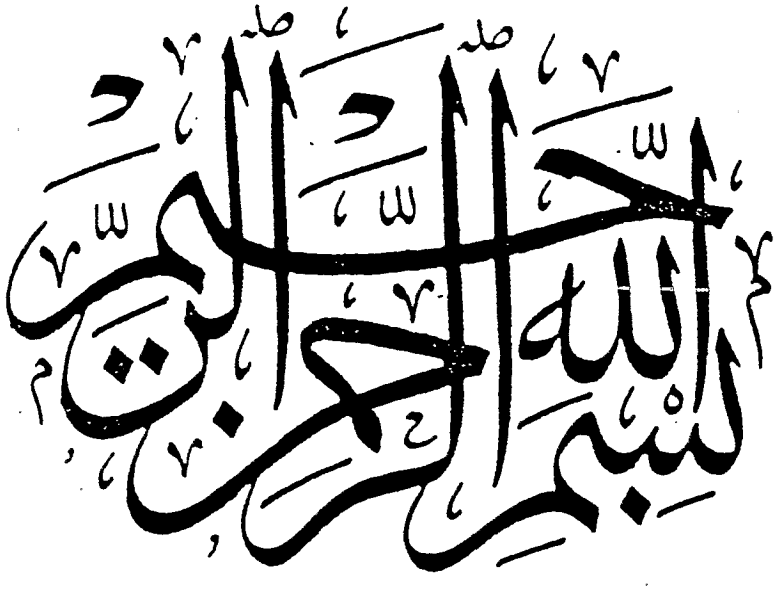
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
شعبه مرکزی



ف ۱۸۳

۱۳۸۰ /۱۲/ ۲۲

0116817

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی ـ بخش مهندسی متالورژی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی متالورژی

تحت عنوان

بررسی مکانیزم خوردگی آجرهای نسوز کوره آهک پزی مجتمع مس سرچشمه

مؤلف:

سعید محمدعلی

۷-۱۵ س

استاد راهنما:

دکتر عبدالحمید جعفری

استاد مشاور:

دکتر مرتضی زندرحیمی

بهار 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 هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دورهٔ مزبور شناخته نمی‌شود.

نام و نام خانوادگی	امضاء
دانشجو: سعید محمدعلی	
استاد راهنما: عبدالحمید جعفری	
استاد مشاور: دکتر مرتضی زندرحیمی	
داور ۱: دکتر محمّد کرمی نژاد	
داور ۲: دکتر شهریار شرفی	

حق چاپ محفوظ و مخصوص مؤلف است.

تقـدیم

به مادرم

که برایم اسطورهٔ ایثار و فداکاری است.

و

پدرم

که شکیبایی و پایداری را از او آموختم.

و تقدیم

به همه آنهایی که صادقند و من به آنها عشق می‌ورزم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اوّل: کلیات

۱ـ۱ـ مقدمه ۲
۱ـ۲ـ کاربرد آهک پخته در کارخانه تغلیظ ۲
۱ـ۳ـ فرایند تجزیه سنگ آهک ۳
۱ـ۴ـ مقایسه کوره آهک و کوره سیمان و طراحی مشعل در آنها ۳
۱ـ۵ـ مشخصات کلی کوره آهک پزی ۵
۱ـ۵ـ۱ـ سیستم حرارتی کوره ۹
۱ـ۵ـ۲ـ سیستم تخلیه گازهای خروجی ۹
۱ـ۵ـ۳ـ نسوز کاری کوره آهک پزی ۱۰
۱ـ۵ـ۳ـ۱ـ خوردگی و فرسایش نسوزها در کوره آهک پزی ۱۱
۱ـ۶ـ تحقیقات انجام شده در مورد کوره دوار آهک پزی ۱۴
۱ـ۷ـ بررسی اقتصادی ۱۵

فصل دوّم: مروری بر تحقیقات گذشته

۲ـ۱ـ مقدمه ۱۸
۲ـ۲ـ نسوز و دیرگداز ۱۸
۲ـ۳ـ نسوزهای سیلیسی (Silicate Refractories) ۱۹
۲ـ۴ـ نسوزهای آلومینوسیلیکاتی (Aluminosilicate Refractories) ۲۰
۲ـ۴ـ۱ـ انواع نسوزهای آلومینوسیلیکاتی ۲۲
۲ـ۴ـ۱ـ۱ـ خاک نسوز (Fire Clay) ۲۳
۲ـ۴ـ۱ـ۱ـ۱ـ تغییرات در خاک نسوز هنگام پخت ۲۵
۲ـ۴ـ۱ـ۲ـ گروه سیلیمانیت (Sillimanite) ۲۶
۲ـ۴ـ۱ـ۳ـ مولایت (Mullite) و خصوصیات آن ۲۷

عنوان | صفحه

۲-۴-۱-۴- آجرهای نسوز کراندوم (Corundum) ۲۸
۲-۵- مشخصات فنی مواد نسوز ۲۹
۲-۵-۱- مخروط معادل گرماسنجی (Pyrometric Cone Equivalent) ۲۹
۲-۵-۲- وزن مخصوص ۲۹
۲-۵-۳ تخلخل ظاهری (Apparent Porosity) ۲۹
۲-۵-۴- مقاومت مکانیکی سرد (C.C.S=Cold Crushing Strength) ۳۰
۲-۵-۵- ضریب گسیختگی (M.O.R=Modulus of Rupture) ۳۱
۲-۵-۶- خزش تحت بار (Creep under load) ۳۱
۲-۵-۷- انبساط حرارتی (Thermal Expansion) ۳۲
۲-۵-۸- پایداری در برابر تغییر دما ۳۳
۲-۵-۹- پایداری در برابر شوک حرارتی ۳۳
۲-۵-۱۰- هدایت گرمایی ۳۴
۲-۶- مازوت و خوردگی ناشی از آن ۳۵
۲-۷- انواع تنش اعمالی بر نسوزها در کوره دوار آهک ۳۶
۲-۸- آستر نسوز کوره ۳۸
۲-۸-۱- تاثیر تشکیل لایه محافظ کوتینگ (Coating Layer) بر روی نسوزها ۳۸
۲-۸-۱-۱- عوامل موثر در تشکیل و ریزش کوتینگ ۳۸
۲-۸-۲- قطر کوره و تاثیر آن بر عمر نسوزهای کوره ۳۸
۲-۸-۳- تاثیر تغییر شکل بدنه کوره بر عمر آسترنسوز ۳۹
۲-۹- رفتار نسوزها در برابر گرما ۳۹

فصل سوم: روش پژوهش

۳-۱- مقدمه ۴۳
۳-۲- مطالعات ریزساختاری و فازی ۴۴
۳-۲-۱- نمونه برداری نسوزهای سالم و مستهلک و آماده سازی نمونه‌ها ۴۴
۳-۲-۲- بررسی‌های میکروسکوپی ۴۵

عنوان | صفحه

۳-۲-۳- پراش سنجی اشعه X(XRD) و آنالیز شیمیایی نمونه‌ها ۴۵

۳-۳- روشهای بررسی خوردگی نسوز ۴۶

۳-۳-۱- آزمون استاتیکی خوردگی نسوز ۴۷

۳-۳-۱-۱- آماده سازی نمونه جهت بررسی میکروسکوپی ۴۹

۳-۳-۲- آزمون دینامیک خوردگی نسوز ۵۱

فصل چهارم: نتایج

۴-۱- مقدمه ۵۶

۴-۲- بررسی نسوزهای مصرفی درکوره آهک پزی مجتمع مس سرچشمه ۵۸

۴-۳- بررسی نسوزهای مستهلک شده منطقه پخت کوره آهک پزی (منطقه A) ۶۲

۴-۴- بررسی نسوزهای مصرفی در منطقه پیش گرم کوره (منطقه D) ۸۱

۴-۵- بررسی نمونه نسوز آزمون استاتیک نوع بوته‌ای ۹۰

فصل پنجم: بحث و نتیجه‌گیری

۵-۱- بحث و بررسی نتایج ۹۸

۵-۲- نتیجه گیری ۱۱۲

۵-۳- پیشنهادات ۱۱۴

منابع و مآخذ ۱۱۵

ضمیمه

گرادیان حرارتی کوره آهک‌پزی توسط نرم افزار Ansys ۱۲۰

۱- مقدمه ۱۲۰

۲- دستور کار نرم افزار Ansys ۱۲۲

چکیده

حدود $\frac{۳}{۴}$ از توقفات کوره آهک‌پزی مجتمع مس سرچشمه جهت تعمیرات نسوزهاست. در راستای استفاده از فرآورده‌های نسوز ساخت داخل برای جایگزین کردن با نسوزهای خارجی، در حال حاضر، از آجر نسوز Alma85SP ساخت شرکت فرآورده‌های نسوز ایران در منطقه پخت و منطقه پیش‌گرم کوره جهت نسوزکاری استفاده می‌گردد. آجرهای آلومینوسیلیکاتی مصرفی در منطقه پخت این کوره، تحت شرایط حاد حرارتی و شیمیایی، خوردگی داغ و فرسایش شدیدی را تحمل می‌کنند. در پژوهش حاضر، ابتدا نمونه‌هایی از همین آجرهای داخلی، مستهلک شده در کوره و همچنین نمونه سالم از همان نوع به کمک تکنیک‌های XRD، SEM/EDX و آنالیز شیمیایی تر مورد بررسی قرار گرفتند. نیز جهت پی‌بردن به علل فرسایش این نسوزها، تست‌های مقایسه‌ای با نسوزهای مشابه خارجی مورد استفاده در کوره آهک‌پزی صورت گرفت. این بررسی‌ها وجود ترکیبات حاوی یون سولفات و یون پتاسیم و کلسیم در سطح آجر را نشان داده و تغییر در نسبت‌های اساسی $\frac{SiO_2}{CaO}$ و $\frac{Al_2O_3}{CaO}$ در عمق‌های مختلف آجر از سطح، افزایش CaO و جذب آن به سطوح نسوز را مشخص کرد. در نتیجه این امر، نقطه یوتکتیک فازهای تشکیل دهنده این نوع آجرها در اثر نفوذ اکسیدهای قلیایی پایین آمده و عامل ایجاد حفره در سطح آجر می‌گردد. همچنین مشخص شد که تشکیل فازهای $Ca_4Al_6O_{12}SO_4$ و $K_2Ca_2(SO_4)_3$ در سطح نسوز در بهم ریختگی فاز مولایت موثر بوده و دلیل اینکه کوتینگ نسوزهای منطقه پخت پایداری شیمیایی مناسبی ندارند، تشکیل فاز $Ca_{54}Al_2Si_{16}O_{90}$ است که به عنوان مشتقی از یک فاز مخرب شناخته شده است. اضافه کردن SiO_2 به شارژ کوره در تشکیل شدن بیشتر فازهای مقاوم به حرارت Ca_3SiO_5 و Ca_2SiO_4 در کوتینگ نسوزها مناسب به نظر می‌رسد. در جهت جایگزینی مناسب نسوزها در منطقه پخت، آزمون‌های استاندارد ASTM استاتیک و دینامیک خوردگی اجرا شده نتایج مهمی را مشخص کرده و نشان دادند که کارآیی آجرهای نسوز منیزیت کرومیتی در منطقه پخت نسبت به آجرهای آلومینوسیلیکاتی مناسب‌تر می‌باشد که این نتیجه از تست‌های استاتیکی و دینامیکی روی دو نوع آجر داخلی RENO-60 به عنوان یک نسوز منیزیت کرومیتی و آجر Alma85SP بدست آمد. نهایتاً با استفاده از نرم‌افزار Ansys امکان استفاده از مدل‌سازی ریاضی جهت بکارگیری دماسنجی سطح بیرونی کوره مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد زمانیکه دمای سطح کوره به حدود ۵۴۰ °c می‌رسد، ضخامت نسوز در آن منطقه به حدود ۷cm رسیده و توقف کوره برای تعویض نسوزها نیاز می‌باشد. این امر با تقریب بسیار خوب توسط مشاهدات میدانی تأیید گردید.

تشکر و قدردانی

«منت خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت»

سپاس و ستایش شایسته پروردگاریست که در سایه رحمت بی‌پایانش توانستم گامی دیگر در عرصه علم و تحصیل بردارم. انجام پایان‌نامه حاضر، بعد از لطف و عنایت بی‌شائبه الهی مدیون تلاش افراد بی‌شماری است که در تمامی دوران زندگی و تحصیل مرا مورد لطف خود قرار داده‌اند. بدین وسیله دوستی بی‌پایان خود را به آنان تقدیم می‌نمایم و برایشان آینده‌ای سرشار از موفقیت و بهروزی آرزومندم.

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر عبدالحمید جعفری که در تمام مراحل تحقیقات راهنمایم بودند، نهایت تشکر را دارم.

همچنین زحمات استاد مشاور گرامی و ریاست محترم بخش مهندسی متالورژی دانشگاه شهید باهنر کرمان، جناب آقای دکتر مرتضی زندرحیمی را ارج می‌نهم.

از هیئت محترم داوران آقایان دکتر محمد کرمی‌نژاد و دکتر شهریار شرفی که مرا مورد لطف خود قرار داده‌اند، قدردانی می‌نمایم.

از مدیریت محترم مرکز تحقیقات و مطالعات مجتمع مس سرچشمه جناب آقای مهندس نوبری، ریاست محترم واحد هیدرومتالورژی جناب آقای مهندس حسنی و ریاست محترم واحد پیرومتالورژی جناب آقای مهندس نیک‌نژاد که در انجام این پروژه از هیچ کمکی دریغ نورزیدند، کمال تشکر و سپاسگزاری را می‌نمایم.

از جناب آقای مهندس ملایری سرپرست محترم کوره آهک‌پزی و مشاور صنعتی پروژه بخاطر راهنمایی‌ها و کمک‌هایشان در طول پروژه تشکر و قدردانی فراوان به عمل می‌آورم.

در نهایت از مسئولین محترم مرکز علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی کرمان که در طول انجام پروژه با ما همکاری داشتند، قدردانی می‌نمایم.

سعید محمدعلی

اردیبهشت ۱۳۸۰

فصل اوّل

کلیات

۱-۱- مقدمه

معدن مس سرچشمه در ۵۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان رفسنجان (طول جغرافیایی ′۵۴ °۵۳ و عرض جغرافیایی ′۵۸ °۲۹ واقع شده است) در ارتفاع ۲۵۰۰ متری از سطح دریا واقع بوده و کانسار مس اولین بار در این منطقه در سال ۱۳۲۸ یافت شده است. در سال ۱۳۴۵ با تاسیس شرکت سهامی مس سرچشمه عملیات اکتشافی آغاز گردیده است. کارخانه متشکل از واحدهای زیر می‌باشد.

۱ ـ کارخانه تغلیظ

۲ ـ کارخانه ذوب

۳ ـ پالایشگاه

۴ ـ کارگاههای ریخته گری پیوسته و نیمه پیوسته.

کوره دوار پخت آهک مربوط به قسمت تغلیظ کارخانه است و آهک پخته‌ای که از این کوره بدست می‌آید مورد مصرف در سلولهای فلوتاسیون کارخانه تغلیظ می‌باشد [۱].

۱-۲- کاربرد آهک پخته در کارخانه تغلیظ

همانطور که می‌دانیم کانی مس به صورت اکسیدی، سولفوری و مس خالص در طبیعت می‌باشد. سنگ‌های اکسیدی بیشتر در قشر سطحی قرار دارند که روش استخراج مس از این کانی‌ها بصورت هیدرومتالورژی صورت می‌گیرد. سنگ‌های سولفوری برعکس سنگهای اکسیده، پایین‌تر از سطح زمین در عمق بیشتری قرار داشته و قسمت اعظم مس بصورت همین سنگهای سولفوری می‌باشد [۲و۳]. معادن مس سولفوری در این جا به دو قسمت روباز و زیرزمینی وجود دارند که معدن مس سرچشمه بصورت روباز استخراج شده و عیار متوسط آن در حد ۰/۶۹ درصد مس می‌باشد. امروزه استخراج مس در این معدن از سنگ‌های سولفیدی انجام می‌گیرد [۱و۲]. جهت پر عیار سازی این کانی مس و آماده سازی آن برای عملیات احیاء از روش فلوتاسیون انجام می‌شود که در آن پس از مراحل خردایش و نرم نمودن دوغابی از کانی مس که توسط کلکتور شناور، تغلیظ شده حاصل می‌آید. با استفاده از آهک هیدراته ($Ca(OH)_2$) PH محیط سلولهای فلوتاسیون را در حد بازی تنظیم و اجسام شناور مزاحم را ته نشین کرده آنگاه با دمش هوا، کانی شناور شده را به سطح سلول آورده و

بازیابی می‌نمایند. و در کل آهک ئیدراته تنظیم کننده خاصیت قلیایی دوغاب در نقطه‌ای است که حداکثر کانی‌های مس بازیابی می‌گردند. آهک هیدراته همچنین باعث بالا بردن ته نشینی مواد در حوضچه‌های غلیظ‌سازی و افزایش میزان فیلتراسیون کنسانتره می‌گردد. جهت کسب حداکثر کارایی از آهک هیدراته لازم است دو غاب آهک هیدراته روز به روز از نظر استانداردهای خلوص به نحو مطلوبتر تهیه شود. این مسئله مهمترین هدف در کارخانه پخت سنگ آهک و تهیه آهک هیدراته می‌باشد [۱].

۱-۳- فرایند تجزیه سنگ آهک

سنگ آهک طی واکنش زیر به آهک تبدیل می‌شود

$$CaCO_3(s) \longrightarrow CaO(s)+CO_2(g)+\Delta H \qquad (1-1)$$

این واکنش که به واکنش کلسینه شدن یا تکلیس معروف است برگشت‌پذیر و گرماگیر بوده و میزان گرمای استاندارد واکنش در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر $۱۸۷\frac{kj}{mol}$ [۲۶، ۳۰، ۳۳] می‌باشد. تجزیه سنگ آهک فرایندی است که با نکات علمی مختلفی روبروست بنابراین فهم سینتیک مکانیزم آن موضوع مطالعات مختلفی قرار گرفته و تاکنون نیز بسیاری از جنبه‌های این فرایند بنحوی شناخته شده است. از نقطه نظر ترمودینامیکی واکنش در درجه حرارتی اتفاق می‌افتد که فشار جزیی CO_2 در فصل مشترک تجزیه کمتر از فشار تعادل است که با استفاده از رابطه تعادل و فشار جزیی CO_2 درجه حرارت واکنش حدود $800^{\circ}c$ الی $900^{\circ}c$ بدست می‌آید [۳۴]. از نقطه نظر سینتیکی واکنش تجزیه سنگ آهک بر اساس مطالعات مختلف طبق مدل هسته کوچک شونده (Shrinking Unreacted Core Model) اتفاق می‌افتد و برآیند سرعت تجزیه ممکن است به سرعت واکنش شیمیایی، سرعت انتقال جرم یا سرعت انتقال حرارت و یا هر ترکیبی از این مقاومت‌ها بستگی داشته باشد [۳۳].

۱-۴- مقایسه کوره آهک وکوره سیمان و طراحی مشعل در آنها [۱۹]

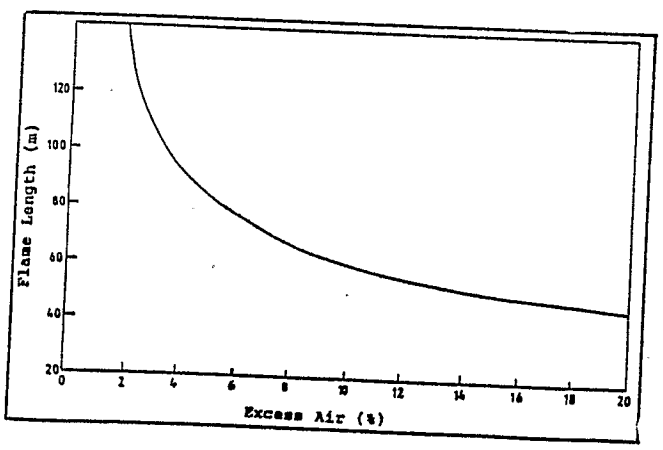
از نظر فرایندهای انجام شده، پیچیدگی در کوره آهک ساده‌تر از کوره سیمان می‌باشد و این بدلیل محصولات دو کوره است که کوره آهک ساده‌تر از کوره سیمان می‌باشد. هرچند اهمیت شعله و

پرداختن به مشخصات مشعل و طراحی آن در کوره آهک بسیار بیشتر از کوره سیمان می‌باشد.

واکنش کلسیناسیون (Calcrination) کربنات کلسیم بصورت زیر می‌باشد.

$$\underset{1kg}{CaCO_3} \longrightarrow \underset{0/56kg}{CaO} + \underset{0/44kg}{CO_2} \qquad (2-1)$$

در کوره آهک انرژی تئوریک مصرفی بالاتر و ارزش حرارتی و سوختی یک فاکتور اصلی در تولید آهک می‌باشد و در دمای زیر $805^{\circ}c$ $CaCO_3$ به CO_2, CaO سادگی ترکیب و به فرم می‌شوند. بالای $805^{\circ}c$ واکنش در جهت راست ومستقیم انجام می‌شود. این واکنش کلسیناسیون یک واکنش گرماگیر است و $CaCO_3$ تمایل به جذب گرما که با اعمال گرما، کلسیناسیون انجام می‌شود. سرعت این واکنش بستگی به سرعت اعمال حرارت و گرمایی دارد که به $CaCO_3$ داده می‌شود. شکل ۱-۱ نشان می‌دهد هرچه هوای اضافی اعمالی بیشتر شود طول شعله کمتر می‌گردد. طول شعله و اهمیت شعله و حرارت در کوره آهک بسیار حائز اهمیت و کنترل شعله یکی از فاکتورهای مهم در افزایش بازدهی می‌باشد. یکی از مهمترین قسمتهای کوره آهک، طراحی مشعل آن می‌باشد. با یک طراحی مناسب می‌توان کنترل شعله را به خوبی انجام داد و با تکنیک کنترل شعله، علاوه بر افزایش بازدهی کوره در تولید محصول، عمر نسوزها نیز افزایش می‌یابد که این خود در بازدهی کل اثر مطلوب می‌گذارد و در این چند سال اخیر با توجه به تشخیص اهمیت مشعل، گام‌های بسیاری در جهت طراحی مناسب آن صورت گرفته است.

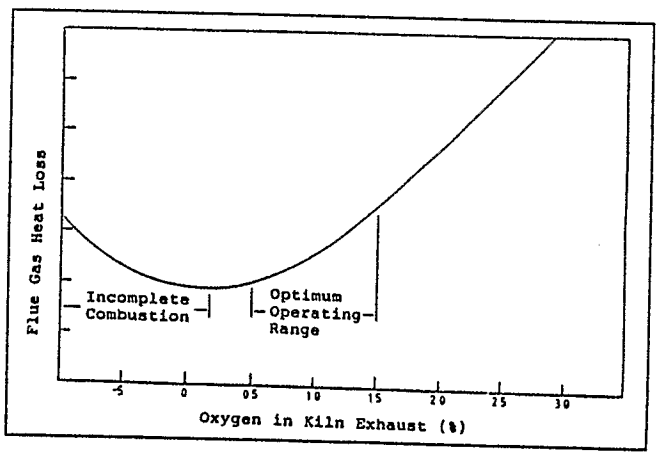


شکل ۱-۱- اثر هوای اضافی روی طول شعله [۱۹]

در سوخت کوره، چیزی که باعث ایجاد حرارت می‌شود، هیدروژن و کربن است که با اکسید شدن آنها، حرارت آزاد می‌گردد. کربن اگر بصورت دی اکسید کربن، اکسیده شود حرارت بیشتری تولید شده است و اگر بصورت منوکسید کربن، اتلاف حرارتی داریم و بعبارتی با ناقص سوختن، حرارت کمتری ایجاد می‌شود و از ارزش حرارتی می‌کاهد و باعث کاهش بازدهی سوخت می‌گردد که این سوختن کامل نیز با یک طراحی مناسب مشعل صورت می‌گیرد(فرایند اکسید شدن شیمیایی یک واکنش پیچیده در جهت آزاد شدن حرارت می‌باشد). مراحل احتراق (Combustion) بصورت زیر می‌باشد:

Mixing ⟶ Ignition ⟶ Chemical Reaction

سرعت احتراق بستگی به آهسته‌ترین مرحله آن دارد. که در سیستم‌های احتراق صنعتی، مخلوط (Mixing) نسبت به مراحل دیگر، آهسته‌ترین است. شکل ۱-۲ گرمای از دست رفته بر حسب گازهای تولیدی سوخت می‌باشد. همانطور که می‌بینیم یک نقطه بحرانی وجود دارد که در طراحی مشعل، خیلی موثر در کنترل شعله می‌باشد و بهینه کردن شعله در بازدهی کوره و محصول بسیار موثر است.



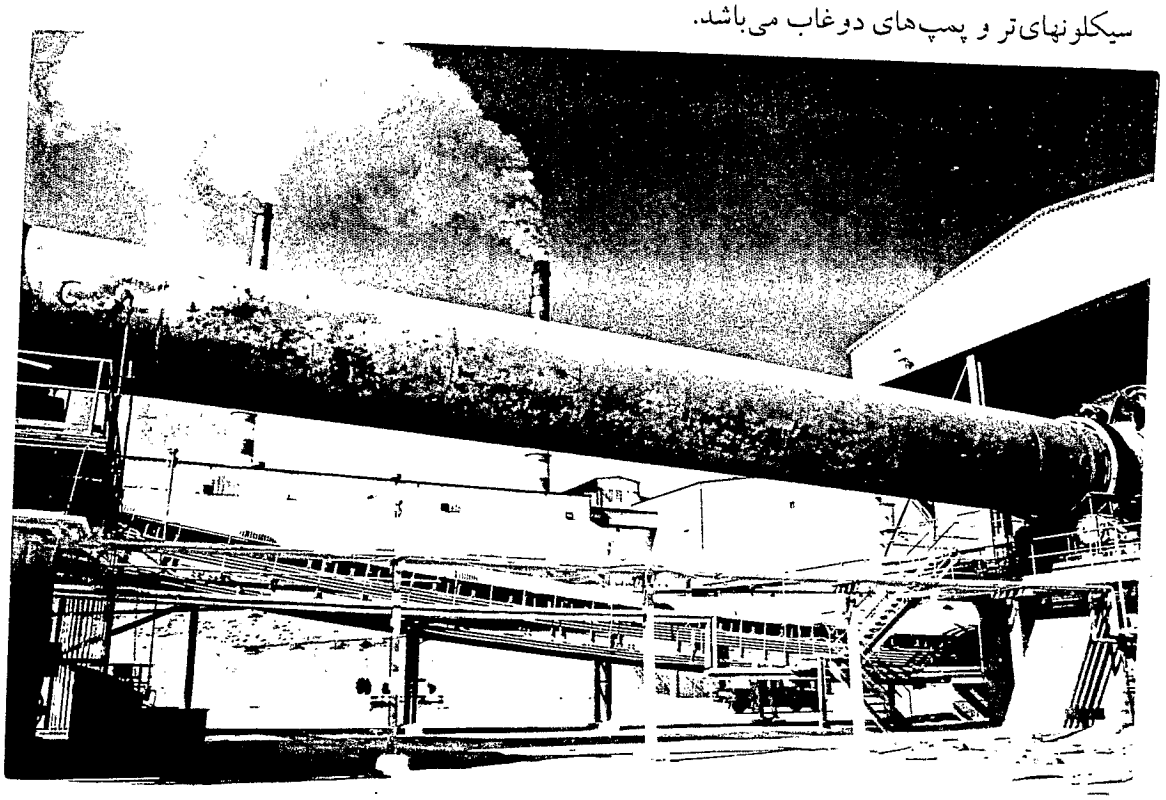
شکل ۱-۲- گرمای از دست رفته برحسب گازهای تولیدی سوخت [۱۹]

مدل‌های ریاضی و فیزیکی، یک ابزار مفید در مطالعه وضعیت عملیاتی کوره آهک و طراحی مشعل‌هایی با عملیات و کارکرد بهینه می‌باشد.

۱-۵- مشخصات کلی کوره آهک پزی

کوره دوار آهک پزی، استوانه‌ای است با ابعاد ۷۶۰۰cm×۲۷۰cm و مجهز به دستگاههای

جانبی از جمله آتش‌کن کوره، بازیابی گرد و غبار از دودکش، سیستم نوارهای زنجیری و نقاله و مخازن ذخیره آهک، آسیاب گلوله‌ای برای تهیه شیر آهک، طبقه بندی کننده‌های حلزونی، سیکلونهای تر و پمپ‌های دوغاب می‌باشد.



شکل ۱-۳- نمای بیرونی کوره آهک پزی مجتمع مس سرچشمه

ظرفیت تغذیه سنگ آهک به مقدار حداکثر ۱۱/۳ton/hr و یا ۱۴۷ton/day می‌باشد. در صد نسبی CaO در تغذیه کوره ۵۰% و درصد کل CaO در محصول پخته حدود ۸۰% و درصد CaO آزاد در محصول پخته حدود ۷۵% است و اندازه ذرات تغذیه شده به کوره باید بین ۶+ و ۱۹-مش (۷ تا ۲۰ میلی‌متر) باشد. نوع سوخت کوره در زمان نرمال مازورت و در زمان راه اندازی و حالت‌های اضطراری که حرارت بیشتری نیاز است گازوئیل می‌باشد.

بازده حرارتی مشعل آن در حالت حداکثر برابر $۸۴/۴۳\times۱۰^{۶}$kg/hr و در حرارت دهی نرمال $۵۸/۹\times۱۰^{۶}$kg/hr می‌باشد. برنامه عملیاتی این کارخانه در هفته، هفت روز و شیفتهای تولیدی آن، سه شیفت هشت ساعته در روز است. تغذیه کوره از دو مخزن سنگ آهک با ظرفیت هر کدام