکر می نمایم .

عنوان مطالب	صفحه

مقدمه ۱

فصل ۱ ـ روشهای استخراج مس

۱ـ۱ـ منابع مس ۲

۱ـ۲ـ روشهای پیرومتالورژی ۲

۱ـ۳ـ روشهای هیدرومتالورژی ۳

فصل ۲ ـ نکات مهم در فرآیندهای ذوب

۲ـ۱ـ فرآیندهای ذوب مات ۵

۲ـ۱ـ۱ـ شیمی فیزیک ذوب مات ۵

۲ـ۱ـ۲ـ ویژگیهای مات ۷

۲ـ۱ـ۳ـ سرباره های ذوب مس ۹

فصل ۳ ـ مکانیزمهای اتلاف مس در سرباره

۳ـ۱ـ اتلاف شیمیائی مس در سرباره ۱۶

۳ـ۱ـ۱ـ بررسی تعادل مات وسرباره ۱۸

۳ـ۱ـ۲ـ محلولهای یونی ۲۲

۳ـ۱ـ۳ـ حل شدن اکسید مس در سرباره ۲۴

۳ـ۱ـ۴ـ رابطه بین حلالیت گوگردومس در سرباره ۲۵

۳ـ۱ـ۵ـ تعادل فازی شامل فاز گاز ۲۸

۳ـ۱ـ۶ـ تاثیر پارامترهای مختلف بر میزان انحلال مس در سرباره ۲۹

۳ـ۱ـ۷ـ بررسی مس محتوی سرباره آلیاژها ۳۱

۳ـ۱ـ۸ـ رفتار ویژه اکسید مس حل شده در سرباره ۳۶

۳ـ۱ـ۹ـ تاثیر ترکیب سرباره بر حل شدن اکسید مس ۳۹

۳ـ۱ـ۱۰ـ انحلال سولفید مس در سرباره ۴۰

۳ـ۱ـ۱۱ـ روابط فازی در سیستم Cu_2O-FeO_n-CaO ۴۱

۳ـ۱ـ۱۲ـ خلاصه بخش ۴۳

۳ـ۲ـ اتلاف مکانیکی مس در سرباره ۴۵

۳ـ۲ـ۱ـ دلائل اتلاف مکانیکی مس در سرباره ۴۵

۳ـ۲ـ۲ـ عوامل موثر بر اتلاف مکانیکی مس در سرباره ۴۶

فصل ٤ ـ بازیابی مس از سرباره ها

٤ـ١ـ بازیابی مس و روشهای آن ٥٤

٤ـ١ـ١ـ روش هیدرومتالورژی ٥٥

٤ـ١ـ٢ـ روش پیرومتالورژی ٥٥

٤ـ١ـ٢ـ١ ـ تشریح روند عملیات بازیابی مس سرباره در کوره ها ٥٧

٤ـ١ـ٢ـ٢ـ کوره تیلت ٥٨

٤ـ١ـ٣ـ بالانس جرم و انرژی برای فرآیند بازیابی سرباره ٥٩

٤ـ١ـ٤ـ پارامترهای کوره بازیابی ٦٢

٤ـ١ـ٥ـ مقایسه کوره های شعله ای قدیمی و جدید ٦٢

فصل ٥ ـ آزمایشات

٥ـ١ـ هدف ٦٥

٥ـ٢ـ استراتژی تحقیق ٦٥

٥ـ٣ـ مدل سازی ته نشین سازی ذرات حاوی مس در سرباره ٦٥

٥ـ٣ـ١ـ فرضیات ٦٦

٥ـ٣ـ٢ـ داده های مورد نیاز ٦٩

٥ـ٣ـ٣ـ محاسبهٔ سرعت سقوط ذرات محتوی مس در سرباره ٧٠

٥ـ٣ـ٣ـ١ـ اطلاعات دانسیته ذرات محتوی مس در سرباره ٧٠

٥ـ٣ـ٣ـ٢ـ محاسبه ویسکوزیته سرباره ٧١

٥ـ٣ـ٤ـ محاسبه زمان ته نشینی ٧٢

٥ـ٤ـ تجربیات آزمایشگاهی و مراحل آزمایشها ٧٦

٥ـ٤ـ١ـ مواداولیه وتجهیزات ٧٦

٥ـ٤ـ٢ـ تعیین مشخصات سرباره ٧٨

٥ـ٤ـ٣ـ بدست آوردن دمای بهینه ذوب(نگه داری مذاب) ٨٥

٥ـ٤ـ٤ـ بدست آوردن بهینه زمان نگهداری ٨٩

٥ـ٤ـ٤ـ١ـ دمای C ١٢٥٠° ٩٠

٥ـ٤ـ٤ـ٢ـ دمای C ١٢٠٠° ٩٣

٥ـ٤ـ٥ـ بررسیهای میکروسکوپی نتایج آزمایشها ٩٧

٥ـ٤ـ٥ـ١ـ مشاهدات میکروسکوپ نوری ٩٧

٥ـ٤ـ٥ـ٢ـ بررسیهای میکروسکوپ الکترونی ١٠٢

٥ـ٤ـ٦ـ افزایش بازیابی و کاهش زمان ته نشین سازی ١١٧

۵ـ۴ـ۶ـ۱ـ استفاده از کربن جهت تسریع در بازیابی مس محتوی سرباره ۱۱۷
۵ـ۴ـ۶ـ۲ـ استفاده از پیریت جهت تسریع در بازیابی مس محتوی سرباره ۱۱۸
۵ـ۴ـ۶ـ۳ـ استفاده همزمان از کربن و پیریت جهت تسریع در بازیابی مس ۱۱۹
۵ـ۴ـ۶ـ۴ـ استفاده از NaF جهت تسریع در بازیابی مس ۱۲۰
۵ـ۴ـ۶ـ۵ـ استفاده از KF جهت افزایش در بازیابی مس محتوی سرباره ۱۲۱
۵ـ۴ـ۶ـ۶ـ تاثیر کنسانتره مس بر میزان بازیابی مس محتوی سرباره ۱۲۳
۵ـ۵ـ تحلیل نتایج ۱۲۴
۵ـ۵ـ۱ـ خلاصه نتایج ۱۲۵
۵ـ۵ـ۲ـ نتیجه گیری کلی ۱۲۷
مراجع ۱۲۹
ضمائم ۱۳۳
الف ـ نقش کشش سطحی بین فازها در فرآیندهای ذوب ۱۳۳
الف ـ ۱ـ اهمیت بحث ۱۳۳
الف ـ ۲ـ پدیده های سطحی و تعلیق سرباره و مذاب ۱۳۳
الف ـ ۳ـ نقش کشش سطحی در اتلاف مس از طریق سرباره ۱۳۵
ب ـ ویسکوزیته سرباره های مس حاصل از ذوب کنسانتره کالکوسیت ۱۳۸
ب ـ ۱ـ تعریف ۱۳۸
ب ـ ۲ـ ویسکوزیته سرباره های سیلیکاتی ۱۳۸
ب ـ ۳ـ اثر عوامل مختلف بر ویسکوزیته سرباره های $FeO_{1.5}$ـSiO_2 ۱۳۹
ب ـ ۴ـ فرمولاسیون ویسکوزیته مذاب فلزات ۱۴۷
پ ـ کاربرد میدان الکتریکی در ته نشین سازی ذرات ۱۵۴
پ ـ ۱ـ اثر جریان الکتریکی و اندازه قطره بر سرعت مهاجرت ۱۵۸
پ ـ ۲ـ اثر تخلیه بار قطرات بر سرعت مهاجرت ۱۵۹

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱ ـ ۱ - روشهای اصلی استخراج مس از کانه های سولفیدی	۳
شکل ۱ ـ ۲ ـ روشهای اصلی استخراج مس از کانه های اکسیدی	٤
شکل ۲ ـ ۱ - نمودارتعادل فازی Cu_2S-FeS (شلجل و شولر ۱۹۵۲)	۸
شکل ۲ ـ ۲ - نمودار سه تائی Cu-Fe-S در دمای ۱۲۵۰ ° C (کریوسکی و شومان ۱۹۵۷)	۹
شکل ۲ ـ ۳- نمودار تعادلی FeO-Fe_2O_3-SiO_2 همراه با خطوط هم فشار	۱۲
شکل ۲ ـ ٤ - سیستم سه تائی FeO-FeS-SiO_2 در دمای ۱۳۰۰ ° C و فشار محیط	۱۳
شکل ۲ ـ ٥ - دیاگرام چهارتائی Cu_2S-FeS-FeO-SiO_2 در دمای ۱۲۰۰ ° C	۱٤
شکل ۳ ـ ۱ - تغییرات مس محلول برحسب عیار مات در سرباره های کوره شعله ای	۱۸
شکل ۳ ـ ۲ - تغییرات مس تلف شده بصورت مکانیکی برحسب عیار مات در سرباره های کوره شعله ای	۱۸
شکل ۳-۳ - آهن محتوی سرباره اشباع سیلیکاتی در تعادل با مات	۲۰
شکل ۳-٤- سیلیس محتوی سرباره اشباع سیلیکاتی در تعادل با مات	۲۰
شکل ۳-٥ - گوگرد محتوی سرباره اشباع سیلیکاتی در تعادل با مات	۲۰
شکل ۳-٦- مس محتوی سرباره اشباع سیلیکاتی در تعادل با مات	۲۰
شکل ۳-۷- تغییرات حلالیت مس در سرباره با تغییرات مقدار CaO و Al_2O_3	۲۱
شکل ۳-۸ ـ اکتیویته FeS و Cu_2S در مات استوکیومتری Cu_2S-FeS	۲۳
شکل ۳-۹ - مقادیر $4N_{Fe(m)}N_{s(m)}$ و $(\frac{27}{4})N^2_{cu(m)}N_{s(m)}$ با تغییرات عیار مات	۲۳
شکل ۳-۱۰ ـ ارتباط بین حلالیت مس در سرباره سیلیکاتی و $P_{O_2}^{1/4}$ در حال تعادل با مس و مات عیار بالا	۲۵
شکل ۳-۱۱ ـ ارتباط بین $(\frac{27}{4})N^2_{Cu(m)}N_{s(m)}$ و $Log\ \gamma_{\pm Cu_2S_{(s)}}$	۲۷
شکل ۳-۱۲ - ارتباط بین ثابت اکتیویته Cu_2S و حلالیت گوگرد در سرباره	۲۷
شکل ۳-۱۳ - منحنی شبیه سازی شده برای حلالیت مس در سرباره	۲۸
شکل ۳-۱٤ ـ مقادیر $Log\ \gamma_{\pm Cu_2O_{(s)}}$ محاسبه شده برای معادلات (۳-۱٦و۳-۲۳)	۲۸
شکل ۳ ـ ۱٥- تغییرات درصد مس محلول در سرباره در دمای ^{o}C ۱۲۰۰ وتحت فشار اکسیژن ثابت	۳۰
شکل ۳ ـ ۱٦ - تغییرات انحلال مس در سرباره های اشباع از سیلیس برحسب عیارمات	۳۰
شکل ۳ ـ ۱۷ - اثر مقدار اکسیژن محلول در مات بر روی میزان اتلاف مس محلول در سرباره	۳۰
شکل ۳ ـ ۱۸ - انحلال مس در سرباره اشباع از سیلیس برحسب درصد اکسیژن و مس در مات	۳۰
شکل ۳ ـ ۱۹- انحلال مس در سرباره در دمای ^{o}C ۱۳۰۰	۳۲
شکل ۳ ـ ۲۰ ـ ارتباط بین مس سرباره و اکتیویته مس در آلیاژ ما در درجه حرارت °C ۱۳۰۰	۳۲
شکل ۳ ـ ۲۱ ـ ارتباط بین درصد وزنی مس سرباره و a_{Cu_2O} در دمای °C ۱۳۰۰	۳٤
شکل ۳ ـ ۲۲ ـ نسبت $\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}}$ بصورت تابعی از فشار اکسیژن در a_{Cu} = ۰/۷۳	۳٤

شکل ۳ ـ ۲۳ ـ انحلال مس در سرباره فروسیلیکاتی اشباع از SiO_2 در درجه حرارت°C ۱۲۵۰ و a_{Cu} = ۰/۷۳ ۳۶
شکل ۳ ـ ۲٤ ـ اثر فشار اکسیژن بر $\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}}$ در سرباره اشباع از SiO_2 و درجه حرارت °C ۱۲۵۰ و a_{Cu} = ۰/۷۳ ۳۶
شکل ۳ ـ ۲۵ ـ ارتباط بین نسبت $\frac{Fe^{3+}}{Fe^{2+}}$ سرباره با درصد مس تلف شده در سرباره کوره شعله أی ۳۶
شکل ۳ ـ ۲۶ ـ نسبت توزیع Fe,Co,Sn,Pb,Ni,Cu بین سرباره و فلز و فشار اکسیژن در دمای°C ۱۳۰۰ ۳۷
شکل ۳ ـ ۲۷ ـ تاثیر دما بر حل شدن اکسید فلزی در سرباره C در ۱۰ = $Log\ Po_2$ ۳۷
شکل ۳ ـ ۲۸ ـ خطوط هم فشار برای ضرائب اکتیویته $\gamma_{CuO_{0.5}}$ ، کل اتلاف اکسیدی ، نسبت توزیع مس سولفیدی بین مات و سرباره ۳۸
شکل ۳ ـ ۲۹ ـ مقدار سولفید حل شده در سرباره $FeO-SiO_2$ با تغییرات SiO_2موجود در سرباره (مات Cu ـ Cu_2S-FeS ٪ ۳۰) ۳۸
شکل ۳ ـ ۳۰ ـ مقدار سولفید حل شده در سرباره $CaO,FeO-SiO_2$ ٪ ۱۱ (مات با عیار ٪ ۳۰) ۳۸
شکل ۳ ـ۳۱ ـ روابط فازی در سیستم $CaO-FeO_n-Cu_2O$ در هوا و دماهای ۱۲۰۰ و °C ۱۳۰۰ ٤۲
شکل ۳ ـ ۳۲ ـ روابط فازی در سیستم SiO_2 ٪ ۷/۵ ـ $CaO-FeO_n-Cu_2O$ در هوا و دماهای °C ۱۲۰۰ و °C ۱۳۰۰ ٤۲
شکل۳ـ۳۳ـ ارتباط بین عیارمات با مس اکسیدی،سولفیدی وکل مس محلول در سرباره ٤٤
شکل ۳ ـ ۳٤ ـ اثر قطر ذرات بر روی زمان ته نشینی مات و صعود سرباره به ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر ٤٦
شکل ۳ ـ ۳۵ ـ اثر ترکیب شیمیایی سرباره های آزمایشگاهی و صنعتی بر روی ویسکوزیته آنها ٤۷
شکل ۳ ـ ۳٦ . اثر ترکیب شیمیایی بر روی ویسکوزیته سرباره در درجه حرارت °C ۱۲۵۰ ٤۸
شکل ۳ ـ ۳۷ ـ ارتباط بین VR و ویسکوزیته سرباره در درجه حرارتهای مختلف ٤۹
شکل ۳ ـ ۳۸ ـ اثر درجه حرارت و ترکیب شیمیایی بر روی ویسکوزیته سرباره ٤۹
شکل ۳ ـ ۳۹ ـ اثر عیار کنسانتره بر روی نمره مات ، وزن سرباره ، درصد مس سرباره و مقدار مس تلف شده ۵۱
شکل ۳ ـ ٤۰ . اثر افزایش Fe_3O_4 بر روی درصد مس تلف شده در سرباره ۵۳
شکل ۳ ـ ٤۱ ـ اثر فشار اکسیژن بر روی درصد $CuO_{0.5}$ در سرباره ۵۳
شکل ٤ ـ ۱ ـ مس محتوی سرباره برگشتی کوره الکتریکی کارخانه انامی ٦۱
شکل ٤ ـ ۲ ـ ارتباط مس و مگنتیت در سرباره کوره الکتریکی ٦۱
شکل ٤ ـ ۳ ـ دیاگرام فازی برای بازیابی مس محتوی سرباره ٦۱
شکل ٤ ـ ٤ ـ مقایسه مس و مگنتیت محتوی سرباره و مات کوره های ریورب شرکت اوناهاما ٦٤
شکل ۵ ـ ۱ ـ شماتیک بوته محتوی سرباره در آن و دانه مات محبوس شده ٦٦
شکل ۵ ـ ۲ ـ نیروهای وارد برقطره محبوس شده در سرباره ٦۷
شکل ۵ ـ ۳ ـ بوته های شاموتی مورد استفاده جهت ذوب سرباره ۷۷
شکل ۵ ـ ٤ ـ کوره الکتریکی مورد استفاده جهت عملیات بازیابی مس محتوی سرباره ۷۷
شکل ۵ ـ ۵ ـ شکل ذره مات مس محبوس شده در سرباره با اندازه ٤٤٦ میکرون ۷۹

شکل ۵ ـ ٦- آنالیز ترکیب قطره محبوس شده در سرباره با اندازه ٤٤٦ میکرون ۸۰
شکل ۵ ـ ۷- آنالیز صفحه ای قطره محبوس شده در سرباره با اندازه ٤٤٦ میکرون ۸۰
شکل ۵ ـ ۸ --قطرات محبوس شده مات در سرباره به شکلهای غیر کروی اندازه ۱۲٦ میکرون ۸۱
شکل ۵ ـ ۹- قطرات محبوس شده مات در سرباره به شکلهای غیر کروی اندازه۵۱,۱ میکرون ۸۱
شکل ۵ ـ ۱۰ -نمودار آنالیز عنصری قطرات محبوس شده در مات با اندازه ۱۲٦ میکرون ۸۲
شکل ۵ ـ ۱۱ -نمودار آنالیز عنصری قطرات محبوس شده در مات با اندازه ۵۱/۱ میکرون ۸۲
شکل ۵ ـ ۱۲- قطرات محبوس شده مات مس و حفره های ناشی از وجود حبابهای گاز SO_2 ۸۳
شکل ۵ ـ ۱۳ -نمودار آنالیز عنصری قطرات محبوس شده مات در سرباره انتقال یافته توسط حبابهای SO_2 ۸٤
شکل ۵ ـ ۱٤- ذرات محبوس شده مات در سرباره ،که توسط میکروسکوپ نوری دیده شده است ۸٤
شکل ۵ ـ ۱۵ ـ نمودار برنامه علمیاتی آزمایشات سری اول جهت بدست آوردن بهترین دمای نگهداری مذاب ۸٦
شکل ۵ ـ ۱٦- شمای نمونه مقطع شکسته شده در جهت ارتفاع ۸۷
شکل ۵ ـ ۱۷ ـ برنامه کاری نمونه های آزمایش های سری سوم در دمای C ° ۱۲۵۰ ۹۰
شکل ۵ ـ ۱۸ ـ برنامه کاری نمونه های آزمایشهای سری سوم در دمایC ° ۱۲۰۰ ۹۳
شکل ۵- ۱۹ -میزان بازیابی حاصله دردمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد ۹۵
شکل ۵- ۲۰ -مقایسه مقدارمس در منطقه تحتانی نمونه های تحت بررسی دردماهایC° ۱۲۰۰وC° ۱۲۵۰ ۹٦
شکل ۵ ـ ۲۱ ـ منطقه پائینی نمونه ته نشین سازی شده بامناطق روشن غنی از مس در دمایC ° ۱۲۰۰ ۹۸
شکل ۵ ـ ۲۲ ـ مناطق عاری از رگه هأی مس در نقطه -۱ ،شکل ۵ ـ ۲۳ ۹۸
شکل ۵ ـ ۲۳ ـ مناطق بررسی شده در نمونه سرباره ته نشین شده در دمایC ° ۱۲۰۰ و زمان ٤ ساعت ۹۹
شکل ۵ ـ ۲٤ ـ مناطق توده أی غنی از مس در منطقه مجاورت فاز دوم تجمع یافته ۱۰۰
شکل ۵ ـ ۲۵ - فاز دوم بصورت مناطق یکنواخت و منطقه أی به شکل ترک دارای دانه هایی به رنگ مس ۱۰۰
شکل ۵ ـ ۲٦ ـ فاز دوم بصورت مناطق یکنواخت و منطقه أی به شکل ترک ، کاملاًپرشده با مس غنی ۱۰۱
شکل ۵ ـ ۲۷ - دندریت های رشد یافته از لبه های فاز دوم که به رنگ مس ظاهر شده اند ۱۰۱
شکل ۵ ـ ۲۸ - دندریت های رشد یافته در مناطق یکنواخت و لبه ها ۱۰۲
شکل ۵ ـ -۲۹ - ذرات باقیمانده محتوی مس ، گوگرد ، آهن محبوس شده در سرباره با ابعاد ۹ میکرون ۱۰۳
شکل ۵ ـ ۳۰ ـ نمودار آنالیز عنصری نمونه های موجود در سرباره با ابعاد ۹ میکرون در ارتفاع سه سانتی متری از کف ۱۰۳
شکل ۵ ـ ۳۱ ـ حضور ذرات با حداکثر قطر ۷/۵ میکرون در بخش پائینی و ارتفاع ۲ سانتی متر از کف بوته با زمان نگهداری ۳ ساعت و دمای C ° ۱۲۰۰ ۱۰٤
شکل ۵ ـ ۳۲ ـ ذرات با قطر ٤/۱۸ میکرون در بخش فوقانی نمونه ته نشین سازی شده ۱۰٤
شکل ۵ ـ ۳۳ ـ نمودار آنالیز عنصری ذرات باقیمانده در نمونه ته نشین سازی شده در دمای C ° ۱۲۰۰ ۱۰۵
شکل ۵ ـ ۳٤- آنالیز صفحه أی نمونه نگه داری شده در دمای C ° ۱۲۰۰ در زمان ۳ ساعت و ذره محبوس شده در آن با ابعاد ۷/۵ میکرون ۱۰٦
شکل ۵ ـ ۳۵ ـ ذره A محتوی مس در مجاورت منطقه تجمع یافته پس از زمان ته نشینی ٤ ساعت ۱۰٦

شکل ۵ ـ ۳۶ ـ آنالیز عنصری ذره A در مجاورت منطقه تجمع یافته ،(زمان ته نشینی ٤ ساعت ۱۰۷
شکل ۵ ـ ۳۷ ـ تغییرات درصد مس محتوی در مجاورت منطقه تجمع یافته فاز دوم ۱۰۸
شکل ۵ ـ ۳۸ روند تغییرات درصد آهن محتوی در مجاورت منطقه تجمع یافته فاز دوم ۱۰۸
شکل ۵ ـ ۳۹ روند تغییرات درصد گوگرد محتوی در مجاورت منطقه تجمع یافته فاز دوم ۱۰۹
شکل ۵ ـ ٤۰ - آنالیز صفحه أی منطقه مجاور منطقه فاز دوم نسبت به عناصر مس ، گوگرد و آهن ۱۱۰
شکل ۵ ـ ٤۱ - یکنواختی آنالیز خطی (در مسیر ارتفاع) نمونه مورد بررسی ، نگهداری شده به مدت ٤ ساعت ۱۱۰
شکل ۵ - ٤۲ - یکنواختی آنالیز خطی (در مسیر افقی) نمونه مورد بررسی ،نگهداری شده در دمای C ° ۱۲۰۰
به مدت ٤ ساعت در فاصله ۳ سانتی متر از کف نمونه ۱۱۱
شکل ۵ ـ ٤۳ - آنالیز صفحه أی نمونه ته نشین سازی شده در دمای C ° ۱۲۰۰ و زمان نگهداری شده ٤ ساعت
برای عناصر مس ، گوگرد و آهن در ارتفاع۲ سانتیمتری از کف بوته ۱۱۲
شکل ۵ ـ ٤٤ ـ نتایج آنالیز نقطه أی توسط دستگاه SEM برای روند تغییرات مس محتوی سرباره با زمان ته نشینی
در فاصله های متفاوت از سطح سرباره وزمانهای نگهداری مختلف ۱۱۲
شکل ۵ ـ ٤۵ - نمودار آنالیز عنصری مناطق تخلیه شده از مس در دمای C ° ۱۲۰۰ و زمان ۷/۵ ساعت ۱۱٤
شکل ۵ ـ ٤٦ - آنالیز خطی منطقه فاز دوم نسبت به عنصر مس ، برای نمونه ته نشین سازی شده در دمای
C ° ۱۲۰۰ و زمان ته نشینی ٤ ساعت ۱۱٤
شکل ۵ ـ ٤۷ - نمودار آنالیز عنصری فلز مس در منطقه ترک موجود در فاز دوم برای نمونه ته نشین سازی شده
در C ° ۱۲۰۰ و زمان ٤ ساعت ۱۱۵
شکل ۵ ـ ٤۸ - نمودار آنالیز عنصری فلز مس در منطقه غیر ترک موجود در فاز دوم ۱۱۵
شکل ۵ ـ ٤۹ - نمودار آنالیز صفحه أی منطقه فاز دوم تجمع یافته نسبت به عناصر آهن ـ مس ـ گوگرد ۱۱٦
شکل ۵ ـ ۵۰ - نمودار آنالیز نقاط روشن و درخشان موجود در مقطع نمونه ها محتوی زیرکونیم و سیلیسیم ۱۱٦
شکل ۵ ـ ۵۱ - نقاط سفید رنگ محتوی زیرکونیم و سیلیسیم ۱۱۷
شکل ۵ ـ ۵۲ - نمودار تاثیر افزودن کربن بر بازیابی مس برای زمان ته نشین سازی ۲ ساعت در دمای C ° ۱۲۰۰ ۱۱۸
شکل ۵ ـ ۵۳ - اثر افزودن پیریت بر بازیابی مس محتوی سرباره در دمای C ° ۱۲۰۰ ۱۱۹
شکل ۵ ـ ۵٤ ـ تاثیر افزایش زمان بر میزان بازیابی مس از سرباره به کمک پیریت و کربن ۱۱۹
شکل ۵-۵۵ - اثر افزایش NaF در میزان بازیابی مس محتوی سرباره ۱۲۱
شکل ۵-۵٦ - اثر افزایش KF در میزان بازیابی مس محتوی سرباره ۱۲۲
شکل ۵-۵۷ - تاثیر کنسانتره مس بر میزان بازیابی مس محتوی سرباره ۱۲۳
شکل الف-۱ - مکانیزم انتقال مذاب به سرباره توسط حباب گاز ۱۳٤
شکل ب-۱ ـ ویسکوزیته ماکزیمم ، متوسط و می نیمم بدست آمده برای سرباره فایالایتی برحسب دما ۱۳۸
شکل ب-۲ ـ ویسکوزیته سرباره های رود نسیان برحسب درصد وزنی ترکیبات Al_2O_3 , Cr_2O_3
, FeO , Fe_2O_3 , MgO, CaO ۱٤۰
شکل ب-۳ - شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی اندازه گیری ویسکوزیته ۱٤۱
شکل ب-٤ - ویسکوزیته سرباره سیلیکات سدیم با توجه به مقادیر استاندارد و مقادیر ثبت شده ۱٤۲

شکل ب-۵- لگاریتم ویسکوزیته برحسب درصد سیلیس محتوی و تغییرات آن با دما ۱۴۳
شکل ب-٦- لگاریتم ویسکوزیته سرباره در دماهای مختلف با تغییر درصدCaO ۱۴۳
شکل ب-۷- ویسکوزیته سرباره بعنوان تابعی از CaO محتوی در دماهای ۱۵۲۳ و ۱۵۷۳ و ۱٦۲۳ درجه کلوین ۱۴۳
شکل ب-۸- ویسکوزیته بعنوان تابعی از MgO محتوی در°C ۱۵۲۳ و°C ۱۵۷۳ و°C ۱٦۲۳ ۱۴۴
شکل ب-۹- لگاریتم ویسکوزیته بعنوان تابعی از مگنتیت محتوی و تغییرات دما ۱۴۴
شکل ب-۱۰- ویسکوزیته سرباره ها با مقادیر مختلف Fe_2O_3- Cr_2O_3 - Cu_2O - SiO_2 - MgO - CaO ۱۴٦
شکل ب-۱۱- ویسکوزیته سرباره های تحت بررسی برحسب دما و استخراج از جدول ب-۱ ۱۴٦
شکل ب-۱۲- ارتباط مومنتم در جابجایی یک اتم (A) ، dv : حجم المان ، d_N : تعداد اتمهای موجود در المان ۱۴۹
شکل ب-۱۳- تابع توزیع دوتائی g(r) ۱۵۲
شکل پ-۱- نمایش شماتیکی از اثر جریان الکتریکی خارجی بر لایه های دو تائی الکتریکی و تغییرات انرژی سطحی و مهاجرت قطره ۱۵٤
شکل پ-۲- دیاگرام مومینگی الکتریکی مس و سرباره با افزایش اکسید مس محتوی سرباره ۱۵۷
شکل پ-۳-تجهیزات آزمایشگاهی اندازه گیری سرعت رسوب قطرات در سرباره مذاب تحت میدان الکتریکی ۱۵۷
شکل پ-٤-سرعت رسوب قطره مس با شعاع ۳/۵ میلی متر در سرباره I به عنوان تابعی از گرادیان پتانسیل و دما ۱۵۹
شکل پ-۵- نسبت رسوب وابسته بعنوان از گرادیان پتانسیل در سرباره I در دماهای مختلف سرباره ۱۵۹
شکل پ-٦-سرعت رسوب وابسته قطرات مس با سایزهای مختلف بعنوان تابعی از گرادیان پتانسیل در سرباره I ۱٦۱
شکل پ-۷- نسبت رسوب وابسته قطرات مس بصورت تابعی از گرادیان پتانسیل در همه سرباره های تست شده ۱٦۱
شکل پ-۸- سرعت رسوب وابسته قطرات مس با شعاع ۲/۵ و ۳/۵ میلیمتربا تغییرات اکسید مس محتوی سرباره ۱٦۲
شکل پ-۹- سرعت مهاجرت قطرات Cu_2O در سطح سرباره بر حسب تابعی از پارامتر ($E^{2/3}\ r^{1/3}$) برای سایزهای مختلف قطرات و قدرت میدان الکتریکی ۱٦۲
شکل پ-۱۰- سرعت رسوب وابسته ، تابعی از ($E^{2/3}\ r^{-5/3}$) برای قطرات با اندازه های مختلف سرباره III ۱٦۲
شکل پ-۱۱- وابستگی نسبت V_{EG}/V_G برحسب پارامتر $(E^{2/3} r^{-5/3} C_{Cu_2O}^{-2/3} \eta^{1/3})$ در سرباره های آزمایش شده ۱٦۳
شکل پ-۱۲- نسبت رسوب وابسته محاسبه شده قطرات کوچک مس در سرباره فایالایتی در میدان الکتریکی ۱٦۳

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۲ ـ ۱ – خواص فیزیکی مات ها ، سرباره ها و برخی ترکیبات در دمای ۱۲۰۰ °C	۱۰
جدول ۲ ـ ۲ عناصر و ترکیبات موجود در سرباره	۱۰
جدول۲ ـ ۳- ترکیب شیمیائی سرباره کوره های مختلف تولید مات برحسب درصد وزنی	۱۱
جدول ۲ ـ ٤- اثر افزودنی Cu_2S , CaO , Al_2O_3 بر توزیع ترکیبات در فازهای مات و سرباره	١٤
جدول ۳ ـ ۱ - خلاصه اتلاف مس در سرباره ها به شکلهای مختلف براساس مطالعات امریس	٤٤
جدول ٤ ـ ۱ -ترکیب شیمیائی سرباره ومات کوره تنینت	٦٠
جدول ٤-۲- تغییرات داده شده در کوره ریورب جدید نسبت به کوره قدیمی	٦٣
جدول ٥-۱- پیش بینی زمان سقوط هریک از قطرات مات موجود در سرباره بنا به محاسبات تئوری	٧٢
جدول ٥ - ۲- پیش بینی زمان سقوط هریک از قطرات Cu_2O موجود در سرباره بنا به محاسبات تئوری	٧٣
جدول ٥-۳- پیش بینی زمان سقوط هریک از قطرات Cu_2S موجود در سرباره بنا به محاسبات تئوری	٧٤
جدول ٥-٤- پیش بینی زمان سقوط هریک از قطرات Cu موجود در سرباره بنا به محاسبات تئوری	٧٥
جدول ٥ ـ ٦ ـ نتایج آنالیز نمونه سرباره کوره شعله ای مس سرچشمه کرمان	٧٨
جدول ٥ - ۷- نتایج آنالیز سرباره کوره ریورب پس از عملیات ته نشین سازی در دمای ۱۲۵۰ °C	٩٢
جدول ٥ ـ ۸ ـ نتایج آنالیز سرباره کوره ریورب پس از عملیات ته نشین سازی در دمای ۱۲۰۰ °C	٩٥
جدول ٥ ـ ۹ ـ نتایج بازیابی در دمای ته نشین سازی ۱۲۰۰ °C	٩٥
جدول ٥-۱۰- ارتباط بین افزایش NaF وزمان نگهداری بربازیابی مس محتوی سرباره	١٢٠
جدول ٥-۱۱- ارتباط بین افزایش KF وزمان نگهداری بربازیابی مس محتوی سرباره	١٢٢
جدول ٥-۱۲- ارتباط بین افزایش کنسانتره مس وزمان نگهداری بربازیابی مس محتوی سرباره	١٢٤
جدول الف-۱ ـ کشش سطحی و فصل مشترک و ضرائب فیلم و شناوری در سیستم سرباره – مات در ۱۲۵۰ °C	١٣٦
جدول الف- ۲ ـ اثر عوامل مختلف در مات و سرباره بطور خلاصه	١٣٧
جدول ب-۱- ترکیب شیمیایی سرباره های بررسی شده	١٤١
جدول ب-۲- مقایسه مقادیر محاسبه شده و مقادیر مشاهده شده ویسکوزیته فلزات در نقطه ذوب آنها	١٥٣
جدول پ-۱- ترکیب و خواص فیزیکی سرباره های کاربردی در این پژوهش	١٥٧

مقدمه :

از آنجا که غالب تولید در مجتمع مس سر چشمه به شیوه پیرومتالورژی صورت می پذیرد و از سوی دیگر در حال حاضر اتلاف مس از طریق سرباره های کوره شعله ای وکنورتور، هرروزه موجب خروج بخش قابل توجهی مس، از چرخه تولید و هدر رفتن آن می شوند، بر آن شدیم که با توجه به تجربیات صورت گرفته توسط محققین ، به دنبال راههایی باشیم که بتوانیم حتی المقدور از اتلاف مس جلوگیری نموده ودر جهت افزایش بهره وری اقدام نمائیم .

برداشت مس از کانه های کم عیار با درصد های مس پائین (کمتر از یک درصد)، بازیابی مس محتوی سرباره کوره های شعله ای و کنورتور را توجیه می نماید . به همین دلیل جهت بازیابی مس محتوی سرباره کنورتور، مستقیما سرباره را به داخل کوره های شعله ای شارژ می نمایند. از طرف دیگر در حال حاضر سرباره کوره های شعله ای با مس محتوی آن بصورت دورریز می باشد که این موضوع با توجه به میزان مس محتوی آن (۰/۵ تا ۱ درصد) موجب اتلاف بخش عمده ای از مس می شود.

مطالعات صورت گرفته، تائید کننده ته نشین شدن ترکیبات مس دار محتوی سرباره به دلیل اختلاف دانسیته با گذشت زمان در دمای مناسب نگهداری مذاب سرباره می باشند. بدین لحاظ در این تحقیق سعی شده است که بهینه دمای نگهداری به همراه بهینه زمان نگهداری ، باانجام آزمایشات لازم برای سرباره دورریز کوره ریورب حاصل شده و سپس اثر برخی ازمواد افزودنی برتسریع ته نشینی، عمدتا به دلیل کاهش ویسکوزیته مورد آزمایش قرار گیرد.

امید است نتایج بدست آمده از این تحقیق بتواند در پیشبرد اهداف صنعت تولید مس در کشور، مفید واقع گردد.

احمد احمدی