



WHITE PAPERS

ASK-RD-ENG-034

R&D Department

ARYA SEPEHR KAYHAN (ASK) | SHAHID SALIMI INDUSTRIAL CITY, TABRIZ, IRAN

شرکت آریا سپهر کیهان با نام اختصاری ASK، طراح و تولیدکننده پمپ های گریز از مرکز و روتاری و ارائه دهنده راهکارهای بهینه سازی سیستم های فرایندی و پمپاژ می باشد.

توجه!

مقالات تخصصی با عنوان White Papers جهت افزایش دانش عمومی پمپ ها در بخش تحقیق و توسعه این شرکت نگارش شده است. استفاده از این مقالات رایگان می باشد و لازم است جهت استفاده از محتویات آن به موارد ذیل توجه فرمایید:

- 1- انتشار مجدد مطالب مقالات (به شکل اولیه و بدون تغییر در ساختار محتوایی و ظاهری) با ذکر منبع، بلامانع است.
- 2- استفاده تجاری از محتویات مقالات در نشریات مجاز نمی باشد.



کوره‌های ذوب القایی

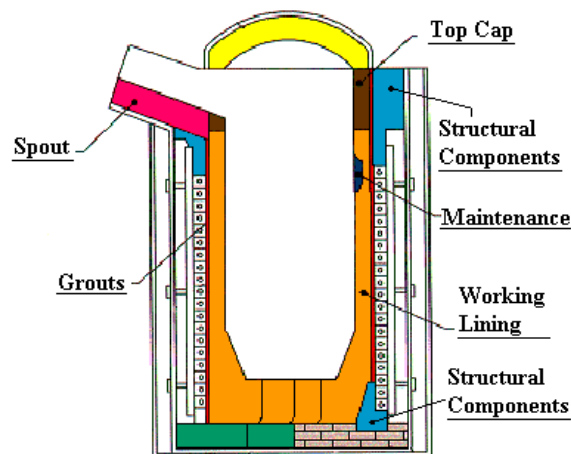
کوره‌های ذوب القایی در فولادسازی

۱. مقدمه‌ای بر کوره‌های ذوب القایی

امروزه ذوب القایی به صورت گسترده‌ای در تولید و ریخته‌گری فولادها و همچنین ذوب آلومینیوم، مس، روی و سایر انواع فلزات غیرآهنی استفاده می‌شود. از مزایای ذوب القایی به عنوان مثال می‌توان به راندمان بالای مواد و محیط پاک اشاره کرد که باعث تمایل تولیدکنندگان محصولات فلزی به کوره‌های ذوب القایی شده است.

در کوره‌های ذوب القایی، جریان الکتریکی القا شده توسط میدان مغناطیسی، ایجاد حرارت می‌کند و این حرارت باعث ذوب مواد (معمولاً فلزات) می‌شود. فلز درون بوت‌های قرار می‌گیرد که اطراف آن کلاف‌های مغناطیسی پیچیده شده است و توسط جریان آب خنک می‌شوند. جریان موجود در کلاف‌های مغناطیسی، جریان‌های گردابی یا فوکو (Eddy Current) را در فلز القاء می‌کند که باعث ایجاد حرارت و ذوب فلز می‌شود. از مزایای حرارت‌دهی القایی:

- عدم تماس فیزیکی با قطعه
- دور بودن منبع تولید انرژی حرارتی از قطعه
- راندمان بالا
- عدم اکسیداسیون
- شرایط محیطی تمیز
- ایجاد گرمایش زیاد بطور یکنواخت و هم‌زمان با سرعت بالا
- امکان کنترل دقیق دما
- امکان ایجاد سیستم اتوماسیون حرارت‌دهی



شکل ۱: طرح‌واره یک کوره ذوب القایی

مهم‌ترین انواع کوره‌های القایی، کوره القایی بدون هسته^۱ و کوره‌های القایی کانالی^۲ هستند.

در کوره القایی بدون هسته فلز درون یک پوشش نسوز که به وسیله کلاف احاطه شده است، نگهداری می‌شود. در این حالت کوره ذوب القایی مشابه یک ترانسفورماتور است که فلز مانند یک کلاف ثانویه در ترانسفورماتور عمل می‌کند و با اعمال نیرو به کلاف اولیه احاطه‌کننده فلز، جریان‌های گردابی القا شده و تولید حرارت می‌کند. پس از ذوب فلز، هم زدن و همگن‌سازی به طور طبیعی و در اثر وجود نیروها و جریان‌های الکترومغناطیسی اتفاق می‌افتد. با انتخاب دقیق فرکانس و نیرو می‌توان سرعت ذوب و همگن‌سازی را کنترل کرد.

کوره‌های القایی کانالی در گذشته عموماً برای نگهداری فلز مذاب در یک دمای مشخص کاربرد داشته‌اند، اما امروزه گاهی اوقات برای ذوب فلزات نیز به کار می‌روند. این کوره شامل یک القاگر (سلف) به عنوان منبع تولید انرژی است که از چندین رشته کلاف که توسط آب خنک می‌شوند، تشکیل شده است. این کوره‌ها تلاطم سطحی کمتری در بوته نگهداری فلز مذاب دارند، در نتیجه خروج گاز و مواد فرار با مشکل مواجه می‌شود. لذا جهت عملیات ذوب، کوره القایی بی‌هسته ترجیح داده می‌شود و کوره کانالی بیشتر به منظور نگهداری فلز مذاب در یک دمای مشخص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در حالی که کوره‌های ذوب القایی کانالی دارای فرکانس خطی هستند، کوره‌های بدون هسته می‌توانند از هر سه نوع فرکانس شبکه (۵۰ هرتز)، فرکانس متوسط (۱۲۰۰-۲۰۰ هرتز) و فرکانس بالا (بیش از ۱۲۰۰ هرتز) باشند. با توجه به این که شروع به کار کوره‌های فرکانس شبکه با شارژ ماده سرد بسیار آهسته است، استفاده از کوره‌های فرکانس متوسط و بالا مورد توجه بیشتری قرار دارد.

استفاده از کوره‌های ذوب القایی در ظرفیت‌های پایین‌تر از ۴۰ تن می‌تواند منجر به تولید مذاب با کیفیت مناسب و ارزان شود. از مزایای این نوع کوره‌ها می‌توان به اپراتوری و کارکرد آسان و همچنین افزایش راندمان ذوب فلز اشاره کرد. امکان راه‌اندازی و شروع به کار فوری کوره باعث کاهش در زمان رسیدن به دمای کارکرد می‌شود. وجود همگن‌سازی به صورت طبیعی و تولید مذاب پاک و عدم نیاز به سیستم‌های کنترل آلودگی با هزینه بالا از مزایای دیگر کوره‌های القایی محسوب می‌شود. از دیگر نکات مثبت این کوره‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ❖ عدم نیاز به فضای زیاد و توانایی افزایش سرعت ذوب در کوره‌های کوچک
- ❖ مصرف کمتر مواد، به خصوص مواد نسوز و کاهش زمان تعویض پوشش‌های نسوز و عدم نیاز به مصرف الکترو

گرافیتی

- ❖ پایین بودن آلودگی صوتی به نسبت انواع دیگر کوره‌های ذوب به میزان قابل توجه

¹ Coreless furnace

² Channel Furnace

- ❖ بهره‌وری بالای انرژی
- ❖ هزینه پایین سرمایه‌گذاری و تجهیزات جانبی
- ❖ اپراتوری بسیار ساده به علت وجود بخش کنترل کامل الکترونیک
- ❖ عدم آلودگی و اکسیداسیون بار به علت عدم وجود گاز و شعله اکسیدکننده
- ❖ شروع به کار سریع و عدم نیاز به پیش گرم یا ذوب اولیه
- ❖ سرعت بالای انجام عملیات در مقایسه با سایر کوره‌ها
- ❖ راندمان بسیار بالاتر نسبت به کوره‌های سوختی
- ❖ قابلیت تهیه آلیاژهای یکنواخت به علت چرخش داخل مذاب
- ❖ قابلیت تهیه و نگهداری ذوب در ظرفیت‌های مختلف
- ❖ سادگی عمل تغذیه و تخلیه
- ❖ امکان کنترل دقیق درجه حرارت
- ❖ قابلیت ذوب قراضه
- ❖ اشغال فضای کمتر نسبت به سایر کوره‌ها
- ❖ عدم تاثیر بر آلودگی محیط زیست

از طرف دیگر مهم‌ترین اشکال کوره‌های القایی، دشواری در فرآیند فسفرزدایی و انجام عملیات متالورژیکی ثانویه است. در نتیجه وجود کوره‌های پاتیلی‌آدر کنار این کوره‌ها جهت انجام فرآیند تصفیه و افزودن عناصر آلیاژی لازم است. از دیگر معایب این کوره‌ها، ظرفیت پایین‌تر تولید به نسبت کوره‌های قوس الکتریک می‌باشد. همچنین در کوره‌های القایی باید از قراضه با کم‌ترین آلودگی و مواد اکسیدی استفاده نمود که گاهی این مساله دشوار و باعث افزایش هزینه‌های اولیه می‌گردد.

همچنین استفاده از آهن اسفنجی به عنوان شارژ کمکی برای تنظیم خواص شیمیایی در این کوره‌ها موجب بهبود عملکرد کوره‌های ذوب القایی شده است. با استفاده از آهن اسفنجی میزان کربن مذاب براساس مشخصات خواسته شده قابل تنظیم بوده و باتوجه به این‌که در آهن اسفنجی عناصر و فلزات مضر وجود ندارد، فلز مذاب به دست آمده تمیز و عاری از عناصر مضر خواهد بود.

قبل از ورود مواد فلزی به کوره آنالیز شیمیایی این مواد جهت دستیابی به مشخصات نهایی محصول، به دقت کنترل می‌شود. اگر میزان کربن، گوگرد و فسفر در شارژ فلزی بالا باشد، مقدار بیشتری آهن اسفنجی به کوره شارژ می‌شود، پس از اتمام ۸۰

³ Ladle Furnace

درصد ذوب، نمونه‌ای از کوره گرفته می‌شود و در صورتی که مقدار کربن هم‌چنان بالا باشد، مجدداً نرمه آهن اسفنجی به کوره شارژ می‌شود.

از طرفی باید در نظر داشت به دلیل این‌که آهن اسفنجی دارای تخلخل می‌باشد و همین عامل باعث مقاومت در عبور جریان می‌شود، جهت جلوگیری از مصرف بالای برق، حداکثر می‌توان ۶۰-۵۰ درصد شارژ فلزی را به آهن اسفنجی اختصاص داد. تحقیقات جدید و توسعه در تامین نیرو با فرکانس‌های متغیر، بهبود در پوشش‌های نسوز، طراحی القاگر با توان بالا، بازیافت حرارت کوره و استفاده از سیستم‌های کامپیوتری و اتوماسیون موجب بهبود راندمان کوره‌های ذوب القایی و تمایل به استفاده از آن‌ها شده‌اند. علاوه بر این، در سال‌های اخیر با تکنولوژی کوره‌های القایی دوقلو که دارای دو بوته هستند، امکان افزایش راندمان و سرعت تولید مذاب فراهم شده است.

فرآیند ذوب القایی روشی است که به وسیله جریان‌های گردابی القا شده توسط میدان الکترومغناطیسی متغیر، در ماده هادی الکتریسته (معمولاً فلزات) حرارت ایجاد نموده و فرآیند ذوب انجام می‌شود. اساس کار این روش مشابه ترانسفورماتور است. پدیده تلاطم پدیده‌ای بسیار مهم در زمینه کوره‌های القایی می‌باشد. بدلیل وجود میدان مغناطیسی متغیر یک چرخش مذاب در داخل بوته بوجود می‌آید که در مواقعی بسیار مطلوب (مانند ذوب چدن) و در مواقعی بسیار مضر (مانند ذوب مس) می‌باشد. برای تولید چدن از قراضه آهن حدود ۳/۵ تا ۴ درصد کربن می‌باید به این قراضه اضافه نمود. حل کربن در داخل مذاب نیاز به تلاطم زیادی دارد که این امر از طریق انتخاب صحیح فرکانس ایجاد می‌شود.

تلاطم با فرکانس و سطح دهانه بوته رابطه معکوس و با چگالی قدرت رابطه مستقیم دارد. لذا بدین سبب و با در نظر گرفتن این سه پارامتر می‌توان به تلاطم مورد نظر دست یافت.

تلفات انرژی در کوره‌های القایی به شرح زیر می‌باشد:

راندمان حرارتی یک کوره دوار معمولی بین ۱۲ تا ۱۵ درصد می‌باشد. درحالی‌که راندمان الکتریکی تابلوی مبدل فرکانس حدود ۹۷ درصد و راندمان عمومی یک کوره القایی حدود ۷۵ درصد می‌باشد (۵ برابر کوره دوار).

قسمت اعظم تلفات حرارتی در کوئل ذوب می‌باشد که چیزی حدود ۱۸ تا ۲۲ درصد می‌باشد. لذا گوشت لوله ذوب و شکل مقطع آن از پارامترهای مهمی است که باید به آن توجه نمود. حدود ۳ درصد تلفات در تابلوی مبدل فرکانس می‌باشد و چند درصد هم در خطوط ارتباطی و شینه‌های داخل کانال تلف می‌شود. برای کاهش تلفات می‌بایست سطح عبور جریان الکتریکی را زیاد نمود که این امر باعث افزایش مس مصرفی و در نتیجه بالا رفتن قیمت خواهد شد. البته اضافه کردن گوشت لوله کوئل علاوه بر افزایش سطح جریان عبوری مزایای دیگری نیز دارد که از آن جمله افزایش استحکام مکانیکی کوئل و بالا رفتن مقاومت جداره لوله هنگام نفوذ مذاب شده و در نتیجه احتمال انفجار بوته کاهش چشم‌گیری خواهد داشت.

- نرخ ذوب

مقدار انرژی مصرفی به ازاء یک کیلوگرم هر کوره ذوب القایی با هر تکنولوژی و یا هر نوع مواد اولیه‌ای که ساخته شود دارای راندمان مخصوص به خود بوده که نتیجه آن در میزان مصرف انرژی به ازاء یک کیلوگرم ذوب مشهود خواهد بود که اصطلاحاً به آن نرخ ذوب گفته می‌شود. این پارامتر از جمله ابزار قیاس کوره‌های مختلف می‌باشد.

- قسمت‌های مختلف کوره‌های القایی

به طور کلی قسمت‌های مختلف کوره‌های القایی عبارتند از:

الف- بوتنه

حاوی اسکلت فلزی کوره، کوپل، جداره نسوز - هسته ترانسفورمر، چارچوب‌ها و پلات فرم (سکو) کوپل ذوب یک سیم‌پیچ است که از دوران یک لوله مسی حول یک استوانه بوجود آمده آب در درون لوله و جریان برق متناوب از سطح لوله عبور کرده و یک میدان مغناطیسی متغیر را در درون کوپل ایجاد می‌نماید. این کوپل توسط یک بدنه آلومینیومی یا استنلس استیل و یک سری بلوک‌های بتنی مهار شده و بر روی یک جفت پایه آهنی استقرار یافته جریان آب و برق توسط کابل‌های مخصوصی به کوپل اعمال شده و بدین ترتیب بوتنه بوجود می‌آید. سطح داخلی کوپل از یک ملات مخصوص به ضخامت حدود ۵ تا ۱۰ میلی‌متر بر حسب سایز کوره پوشانده شده و بعد روی ملات خاک کوره کوبیده شده و به روش خاصی این خاک پخته می‌شود که محفظه ذوب عملاً شکل می‌گیرد. انتخاب نوع خاک، نحوه کوبیدن خاک و پختن خاک از عمده‌ترین مسایل استفاده از کوره القایی می‌باشد که در جای خود مبحث مهمی را تشکیل می‌دهد.

ب- تاسیسات الکتریکی

شامل دژنکتور، سکیونر، ترانسفورماتور، مبدل فرکانس، خازن‌ها، چوک‌ها، کلیدهای کولرها، مکنده‌ها و تابلوهای کنترل. مهم‌ترین و با تکنولوژی‌ترین و گران‌ترین قسمت یک کوره القایی تابلوی مبدل فرکانس آن می‌باشد. در این بخش برق ۵۰ هرتز ورودی ابتدا یک‌سو شده و سپس توسط مدارات به‌خصوصی به یک برق تک فاز با فرکانس چندین برابر فرکانس ورودی تبدیل شده و سپس به کوپل ذوب اعمال می‌گردد.

پ- تاسیسات خنک‌کن

تاسیسات الکتریکی کوره القایی مثل ترانسفورماتور چوک، خازن‌ها، کلیدهای فشار قوی و تابلو مدار فرمان در محدوده زمانی خاصی می‌توانند کار کنند و اگر از حد معینی گرم‌تر شوند باعث ایجاد مشکلاتی می‌گردند، لذا این تاسیسات باید خنک گردند، خنک کردن تاسیسات الکتریکی می‌تواند با فن، سیستم‌های تهویه مطبوع یا کولر گازی صورت گیرد.

کوپل و بدنه کوره در کوره‌های بوتنه‌ای و کوپل، پوسته اینداکتور، پوسته خنک‌کن و گلوئی کوره در کوره‌های کانال‌دار نیز باید خنک شوند. این قسمت‌ها عموماً با آب خنک می‌گردند (برخی از کوره‌های کوچک کانال‌دار بگونه‌ای طراحی می‌شوند که تمام

قسمت‌های فوق‌الذکر یا قسمتی از آن با هوا خنک می‌شود) و تاسیسات مخصوصی شامل مبدل‌های حرارتی، پمپ، برج خنک-کن و غیره را دارا می‌باشد و معمولاً مقصود از تاسیسات خنک‌کن همین قسمت می‌باشد.

تابلوی مبدل فرکانس توسط یک شبکه آب مقطر خنک می‌شود که مشخصات آب مربوطه و فشار و دبی آن در مسیرهای مختلف حائز اهمیت بسیار است. پمپ‌های بخصوصی جهت گردش آب در تابلو و بوته‌های ذوب تعبیه شده که دبی مورد نیاز را تأمین نماید. از آنجایی که آب مربوطه باید دارای مقاومت الکتریکی بسیار بالایی باشد و ضمناً رسوب ندهد، بسیار مهم است که از آب مقطر استفاده شود و پمپ‌های مربوطه باید از جنسی باشد که زنگ نزنند زیرا زنگ یعنی اکسید آهن و این ناخالصی هدایت آب را زیاد نموده و عبور جریان الکتریکی یعنی تجزیه آب و تولید یون اکسیژن و هیدروژن، که این یون‌ها به نوبه خود باعث هدایت بیشتر شده و در نهایت باعث اختلال در کار کوره می‌گردند.

فشار، درجه حرارت و جریان آب نیز باید مستمراً کنترل شده و در مواقع خطر توسط مدارات خاصی از کار کوره جلوگیری شود. این آب‌ها در دو مدار جداگانه در بوته‌های ذوب و تابلو توسط پمپ‌های مربوط به خود در حال گردش هستند و حرارت ایجاد شده را به مبدل‌های حرارتی انتقال می‌دهند. برج خنک‌کننده نیز مدار آب مخصوص به خود را داراست و آب غیر مقطر خود را خنک کرده و آب نیز به مبدل حرارتی انتقال می‌یابد. در مبدل‌های حرارتی، حرارت این دو آب با یکدیگر تبادل می‌شوند و بدین شکل قسمت‌های مختلف کوره خنک می‌شوند. در این جا ذکر این نکته ضروری است که مبدل‌های حرارتی به دو صورت کلی ساخته می‌شوند.

✓ لوله‌ای

✓ صفحه‌ای

مبدل‌های حرارتی لوله‌ای معمولاً در داخل برج خنک‌کننده تعبیه می‌شوند که این موضوع خود معایبی را بدنبال دارد. از جمله رسوب بر روی این لوله‌ها (به دلیل تبخیر سطحی بر روی لوله‌ها) و دوماً خطر یخ‌زدگی در زمستان (به دلیل این که برج خنک-کننده در فضای آزاد نصب می‌شود)

مبدل‌های صفحه‌ای معمولاً در داخل کارگاه نصب می‌شوند و به همین دلیل خطر یخ‌زدگی در زمستان بسیار کاهش می‌یابد. ثانیاً بدلیل این که عمل تبخیر در داخل مبدل انجام نمی‌پذیرد، میزان رسوب در این مبدل‌ها نسبت به نوع قبل بسیار کمتر است. کلیدهای انتخاب بوته قطعاتی هستند که عمل اتصال تابلو را به بوته مورد نظر میسر می‌نمایند و بصورت دستی و اتوماتیک ساخته می‌شوند که نوع اتوماتیک آن بصورت مکانیکی و بادی می‌باشند.

ت- تاسیسات حرکت بوته

برای کوره‌های بزرگ هیدرولیکی و برای کوره‌های کوچک مکانیکی یا هیدرولیکی است و شامل جک‌های هیدرولیک، پمپ هیدرولیک، مخزن روغن، شیرها، دیگر تاسیسات هیدرولیک و میز فرمان هیدرولیک یا سیستم‌های چرخ‌دنده‌ای دستی یا چرخ دنده‌ای موتوردار.

عملیات تخلیه بوته ذوب توسط دو جک هیدرولیک که در دو طرف بوته تعبیه شده انجام می‌پذیرد که منبع تولید فشار روغن جک هیدرولیک می‌باشد که عملاً در زیر کنسول هیدرولیک جاسازی می‌شود. لازم به ذکر است که در بعضی از انواع کوره‌های ذوب ارزان قیمت از سیستم موتور گیربکس جهت دوران بوته و تخلیه آن استفاده می‌شود که کلاً بیشتر در بعضی کوره‌های چینی استفاده می‌شود.

ارتباط بین بوته‌های ذوب و تابلوی مبدل فرکانس توسط یک سری صفحات پهن مسی برقرار می‌شود که به این صفحات اصطلاحاً شینه گفته می‌شود که اکثراً توسط آب‌خنک می‌شوند. برای این که کوره از شبکه برق ایزوله باشد از یک تراس قدرت به‌عنوان ایزولاتور استفاده می‌شود که علاوه بر ایزوله کردن ولتاژ ورودی را نیز بر حسب نوع طراحی کوره تغییر می‌دهد.

ث- محل استقرار کوره

شامل اتاق محل استقرار بوته^۴، فونداسیون، چاله تخلیه اضطراری، محل استقرار تاسیسات الکتریکی، هیدرولیکی و خنک‌کن و محل استقرار تابلوهای مدار فرمان، تابلوی کنترل مدار آب و میز فرمان هیدرولیک می‌باشد.

ج- تاسیسات تهویه

تاسیسات دوده و غبار گیر، بخصوص در کوره‌های بوته‌ای بزرگ را نیز می‌توان از تاسیسات مهم کوره به حساب آورد. هر کدام از شش قسمت فوق مسائل و برنامه تعمیر و نگهداری مخصوص دارد که این برنامه بسته به نوع کوره (کانال‌دار، بوته‌ای) ظرفیت بوته، فرکانس کوره (خط، متوسط، بالا)، سیستم خنک‌کن کوره، سیستم حرکت بوته و نوع جداره نسوز تفاوت‌هایی داشته اما در اصول هم‌سانی زیادی وجود دارد.

به طور کلی مسائل مربوط به کوره‌های القایی بوته‌ای و کانال‌دار از جمله عوامل موثر در کار کوره، چگونگی کنترل خوردگی و سایش و ... با یکدیگر تفاوت‌هایی دارند لذا بهتر است در این بررسی هر کدام به صورت جداگانه‌ای مورد مطالعه قرار گیرند. در یک تقسیم‌بندی دیگر، قسمت‌های مختلف یک کوره القایی به ترتیب عبارتند از:

۱. تابلوی مبدل فرکانس

۲. تابلوی پمپاژ آب

۳. سیستم هیدرولیک

۴. برج خنک‌کننده به‌همراه مبدل‌های حرارتی

⁴ furnace pit

۵. کلیدهای انتخاب بوته

۶. ترانس ایزوله ورود

۷. شینه‌های ارتباطی

۸. بوته‌های ذوب

- عوامل موثر در کار کوره

مهمترین عوامل موثر در بالا بردن راندمان کاری کوره عبارت است از: اجرای دقیق برنامه تعمیر و نگهداری کوره، شارژ مناسب، اپراتوری صحیح، وضعیت جداره نسوز.

الف) اجرای دقیق برنامه تعمیر و نگهداری کوره

کوره‌های القایی بسته به نوع آن (کانال‌دار، بدون هسته)، ظرفیت آن، مقدار فرکانس، نوع سیستم خنک‌کن، سیستم حرکت بوته و نوع جداره نسوز برنامه تعمیر و نگهداری مخصوص به خود دارد و باید به دقت اجرا شود. اصول و خطوط کلی تعمیر و نگهداری کوره‌های القایی در قسمت‌های بعدی خواهد آمد.

ب) شارژ مناسب

کوره‌های بدون هسته ذوب القایی با فرکانس پایین‌تر از ۲۵۰ هرتز تمام ذوب خود را تخلیه نمی‌کنند تا زمان شارژ بعدی کوتاه‌تر شود. به علت وجود ذوب در این کوره‌ها مواد شارژ باید عاری از روغن و رطوبت باشد در غیر این صورت خطر پاشش ذوب و قطعات شارژ جامد به بیرون از کوره وجود دارد ضمناً وجود روغن و دیگر مواد آلی باعث ایجاد دود در کارگاه می‌شود. سرد بودن سرباره نسبت به ذوب در کوره‌های القایی ضمن این‌که این کوره‌ها را در امر احیای مواد اکسیدی ناتوان می‌کند باعث می‌شود این کوره‌ها نتوانند مقدار زیاد مواد اکسیدی، خاک و سرباره را تحمل کنند و وجود مقادیر زیاد مواد غیر فلزی غیر آلی باعث ایجاد پل بالای ذوب بخصوص هنگام سرد بودن ذوب می‌شود که خود می‌تواند مشکلاتی را در کار کوره ایجاد کند. ابعاد نامناسب شارژ نیز می‌تواند هم مستقیماً به جداره صدمه بزند و هم در ایجاد پل روی ذوب کمک نماید.

پ) اپراتوری صحیح

چرخش و تلاطم ذوب در کوره‌های القایی بدون هسته به خصوص با فرکانس‌های پایین‌تر باعث می‌شود تهیه ذوب با آنالیز معین و همگن و درجه حرارت مشخص و یکنواخت، ساده‌تر شود.

با این حال برای بالا رفتن راندمان و سلامت کوره اصولی را در کار با کوره باید رعایت کرد انتخاب شارژ مناسب، دمای صحیح ذوب در مراحل مختلف، فرآیند تهیه ذوب، شارژ کوره به روش صحیح، اضافه کردن مواد آلیاژی و دیگر مواد افزودنی در زمان‌های صحیح و مقادیر معین، توجه به تابلوهای مدار فرمان و ابزار و وسایل هشداردهنده و توجه به مسائل ایمنی از جمله

وظایفی است که اپراتور کوره (کوره‌دار) هنگام کار با کوره باید رعایت کند، اپراتوری کوره با توجه به نوع کوره ظرفیت آن، نوع ذوب تهیه شده، نوع شارژ مواد جامد و پارامترهای دیگر تفاوت می‌کند.

برنامه تعمیر و نگهداری کوره، انتخاب شارژ مناسب و اپراتوری صحیح از جمله دستورالعمل‌هایی است که معمولاً فروشنده یا سازنده کوره همراه کوره ارسال می‌کند و می‌بایست جهت سلامت و بالا بودن راندمان کوره به آن‌ها عمل کند.

ت) وضعیت جداره نسوز

جداره کوره‌های القایی می‌تواند در اثر سایش مکانیکی به وسیله ذوب و شارژ جامد خوردگی شیمیایی به وسیله سرباره، ذوب و اتمسفر کوره، شوک‌های مکانیکی و حرارتی، کندگی و انهدام در اثر برخورد و تصادم با شارژ جامد شیوه شارژ نامناسب و غیرمتناسب بودن ابعاد و کیفیت شارژ، درجه حرارت بیش از اندازه بالای ذوب آسیب‌دیده یا نازک گردد. (نصب و پخت ناصحیح جداره و هر گونه انفجار به هر دلیلی داخل کوره نیز می‌تواند باعث انهدام یا آسیب به جداره نسوز شود و یا در اثر رسوب مواد غیرفلزی غیرآلی بر جداره ضخیم گردد که هر دو مورد برای کوره مضر می‌باشد. مورد اول (نازک شدن جداره) گرچه در مرحله اول باعث بالا رفتن توان گرمایی کوره می‌شود ولی در مجموع عمر جداره را پایین آورده و گاهی باعث توقف‌های اضافی می‌گردد مورد دوم (ضخیم شدن جداره) باعث پایین آمدن راندمان کاری کوره شده و گاهی در شارژ کردن نیز اختلال ایجاد می‌کند. برای شناخت علل ضخیم‌شدن جداره و نازک‌شدن جداره بر اثر فعل و انفعال شیمیایی باید ترمومتالورژی ذوب، سرباره، اتمسفر کوره و آستر نسوز را شناخت به عنوان مثال وجود اکسیدهای قلیایی در ذوب آلومینیوم در کوره‌هایی با جداره آلومینایی باعث اکسیدشدن آلومینیوم مذاب و تشکیل آلومینا و رسوب آن بر جداره و نتیجتاً ضخیم شدن جداره می‌گردد در صورتی که وجود اکسیدهای قلیایی در کوره‌های با جداره سیلیسی باعث خوردگی شدید آستر نسوز می‌گردد.

ث) کنترل خوردگی و سایش

جداره کوره‌های بوته‌ای بسته به شرایط کاری، نوع جداره از نظر شیمیایی و فیزیکی، نحوه نصب، رطوبت‌گیری و پخت آستر، نوع و کیفیت شارژ جامد و نحوه شارژ می‌تواند هنگام کار ضخیم گردد یا این‌که در اثر سایش، فرسایش خوردگی شیمیایی نازک گردد. نازک شدن به مفهوم نزدیک‌شدن ذوب به کویل و ضخیم‌شدن به معنای دور شدن ذوب از کویل می‌باشد. با نازک‌شدن جداره و نزدیک‌شدن ذوب به کویل فوران مغناطیسی جذب شده توسط کویل افزایش پیدا کرده نتیجتاً آمپری که توسط کویل کشیده می‌شود افزایش پیدا می‌کند. بنابراین اگر مقدار آمپری که توسط کویل در یک ولتاژ معین کشیده می‌شود با یک حجم ذوب معین (درجه حرارت ذوب تاثیر جزئی نیز بر آمپر کشیده شده دارد. به هر حال دقیق‌تر است که درجه حرارت هم تقریباً جهت مقایسه یکسان باشد. در کوره‌هایی که فرکانس متغیر است مقایسه باید در یک فرکانس مشخص صورت گیرد) در حالت جداره نو با حالت جداره خورده شده مقایسه گردد، افزایش آمپر مشاهده خواهد شد. با اضافه شدن مقدار آمپر کشیده شده که بیان‌گر جذب بیشتر فوران مغناطیسی توسط ذوب است خاصیت سلفی (inductive) مدار بیشتر

می‌شود و در نتیجه ضریب توان $\text{COS}\phi$ از یک به سمت خاصیت سلفی منحرف می‌شود و برای یک کردن ضریب توان نیاز به مقدار خازن بیشتری در مدار می‌باشد. بنابراین بهترین راه کنترل خوردگی جداره زمانی که ذوب داخل کوره می‌باشد مشاهده مقدار جریان الکتریکی کشیده شده توسط کویل، ضریب توان و مقدار خازن‌های داخل مدار و مقایسه‌ی آن‌ها با حالت جداره نو می‌باشد. عکس مطالب فوق در هنگامی است که جداره ضخیم گردد بدین معنا که با ضخیم شدن جداره ذوب از کویل دور شده و در نتیجه حجم فوران مغناطیسی جذب شده توسط ذوب کاهش می‌یابد و در نتیجه جریان کشیده شده توسط کویل کم می‌شود و نتیجتاً مدار خازنی می‌شود و ضریب توان از یک به سمت خازنی منحرف می‌گردد و برای یک کردن $\text{COS}\phi$ نیاز است مقداری خازن از مدار خارج شود. بنابراین با کنترل مداوم آمپر کشیده شده توسط کویل ضریب توان $\text{COS}\phi$ و مقدار خازن در مدار برای تصحیح ضریب توان و مقایسه آن با حالت جداره نو می‌توان دریافت که جداره نازک شده است و یا ضخیم. مقاومت حمام زمانی که از مذاب پر است و درجه حرارت ذوب نزدیک به درجه حرارت استفاده می‌باشد و ولتاژ کوره در یکی از ولتاژهای بالا قرار دارد اندازه‌گیری می‌شود این اندازه‌گیری به طور مداوم از زمانی که کوره نوکوبی شده است انجام می‌شود. کاهش مقاومت حمام به معنای نازک شدن جداره و نزدیک شدن ذوب به کویل است و افزایش مقاومت حمام به مفهوم ضخیم شدن جداره و دور شدن ذوب از کویل می‌باشد معمولاً اگر مقاومت حمام ۲۰ درصد کاهش یافت به مفهوم این است که جداره نسوز نیاز به تعمیر دارد.

این نکته را باید یادآور ساخت که با نازک یا ضخیم شدن جداره بالانس فاز کوره هم غیرمتعادل شده و در نتیجه مقدار خازن در مدار برای متعادل کردن فازها نیز تغییر می‌کند اما جهت کنترل خوردگی یا ضخیم شدن جداره نیاز چندانی به کنترل بالانس فاز نمی‌باشد. از طرفی با خورده شدن جداره یا ضخیم شدن آن مقدار حرارت منتقل شده به کویل تغییر یافته و در نتیجه گرمای آب عبوری از داخل کویل تفاوت می‌کند و اختلاف دمای آب ورودی با آب خروجی تغییر می‌کند. با نزدیک شدن ذوب به کویل، اختلاف دمای ورودی و خروجی افزایش و با دور شدن ذوب از کویل اختلاف دمای ورودی و خروجی کاهش می‌یابد. از آنجایی که در افزایش و کاهش دمای آب عوامل مهم دیگری نیز موثر هستند این پارامتر به تنهایی نمی‌تواند معیار سنجش قرار گیرد و در جوار پارامترهای الکتریکی فوق می‌توان از آن بهره گرفت. در برخی از کارخانجات این مفهوم اشتباه به وجود آمده است که نزدیک شدن ذوب به کویل را اهم‌متر کوره نشان می‌دهد، در صورتی که اهم‌متر مقاومت الکتریکی جداره را تعیین می‌نماید و جداره‌ی سالم حتی با ضخامتی معادل کمتر از $1/6$ ضخامتی اصلی دارای مقاومت الکتریکی به اندازه کافی بالائی است که اهم‌متر نتواند تشخیص بدهد. اگر جداره خیس باشد یا در اثر نفوذ ذوب به جداره اتصال کوتاه به وجود آمده باشد اهم‌متر وضعیت را نشان می‌دهد. زمانی که اهم‌متر اعلام خطر می‌نماید (در بعضی کوره‌ها اهم‌متر مقاومت الکتریکی تمامی قسمت‌های تاسیسات الکتریکی کوره و بوته را هم‌زمان کنترل می‌کند. در این حالت باید اول مشخص گردد که اتصال کوتاه در بوته است یا تاسیسات الکتریکی و بعد تصمیمات لازم اتخاذ گردد) چه از خیس شدن جداره

و چه از اتصال کوتاه باشد باید بلافاصله کوره تخلیه گردد و در جهت رفع عیب تلاش شود. یادآوری این نکته ضروری است که در زمان پخت جداره مقاومت الکتریکی جداره به خاطر وجود مختصری رطوبت در جداره، پایین است که این مورد غیر از موارد یاد شده در فوق می‌باشد، بنابراین مشخص است که اهمیت خوردگی جداره را نشان نخواهد داد و هنگامی که اهمیت مشخص می‌کند مقاومت الکتریکی جداره پایین آمده به مفهوم اعلان خطر است و باید کوره بلافاصله تخلیه گردد. پس مقاومت الکتریکی جداره جهت کنترل سلامت جداره باید مرتب و مداوم بازرسی گردد ولی جهت کنترل نازک یا ضخیم شدن جداره در هنگام پر بودن کوره از ذوب، باید ذوب کوره بلافاصله تخلیه گردد. جهت کنترل نازک یا ضخیم شدن جداره در هنگام پر بودن کوره از ذوب، باید از ضریب توان $\cos\phi$ مدار، آمپر کشیده شده توسط کویل و مقدار خازن تصحیح $\cos\phi$ بهره جست. بنابراین جهت کنترل دقیق‌تر وضعیت جداره از روش‌های دیگری هم می‌توان استفاده کرد. در کوره‌های با فرکانس بالاتر از ۲۵۰ هرتز چون ذوب کوره پس از آماده‌شدن کاملاً تخلیه می‌گردد، می‌توان از مشاهده مستقیم نیز استفاده کرد و خوردگی‌های موضعی را تشخیص داد. در کوره‌های با فرکانس شبکه و فرکانس سه برابر (۱۵۰ یا ۱۸۰ هرتز) چون ذوب کوره کاملاً تخلیه نمی‌گردد، مشاهده تمام کوره امکان ندارد اما قسمت‌های فوقانی را می‌توان مشاهده کرد.

- دسته‌بندی کوره‌های القایی

- کوره‌های القایی را بر حسب فرکانس کاری به سه دسته کلی می‌توان تقسیم‌بندی نمود.
 - فرکانس ۵۰ هرتز یا فرکانس اصلی. گاهی مواقع از فرکانس سه برابر آن‌ها نیز در همین دسته‌بندی یاد می‌شود.
 - فرکانس متوسط که از فرکانس حدود ۱۵۰ هرتز تا حدود ۲۰۰۰ هرتز می‌باشد.
 - فرکانس بالا که از ۲۰۰۰ هرتز تا چندین مگاهرتز می‌باشد.
- کوره‌های فرکانس بالایی که به‌عنوان کوره‌های ذوب استفاده می‌شوند جنبه آزمایشگاهی دارند و در مقیاس بسیار کوچک ساخته می‌شوند که موضوع بحث ما نمی‌باشد.
- کوره‌های ۵۰ هرتز که عمدتاً به دو صورت بوت‌های و کانالی ساخته می‌شوند دارای تکنولوژی قدیمی و راندمان عمومی پایین می‌باشند و بدلیل داشتن تلاطم بالا بیشتر برای ذوب چدن استفاده می‌شوند و امروزه هم در بعضی از کارخانجات در حال کار هستند. این کوره‌ها بیشتر فقط به‌عنوان نگه‌دارنده‌های چدن و در ظرفیت‌های چند ده تن توجیه اقتصادی دارند و به‌عنوان کوره‌های ذوب توصیه نمی‌شوند. به‌خصوص این‌که این کوره‌ها را نمی‌توان در ظرفیت‌های پایین تولید نمود.
- کوره ۵۰ هرتز برای شروع به کار از حالت سرد نیاز به بلوک‌های راه‌اندازی دارد و اگر تنظیم نشود یک حالت چرخش به‌هم-خوردگی ایجاد می‌شود که باعث جذب و حل بهتر مواد اضافی و مشتقات کربنی در فلزات مذاب می‌گردد.
- کوره‌های فرکانس متوسط با دو تکنولوژی کاملاً متفاوت در سطح جهان ساخته می‌شوند که به‌عنوان کوره‌های سری و کوره-های موازی به بازار عرضه می‌شوند.

یکی از اجزاء مدار تابلوی مبدل فرکانس خازن است که نوسان جریان در کویل کوره و در نتیجه تلفات حرارتی مذاب را بوجود می‌آورد. اگر این خازن با کویل بدون هیچ واسطه‌ای با یکدیگر به صورت موازی بسته شوند به کوره‌هایی که این گونه تولید می‌شوند کوره موازی می‌گویند و اما اگر این اتصال توسط یک سری سوئیچ قدرت که اصطلاحاً SCR نامیده می‌شوند انجام پذیرد، این مدل از کوره‌ها، کوره‌های سری اطلاق می‌شود. هر دو مدل دارای معایب و مزایای خاص خود هستند و تولیدکنندگان بر حسب نوع منطق خود اقدام به تولید این کوره‌ها می‌نمایند.

از جمله مزایای کوره‌های سری، قدرت‌گیری سریع کوره در ابتدای کار، $\cos\phi$ بالا حتی وقتی که کوره از قدرت حداکثر خود استفاده نمی‌نماید، تولید هارمونیک کمتر و از جمله معایب آن نیاز داشتن به سوئیچ‌های قوی‌تر، گران‌تر شدن قیمت کوره را می‌توان نام برد.

اکثر کارخانجات کوره‌سازی کشورهای اروپایی نوع موازی را تولید می‌کنند و تکنولوژی سری را چند شرکت در دنیا به کار می‌برند مانند اینداکتوترم امریکا، MIT استرالیا و....

راه‌اندازی کوره فرکانس متوسط به صورت سرد با وجود قراضه‌های بزرگ در داخل کوره امکان‌پذیر است. بنابراین خیلی سریع نوع شارژ را در یک کوره می‌توان عوض کرد (مثلاً آلیاژهای مختلف آهن) که این خاصیت از محسنات این کوره‌ها است. به هم خوردگی و چرخش مذاب در این کوره‌ها در واحدهای با دانسیته قدرت بالا و فرکانس پایین‌تر بهتر می‌گردد (برای بهینه کردن چرخش مذاب باید چگالی قدرت و فرکانس را تنظیم کرد). افت حرارتی به آب خنک در این کوره‌ها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌باشد و دانسیته قدرت بالا تا حدود ۱ مگاوات به ازای هر تن از ظرفیت کوره است. در مقیاس با واحدهای هم‌اندازه از نوع فرکانس ۵۰ هرتز، کوره فرکانس متوسط خروجی بالاتری دارد و این منجر به کاهش فضای لازم برای یک ظرفیت خاص می‌شود.

۱. مدیریت انرژی در بهینه‌سازی عملکرد کوره‌های القایی بدون هسته

بیش از نیمی از انرژی کل مصرفی یک کارگاه ریخته‌گری آهن در بخش ذوب استفاده می‌شود. به عنوان نمونه یک کوره القایی بدون هسته برای ذوب یک تن آهن و افزایش دمای فلز تا ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰۰ کیلووات ساعت انرژی مصرف می‌کند و با وجود محدودیت‌های بسیار در این صنایع می‌توان عملکرد این کوره ذوب را به گونه‌ای بهینه کرد تا به صرفه‌جویی قابل توجهی در مقابل هر تن آهن تصفیه شده منجر گردد.

کنترل دقیق تجهیزات به منظور حداقل کردن هزینه‌ها در زمان حداکثر تقاضای شبکه برق و نصب کنترلرهای مربوطه و تصحیح ضریب قدرت و انتخاب درست تجهیزات کوره ضروری است.

الف) اثرات تغییر ضریب قدرت

۰/۳۳	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹	۱	ضریب قدرت
۳/۰	۲/۰	۱/۴۷	۱/۴۳	۱/۲۵	۱/۱۱	۱	افزایش نسبی در جریان
۹/۰	۴/۰	۲/۸	۲/۰۵	۱/۵۶	۱/۲۳	۱	تلفات نسبی اهمی در مدار

ضریب قدرت پایین سبب عملکرد غیر بهره‌ور در مجموعه می‌گردد که در نهایت مصرف برق را بالا خواهد برد. برای افزایش ضریب قدرت روی خط تغذیه باید مجموعه‌هایی از خازن به صورت موازی با سیم‌پیچ کوره بسته شوند. ضریب قدرت بسته به وضعیت شارژ و شرایط پوشش در طی عمل ذوب تغییر می‌کند. با توجه به این امر خازن‌ها در دو دسته مجزای دائمی و موقتی در مدار قرار می‌گیرند که در هنگام لزوم می‌توان بخش موقتی را در مدار قرار داد یا از آن خارج کرد.

کوره‌های فرکانس متوسط قدیمی برای تولید قدرت فرکانس بالاتر از نوعی آلترناتور دوار استفاده می‌کردند. در صورتی که سیستم‌های فرکانس متوسط مدرن از یک منبع تغذیه الکتریکی استفاده می‌کنند که به کمک یک مبدل، جریان مستقیم را به جریان متناوب تبدیل می‌کنند.

بازدهی الکتریکی این واحدهای جدید تا ۹۷ درصد می‌باشد و تنظیم‌ها به صورت خودکار انجام می‌گیرد. در این کوره‌ها ضریب قدرت در تمامی سیکل ذوب بالا می‌باشد و نیازی به تغییر خازن‌های تصحیح‌کننده ندارد.

ب) مواد شارژ و عملیات بارگذاری

نحوه بارگذاری و عملیات مربوطه در یک واحد ذوب تاثیر به سزایی در انرژی الکتریکی مصرفی به ازای هر تن از آهن مذاب دارد.

- وجود گرد و خاک و جرم بر روی مواد در انرژی مخصوص موثر است.
- هر بخشی از عملیات بارگذاری که کاهش قدرت ورودی را ضروری سازد به صورت معکوس بر هزینه انرژی لازم برای کوره اثر می‌گذارد.

برای کاهش مشکلات مربوط به تجمع مواد زاید در داخل کوره در بسیاری از صنایع ذوب مذاب دمای عملکرد بیشتری رانسبت به میزان مورد نیاز به کار می‌برند و یا آن‌که گاه‌گاه از دمای ذوب بالاتری برای کاهش این مواد زاید استفاده می‌کنند. در برخی کوره‌ها قبل از بارگذاری عام قطعات را تمیز می‌کنند (Shotblast) که البته این روش گران بوده و هزینه‌های کاری را افزایش می‌دهد. در مثال زیر افزایش مصرف سوخت با افزایش درجه حرارت به منظور زدایش مواد زاید نشان داده شده است. یک کارگاه ریخته‌گری از دو کوره ۱۰ تنی با مصرف انرژی ۱۸۰۰ کیلووات برای هر کوره در دمای ۱۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌کند. مصرف انرژی این کوره‌ها در دو شرایط با دمای بالای ذوب در ۱۵۸۰ درجه سانتی‌گراد -

گردد و بدون آن در دو نوبت کاری کامل اندازه‌گیری شده است. در شرایط کاری دما بالا مصرف انرژی ۶۰۵ کیلووات ساعت بر تن و در شرایط کاری معمول متوسط انرژی مصرفی ۵۷۰ کیلووات ساعت بر تن اندازه‌گیری شده‌اند.

اندازه قراضه‌های شارژ در مصرف انرژی الکتریکی کوره تاثیر دارد. این امر بیشتر در فرکانس‌های پائین‌تر اثر بیشتری دارد. اگر دانسیته چدن شارژ در کوره پائین باشد بازدهی الکتریکی کامل حاصل نخواهد شد و باعث افزایش زمان ذوب و در نتیجه بالا رفتن مصرف مخصوص انرژی می‌گردد.

استفاده از قراضه با دانسیته کم، تاثیر مستقیم بر مصرف الکتریسیته به ازای تن مذاب تولیدی دارد. این اثر به صورت افزایش زمان ذوب خودش را نشان می‌دهد. قراضه‌های سبک و در قطعات کوچک، در اثر پدیده گداز به هم چسبیده و باعث کاهش قدرت و یا توقف آن می‌گردند. در مواقعی که از قراضه‌های سبک باید استفاده شود، در نظر داشتن مقدار فضای بالای سطح مذاب مایع در انتخاب کوره حائز اهمیت است.

هم‌چنین مواد کربوره‌کننده که به کوره اضافه می‌شوند می‌توانند بر روی مصرف مخصوص انرژی تاثیر بگذارند. این اثر در مواقعی که مسایل اقتصادی مربوط به استفاده از کربورایت‌های مختلف در یک کوره مطرح می‌باشد باید مدنظر قرار گیرد. - برخی از این مواد منجر به تشکیل مواد زاید بیشتری می‌شوند که اثر معکوس بر بهره‌وری کوره خواهد داشت.

اگر بالای بوته کاملاً بسته باشد افت‌حرارتی در حدودی یک درصد قدرت ورودی خواهد بود. روش‌های زیادی برای بارگذاری کوره‌های القایی وجود دارند.

بارگذاری دستی ساده‌ترین این روش‌ها به شمار می‌رود که در آن مواد که اغلب از قبل وزن شده‌اند، توسط کارگران بر روی کف کوره قرار داده می‌شوند. این روش تقریباً کند می‌باشد و درب بالایی کوره برای مدت زمان قابل ملاحظه‌ای باز می‌ماند که در صورتی که در کوره فلز مذاب وجود داشته باشد سبب افت حرارتی زیادی می‌گردد.

بارگذاری مغناطیسی مستقیم نیز یک روش نسبتاً کند است که در این روش نیز درب بالایی باز باقی‌مانده و در زمان بارگذاری افت حرارتی وجود خواهد داشت.

بارگذاری ریزشی توسط ظروفی که ته آن باز می‌شود یک روش خیلی سریع می‌باشد و افت‌های حرارتی مربوط به عملیات بارگذاری را به حداقل می‌رسانند. اما این روش نیاز به استفاده از سیستم چند طرفه دارد که هزینه‌بر بوده و در مواردی که از نظر فضا محدودیت وجود داشته باشد مشکل‌ساز است.

پ) کنترل و عملکرد کوره

عملکرد و کنترل کوره بی‌هسته در ارتباط با مصرف مخصوص انرژی بسیار مهم می‌باشد. شرایط ایده‌آل عبارت است از ذوب سریع شارژ، فوق داغ کردن سریع برای بالا بردن دمای فلز تا حداقل دمای قابل قبول و سپس تخلیه سریع فلز مایع به درون ملاحه‌های ذوب یا کوره‌های نگه‌دارنده. تحت این شرایط استفاده از الکتریسیته برای هر تن تولیدی به حداقل می‌رسد و نرخ

ذوب بیشینه خواهد شد. به علاوه از فوق داغ شدن و نگهداری فلز در دمای بالا در مدت زمان قابل ملاحظه نیز جلوگیری به عمل می‌آید. متأسفانه بخش ذوب، مستقل از دیگر بخش‌ها نمی‌تواند عمل کند و لذا تاخیر بروز اشکال و یا بی‌نظمی و عدم محاسبات صحیح در هر یک از این بخش‌ها بر روی بخش ذوب اثر خواهد گذاشت. زمان نگهداری بیش از حد و فوق داغ کردن غیر ضروری منجر به استفاده غیر صحیح انرژی مخصوصاً مواقعی که از کوره فاقد پوشش در بالا باشد خواهد گردید.

ذوب فلزات در کوره سرد نیاز بیشتری به انرژی نسبت به استفاده از یک کوره داغ در حال عمل خواهد داشت. بنابراین، چنانچه بتوان با اصلاح در برنامه هفتگی تولید تعداد راه‌اندازی‌های سرد را کاهش داد، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در استفاده و مصرف کلی انرژی الکتریکی در یک مجموعه ذوب حاصل خواهد شد.

کوره‌های القایی واسطه خوبی برای تنظیم مذاب به منظور دست‌یابی به مشخصه‌های مورد نیاز قبلاً از ریختن فلز مذاب به درون قالب‌ها می‌باشد زیرا می‌توان یک نمونه از درون بوته برداشت و آزمایشات لازم و یک آنالیز اسپکتروگرافی بر روی آن انجام داد و هم‌چنین این نکته از اهمیت فراوانی برخوردار است که فلز درست در زمان مناسب به دمای تخلیه کوره (Tapping) برسد. اگر قبل از آمادگی واحد ریخته‌گری، مذاب آماده باشد در این صورت مذاب باید در دمای بالا نگهداری شود که این به معنای افزایش در انرژی کلی استفاده شده می‌باشد.

لازم است تا واحد ذوب زمان شروع ذوب را به گونه‌ای تنظیم کند که فلز درست در زمان صحیح آماده شود. برای حداقل کردن مصرف الکتریسیته مشارکت دو واحد ذوب و ریخته‌گری ضروری است.

ت) کنترل کامپیوتری

تجهیز کوره‌ها به ابزار اندازه‌گیری الکتریکی بسیار مهم است. در گذشته بسیاری از واحدهای ذوب الکتریکی بدون تجهیزات اندازه‌گیری نصب می‌شدند چرا که کارگاه هیچ توجهی نسبت به مصرف انرژی نداشت.

تجهیزات کنترلی که در کوره‌های جدید نصب شده‌اند این امکان را به اپراتور می‌دهند که انرژی لازم را در مراحل مختلف عملیات کوره به آن تحویل دهد. این تجهیزات قدرت ورودی را کنترل کرده و احتمال مصرف بیش از حد انرژی و دمای بیش از حد فلز را کاهش می‌دهند.

امروزه اکثر سازندگان کوره‌ها تجهیزات کامپیوتری برای پردازش داده‌ها را که مجهز به سیستم‌های نمایش می‌باشند در اختیار قرار می‌دهند. این سیستم‌ها برای کنترل و چک کردن کارایی کوره‌ها به کار رفته و در عملکرد با بهره کوره موثرتر می‌باشد. این تجهیزات عموماً اطلاعات را بر روی صفحه نمایش‌گر یک کامپیوتر کوچک به صورت گرافیکی و یا جدول نمایش می‌دهند.

ج) زمان‌بندی ذوب

مسائلی که در زمان‌بندی مناسب برنامه ذوب به منظور حداقل کردن مصرف انرژی درگیر می‌باشند بسته به تجهیزات موجود و کاربرد در کارگاه‌های مختلف متفاوت می‌باشند.

در چهارچوب قیودی که از طرف واحد ذوب اعمال می‌شود تلاش جهت دستیابی به اهداف زیر می‌باشد:

- دستیابی به حداکثر تعداد مراحل شروع کار از شرایط گرم، چرا که گرمایش یک کوره از حالت سرد نیاز به مصرف انرژی بیشتری خواهد داشت. این مسئله مخصوصاً در مورد کوره‌های فرکانس متوسط بیشتر مطرح می‌باشد. در کوره‌های فرکانس اصلی عموماً یک حوض چه مذاب فلز نگهداری می‌شود.
- هر وقت ممکن باشد باید زمان‌بندی کار به گونه‌ای باشد که به کوره پر از شارژ نیاز باشد یک کوره نیمه پر از یک کوره کاملاً پر بهره‌وری کمتری دارد.
- کاهش زمان تخلیه کوره و تعداد آن‌ها
- تعیین و اعمال بهترین روش، به عنوان مثال: مقدار فلز باقی‌مانده در کوره پس از تخلیه، چرا که این نیز در مصرف مخصوص انرژی موثر است.

برای عملکرد بهینه، اکثر کوره‌های فرکانس اصلی باید با مذابی در حدود دو سوم ظرفیت نامی کارکنند، در هر حالی که طراحی سیم‌پیچ و هندسه کوره، اندازه بهینه حوض چه باقی‌مانده از مذاب را تعیین خواهد کرد.

در مواقع بسیاری دو کارگاه ذوب یکسان از نظر طراحی و ظرفیت، مقادیر مصرف انرژی متفاوتی دارند. از بین دلایل زیادی که برای این مسئله می‌توان عنوان کرد زمان نگهداری مذاب در دمای خاص بیش از بقیه اهمیت دارد. به طور ایده آل، کوره‌های فرکانس متوسط باید بلافاصله بعد از آن که مذاب به دمای مورد نظر می‌رسد تخلیه گردند و می‌توان زمان‌بندی عملیات را به گونه‌ای تنظیم نمود تا بتوان این امر را محقق نمود.

چ) روش پوشش‌دهی سطح کوره

بخشی از حرارت اتلافی از کوره از بدنه آن صورت می‌گیرد. این حرارت یا به وسیله آب خنک‌کن جذب می‌شود و یا آن که به صورت تشعشعی از بدنه بیرونی کوره به محیط داده می‌شود. حرارت اتلافی از این طریق می‌تواند تا حدود ۲۰ تا ۳۵ درصد کل حرارت انرژی ورودی به کوره باشد. این افت حرارتی به سطح حمام فلز مذاب که با پوسته کوره در تماس است و همچنین با ابعاد و خواص حرارتی آن بستگی دارد.

افزایش ضخامت جداره انتقال حرارت را کاهش می‌دهد اما به طور معکوس بر ارتباط بین شارژ فلزی و سیم پیچ اثر منفی دارد که باعث کاهش بازدهی الکتریکی خواهد شد.

بنابراین میزان بهبودی که از این طریق میسر است محدود خواهد بود.

ح) مدیریت انرژی

یک شرط لازم برای مدیریت خوب انرژی در کوره‌های القایی زیر نظر داشتن مصرف انرژی و تحلیل داده‌های مربوط به مصرف انرژی است به طوری که بتوان عملکرد فعلی تجهیزات ذوب را به درستی فهمید و در اختیار داشت. در این راستا پیشنهاد می‌-

شود که از دستگاه‌های اندازه‌گیری و ثبت دقیق و جزئی اطلاعات برای هر نوبت ذوب استفاده شود. هر اطلاع ثبت شده باید مشتمل بر نوع ذوب شده، وزن، تاریخ و زمان مربوط، دمای تخلیه و مصرف انرژی باشد.

با توجه به تغییر هزینه برق در ایام روز و در فصول مختلف ثبت هزینه هر کیلووات ساعت در کنار ثبت کیلووات ساعت مصرفی برای هر تن ماده مذاب نیز از اهمیت حیاتی برخوردار است. در صورت وجود هزینه‌های بالا در ساعات پیک، بهتر است برنامه کاری گونه‌ای تنظیم گردد که در این اوقات از روز، کوره‌ها در حداکثر مصرفی کار نکنند.

در هنگام بدی آب و هوا و دمای پائین غیر معمول مراکز تولید و توزیع قدرت مجبور به اضافه تولید می‌گردند. در چنین مواردی ممکن است از مصرف‌کننده‌های صنعتی برای کمک به مدیریت شبکه قدرت دعوت به عمل آید تا در مورد یک قیمت بسیار مناسب برای برق در این زمان‌ها بحث شود. واضح است که قبل از هر گونه تنظیم هزینه از این نوع، صنایع باید منافع حاصل از چنین توافق‌هایی را به خوبی مورد بررسی قرار دهند.

با توجه به این که کوره‌های القایی بزرگ‌ترین مصرف‌کننده برق در اکثر کارگاه‌های ریخته‌گری هستند، لذا کنترل دقیق این تجهیزات به منظور حداقل کردن هزینه‌ها در زمان حداکثر تقاضای شبکه برق مهم است. نصب کنترل‌کننده‌ها مربوط به زمان حداکثر تقاضا برای تمام کارگاه‌های ریخته‌گری مجهز به وسایل الکتریکی منطقی به نظر می‌رسد. انواع مختلف این کنترل‌کننده‌ها با کارایی مناسب در شرایط مختلف در بازار موجود می‌باشند.

خ) انتخاب سیستم های ذوب (بدون هسته) جدید

در مواقعی که نیاز به خرید کوره‌های جدید یا دست‌دوم باشد عنایت به برخی مسائل می‌تواند منجر به دستیابی به بازدهی انرژی بالا و در نتیجه کم‌ترین هزینه عملکرد گردد. اگر چه مسائل بسیار دیگری نیز باید مدنظر قرار گیرند اما به هر حال مسئله بهره‌وری انرژی از اولویت بالایی برخوردار است چرا که در دراز مدت هزینه‌های عملکردی به همان اندازه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه اهمیت پیدا خواهند نمود.

اولین و شاید مشکل‌ترین مسئله برآورد صحیح از نیاز آبی به انواع مختلف فلزاتی است که باید برای واحد ذوب تامین گردند. تخمین دست‌پائین برای ظرفیت ذوب مورد نیاز منجر به محدودیت در حجم ریخته‌گری کارگاه خواهد شد. از طرف دیگر ظرفیت بیش از حد منجر به هزینه‌های سرمایه‌گذاری غیرضروری، پیش‌بینی فضای اضافی و در نهایت استفاده با بهره‌وری کمتر از انرژی خواهد گردید.

مسئله کلیدی بعدی تصمیم‌گیری در مورد میزان مذاب و تواتر تحویل آن است، چرا که این امر تاثیر قطعی بر انتخاب نرخ ذوب، ظرفیت و ملزومات عملکرد کوره‌ها دارد. نوع فلزی که باید ذوب شود، دمای تخلیه، مواد خام و مدیریت تایید و تنظیم ترکیب مواد از جمله مواردی هستند که باید به دقت مورد نظر قرار گیرند. مسئله نگه‌داری مذاب و هزینه‌های مربوط به برق نیز باید مرور گردند.

(د) نتیجه گیری

برای آن که بتوان کوره‌های القایی را تحت شرایط بهینه در اختیار داشت، باید روش‌های بیان شده در قبل را به درستی به کار برد. نکته اساسی آن است که در مرحله تعیین مشخصه‌های کوره دقت کافی انجام گیرد تا بتوان نوع کوره، روش‌ها و شرایط عملکرد را به درستی انتخاب نمود. نکات زیر در تحقق این امر کارساز است.

(۱) در تهیه پیشنهاد برای خرید یک واحد ذوب جدید مسئله پائین بودن هزینه‌های کاری در ارتباط با مصرف انرژی باید مدنظر قرارگیرد. از جمله پارامترهایی که در مصرف مخصوص انرژی کوره موثر است، ظرفیت، دانسیته، قدرت و فرکانس کاری کوره می‌باشد.

(۲) به منظور دنبال کردن میزان مصرف مخصوص انرژی، میزان انرژی استفاده شده و فلز ذوب شده باید به طور صحیح و پیوسته مشخص شوند.

(۳) حتی‌الامکان باید از مواد تمیز استفاده شود که نیازی به انرژی کمتری برای ذوب شدن خواهد داشت. چنانچه مواد مورد استفاده، مواد انباری کثیف باشند باید دید که آیا میزان صرفه‌جویی حاصل از خرید این مواد، هزینه اضافی لازم برای ذوب این‌گونه مواد را جبران می‌کند یا خیر.

(۴) با توجه به آن که در هنگام بارگذاری مواد جدید درب کوره باز می‌ماند و برق کوره قطع می‌باشد، لذا باید سعی کرد که این عملیات با حداکثر سرعت ممکن انجام شود.

(۵) حتی‌الامکان باید سعی کرد که این عملیات با حداکثر قدرت مجاز انجام شود. هرچه عملیات ذوب بیشتر طول بکشد مصرف مخصوص انرژی بالاتر خواهد رفت.

(۶) سعی شود تا زمان رسوب‌زدائی به حداقل ممکن کاهش یابد.

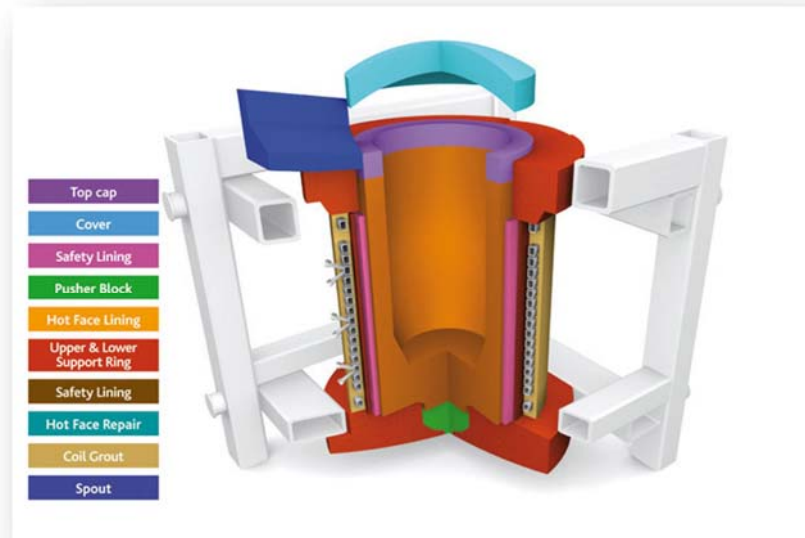
(۷) اطمینان از آب‌بندی کامل درب کوره و بسته بودن آن در تمام لحظات ضروری است مگر در مواقعی که نیاز به دسترسی به حمام ذوب داشته باشیم. مسئله درب‌های کوره علی‌الخصوص در کوره‌های با فرکانس اصلی که معمولا مذاب به مدت طولانی در آن‌ها نگهداری می‌شوند حائز اهمیت می‌باشد.

(۸) در ارتباط با مسئله رسوب باید یک سیاست خاص و مناسب داشت. تجمع رسوبات و فرسایش پوشش کوره در اثر حملات ناشی از رسوبات بر میزان مصرف مخصوص انرژی موثر است.

(۹) هیچ‌گاه نباید دمای مذاب درون کوره از حد لازم بالاتر رود. فوق‌داغ کردن غیرضروری فلز فقط هدر دادن انرژی است.

(۱۰) هرگونه تاخیر در کار کوره در هنگامی که نیاز به ارزیابی ترکیب مذاب و تنظیم آن است باید به طور دقیق ثبت شود. باید سعی شود که از روش‌ها و امکانات مناسب برای انجام عملیات بهبود و تنظیم ترکیب مذاب استفاده نمود.

- ۱۱) زمان‌بندی انجام امور در کارگاه‌های ریخته‌گری باید به گونه‌ای باشد که کوره‌های حاوی مذاب در هنگام آماده‌سازی ملاحظه‌ها و قالب‌ها معطل باقی نماند. نگهداری بیش از حد مذاب نه تنها باعث افزایش انرژی مصرفی می‌شود بلکه اثرات مخربی نیز بر کیفیت مذاب در مواقعی که میزان کربن آهن کاهش می‌یابد، دارد.
- ۱۲) استفاده از تجهیزات کنترل اتوماتیک امکان تعیین انرژی لازم برای ذوب و نگهداری مذاب را قبل از عملیات ایجاد می‌نماید و احتمال مصرف انرژی اضافی را کاهش خواهد داد.
- ۱۳) سعی شود از تجهیزات کنترل پیوسته و یا کنتاکتور قدرت به جای تجهیزات قدیمی استفاده شود. این تجهیزات در هنگام فرآیند تخلیه و بارگذاری منجر به بهبود مصرف مخصوص انرژی خواهند شد.
- ۱۴) در صورت امکان باید از شروع سرد عملیات ذوب خودداری کرد. با توجه به جرم حرارتی بالای پوشش دیرگداز کوره و انرژی لازم برای گرم شدن آن، شروع از شرایط گرم باشد.
- ۱۵) در پایان هر روز باید مواد فلزی را در کوره داغ قرار داد تا بخشی از حرارت آشکار کوره را در طول شب جذب نماید که منجر به کاهش انرژی لازم برای اولین عملیات ذوب روز بعد خواهد شد.
- ۱۶) تخلیه بخارات و گرد و غبار از محیط عملیات ذوب نیاز به انرژی دارد. لذا باید تجهیزات مربوطه بلافاصله بعد از پایان عملیات ذوب خاموش شوند.
- ۱۷) اگر کوره کهنه و قدیمی باشد خازن‌های آن احتمالاً باید آزمایش شوند. چرا که ضریب قدرت ضعیف منجر به افزایش هزینه‌های برق و کاهش نرخ ذوب می‌گردد. باید دقت داشت که گذر زمان باعث تخریب خازن‌ها می‌شود.
- ۱۸) استفاده از حرارت اتلافی موجود در مدار آب خنک‌کن باید حتی‌الامکان مورد نظر قرار گیرد.



شکل ۲: طرح‌واره یک کوره ذوب القایی بدون هسته

- مراجع فارسی:

۱- مدیریت انرژی در بهینه‌سازی عملکرد کوره‌های القایی بدون هسته، محمد علی رحیم خانی، کارشناس سازمان بهره‌

وری انرژی ایران و عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- راهنماهای فنی مدیریت انرژی - وزارت نیرو - امور انرژی - سازمان بهره‌وری انرژی ایران، سال ۱۳۷۵

۳- اصول مدیریت انرژی - گرگ بی اسمیت ۱۳۷۶

- مراجع اصلی:

1. Good – practice Guide. 1992
2. Training Course on energy Efficiency in industry.1995.
3. Smith, C., B. et al. 1980, "changing energy use futures "energy conversion and management, 20(4).
4. Fazzolar, R.A and smith, C.B., 1979, " changing energy use futures " procceding of the second international conference on energy management, NEW-YORK pregamon press.
5. Indu, R.D., 1980 Electrical power management in industry Boea Raton, Floriola: CRC press.
6. Control and energy saving in industry, 1992 (energy efficiency Book lets).
7. Economic use of electricity in industry. 1992," energy efficiency Book lets.

- مراجع اینترنتی

- ۱- وبلاگ <http://metallurgy-2011.persianblog.ir>
- ۲- وبسایت شرکت کوره‌های القایی دماوند <http://www.damavandfurnace.com>
- ۳- وبسایت شرکت تولیدی پرتو کوره القایی تپکا. <http://tapka.ir>