بررسی عملکرد و ممیزی انرژی
واحد نورد سنگین کارخانجات فولاد

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول : فرآیند واحد نورد سنگین فولاد	**۵**
۱-۱. شرح فرایند واحد نورد سنگین	۵
۱-۱-۱.کوره گامی	۶
۱-۱-۱-۱. هوای احتراق	۸
۱-۱-۱-۲. نحوه کنترل فشار کوره	۹
۱-۱-۱-۳. ورود و خروج بلوم از کوره	۹
۱-۱-۱-۴. نحوه کنترل دمای مناطق مختلف کوره	۱۰
۱-۱-۱-۵. نحوه شارژ بلوم به کوره در زمان تغییر گرید محصول	۱۰
۱-۱-۱-۶. نحوه شارژ و دیسشارژ مواد در کوره پیشگرم در هنگام نورد اینگات	۱۰
۱-۱-۱-۷. نحوه کنترل دمای کوره در زمان توقفات	۱۰
۱-۱-۱-۸. کنترل دمای دود ورودی به رکوپراتور	۱۱
۱-۱-۲. کوره‌های چاهکی	۱۱
۱-۱-۲-۱. نحوه شارژ و دیسشارژ کوره‌های چاهکی	۱۱
۱-۱-۲-۲. سیستم احتراق	۱۲
۱-۱-۲-۳. مسیر خروج دود از کوره‌های چاهکی	۱۲
۱-۱-۲-۴. هوای احتراق	۱۲
۱-۱-۳. پمپ پوسته‌زدا	۱۳
۱-۱-۴. استندهای واحد نورد سنگین	۱۳
۱-۱-۵. عملیات حرارتی در واحد نورد سنگین	۱۴
۱-۲. دسته بندی تجهیزات موجود در واحد نورد سنگین	۱۴
۱-۲-۲. گردش آب خنک‌کن در واحد نورد سنگین	۱۵
۱-۳. سیستم توزین مواد اولیه و محصولات در واحد نورد	۱۵
فصل دوم : ممیزی انرژی نورد سنگین	**۱۶**
۲-۱. ممیزی انرژی حرارتی	۱۶
۲-۱-۱. بررسی شرایط کارکرد تجهیزات خط تولید و انجام اندازگیریهای لازم	۱۶
۲-۱-۲. بررسی وضعیت عایقکاری تجهیزات و شناسایی سطوح بدون عایق	۱۷
۲-۱-۳. شناسایی فاکتورهای قابل اندازه‌گیری حامل‌های انرژی (بدون ابزار و ادوات ممیزی) جهت تعیین انرژی ویژهٔ حرارتی و تعیین نوع و محل نصب کنتورهای مورد نیاز در خط تولید	۲۱
۲-۱-۴. اتلافات	۲۲
۲-۱-۴-۲. میزان هوای اضافه	۲۳
۲-۱-۴-۳. دمای دود و هوای پیش‌گرم	۲۴
۲-۱-۵. انرژی مفید خروجی	۲۴
۲-۱-۵-۱. دمای شمش ورودی	۲۴
۲-۱-۵-۲. توقفات	۲۵
مراجع	۲۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل۱-۱. دیاگرام مواد ورودی و خروجی از واحد نورد گرم	۵
شکل۱-۲. نمای کلی واحد نورد سنگین	۶
شکل۱-۳. نحوه شارژ و دیسشارژ بلوم در کوره گامی واحد نورد سنگین	۷
شکل۱-۴. نحوهٔ گردش و کنترل هوای احتراق	۸
شکل۱-۵. شماتیکی از نحوه شارژ و دسشارژ کوره‌های چاهکی	۱۲
شکل۱-۶. فلودیاگرام پمپ پوسته‌زدا	۱۳
شکل۱-۷. دسته‌بندی تجهیزات و سیستمهای موجود در واحد نورد سنگین	۱۴
شکل۲-۱. مقاومت حرارتی دیوار کوره	۱۸
شکل۲-۲. (الف)، (ب) و (ج) توزیع دما سقف کوره فولاد	۱۹
شکل۲-۳. (الف)، (ب)، (ج) و (د) توزیع دما دیوار های جانبی کوره فولاد	۲۰
شکل۲-۴. دیاگرام سانکی عمومی از یک کوره پیش گرم	۲۲
شکل۲-۵. شماتیک سیستم بازیافت حرارت کوره‌های پیشگرم	۲۳
شکل۲-۶. شماتیک سیستم بازیافت حرارت کوره‌های پیشگرم	۲۴

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول۲-۱. اثر هوای اضافه بر میزان مصرف انرژی کوره پیش‌گرم	۲۳
جدول۲-۲. اثر دمای شمش ورودی بر مصرف انرژی کوره پیش‌گرم فولاد	۲۵

فصل اول
فرآیند واحد نورد سنگین فولاد

در این بخش از گزارش فرآیند واحد نورد سنگین به اختصار توضیح داده می شود.

۱-۱. شرح فرایند واحد نورد سنگین

در شکل۱-۱ دیاگرام مواد ورودی و خروجی از یک واحد نورد سنگین (P.U.07[۱]) نمایش داده شده است. مواد ورودی واحد نورد سنگین بلوم و اینگات است.

بلوم در خط ریخته‌گری پیوسته تولید و به واحد نورد سنگین ارسال می‌شود. در واحد نورد سنگین، بلوم ضمن عبور از کوره گامی تا دمای مشخصی گرم شده، و با عبور از استندهای نورد به مقطع مورد نظر تغییر سایز می‌یابد.

اینگات ورودی به واحد نورد سنگین، به کوره‌های چاهکی شارژ می‌شود. بعد از اینکه دمای آن به مقدار مشخصی رسید، ضمن عبور از استندهای نورد، به مقطع نهایی تغییر سایز می‌یابد.

بعد از فرایند پیشگرم، بلوم و اینگات به کمک مراحل زیر نورد می‌شود:

استند رفت و برگشتی شماره ۱

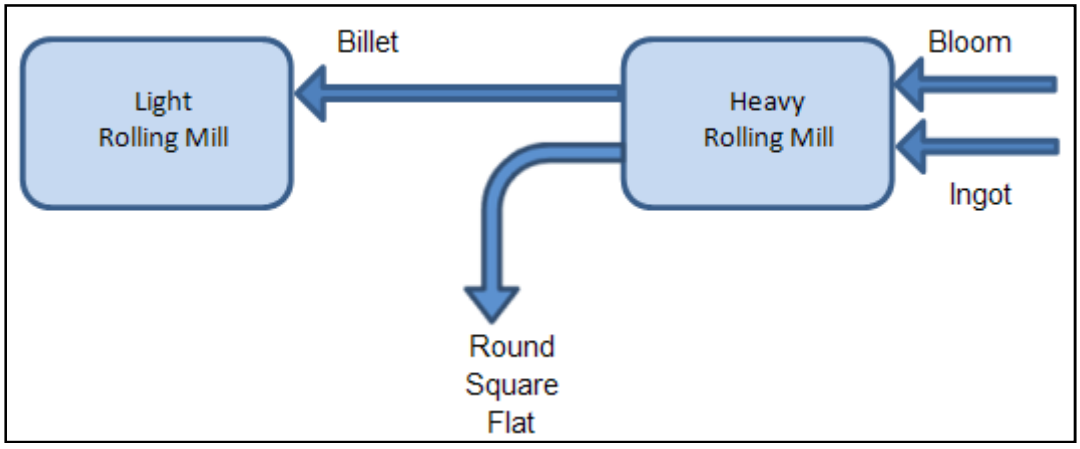
استندهای شماره ۲ و ۳

استند مربوط به اصلاح کناره‌های محصول (Edging Stand) که فقط برای تولید تسمه استفاده می‌شود و بین استند دوم و سوم واقع شده است.

مواد خروجی از این واحد به دو دسته تقسیم می‌شود:

بیلت که برای نورد مجدد و تبدیل به محصول نهایی به واحد نورد سبک فرستاده می‌شود.

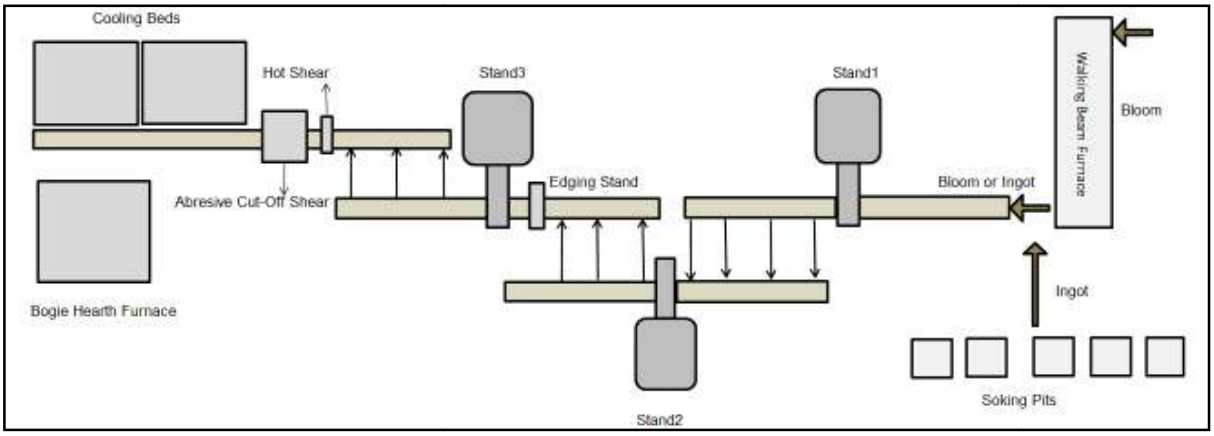
محصولات نهایی شامل مقاطع گرد، چهارگوش و تسمه، که مستقیماً به واحد کنترل کیفیت فرستاده می‌شود.



شکل۱-۱. دیاگرام مواد ورودی و خروجی از واحد نورد گرم

[۱] علامت اختصاری واحد نورد سنگین

در شکل۱-۲ نمای کلی واحد نورد سنگین نمایش داده شده است. بلوم یا اینگات خارج شده از کوره‌ها، در مسیر منتهی به استند اول قرار می‌گیرد. بعد از اتمام نورد در استند اول، شمش به مسیر مربوط به استند دوم جابجا می‌شود. بعد از استند دوم، به همین ترتیب، به استند سوم می‌رود. در نهایت برای برش به مقاطع با طول مورد نظر و خنک شدن، به مسیر منتهی به قسمت خنک کن، منتقل می‌شود. چنانچه عملیات حرارتی لازم باشد، محصول نهایی به کوره بوژی[1] (کوره واگن‌دار) منتقل می‌شود.



شکل۱-۲. نمای کلی واحد نورد سنگین

بعد از اتمام فرایند نورد، محصول به قسمت ذخیره‌سازی میانی[2] (P.U.08) منتقل می‌شود. در این قسمت، محصول تولید شده در واحد نورد، جهت انتقال به قسمت کنترل کیفیت ذخیره می‌شود.

بعد از قسمت ذخیره‌سازی میانی، محصول تولیدی به بخش آماده‌سازی بیلت[3](P.U.09) منتقل می‌شود. بخش آماده‌سازی بیلت به سه قسمت تقسیم می‌شود.

قسمت تشخیص نقص‌های داخلی[4] بیلت، که ضمن فرایند نورد به وجود آمده است.

قسمت بازدید و اصلاح عیوب سطحی بیلت‌های تولید شده.

قسمت بازدید و کنترل عیوب سطحی محصولات نهایی کارخانه به منظور ارتقای کیفیت محصولات.

محصولاتی که برای ارسال به واحد نورد سبک آماده شده‌اند، مجدداً در بخش ذخیره‌سازی میانی، جمع‌آوری و ذخیره می‌شود.

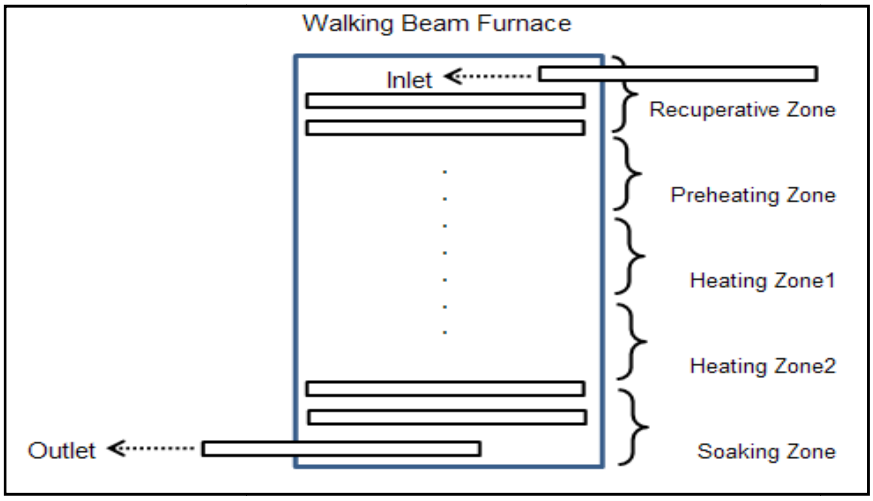
۱-۱-۱. کوره گامی

بلوم ورودی به واحد نورد سنگین، ضمن عبور از کوره گامی (Walking Beam Furnace) و قفسه‌های نورد به محصول تبدیل می‌شود. بلوم خروجی از کوره، برای فولاد با گریدهای مختلف، بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۸۰ درجه سانتیگراد

[1] Bogie Furnace
[2] Intermediate Billet Storage
[3] Billet Preparation
[4] Internal Defects

گرم می‌شود.

در شکل ۱-۳ شماتیک شارژ و دیسشارژ کوره گامی واحد نورد سنگین نمایش داده شده است. بلوم‌ها از دیواره جانبی کوره توسط رولهای مخصوصی وارد می‌شود. بلوم وارد شده با گام زدن داخل کوره حرکت می‌کند و نهایتاً از دیواره مقابل خارج می‌شود.



شکل ۱-۳. نحوه شارژ و دیسشارژ بلوم در کوره گامی واحد نورد سنگین

بلوم خروجی از کوره ضمن عبور از سه عدد استند، نورد می‌شود. البته، در برای تبدیل بلوم به بیلت، امکان تولید با تعداد استند کمتر هم امکانپذیر است. برای تولید تسمه، استند Edging وظیفه تصحیح لبه‌های محصول را بر عهده دارد. تعداد پاسهای عبوری از هر استند، بر حسب سایز محصول، تعداد استندهای مورد استفاده و گرید محصول تولیدی متفاوت است.

نمایی از ساختمان کوره گامی مورد استفاده در یک واحد نورد سنگین ، متشکل از چهار منطقه مجهز به مشعل و یک منطقه فاقد مشعل در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است.

بلوم ورودی به کوره، ابتدا از یک منطقه بدون مشعل (Recuperative Zone) عبور می‌کند. ضمن عبور از این منطقه بلوم مقداری پیشگرم می‌شود و از انرژی دود خروجی از منطقه یک نیز استفاده می‌شود.

در ادامه، بلوم از چهار منطقه متوالی که مجهز به مشعل است عبور می‌کند. دمای هر منطقه در محدوده خاصی کنترل می‌شود و بلوم با عبور از این مناطق به دمای خروجی می‌رسد.

منطقه اول (Preheating Zone) وظیفه پیشگرم کردن بلوم را بر عهده دارد. این منطقه از ۱۶ عدد مشعل تشکیل شده است که به صورت ۴ ردیف ۴ تایی در سقف کوره قرار دارند و شعله از بالا به بلوم می‌خورد. با توجه به گرید محصول، دمای منطقه اول بین ۹۵۰ تا ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد کنترل می‌شود. بعضی اوقات از کوره گامی برای تبدیل بیلت به محصول نهایی (به عنوان مثال تسمه) استفاده می‌شود و لذا با توجه به اینکه سرعت خط کاهش

می‌یابد، معمولاً مشعلهای منطقه ۱ را خاموش می‌کنند.

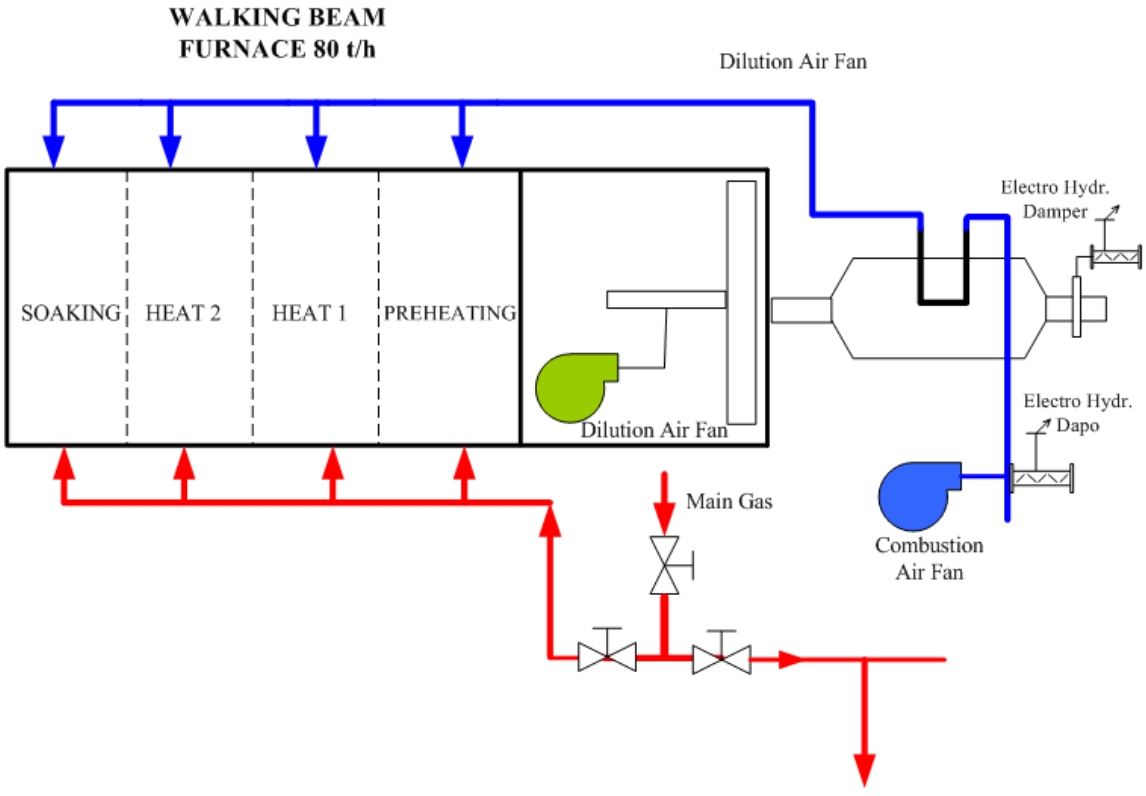
منطقه دوم (Heating Zone1) بعد از منطقه اول قرار دارد و دارای ۱۶ عدد مشعل به صورت ۴ ردیف چهار تایی است که در سقف کوره قرار دارند و شعله از بالا به بلوم می‌خورد. در مواقعی که از کوره گامی برای تبدیل بیلت به محصول نهایی استفاده می‌شود، مشعلهای این منطقه را نیز مانند منطقه اول خاموش می‌کنند. با توجه به گرید محصول، دمای این منطقه بین ۱۰۶۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد کنترل می‌شود.

منطقه سوم (Heating Zone2) دارای ۱۶ عدد مشعل به صورت ۴ ردیف چهار تایی است که در سقف کوره قرار دارند و شعله از بالا به بلوم می‌خورد. با توجه به گرید محصول، دمای این منطقه حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد کنترل می‌شود.

منطقه چهارم (Soaking Zone) دارای ۱۲ عدد مشعل به صورت ۳ ردیف چهار تایی است که در سقف کوره قرار دارند و شعله از بالا به بلوم می‌خورد. با توجه به گرید محصول، دمای این منطقه حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد کنترل می‌شود.

۱-۱-۱-۱. هوای احتراق

هوای مورد نیاز برای احتراق از طریق تعدادی فن تأمین می‌شود. هوای عبوری از فن، با عبور از رکوپراتور تا حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود و از طریق سیستم توزیع هوای احتراق، بین مناطق مختلف کوره توزیع می‌شود. درشکل۱-۴ نمایی از نحوهٔ توزیع و کنترل هوای احتراق به طور شماتیک نمایش داده شده است.



شکل۱-۴. نحوهٔ گردش و کنترل هوای احتراق

دبی هوای احتراق از طریق یک دمپر که در ورودی فن قرار دارد و DAPO نامیده می‌شود، کنترل می‌شود.

فشار هوا از طریق یک فشارسنج که در مسیر هوای احتراق بعد از رکوپراتور قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود و سیستم کنترل فشار هوا، از طریق دریچه DAPO، میزان هوای مورد نیاز برای احتراق را تنظیم می‌کند.

دمای هوای گرم خروجی از رکوپراتور به کمک یک ترموکوپل اندازه‌گیری می‌شود و چنانچه این دما از ۴۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود، با باز کردن یک مسیر فرعی به هوای محیط از طریق یک دریچه موتوری، میزان هوای عبوری از رکوپراتور افزایش می‌یابد و از این طریق دمای هوای خروجی رکوپراتور کاهش می‌یابد.

بعد از این مرحله، هوای احتراق وارد خطوط تغذیه هوای کوره می‌شود. مسیر هوای احتراق در هر منطقه از کوره مجهز به یک فلومتر اوریفیسی است و از این طریق، دبی هوای ورودی اندازه‌گیری می‌شود. میزان هوای مورد نیاز در هر منطقه، از طریق یک شیر موتوری که بعد از فلومتر قرار دارد کنترل می‌شود.

فلوی گاز ورودی به کوره نیز از طریق یک فلومتر اوریفیسی اندازه‌گیری می‌شود و از طریق یک شیر موتوری که بعد از فلومتر قرار دارد، میزان آن کنترل می‌شود. با توجه به اندازه‌گیری فلوی سوخت و هوا در هر منطقه، نسبت هوا به سوخت، در حدود ۱۰ به ۱ کنترل می‌شود.

۱-۱-۱-۲. نحوه کنترل فشار کوره

در مسیر دود خروجی، بعد از رکوپراتور، یک دمپر پروانه‌ای[1] تعبیه شده است که وظیفه آن کنترل فشار کوره است.

فشار کوره از طریق سنسور اندازه‌گیری فشار کوره، اندازه‌گیری می‌شود. هر تغییر فشار ایجاد شده در کوره نسبت به نقطه تنظیم[2]، توسط سیستم کنترل فشار کوره بررسی و با تنظیم موقعیت قرارگیری پره‌های دمپر، فشار کوره کنترل می‌شود. نقطه تنظیم فشار کوره توسط اپراتور بهره‌بردار کوره انتخاب می‌شود.

۱-۱-۱-۳. ورود و خروج بلوم از کوره

بلوم وارد شده به کوره، با گام زدن به سمت درب خروجی حرکت می‌کند. با خارج شدن یک بلوم از کوره، بلوم دیگری جایگزین آن می‌شود. با توجه به سایز محصول تولیدی، تعداد استندهای مورد استفاده در فرایند نورد و همچنین تعداد پاسهای نورد در هر استند متفاوت است. لذا نرخ تولید کوره (تن بر ساعت) نیز با توجه به موارد ذکر شده متغیر است.

علاوه بر عوامل مذکور، توقفات نیز بر نرخ تولید کوره تأثیرگذار است. با توجه به بررسیهای انجام پذیرفته، تعداد توقفات برنامه‌ریزی‌نشده بسیار زیاد است. علیرغم اینکه مدت زمان هرکدام از آنها کوتاه می‌باشد، ولی مدت زمان مجموع آنها قابل توجه است. در توقفات کوتاه مدت، امکان انجام واکنش خاصی در جهت کاهش مصرف گاز طبیعی در کوره وجود ندارد.

[1] Butterfly Damper
[2] Set Point

با توجه به سایز محصول تولیدی، طول بلوم‌های ورودی به کوره نیز متفاوت خواهد بود. به عنوان مثال در هنگام تولید محصول با مقطع دایره‌ای با قطر ۶۰ و یا ۶۵ میلیمتر، به علت تغییر طول زیاد بلوم در استندهای نورد، حداکثر طول قابل شارژ در کوره ۲/۵ متر است که تاثیر قابل توجهی بر نرخ تولید کوره خواهد داشت.

۱-۱-۱-۴. نحوه کنترل دمای مناطق مختلف کوره

با توجه به گرید محصولات تولیدی، دماهای مختلفی در هرکدام ازمناطق کوره مورد نیاز است. دستور العمل دما در مناطق مختلف کوره برای گریدهای مختلف در اتاق کنترل کوره موجود و در اختیار اپراتورها قرار داده شده است.

برای هر گرید، نقطه تنظیم[1] دمای کوره با توجه به دستورالعمل مذکور تنظیم خواهد شد. سیستم کنترل دمای کوره با توجه به اندازه‌گیری دمای کوره، با کم و زیاد کردن دبی گاز طبیعی، دمای هر منطقه را کنترل می‌کند.

۱-۱-۱-۵. نحوه شارژ بلوم به کوره در زمان تغییر گرید محصول

چنانچه حین تولید، گرید محصول تولیدی عوض شود، با توجه به میزان تغییر دما در مناطق مختلف کوره، تعدادی فاصله بین بلوم‌های شارژ شده ایجاد می‌شود. به عبارت دیگر تعدادی بلوم از کوره خارج می‌شود بدون اینکه بلوم جدیدی شارژ شود. بعد از خالی شدن منطقه اول کوره (Preheating Zone)، نقطه تنظیم دما تغییر یافته و بلوم جدید شارژ می‌شود. البته تعداد فاصله ایجاد شده بین بلوم‌ها، با توجه به میزان تغییر دما متفاوت خواهد بود.

۱-۱-۱-۶. نحوه شارژ و دیسشارژ مواد در کوره پیشگرم در هنگام نورد اینگات

با توجه به مدت زمانی که اینگاتها باید در کوره بمانند و زمان شارژ کوره‌های چاهکی، زمان آماده شدن اینگاتها برای خروج از کوره چاهکی مشخص است. با توجه به مدت زمانی که یک بلوم از زمان شارژ تا دیسَارژ نیاز دارد، قبل از آماده شدن اینگاتها، بلوم به کوره شارژ نمی‌شود. لذا بعد از اینکه آخرین بلوم (که به کوره شارژ شده است)، به خروجی کوره می‌رسد، اینگاتها آماده خروج از کوره چاهکی شده‌اند.

به همین ترتیب، با پیش‌بینی زمان خروج آخرین اینگات از کوره چاهکی و مدت زمان مورد نیاز کوره گامی برای آماده شدن بلوم شارژ شده، پیش از اتمام اینگاتهای موجود در کوره‌های چاهکی، شارژ بلوم به کوره‌های گامی شروع خواهد شد. با این روش، پس از اتمام نورد آخرین اینگات، اولین بلوم شارژ شده، آماده نورد خواهد بود.

۱-۱-۱-۷. نحوه کنترل دمای کوره در زمان توقفات

به منظور صرفه‌جویی در مصرف گاز طبیعی، دستورالعمل خاصی برای کنترل کوره در زمان توقفات تهیه و در اختیار اپراتورها قرار داده شده است. با توجه به مدت زمان توقفات، نقطه تنظیم دما در مناطق مختلف کوره کاهش خواهد یافت.

به عنوان مثال، هنگامیکه به علت نورد اینگات، کوره گامی تخلیه می‌شود، به منظور جلوگیری از ورود دود با دمای بالا به رکوپراتور، مشعلهای منطقه اول و دوم را خاموش می‌کنند. اما در ارتباط با سایر مناطق، کاهش دمای

[1] Set Point

خاصی ایجاد نمی‌شود. با این وجود، با توجه به این‌که دمای مناطق مختلف کوره کنترل می‌شود، دبی گاز طبیعی آن حدود ۱۵ درصد دبی گاز طبیعی در حالت تولید نرمال است.

۱-۱-۱-۸. کنترل دمای دود ورودی به رکوپراتور

در رکوپراتور، انرژی دود در تماس با دسته لوله‌های استیل که در مسیر آن قرار گرفته است، به هوای احتراق منتقل می‌شود و از این طریق هوای احتراق پیشگرم می‌شود.

نقطه تنظیم دمای دود ورودی به رکوپراتور ۶۵۰ درجه سانتیگراد است. چنانچه دمای دود بیشتر از ۶۵۰ درجه سانتیگراد شود، دریچه مربوط به هوای رقیق کننده[1] باز می‌شود و از این طریق دمای دود ورودی کنترل می‌شود.

چنانچه به هر دلیلی، دمای دود از ۷۵۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود، سیستم اعلام خطر دمای دود ورودی به رکوپراتور فعال می‌شود و نهایتاً چنانچه دما از ۷۸۰ درجه سانتیگراد بیشتر شود، کوره تریپ می‌کند.

۱-۱-۲. کوره‌های چاهکی

اینگاتهای وارد شده به خط نورد گرم، به منظور رسیدن به دمای مناسب جهت نورد، به کوره‌های چاهکی وارد می‌شوند.

خط نورد سنگین مجهز به ۵ کوره چاهکی (Soaking Pit Furnace) است که در دو گروه ۲ تایی و ۳ تایی در کنار یکدیگر قرار گرفته است.

هر کدام از کوره‌های چاهکی مجهز به یک دریچه است که در قسمت فوقانی کوره قرار دارد و امکان شارژ و دیسشارژ را فراهم می‌نماید. حرکت دادن و باز کردن این دریچه فوقانی به کمک یک تجهیز جداگانه انجام می‌گیرد که دریچه را بلند کرده و جابجا می‌کند. به عبارت دیگر این دریچه کل سطح فوقانی کوره را شامل می‌شود.

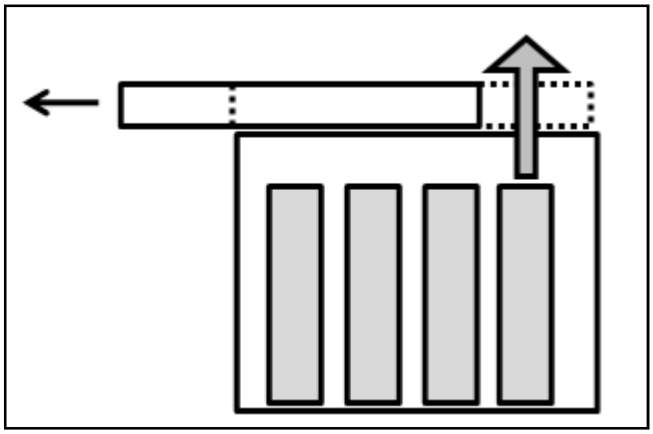
اینگات‌های وارد شده به کوره بسته به نوع گرید آن، بین ۱۱۰۰ تا ۱۲۸۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود.

۱-۱-۲-۱. نحوه شارژ و دیسشارژ کوره‌های چاهکی

اینگاتها به کمک جرثقیل سقفی در کنار یکدیگر در کوره‌های چاهکی قرار می‌گیرند. درب کوره بسته می‌شود و با توجه به سایز و گرید محصول، مدت زمان خاصی درب کوره بسته می‌ماند تا محصول به دمای مناسب برای نورد برسد.

بعد از آماده شدن اینگاتها، درب کوره باز می‌شود و توسط جرثقیل اینگاتها یکی یکی از کوره خارج و به خط منتقل می‌شود. حدفاصل خروج دو عدد اینگات از کوره، درب کوره بسته می‌شود. با توجه به موقعیت قرارگیری اینگاتها داخل کوره، میزان باز بودن درب کوره متفاوت خواهد بود. در شکل ۱-۵ شماتیکی از نحوه قرارگیری اینگات‌ها، نحوه بازشدن درب کوره و همچنین نحوه شارژ و دیسشارژ کوره‌های چاهکی نمایش داده شده است.

[1] Dilution Air



شکل۱-۵. شماتیکی از نحوه شارژ و دسشارژ کوره‌های چاهکی

بعد از تخلیه کامل هر کوره، نوبت به تخلیه کوره‌های بعدی می‌رسد. در فاصله زمانی ایجاد شده بین دیسشارژ اینگات‌ها از کوره‌های بعدی، درب کوره‌های قبلی باز می‌شود و اینگات‌های جدید داخل کوره قرار می‌گیرند.

۱-۱-۲-۲. سیستم احتراق

کوره‌های چاهکی مجهز به یک عدد مشعل است که در میانه یکی از دیواره‌های عمودی و یک متر پایین‌تر از دریچه فوقانی کوره قرار دارد و وظیفه گرم کردن اینگات‌ها تا دمای مورد نظر را برعهده دارد. در این کوره‌ها میز میزان هوا به سوخت به نسبت ۱۰ به ۱ کنترل می‌شود.

۱-۱-۲-۳. مسیر خروج دود از کوره‌های چاهکی

دود خروجی از هر کوره، به صورت جداگانه، ضمن عبور از رکوپراتور وارد دودکش می‌شود. دود کلیه کوره‌های چاهکی (۵ کوره) از طریق دو دودکش به محیط تخلیه می‌شود. دو کوره اول دارای یک دودکش مشترک و سه کوره دیگر دارای یک دودکش مشترک است.

به منظور تخلیه بهتر دود به محیط، در ورودی هر دودکش یک عدد فن وجود دارد. دود تشکیل شده در هر کوره از طریق مکش ایجاد شده توسط این فن‌ها، از کوره خارج و به محیط تخلیه می‌شود. فشار داخل کوره از طریق یک دمپر پروانه‌ای که بعد از رکوپراتور قرار دارد، کنترل می‌شود.

۱-۱-۲-۴. هوای احتراق

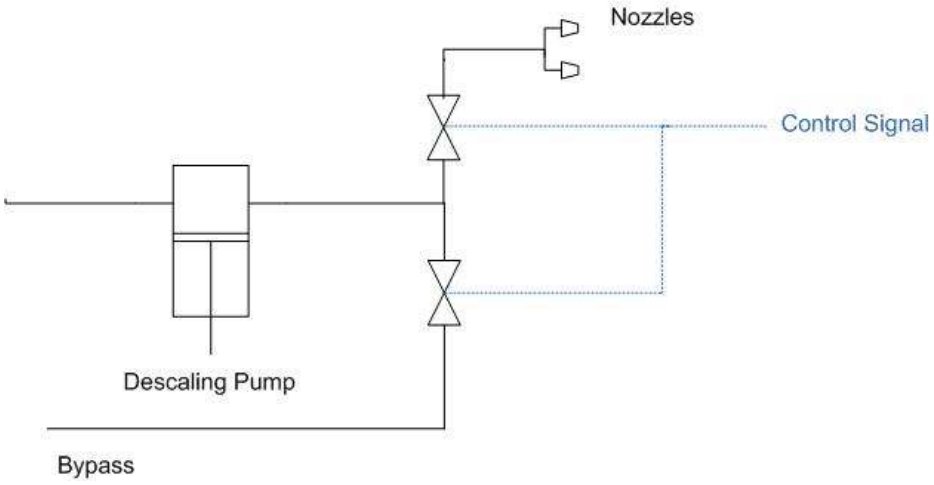
هر کوره مجهز به یک فن هوای احتراق و یک عدد رکوپراتور است. هوای احتراق از طریق فن به رکوپراتور وارد شده و تا دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد گرم می‌شود. میزان هوای احتراق از طریق یک دریچه که در ورودی فن قرار دارد و اصطلاحاً DAPO نامیده می‌شود، کنترل می‌شود.

به منظور محافظت رکوپراتور از ورود گاز با دمای بالا به رکوپراتور، هر کوره مجهز به یک فن هوای رقیق کننده است و چنانچه دمای دود ورودی از ۴۸۰ بیشتر شود، دریچه مربوط به فن هوای رقیق کننده باز می‌شود و با ترکیب هوای سرد محیط با دود، از ورود دود با دمای بالا به رکوپراتور ممانعت می‌شود.

۱-۱-۳. پمپ پوسته‌زدا

از آنجا که لایه خارجی شمش گداخته شده در مجاورت هوا اکسید می‌شود، به منظور دستیابی به کیفیت مطلوب، از پمپ پوسته‌زدا برای جدا کردن این پوسته‌های سطحی استفاده می‌شود. این عمل به کمک دستگاه پوسته‌زدا و پاشیدن آب با فشار حدود ۲۰۰ بار، بر روی شمش انجام می‌شود. پمپ پوسته زدا قبل از استند اول واقع شده است. در این مرحله در اثر پوسته‌زدایی حدود ۱/۳٪ مواد اولیه ضایع می‌شود.

این پمپ از نوع رفت و برگشتی است. فلودیاگرام پمپ پوسته‌زدا در شکل ۱-۶ نمایش داده شده است. در هنگام عبور بیلت از میان نازل‌های پوسته‌زدا، مسیر منتهی به نازل‌ها باز می‌شود و آب با فشار بر روی بیلت پاشیده می‌شود. پس از خروج بیلت از زیر نازل‌ها، مسیر منتهی به نازل‌ها بسته و مسیر بای‌پاس باز می‌شود. با توجه به اینکه این پمپ از نوع رفت و برگشتی است، در زمان بای‌پاس شدن جریان، توان مصرفی فقط صرف جبران افت فشار مسیر بای‌پاس می‌شود و توان مصرفی افت چشمگیری خواهد داشت. پمپ پوسته‌زدا در هنگام توقفات بلند مدت توسط اپراتور خاموش می‌شود، در حالی که در توقفات کوتاه مدت بای پس[1] می‌شود.



شکل ۱-۶. فلودیاگرام پمپ پوسته‌زدا

۱-۱-۴. استندهای واحد نورد سنگین

واحد نورد سنگین متشکل از سه عدد استند اصلی و یک استند جهت اصلاح لبه‌های محصول تولیدی (فقط برای تسمه) است.

استند اول از نوع رفت و برگشتی است. این استند مجهز به چندین شیار است که در هر پاس نورد، شمش از یکی از این شیارها عبور می‌کند. غلتک بالایی با حرکت عمودی فاصله این شیارها را تغییر می‌دهد. شمش با حرکت افقی روی میز نورد، در مقابل شیارها قرار می‌گیرد.

استند دوم و سوم از نوع رفت و برگشتی با مسیر عبور ثابت است. این استندها نیز مجهز به چندین شیار است

[1] Bypass

که در هر پاس نورد، شمش از یکی از این شیارها عبور می‌کند. با حرکت افقی غلتک‌ها، شیار مناسب در مسیر حرکت شمش قرار می‌گیرد.

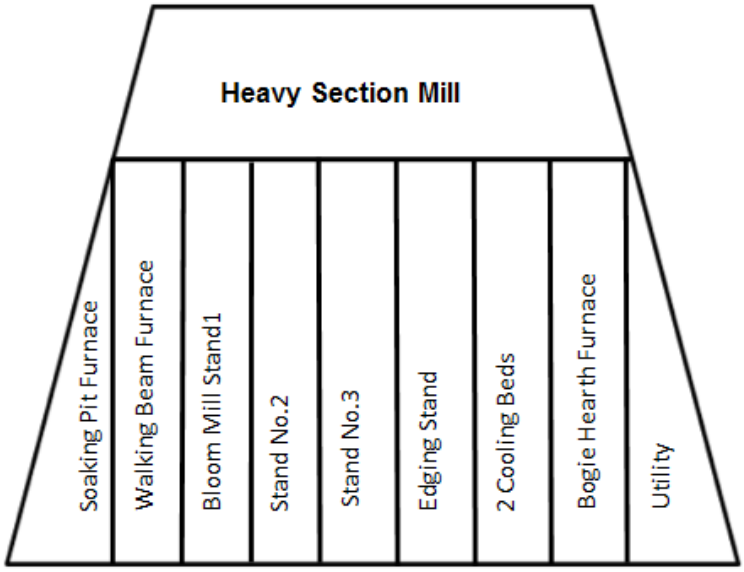
۱-۱-۵. عملیات حرارتی در واحد نورد سنگین

برای برخی از گریدهای تولیدی، لازم است محصول تولیدشده در انتهای خط، با گرادیان دمای خاصی خنک شود، یا برای مدت زمان خاصی حرارت ببیند. بدین منظور، خط نورد سنگین مجهز به یک کوره بوژی است که در انتهای خط قرار دارد.

در بعضی از موارد، به منظور اصلاح شرایط فیزیکی محصول تولیدی، سطح محصول را با فرو بردن در آب سریعاً خنک می‌کنند در حالیکه هسته آن همچنان گرم است. این فرایند، کوئنچینگ نام دارد. هنگام تولید محصول با مقطع تخت (تسمه)، بعد از برش تسمه به طول‌های مورد نظر، محصولات در کنار یکدیگر قرار گرفته و بسته‌بندی می‌گردد. بدین روش، سرعت سرد شدن محصولات کاهش می‌یابد. این روش را اصطلاحاً Pack Annealing می‌گویند.

۱-۲. دسته بندی تجهیزات موجود در واحد نورد سنگین

به منظور تسهیل در انجام ممیزی در واحد نورد سنگین، سیستم‌های موجود در این واحد به صورت شکل ۱-۷ دسته بندی شده است.



شکل ۱-۷. دسته‌بندی تجهیزات و سیستمهای موجود در واحد نورد سنگین

کوره‌های پیش‌گرم و چاهکی عمده‌ترین مصرف‌کننده‌های انرژی حرارتی (گاز طبیعی) در واحد نورد سنگین هستند. با توجه به اینکه نحوهٔ بهره‌برداری از این تجهیزات می‌تواند تاثیر بسزایی بر مصرف ویژه انرژی آن داشته

باشد، لذا بیشترین توجه نیز بر روی نحوه بهره‌برداری از این کوره‌ها متمرکز خواهد شد. در ارتباط با سایر تجهیزات نیز مانند پمپ پوسته‌زدا، استندهای نورد و ... میزان توان مصرفی اندازه‌گیری شده است. میزان آب مصرفی واحد نورد نیز اندازه‌گیری شده است.

۱-۲-۲. گردش آب خنک‌کن در واحد نورد سنگین

در واحد نورد سنگین، آب جهت خنک کردن تجهیزات مکانیکی که در معرض خطر تنش‌های حرارتی هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تجهیزاتی که در معرض خطر قرار گرفتن در دمای بالا هستند عبارتند از: استندهای ۱، ۲ و ۳، استند اصلاح لبه‌ها، موتورهای اصلی، غلتک‌ها، شیارها، سیستم هیدرولیک و کوره گامی و...

در استندهای ۳،۲،۱ و استند اصلاح لبه، جهت خنک کردن غلتک‌ها از آب خنک کن مستقیم استفاده می‌شود.

آب خنک کن غیر مستقیم جهت خنک کردن موتورهای درایوهای اصلی، سیستم هیدرولیک، کوره گامی و ... استفاده می‌شود.

۱-۳. سیستم توزین مواد اولیه و محصولات در واحد نورد

در ورودی واحد نورد سنگین، سیستم توزین وجود دارد. بلوم ورودی قبل از ورود به کوره توسط باسکول وزن شده، و در سیستم اتوماسیون ثبت می‌شود.

در خروجی واحد نورد سنگین نیز، سیستم جداگانه‌ای به منظور توزین محصول وجود دارد، که محصول تولیدی وزن شده و در سیستم اتوماسیون ثبت می‌شود.

لازم به ذکر است، در واحد نورد سنگین فقط جهت توزین بلوم، از سیستم توزین استفاده می‌شود. چراکه در تولید اینگات از قالبهای ریخته‌گری معینی استفاده شده که در نهایت محصول نهایی (اینگات) دارای وزن مشخص خواهد بود.

طبق نظر کارشناسان واحد، سیستم توزین تقریباً هر دو ماه یک بار کالیبره می‌شود.

فصل دوم
ممیزی انرژی نورد سنگین

در این فصل از گزارش ممیزی انرژی حرارتی و الکتریکی یک واحد نورد سنگین به اختصار شرح داده می شود.

۲-۱. ممیزی انرژی حرارتی

کوره گامی (Walking Beam Furnace) و کوره Soaking Pit عمده مصرف کننده گاز طبیعی واحد نورد سنگین هستند، بنابراین بررسی و بهینه سازی آن از لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

۲-۱-۱. بررسی شرایط کارکرد تجهیزات خط تولید و انجام اندازگیریهای لازم

جهت بررسی وضعیت مصرف انرژی در تجهیزات مختلف واحد نورد سنگین، لازم است پارامترهای مرتبط با مصرف و اتلاف انرژی مورد اندازه‌گیری قرار گیرند.

به منظور محاسبه راندمان کوره و همچنین بررسی عملکرد عایق‌های حرارتی، لازم است میزان تلفات تشعشعی کوره محاسبه شود. بدین منظور، با استفاده از دستگاه ترموویژن، دمای سطوح بیرونی کوره (دیواره‌های جانبی و سقف کوره) اندازه‌گیری شده است. علاوه بر آن برای محاسبهٔ راندمان کوره، دمای محیط و دمای بیلت در ورود و خروج از کوره نیز اندازه‌گیری شده است.

از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر عملکرد کوره، میزان هوای اضافه موجود در احتراق است. بدین منظور در مکانی مناسب، دود خروجی از کوره مورد آنالیز قرار گرفته و میزان هوای اضافه مورد استفاده در احتراق محاسبه شده است.

با توجه به اینکه کورهٔ پیش‌گرم، به منظور بازیابی انرژی دود خروجی از کوره، مجهز به رکوپراتوراست، لازم است عملکرد رکوپراتورمورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور، دمای دود و هوا در ورودی و خروجی رکوپراتورثبت شده است.

جهت خنک‌کاری تجهیزات واحد نورد سنگین از دو سیکل آب ، مستقیم و غیر مستقیم استفاده می‌شود.

KW: سیکل باز آب (مستقیم)، جهت خنک‌کاری گازبند و غلطک‌ها

CW: سیکل بسته آب (غیر مستقیم)، جهت خنک‌کاری دوربین‌ها

QW: سیکل آب غیر مستقیم، جهت خنک‌کاری رولینگ‌ها و Kick-off

EW: آب اضطراری (غیر مستقیم)، سیکل بسته آب جهت خنک‌کاری رولینگ‌ها و Kick-off، زمانیکه آب QW به هر دلیلی قطع شده باشد.

energyenergy.ir

۲-۱-۲. بررسی وضعیت عایقکاری تجهیزات و شناسایی سطوح بدون عایق

در طراحی‌ها عموماً اتلاف حرارتی از بدنه کوره حدود ۲ درصد منظور می‌شود. اصولاً عایق‌های بـه کـار رفتـه در کوره‌ها از نظر سرویس‌دهی مناسب، عمر معینی دارند و به مرور زمان ساختمان کریستالی آنها تغییر یافته و ضخامت آن‌ها کم می‌شود و این تغییرات ساختمانی سبب افزایش ضریب انتقال حرارت و اتلاف انرژی به بیرون خواهد بود.

در صورتی که عایق دیواره‌های کوره بر اثر ساخت ناصحیح، عدم انجام صحیح Curing بـر مبنـای دسـتورالعمل، در اثر حرارت زیاد و یا شوک‌های حرارتی ترک بردارد، نشت گازهـای حاصـل از احتـراق و بخـار آب در لابـلای ایـن ترک‌ها و تجمع آن‌ها در لایه بین بدنه کوره و عایق دیواره و سرد شدن تدریجی آن‌ها تـا دمـای نقطـه شـبنم، باعـث خوردگی بدنه می‌شود.

تداوم این امر ضمن اتلاف مقدار بسیار زیاد انرژی (از طریق بدنه کوره به محیط اطراف)، باعـث ریخـتن عـایق و در نتیجه اتلاف بیشتر انرژی و گسترش خوردگی بر روی بدنه کوره و سایر نقاط آن خواهد شـد. در کـوره‌هـایی کـه چندین سال از عمر عایق آن گذشته، ضمن جدا شدن عایق از دیواره کـوره و گسـترش خـوردگی در نقـاط مختلـف بدنه، گرم شدن بدنه کوره نیز موجب خم شدن دیواره ها می‌شود، در نتیجه سرعت خوردگی افـزایش یافتـه و باعـث خرابی قسمت های مختلف کوره می شود. به طور کلی برای جلوگیری و یا کاهش مشکلات خورندگی بـر روی بدنـه کوره، لازم است به هنگام تعمیرات اساسی ضمن توجه به عمر عایق دیواره، در صورتی که عمـر آنهـا از حـد معمـول گذشته باشد (البته با توجه به درجه حرارتی که درهنگام کار کردن واحد درمعـرض آن بـوده‌انـد) آن‌هـا را بـا عـایق مناسب و استاندارد تعویض کرد و در صورت وجود ترک (قبل و یا بعد از ساخت)، محل ترک ها را با الیاف مخصـوص KAOWOOL پر کرد. البته چنانچه Ceramic Fiber (الیاف سرامیکی) به عنوان عایق دیواره کوره مـورد اسـتفاده قرار گیرد، بدلیل عدم نیاز به Curing و Drying و سبکی وزن، مشکلات احتمالی استفاده از عایق‌هـای نیازمنـد بـه Curing را نخواهد داشت.

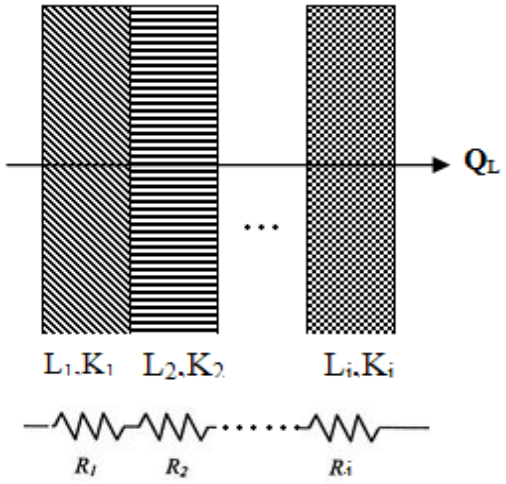
همانطور که بیان شد سطوح کوره به علت تفاوت دما با دمـای محـیط اطـراف کـوره، دارای تلفـات حرارتـی بـه صورت انتقال حرارت جابجایی و تشعشع می‌باشند. به همین دلیل سعی می‌شود با عایق‌کاری کوره‌ها تـا حـد ممکـن اختلاف دمای سطوح کوره و دمای محیط کاهش یابد.

به منظور بررسی عایق کاری کوره در شرایط موجود، ابتدا در صورت امکان مقاومت حرارتی دیواره‌های کـوره در شرایط طراحی و شرایط موجود محاسبه و با هم مقایسه می‌شوند. سپس با بررسی عکـس‌هـای گرفتـه شـده توسـط دستگاه Thermovision نقاطی از بدنه کوره که دچار ریزش عایق شده شناسایی و مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای محاسبه مقاومت حرارتی دیواره کوره بر حسب اطلاعات موجود می‌توان از دو روش زیر استفاده نمود.

در صورت وجود اطلاعات مربوط به ضخامت لایه‌ها و رسانش گرمایی آن‌ها، به کمک رابطه (۱) می‌توان مقاومت حرارتی کل دیواره‌های کوره را محاسبه نمود. (شکل۲-۱)

$$R_{tot} = \sum \frac{L_i}{K_i A_i} \qquad (۱)$$



شکل۲-۱. مقاومت حرارتی دیوار کوره

در صورت وجود اطلاعات مربوط به دمای محیط (T_a)، دمای جداره داخلی (T_i)، دمای جداره خارجی (T_s)، سرعت باد و ضریب نشر کوره (ε)، ابتدا شار حرارتی گذرنده از دیواره کوره به کمک رابطه (۲) محاسبه و سپس از طریق رابطه (۳) مقاومت حرارتی کوره محاسبه می‌شود.

$$Q = 0.174 \times \varepsilon \times ({T_s}^4 - {T_a}^4) \times 10^{-8} + 0.296 \times (T_s - T_a)^{1.25} \times \sqrt{\frac{v_m + 69}{69}} \qquad (۲)$$

در رابطه فوق:

Q: نرخ تلفات حرارتی در واحد سطح $\frac{BTU}{hr.ft^2}$

T_s: دمای سطح خارجی کوره بر حسب رانکین

T_a: دمای محیط بر حسب رانکین

ε: ضریب صدور تشعشع سطوح خارجی

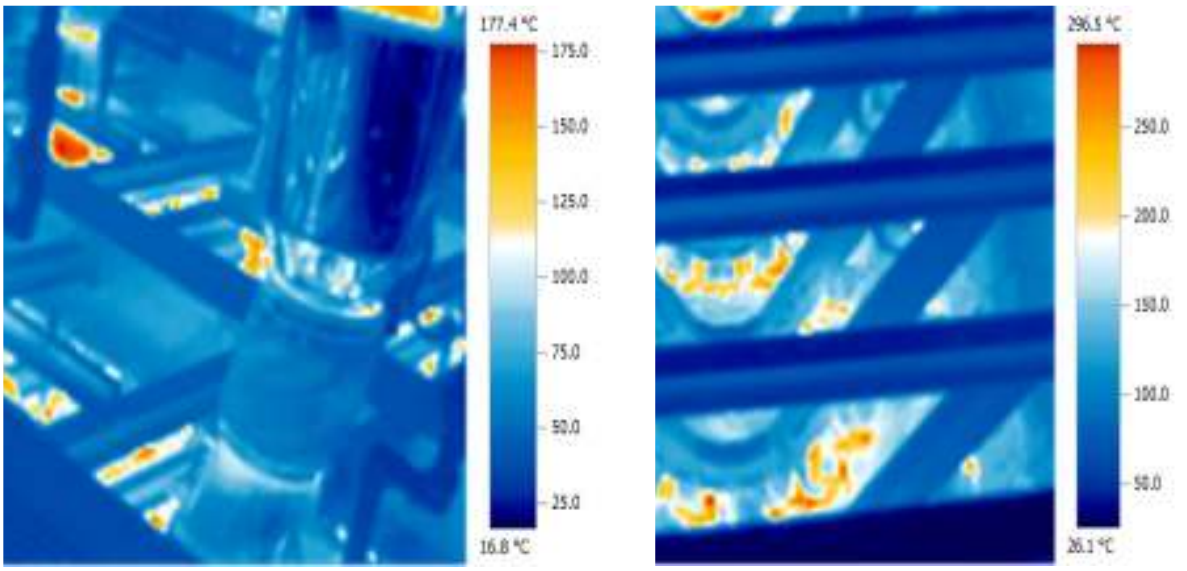
v_m: سرعت باد بر حسب فوت بر دقیقه

$$R_{tot} = \frac{T_i - T_o}{Q_L} \qquad (۳)$$

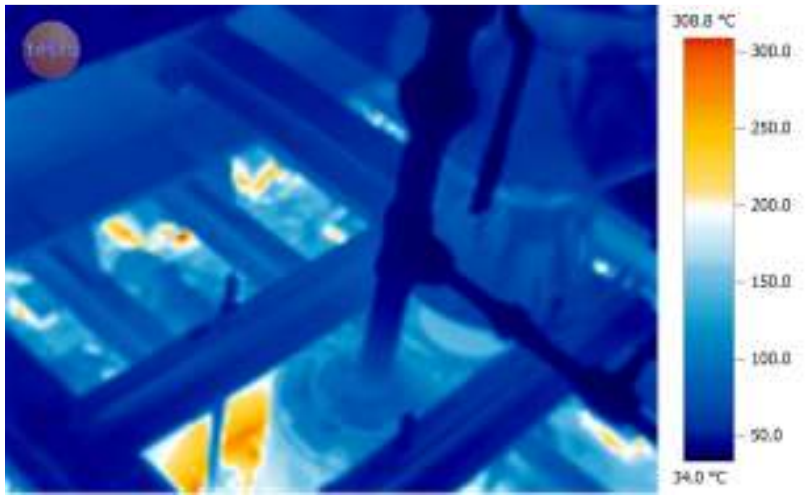
بر اساس اطلاعات طراحی و با اندازه گیری دمای محیط و سرعت باد با دستگاه Testo 410-2 و دمای سطح

خارجی کوره به کمک دستگاه Thermovision در زمان اندازه گیری، مقاومت حرارتی دیوارهای کوره نورد سنگین فولاد ، برای دو حالت طراحی و اندازه گیری محاسبه و با هم مقایسه می‌شوند. در ضمن دمای داخل کوره نیز از طریق ترموکوپل‌های موجود داخل کوره اندازه گیری می‌شوند.

نمونه‌ای از عکس‌های گرفته شده توسط دستگاه Thermovision درشکل۲-۲ و شکل۲-۳ نشان داده شده است. همانطور که از این عکس‌ها مشخص است، به علت توزیع پیوسته دما در سطوح دیواره‌های کوره پیشگرم فولاد فولاد، ریزش عایق در دیواره‌های آن وجود ندارد.

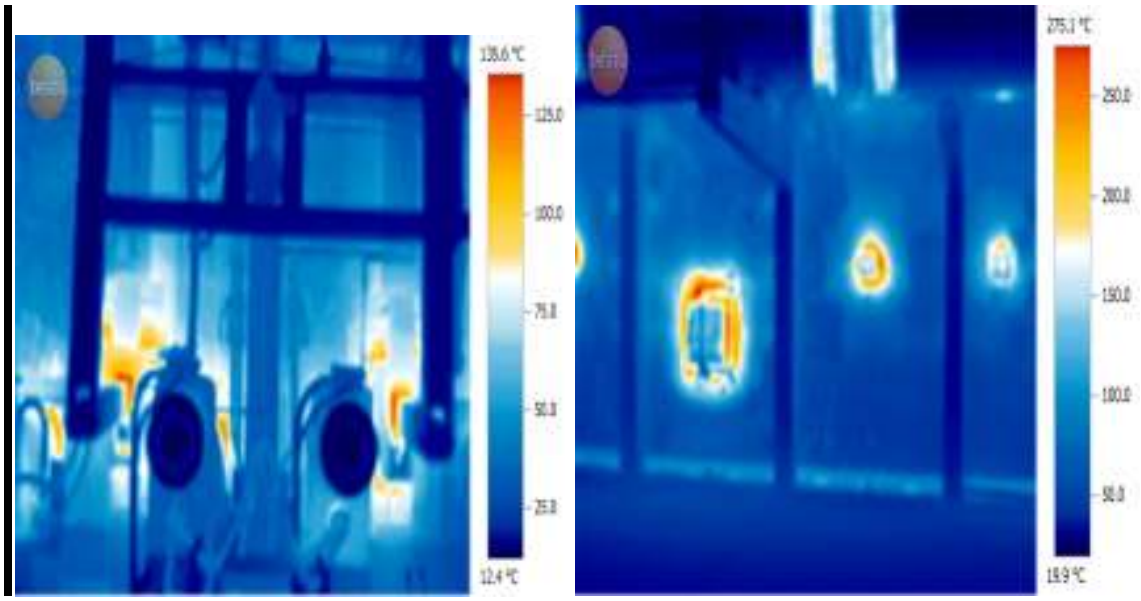


(ب) (الف)

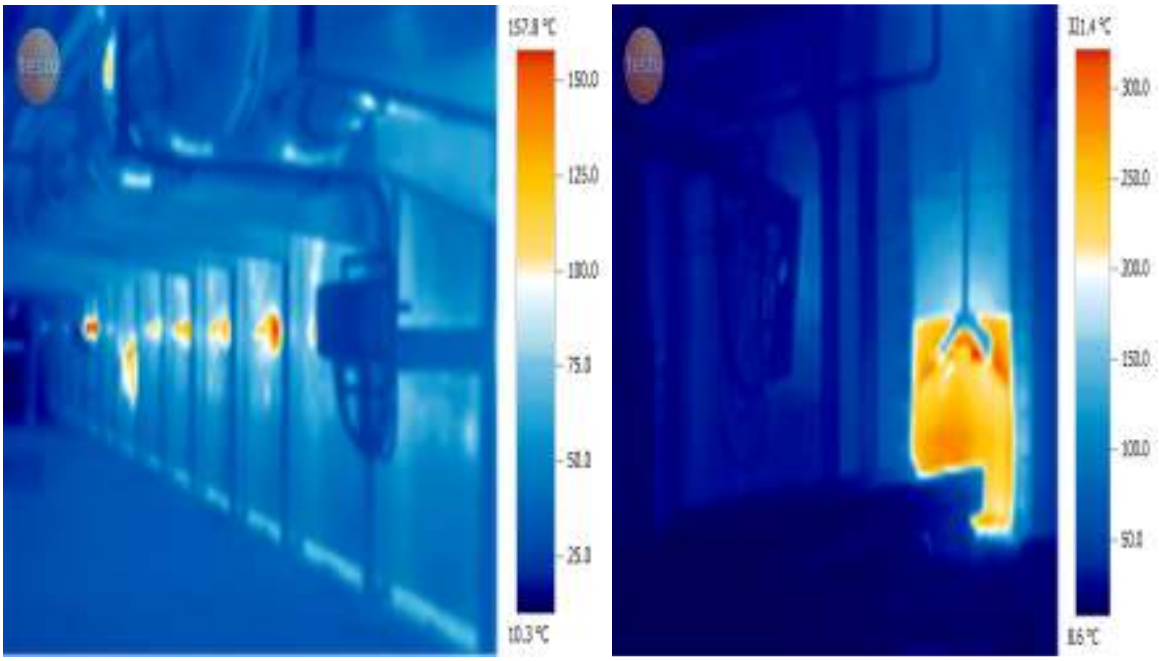


(ج)

شکل۲-۲. (الف)، (ب) و (ج) توزیع دما سقف کوره فولاد



(ب) (الف)



(د) (ج)

شکل۲-۳. (الف)، (ب)، (ج) و (د) توزیع دما دیوار های جانبی کوره فولاد

۲-۱-۳. شناسایی فاکتورهای قابل اندازه‌گیری حامل‌های انرژی (بدون ابزار و ادوات ممیزی) جهت تعیین انرژی ویژهٔ حرارتی و تعیین نوع و محل نصب کنتورهای مورد نیاز در خط تولید

همان طور که قبلا ذکر گردید، کورهای پیشگرم عمده‌ترین مصرف‌کننده انرژی حرارتی در واحد نورد سنگین است. جهت محاسبه انرژی ویژه حرارتی (SEC[1]) باید میزان مصرف انرژی کوره را محاسبه نمود. میزان مصرف انرژی کوره به کمک دو روش مستقیم و غیر مستقیم تعیین می‌شود.

جهت محاسبه انرژی مصرفی کوره‌ها به کمک روش غیر مستقیم، باید اتلافات کوره‌ها را محاسبه نمود. اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه اتلافات در روش غیر مستقیم نیاز به دستگاه‌های اندازه گیری دارد. به طور مثال، جهت محاسبه اتلافات دود خروجی از دودکش باید میزان اکسیژن موجود در دود خروجی اندازه‌گیری شود، که این اندازه‌گیری توسط دستگاه آنالایزر دود صورت می‌گیرد.

در روش مستقیم جهت محاسبه مصرف انرژی کوره، بر خلاف روش غیر مستقیم که در بالا توضیح داده شد، نیازی به محاسبه اتلافات و به تبع آن نیازی به استفاده از ابزار و ادوات ممیزی نیست. بلکه برای محاسبه انرژی مصرفی از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$\text{انرژی مصرفی کوره} = m_g \times LHV_g$$

می‌توان میزان مصرف ویژه انرژی واحد نورد سنگین را به صورت کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت محاسبه نمود. بدین منظور به اطلاعات زیر نیاز می باشد:

۱-میزان مصرف گاز در بازه زمانی مورد نظر: اولین قدم جهت پایش مصرف انرژی به صورت دقیق و مداوم و محاسبه شدت مصرف انرژی بدون ابزار و ادوات ممیزی، نصب یک کنتور گاز مجهز به تصحیح‌گر دما و فشار در مسیر گاز ورودی به کوره پیشگرم است.

۲-ارزش حرارتی: بر اساس آنالیز سوخت گاز مصرفی، ارزش حرارتی آن تعیین می‌شود.

۳-میزان تولید: میزان تولید کارخانه فولاد می بایست به صورت منظم ثبت گردد.

با اندازه‌گیری میزان مصرف گاز، ارزش حرارتی سوخت و میزان تولید در بازه زمانی موردنظر، SEC واحد نورد سنگین تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه توقفات در افزایش مصرف ویژه انرژی نقش بسزایی دارد، به همین دلیل محاسبه و مقایسه SEC در بازه‌های زمانی مشخص (به طور مثال بازه‌های زمانی یک ماهه) بدون در نظر گرفتن اثر توقفات نتایج درستی را در بر ندارد. به طور مثال ممکن است کوره در یک ماه در بهترین شرایط عملکرد بوده باشد، اما به علت نقص فنی استندها و افزایش زمان توقفات، SEC در این بازه زمانی از SEC سایر ماه‌ها و SEC متوسط سالانه بیشتر باشد. در نتیجه تنها با استفاده از SEC در این بازهٔ زمانی نمی‌توان در مورد عملکرد کوره یا خط نورد سنگین اظهار

[1] Specific Energy Consumption

نظر کرد. به همین دلیل به منظور تحلیل دقیق‌تر عملکرد واحد نورد، علاوه بر مقایسه مقدار SEC در بازه‌های زمانی متفاوت، باید توقفات و علت آن را نیز مدنظر داشت.

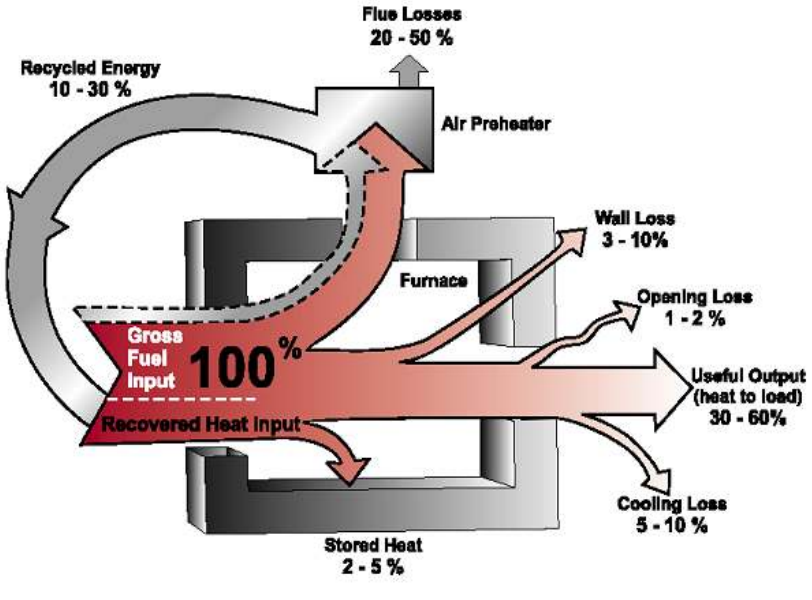
سهم عمده مصرف انرژی در واحدهای نورد سنگین مربوط به کوره‌های پیش‌گرم می‌باشد، به طوریکه با صرف نظر از مصارف اندک جانبی در واحد نورد سنگین(مصارف گاز جهت گرمایش محیط و ...) می‌توان گفت تمام گاز ورودی به واحد نورد سنگین در کوره‌های پیش‌گرم مصرف می‌شود. به همین دلیل شناسایی عوامل موثر بر مصرف انرژی در کوره پیش‌گرم تاثیر بسزایی در شناسایی فرصت‌های صرفه‌جویی و کاهش مصرف انرژی دارد.

از دیدگاه انرژی، یک کوره ایده‌ال، کوره‌ای است که تا حد ممکن بیشترین مواد شارژ شده را با کمترین مصرف سوخت و انرژی به دمای مورد نظر برساند.

مستقل از نوع فرایند به کار رفته، انرژی مصرفی از دو قسمت اتلافات و انرژی مفید خروجی تشکیل شده است. در واقع عوامل موثر بر اتلافات و انرژی مفید خروجی، عوامل موثر بر مصرف انرژی کوره پیش‌گرم می‌باشند. به همین منظور ابتدا عوامل مذکور معرفی شده و سپس سهم هر یک در مصرف انرژی کارخانه تعیین می‌گردد.

۲-۱-۴. اتلافات

دیاگرام سانکی عمومی یک کوره پیش گرم در شکل۲-۴ نمایش داده شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، بیشترین سهم اتلافات انرژی مربوط به اتلافات دود خروجی از دودکش می‌باشد. به همین دلیل ابتدا عوامل موثر بر میزان اتلافات انرژی دود خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

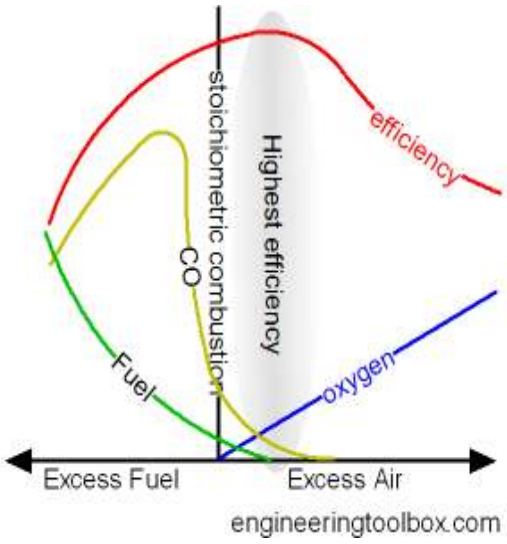


شکل۲-۴. دیاگرام سانکی عمومی از یک کوره پیش گرم

۲-۱-۴-۲. میزان هوای اضافه

میزان هوای لازم جهت احتراق کامل سوخت در حالت تئوری هوای استوکیومتریک نامیده می‌شود که در صورت مخلوط شدن کامل سوخت با این میزان هوا، احتراق کامل صورت خواهد گرفت و مشعل بالاترین راندمان حرارتی را خواهد داشت. ولی با توجه به اینکه مخلوط شدن کامل هوا و سوخت در عمل به میزان صد در صد انجام نمی‌شود، لذا همانگونه که در شکل۲-۵ ملاحظه می‌گردد، بالاترین راندمان مشعل در حالتی اتفاق می‌افتد که مقداری هوای اضافه (Excess Air) وجود داشته باشد.

البته همانگونه که شکل۲-۵ نشان می دهد با افزایش بیش از حد هوای اضافه راندمان حرارتی مشعل کاهش می‌یابد که دلیل آن، جذب حرارت توسط هوای اضافه ورودی می‌باشد.



شکل۲-۵. شماتیک سیستم بازیافت حرارت کوره‌های پیشگرم

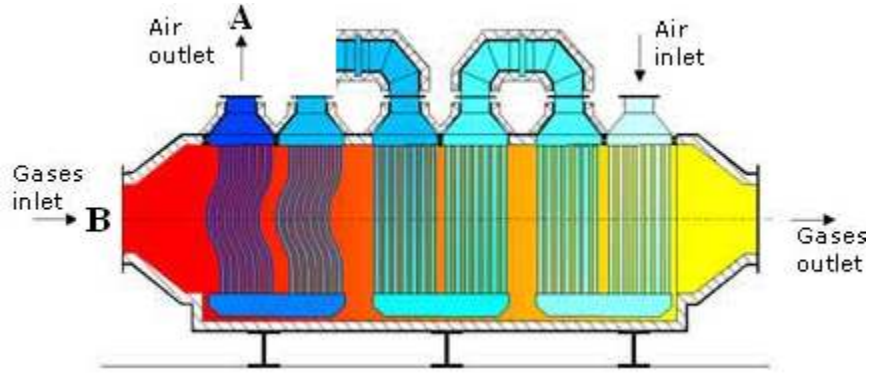
اثر هوای اضافه بر راندمان احتراق میزان هوای اضافه مناسب برای کوره‌های پیشگرم با سوخت گاز طبیعی، ۵ درصد است. در جدول۲-۱ اثر افزایش میزان هوای اضافه بر مصرف انرژی گزارش شده است.

جدول۲-۱. اثر هوای اضافه بر میزان مصرف انرژی کوره پیش‌گرم

هوای اضافه (%)	افزایش مصرف انرژی (%)
5	Base
10	0.58
20	1.18
30	2.98

۲-۱-۴-۳. دمای دود و هوای پیش‌گرم

سیستم بازیافت حرارت کوره پیش‌گرم کارخانجات فولاد معمولا، رکوپراتور می‌باشد (شکل۲-۶). دمای Set point های رکوپراتور (نقاط A و B در شکل۲-۶) که توسط اوپراتورهای کوره تنظیم می‌شود، اثر مستقیمی بر میزان اتلافات دود دارد. علاوه بر این، در صورت نقص فنی رکوپراتور (گرفتگی لوله‌های رکوپراتور، سوراخ شدن لوله‌های رکوپراتور و نشت هوای احتراق در دود و...) دمای هوای ورودی به مشعل‌ها به حد مطلوب نرسیده و اتلافات دود افزایش می‌یابد.



شکل۲-۶. شماتیک سیستم بازیافت حرارت کوره‌های پیشگرم

همانطور که از شکل۲-۴ مشخص است سایر اتلافات ازجمله اتلافات آب خنک کن، اتلافات حرارتی از دیوارهای کوره و... علاوه بر اینکه نقش چندانی در مصرف انرژی کوره ندارند، مستقل از چگونگی بهره‌برداری نیز می‌باشند. به همین دلیل از بررسی بیشتر آنها صرف نظر شده است.

۲-۱-۵. انرژی مفید خروجی

یکی دیگر از عوامل موثر در مصرف انرژی کوره پیش گرم، انرژی مفید خروجی می‌باشد. به طوریکه در کارخانجات فولاد ، معمولا انرژی مفید خروجی حدوداً ۵۰ درصد از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص داده است. از عوامل موثر بر انرژی مفید خروجی می توان به دمای شمش ورودی و توقفات اشاره کرد.

۲-۱-۵-۱. دمای شمش ورودی

یکی از پارامترهای موثر در میزان مصرف انرژی کوره، انرژی مفید خروجی یا حداقل انرژی مورد نیاز جهت رساندن دمای شمش داخل کوره به حد مطلوب می‌باشد.

در صورتی که بتوان از طریق hot charge یا استفاده از انرژی دود خروجی از دودکش، دمای شمش ورودی به کوره را افزایش داد، میزان انرژی مفید خروجی و به تبع آن مصرف انرژی کوره کاهش می‌یابد. در جدول۲-۲ اثر

افزایش دمای شمش ورودی بر مصرف انرژی کوره در یک کارخانه فولاد نشان داده شده است.

جدول۲-۲. اثر دمای شمش ورودی بر مصرف انرژی کوره پیش‌گرم فولاد

دمای شمش ورودی (^oC)	انرژی مفید خروجی (kj/hr)	کاهش مصرف انرژی (%)
20	44352000	Base
100	41536000	3.1
200	38016000	7.0
300	34496000	10.9
400	30976000	14.8
500	27456000	18.7
600	23936000	22.6

۲-۱-۵-۲. توقفات

ایده‌آل‌ترین حالت برای یک کوره زمانی حاصل می‌گردد که کوره بتواند در طول مدت بهره برداری به صورت مداوم با بیشترین ظرفیت ممکن، تولید کند. اما در عمل به علت توقفات، مدت زمان زیادی از عملکرد کوره به صورت Partial Production و Idling می‌باشد. به طور معمول ۳۰٪ از زمان کارکرد یک کوره به صورت Idling (بی باری)، ۲۰٪ به صورت Partial Production (۷۵٪ ظرفیت نامی) و ۵۰٪ از زمان کارکرد با ظرفیت نامی می باشد [۲]. همانطور که بیان شد انرژی مصرفی کوره برابر است با:

$$\text{انرژی مصرفی کوره} = \text{انرژی مفید خروجی} + \text{اتلافات} \qquad (۴)$$

در نتیجه راندمان کوره عبارت است از:

$$\text{راندمان کوره} = \frac{\text{انرژی مفید خروجی}}{\text{انرژی مصرفی کوره}} = 1 - \frac{\text{اتلافات}}{\text{انرژی مفید خروجی}+\text{اتلافات}} \qquad (۵)$$

در توقفات، به جز موارد برنامه ریزی شده یا توقفات طولانی، اتلافات انرژی کوره تقریبا ثابت می‌باشد [۲]. پس با توجه به رابطه (۵)، با کاهش تولید یا همان انرژی مفید خروجی، راندمان کوره کاهش و با افزایش تولید، راندمان کوره افزایش می یابد. توقفات، با کاهش میزان تولید کوره، باعث کاهش راندمان، یا به عبارت دیگر باعث افزایش انرژی مخصوص کوره می شوند

عوامل موثر بر میزان مصرف انرژی کوره پیش‌گرم را به عوامل داخلی و عوامل خارجی نیز می‌توان تقسیم کرد. عوامل داخلی عبارتند از میزان هوای اضافه، دمای شمش ورودی و... که به تفصیل توضیح داده شد. از جمله عوامل خارجی می‌توان به دمای محیط اشاره کرد. دمای محیط بر دمای هوای احتراق و دمای شمش ورودی اثر گذار می‌باشد.

مراجع:

[1] "Energy Consumption in Continuous Steel Reheating Furnaces".

[2] Si, Minxing, Thompson, Shirley Calder, "Energy efficiency assessment by process heating assessment and survey tool (PHAST) and feasibility analysis of waste heat recovery in the reheat furnace at a steel company", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 6, August 2011, Pages 2904–2908.