بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی
بخش مهندسی متالورژی

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مواد و متالورژی
گرایش شناسایی و انتخاب مواد

بهبود انتقال حرارت و جریان گاز در محفظه بویلر بازیافت حرارت کوره فلش، با نرم افزار فلوئنت

مولف:
ناصر فاریابی

استاد راهنما:
دکتر محمدرضا ایزدپناه

استاد مشاور:
دکتر حمید دوست محمدی

بهمن ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی متالورژی

دانشکده فنی مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

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

دانشجو :

استاد راهنما:

استاد مشاور:

داور ۱ :

داور۲ :

نماینده ی تحصیلات تکمیلی در جلسه دفاع:

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

تقدیم به:

همسر مهربانم

و

فرزند دلبندم

چکیده:

استفاده از بویلر بازیافت حرارت، در پروسه‌های استخراج مس و نیکل از کنسانتره‌های سولفیدی، به عنوان صرفه‌جویی در انرژی و کاهش آلودگی محیط زیست بعد از کوره فلش رایج است. در کارکرد مفید بویلر بازیافت حرارت پارامترهایی مثل محل، اندازه و تعداد صفحات خنک‌کننده، میزان گرفتگی مجرای ورودی وخروجی گاز، دبی و محل ورودی هوای سولفاتایزینگ، زاویه دودکش کوره فلش و نحوه جریان گاز درون بویلر نقش دارند. در این مطالعه جریان گاز درون بویلر بازیافت حرارت کارخانه ذوب مس خاتون آباد با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف شبیه‌سازی شد و تاثیر آنها مورد بررسی قرار گرفت. در این شبیه‌سازی، از یک مدل سه بعدی که با نرم افزار گمبیت تولید شد، استفاده گردید و با نرم افزار فلوئنت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشخص کرد محل اصلاح شده ورودی هوای سولفاتایزینگ در بهبود جریان گاز درون بویلر موثر بوده و تغییر زاویه دودکش کوره فلش به همراه تغییر در تعداد صفحات باعث افزایش زمان گاز درون محفظه بویلر شده و افزایش راندمان بویلر را بدنبال دارد.

کلمات کلیدی: بویلر بازیافت حرارت، جریان گاز، شبیه سازی، فلوئنت.

تشکر و قدردانی :

در هر کجا که زنده‌ای، زندگی است.

در هر کجا که زندگی می کنی، روحی در تلاش است.

در هر کجا که روحی در تلاش است، مسیری پیداست.

در هر کجا که مسیری پیداست، هدفی روشن است.

در هر کجا که هدفی روشن است، کامیابی نزدیک است.

حمد و سپاس خدای را که فضل و رحمت بی‌منتهایش توفیق دیگری نصیبم کرد تا با استعانت از الطاف بی‌کرانش بتوانم این پایان‌نامه را به نتایج مورد نظر برسانم. بر خود لازم می دانم کمال تقدیر و تشکر خود را نثار کسانی کنم که در این مسیر پر فراز و نشیب لحظه ای از راهنمایی، پشتیبانی و تشویق من دریغ نکردند. از استاد گرامیم جناب آقای دکتر ایزدپناه به عنوان معلم علم و اخلاق تشکر و قدردانی می‌کنم و امیدوارم قدردان لطف و بزرگواریشان نسبت به من، آنچنان که شایسته ایشان است، باشم.

از جناب آقای دکتر دوست محمدی، عضو هیئت علمی بخش مهندسی متالورژی، که مشاوره پایان نامه اینجانب را بر عهده گرفته‌اند، کمال تشکر را دارم.

تشکر ویژه‌ای دارم از آقای مهندس بهرامپورکه در طول انجام پایان‌نامه همواره مرا مورد لطف خود قرار داده‌اند.

از دوستان عزیزم آقایان مهندس صافی زاده، مهندس علوی و مهندس حسن زاده به خاطر یاری ومحبت بی دریغشان صمیمانه تشکر می کنم.

از همسر عزیزم که در طی انجام این پروژه یار و همراه من بوده است و با فراهم کردن آرامش فکری و آسایش روحی، بسیاری دشواری ها را بر من آسان نمودند، با تمام وجود قدردانم.

در پایان، از همه عزیزانی که دعایشان بدرقه راه من بوده است سپاسگزاری می‌کنم.

ناصر فاریابی

بهمن ۱۳۹۰

فهرست مطالب:

موضوع **صفحه**

فصل اول) مقدمه

۱-۱- مقدمه..... ۱

۱-۲- تعریف مسئله..... ۳

۱-۳- اهداف..... ۳

فصل دوم) مروری بر منابع

۲-۱- روشهای صنعتی تولید مس..... ۶

۲-۱-۱- چگونگی تولید مات در کوره فلش..... ۷

۲-۱-۲- بویلر بازیافت حرارت..... ۹

۲-۱-۲-۱- ساختمان بویلر بازیافت حرارت..... ۹

۲-۱-۲-۲- فرآیندهای درونی بویلر بازیافت حرارت..... ۱۱

۲-۱-۲-۳- سولفاته شدن ذرات..... ۱۲

۲-۱-۲-۴- نشت هوا از قیف‌ها..... ۱۲

۲-۱-۲-۵- دمش هوا..... ۱۳

۲-۱-۳- نقش ذرات..... ۱۳

۲-۲- مروری بر انتقال حرارت..... ۱۴

۲-۲-۱- انتقال حرارت تابشی..... ۱۴

۲-۲-۱-۱- انتشار امواج الکترومغناطیسی..... ۱۵

۲-۲-۱-۲- خواص تابشی سطوح..... ۱۵
۲-۲-۱-۳- جسم سیاه..... ۱۶
۲-۲-۱-۴- ضریب نشر..... ۱۶
۲-۲-۱-۵- ضریب جذب..... ۱۷
۲-۲-۱-۶- تابش گازها..... ۱۸
۲-۳- مروری بر مکانیک سیالات..... ۱۹
۲-۳-۱- سیالات نیوتنی و غیر نیوتنی..... ۲۰
۲-۳-۲- سیال تراکم پذیر و تراکم ناپذیر..... ۲۱
۲-۳-۳- عدد رینولدز..... ۲۱
۲-۳-۴- جریان آرام و آشفته..... ۲۲
۲-۳-۵- انواع مدل آشفته..... ۲۴
۲-۴- معادلات حاکم بر جریان سیال و انتقال حرارت..... ۳۱
۲-۴-۱- معادلات بقای جرم..... ۳۲
۲-۴-۲- نرخ تغییرات ذره و المان سیال..... ۳۳
۲-۴-۳- معادله اندازه حرکت..... ۳۴
۲-۴-۴- معادله انرژی..... ۳۵
۲-۵- مروری بر شبیه سازی..... ۳۶
۲-۵-۱- حل معادلات حاکم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی..... ۳۸
۲-۵-۲- معرفی نرم‌افزار فلوئنت..... ۴۱

۲-۶- مروری بر تحقیقات گذشته.....۴۵

فصل سوم) روش تحقیق

۳-۱- اطلاعات فنی بویلر بازیافت حرارت.....۵۲

۳-۱-۱- مشخصات گاز های خروجی از کوره فلش.....۵۳

۳-۱-۲- مشخصات هوای سولفاتایزینگ.....۵۴

۳-۲- ایجاد هندسه بویلر در نرم افزار گمبیت.....۵۴

۳-۳- شبکه‌بندی در نرم افزار گمبیت.....۵۶

۳-۴- تعیین شرایط مرزی در نرم افزار گمبیت.....۵۷

۳-۵- روش حل در نرم افزار فلوئنت.....۵۸

۳-۵-۱- مدل‌های فیزیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی بویلر بازیافت حرارت.....۵۸

۳-۵-۱-۱- تنظیم حل کننده ۵۸

۳-۵-۱-۲- انتخاب مدل جریان سیال.....۵۹

۳-۵-۱-۳- انتخاب مدل انتقال حرارت تشعشعی.....۶۰

۳-۵-۲- تنظیم خواص فیزیکی.....۶۱

۳-۵-۲-۱- تنظیم خواص سیال.....۶۱

۳-۵-۲-۲- تنظیم خواص بدنه‌ی بویلر.....۶۲

۳-۵-۳- تنظیم شرایط مرزی.....۶۳

۳-۵-۳-۱- شرایط مرزی ورودی.....۶۳

۳-۵-۳-۲- شرایط مرزی دیوارها.....۶۴

فصل چهارم) نتایج

۴-۱- بررسی عملکرد مدل (صحت سنجی) ۶۷

۴-۱- ۱- نتایج حاصل از عملکرد مدل این تحقیق..... ۶۸

۴-۲- فرضیات..... ۷۱

۴-۳- اثر زاویه دودکش کوره فلش بر جریان سیال..... ۷۱

۴-۴- تاثیر محل هوای سولفاتایزینگ..... ۷۴

۴-۵- اصلاح در تعداد صفحات تشعشعی..... ۷۵

فصل پنجم) بحث و بررسی

۵-۱- اثر زاویه دودکش کوره فلش..... ۷۸

۵-۲- تاثیر محل هوای سولفاتایزینگ..... ۸۰

۵-۳- اصلاح در تعداد صفحات تشعشعی..... ۸۱

فصل ششم) نتیجه گیری..... ۸۸

فصل هفتم) پیشنهادات ۹۰

منابع و ماخذ..... ۹۲

فهرست جدول‌ها:

موضوع **صفحه**

جدول ۳-۱: ترکیب شیمیایی گاز ورودی به بویلر..... ۵۳

جدول ۳-۲: ترکیب شیمیایی ذرات گردوغبار..... ۵۳

جدول ۳-۳: مشخصات دما،دبی گاز و میزان غبارات ورودی به بویلر..... ۵۴

جدول ۳-۴: خواص گاز خروجی از کوره فلش..... ۶۲

جدول ۳-۵ : خواص هوای سولفاتایزینگ..... ۶۲

جدول ۳-۶: خواص رسوب تشکیل شده روی بدنه بویلر..... ۶۳

جدول ۳-۷: شرایط مرزی گاز ورودی به بویلر..... ۶۴

جدول ۳-۸: شرایط مرزی هوای سولفاتایزینگ..... ۶۴

جدول ۳-۹: مشخصات مورد نیاز جهت شبیه‌سازی بویلر بازیافت حرارت..... ۶۴

فهرست شکل‌ها:

موضوع **صفحه**

شکل ۲-۱: شماتیک فرآیند تولید مس.....۶

شکل ۲-۲: قسمت‌های مختلف کوره فلش.....۸

شکل ۲-۳: شماتیک کوره ذوب فلش،بویلر بازیافت حرارت و فیلترهای الکترواستاتیک.....۸

شکل ۲-۴: کوره ذوب فلش به همراه بویلر بازیافت حرارت و فیلترهای الکترواستاتیک.....۹

شکل ۲-۵: قسمت‌های مختلف یک بویلر بازیافت حرارت.....۱۱

شکل ۲-۶: مقایسه گسیل تشعشع از جسم سیاه و سطح حقیقی از دیدگاه توزیع جهتی.....۱۷

شکل ۲-۷: برخورد انرژی تابشی با جسم.....۱۷

شکل ۲-۸: حرکت لایه‌ای سیال واقعی در امتداد مرز صلب.....۲۰

شکل ۲-۹: جریان آرام و آشفته.....۲۳

شکل ۲-۱۰: انتقال حرارت تشعشعی.....۳۱

شکل ۲-۱۱: المان سیال مربوط به قوانین بقاء.....۳۲

شکل ۲-۱۲: جریان‌های جرمی ورودی و خروجی المان سیال.....۳۳

شکل ۲-۱۳: روند تحلیل و شبیه‌سازی سیال.....۳۹

شکل ۲-۱۴: انواع سلول‌های قابل استفاده در نرم‌افزار فلوئنت.....۴۴

شکل ۲-۱۵: مقادیر سولفات مس تشکیل شده بر حسب زمان ماندگاری ذرات و مقدار اکسیژن در بویلرهنگامی که دما و مقدار گوگرد دی اکسید ثابت باشد.....۴۶

شکل ۲-۱۶: تاثیر مقدار دی اکسید گوگرد و اکسیژن بر دمای بهینه تشکیل سولفات مس.....۴۷

شکل ۲-۱۷: مقادیر سولفات مس تشکیل شده بر حسب اندازه ذرات اکسید مس براساس ثابت ماندن کلیه متغیرها.....۴۸

شکل ۲-۱۸: تغییر در طراحی بویلر بازیافت حرارت توسط پروفسور یانگ و همکارانش.....۴۹

شکل ۳-۱: بویلر بازیافت حرارت شرکت مس خاتون آباد.....۵۲

شکل ۳-۲: هندسه بویلر در نرم افزار گمبیت قبل از اصلاح.....۵۵

شکل ۳-۳: هندسه بویلر در نرم افزار گمبیت بعد از اصلاح..... .....۵۶

شکل ۳-۴: هندسه شبکه بندی شده با استفاده از سلول تتراهدرال.....۵۷

شکل۳-۵: سلول چهار وجهی تتراهدرال.....۵۷

شکل ۴-۱: هندسه بویلر بازیافت حرارت شرکت اتوکمپو فنلاند.....۶۷

شکل ۴-۲: کانتور توزیع دمایی سیال درون بویلر بازیافت حرارت کارخانه شرکت اتوکمپو فنلاند.....۶۸

شکل ۴-۳ :کانتور بزرگی سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت کارخانه شرکت اتوکمپو فنلاند....۶۹

شکل ۴-۴ : کانتور توزیع تشعشع سیال درون بویلر بازیافت حرارت کارخانه شرکت اتوکمپو فنلاند.....۷۰

شکل ۴-۵: سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد قبل از اصلاح.....۷۲

شکل ٤-٦: سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت پس از اصلاح زاویه دودکش (زاویه ۴۵ درجه)..۷۲

شکل ۴-۷: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت پس از اصلاح زاویه دودکش (زاویه ۳۰ درجه).....۷۳

شکل ۴-۸: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت پس از اصلاح زاویه دودکش (زاویه ۶۰ درجه).....۷۳

شکل ۴-۹: کانتورسرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد پس از اصلاح.....۷۴

شکل ۴-۱۰: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد پس از اصلاح ۷۵

شکل ۴-۱۱: کانتور سرعت سیال پس از اصلاح در صفحات تشعشعی.....۷۶

شکل ۴-۱۲: بردار سرعت سیال پس از اصلاح در صفحات تشعشعی.....۷۶

شکل ۵- ۱: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد قبل از اصلاح.....۷۸

شکل ۵-۲: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت پس از اصلاح زاویه دودکش ۷۹

شکل ۵-۳: کانتورسرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد پس از اصلاح محل ورودی هوای سولفاتایزینگ.....۸۰

شکل ۵-۴: بردار سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت ذوب مس خاتون آباد پس از اصلاح محل ورودی هوای سولفاتایزینگ.....۸۱

شکل ۵-۵: کانتور سرعت سیال پس از اصلاح در صفحات تشعشعی.....۸۲

شکل ۵-۶: بردار سرعت سیال پس از اصلاح در صفحات تشعشعی.....۸۳

شکل ۵-۷: وضعیت سرعت سیال درون بویلر بازیافت حرارت قبل از اصلاح (مشکی) و پس از اصلاح (قرمز).....۸۳

شکل ۵-۸: منحنی سرعت- زمان برای حالت قبل از اصلاح.....۸۴

شکل ۵-۹: منحنی سرعت- زمان برای حالت بعد از اصلاح.....۸۴

شکل ۵-۱۰: کانتور توزیع دمایی سیال درون بویلر با در نظر گرفتن اصلاحات.....۸۵

شکل ۵-۱۱: کانتور توزیع دمایی سیال درون بویلر بدون اصلاحات.....۸۵

شکل ۵-۱۲ : سهم جذب هر یک از مجموعه صفحات تشعشعی ردیف یک تا چهار بعد از اصلاح.....۸۶

شکل ۵-۱۳ : سهم جذب هر یک از مجموعه صفحات تشعشعی ردیف یک تا چهار قبل از اصلاح.....۸۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

امروزه اهمیت مسایل انرژی و زیست محیطی، به‌خصوص در مراکز صنعتی، بر کسی پوشیده نیست. در فرآیندهای ذوب و تصفیه فلزات از جمله هنگام استفاده از مواد خام سولفیدی همواره مقدار قابل توجهی گاز خروجی با دمای بالا وجود دارد که از لحاظ هدر رفتن انرژی و آلایندگی زیست محیطی بسیار حائز اهمیت هستند.

استفاده از بویلر بازیافت حرارت[۱] در فرآیند ذوب فلش به روش اتوکمپو[۲] (استخراج مس) امری رایج است که در مجموع اهداف خنک‌کاری گاز، بازیابی حرارت و جمع آوری ذرات گردوغبار به دست می‌آید. خنک‌کاری بیشتر، ممانعت از پرشدن ذخایر جمع‌آوری ذرات گردوغبار و ممانعت از رسوب‌گرفتگی سطوح خنک کار[۱و۲] از جمله عواملی هستند که در عملکرد خوب بویلر موثر بوده و افزایش راندمان را به دنبال دارد. با این تفاسیر بهینه کردن عملکرد بویلر باید مدنظر قرار گیرد. بدین منظور باید از شناسایی و یافتن عواملی صحبت کرد که به طور مستقیم روی بهره‌وری و کار مفید مجموعه تاثیر می‌گذارند.

به منظور دانستن تاثیر هر یک از این عوامل از مدلسازی‌های گوناگونی استفاده می‌شود. ایجاد مدل فیزیکی از جریان سیال و انتقال حرارت کار مشکلی است. سختی و گران بودن این روش را نامناسب می‌کند و باید بدنبال روش دیگری بود.

روش مدل‌سازی CFD[۳] ابزار بسیار قوی را فراهم کرده تا بتوان طراحی بویلر را در یک مدل‌سازی مجازی مورد ارزیابی قرار داد. همچنین با شبیه‌سازی جریان سیال و انتقال حرارت درون بویلر می‌توان عملکرد آن را بهبود بخشید. در این روش با یک طراحی مناسب می‌توان به شرایط عملی نزدیک شد و در عمل و در مواجهه با مشکلات آنها را بهینه کرد.

مطالعات نشان می‌دهد هر چند پیش‌بینی‌ها با استفاده از CFD بسیار مفید است اما مواردی دال بر مغایرت با نتایج واقعی وجود دارد[۱] تجدید نظر در طراحی بویلرها دارای مزیت است ازجمله اینکه می‌توان عیوب طراحی قبل را در طراحی جدید رفع کرد. از مواردی که تاکنون در مورد بویلر بازیافت حرارت در فرآیند ذوب فلش ارزیابی شده و در برخی موارد بهینه‌سازی صورت گرفته می‌توان به این موارد اشاره کرد:

۱- اصلاح هندسه بویلر با ایجاد یک برآمدگی و یک فرورفتگی در سقف [۱].

۲- فرآیند بهم چسبیدن ذرات و رشد این لایه روی دیواره‌ها و مشکلات ناشی از آن [۲].

1- Waste Heat Boiler
2- Outokumpu
3- Computational Fluid Dynamic

۳- امکان خنک‌کاری بیشتر گازها [۳].
۴- شناسایی انواع ذرات گردوغبار، انواع رسوبات، تاثیر تجمع ذرات گردوغبار روی دیواره بویلر از نظر انتقال حرارت، تعیین مشخصات لایه‌های شکل گرفته روی دیواره بویلر و مکانیزم شکل گیری آنها [۴].
۵- امکان افزایش ظرفیت بویلر با تغییر در بستر جریان گاز و بهبود ضریب انتقال حرارت، بررسی مواردی همچون نفوذ هوا، انسداد گلوگاه دودکش، گلوئی شدن ورودی بویلر، انسداد مسیر گاز در بخش هدایت [۵].

هدف از این تحقیق ایجاد تغییرات در طراحی بویلر بود، تا جریان گازهای درون آن بهینه شده و نتیجه آن بهبود عملکرد بویلر باشد. این تغییرات شامل تغییر در ابعاد، تعداد و مکان صفحات تشعشعی، تغییر در زاویه دودکش کوره فلش وهمچنین تغییر در جهت ایجاد فضایی با ماندگاری زمانی بیشتر گاز همراه باشد.

نرم افزار فلوئنت[1] ۶.۳ یک نرم افزار CFD است که برای شبیه‌سازی پدیده انتقال حرارت و جریان سیال مورد استفاده قرار می‌گیرد و در این تحقیق از آن استفاده شد.

1-Fluent 6.3

۱-۲- تعریف مسئله

بهینه کردن جریان گاز درون بویلر با ایجاد تغییر در طراحی می‌تواند در عملکرد کل مجموعه بویلر موثر باشد لذا شناسایی این عوامل موثر از مهم‌های این مسئله است. ایجاد تغییر در طراحی با ظرافت خاصی باید همراه باشد. اساس کار بر تعیین حرکت گاز درون بویلر است این موضوع بخاطر نیاز به شبیه‌سازی انتقال حرارت تابشی که نوع غالب است و از طرفی نوع حرکت گاز که حرکتی متلاطم و غیر آرام است، با سختی و پیچیدگی خاصی همراه است. پارامترهای متفاوتی بر فرآیند بویلر تاثیر گذارند از جمله:

- تعداد و محل صفحات تابشی درون بویلر
- هندسه و شکل بویلر
- زاویه دودکش کوره فلش
- موقعیت و محل هوای ورودی(هوای سولفاتایزینگ[۱])
- حجم و دبی هوای ورودی(هوای سولفاتایزینگ)
- دمای گاز ورودی
- تعیین و بزرگی فضاهای مرده
- دمای گاز خروجی

برای تغییر در طراحی بویلر باید پارامترهای تاثیرگذار در فعل و انفعالات آن را در نظر گرفت و در این صورت می‌توان عملکرد بویلر را بهینه کرد. بدین منظور باید موارد مختلف مثل تجمع ذرات روی دیواره بویلر که در انتقال حرارت موثر است را در حل مسئله دید.

۱-۳- اهداف

در فرآیندهای پیرومتالورژی و بخصوص استخراج مس و نیکل که از بویلر بازیافت حرارت استفاده می‌شود، درست عمل کردن این واحد که ارتباط تنگاتنگ با کوره دارد، موجب کاهش هزینه‌ها و صرفه جویی در انرژی و همچنین کاهش آلودگی محیط زیست را بهمراه دارد. در این مطالعه اهداف زیر دنبال می‌شود:

- کاهش فضاهای مرده و استفاده بیشتر از فضای موجود بویلر
- اصلاح مکان صفحات تابشی
- اصلاح تعداد و ابعاد صفحات تابشی

۱-هوای لازم برای خنک کاری و انجام بهتر واکنش‌های سولفاته شدن درون بویلر است.

- ایجاد فضایی با ماندگاری زمانی بیشتر گاز

با توجه به هزینه‌بر بودن انجام مدل سازی فیزیکی، در این مطالعه از شبیه‌سازی کامپیوتری استفاده شده که جایگزین مناسبی است و تا کنون در موارد بسیاری از آن استفاده شده است.

فصل دوم

مروری بر منابع