Archive of SID

اولین کنفرانس احتراق ایران
بهمن ماه ۱۳۸۴- تهران- دانشگاه تربیت مدرس
انجمن احتراق ایران

مدیریت مصرف انرژی در کوره‌های سوخت فسیلی

مهدی نجف پور[۱]، حامد بهاروند احمدی[۲]، عبدالرضا سلیمانی[۲]
تهران- خ سهروردی جنوبی - ک لشکری - پ ۱۹
uruna_oleyim@yahoo.com

چکیده

در این مقاله اعمال و روش‌های مدیریتی بهینه‌سازی مصرف انرژی به همراه بـه کـارگیری روش‌هـای فنـی بـرای بهبـود کارایی مصرف انرژی در کوره‌های سوخت فسیلی معرفی شده‌است. پارامترهای تأثیر گذار بر عملکرد یـک کـوره سـوخت فسیلی از نقطه نظر مصرف انرژی متعدداست. از سوی دیگر بسیاری از این پارامترها، در ارتباطی نزدیک، بر یکدیگر تأثیر گذاشته و از یکدیگر تأثیر می پذیرند. تأثیر گذاری عوامل مؤثر برعملکرد کوره بـر یکـدیگر،گاه آنچنـان نزدیک،متقابـل و فراگیر است که تعیین اولویت برای انجام اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی با مشکل روبه‌رو می‌شود. برای نمونه کیفیـت نامطلوب محصولات تولیدی، می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی چون : مشخصات نا مناسب سـوخت و مـواد اولیـه، انتقـال حرارت ضعیف در کوره، نبود کنترل یا کنترل نا کـارای عملکـرد کـوره و ... باشـد. همچنـین نارسـایی عملکـرد یکـی از سیستم‌های تشکیل دهنده کوره، عملکرد دیگر سیستم‌ها را تحت شعاع قرار می‌دهد. برای نمونه عملکرد نابهینه سیستم احتراق کوره، باعث افزایش مصرف سوخت و هزینه‌های مربوطه، کاهش بازده تولید، کاهش کیفیت محـصولات تولیـدی، افزایش گازهای آلاینده محیط زیست و ... می‌گردد.

واژه های کلیدی: مدیریت مصرف انرژی- بهینه سازی مصرف انرژی- کوره‌های سوخت فسیلی- انرژی، احتراق.

۱- مقدمه

مدیریت مصرف انرژی در کوره علاوه بر این که موجب کاهش سوخت و در نتیجه کاهش هزینه مصرفی می‌شود باعـث کـاهش نشر گازهای آلاینده محیط زیست نیز می‌شود.بهبود عملکرد انرژی کوره‌هـای سـوخت فـسیلی در بـسیاری از مـوارد بـا انجـام فعالیت‌های مدیریتی و بهره‌برداری که عمدتاً بدون هزینه یا کم هزینه هستند، صـورت مـی‌پـذیرد. بـه ایـن منظـور ابتـدا بایـد شناخت جامعی از سیستم‌های مصرف کننده انرژی در یک واحد صنعتی کسب شود. کوره‌های سوخت فسیلی در صنایع فلـزی (فلزات آهنی و غیرآهنی) و همچنین صنایع کانی و غیر فلزی (سیمان، شیشه، سرامیک و ...) عمده‌ترین مصرف کننده انرژی به شمار می‌آیند. اقدامات بهینه‌سازی مصرف انرژی در کوره‌های سـوخت فـسیلی، همزمـان از دو مـسیر مـدیریتی و فنـی دنبـال می‌شود. اعمال روش‌های مدیریتی بهینه سازی مصرف انرژی، ماهیتاً بدون هزینه و یا با هزینه بسیار کم صورت مـی‌پـذیرد، در حالیکه با بکارگیری روش‌های فنی برای بهبود کارایی مصرف انرژی بسته به نوع اصلاح یا تغییرات تکنولوژیکی، بـه گـروه‌هـای کم هزینه و پرهزینه تقسیم می‌شود.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲- کارشناس صنایع و معادن لرستان

www.SID.ir

Archive of SID

۲- احتراق کارآمد

احتراق کار آمد به احتراقی اطلاق می‌شود که طی آن حداکثر محتوای انرژی موجود در سوخت آزاد شده و به علاوه انرژی گرمایی بدست آمده به مؤثرترین شکل به ماده مصرفی ذوب منتقل گردد. نتیجه چنین احتراقی، کاهش آلودگی‌های منتشره (محصولات احتراق ، دود)، بهبود کیفیت محصولات تولیدی و تضمین استحکام ساختمان کوره خواهد بود[8].

◄ دستیابی به احتراق کامل و بهینه مستلزم تأمین و حفظ نسبت سوخت به هوا در مقدار بهینه و مجاز آن و اختلاط کامل سوخت با هوا توسط مشعل در محفظه احتراق است. با این وجود حتی هنگامی که تمام شرایط بهینه برای احتراق کامل فراهم باشند، عوامل متعددی وجود دارند که باعث عدم دستیابی به حداکثر راندمان ممکن در یک کوره سوخت فسیلی می‌شوند. از جمله : ۱- استهلاک و فرسودگی مشعل۲ - توقف یا نقص عملکرد سیستم کنترل مشعل با گذشت زمان۳- تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سوخت مانند ارزش حرارتی آن ۴- تغییر ویژگی‌های فیزیکی هوای مصرفی برای احتراق،مانند : تغییرات دمای هوا ۵- تغییر فشار کوره

◄ پایداری شرایط احتراق کامل و کار آمد مستلزم رعایت موارد زیر می‌باشد :

- سیستم‌های مدرن کنترل خودکار، مانند : کنترل نسبت سوخت به هوا (Air / Fuel ratio) و فشار کوره (بسته به ابعاد و نوع مشعل‌های موجود).
- نظارت مؤثر و مستمر بر عملکرد احتراق، از قبیل : نظارت (Monitoring) و پایش دمای محصولات احتراق (دود)، غلظت دی‌اکسیدکربن و ...
- تعمیر و نگهداری مؤثر و منظم مشعل (ها) و سیستم کنترلی آن[3] .

◄ معمولاً تأمین و حفظ شرایط بهینه برای احتراق کار آمد در صورت استفاده از سوخت مایع (پایه‌های نفتی سبک و سنگین) دشوارتر از هنگامی است که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌شود. زیرا :

- در مقایسه با گاز طبیعی، نفت یا فراورده‌های نفتی نیازمند پودر شدن بیشتر و مؤثرتری می‌باشد.
- قطعاتی از مشعل سوخت مایع برای پودرکردن مناسب سوخت، با تلرانس‌هایی کمتری ماشین‌کاری و ساخته می‌شوند که در طول مدت استفاده از مشعل، دقت بکار رفته در ساخت این قطعات به سرعت از دست رفته و در نتیجه راندمان عملکرد و کارایی مشعل کاهش می‌یابد.
- سوخت‌های مایع معمولاً خاصیت خورندگی بیشتری دارند و به سرعت قطعات داخلی از جمله نازل مشعل‌ها را مستهلک می‌کنند.
- تشکیل دوده و کربن و تجمع یا رسوب آن بر روی قطعات داخلی مشعل، بر عملکرد احتراق تأثیر منفی می‌گذرد[1,3] .

۳- انتقال حرارت

انتقال مؤثر و کار آمد انرژی حرارتی آزاد شدهٔ سوخت از مشعل به بار یا ماده ذوب، مستقیماً بر ظرفیت و توان عملیاتی کوره و همچنین بازدهی آن تأثیر می‌گذارد. از طرفی انتقال انرژی حرارتی در داخل کوره باید بطور یکنواخت صورت پذیرد. در غیر این صورت به خصوص در کوره‌های نگهداری، بخش‌هایی از محصولات بیش از اندازه داغ می‌شود که این امر بر کیفیت محصولات تولیدی تأثیر منفی می‌گذارد. انتقال کارآمد انرژی حرارتی مستلزم توجه دقیق به طراحی کوره به ویژه در ارتباط با مشعل، کنترل دقیق شرایط کوره (مانند فشار) و همچنین برنامه بارگذاری کوره می‌باشد[4,8].

◄ جریان اجباری هوای داغ یا محصولات احتراق هر چند باعث تلاطم و اغتشاش بیشتر شده و به انتقال یکنواخت انرژی حرارتی به کلیه سطوح بار داخل کوره کمک می‌کند، اما اغتشاش بیش از اندازه علاوه بر آنکه به ساختمان کوره آسیب می‌رساند و کیفیت محصولات تولیدی را به دلیل نفوذ آلودگی و ناخالصی به داخل مذاب پائین می‌آورد، از دیدگاه مصرف انرژی نیز باعث مصرف بیش از اندازه و بی مورد انرژی الکتریکی در فن‌ها می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

◄ بسیار ضروری است تا سطح بار یا ماده ذوب در معرض دید شعله قرار گیرد. در عمل برای آنکه کارآیی انتقال تابشی حرارت افزایش یابد ، از آسترهای نسوز برای پوشش سطوح داخلی کوره استفاده می‌کنند تا با جذب انرژی حرارتی شعله و تابش مجدد آن در همه جهات، کلیه سطوح بار داخل کوره تحت شعاع قرار گیرند[4].

◄ به منظور حداقل مصرف انرژی در کوره لازم است تا نرخ انتقال حرارت به حداکثر ممکن برسد تا از این طریق مدت زمان مورد نیاز اشتعال نیز تا کمترین مقدار ممکن کاهش یابدعوامل متعددی در این امر دخالت دارند که باید مورد توجه قرار گیرند: ۱- شکل، رنگ و دمای شعله ۲- اغتشاش و توربولانس جریان داخل کوره ۳- شکل کوره ۴- نحوه بارگذاری یا چیدمان کوره.

◄ در اشتعال مستقیم یعنی هنگامی که جریان داغ محصولات احتراق در تماس مستقیم با بار یا ماده ذوب کوره قرار می‌گیرند، بازدهی عملکرد بیشتر است. اما محصولات احتراق می‌تواند کیفیت مذاب تولیدی را کاهش دهد. بنابراین به عنوان یک فعالیت بهینه‌سازی مصرف انرژی، چنانچه امکان تعویض سوخت کوره وجود داشته باشد، انتخاب سوخت‌های تمیزتری مانند گاز طبیعی و بهره‌گیری از مکانیزم اشتعال مستقیم برای ذوب مواد، به کاهش مصرف انرژی منجر می‌شود. در هر صورت باید از برخورد مستقیم شعله با مذاب از طریق کنترل شکل شعله، زوایه شعله و ... جلوگیری شود[3,8].

۴- اتمسفر کوره

اتمسفر داخلی کوره نقش مؤثری در موارد زیر ایفا می‌کند : فرآهم آوردن مکانیزمی برای انتقال حرارت به بار یا ماده ذوب به شکل جابه‌جایی ، خروج محصولات احتراقی از داخل کوره ، خروج محصولات حاصله از تغییرات شیمیایی یا فیزیکی بار داخل کوره در طول فرایند گرم و ذوب شدن ، جلوگیری از کاهش کیفیت و تغییرات ناخواسته در بار یا ماده ذوب در طول فرایند ذوب، مثلاً از طریق کاهش اتمسفر داخلی کوره به منظور جلوگیری از اکسیداسیون محصولات ، کنترل ورود هوای ناخواسته به کوره و در نتیجه کاهش تلفات حرارتی گازهای داغ خروجی از کوره.بنابراین اتمسفر داخلی کوره باید به دقت تحت کنترل قرار گیرد. پارامترهای کنترلی عبارتند از : دما، فشار، سرعت و ترکیب شیمیایی اتمسفر کوره.

◄ پارامترهای اصلی و تعیین کننده اتمسفر کوره عبارتند از : پتانسیل اکسید کنندگی و یا احیا کنندگی و همچنین رطوبت اتمسفر کوره. پارامترهای فوق تحت تأثیر تغییرات محصولات احتراق (دود)، محصولات حاصله از تغییرات شیمیایی بار یا ماده مذاب در داخل کوره و افزودنی‌های کوره، تغییر یافته و بر عملکرد کوره تأثیر می‌گذارند[4].

◄ در کوره‌های چند ناحیه‌ای (Mulit – Zone)، باید از ورود آلودگی‌ها و نا خالصی‌های یک ناحیه به ناحیه بعدی جلوگیری شود. این امر از طریق تأمین و رعایت الگوی صحیح جریان هوا و یا بهره‌گیری از هوا بندی مؤثر (Sealing) صورت می‌پذیرد[6].

◄ فشار داخل کوره باید به درستی تنظیم شود تا امکان توزیع مناسب حرارت به شکل جابه‌جایی فراهم آمده و همچنین از نفوذ ناخواسته و غیر کنترل شدهٔ هوای محیط به داخل کوره جلوگیری شود. در غیر این صورت علاوه بر افزایش مصرف انرژی، امکان سرد شدن بار یا مادهٔ ذوب در داخل کوره وجود خواهد داشت. کوره‌ها معمولاً باید در فشاری که کمی بیشتر از فشار اتمسفریک است، عمل کنند. از افزایش بیش از حد مجاز فشار اتمسفر داخلی کوره باید جلوگیری کرده زیرا بالا بودن فشار اتمسفر داخلی کوره، پتانسیل نشتی گازهای داغ داخل کوره را به خارج افزایش می‌دهد که این امر می‌تواند علاوه بر اتلاف انرژی، افزایش مخاطرات ایمنی و سلامتی،به ساختمان خارجی کوره نیز آسیب برساند[2,3].

◄ افزایش بی‌مورد نرخ جریان گازهای داغ خروجی از کوره باعث افزایش مستقیم تلفات حرارتی می‌شود. در مقابل، نرخ نامناسب جریان خروجی نیز باعث انباشت محصولات احتراق و محصولات حاصل از تغییرات شیمیایی بار موجود در کوره می‌شود که این امر ترکیب اتمسفر داخل کوره را بهم زده و بازده عملکرد کوره را کاهش می‌دهد[6].

۵- نسوزها و عایق‌کاری

نسوزها به عنوان یک عایق حرارتی در مقابل دمای بسیار زیاد از پایداری استحکام ساختمان کوره محافظت می‌کنند.

www.SID.ir

Archive of SID

ساختمان کوره‌هایی که دیواره‌های آن از مقاومت حرارتی خوبی برخوردار است، اغلب توسط لایه‌ای از نسوزها که مقاومت سایشی بالایی دارند، پوشانده می‌شود. نواحی مختلف داخل یک کوره ممکن است نیازمند نسوزهای از جنس‌های مختلف باشد.

◄ طیف وسیعی از نسوزها با جنس‌های مختلف و ترکیبی از ویژگی‌های متفاوت فیزیکی و شیمیایی زیر وجود دارند : حداکثر دمای عملیاتی ، ضریب هدایت حرارتی ، ضریب انبساط ، مقاومت در برابر سایش و خوردگی مکانیکی ، مقاومت در برابر خوردگی شیمیایی

◄ در صورت استفاده از آسترهای نسوزی که قابلیت هدایت حرارتی کمی دارند ، مانند الیاف سرامیکی، در کوره‌های با عملکرد تناوبی (غیر پیوسته)، عمل‌گرم شدن کوره (هنگامی که بار در داخل آن است) و سرد شدن کوره (پس از آنکه بار آن تخلیه شد)، سریعاً انجام می‌شود. این موضوع به افزایش قابل ملاحظه تولید و کاهش مصرف انرژی می‌انجامد. اما باید توجه داشت که این نسوزها در مقایسه با نسوزهای معمولی اغلب از مقاومت مکانیکی کمتری برخوردارند.

◄ با نظارت بر شرایط عملکردی نسوزها، زمان مناسب برای بازسازی و یا جایگزینی آنها را تعیین کنیم[6].

◄ در مواجهه با نقاط داغ در پوسته خارجی کوره، هرگز نباید با افزودن یک لایه اضافی عایق به آن، مشکل را مرتفع سازیم، بلکه بایستی در صدد رفع علت اساسی این مشکل برآمد.با این وجود عایق کاری سطح خارجی تجهیزات مورد استفاده در فرآیندهای با درجه حرارت کمتر، مانند : باز یابنده‌ها و بازیافت کننده‌ها نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی خواهد داشت[5].

۶- سیستم کنترل عملکرد کوره

کنترل دقیق شرایط عملکرد کوره، سه نتیجه اساسی را در پی دارد :بهبود کیفیت محصولات تولیدی ، افزایش بهره‌وری و بازدهی انرژی ، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی.

◄ پارامترهای اساسی کوره که باید تحت کنترل قرار گیرند، عبارتند از : فشار کوره ، درجه حرارت کوره ، الگوی گرم کردن و سرد شدن کوره ، آتمسفر کوره ، بازدهی احتراق ، نسبت هوا به سوخت ، میزان سوخت یا توان الکتریکی ورودی به کوره.

◄تجهیزات اندازه‌گیری سیستم کنترل کوره باید با دقت و در محل مناسب خود نصب شوند. در غیر این صورت بروز خطا در اندازه‌گیری اجتناب‌ناپذیر شده و با ارسال پیغام‌های نادرست به سیستم کنترل، به شکل مضاعفی عملکرد کوره از عملکرد بهینه فاصله می‌گیرد[3,4].

◄ حتی‌الامکان باید پارامترهای کنترلی ، به صورت مستقیم و بدون واسطه اندازه‌گیری شود. ◄ بسیاری از حس‌گرها سیستم کنترلی کوره، به ناچار باید در محیطی با شرایط سخت فیزیکی یا شیمیایی عمل کنند. قابلیت اطمینان در عملکرد این تجهیزات کنترلی از دو راه افزایش می‌یابد. یکی با دقت در انتخاب نوع حس‌گرها متناسب با شرایط عملکرد و دیگری (چنانچه امکان پذیر باشد) با تغییر وضعیت و ایجاد شرایط بهتر در جریان‌های فرایندی پیش از اندازه‌گیری پارامترهای مورد نظر این جریان‌ها[6].

◄ با توجه به شرایط کاری، از الگوریتم مناسبی در سیستم کنترل کوره باید استفاده کرد. می‌بایست سیستم کنترل موجود را به منظور اطمینان یافتن از موارد زیر چک نمود :

- سالم بودن سیستم، صحت عملکرد و توانایی کنترل دقیق پارامترها.
- پایداری عملکرد و توانایی سیستم کنترل در باز گرداندن سریع و مؤثر شرایط به حالت اولیه پس از بروز تغییرات ناگهانی.
- توانایی کنترل در محدوده وسیعی از نقاط تنظیم- سهولت استفاده و کارکرد
- قابلیت اطمینان بالا و سهولت نگهداری و تعمیر

◄ باید اطمینان یافت که نقاط تنظیم پارامترهای تحت کنترل کوره، منطبق بر استانداردها و دستورالعمل‌های بهره‌برداری باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

◄ هنگامی تنظیم جریان هوا یا گاز، می‌بایست به خاطر داشت که استفاده از دمپر در مقایسه با کنترل جریان توسط موتورهای دور متغیر (VSD) از بازده انرژی کمتری برخوردار است[3].

۷- بازیافت حرارت اتلافی

بخش عمده‌ای از انرژی مصرفی در کوره‌های سوخت فسیلی، همراه با جریان داغ گازهای احتراقی (دود) و همچنین انرژی موجود در محصولات تولیدی ، به شکل تلفات حرارتی از کوره خارج می‌شود. اگر این مقدار نسبتاً زیاد انرژی حرارتی اتلافی به نوعی بازیافت شده و مجدداً در فرآیند تولید مورد استفاده قرار گیرد، انرژی کمتری برای تولیدواحدمحصول به مصرف می‌رسد.

جدول۱- محدودهٔ دمای گازهای داغ اتلافی در برخی کوره های سوخت فسیلی

نوع کوره	درجه حرارت (°C)
کورهٔ تخلیص:	
نیکل	۱۳۰۰ – ۱۶۰۰
آلومینیوم	۷۰۰ – ۱۰۰۰
روی	۸۰۰ – ۱۲۰۰
مس	۸۰۰ – ۹۰۰
کورهٔ گرمایش فولاد	۸۰۰ - ۱۰۰۰
کورهٔ ذوب شیشه	۱۰۰۰ - ۱۵۰۰

◄مهمترین تکنیک‌های بازیافت حرارت اتلافی از کوره‌ها عبارتند از :

- بازیابی تلفات حرارتی از جریان داغ گازهای احتراق (دود) (Flue gas Recuperation) .
- باز تولید حرارت اتلافی جریان داغ گازهای احتراق (دود) (Flue gas Regeneration) .
- بازیابی حرارت موجود در محصولات تولید خروجی از کوره (Stock Recuperation).

◄ بهترین طرح‌های بازیافت حرارت از لحاظ بازدهٔ عملکرد، طرح‌هایی هستند که بتوانند تعادل متناظری بین موارد زیر به صورت همزمان برقرار کنند :

- مقدار حرارت (اتلافی) موجود برای بازیافت و مقدار حرارت مورد نیاز در نقطه مصرف.
- دمای جریان (اتلافی) بازیافت شده و دمای مورد نیاز در نقطه مصرف.
- زمان دستیابی به حرارت(اتلافی)بازیافت شده و زمان تقاضای حرارت موردنیازدرنقطه مصرف. - نزدیکی نقطه بازیافت حرارت به نقطهٔ مصرف حرارت بازیافت شده[6].

◄ اولویت استفاده از حرارت بازیافتی از جریان‌های اتلافی در درجهٔ نخست، استفاده در کوره می‌باشد،مثلاًدر پیش‌گرمایش هوای احتراقی و یا پیش گرمایش بار ورودی به کوره.درعین حال باید توجه داشت که پیش گرمایش هوای احتراق باعث افزایش درجه حرارت شعله گردیده و متعاقباً افزایش میزان انتشار اکسیدهای ازت را در پی خواهد داشت.از طرفی حرارت بازیافتی را می‌توان در فرایندهای دیگری نظیر خشک‌کن‌ها و یا گرمایش محیط مورد استفاده قرار داد.از دیگر موارد استفاده از حرارت بازیافتی از حجم زیاد جریان‌های داغ اتلافی ازکوره، کاربرد آن در دیگ‌های بازیافت حرارت به منظورتولیدبخارمصرفی فرایندها و یا تولید توان الکتریکی می‌باشد.

◄ در ارزیابی سیستم‌های بازیافت حرارت همواره موارد زیر می‌بایست در نظر گرفته شود :

- تأثیر بهره‌گیری از سیستم‌های بازیافت حرارت بر شرایط عملکرد کوره مانند : فشار برگشتی ، مشخصات شعله و ...
- پتانسیل رسوب‌گیری سطوح تبادل حرارت سیستم‌های بازیافت حرارت.
- لزوم تعمیر و نگهداری سیستم بازیافت حرارت. به عنوان مثال ممکن است پیش‌بینی یک مسیر کنار گذر برای جریان گازهای خروجی ضرورت یابد.

www.SID.ir

Archive of SID

◄ با بهره‌گیری از سیستم‌های بازیافت حرارت، امکان صرفه‌جویی انرژی مصرفی در کوره‌های سوخت فسیلی تا حد ۵۰ درصد وجود دارد.عموماً مدت زمان بازگشت سرمایه در طرح‌های بازیافت حرارت در کوره‌های سوخت فسیلی،۲ تا ۵ سال برآورد می‌شود.

۸- بازیابی تلفات حرارتی از جریان داغ گازهای خروجی از کوره

سیستم‌های بازیاب کننده در واقع مبدل های حرارتی هستند که برای تبادل حرارت بین دو جریان گازی شکل توسط دو شبکه سطوح انتقال حرارت جدا از هم به کار می‌روند. این دو جریان گازی شکل، یکی جریان گازهای خروجی از کوره (حامل انرژی حرارتی اتلافی) و دیگری هوای احتراق ورودی به کوره (دریافت کننده انرژی حرارتی بازیابی) می‌باشند[3,8].

◄ پیش‌گرمایش هوای احتراق، رایج‌ترین مورد استفاده از سیستم‌های بازیافت حرارت اتلافی است، چرا که منبع حرارت اتلافی و نقطه مصرف، هر دو در یک نقطه قرار دارند. بنابراین بهترین بازدهٔ عملکرد در تبادل حرارت بین جریان داغ اتلافی و هوای احتراق حاصل می‌آید.

جدول۲- مشخصات عملکرد انواع مبدل های حرارتی

نوع مبدل	محدوده دمایی عملکرد C°	راندمان حرارتی	مقاومت در برابر رسوب گیری
صفحه ای	کمتر از ۸۰۰	٪۶۰-٪۴۰	ضعیف
پوسته-لوله ای	کمتر از ۵۵۰	٪۹۰-٪۷۰	متوسط
بازیابنده های تشعشعی	کمتر از ۱۴۰۰	٪۲۰-٪۱۰	خوب
بازیابنده های همرفتی	کمتر از ۱۲۰۰	٪۵۰-٪۳۰	متوسط

◄ در صورتی که دمای جریان گازهای داغ خروجی از کوره بیش از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد و یا میل واکنش دهی شیمیایی جریان گازهای خروجی زیاد باشد و نیز پتانسیل رسوب گذاری بالایی هم داشته باشد، استفاده از سیستم باز تولید حرارت اتلافی پیشنهاد می‌شود[5].

◄ با استفاده از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای می‌توان حرارت اتلافی را به منظور تأمین هوای گرم مصرفی در گرمایش محیط و یا فرایندهایی نظیر خشک کن‌ها بازیافت نمود. همچنین حرارت اتلافی را می‌توان در مبدل‌های حرارتی پوسته ـ لوله‌ای به منظور گرمایش سیال‌های فرآیندی بازیافت کرد[3,4].

۹- مشعل‌های خود بازیاب حرارتی

مشعل‌های خود بازیاب حرارتی، با پیش گرمایش هوای احتراقی از طریق عبور جریان داغ محصولات احتراق از یک مبدل حرارتی که برروی بدنهٔ مشعل قرار دارد و تبادل حرارت اتلافی با هوای ورودی به محفظهٔ احتراق، باعث صرفه‌جویی مصرف انرژی می‌شود. هزینه نصب سیستم بازیافت حرارت مشعل‌های خود بازیاب در مقایسه با سایر سیستم های بازیافت حرارت، به خوبی رقابت پذیر می‌باشد و میزان صرفه‌جویی انرژی مصرفی در صورت استفاده از مشعل‌های خود بازیاب تا ۵۰ درصد برآورد می‌شود و مدت زمان بازگشت سرمایهٔ لازم برای خرید و بهره‌برداری از مشعل‌های خود بازیاب، عموماً بین ۲ تا ۴ سال برآورد و محاسبه می‌شود همچنین بهترین عملکرد مشعل‌های خود بازیاب حرارت هنگامی حاصل می‌آید که در فرایندهایی مورد استفاده قرار گیرد که دمای گازهای داغ اتلافی آن بین ۸۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده و به علاوه محصولات احتراقی تمیز باشند[3].

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰- باز تولید حرارت اتلافی جریان داغ گازهای خروجی از کوره

درسیستم بازتولیدحرارت اتلافی، جریان داغ گازهای خروجی از کوره به طرف انباره یامحفظه‌ای متشکل ازبسترهای سرامیکی ویا آجرهای نسوز(به عنوان واسطهٔ انتقال حرارت)هدایت می‌شود. با عبور جریان گازهای داغ خروجی از میان سیستم باز تولید حرارت اتلافی(ریژنراتورها)،انرژی حرارتی در دمای بسیار بالا در شبکه‌های سرامیکی فوق‌الذکر ذخیره می‌شود. سپس هوای احتراقی در مسیر ورود به مشعل کوره، از میان شبکهٔ سرامیکی فوق عبور داده می‌شود تا انرژی حرارتی ذخیره شده در ریژنراتور به هوای احتراقی منتقل گشته و آن را پیش‌گرم نماید[8,7].

◄ نوع ثابت سیستم‌های باز تولید حرارت اتلافی عموماً ابعادی بسیار بزرگی دارند اما در مقابل از ساختمان محکم و مقاوم در برابر خوردگی‌های شیمیایی برخوردار بوده و به علاوه در مقابل شوک حرارتی ناشی از عبور جریان‌های بسیار داغ به خوبی عمل می‌کنند. دوره زمانی چرخه‌های عملکرد این نوع سیستم‌های باز تولید حرارت تا حد ۳۰ دقیقه می‌باشد. نوع دوار سیستم‌های باز تولید حرارت اتلافی نسبت به انواع ثابت آن کوچکتر می‌باشد. شبکه سرامیکی تشکیل دهنده ریژنراتور در این سیستم با سرعتی ثابت و کم به دور محور خود می‌چرخد و در هر نیم دور چرخش به تناوب از جلوی کانال گازهای داغ خروجی از کوره (فاز ذخیره‌سازی حرارت اتلافی) و کانال هوای احتراق ورودی به مشعل کوره (فاز انتقال حرارت ذخیره شده و پیش‌گرمایش هوای احتراق) عبور می‌کند. نوع فشردهٔ سیستم‌های سرامیکی باز تولید حرارت اتلافی، ابعادی در حد یک سطل زباله دارند و بصورت مستقیم با مشعل‌های با درجه حرارت بالا عمل می‌کنند. دوره زمانی چرخه‌های عملکرد این نوع سیستم‌های باز تولید حرارت عموماً بین ۶۰ تا ۱۲۰ ثانیه است[6,7].

جدول۳- مشخصات سیستم های باز تولید حرارت اتلافی(Regenerator)

نوع سیستم	محدوده دمایی عملکرد C°	راندمان حرارتی	مقاومت در برابر رسوب گیری
ثابت	۱۰۰۰ -۱۵۰۰	٪۷۰ -٪۹۰	خوب
دوار	۱۰۰۰ -۱۷۰۰	٪۷۰ -٪۹۰	ضعیف
فشرده	۱۰۰۰ -۱۵۰۰	٪۷۰ -٪۹۰	متوسط
مشعل های بازیافت کننده	۵۰۰ -۷۰۰	٪۶۰ -٪۸۰	ضعیف

۱۱- بازیابی حرارت موجود در محصولات خروجی از کوره

محتوی انرژی حرارتی موجود در محصولات داغ کوره، هنگام تخلیه از کوره، اغلب به هدر می‌رود. چنانچه این حرارت اتلافی به نوعی بازیافت شود، بازدهی انرژی کوره افزایش می‌یابد.

◄ انرژی حرارتی محصولات داغ خروجی از کوره را در بیشتر مواقع می توان در هوای خنک‌کن گردشی ذخیره و بازیافت کرد. به این ترتیب هوای گرم به دست آمده، محتوی انرژی حرارتی اتلافی از محصولات داغ کوره خواهد بود که می‌تواند به عنوان هوای احتراق مورد استفاده قرار گیرد و یا به منظور استفاده در سایر فرایندها، نظیر فرایند خشک‌کن، فرستاده شود[3].

◄ پیش گرمایش بار ورودی به کوره یکی از ساده‌ترین روش‌های کاربردی برای بازیابی حرارت اتلافی به خصوص در کوره‌های با عملکرد پیوسته است.

◄ محصولات خروجی از بسیاری از کوره‌ها به عنوان محصول میانی وارد دیگر فرآیند تولید می‌شوند. اغلب این فرایندهای پایین دست، باید محصولات میانی را در دمای بالا دریافت کنند. در چنین شرایطی معمولاً بهتر است که محتوای انرژی حرارتی موجود در محصولات خروجی از کوره حفظ شده و از سیستم‌های بازیافت حرارت استفاده شود.با رعایت موارد زیر می‌توان محتوای انرژی حرارتی موجود در محصولات میانی خروجی از کوره را برای ورود به فرآیندهای پایین دست حفظ کرد :

- به حداقل رساندن فاصله فیزیکی بین کوره و فرآیندهای پایین دست.
- به حداقل رساندن زمان انتقال محصولات خروجی از کوره به فرآیندهای پایین دست.
- عایق کاری وسیلهٔ انتقال محصولات خروجی از کوره به منظور کاهش تلفات حرارتی[3,4].

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲- نتیجه‌گیری

با توجه به فاکتورهای فوق الذکر که در قالب مدیریت مصرف انرژی در کوره های سوخت فسیلی بیان شد ، مشاهده مـی شـود که این اصول علاوه بر افزایش بهره وری و بازدهی انرژی ، در زمینه بهبود کیفیت محصولات تولیدی ، کـاهش انتـشار آلاینـده های زیست محیطی و کاهش هزینه های جانبی تولید نیز موثر می باشد.با توجه به افزایش روز افـزون مـصرف انـرژی وتوسـعه صنایع در کشور،تدوین این اصول و بکار گرفتن آن در صنایع گوناگون اثرات مثبتی در کاهش مصرف انـرژی هـای فـسیلی بـه همراه خواهد داشت.

مراجع

۱- فرهادی،فتح ا... ، "کوره ها در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی" ، دانشگاه شریف، ۱۳۶۶.
۲- طوبی، حسن، "مبانی طراحی کوره های صنعتی"، دانشگاه صنعتی اصفهان،۱۳۷۲.
۳- گزارش ارایه شده به سازمان بهینه سازی سوخت و انرژی،" بررسی مصرف انرژی در کوره‌های صنایع کشور " ،۱۳۸۳.
4- Viskanta,R.&Mengae,M.P.,"Radiation heat transfer in combustion system", prog.Energy combustion sci.,vol 13,pp97-160,1997.
5- Modest,M.F.,"Radiative heat transfer",McGraw-Hill,newyork,1993.
6- Magee,B.,Adans,J.L.,"choosing a fired heater ";chemical engineering . Feb 2000 ,pp 84-91.
7- Berman,H.L.,"How to reduce your fuel bill", chemical Eng., September11 , ,1999.
8- Turns,S.R.,"An introduction to combustion", McGraw-Hill Int.Ed.1996.

www.SID.ir