

نقش کنترل و ممیزی مواد در مصرف انرژی حرارتی

سعید محمودی^۱ - صمد صالحی^۲

۱ - کارشناس پژوهشی سیمان آبیگ

۲ - مسئول گروه ممیزی مواد شرکت تحقیق و توسعه صنعت سیمان

چکیده:

استفاده از خوراک کوره با کیفیت مطلوب موجب افزایش پایداری سیستم پخت و کاهش مصرف انرژی حرارتی در این بخش می شود. تأمین چنین خوراکی مستلزم استقرار سیستم کنترل خودکار و پویا متشکل از نیروی انسانی متخصص و تجهیزات مختلف به همراه ثبت نتایج اندازه گیری ها و مشاهدات عینی در قالب سیستم ممیزی مواد می باشد. در این مقاله ضمن تشریح بخش های مختلف مورد نیاز از جهت استقرار سیستم ممیزی مواد و چگونگی ارتباط بخش ها و گردش کار بین آنها، تفکر و روح مسلط بر آن با ارائه نمونه ای کاربردی از نحوه اجرا و پیاده سازی عملی سیستم و نتایج بسیار مطلوب حاصله بیان می شود.

کلمات کلیدی : کلینکر، مینرالوژی ، مدولهای کیفیت،

مقدمه :

در صنعت سیمان، سیستم کنترل کیفی مواد و محصولات بگونه ای طراحی شده که طی حداقل آزمایشات با حداقل زمان ممکن نتایج کاربردی قابل قبولی جهت تنظیم فرایم و ادامه عملیات در محدوده های مجاز میسر گردد. گاهی اوقات بدلیل تغییر در خواص کیفی مواد با تغییراتی مواجه می شویم که جهت تشخیص آن نیازمند استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی پیشرفته یا مشورت با افراد متخصص در زمینه های مختلف می باشیم. استفاده از تجهیزات و تشکیل یک تیم از افراد متخصص بگونه ای که مکمل یکدیگر باشند و تهیه برنامه کاربردی و گردش کار، ایجاد یک سیستم کنترل و ممیزی می نماید.

انجام ممیزی مواد در قالب یک سیستم کنترل بصورت دوره ای یا مستمر باعث شناخت گلوگاه ها شده و با رفع مشکلات از طرق مختلف آمادگی و قابلیت مانور سیستم در مقابل تغییرات اعمال شده بصورت کنترل شده افزایش خواهد یافت. در ادامه بخش های مختلف و مورد نیاز یک سیستم ممیزی مواد موفق و کارآمد با ارائه نمونه عینی در هر قسمت و نتایج حاصله به دقت تشریح می شود.

۱- اثر کیفیت خوراک کوره بر مصرف انرژی حرارتی

اهم پارامترهای کیفی خوراک ورودی به کوره های سیمان به شرح ذیل می باشد:

۱-۱- دانه بندی

۱-۲- وضعیت مینرالوژی (کانی های تشکیل دهنده)

۱-۳- درصد اکسید های تشکیل دهنده (اکسید های اصلی و فرعی منشعب از مواد اولیه طبیعی)

۱-۴- هموژناسیون (یکنواختی)

۱-۵- مواد افزودنی (اکسید های جزئی ناشی از مواد مصنوعی یا منشعب از افزودنی های خاص)

هر کدام از عوامل به تنهایی می تواند اثر خود را به طور مستقل از دیگری بر کیفیت خوراک کوره نشان داده و آثار منتج از تغییرات کیفی آنها به طور چشمگیری بر مصارف انرژی اثر گذار خواهد بود.

واقعیت این است که نمی توان آثار توأمان مواد و فرآیند را بصورت مجزا بررسی نمود، زیرا گاهی اوقات این دو عامل بگونه ای در کارکرد کوره اثر گذار است که تشخیص سهم تأثیر هر کدام بصورت مستقل بسیار مشکل خواهد بود ولی با این وجود چنانچه سیستم ممیزی مواد فرآیند بطور مستمر برقرار گردد تفکیک این دو عامل برای یک کوره صنعتی بسیار سهل و قابل تشخیص خواهد بود. چراکه پیش بینی رفتار و عملکرد سیستم پخت و قسمتهای متعلقه نسبت به مواد اولیه در دسترس پس از گذشت مدت زمانی از بررسی های مستمر قابل حصول خواهد بود.

۱-۱- اثر دانه بندی خوراک کوره بر مصرف انرژی:

یکی از مهمترین عوامل مؤثر در فرآیند تبدیل مواد خام به کلینکر، دانه بندی خوراک کوره است با افزایش نرمی مواد، سرعت واکنش شیمیایی بین مواد جامد افزایش می یابد. معمولاً نرمی عبارتست از مقدار ماده ای که از الک ۹۰ میکرون عبور می کند. در صورتی که این مقدار ۸۵-۸۰ درصد باشد، پخت خوب قابل حصول خواهد بود. برای خوراک کورهایی که حاوی کانی های سیلیس آزاد با فعالیت کم می باشند (نظیر کوارتز) بکار بردن الک های ریز تر از ۷۵ میکرون (نظیر ۴۵ میکرون) نیاز می باشد. روش سریع و قابل اطمینان برای اندازه گیری توزیع دانه بندی ذرات پودری، استفاده از دستگاه لیزر پارتیکل سایز است.

بر اساس تحقیقات و مطابق نظر عده ای از محققین حالت مطلوب و خوب برای دانه بندی خوراک کوره آن است که حداقل ۵۰ درصد آن کوچکتر از ۴۴ میکرون باشد. نرمی بیش از حد نیز مشکلاتی را در پمپ کردن مواد، برگشت غبار در کوره های بلند و خشک و دارای پیشگرمکن (که منجر به گرفتگی و ... می شود) موجب می شوند. در ارتباط با نرمی بیش از حد خوراک کوره دو عقیده وجود دارد. یک نظر آن است که نرمی بیش از حد، مثلاً ۹۵ درصد عبوری از الک ۷۵ میکرون، خروج گرد و غبار از سیستم را افزایش می دهد، حال آنکه نظریه دیگر بیان می کند که در کوره های دوار، پودرهای نرم نسبت به مواد زبر تماس بیشتری برای متراکم شدن دارند و دانه های کوچک تشکیل شده در جریان گاز نمی تواند به صورت معلق درآیند. با استفاده از دستگاه لیزر پارتیکال سایز و بکارگیری نمودار RRSB و تعیین پارامترهای n و x' می توان کیفیت دانه بندی خوراک کوره را تخمین زد.

خوراک کوره با پخت نرمال	خوراک کوره سخت پز	پارامتر
۰/۶۱۱	۰/۹۷۸	n
۱۷/۵۲	۱۹/۲۵	x'

n شیب نمودار توزیع دانه بندی و بر حسب درصد و x' پارامتر نرمی و بر حسب میکرون می باشد و درشتی ذرات باعث افزایش مصرف انرژی حرارتی بدلیل تشکیل هاله های واکنشی در اطراف ذرات و افزایش زمان واکنش می شود .

۱-۲- تأثیر کانیهای (مینرالهای) خوراک کوره بر مصرف انرژی

اکسیدهای لازم جهت تشکیل فازهای کلینکر قالباً بصورت کانی یافت می شود. از آنجایی که روند واکنش پذیری مواد در یک دامنه وسیع حرارتی قرار دارد، لذا هر گونه عدم همخوانی در تجزیه مواد در سینتیک واکنش ها،

میتواند اغتشاش ایجاد کند. در حالت ایده آل، تجزیه حرارتی شبکه کانی های موجود در خوراک کوره می بایست در یک محدوده دمایی نزدیک به هم جهت واکنش پذیری بسیار خوب باشد.

کانی های خوراک کوره معمولاً شامل کلسیت، دولومیت، کوارتز (یا کالسدونی)، هماتیت یا گوتیت یا مگنیتیت، کانی های رسی مونت موریلونیت، کائولینیت و ... می باشد.

دمای تجزیه کانی های مذکور بر اساس تحقیقات انجام شده به شرح ذیل می باشد:

کلسیت (920°C - 850°C)، دولومیت (750°C - 700°C)، کوارتز (1100°C)، گوتیت (390°C - 350°C) لیمونیت (390°C - 350°C)، هماتیت (575°C - 550°C)، مگنیتیت (900°C - 600°C)، کلریت های آهن دار (500°C - 330°C)، مونت موریلونیت (900°C - 800°C)، کائولینیت (800°C - 600°C)

بحث مینرال ها و تأثیر آنها بر مصرف انرژی حرارتی از دو دیدگاه درصد کمی و ابعاد بلوری قابل بررسی و تحلیل می باشد. که بطور خلاصه اهم آن به شرح ذیل بیان می شود.

۱- بر اساس نظریه هیلمن برای خوراک کوره با $Lsf = 95$ حداکثر ۵ درصد کانی های کربنات درشت تر از ۱۵۰ میکرون (کلسیت و دولومیت) می تواند حضور داشته باشد.

۲- در صورتی که مقدار Lsf کمتر از ۸۹ باشد، مقدار مذکور می تواند تا دو برابر افزایش یابد.

۳- مقدار سائز بحرانی برای کاهش چشمگیر در مقدار واکنش پذیری کلسیت و دولومیت، ۱۲۵ میکرون و برای کاهش واکنش پذیری فلدسیات، کوارتز، کالسدونی ۴۴ میکرون بیان شده است.

۴- مقدار سیلیس آزاد کمتر از ۳ درصد نقش قابل توجهی در افزایش مصرف انرژی و کاهش پایداری پخت می شود. بر اساس نظریه هیلمن در خوراک کوره با Lsf معادل ۹۵ نایبستی بیشتر از ۵٪ درصد سیلیس آزاد بزرگتر از ۲۰۰ میکرون و یا حداکثر یک درصد بین ۹۰ تا ۲۰۰ میکرون وجود داشته باشد.

۵- بایستی دقت کرد در سنگ آهن، پیریت (FeS_2) وجود نداشته یا مقدار آن حداکثر ۳ درصد باشد. زیرا بعنوان کمک ذوب عمل نکرده و باعث مصرف اکسیژن داخل کوره می شود. همچنین استفاده از سنگ آهن منگنیتی به دلیل مشکلات فیزیکی ناشی از جاذبه مغناطیسی و عمل جذب اکسیژن داخل کوره نیز توصیه نمی شود.

ایجاد اثراتی نظیر کاهش تمایل به تشکیل کوتینگ، ناپایداری کوتینگ، انرژی زیاد برای واکنش پذیری و ... در حین پروسه پخت باعث می شود تا مصرف انرژی حرارتی در پخت بطور چشمگیری افزایش یابد.

۱-۳- تأثیر درصد اکسید های تشکیل دهنده خوراک کوره

تأثیر چهار اکسید اصلی کلسیم، سیلیس، آهن، آلومینیوم در خوراک کوره بصورت سه مدول اصلی Lsf ، SIM ، ALM مورد ارزیابی قرار می گیرد. همواره بین Lsf و مصرف ویژه حرارتی کوره، یک رابطه منطقی وجود دارد.

تغییرات مصرف حرارتی به صورت تئوری نسبت به Lsf در محدوده ۸۰ تا ۹۵ بدون توجه به واکنش قلیایی ها با سولفات به صورت زیر تعریف می شود:

$$KJ/Kg\ cli = 11 Lsf + 755$$

به عبارت دیگر افزایش هر ۵ واحد در مقدار Lsf مصرف انرژی تقریباً ۵۵ کیلو ژول به اندازه هر کیلو گرم کلینکر افزایش خواهد یافت. مدول دیگر که تأثیر قابل توجهی در مصرف انرژی دارد مدول سیلیس است. با افزایش مدول سیلیس درجه حرارت لازم برای کلینکر شدن افزایش پیدا می کند. تغییرات مصرف انرژی نسبت به مدول

سیلیس بصورت خطی نیست. می توان گفت بطور تقریبی افزایش ۵/۰ درصد در مدول سیلیس، درجه حرارت مورد نیاز پخت در حدود ۵۰ درجه افزایش پیدا می کند .
مدول دیگر کیفیت مواد خام مدول آلومین می باشد. افزایش مدول آلومینیوم باعث افزایش درجه حرارت مورد نیاز جهت پخت می باشد. این ارتباط بصورت خطی نبوده وبصورت تقریبی می توان گفت افزایش ۱/۰ درصد در تعداد مدول آلومینیوم در حدود ۱۰ درجه دمای مورد نیاز پخت افزایش می یابد.

تأثیر اکسیدهای جزئی بر مصرف انرژی حرارتی

اکسیدهایی نظیر Na_2O ، K_2O ، SO_3 ، TiO_2 ، Mn_2O_3 و ... که مقادیر آن در خوراک کوره کم است، بعنوان اکسید های جزئی معرفی می شوند. اکسیدهای جزئی می توانند هم نقش مفید و هم نقش منفی داشته باشند. درصد هایی از آنها در کاهش درجه حرارت تشکیل فازها دخالت نموده و باعث بهبود پخت می شوند، در حالی که افزایش بیش از حد مورد نظر مسائلی نظیر انبساط سیمان، تشکیل رینگ و گرفتگی در کوره و مشکلات زیادی را در پخت را موجب می شوند. ترکیباتی نظیر می تواند دمای ظهور فاز مایع را تا 100°C کم کند.

۱-۴- اثر هموژناسیون بر مصرف انرژی حرارتی

عدم یکنواختی خوراک کوره باعث عدم تنظیم مدول های در دانه بندی های مختلف خوراک کوره می شود و این عامل خود نیز باعث بوجود آمدن مناطق با Lsf زیاد مناطق با Lsf کم و متناظر با آن عدم تنظیم سایر مدول ها، خواهد شد. عدم یکنواختی مواد باعث عدم بهره برداری یکنواخت و متناسب با آن مصرف انرژی حرارتی افزایش خواهد یافت.

جهت کنترل نوسانات دامنه اجرایی و قابل قبول مجاز نوسانات برای مدول ها به صورت زیر ارائه شده است:

$$\text{Lsf} : \pm 1$$

$$\text{SIM} : \pm 0.5$$

$$\text{ALM} : \pm 0.5$$

۱-۵- تأثیر مواد افزودنی بر مصرف انرژی حرارتی

مواد افزودنی قالباً بر دو دسته می باشند. گروهی که نقش کمک ذوب را داشته و دمای تشکیل ظهور فاز مایع را بعضاً تا ۱۰۰ درجه کاهش داده و گروهی دیگر از مواد افزودنی نقش کانی ساز را بعهده داشته و باعث بهبود توزیع و گسترش فازها در کلینکر خواهد شد. موادی نظیر فلورین، اکسید روی، اکسید سرب و سایر اکسیدهای فسفر، منگنز و ... از این دسته می باشند. بعنوان مثال استفاده از ۵/۰-۲/۰ درصد فلورین می تواند بین ۷۰-۵۰ درجه سانتی گراد، حرارت مورد نیاز در پخت را کاهش دهد.

۲- تجارب حاصل از استقرار سیستم ممیزی مواد در یک کارخانه سیمان

۲-۱- طرح موضوع

در بهمن ماه سال ۸۵ بیان شد که پخت مواد دریکی از کوره های سیمان به خوبی انجام نمی شود و کیفیت کلینکر بطور قابل توجهی افت نموده و درصد زیادی از آن از محدوده های توافق خارج شده است. این موضوع ابتدا

در کمیته اجرایی با هماهنگی گروه مواد و محصولات که مجری استقرار سیستم ممیزی مواد بوده مطرح و فعالیت ها و نتایج حاصله مورد بحث قرار گرفت. در ادامه روند بررسی ممیزی مواد از مرحله بررسی سوابق و تا تحلیل نتایج در ادامه بیان می شود.

بررسی مشکل پیش آمده بعلت افزایش تقریبی ۶/۷ درصد مصرف انرژی ویژه حرارتی در بخش پخت بصورت توأم بروی مواد و فرآیند متمرکز بوده ولی از آنجایی که موضوع مورد بحث در این گفتار بروی سیستم ممیزی مواد استوار است این بخش بطور نسبتاً کامل تشریح می شود و مختصری از اهم نتایج فرآیندی ذکر خواهد شد.

۲-۲- بررسی شرایط فرایندی:

سوابق فرایندی موضوع مورد بحث در زمان ایجاد مشکل و قبل از آن بدلیل کاهش ۳-۲ درصد تناژ خوراک ورودی به کوره بررسی شده و بصورت مقایسه ای مورد ارزیابی قرار گرفت. اهم نتایج به قرار ذیل است:

۱- میزان نشتی در بخش های مختلف فرآیند اندازه گیری و با قیاس با شرایط گذشته مشخص گردید تغییرات زیادی در این پارامتر ایجاد نشده است.

۲- وضعیت مشعل از نظر پاشش سوخت و سایر مشخصات بررسی و تغییرات زیادی نسبت به قبل مشاهده نشد.

۳- مقادیر سوخت مصرفی نسبت به قبل در حدود ۵-۳ درصد افزایش یافته است.

۴- متناسب با افزایش مصرف انرژی حرارتی در بخش پخت درجه حرارت بدنه کوره در حدود ۵ درصد و درجه حرارت مواد ورودی به کوره در حدود ۹ درصد افزایش یافته است.

۲-۳- بررسی شرایط کیفی خوراک کوره

۲-۳-۱- بررسی مدول های کیفی خوراک کوره

در نمودارهای شماره ۱ تا ۳ نوسان Lsf و SIM و ALM خوراک کوره ارائه شده است.

نوسانات مدول های کیفی خوراک کوره بیانگر تغییرات نسبتاً زیادی نسبت به حالت ایده آل و اجرایی می باشد. نوسانات Lsf بیش از یک واحد و نوسانات SIM و ALM بیش از ۰/۰۵ می باشد. تجارب قبلی نشان می داد که وقتی نوسانات در مدول های کیفی خوراک ایجاد می شد، تغییرات نسبی نیز در کیفیت کلینکر و علی الخصوص آهک آزاد مشاهده می شد، حال آنکه در طول مدت زمان مورد بررسی علاوه بر نوسانات مشاهده شده در مقادیر آهک آزاد، مقادیر بطور متوسط نسبت به قبل افزایش یافته است. در جدول شماره یک مشخصات مدول ها در محدوده مورد بررسی ارائه شده است.

مقادیر کمی مدول ها بر اساس تجارب چندین ساله تولید، ضمانت تولید یک محصول مستمر و با کیفیت لازم می نماید، و مقادیر درج شده در جدول مذکور از نظر کمی اشکالی را ایجاد نمی کند.

جدول شماره ۱: مقادیر متوسط مدولهای خوراک کوره در زمان ممیزی

Lsf	SIM	ALM
۹۰/۸۳	۲/۵۱	۱/۳۱

۲-۳-۲- نرمی خوراک کوره

در بحث مربوط به نرمی خوراک کوره مطرح شده دو نظریه در خصوص عملکرد نرمی خوراک کوره بر سیستم پخت وجود دارد. به منظور تعیین دقیق مواد نرمه علی الخصوص ذرات کوچکتر از ۱۵ میکرون از دستگاه لیزر پارتیکل سائز کمک گرفته شده. نتایج توزیع دانه بندی در نمودار پیوست در زمان ایجاد مشکل در پخت مواد ارائه شده است.

درصد ذرات بزرگتر از ۹۰ میکرون برابر ۱۶/۲ درصد و درصد ذرات بزرگتر از ۴۵ میکرون برابر با ۳۶/۵ درصد می باشد. نتایج توزیع دانه بندی خوراک کوره در قبل از ایجاد مشکل نشان می دهد که درصد باقی مانده روی الک ۹۰ میکرون ۱۸/۶ درصد و درصد باقی مانده روی الک ۴۵ میکرون ۳۸/۵ درصد می باشد. تجربه سوابق فرایندی نشان می دهد که کوره مذکور توان پخت مواد با درصد باقی مانده روی الک ۹۰ میکرون در حدود ۱۵ تا ۱۹ درصد را به شرط عدم نوسان زیاد در دانه بندی را دارا می باشد.

انتظار می رود با توجه به این که خوراک کوره نسبت به قبل در حدود ۱۵ درصد نرم تر شده است، پخت پذیری مطلوب تری از آن مشاهده می شود، حال آنکه نتیجه عکس حاصل شده است. لذا قطعاً ریشه ایجاد مشکل کیفی پیش آمده از ناحیه خوراک کوره را می بایست در عوامل دیگری جستجو کرد.

۲-۳-۳- مینرالوژی خوراک کوره

بررسی مینرالوژی (کانی شناسی) مواد اولیه، مواد خام، خوراک کوره، کلینکر و حتی سیمان مبحث جدیدی است که به تدریج در صنعت سیمان جایگاه واقعی خود را پیدا می کند و اهمیت آن برای دست اندرکاران کیفی، معدن و تولید مشخص گردیده است. زیرا بر اساس مطالعات و تحقیقات انجام شده، کلیه مواد اولیه طبیعی مصرفی در صنعت سیمان منشعب از کانی های مختلف می باشند.

با قطعیت می توان اعلام نمود، دو نمونه خوراک کوره با کیفیت درصد اکسیدهای یکسان می تواند دارای دو ساختار مینرالوژی باشد که ماحصل آن در واکنش پذیری کاملاً نمود پیدا خواهد کرد. نحوه بررسی مینرالوژی مواد اولیه طبیعی و کلینکر و نمونه های پودری نظیر خوراک کوره یا سیمان روش مخصوص بخود را دارد و صرفاً در ابزار مورد استفاده تقریباً وجه مشترک دارند اما روش آماده سازی برای هر کدام تفاوت می کند.

روش بررسی مینرالوژی خوراک کوره به این صورت است که ابتدا نمونه مورد نظر را در فراکسیون های ۱۸۰، ۱۲۵، ۹۰، ۷۵، ۶۳، ۴۵ میکرون دانه بندی کرده و از هر فراکسیون تیغه نازک تهیه شده و با استفاده از روش رنگ آمیزی و تفکیک کربنات ها از یکدیگر از سایر مینرال ها، مطالعات مینرالوژی انجام می شود. طی شناخت کامل انجام شده بر روی جبهه های مختلف معدن از نظر مینرالوژی و تفکیک آنها به ۲۵ لایه با مینرالوژی مختلف و تفکیک آن به ۸ لایه عمده که بیش از ۸۰ درصد ذخیره را تشکیل می دهد، تفکیک مینرال های تشکیل دهنده خوراک کوره به سهولت انجام شد. در خوراک کوره مورد بررسی به جز سنگ آهک و سنگ آهن اضافه شده، به ترکیبات ذیل یافت شد:

۱- کلسیت و دولومیت از گروه کانی های کربناته

۲- مونت موریلونیت و کائولینیت از گروه کانی های رسی

۳- کوارتز، کالسدونی، فلدسپات از گروه کانی های سیلیس آزاد

۴- کانی های کدر غالباً هماتیت و گوتیت از گروه کانی های آهن دار

وضعیت ساختار میکروسکوپی تشکیل دهنده ها به شرح ذیل می باشد:

در حدود ۷۸/۵۴ درصد نمونه را کربنات ها تشکیل می دهد که از این تعداد حدود ۷۴/۲۷ درصد کلسیت و ۴/۲۷ درصد آن را دولومیت تشکیل می دهد. در ضمن کربنات های موجود در نمونه از دو نوع اسپارایت و میکرایت تشکیل شده است که در حدود ۹۰ درصد کربنات ها به صورت میکرایت (ریز بلور) و حدود ۱۰ درصد باقی مانده نیز از نوع اسپارایت (درشت بلور) می باشند.

سیلیس آزاد در حدود ۹/۲ درصد نمونه مورد نظر از سیلیس آزاد (کوارتز و کالسدونی و ...) تشکیل شده است که حدود ۵۰ درصد سیلیس آزاد در نمونه بصورت ورقه ای و ۵۰ درصد مابقی از نوع میکروکریستالین می باشد. در این نمونه کانی های رسی در حدود ۱۱/۴۵ درصد نمونه را بخود اختصاص داده است که اکثریت قابل توجه کانی رسی از نوع مونت موریلونیت می باشد.

کانی های آهن دار در نمونه در حدود ۳/۵۱ درصد می باشد که بیشتر از نوع هماتیت و گوتیت می باشد.

۲-۴- پخت پذیری

ماحصل کلی پارامترهای کیفی خوراک کوره را می توان در پخت پذیری جستجو کرد. پخت پذیری خوراک کلسینه فقط تأثیر متقابل سه جانبه اکسیدهای شیمیایی، مینرالوژی، دانه بندی را بصورت توأم در نظر می گیرد و تأثیر آن ها را بصورت یک پارامتر خروجی بنام آهک آزاد در یک دمای مشخص یا تغییرات دمایی مختلف نشان می دهد. قابلیت پخت نمی تواند تأثیر مسائل اجرایی حین پخت نظیر نوسانات در دانه بندی، مینرالوژی، اکسیدهای شیمیایی و حتی اختلاط و تشکیل گلوله در داخل کوره پخت را در نظر بگیرد. از اینرو لازم است تا علاوه بر ثبت اطلاعات فرآیندی در حین عملیات ممیزی بازرسی ها انجام و نتایج مشاهدات ثبت گردد.

خوراک کوره مورد نظر از لحاظ قابلیت پخت مورد بررسی قرار گرفته که روش و شرح کار بصورت ذیل می باشد: نمونه پودری با آب اختلاط شده و بصورت گلوله های مدور با قطر تقریبی ۲۵-۱۵ میلی متر تهیه می شود. سپس نمونه ها آون در دمای 100°C -۹۰ خشک شده و سپس در دمای تقریبی ۹۰۰ درجه کلسینه شده و بعد از آن عملیات پخت به این صورت ادامه می یابد که گلوله های سری اول در دمای ۱۲۵۰ درجه وارد کوره شده و سپس کوره از دمای ۱۲۵۰ تا ۱۳۵۰ درجه طی برنامه زمان بندی مشخص در طی مدت ۲۰ دقیقه گرم شده و سپس کوره در دمای ۱۳۵۰ درجه نمونه را پخت می نماید. سپس گلوله اول از کوره خارج شده و آهک آزاد آن اندازه گیری می شود. به همین ترتیب قابلیت پخت برای سایر گلوله ها انجام می شود.

وضعیت پخت پذیری خوراک کوره قبل و حین ممیزی کیفی خوراک کوره بصورت نمودار در ادامه ذکر شده است.

پخت پذیری خوراک کوره بیانگر بدتر شدن وضعیت پخت پذیری نسبت به قبل می باشد. در بخش تحلیل نتایج به تشریح عوامل پرداخته می شود.

۲-۵- بررسی رفتار حرارتی خوراک کوره

یکی از روش های پخت پذیری دیگری که هنوز بصورت روتین در صنعت سیمان داخل کشور جاری نشده است. کاربرد بررسی رفتار حرارتی خوراک کوره بصورت دقیق و تحلیل نمودارهای حاصله می باشد.

نمونه های اخذ شده در حین ممیزی کیفی خوراک کوره در راستای تحلیل علت مشکل پیش آمده ناشی از سخت پزی مواد، رفتارهای حرارتی تعداد زیادی از نمونه ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت که نمونه ای از آن به پیوست ارائه می شود. کلیه نمونه ها با استفاده از دستگاه STA مدل ۴۲۹ ساخت شرکت NETZSCH آلمان مورد بررسی قرار گرفت. مقدار ۶۰/۱ میلی گرم از نمونه خوراک کوره با استفاده از ترازوی دقیق انتخاب شد و در دستگاه مذکور با استفاده از سرعت گرادیان دمایی ۱۰ درجه بر دقیقه گرم شده تا نهایتاً در دمای ۱۳۵۰ درجه سانتیگراد عملیات گردش و پخت متوقف شد.

با مقایسه رفتار حرارتی ماده در دماهای مختلف مشخص شد که دمای مورد نیاز جهت ظهور پیک های حرارتی افزایش یافته است و موضوع سخت پزی مواد کاملاً محقق شد. اینکه در حدود ۶۰-۵۰ درجه سانتیگراد دمای مورد نیاز پخت افزایش یافته است و این مقدار تفاوت قابل ملاحظه ای را در مقدار کالری مصرف ایجاد می نماید. در ادامه جداول و نمودارهای مرتبط با بررسی رفتار حرارتی مواد ارائه می شود.

آزمایشگاه آنالیز حرارتی
STA(TG,DTG,DTA)
NETZSCH-STA429

۱- شرایط آنالیز

Sample No/Type:RCSMK6197

Sample Weight:60.1mg

TG1 Range :125 μ m

TG2 Range :25/250 mg

DTG Range :0.2 mv

DTA Range :0.1 mv

Air Flow :5 $\frac{1}{h}$

Argon Flow :6 $\frac{1}{h}$

Oxygen Flow : ...-..... $\frac{1}{h}$

Nitrogen Flow :....-..... $\frac{1}{h}$

Heating Rate : 10 $^{\circ}$ /min

Programming step : auf

Paper speed:60 $\frac{mm}{h}$

Head of lab : A. Golbahari

۲- نتایج آنالیز:

نتایج حاصل از آنالیز حرارتی (STA) بر روی نمونه خوراک کوره به شرح ذیل خلاصه می گردد:

۱-نمونه فوق از دمای ۲۰ الی ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد مورد آزمایش آنالیز حرارتی قرار گرفت و بنابر منحنی های

(STA) پرت کلی نمونه برابر ۳۳/۷۷ درصد می باشد که تقریباً با آنالیز شیمیایی تطابق دارد.

۲- بیشترین سرعت واکنش کلیناسیون در دمای ۸۵۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده است.

۳- بر اساس نتایج حاصله و محاسبات انجام شده آنالیز مینرالی نمونه فوق به قرار ذیل می باشد.

نام مینرال	کلسیت	دولومیت	حداقل کوارتز	حداکثر رس	کانی آهن	مجموع
درصد وزن	۷۴/۲۷	۴/۲۷	۹/۲	۱۱/۴۵	۳/۵۱	---

۴- کربنات ها در محدوده دمایی ۷۳۰-۸۹۰ درجه سانتی گراد تجزیه شده اند.

۵- پرت شیمیایی (OH) که در دمای ۴۲۰ الی ۶۵۰ درجه سانتی گراد اتفاق افتاده است برابر ۰/۷۵ درصد می باشد که

در نتیجه تجزیه رس ها و مواد آلی می باشد.

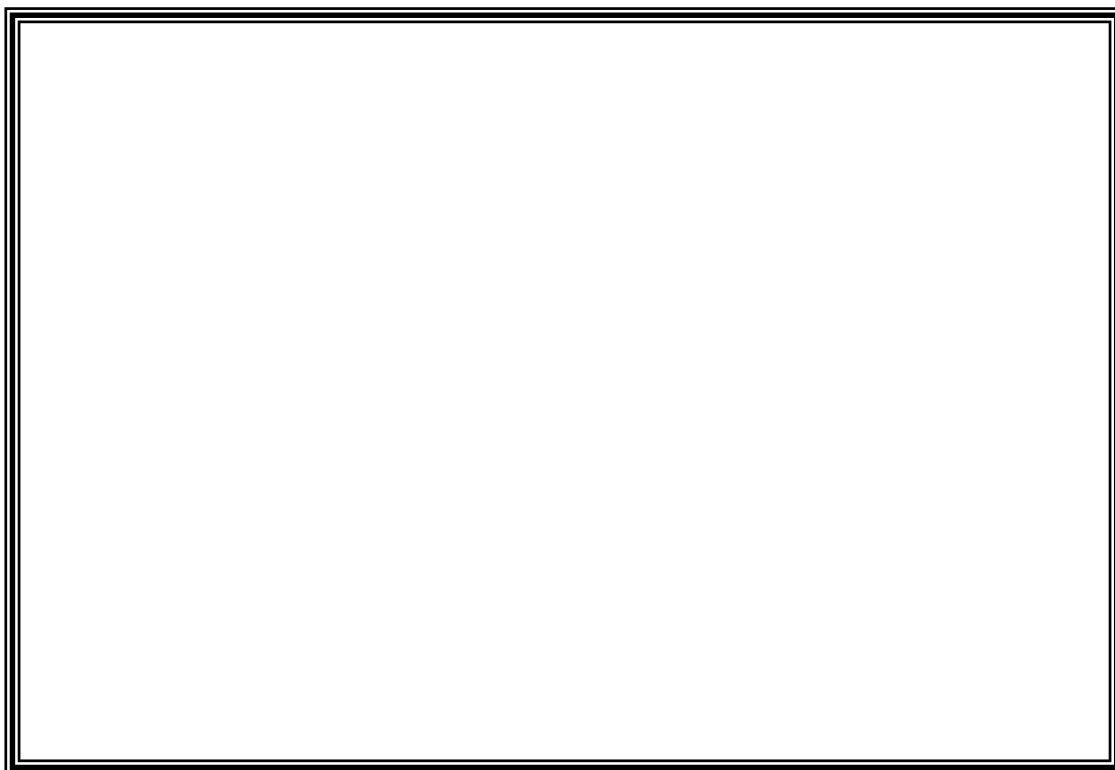
۲-۶- بررسی میکروسکوپی کلینکر:

کلینکرهای اخذ شده از دوره ممیزی با استفاده از روشهای مختلف و مرسوم مورد مطالعات میکروسکوپی قرار گرفت. بخشی از کلینکرها با استفاده از مقاطع نازک و برخی دیگر با استفاده از مقاطع صیقلی مورد بررسی قرار گرفتند. همزمان با بررسی های ذکر شده، در مواردی نیاز شد نمونه های کلینکر بصورت پودری تهیه شده و با استفاده از روغن های مخصوص با ضریب شکست مخصوص و در حالت چرخش و غوطه ور نمودن نمونه ها در روغن، مطالعات تکمیلی انجام شود.

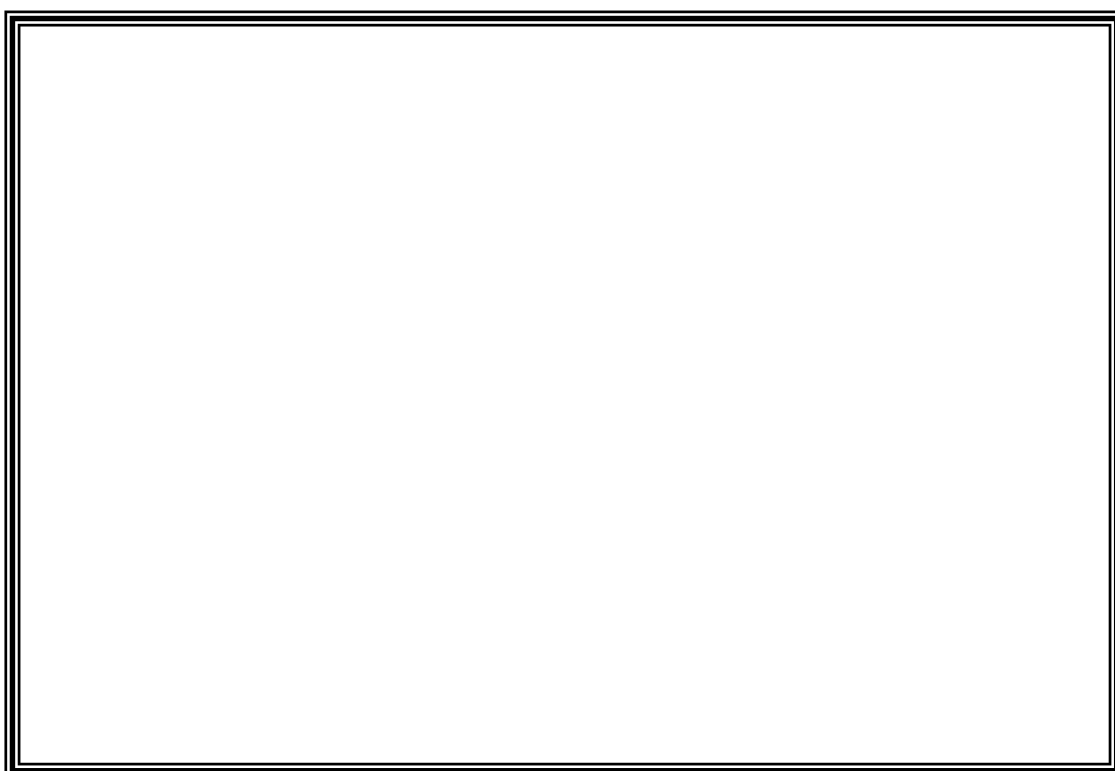
برخی از تصاویر تهیه شده از نمونه های مورد نظر در ادامه بیان می شود. پوک شدن کلینکر تخلخل زیاد آن به همراه مقادیر زیادی از آهک آزاد نشان دهنده پخت ناقص کلینکر و عدم تشکیل به موقع فاز مذاب در مقادیر مطلوب می باشد.

تصاویر بیانگر توزیع نا متجانس فاز مذاب حتی وجود واکنش های ناقص و وجود گرهک های در حال تشکیل فاز می باشد.

در بخشی از کلینکر زردی موضعی وجود شرایط احیا را اثبات می کند. با توجه به اینکه شرایط احیا موضعی در مقیاس میکرونی تا حداکثر میلی متر بیانگر وجود ذرات آهن در حال واکنش می باشد. که بیان کننده وجود ذرات سنگ آهن با کیفیت نامطلوب بوده و احتمال وجود سنگ آهن از نوع گوتیت یا لیمونیت که می تواند در حین پروسه پخت شرایط احیا موضعی را در مقادیری که جایگزین هماتیت شده است، موجب شود. همچنین وجود آشیانه ها یا مجموعه های بلیتی که به صورت حفره در آمده و غالباً ناشی از وجود ذرات سیلیسی (سیلیس آزاد) بوده، می باشد. پدیده میکروسکوپی کلینکر وجود شرایط احیا بدلیل کاربرد سنگ آهن نامرغوب و حتی بر خوردشعله باشد مواد و وجود سیلیس آزاد به مقدار زیاد در نمونه را به اثبات می رساند.



تصویر شماره ۱ : وجود گره‌کهای بلیتی در کنار فاز آلایت نور عادی 33 ×



تصویر شماره ۲ : وجود آشیانه بلیتی در میان انواع فازهای کلینکر

۳- تحلیل نتایج کیفی خوراک کوره

۱- با توجه به این که تعداد کل کربناتهای بالای ۱۲۵ میکرون در حدود ۷/۵ درصد می باشد، لذا با قیاس سوابق و تجارب حاصله از تئوری های موجود مشکل ایجاد شده نمی تواند تاثیر چشمگیری بر وضعیت پخت پذیری داشته باشد.

۲- نتایج دانه بندی بیانگر بهبود وضعیت پخت پذیری می باشد حال آنکه نتیجه عکس از عملکرد کل فاکتورهای کیفی خوراک کوره حاصل شده است. لذا توزیع دانه بندی نیز مشکلی در خصوص ایجاد سخت پزی مواد نداشته است. نوسانات دانه بندی در محدوده بررسی بسیار محدود بوده است.

۳- در خصوص هموژناسیون و نوسانات مدول های کیفیت و اکسید ها می بایستی اظهار نمود، سوابق اجرایی بیانگر کارکرد کوره در هنگام کاربرد مدول ها در شرایط مذکور داشته و نسبت به قبل اندکی نوسانات افزایش یافته است. لذا لازم است در جهت کاهش نوسانات و محدود نمودن آن در محدوده های اجرایی و عملیاتی اقدام نمود. همانطور که می دانیم نوسانات بروی ناپایداری کوره تأثیر چشمگیری داشته، حال آنکه بطور مستقیم کوره را دائماً به حالت سخت پزی سوق نمی دهد. بصورت موردی پذیرفته و لیکن با این تفاوت اندک ایجاد چنین مشکل به صورت مستمر بعید بنظر می رسد.

۴- وجود کانی های آهن دار از نوع گوتیت بخاطر ایجاد شرایط احیا و تغییر در کیفیت فاز مایع می تواند خللی در پخت پذیری اولیه در دمای ۱۲۰۰ درجه ایجاد کند که اختلاف آن در نمودار مذکور می تواند بخش ناشی از این عامل مینرالی باشد.

۵- سیلیس آزاد در خوراک کوره قبلاً در حدود ۴/۵ درصد بوده حال آنکه در نمونه مورد بررسی به ۹ درصد رسیده که افزایشی حدود ۵۰ درصدی در مقدار آن یکی از عوامل اصلی در افزایش سخت پزی خوراک کوره می باشد.

۴- جمع بندی

۴-۱- بررسی فرایند:

۴-۱-۱- میزان نشتی خارج از محدوده های گارانتی و پیشنهادی سازنده است که لازم است پس از اندازه گیری مجدد نسبت به رفع آن اقدام شود.

۴-۱-۲- دور کوره نسبت به گارانتی کمتر است و می تواند حساسیت پخت را نسبت به پخت پذیری تحت الشعاع قرار دهد. لازم است تا پس از رفع عیوب مکانیکی نسبت به افزایش دور اقدام شود.

۴-۱-۳- وضعیت مشعل بگونه ای است که احتراق سوخت بطور کامل انجام نمی شود. لازم است در هنگام توقف نسبت به تمیز نمودن مجراهای مختلف مشعل اقدام شود.

۴-۱-۴- موقعیت مشعل بگونه ای است که در حدود ۴۰-۵۰ متری با بستر مواد بر خورد می کند. لازم است تا موقعیت مشعل بگونه تنظیم شود تا گرادیان دمایی مناسب را در طول منطقه پخت فراهم نماید.

۴-۲- بررسی کیفی مواد

۴-۲-۱- نوسانات اکسیدهای شیمیایی که منتج به نوسانات مدول های کیفیت شده است با کنترل بیشتر و نظارت دقیق بایستی رفع گردد.

۴-۲-۲- مهمترین عامل در ایجاد سخت پزی مواد، وجود مقادیر نسبتاً زیاد در کوارتز می باشد. لازم است نسبت به تغییر جبهه های برداشت اقدام گردد و با اختلاط جبهه های حاوی سیلیس آزاد زیاد با جبهه های سیلیس آزاد کمتر، درصد این کانی در مواد تعدیل می شود.

۴-۲-۳- نرمی خوراک کوره و پارامترهای وابسته در حد مطلوب قرار دارد.

۵- پیشنهادات

بر اساس کلیه مستندات ارائه شده، بکارگیری سیستم ممیزی کیفیت مواد بصورت مستمر نقش قابل توجهی در کاهش توقفات، تسریع در شناسایی عوامل ایجاد اشکال، دستیابی به راهکار حل مشکل از طریق سوابق اجرایی معضل مربوطه، کسب دانش فنی و خروج از حالت انحصاری و قائم به شخص، ایجاد زمینه جهت انتقال تجربیات و دانش فنی بصورت فراگیر و ... داشته و از این جهت پیشنهاد می شود کارخانجات صنعت سیمان این سیستم را بصورت کامل اعم از تجهیز آزمایشگاه و وسایل، آموزش پرسنل و ... در مجموع تحت امر خویش جاری نموده تا بتوان در مواقع اضطراری تصمیم گیری صحیح و سریع در مقابل مشکلات پیش آمده بعمل آید.

۶- مراجع:

۶-۱: کلیه گزارشات و اسناد کنترل کیفی و بهره برداری کارخانه سیمان

۶-۲: پروژه بررسی علل داغ پزی کوره واحد اول سیمان

۶-۳: هندبوک مهندسی سیمان ، انتشارات سیمان آبیک ، تالیف مهندس منوچهر بکاییان