بررسی عملکرد واحد فولاد سازی کارخانه ی فولاد

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : شرح فرآیند انجام پذیرفته در فولادسازی ۷

۱-۲. کوره‌های قوس الکتریکی ۹

۱-۳. کوره‌های پاتیلی ۹

۱-۴. تجهیزات گاز زدا (VD و VOD) ۱۰

۱-۵. سیستم غبارگیر ۱۰

۱-۶. قسمت ریخته‌گری ۱۱

۱-۶-۱. ریخته‌گری پیوسته ۱۱

۱-۶-۲. ریخته‌گری غیرپیوسته ۱۲

۱-۷. کوره‌های آماده‌سازی بلوم و اینگات ۱۲

۱-۸. بویلر (کارگاه تولید بخار) ۱۳

فصل دوم : دسته‌بندی تجهیزات موجود در واحد فولادسازی و نحوه انجام اندازه‌گیری بر روی آنها ۱۴

۲-۲. کوره‌های قوس ۱۴

۲-۳. کوره‌های پاتیلی ۱۵

۲-۴. تجهیزات VD و VOD ۱۶

۲-۵. سیستم‌های غبارگیر ۱۶

۲-۶. قسمت ریخته‌گری پیوسته ۱۷

۲-۷. کوره‌های تونلی و بوژی ۱۷

۲-۸. بویلر (کارگاه تولید بخار) ۱۸

۲-۹. تجهیزات جانبی ۱۸

۲-۱۰. جمع‌آوری اطلاعات کنترل فرایند، بازرسی و کنترل کیفیت ۲۰

۲-۱۱. بررسی سیستم توزین مواد در واحد فولادسازی ۲۱

۲-۱۲. گازهای صنعتی ۲۱

۲-۱۳. بخار آب ۲۱

فصل سوم : ممیزی انرژی الکتریکی ۲۲

۳-۱. کوره‌های قوس الکتریک ۲۲

۳-۲. کوره‌های پاتیلی ۲۲

۳-۳. تجهیزات VD و VOD ۲۲
۳-۴. سیستم‌های غبارگیر ۲۳
۳-۴-۱. قسمت ریخته‌گری ۲۳
فصل چهارم : ممیزی انرژی حرارتی ۲۵
۴-۱. اطلاعات سیستم توزیع و مصرف گاز طبیعی در واحد فولادسازی ۲۵
۴-۲. اطلاعات تجهیزات و ماشین‌آلات مصرف کننده انرژی حرارتی ۲۵
۴-۲-۱. کوره بوژی ۲۵
۴-۲-۲. کوره‌های تونلی ۲۸
۴-۲-۳. مشعلهای پیشگرمکن پاتیل و تاندیش ۲۹
۴-۲-۴. بویلر (کارگاه تولید بخار) ۲۹
۴-۲-۵. بررسی شرایط کارکرد تجهیزات و انجام اندازه‌گیری‌های لازم ۳۰
۴-۲-۵-۱. کوره بوژی ۳۰
۴-۲-۵-۲. کوره‌های تونلی ۳۱
۴-۲-۵-۳. مشعل های پیشگرمکن ۳۲
۴-۲-۵-۴. بویلر مستقر در کارگاه تولید بخار ۳۳
فصل پنجم : شناسایی عوامل موثر بر مصرف انرژی در بخش‌های مختلف فرایند تولید ۳۴
منابع ۳۹

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول۲-۱. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره‌های الکتریکی کارخانه فولاد ۱۵
جدول۲-۲. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره پاتیلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۱۶
جدول۲-۳. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی سیستم‌های غبارگیر واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۱۷
جدول۲-۴. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی قسمت ریخته‌گری پیوسته واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۱۷
جدول۲-۵. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره‌های تونلی و بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۱۸
جدول۲-۶. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی بویلر کارگاه تولید بخار کارخانه فولاد ۱۸
جدول۲-۷. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری برروی تجهیزات واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۱۹

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل۱-۱. شماتیک فرآیند تولید در واحد فولادسازی ۸
شکل۱-۲. شماتیکی از یکی از سیستم‌های غبارگیر موجود در واحد فولادسازی ۱۱
شکل۱-۳. شماتیک نحوه تولید در قسمت ریخته‌گری پیوسته ۱۲
شکل۱-۴. شماتیک ساختار کوره‌های تونلی موجود در واحد فولادسازی ۱۳
شکل۱-۵. شماتیک ساختار کوره بوژی موجود در واحد فولادسازی ۱۳
شکل۲-۱. دسته‌بندی تجهیزات موجود در واحد فولادسازی ۱۴
شکل۳-۱. نمونه ای از یک سیستم غبارگیر واحد فولادسازی ۲۴
شکل۴-۱. نمای جانبی کوره بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد به همراه واگن مخصوص آن ۲۶
شکل۴-۲. نمای جانبی کوره تونلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد (ابعاد بر حسب میلی‌متر) ۲۹
شکل۴-۳. نمای برش جانبی کوره تونلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۲۹
شکل۴-۴. شماتیک سیستم کاری کارگاه تولید بخار ۳۰
شکل۴-۵. پروفیل دمایی پیشنهادی در مدارک طراحی کوره بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد برای آلیاژ K720 ۳۱
شکل۴-۶. نمای شماتیک اگزوزهای کوره‌های تونلی واحد فولادسازی کارخانه ی فولاد ۳۲
شکل۴-۷. شماتیک سیستم پیشگرمایش پاتیل در واحد فولادسازی کارخانه فولاد ۳۳
شکل۴-۸. مقایسه عملکرد مشعل‌های هوا/سوخت و اکسیژن/سوخت ۳۳
شکل۵-۱. تاثیر تناژ خروجی بر مصرف ویژه انرژی کورههای قوس الکتریک ۳۵
شکل۵-۲. تاثیر تناژ خروجی بر مصرف ویژه انرژی کورههای پاتیلی ۳۶
شکل۵-۳. تاثیر تناژ خروجی کورههای پاتیلی بر مصرف ویژه انرژی مجموع کورهها ۳۶
شکل۵-۴. تاثیر نسبت آهن قراضه به اسفنجی بر مقدار مصرف ویژه انرژی مجموع کورهها ۳۷
شکل۵-۵. تاثیر نسبت آهن قراضه به اسفنجی بر مقدار مصرف انرژی الکتریکی کورههای قوس الکتریک ۳۷
شکل۵-۶. تاثیر مدت زمان POWER ON بر مقدار مصرف ویژه انرژی مجموع کوره ها ۳۸

چکیده

این گزارش مشتمل بر پنج فصل است که سعی بر آن شده است کـه اطلاعـات جـامعی در مـورد واحـد فـولاد سازی یک کارخانه ی تولید فولاد گرد آوری شود. در فصل اول این گزارش شرح کاملی از فرآینـد انجـام پذیرفتـه در واحد فولادسازی، کوره های مورد استفاده و قسمت ریخته گـری آورده شـده اسـت. در فصـل بعـد بـه دسـته‌بنـدی تجهیزات موجود در واحد فولادسازی از جمله کوره ها، بویلر ها، سیستم‌های غبارگیر و ...و نحوه انجام اندازه‌گیری بـر روی آنها پرداخته می شود. در فصل سوم و چهارم گـزارش بـه ترتیـب بـه ممیـزی انـرژی در زمینـه ی الکتریکـی و مکانیکی پرداخته میشود و در نهایت در فصل آخر عوامل موثر بر کاهش مصرف انرژی در بخش‌های مختلـف فراینـد تولید واحد فولاد سازی شناسایی و بررسی می گردد.

فصل اول
شرح فرآیند انجام پذیرفته در واحد فولادسازی

فرآیند موجود در این واحد بصورت شماتیک در شکل۱-۱ ارائه شده است. مواد اولیه مورد استفاده در این واحد را قراضه و آهن اسفنجی تشکیل می‌دهد. قراضه مورد استفاده در محوطه‌ای انبار شده و از آنجا با استفاده از جرثقیلهای مغناطیسی به درون سبد[1]های مخصوص شارژ شده و سبد پر شده با استفاده از ماشینهای مخصوص به نزدیک کوره‌های قوس انتقال می‌یابد. نهایتا این سبد با استفاده از جرثقیلهای سقفی موجود در سوله ذوب، به بالای کوره‌های ذوب انتقال داده شده و در آنجا با باز شدن در زیرین سبد، قراضه‌ها به درون کوره‌های ذوب تخلیه می‌شود. بدیهی است برای شارژ قراضه به کوره، لازم است در کوره باز شود.

از طرف دیگر آهن اسفنجی مورد استفاده، درون سیلوهای مخصوص که با گاز نیتروژن پر شده‌اند، ذخیره می‌شود. آهن اسفنجی با استفاده از بینهایی[2] به سمت راهگاه شارژ، هدایت شده و از آنجا به درون کوره‌های قوس تخلیه می‌شود. راهگاه شارژ آهن اسفنجی به گونه‌ای است که برای شارژ آهن اسفنجی، نیاز به باز شدن در کوره نمی‌باشد.

مذاب تهیه شده در کوره‌های قوس پس از سرباره‌گیری با استفاده از جرثقیل به کوره‌های پاتیلی[3] منتقل می‌گردد. در این کوره‌ها، عملیات تکمیل ذوب و آلیاژسازی بر روی مذاب انجام می‌گیرد. مذاب پس از این مرحله در صورت نیاز به VD[4] و VOD[5] انتقال می‌یابد. در این تجهیزات درپوشی بر روی پاتیل قرار گرفته که با استفاده از اجکتورهایی که در آن قرار دارند و از بخار تغذیه می‌کنند، باعث ایجاد خلأ درون پاتیل می‌شود. خلأ تولید شده باعث کاهش میزان برخی از گازهای موجود در مذاب می گردد.

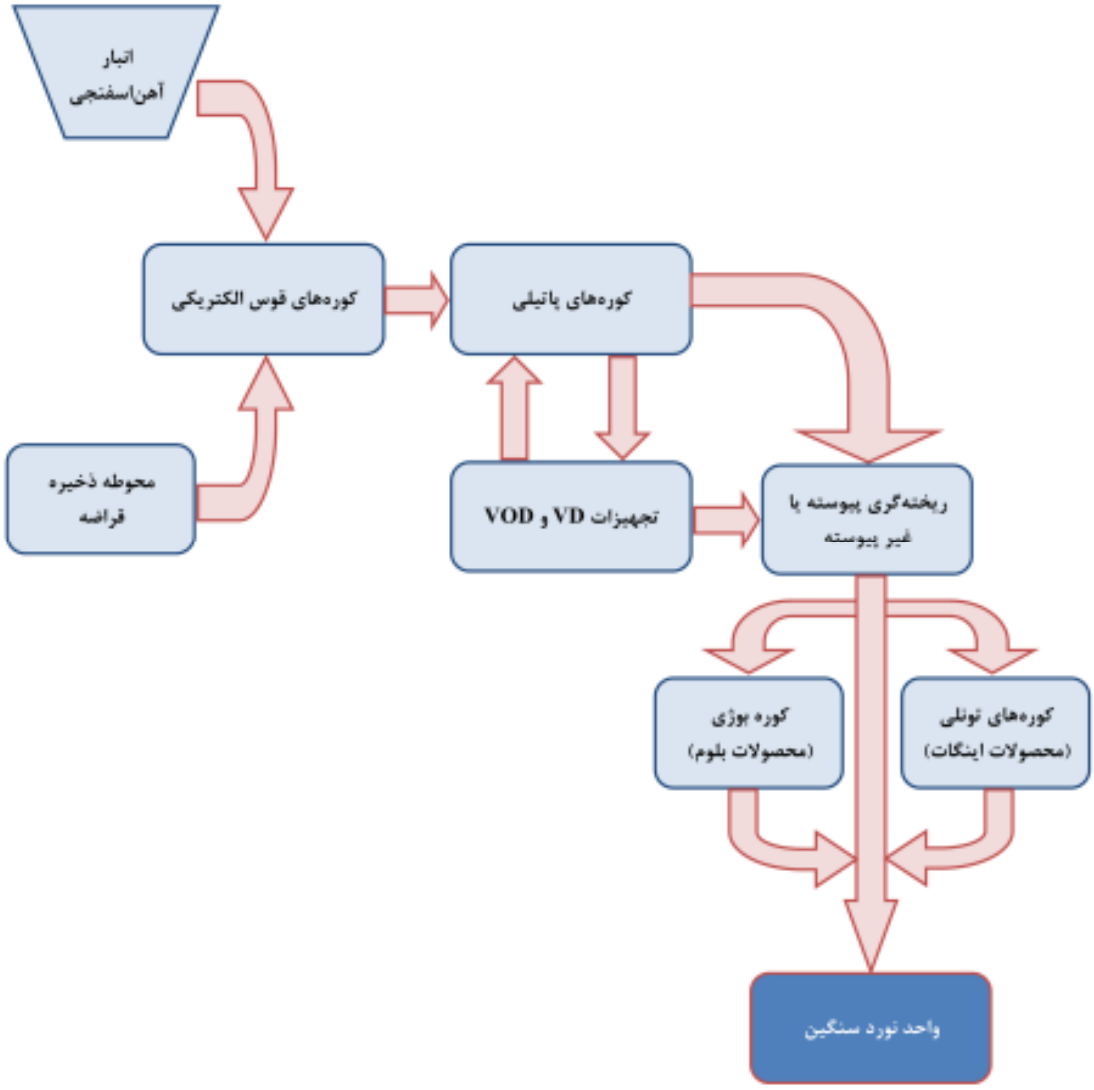
مذاب پس از کوره‌های VD و VOD به قسمت ریخته‌گری انتقال می‌یابد. البته در صورت نیاز ممکن است مذاب قبل از ریخته‌گری مجددا به کوره‌های پاتیلی ارسال شود تا در آنجا عملیات تکمیل نهایی ذوب بر روی آن انجام شود.

مذاب در کارخانه های فولاد معمولا به دو صورت بلوم[6] (ریخته‌گری مداوم[7]) و اینگات[1] (ریخته‌گری غیر مداوم)

[1] basket
[2] bin
[3] ladle furnace
[4] Vacuum Degassing
[5] Vacuum Oxygen Decarburisation
[6] bloom
[7] continuous casting

ریخته‌گری می‌شود. مذاب می‌تواند از سه قسمت به قسمت ریخته‌گری (اعم از ریخته‌گری مداوم و غیر مداوم) وارد شود: از کوره‌های پاتیلی (پس از کوره‌های قوس)، از کوره‌های VD و VOD و همچنین از کوره‌های پاتیلی (پس از کوره‌های VD و VOD).

پس از ریخته‌گری ممکن است برخی از محصولات برای آماده‌سازی و عملیات آنیل کردن به کوره بوژی (برای محصولات بلوم) و یا دو عدد کوره تونلی (برای محصولات اینگات) که در واحد فولادسازی برای این منظور وجود دارد، منتقل شوند. در نهایت محصولات تولید شده قابل تحویل به واحد نورد سنگین خواهند بود.



شکل۱-۱. شماتیک فرآیند تولید در واحد فولادسازی

[1] ingot

در ادامه به بررسی تجهیزات موجود در خط تولید این واحد و شرح مختصری از شرایط بهره‌برداری آنها، پرداخته می‌شود

۱-۲. کوره‌های قوس الکتریکی

عمده‌ترین مصرف کننده انرژی واحد فولادسازی، کوره‌های قوس می‌باشد. کوره‌های قوس در این واحد برای شارژ مواد اولیه از ۱۰۰ درصد قراضه تا ۲۰ درصد قراضه و ۸۰ درصد آهن اسفنجی طراحی شده‌اند که بر اساس مدارک طراحی، در حالت استفاده از ۱۰۰ درصد قراضه این کوره‌ها باید با دو عدد سبد، اولی با ۲۴ تن و دومی با ۲۰ تن قراضه شارژ گردد. در قسمتهای بعدی به شرح مفصل مشخصات فنی این کوره‌ها در شرایط طراحی اشاره خواهد شد.

استفاده از قراضه‌های با ابعاد و حجم‌های مختلف می‌تواند از عوامل ازدیاد تعداد سبدهای شارژ قراضه در نسبت به شرایط طراحی، به حساب آید. برای شارژ قراضه لازم است درپوش کوره برداشته شود، این در حالی است که آهن اسفنجی مورد استفاده در کوره‌های قوس از راهگاه تعبیه شده در بالای کوره به درون آن شارژ شده و نیازی به باز شدن درپوش کوره نمی‌باشد. بنابراین همان طور که مشخص است افزایش تعداد دفعات باز شدن درپوش کوره به دلیل اتلافات حرارتی، می‌تواند در افزایش مصرف انرژی کوره شود.

برای خنک کردن پوسته[1]، درپوش و همچنین خم[2] بعد از کوره از آب خنک‌کن و برای خنک‌کردن ترانسفورماتور کوره‌های قوس الکتریکی از آب که از واحد آبرسانی ارسال می‌شود، استفاده می‌گردد. در مدارک طراحی ماکزیمم دمای مجاز برای آب خنک‌کن ورودی به کوره برابر ۶۵ درجه سلسیوس ذکر شده است.

از آنجا که کوره‌های قوس در ابتدای خط تولید در واحد فولادسازی قرار دارد، لذا ممکن است توقفات و یا تغییر در برنامه تولید در تجهیزات بعدی ازجمله کوره‌های پاتیلی، تجهیزات گاز زدا (VD و VOD) و همچنین قسمت ریخته‌گری بر روی شرایط بهره‌برداری کوره‌های قوس، از جمله زمان tap to tap، تاثیر بگذارد. کوره‌های قوس ممکن است به دلایلی از جمله بالا بودن سطح قراضه و نیاز به پرس کردن قراضه توسط جرثقیل، مشکلات مربوط به جرثقیل حمل‌کننده مذاب و یا درگیر بودن آن، مشکلات نسوز کوره، مشکلان مربوط به سیستم انتقال کربن، مشکلات مربوط به سیستم انتقال برق به کوره و یا دلایلی دیگر توقف داشته باشد.

۱-۳. کوره‌های پاتیلی

مذاب پس از عملیات ذوب در کوره‌های قوس الکتریکی به درون پاتیلهایی ریخته می‌شود. برای این منظور، کوره قوس با استفاد از جکهای هیدرولیکی، اندکی کج می‌شود. لازم به ذکر است پاتیل‌ها قبل از استفاده، بوسیله مشعلهایی که از گاز طبیعی استفاده می‌کنند، پیشگرم می‌گردند.

[1] shell
[2] elbow

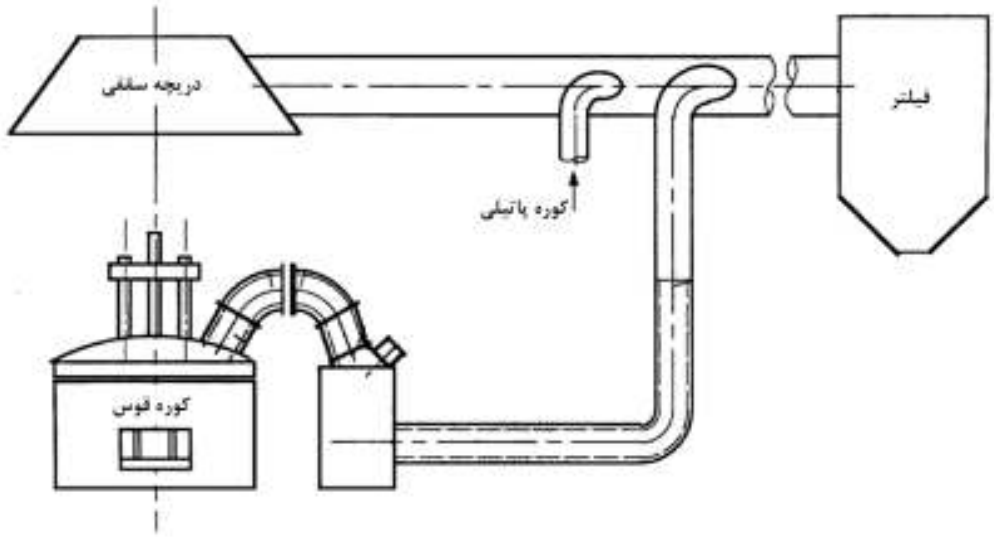
پس از تخلیه مذاب، پاتیل مذاب جهت انجام عملیات تکمیل ذوب به کوره‌های پاتیلی انتقال مـی‌یابـد. در ایـن کوره‌ها مواد اضافی مورد نیاز جهت تهیه آلیاژ مورد نظر به مذاب اضافه شده و در ضمن با استفاده از انرژی الکتریکـی از افت دمایی جلوگیری می‌شود.

۱-۴. تجهیزات گاز زدا (VD و VOD)

مذاب پس از آلیاژسازی در کوره‌های پاتیلی، بسته به نوع آلیاژ و ملاحظات مربوط به آن ممکن است مستقیم به قسمت ریخته‌گری منتقل شود و یا این که به سمت تجهیزات گاز زدا انتقال داده شود. در ایـن قسـمت درپوشـی بـر روی پاتیل مذاب قرار می‌گیرد که با استفاده از اجکتورهایی که از بخار آب تولید شده در واحد بخار تغذیه مـی‌کننـد، باعث ایجاد خلأ بر روی سطح مذاب می‌گردد. خلأ ایجاد شده باعث خروج گازهای اضافی موجود در مـذاب مـی‌شـود. مذاب در این قسمت در حدود نیم ساعت نگه داشته می‌شود. تجهیزات گاز زدا با استفاده از آب، خنک می‌شوند.

۱-۵. سیستم غبارگیر

تولید مذاب در کوره‌های قوس و همچنین عملیات تکمیل ذوب در کوره‌های پاتیلی باعث تولید غبار شده که لازم است از کوره‌ها و همچنین سالن تولید دور و پس از تصفیه به اتمسفر تخلیه شود. این مسئولیت بر عهده سیستم غبارگیر می‌باشد. سیستم غبارگیر به طور کلی از دریچه‌ها، سیستم خنک کننده غبار، داکتهای عبور غبار، فیلترها و فنهای مربوطه تشکیل شده است. شماتیکی از این سیستم در شکل۱-۲ نشان داده شده است. لازم به ذکر است هر سیستم غبارگیر دارای دو عدد فن می‌باشد. در فولادسازی ، زمانهایی که درپوش کوره قوس مثلا برای شارژ قراضه باز است، والو مربوط به عبور غبار از کوره قوس بسته شده و والو غبارگیر سقفی باز خواهد شد. این اقدام باعث می‌شود غبارهای تولیدی در کوره قوس که با باز شدن درپوش به فضا پراکنده می‌شوند، توسط این سیستم جمع‌آوری شود. در زمانهایی که درپوش کوره بسته است، دریچه سقفی کاملا بسته است و غبارگیری از خود کوره قوس صورت خواهد گرفت.



شکل۱-۲. شماتیکی از یکی از سیستم‌های غبارگیر موجود در واحد فولادسازی

۱-۶. قسمت ریخته‌گری

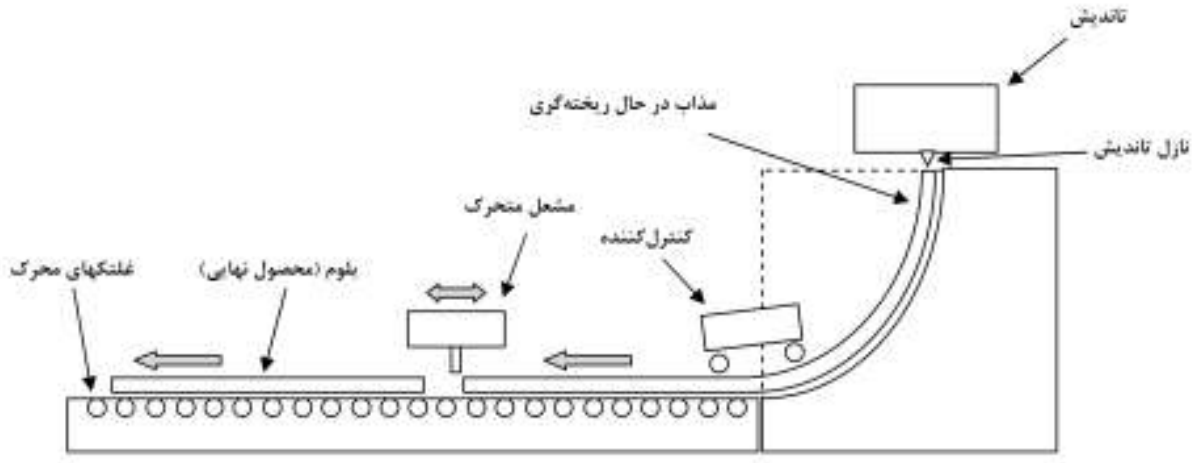
مذاب پس از کوره‌های پاتیلی یا مستقیما و یا پس از تجهیزات گاز زدا به قسمت ریخته‌گری ارسال می‌گردد. ریخته‌گری به دو صورت پیوسته و غیر پیوسته انجام می‌شود. در ادامه به معرفی اجمالی هر کدام از روشهای ریخته‌گری در این کارخانه پرداخته شده است.

۱-۶-۱. ریخته‌گری پیوسته

با انتقال مذاب به بالای تاندیشهای[1] مستقر در قسمت فوقانی ماشین ریخته‌گری پیوسته، مذاب به درون آن ریخته شده و پس از عبور از راهگاهی مخصوص و خنک شدن نسبی، بصورت بلوم ریخته‌گری می‌شود. این اقدام تا زمانی که مذاب به داخل ماشین ریخته‌گری تزریق شود، بصورت پیوسته ادامه پیدا می‌کند. همزمان با پیش روی بلوم بر روی خط ماشین ریخته‌گری، مشعلهای برش آن را در طولهای مورد نظر برش می‌دهند. برای اینکه عملیات برشکاری خللی در ریخته‌گری ایجاد نکند، لازم است مشعل برشکاری در طول مورد نظر به همراه شمش حرکت کند. طرز کار ماشین ریخته‌گری پیوسته بصورت شماتیک در شکل۱-۳ نشان داده شده است.

تاندیشهای مورد استفاده بوسیله مشعلهایی که از گاز طبیعی استفاده می‌کنند، پیشگرم می‌شوند. عملیات خنک کاری در قسمت ریخته‌گری پیوسته بوسیله آبی که از واحد آبرسانی ارسال می‌گردد، انجام می‌شود.

[1] tundish



شکل۱-۳. شماتیک نحوه تولید در قسمت ریخته‌گری پیوسته

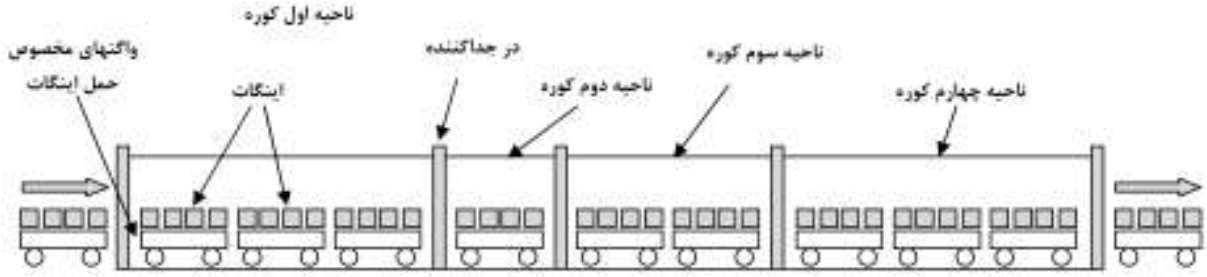
۱-۶-۲. ریخته‌گری غیرپیوسته

در این روش، مذاب به درون قالبهایی ریخته می‌شود. محصول این روش، اینگات نام دارد که بسته بـه ابعـاد آن، وزن متفاوتی دارد.

۱-۷. کوره‌های آماده‌سازی بلوم و اینگات

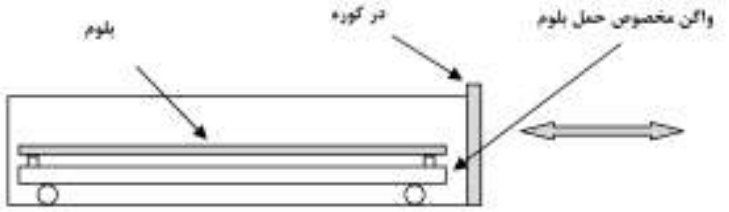
بلوم و اینگات تولیدی بنا به دستورالعمل تولید و یا درخواست مشتری، ممکن است به کـوره‌هـای آمـاده‌سـازی بلوم و اینگات منتقل شوند. محصولات ممکن است بصورت گرم و یا سرد به این کوره‌ها وارد شوند که برای هر مـورد برنامه مخصوصی برای آماده‌سازی وجود دارد.

در واحدهای فولادسازی از کوره تونلی برای آماده‌سازی اینگات و از کوره بـوژی بـه منظـور آمـاده‌سـازی بلـوم استفاده می‌شود. کوره‌های تونلی از دو برنامه اصلی برای آماده‌سازی اینگات استفاده مـی‌کننـد کـه هـر کـدام از ایـن برنامه‌های اصلی دارای دو زیر برنامه برای شارژ گرم و سرد می‌باشند. اختلاف برنامه اصلی در دمای کـوره و اخـتلاف زیر برنامه‌ها در مدت زمان حرارت‌دهی است. این کوره‌ها دارای چهار ناحیه حرارتی بوده که با درهایی از یکدیگر جدا شده‌اند. اینگات با استفاده از واگنهای مخصوص، از یک طـرف وارد کـوره شـده و پـس از طـی مراحـل آمـاده‌سـازی مناسب، از طرف دیگر کوره خارج می‌شوند. براساس برنامه کاری تعیین شده، دمای ناحیه‌های اول و دوم (بـه ترتیـب از ورود) با هم برابر و بالاترین دما در طول کوره می‌باشند. بعد از این نواحی، ناحیه سوم قرار دارد که دمـای کمتـری نسبت به دو ناحیه قبل دارد. قطعه نهایتا بعد از مرحله چهارم با دمای ۳۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی گراد، بسته به گریـد فولاد و برنامه عملیات حرارتی تعیین شده بـرای آن، از کـوره‌هـای مـذکور خـارج مـی‌شـود. در شـکل۱-۴ سـاختار کوره‌های تونلی بصورت شماتیک ارائه شده است.



شکل۱-۴. شماتیک ساختار کوره‌های تونلی موجود در واحد فولادسازی

به منظور آماده سازی بلوم از کوره دیگری استفاده می‌شودکه اصطلاحا کوره بوژی نام دارد. این کوره دارای نواحی مختلف حرارتی نبوده و قطعات از یک طرف وارد کوره شده و از همان طرف نیز از کوره خارج می‌شوند. به منظور آماده‌سازی بلوم، کوره‌های بوژی از سه برنامه اصلی تبعیت می‌کند که هر کدام از این برنامه های اصلی بر اساس شارژ سرد یا گرم، خود دارای دو زیر برنامه می‌باشند. لازم به ذکر است در این کوره از شیب دمایی نیز برای حرارت دادن استفاده می شود، بدین معنی که دمای کوره در هر مرحله با شیب دمایی تعیین شده‌ای به دمای خاصی رسانده شده و سپس به مدت مشخصی در این دما قرار گرفته و سپس مرحله بعدی برنامه شروع می‌شود. تفاوت برنامه‌های اصلی در دمای نهایی و تعداد مراحل حرارت‌دهی است، در حالی که تفاوت زیر برنامه‌ها در مدت زمان نگهداری در دمای ثابت می‌باشد. ساختار کوره بوژی موجود در واحد فولادسازی بصورت شماتیک در شکل۱-۵ نشان داده شده است.



شکل۱-۵. شماتیک ساختار کوره بوژی موجود در واحد فولادسازی

۱-۸. بویلر (کارگاه تولید بخار)

وظیفه کارگاه تولید بخار، تولید بخار مورد نیاز برای تجهیزات گاززدا (VD و VOD) می‌باشد.

فصل دوم

دسته‌بندی تجهیزات موجود در واحد فولادسازی و نحوه انجام اندازه‌گیری بر روی آنها

تجهیزات موجود در واحد فولادسازی بصورتی که در شکل۲-۱ ارائه شده، دسته‌بندی شده است. در ادامه به بررسی نحوه انجام اندازه‌گیری‌های لازم بر روی هر دسته از تجهیزات پرداخته خواهد شد.

شکل۲-۱. دسته‌بندی تجهیزات موجود در واحد فولادسازی

۲-۲. کوره‌های قوس

همان طور که قبلا ذکر گردید، کوره‌های قوس الکتریکی عمده‌ترین مصرف‌کننده انرژی الکتریکی در واحد فولادسازی و همچنین کل کارخانه است. با توجه به اینکه نحوه بهره‌برداری از این تجهیزات می‌تواند تاثیر بسزایی بر مصرف ویژه انرژی آنها داشته باشد، لذا بیشترین توجه نیز بر روی نحوه بهره‌برداری از این کوره‌ها متمرکز خواهد شد.

قبل از این مرحله لازم است، مقدار پارامترهایی که قابل اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل هستند، اندازه‌گیری شود. از داده‌های اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل به منظور صحت سنجی داده‌های بهره‌برداری موجود در کارخانه استفاده می‌شود. اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی کوره‌های قوس الکتریکی در جدول۲-۱ خلاصه شده است.

جدول۲-۱. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره‌های الکتریکی کارخانه فولاد

پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
الکتریکی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه/دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری کارخانه و نتایج اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل صحت‌سنجی شده است.
دبی آب خنک‌کن	سیستم اندازه‌گیری کارخانه/ دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری نصب شده بر روی مجموعه کوره قوس، اندازه‌گیری و با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری واحدهای فولادسازی و آبرسانی و همچنین اندازه گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل، صحت‌سنجی شده است. (نتایج اندازه گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل در قسمت آبرسانی ارائه شده است)
دمای ورود و خروج آب خنک‌کن	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری نصب شده بر روی مجموعه کوره قوس، اندازه‌گیری شده است. (با توجه به موقعیت قرارگیری لوله‌ها، امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل وجود ندارد)
مصرف اکسیژن	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با سیستم اندازه‌گیری نصب شده بر روی مجموعه کوره قوس، اندازه‌گیری و با استفاده از سیستم اندازه‌گیری واحد تفکیک هوا صحت‌سنجی شده است. (با دستگاه‌های پرتابل قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد)
وزن مواد مختلف	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری کارخانه اندازه‌گیری و صحت‌سنجی شده است. (امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل وجود ندارد)

۲-۳. کوره‌های پاتیلی

اندازه‌گیری‌ها در کوره‌ای پاتیلی نیز همانند کوره‌های قوس و با همان هدف انجام می‌شود. در اینجا نیز لازم است میزان مصرف برق برای هر کوره در چندین ذوب با استفاده از دستگاه‌های پرتابل، اندازه‌گیری و با مقادیر متناظر آنها که با استفاده از تجهیزات موجود در کارخانه اندازه‌گیری شده، مقایسه شده است. اندازه‌گیری‌های الکتریکی بر روی تابلوهای ورودی کوره‌های پاتیلی در سطح ولتاژ ۶/۶ کیلوولت انجام می‌گیرد. بقیه اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی کوره‌های پاتیلی در جدول۲-۲ خلاصه شده است.

جدول۲-۲. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره پاتیلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد

پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
الکتریکی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه/دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری کارخانه و نتایج اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل صحت‌سنجی شده است.
دبی آب خنک‌کن	سیستم اندازه‌گیری کارخانه/ دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری نصب شده بر روی مجموعه کوره پاتیلی، اندازه‌گیری و با استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری واحدهای فولادسازی و آبرسانی و همچنین نتایج اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل، صحت‌سنجی شده است. (نتایج اندازه گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل در قسمت آبرسانی ارائه شده است)
دمای ورود و خروج آب خنک‌کن	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری نصب شده بر روی مجموعه کوره پاتیلی، اندازه‌گیری شده است. (با توجه به موقعیت قرارگیری لوله‌ها، امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل وجود ندارد)
وزن مواد مختلف	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری کارخانه اندازه‌گیری و صحت سنجی شده است. (امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل وجود ندارد)

۲-۴. تجهیزات VD و VOD

این کوره‌ها عملا مصرف‌کننده انرژی نبوده و همان طور که قبلا ذکر گردید، در آنها با استفاده از اجکتورهایی که از بخار تغدیه می کنند، خلأ ایجاد می‌شود. لذا عملا این تجهیزات استفاده کننده مستقیم انرژی نبوده و تنها از حامل‌های انرژی استفاده می‌کنند. بررسی زمان ورود و خروج مذاب به این تجهیزات و همچنین زمان ماند مذاب می‌تواند بر روی میزان انرژی مصرفی کوره‌های الکتریکی تاثیر گذار باشد که این داده‌ها از سیستم اتوماسیون سطح ۲ کارخانه استخراج شده است.

۲-۵. سیستم‌های غبارگیر

اندازه‌گیری در این سیستم‌ها شامل اندازه‌گیری مصرف انرژی الکتریکی و همچنین دبی دود خروجی از آنها می‌باشد. بدین منظوربر روی تابلوی ورودی ترانسفورماتور فن‌های غبارگیر اندازه‌گیری‌های الکتریکی انجام می‌گیرد. خلاصه‌ای از پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی سیستم‌های غبارگیر واحد فولادسازی در جدول۲-۳ ارائه شده است.

جدول۲-۳. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی سیستم‌های غبارگیر واحد فولادسازی کارخانه فولاد

پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
الکتریکی	دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از دستگاه‌های پرتابل و بر روی ورودی ترانسفورماتور هر سیستم اندازه گیری شده است.
سرعت، دما و آنالیز دود	دستگاه‌های پرتابل	در دودکش، بعد از خروجی فنها اندازه‌گیری انجام شده است. (در کارخانه سیستمی برای اندازه‌گیری این کمیت‌ها وجود ندارد)

۲-۶. قسمت ریخته‌گری پیوسته

اندازه‌گیری الکتریکی انجام شده بر روی این قسمت شامل تابلوی ورودی ترانسفورماتور قسمت ریخته‌گری می‌باشد. اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی این قسمت در جدول۲-۴ خلاصه شده است.

جدول۲-۴. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی قسمت ریخته‌گری پیوسته واحد فولادسازی کارخانه فولاد

پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
الکتریکی	دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتابل	با استفاده از دستگاه‌های پرتابل و بر روی ورودی ترانسفورماتورهای ورودی اندازه گیری شده است.
وزن محصولات	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	با استفاده از سیستم اندازه‌گیری کارخانه اندازه‌گیری و صحت سنجی شده است. (امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل وجود ندارد)

۲-۷. کوره‌های تونلی و بوژی

این کوره‌ها که به منظور آماده‌سازی بلوم و اینگات مورد استفاده قرار می‌گیرند، از مصرف کننده‌های گاز طبیعی در واحد فولادسازی به شمار می‌روند. به منظور تعیین راندمان این کوره‌ها لازم است آنالیز، دبی و دمای دود خروجی از آنها و همچنین دمای بدنه کوره اندازه‌گیری شود. خلاصه اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی این تجهیزات در جدول۲-۵ ارائه شده است.

جدول۲-۵. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی کوره‌های تونلی و بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد

تجهیز	پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
کوره‌های تونلی	سرعت، دما و آنالیز دود	دستگاه‌های پرتابل	بر روی ورودی و خروجی نواحی مختلف کوره ۲ (به جز ناحیه ۲ که خروجی آن قابل اندازه‌گیری نمی‌باشد) اندازه‌گیری انجام شده است. البته خروجی‌ها پس از اختلاط با هوا قابل اندازه‌گیری است. در کارخانه سیستمی برای اندازه‌گیری این کمیت‌ها وجود ندارد.
	دمای بدنه	دستگاه‌های پرتابل	دمای قسمتهای مختلف بدنه کوره‌های تونلی ۱ و ۲ اندازه‌گیری شده است.
کوره بوژی	سرعت، دما و آنالیز دود	-	مکان مناسب برای اندازه‌گیری وجود ندارد. ضمن آنکه سیستمی در کارخانه برای اندازه‌گیری این کمیت‌ها وجود ندارد.
	دمای بدنه	دستگاه‌های پرتابل	دمای قسمتهای مختلف بدنه کوره بوژی اندازه‌گیری شده است.

۲-۸. بویلر (کارگاه تولید بخار)

همان طور که قبلا اشاره گردید به دلیل اینکه تمام بخار تولیدی توسط بویلر در تجهیزات گاز زدای واحد فولادسازی مصرف می‌شود، لذا عملا می‌توان این کارگاه را جزئی از واحد فولادسازی به شمار آورد. به همین دلیل نتایج اندازه‌گیری‌ها نیز در این قسمت ارائه خواهد شد. این نتایج در جدول۲-۶ آورده شده است.

جدول۲-۶. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری بر روی بویلر کارگاه تولید بخار کارخانه فولاد

پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
میزان گاز طبیعی مصرفی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	این کارگاه مجهز به کنتور با تصحیح‌گر دما و فشار می‌باشد. (این کمیت قابل اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل نمی‌باشد)
میزان بخار تولیدی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	این کارگاه مجهز به کنتور برای اندازه‌گیری میزان بخار تولیدی می‌باشد. (این کمیت قابل اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل نمی‌باشد)
سرعت، دما و آنالیز دود	دستگاه‌های پرتابل	در دودکش بویلر اندازه‌گیری شده است. (کارخانه سیستمی برای اندازه‌گیری این کمیت ندارد)
دمای بدنه	دستگاه‌های پرتابل	دمای قسمتهای مختلف بدنه و همچنین لوله‌های انتقال بخار اندازه‌گیری شده است.

۲-۹. تجهیزات جانبی

اندازه‌گیری‌ها در این بخش شامل اندازه‌گیری‌های مربوط به مصرف انرژی الکتریکی می‌باشد.

جدول۲-۷. پارامترها و نقاط اندازه‌گیری برروی تجهیزات واحد فولادسازی

تجهیز	پارامتر اندازه‌گیری	نحوه انجام اندازه‌گیری	توضیحات
سیستم‌های پیشگرمایش پاتیل و تاندیش	-	-	به دلیل عدم وجود کنتور مجزا و عدم امکان اندازه‌گیری با دستگاه‌های پرتابل، امکان اندازه‌گیری دبی گاز مصرفی وجود ندارد. همچنین به دلیل عدم وجود داکت برای خروجی گازهای حاصل از احتراق، امکان اندازه‌گیری آنالیز دود وجود ندارد.
تجهیزات جانبی	الکتریکی	دستگاه‌های پرتابل	با اندازه‌گیری ورودی فولادسازی و همچنین سیستم‌های غبارگیر و ریخته‌گری، مصرف انرژی الکتریکی تجهیزات جانبی قابل محاسبه است.
واحد فولادسازی	الکتریکی (ورودی)	دستگاه‌های پرتابل	این ورودی تجهیزات الکتریکی به جز کوره‌ها را تغذیه می‌کند.
	گاز طبیعی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	گاز طبیعی مصرفی واحد فولادسازی توسط دو کنتور PU 03 و PU 21 اندازه‌گیری می‌شود. (دستگاه‌های پرتابل قادر به اندازه‌گیری این کمیت نمی‌باشند)
	نیتروژن و آرگون	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	از آنجائیکه کل نیتروژن و آرگون تولیدی توسط واحد تفکیک هوا در واحد فولادسازی مصرف می‌شود، لذا برای تعیین میزان مصرف این گازهای صنعتی، از سیستم اندازه‌گیری مستقر در واحد تفکیک هوا استفاده شده است. لازم به ذکر است نیتروژن و آرگون به جز واحد تفکیک هوا، در هیچ واحد دیگری اندازه‌گیری نمی‌شود و به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری بوسیله دستگاه‌های پرتابل، امکان صحت‌سنجی وجود ندارد.
	مصرف هوای فشرده	سیستم اندازه‌گیری کارخانه	به دلیل عدم وجود سیستم اندازه‌گیری مجزا برای واحدهای مختلف و همچنین عدم امکان اندازه‌گیری دبی با استفاده از دستگاه‌های پرتابل، امکان صحت‌سنجی وجود ندارد. برای تعیین سهم مصرف واحد فولادسازی از سهم مصرف در مدارک طراحی استفاده شده است.
	آب صنعتی	سیستم اندازه‌گیری کارخانه/دستگاه‌های پرتابل	با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط سیستم‌های اندازه‌گیری واحد آبرسانی و فولادسازی و همچنین نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده بوسیله دستگاه‌ای پرتابل، صحت‌سنجی شده است.

۲-۱۰. جمع‌آوری اطلاعات کنترل فرایند، بازرسی و کنترل کیفیت

در کوره‌های قوس الکتریکی کارخانه های فولاد ، آنالیز و همچنین دمای مذاب اندازه‌گیری می‌شود. آنالیز مذاب منجر به تعیین میزان مواد افزودنی لازم برای تهیه ترکیب مورد نظر می‌گردد.

دبی آب خنک کن کوره قوس در شرایط مختلف تغییر خاصی نمی‌کند مگر در مواقعی که لازم باشد تعمیراتی بر روی لوله‌های آب انجام شود. بنابراین عملا کنترلی بر دبی آب در گردش کوره‌ها انجام نمی‌شود و تغییرات موجود در میزان تلفات حرارتی بر اختلاف دمای آب ورودی و خروجی تاثیر گذار خواهد بود. البته به دمای آب خروجی نیز توجه می‌شود تا از حد مجاز فراتر نرود (لازم به ذکر است بر حسب تجربه و همچنین داده‌های طراحی، میزان دبی به گونه‌ای تنظیم شده که این دما از حد مجاز فراتر نرود).

از طرف دیگر دمپرهای سیستم غبارگیر به گونه‌ای تنظیم می‌شود که در حالت ذوب غبار تنها از کوره قوس کشیده شده و در حالت باز بودن درپوش کوره، صرفا از دریچه سقفی[1] عمل غبارگیری انجام شود.

در کوره پاتیلی نیز آنالیز و همچنین دمای مذاب اندازه‌گیری می‌شود. در این کوره نیز همانند کوره قوس دبی آب خنک‌کن تغییر خاصی نمی‌کند و تغییرات تلفات حرارتی بر روی اختلاف دمای آب ورودی و خروجی تاثیر گذار است. البته در این کوره نیز دمای آب خروجی مورد توجه قرار گرفته تا از حد مجاز فراتر نرود. کنترل دریچه غبارگیر کوره پاتیلی نیز بصورت صفر و یک کنترل می‌شود، بدین معنی که این دریچه یا کاملا باز و یا کاملا بسته است. با توجه به حساسیت دمای مذاب خروجی برای ماشین ریخته‌گری پیوسته، اندازه‌گیری دمای مذاب خروجی از اهمیت خاصی برخوردار است.

فشار خلا از مواردی است که در تجهیزات گاز زدا مورد توجه قرار می‌گیرد. فشار منفی مناسب برای خارج کردن گازهای مورد نظر از مذاب اهمیت دارد.

در ماشین ریخته‌گری پیوسته، دمای مذاب و همچنین سرعت ریخته‌گری دارای اهمیت ویژه‌ای است. دمای آب خنک‌کن نیز از مواردی است که مورد توجه قرار می‌گیرد. همان طور که از فرایند موجود در واحد فولادسازی مشخص است، هر گونه توقفی در تجهیزات انتهایی خط تولید، مانند ماشین ریخته گری پیوسته، می‌تواند بر عملکرد تجهیزات قبل از خود تاثیرگذار باشد. در واقع بسیاری از توقفات کوره‌های قوس الکتریکی به دلیل توقف کوره پاتیلی و یا ماشین ریخته‌گری پیوسته است. بنابراین کنترل ماشین ریخته‌گری پیوسته و همچنین نحوه بهره‌برداری از آن دارای حساسیت خاصی خواهد بود.

آنالیز مذاب مهمترین پارامتر در کنترل کیفیت محصول واحد فولادسازی به شمار می‌آید. درصد مواد مختلف موجود در مذاب بر اساس فرمهایی که در قسمت تکنولوژی تولید تهیه شده، در اختیار واحد فولادسازی قرار می‌گیرد.

[1] canopy

۲-۱۱. بررسی سیستم توزین مواد در واحد فولادسازی

قراضه مصرفی واحد که درون سبدهایی شارژ می‌شود، با استفاده از جرثقیلهای سقفی موجود در واحد وزن می‌شوند. البته ذکر این نکته لازم است که واحد مواد اولیه نیز سبدهای قراضه آماده شده را نیز وزن می‌نمایند که بررسی‌ها نشان می‌دهند، سیستم توزین موجود در واحد فولادسازی از دقت بالاتری برخوردار است.

مذاب تهیه شده با استفاده از ماشینهای انتقال مذاب[1] و همچنین جرثقیلهای موجود در سالن که به منظور حمل و نقل مذاب از آنها استفاده می‌شود، توزین می‌گردد. پس از انتقال پاتیل مذاب به زیر کوره پاتیلی، لازم است مواد افزودنی به مذاب که برای تهیه آلیاژ لازم است نیز توزین شوند. محصولات تولید شده در انتهای ریخته‌گری نیز توزین می‌شوند.

۲-۱۲. گازهای صنعتی

در کارخانه فولاد کلیه گازهای صنعتی تولید شده، در واحد فولادسازی مصرف می‌شود. گازهای صنعتی تولیدی در واحد تفکیک هوا شامل اکسیژن، نیتروژن و آرگون می‌شود که میزان ارسال این گازهای صنعتی در واحد تفکیک هوا اندازه‌گیری و و در هر شیفت، ثبت می‌شود.

اکسیژن در کوره‌های قوس الکتریکی و همچنین به منظور برشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرد که البته میزان مصرف اکسیژن برای برشکاری در مقایسه با مصرف کوره‌های قوس، بسیار کم است. کوره‌های قوس الکتریکی واحد فولادسازی، خود مجهز به سیستم اندازه‌گیری میزان اکسیژن مصرفی می‌باشد که میزان اکسیژن مصرفی در طول یک شماره ذوب را برحسب نرمال مترمکعب اندازه‌گیری و ثبت می‌نماید. با توجه به اینکه اکسیژن ورودی ارسالی از واحد تفکیک هوا عمدتا در کوره‌های قوس مصرف می‌شود و این کوره‌ها مجهز به سیستم اندازه‌گیری هستند، لذا می‌توان میزان اندازه گیری شده با دو سیستم مجزا را با هم مقایسه و داده‌های اندازه‌گیری شده را به نوعی صحت‌سنجی نمود.

۲-۱۳. بخار آب

یکی از حامل‌های انرژی ورودی به واحد فولادسازی کارخانه فولاد ، بخار آب می‌باشد. همان طور که قبلا ذکر گردید بخار آب که توسط کارگاه تولید بخار، تولید و در تجهیزات گاززدای واحد فولادسازی استفاده می‌شود.

[1] transfer car

فصل سوم
ممیزی انرژی الکتریکی

۳-۱. کوره‌های قوس الکتریک

کوره‌های قوس الکتریکی عمده‌ترین مصرف‌کننده انرژی الکتریکی در واحد فولادسازی و همچنین در کل کارخانه به شمار می‌آیند.

از دیگر مواد اولیه مورد استفاده در کوره‌های قوس، آهک می‌باشد. سنگ آهک پس از خرد شدن، وارد کوره آهک‌پزی شده و در آنجا اصطلاحا پخته و سپس در واحد فولادسازی استفاده می‌شود. اندازه دانه‌های سنگ آهک در حدود ۳۰ الی ۵۰ میلی‌متر و ماکزیمم ۸۰ میلی‌متر می‌باشد. آهک پخته شده حداقل باید دارای ۹۰ درصد CaO باشد.

۳-۲. کوره‌های پاتیلی

مواد اولیه پس از ذوب شدن در کوره‌های قوس، از طریق EBT به درون پاتیل‌هایی ریخته می‌شود که این پاتیل‌ها برای انجام عملیات تکمیل ذوب و آماده‌سازی آلیاژ مورد نظر، توسط ماشین‌های مخصوص به کوره‌های پاتیلی منتقل می‌شود. ظرفیت پاتیل این کوره‌ها متنوع می‌باشد. در کوره‌های پاتیلی برای هم‌زدن مذاب درون پاتیل از کویل همزن استفاده می‌شود.

۳-۳. تجهیزات VD و VOD

برخی از آلیاژها براساس برنامه تولید و یا بر طبق درخواست مشتری ممکن است قبل از ریخته‌گری گاز زدایی شوند. این عمل در تجهیزات VD و VOD انجام می‌شود. در این تجهیزات با استفاده از اجکتورهایی که از بخار آب تولیدی در واحد بخار استفاده می‌کنند، گاز درون مذاب تا حد مطلوبی کاهش می‌یابد. البته همان‌طور که قبلا ذکر گردید،گاهی اوقات در کارخانه های فولاد از VOD نیز به عنوان VD استفاده می‌شود بدان معنا که در این تجهیز از اکسیژن به منظور کربن‌زدایی استفاده نمی‌شود.

محفظه[1] VD دارای ایستگاه قرارگیری پاتیل می‌باشد که پاتیل بر روی آن قرار گرفته و لوله‌های آرگون به پاتیل متصل می‌شود. پس از این مرحله درپوش[2] VD بر روی آن قرار گرفته و کاهش فشار درون ظرف آغاز می‌گردد. نقش آرگون به هم زدن مذاب درون پاتیل و همگن کردن آن می‌باشد.

۳-۴. سیستم‌های غبارگیر

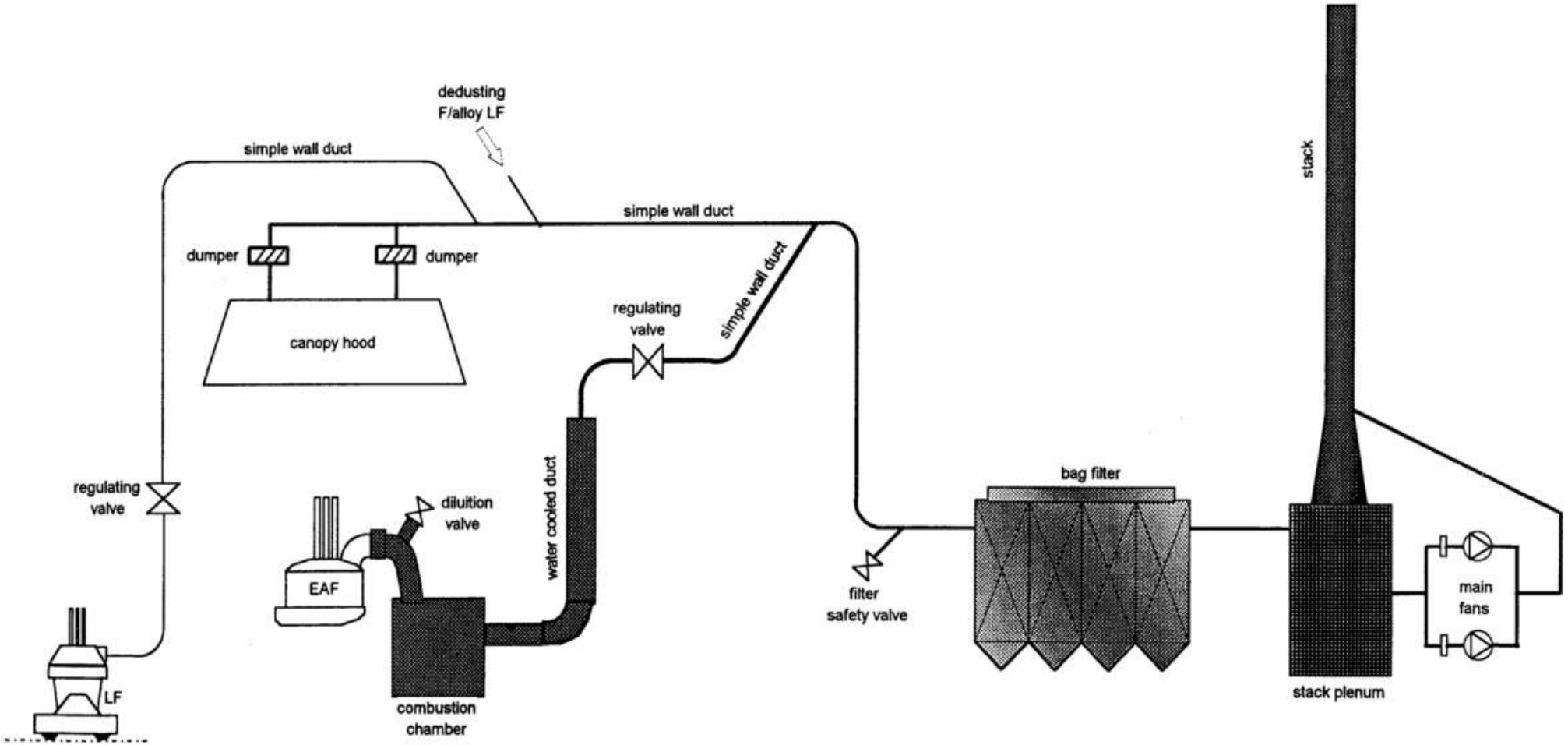
غبار تولید شده در کوره‌های قوس و همچنین کوره‌های پاتیلی توسط سیستم‌های غبارگیر موجود در واحد فولادسازی جمع‌آوری و پس از فیلتر کردن توسط فیلترهای کیسه‌ای به محیط تخلیه می‌گردد. هر سیستم غبارگیر مجموعه ای شامل یک کوره قوس و هود بالای آن و همچنین یک کوره پاتیلی را سرویس می‌دهد. این سیستم در شکل۳-۱ نشان داده شده است.

۳-۴-۱. قسمت ریخته‌گری

همان طور که قبلا ذکر گردید مذاب پس از آماده‌سازی به قسمت ریخته‌گری منتقل می‌شود. ریخته‌گری در واحد فولادسازی بصورت ریخته‌گری پیوسته و غیرپیوسته انجام شده که محصول هر کدام به ترتیب بلوم و اینگات نام دارد. برای انجام ریخته‌گری پیوسته، پاتیل بر روی دستگاهی که در بالای ماشین ریخته‌گری قرار دارد، قرار می‌گیرد. این دستگاه که دارای دو جایگاه قرارگیری پاتیل است، با حرکت چرخشی پاتیل را به بالای تاندیش قرار گرفته بر روی ماشین ریخته‌گری پیوسته، منتقل می‌نماید. لازم به ذکر است پس از قرارگیری پاتیل بر روی ماشین انتقال پاتیل به بالای تاندیش، اتصالات مربوط به هوای فشرده نیز به پاتیل متصل می‌شود که در زمان قرارگیری پاتیل بر روی تاندیش باعث باز شدن دریچه زیر پاتیل و انتقال مذاب از پاتیل به تاندیش، می‌شود. ماشین ریخته‌گری پیوسته با کنترل‌های مخصوص، مذاب را بطور پیوسته بصورت بلوم ریخته‌گری می‌نماید. بلوم پس از ریخته‌گری با استفاده از مشعل‌هایی که از گاز طبیعی و اکسیژن استفاده می‌کنند، در ابعاد مورد نظر بریده می‌شود. همان طور که انتظار می‌رود برای انجام ریخته‌گری لازم است قالب‌ها و خود بلوم در درون ماشین ریخته‌گری با آب خنک شوند.

ریخته‌گری غیرپیوسته با سرازیر شدن مذاب به درون قالب‌هایی انجام می‌شود که به محصول نهایی این نوع ریخته‌گری اینگات گفته می‌شود. برای جدا شدن راحت‌تر قطعه ریخته‌گری شده از قالب، قالبها به شکل هرم ناقص هستند.

[1] vessel
[2] cover



شکل۳-۱. نمونه ای از یک سیستم غبارگیر واحد فولادسازی

فصل چهام
ممیزی انرژی حرارتی

۴-۱. اطلاعات سیستم توزیع و مصرف گاز طبیعی در واحد فولادسازی

گاز طبیعی در واحد فولادسازی کارخانه فولاد به منظور پیشگرمایش پاتیل و تاندیش، آماده سازی بلوم و اینگات در کوره‌های تونلی و بوژی، عملیات برشکاری و مصارف جانبی استفاده می‌شود.

۴-۲. اطلاعات تجهیزات و ماشین‌آلات مصرف کننده انرژی حرارتی

همان طور که قبلا اشاره گردید، انرژی مصرفی در واحد فولادسازی بطور عمده انرژی الکتریکی می‌باشد. گاز طبیعی در واحد فولادسازی کارخانه فولاد در پیشگرمکن‌های پاتیل و تاندیش، کوره‌های تونلی و بوژی، همچنین عملیات برشکاری و مصارف جانبی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه بخار تولیدی توسط کارگاه تولید بخار، در واحد فولادسازی مصرف می‌شود این کارگاه نیز جزئی از واحد فولادسازی در نظر گرفته شده است. بخار تولیدی توسط بویلر، در تجهیزات VD و VOD استفاده می‌شود

۴-۲-۱. کوره بوژی

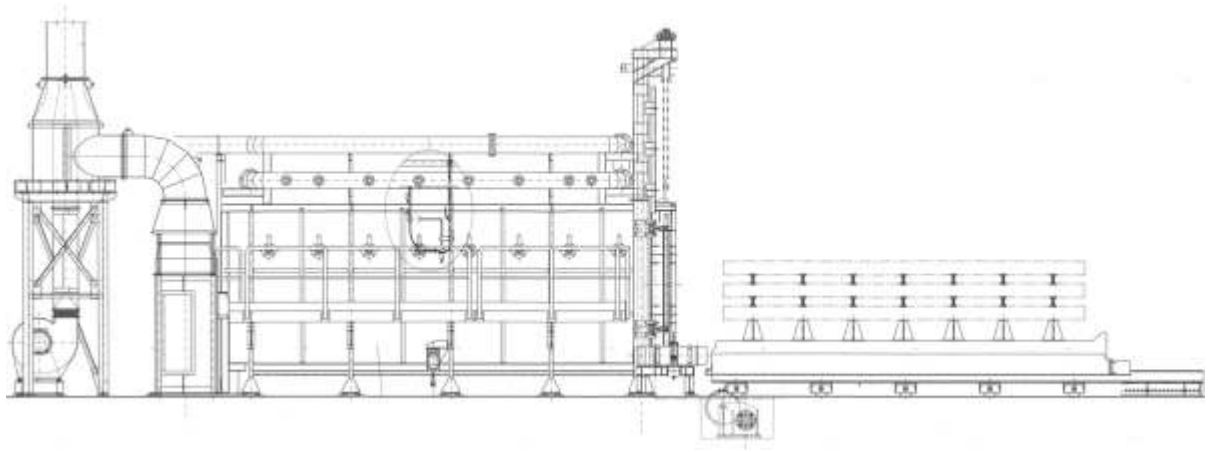
پس از عملیات ریخته‌گری محصولات تولید شده قابل تحویل به واحد نورد سنگین خواهند بود. برخی از بلوم‌های تولیدی برای آماده‌سازی و عملیات آنیل کردن به کوره بوژی که در واحد فولادسازی برای این منظور وجود دارد، منتقل می‌شوند و پس از آن به واحد نورد سنگین تحویل داده می‌شوند.

کوره بوژی برای کار با انواع گریدهای خاص فولاد با مقطع گرد، مستطیلی، مسطح و میله‌ای طراحی شده است. کیفیت مواد نقش مهمی در تغییر دمای سوکینگ[1] دارد، دما ممکن است از ۶۷۰°C برای آلیاژهای گرید پایین تا ۱۰۰۰°C برای آلیاژهای گرید بالا تغییر کند. به منظور اطمینان یافتن از درستی انجام فرآیند، اتاقک کوره با مجموعه ای از مشعل گازسوز طراحی شده است.

همان طور که قبلا ذکر گردید بلوم‌ها با استفاده از واگن مخصوصی به کوره بوژی انتقال داده می‌شود. کوره بوژی تنها از یک محفظه حرارتی تشکیل شده که واگن از یک طرف وارد کوره شده و از همان طرف نیز خارج

[1] Soaking

می‌شود.



شکل۴-۱. نمای جانبی کوره بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد به همراه واگن مخصوص آن

اجزای اصلی کوره بوژی شامل پوشش کوره، درب کوره، واگن کوره، سیستم احتراق، مدارگردش هوای فشرده، سیستم توزیع نیتروژن و تجهیزات الکتریکی می‌باشند.

پوشش کوره:

پوشش فولادی کوره که در معرض گرما است، خیلی مقاوم‌تر از محفظه فولادی مشعل‌ها نیست. این پوشش فولادی از سه دیوار جانبی و یک رویه در سقف تشکیل شده است. این بخش‌ها شامل بلوک‌های سرامیکی به ضخامت ۲۵ سانتی‌متر برای سقف و روپوش برای دیوارها است. همه مشعل‌ها روی دیوارهای جانبی و دستگاههای ترموکوپل و در بالای سقف نصب شده‌اند.

درب کوره:

درب کوره از نوع گیوتینی است که به دو زنجیر آویخته شده است. این در توسط یک طناب و یک قرقره که با موتور AC رانده می‌شود، حرکت می‌کند. وقتی درب بالا قرار گرفته توسط پین‌ها قفل می‌شود تا از افتادن آن جلوگیری شود. یک وزنه تعادل در انتهای طناب است که اگر مشکلی در سیستم حرکتی بوجود آید، تغییرات حرکت را محدود می‌کند. پوشش سطح درب که روی کوره قرار می‌گیرد، از همان موادیست که برای دیوارها استفاده می‌شود.

واگن کوره بوژی:

واگن کوره از یک قالب بسیار محکم، سنگین و جوش خورده تشکیل شده که با تعدادی یاتاقان ثابت شده است. این واگن خارج از محیط کوره نصب می‌شود، و بخش محرک را بکار می‌اندازد.

سیستم احتراق:

سیستم احتراق کوره بوژی از بخش‌های اصلی زیر تشکیل می‌شود:

- مشعل‌ها

- سیستم تغذیه هوای احتراق
- سیستم سوخت گاز طبیعی
- سیستم خروج گاز هدر رفته
- دستگاه‌های کنترل

مشعل:

مشعل‌ها از نوع ضربه‌ای[1] هستند. ویژگی اصلی آن‌ها قابلیت اختلاط بالای سوخت و تغییر خصوصیات کلیدهای روشن/خاموش است. در حقیقت، وقتی مشعل‌ها روشن می‌شوند، در سرعت کامل در ارتباط با ظرفیت گرمایی که با نیاز گرمایش کوره تنظیم می‌شود، به کار می‌افتد. به علاوه، مدت و فرکانس هر عمل کنترل می‌شود. هر مشعل با هوا و گاز طبیعی ، سولنوید[2] و شیرهای معمولی که دبی گاز را تنظیم می‌کنند، پیلوت، لوازم جانبی و یک ردیاب شعله مجهز است. این کوره شامل مجموعه ای از مشعل ها است که در امتداد طول کوره نصب می‌شوند، همچنین تعدادی مشعل روی دیوار چپ و تعدادی بین تکیه‌گاه‌های شارژ روی دیوار سمت راست قرار دارند.

سیستم تغذیه هوای احتراق:

سیستم تغذیه هوای احتراق به منظور تأمین هوای مورد نیاز مشعل و پیلوت طراحی شده است. این سیستم شامل فن ، مجرای هوا، فیلتر و دستگاه کنترل فشار هوا است. اگر تغییرات غیر عادی در فشار هوا ایجاد شود، مشعل خاموش می‌شود.

سوخت:

سوخت این کوره گاز طبیعی است . خط تغذیه گاز طبیعی به دو بخش خط اصلی تغذیه همه مشعل‌ها و خط تغذیه پیلوت‌ها تقسیم می‌شود. هر دو خط به ۳ شیر پنوماتیک مجهز هستند که در مواقع لازم جریان گاز را قطع می‌کند.

خط تغذیه گاز شامل شیرهای دستی، شیرهایی که بصورت پنوماتیکی فعال می‌شوند و اوریفیس می‌باشد. سیستم تغذیه گاز شامل یک فن، یک دستگاه پس‌زنی گاز، دودکش تخلیه گاز، مجراهای گاز و یک فضای فشار ثابت که فشار بالاتری در طی فرآیندها، وقتی مشعل‌ها خاموش‌اند، در کوره ایجاد می‌کند (کمترین فشار قابل قبول ۱Pa است). گاز زائد خروجی از کوره به یک داکت مایل منتقل می‌شود که به بخش پایینی محفظه فشار ثابت مرتبط است. این بخش شامل یک صفحه فولادی عایق شده در قسمت بالا برای دودکش تخلیه گاز زائد که از طریق دو روزنه، هوا در سرعت پایین وارد آن می‌شود.

دستگاه‌های کنترل:

کوره بوژی مجهز به ۳ دستگاه کنترل دما TIC12101، TIC12102 و TIC12103 است، همچنین یک دستگاه

[1] Impulse
[2] Solenoid

کنترل دمای اضافی (TIC12104) از جمله تجهیزات کوره می‌باشد. بخش P.L.C[1] فرآیندهای حرارتی را ثبت و سیگنال دما را برای دستگاه‌های کنترل دما تقویت می‌کند که از طریق پروب‌های ترموکوپل (که در سقف کوره نصب شده‌اند) دمای داخل کوره را نشان می‌دهد.

جریان هوای فشرده:

مدار هوای فشرده هوای فشرده لازم را در دبی‌های مورد نیاز تأمین می‌کند. مدار هوای فشرده معمولا از خروجی هوای فشرده کارخانه تغذیه می‌شود، که یک شیر افت فشار، یک فیلتر هوا، قسمت روغن‌کاری، یک بافر و دو کلید برای فشار جریان جزئی از آن می‌باشند.

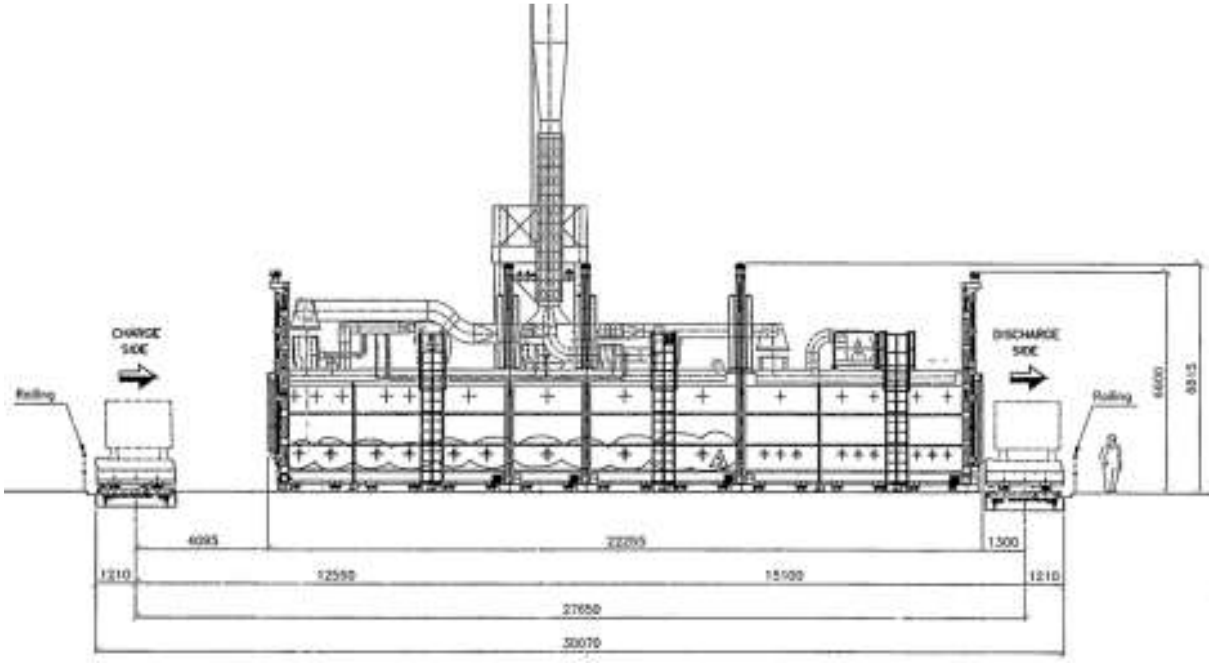
سیستم توزیع نیتروژن:

سیستم توزیع نیتروژن شامل مجراهای نیتروژن لازم و یک شیر است. وظیفه این سیستم پاکسازی و باز کردن تمامی مجراهای گاز، همچنین طی عملیات ارکسیون[2] ، جلوگیری از بیلد-آپ[3] و تمیز کردن مجراها از هرگونه مواد قابل اشتعال است.

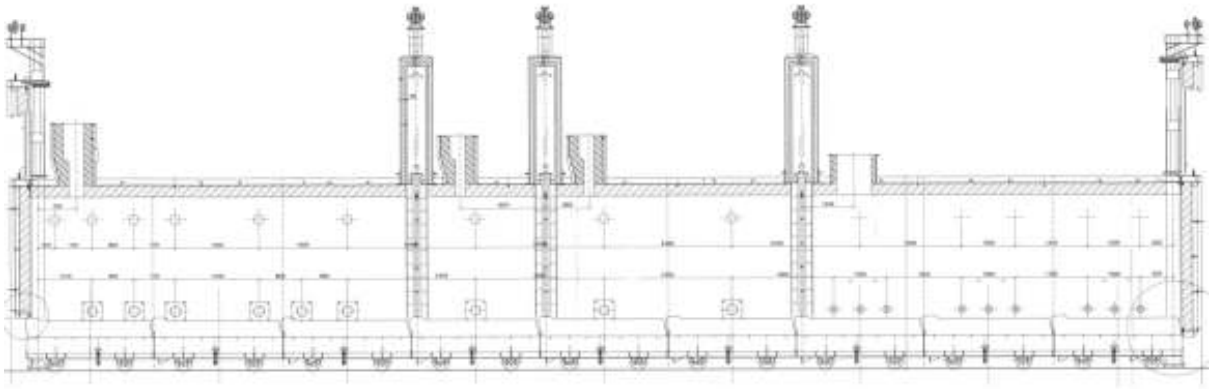
۴-۲-۲. کوره‌های تونلی

در واحد فولادسازی از کوره تونلی به منظور آماده‌سازی اینگات استفاده می‌شود. همان طور که قبلا ذکر گردید، این کوره ها از ۴ ناحیه حرارتی تشکیل شده‌اند که هر ناحیه با دری که بصورت گیوتینی عمل می‌کند، از ناحیه دیگر جدا می‌شود. اینگات‌ها بر روی واگنهای مخصوصی قرار گرفته و به ترتیب وارد نواحی ۱ تا ۴ (به ترتیب از ورود تا خروج کوره) می‌شوند. نمای جانبی یکی از کوره‌های تونلی در شکل۴-۲ نشان داده شده است. نمای برش خورده جانبی این کوره در شکل۴-۳ نشان داده شده است. در این دو شکل ورودی واگنها (اینگات) به کوره در سمت چپ و خروجی در سمت راست شکلها می‌باشد.

[1] Programmable Logic Control
[2] Erection
[3] Build-up



شکل۴-۲. نمای جانبی کوره تونلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد (ابعاد بر حسب میلی‌متر)



شکل۴-۳. نمای برش جانبی کوره تونلی واحد فولادسازی کارخانه فولاد

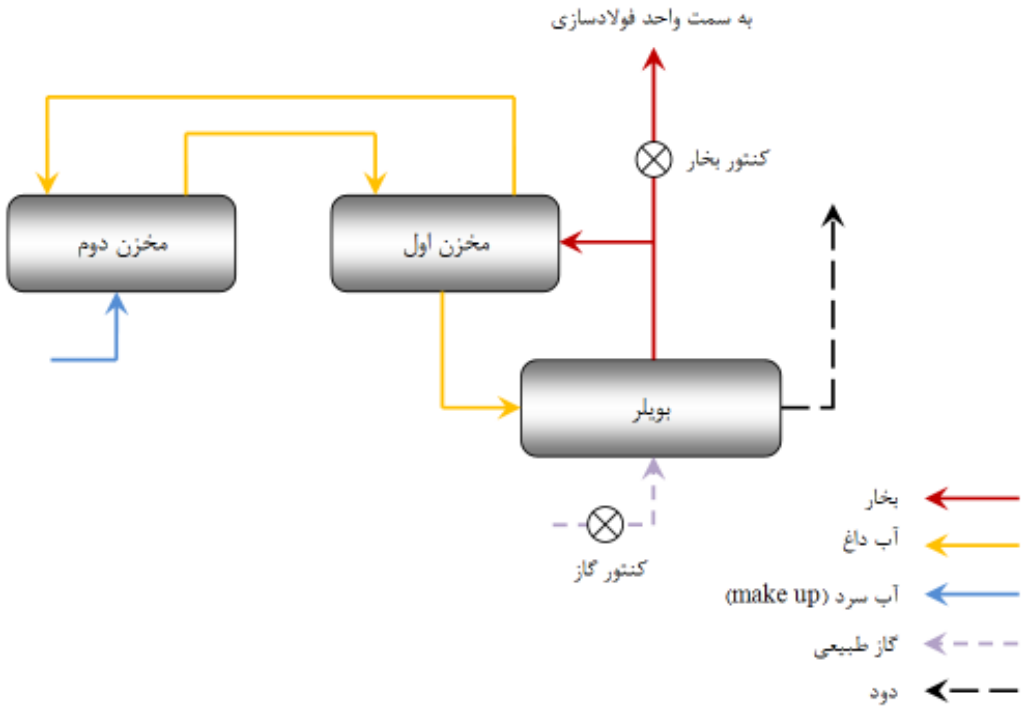
۴-۲-۳. مشعلهای پیشگرمکن پاتیل و تاندیش

با توجه به دمای بالای مذاب و به منظور جلوگیری از شوک حرارتی و همچنین برای خشک کردن، لازم است پاتیلها و تاندیشها قبل از استفاده پیشگرم و یا خشک شوند. این عمل با استفاده از مشعلهای پیشگرمکن که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌نماید، انجام می‌گیرد.

۴-۲-۴. بویلر (کارگاه تولید بخار)

کارگاه تولید بخار که وظیفه آن تولید بخار مورد نیاز برای تجهیزات گاززدا (VD و VOD) می‌باشد، دارای بویلر می‌باشد. این بویلر دارای دو مخزن است، که یکی از آنها که وظیفه تامین آب داغ بویلر را بر عهده دارد، با مقداری از

بخار تولیدی توسط بویلر گرم نگه داشته می‌شود. این در حالی است که مخزن دوم که وظیفه تامین آب دمین مصرفی کارگاه را بر عهده دارد، توسط آب گرمی که از مخزن اول گرفته شده، گرم می‌شود. شماتیک سیستم کاری بویلر کارگاه تولید بخار در شکل۴-۴ نشان داده شده است.



شکل۴-۴. شماتیک سیستم کاری کارگاه تولید بخار

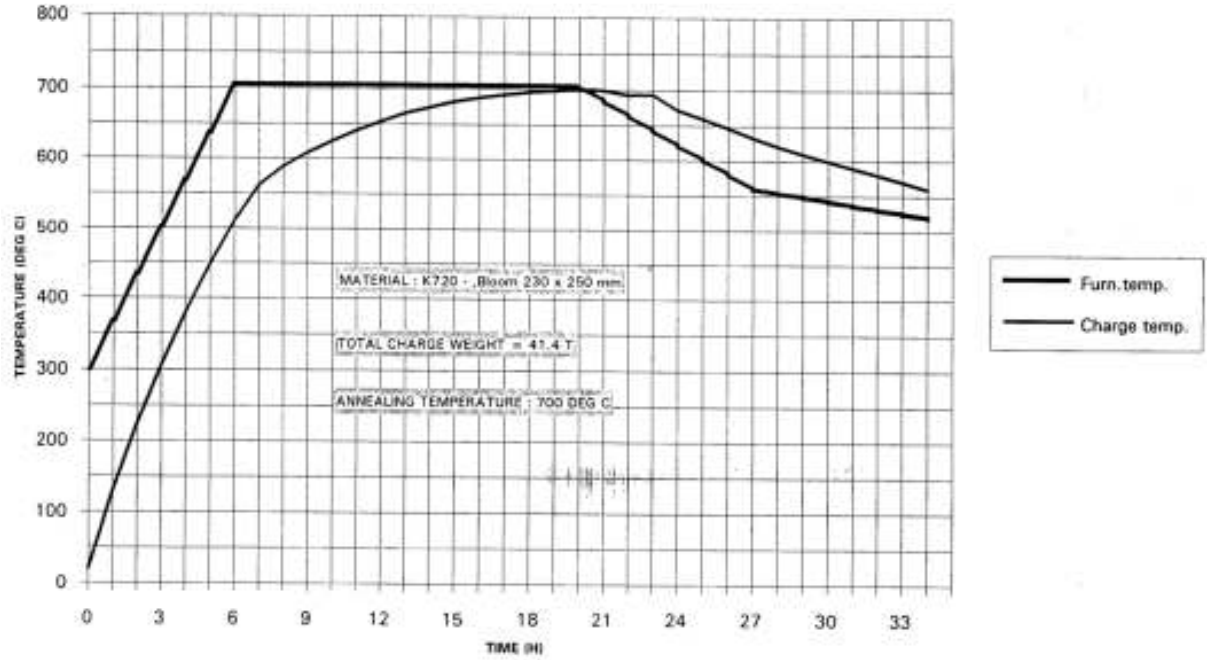
۴-۲-۵. بررسی شرایط کارکرد تجهیزات و انجام اندازه‌گیری‌های لازم

همان طور که قبلا ذکر گردید، تجهیزات مصرف‌کننده گاز طبیعی در واحد فولادسازی ، شامل کوره‌های بوژی و تونلی و مشعلهای پیشگرمکن است. از آنجائیکه بخار تولیدی در واحد تولید بخار، بصورت کامل در واحد فولادسازی مصرف می‌گردد، لذا می‌توان این واحد را جزئی از واحد فولادسازی در نظر گرفت.

٤-۲-٥-۱. کوره بوژی

این کوره به منظور انجام عملیات آنیلینگ بر روی بلوم‌های تولیدی ماشین ریخته‌گری پیوسته مورد استفاده قرار می‌گیرد. البته همان طور که در قسمت قبل ذکر گردید، عملیات آنیلینگ بر روی برخی از آلیاژها انجام می‌شود.

برای عملیات آنیلینگ در کوره بوژی از پروفیل دمایی استفاده می‌شود که نمونه‌ای از این پروفیل دما که در مدارک طراحی برای آلیاژ K720 ، در شکل۴-۵ ارائه شده است.

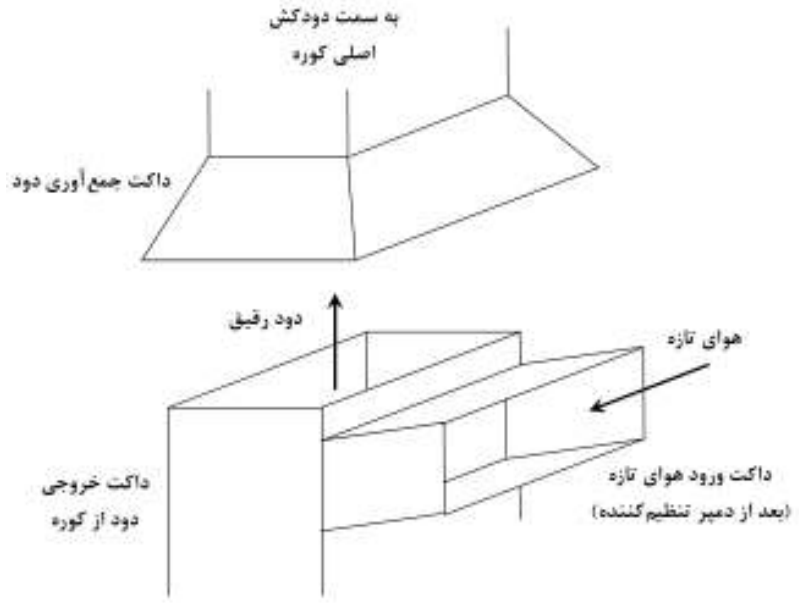


شکل۴-۵. پروفیل دمایی پیشنهادی در مدارک طراحی کوره بوژی واحد فولادسازی کارخانه فولاد برای آلیاژ K720

۴-۲-۵-۲. کوره‌های تونلی

کوره‌های تونلی به منظور آماده‌سازی اینگات‌های تولیدی در واحد فولادسازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در حال حاضر در واحد فولادسازی کارخانه فولاد بسته به نوع آلیاژ، از سه برنامه اصلی (A، B و C) برای آماده‌سازی اینگات در کوره‌های تونلی استفاده می‌شود که هر برنامه از دو زیر برنامه (برای شارژ گرم و یا سرد) تشکیل شده است.

در کوره‌های تونلی در نواحی ۱ تا ۳ مشعل وجود داشته و ناحیه ۴ تنها برای خنک کردن اینگات‌های آماده شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اگزوزهای خروجی نواحی مختلف این کوره‌ها از فشار هوا به عنوان دمپر استفاده می‌شود. این سیستم که در شکل۴-۶ نشان داده شده، به این صورت عمل می‌کند که بسته به فشار کوره (ناحیه مورد نظر)، درصد باز بودن دمپر هوای ورودی به اگزوز تغییر می‌کند. با تغییر درصد باز بودن دمپر، میزان هوای تازه ورودی به دهانه دودکش تغییر می‌کند که این امر به نوبه خود باعث تغییر فشار تحمیل شده بر روی دودکش می‌گردد. بنابراین مثلا در صورتی که فشار کوره از حد تعیین شده کمتر شود، دمپر هوای ورودی بیشتر باز شده و در نتیجه میزان و فشار هوای تازه ورودی به اگزوز افزایش یافته و به این ترتیب فشار تحمیلی به خروجی اگزوز افزایش می‌یابد. نتیجه این کار افزایش فشار کوره می‌باشد. لازم به ذکر است فشار کوره می‌تواند بر روی دمای داخل کوره و همچنین شرایط احتراق تاثیر گذار باشد.

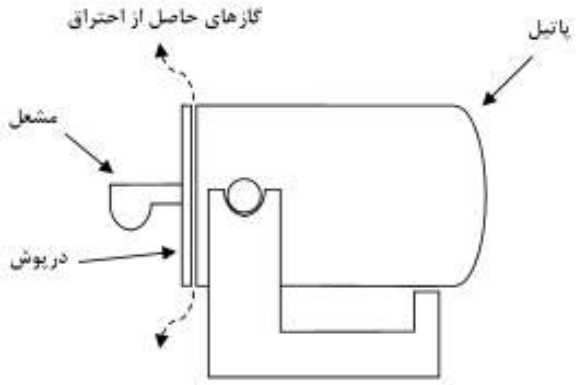


شکل۴-۶. نمای شماتیک اگزوزهای کوره‌های تونلی واحد فولادسازی کارخانه ی فولاد

۴-۲-۵-۳. مشعل های پیشگرمکن

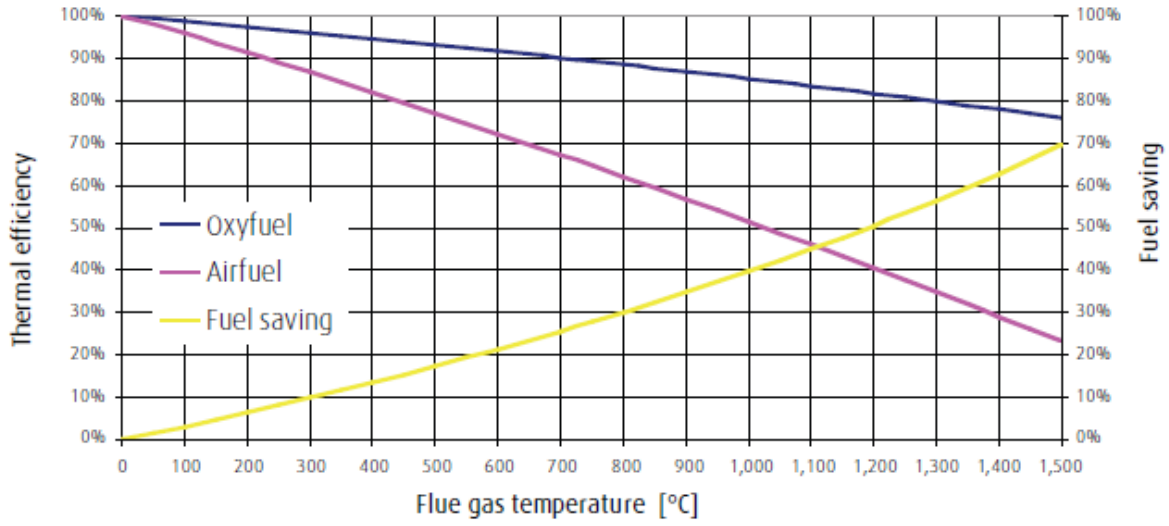
این مشعلها نقش پیشگرمایش پاتیلها و تاندیش‌ها را بر عهده دارند. این پیشگرمایش به منظور جلوگیری از بروز شوک حرارتی انجام می‌گیرد. در واحد فولادسازی، پاتیلها و تاندیشها در صورت عدم استفاده، توسط این مشعلها پیشگرم می‌شوند. بنابراین عملا میزان استفاده از مشعلهای پیشگرم به برنامه تولید و همچنین میزان توقفات خط تولید بستگی دارد.

نحوه کار سیستم پیشگرمایش پاتیل در شکل۴-۷ نشان داده شده است. همان طور که در این شکل مشخص است، پاتیل به منظور پیشگرمایش به صورت افقی در جایگاه مخصوص قرار گرفته و مشعل به همراه درپوش بر روی پاتیل مستقر می‌شود. گازهای حاصل از احتراق از فاصله بین درپوش و لبه بالایی پاتیل به محیط انتقال می‌یابند. عدم امکان استفاده از داکت جمع‌آوری کننده دود و اختلاط کامل دود با هوا، عملا امکان اندازه‌گیری آنالیز گازهای حاصل از احتراق را ناممکن می‌سازد.



شکل۴-۷. شماتیک سیستم پیشگرمایش پاتیل در واحد فولادسازی کارخانه فولاد

یکی از راهکارهای کاهش مصرف سوخت در بخش پیشگرمکن‌ها، استفاده از مشعلهای اکسیژن سوخت[1] است. در شکل۴-۸ عملکرد مشعل‌های هوا/سوخت و اکسیژن/سوخت مقایسه شده است. در این نمودارها راندمان حرارتی و مقدار سوخت صرفه‌جویی شده بر حسب دمای گازهای خروجی از دودکش، برای هر دو نوع مشعل مشخص شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، راندمان حرارتی مشعل اکسیژن/سوخت بطور کلی بیشتر از راندمان مشعل هوا/سوخت است و هرچه دمای دود خروجی بیشتر باشد، اختلاف راندمان‌ها بیشتر می‌شود. بعنوان مثال راندمان مشعل اکسیژن/سوخت در دمای دود ۱۱۰۰ °C حدود ۸۴ درصد است، در صورتیکه راندمان مشعل هوا/سوخت حدود ۴۸ درصد است. مقدار سوخت صرفه‌جویی شده با افزایش دمای دود افزایش می‌یابد. اگر دمای دود ۱۲۰۰ °C باشد، مصرف سوخت ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. در گزارش فاز سوم این موضوع بیشتر مورد توجه قرار خواهد گرفت.



شکل۴-۸. مقایسه عملکرد مشعل‌های هوا/سوخت و اکسیژن/سوخت

۴-۲-۵-۴. بویلر مستقر در کارگاه تولید بخار

بویلر کارگاه تولید بخار به منظور تامین بخار لازم برای تجهیزات گاز زدای موجود در واحد فولادسازی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. به همین دلیل این بویلر عملا جز تجهیزات واحد فولادسازی در نظر گرفته شده است.

[1] Oxy-Fuel Burner

فصل پنجم
شناسایی عوامل موثر بر مصرف انرژی در بخش‌های مختلف فرایند تولید

واحد فولادسازی بیشترین مصرف برق در بین واحدهای تولیدی کارخانه ی فولاد را دارد. عمده انـرژی مصـرفی در این واحد نیز مربوط به کوره‌های قوس الکتریکی می‌باشد. لذا توجه به این تجهیزات و بهینه سازی مصـرف انـرژی در آنها می‌تواند گام موثری در بهینه‌سازی مصرف انرژی الکتریکی در کارخانه به شمار آیـد. مصـرف انـرژی در کـوره قوس تحت تاثیر پارامترهای مختلف می‌باشد که برای تعیـین تـاثیر آنهـا لازم اسـت مقـدار پارامترهـای مختلـف در تعدادی ذوب اندازه‌گیری شود.

به کلی می‌توان گفت عوامل مهم تاثیرگذار بر مصرف ویژه انرژی کوره‌های قوس الکتریکـی تنـاژ محصـول، تنـاژ مواد اولیه، وزن سرباره سازها، دمای مذاب خروجی، مدت زمان تولید، میزان مصرف گـاز طبیعـی (در صـورت وجـود مشعل در کوره)، میزان لانس اکسیژن، میزان اکسیژن مصرفی جهت احتراق (در صورت وجود)، تنـاژ آهـن اسـفنجی مورد استفاده، تناژ مواد مذاب ورودی به کوره (در صورت وجود) و تناژ قراضه خرد شده می باشند [۱].

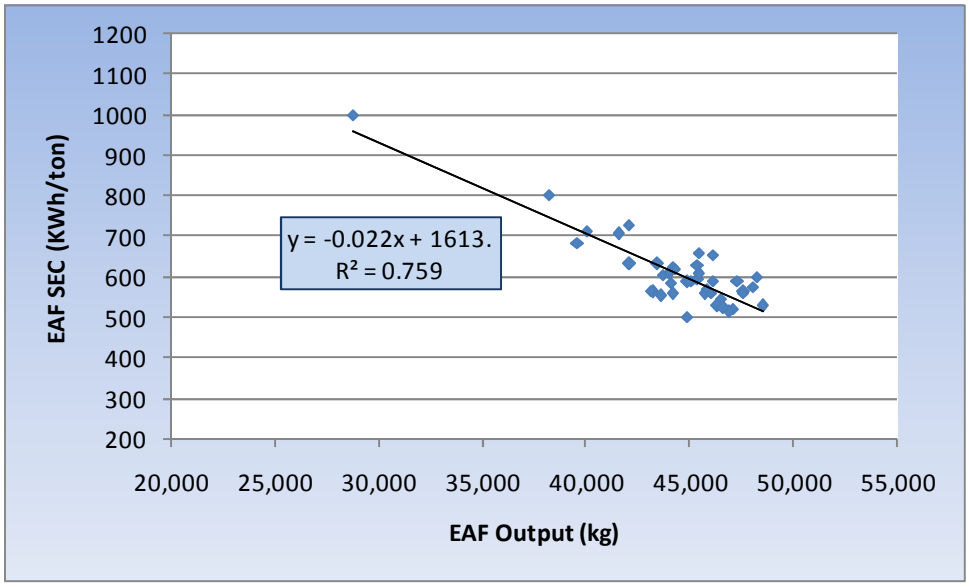
به طور کلی می توان اظهار نمود با افزایش تناژ مواد اولیه مصرف ویژه انرژی کوره‌های قوس الکتریکـی افـزایش می‌یابد[۲]. از آنجا که اتلافات انرژی از کوره غیر قابل اجتناب است، لذا افزایش زمان تولید نیز مـی توانـد عـاملی در جهت افزایش مصرف ویژه انرژی در کوره ها به شمار آید. افزایش لانس اکسیژن در محدوده مجاز را نیز می‌توان یکی از عوامل کاهش مصرف ویژه انرژی ذکر کرد. در دود خروجی از کوره‌های قوس الکتریکی مقـداری مونوکسـید کـربن وجود دارد که در اکثر کوره‌های قوس الکتریکی، این مواد بدون هیچ گونه استفاده‌ای به اتمسفر تخلیـه مـی‌شـود. در کوره‌های قوس الکتریکی مدرن، در قسمت فوقانی نیز از گاز اکسیژن به منظـور احتـراق اسـتفاده مـی‌شـود. گرمـای حاصل از این احتراق عاملی در راستای کاهش مصرف ویژه انرژی به شمار می‌آید[۱].

کیفیت و نوع مواد اولیه نیز از عوامل تاثیرگذار بر مصرف ویژه انرژی کوره‌های قوس الکتریکی می‌باشـد. افـزایش نسبت آهن اسفنجی به مذاب تولیدی، مصرف ویژه انرژی را افزایش داده و افزایش قراضه خرد شده به مذاب تولیـدی باعث کاهش مصرف ویژه انرژی در کوره‌های قوس الکتریکی می‌گردد[۳].

لازم به ذکر است که تاثیر این عوامل می تواند در کوره‌های قوس مختلف، متفـاوت باشـد و بنـابراین لازم اسـت

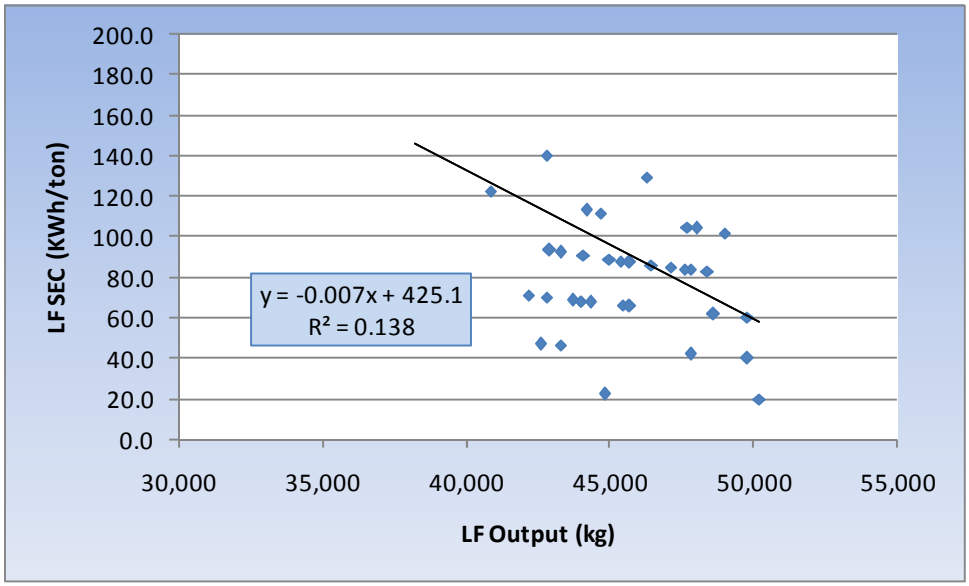
بررسی‌های آماری و دقیقی بر روی داده‌های بهره‌برداری کوره مورد نظر انجام شده تا تاثیر هر کدام از ایـن پارامترهـا بصورت کمی مشخص گردد. در ادامه تاثیر پارامترهای مختلف بر میزان مصرف انرژی بر اساس نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی کوره قوس، مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شـده بـرای ۴۰ ذوب اثر عوامل مهمی چون تناژ محصولات، نسبت آهن قراضه به آهـن اسـفنجی و زمـان Power On بـر مقـدار مصرف ویژه انرژی (SEC) بررسی شده است.

در شکل۵-۱ اثر تناژ خروجی بر مقدار مصرف ویژه انرژی کوره‌های قوس الکتریک مشخص است. در این نمـودار روند نسبتا خوبی بین داده‌ها ملاحظه می‌شود و با در نظر گرفتن معادله خطی مقدار رگرسـیون قابـل قبـولی بدسـت آمده است و می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به طور کلی افزایش تناژ خروجی کوره قوس الکتریک موجب کاهش مقـدار SEC می‌شود.



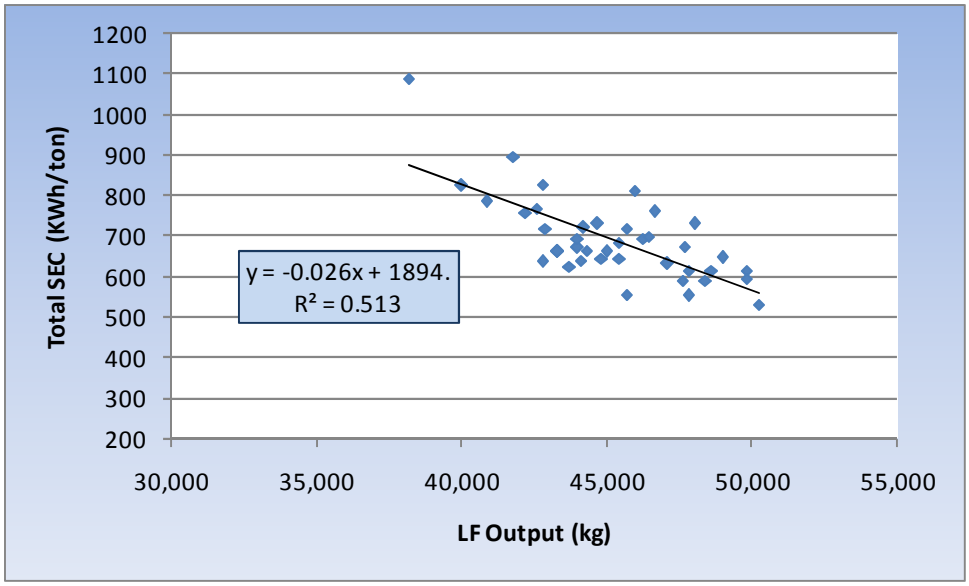
شکل۵-۱. تاثیر تناژ خروجی بر مصرف ویژه انرژی کوره‌های قوس الکتریک

در شکل۵-۲ اثر تناژ خروجی بر مقدار SEC کوره‌های پاتیلی مشخص است. در ایـن نمـودار پراکنـدگی داده‌هـا نسبت به نمودار قبل بیشتر است و مقدار رگرسیون کم شده است ولی می‌توان به طور کلـی نتیجـه‌گیـری کـرد کـه افزایش تناژ خروجی کوره پاتیلی موجب کاهش مقدار SEC کوره‌های پاتیلی می‌شود. این نمودار نشان مـی‌دهـد کـه تاثیر پارامترهای دیگر بر مصرف ویژه انرژی در کوره‌های پاتیلی، هم مرتبه با تاثیر تناژ خروجی می‌باشد.



شکل۵-۲. تاثیر تناژ خروجی بر مصرف ویژه انرژی کوره‌های پاتیلی

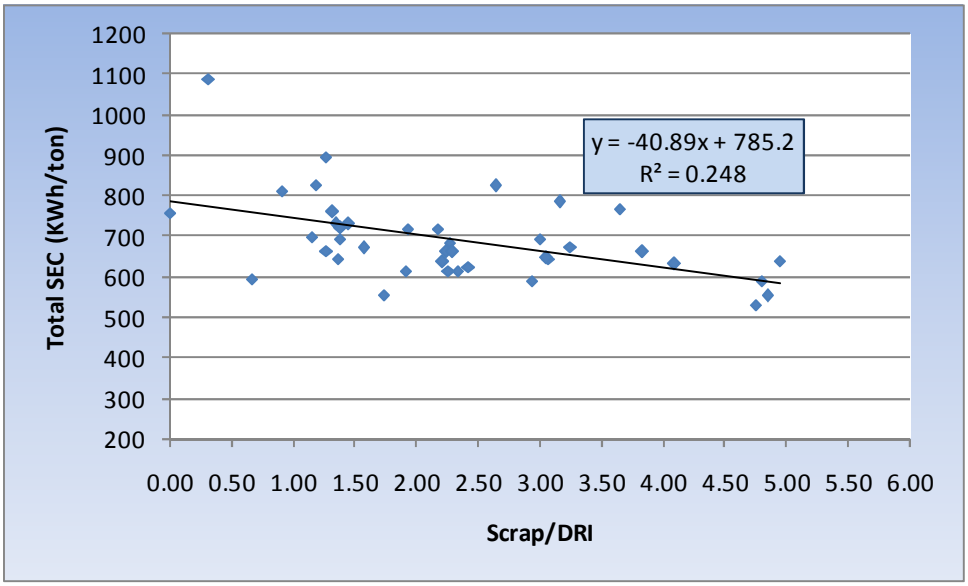
اثر تناژ خروجی کل بر مقدار SEC مجموع کوره‌های قوس الکتریک و پاتیلی در شکل۵-۳ مشخص می‌باشد. منظور از مصرف ویژه انرژی مجموع کوره‌ها، نسبت میزان مجموع انرژی مصرفی در دو کوره قوس و پاتیلی به تناژ خروجی از کوره پاتیلی می‌باشد. در این نمودار مقدار رگرسیون نسبت به نمودار مربوط به کوره قوس الکتریک کمتر شده است. نتیجه کلی این سه نمودار این است که افزایش تناژ خروجی موجب کاهش مقدار SEC می‌شود.



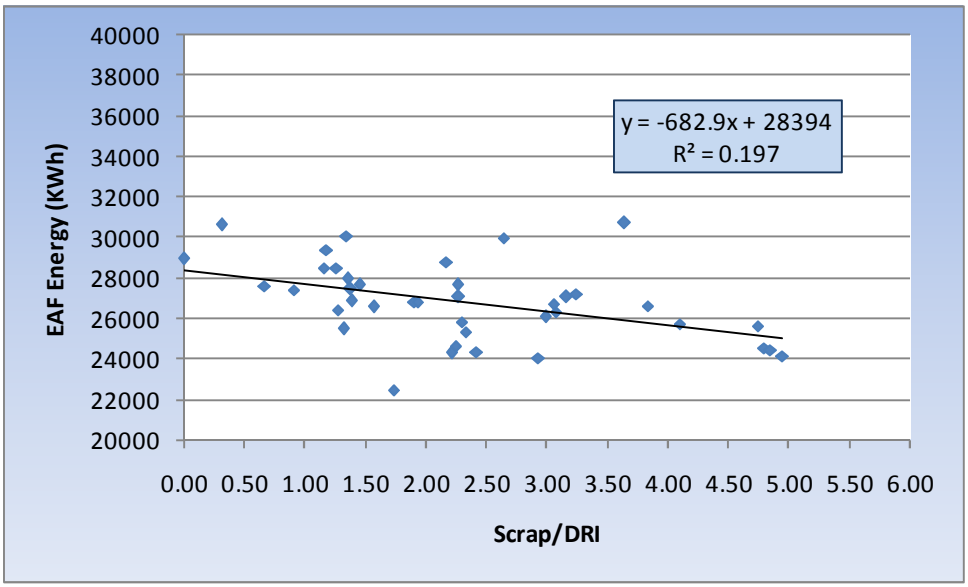
شکل۵-۳. تاثیر تناژ خروجی کوره‌های پاتیلی بر مصرف ویژه انرژی مجموع کوره‌ها

یکی از عوامل مهمی که بر میزان SEC تاثیر می‌گذارد نسبت مصرف آهن قراضه به آهن اسفنجی است. در شکل۵-۴ اثر این عامل بر مقدار SEC مجموع کوره‌ها و در شکل۵-۵ اثر مقدار مصرف انرژی الکتریکی کوره‌های

قوس الکتریک مشخص شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود پراکندگی داده‌ها در شکل۵-۵ بیشتر شده است ولی با در نظر گرفتن مقدار رگرسیون‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هرچه میزان قراضه در مواد اولیه بیشتر باشد، مقدار SEC کمتر و میزان مصرف انرژی الکتریکی می‌شود.

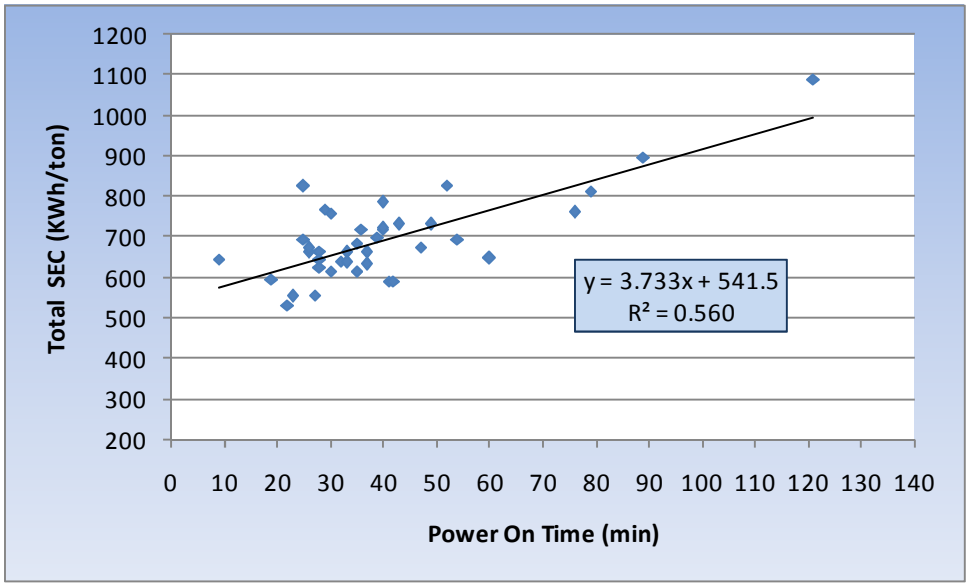


شکل۵-۴. تاثیر نسبت آهن قراضه به اسفنجی بر مقدار مصرف ویژه انرژی مجموع کوره‌ها



شکل۵-۵. تاثیر نسبت آهن قراضه به اسفنجی بر مقدار مصرف انرژی الکتریکی کوره‌های قوس الکتریک

در شکل۵-۶ تاثیر مدت زمان Power On بر مقدار مصرف ویژه انرژی مجموع کوره‌ها مشخص است. در این نمودار مقدار رگرسیون بدست آمده نسبتا خوب است و نشان می‌دهد که مقدار مصرف ویژه انرژی با مدت زمان رابطه مستقیم دارد.



شکل۵-۶. تاثیر مدت زمان Power On بر مقدار مصرف ویژه انرژی مجموع کوره ها

توقفات نیز بر روی مصرف ویژه انرژی واحد فولادسازی تاثیر گذار است. از آنجا که کوره‌های قوس الکتریکی در ابتدای خط تولید واحد فولادسازی قرار دارد، بسیاری از توقفات تجهیزات بعدی خط بر عملکرد این کوره‌ها تاثیرگذار است. از طرف دیگر این کوره‌ها بیشترین مصرف انرژی را در این واحد و همچنین کل کارخانه دارند. در زمان توقف کوره قوس، انرژی الکتریکی مصرفی کوره به صفر می‌رسد و تنها انرژی صرف شده، انرژی معادل برخی از حاملهای انرژی و در برخی از موارد انرژی مصرفی برای سیستم غبارگیر می‌باشد. ولی توقف کوره باعث سرد شدن مذاب درون کوره می‌شود که نتیجه آن صرف انرژی بیشتر برای جبران این تلفات انرژی می‌باشد. از این رو برای بررسی تاثیر توقفات بر مصرف ویژه انرژی واحد فولادسازی بهترین روش، استفاده از بررسی‌های آماری است و با استفاده از چند ذوب محدود نمی‌توان تاثیر این پارامتر (و دیگر پارامترها موثر بر مصرف ویژه انرژی) را محاسبه نمود.

منابع

[1] H. Pfiefer, M. Kirschen, J. P. Simoes, Thermodynamic analysis of EAF electrical energy demand, EEC, 2005, Birmingham.

[2] S. Kohle, Recent improvements in modeling energy consumption of arc furnace, Betriebsforschungsinstitu(BFI), Germany.

[3] M. Kirschen, K. Badr, H.Pfeifer, Influence of direct iron on the energy balance of the electric arc furnace in steel industry, Energy 36, 2011, 6146-6155.