

## شارژ چدن مذاب در کوره قوس الکتریکی

در صنعت فولادسازی یکی از طراحی های کوره های قوس الکتریکی بگونه ای است که استفاده از ترکیب شارژ قراضه و چدن مذاب را مقدور میسازد. در متن بشرح ذیل این موضوع از جنبه های مختلف نظیر شکل کوره ، نحوه شارژ چدن ، تجهیزات مورد نیاز و بطور کلی فرآیند انجام کار و نتایج آن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

### ۱- مقدمه

از بین تجهیزات تولید فولاد در فولادسازی ، کوره قوس الکتریکی از بالاترین انعطاف پذیری نسبت به سایر روشها از جنبه انتخاب شارژ ( انتخاب درصد قراضه و آهن اسفنجی ) برخوردار میباشد.

با این ویژه گی کوره های قوس ، میتوان بهترین ترکیب شارژ که از حیث قیمت نیز مناسب باشد را بدست آورد. در واقع این انعطاف پذیری کمک میکند بسته به قابلیت دسترسی به مواد و قیمت منطقه ای آن ، از بهترین ترکیب شارژ جهت کوره قوس استفاده نماییم (شایان ذکر است در ایران در حال حاضر بهترین و اقتصادی ترین شارژ کوره فوق متشکل از حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد آهن اسفنجی و حدود ۲۰ تا ۱۰ درصد قراضه میباشد). با توجه به قابلیت فوق الذکر ، در ادامه امکان استفاده از شارژ چدن مذاب و مزایا و یا دشواریهای استفاده از آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مطالعات امکان پذیری، استفاده از قراضه فولادی ، آهن اسفنجی (هات بریکت) و چدن مذاب را در کوره های قوس الکتریکی با در نظر داشتن محدودیت های ذخیره قابل دسترس قراضه و برق مورد تأیید قرارداد است. بررسیهای اخیر نشان میدهد که در کارگاههای فولادسازی ترکیب استفاده از BOF و EAF در برخی مناطق و کارگاههای فولادسازی دنیا مرسوم شده و در حال اجرا میباشد. کوره قوس میتواند در کنار کوره بلند بعنوان افزایش تولید چدن مذاب مورد بهره برداری قرار گیرد. بعبارت دیگر استفاده از کوره قوس در کنار کوره بلند بعنوان مصرف کننده کمکی چدن (در مواقعی که امکان جذب آن توسط کنورتور فراهم نیست) میتواند باعث افزایش تولید چدن و فولاد گردد.

استفاده از چدن مذاب در EAF مصرف انرژی الکتریکی را کاهش داده زیرا با محتوی کربن موجود در شارژ و دمش اکسیژن امکان تولید انرژی گرمایی در اثر واکنش سوختن کربن فراهم شده و نتیجتاً سبب کاهش مصرف الکتروود ، نسوز و ..... و نیز سبب کاهش زمان T.T.T میگردد.

از طرفی با توجه به کربن محتوی و نیاز به تنظیم آن توسط تزریق اکسیژن ، زمان اکسیژن دهی و نیز مصرف آن افزایش یافته که این یعنی در دسترس داشتن مقدار مورد نیاز اکسیژن و سرمایه گذاریهای لازم در این ارتباط.

بعلاوه به سبب بالا بودن مقدار سیلیکون و فسفر موجود در ذوب مصرف آهک تقریباً دو برابر زمانی خواهد بود که از قراضه آهن بطور ۱۰۰٪ استفاده میشود و این خود علاوه بر تامین آهک باعث افزایش قابل توجه سرباره شده و در صورت نداشتن ناوگان مناسب جمع آوری ، باعث تاخیر در تولید و تحمیل هزینه های دیگر به کارگاه خواهد شد.

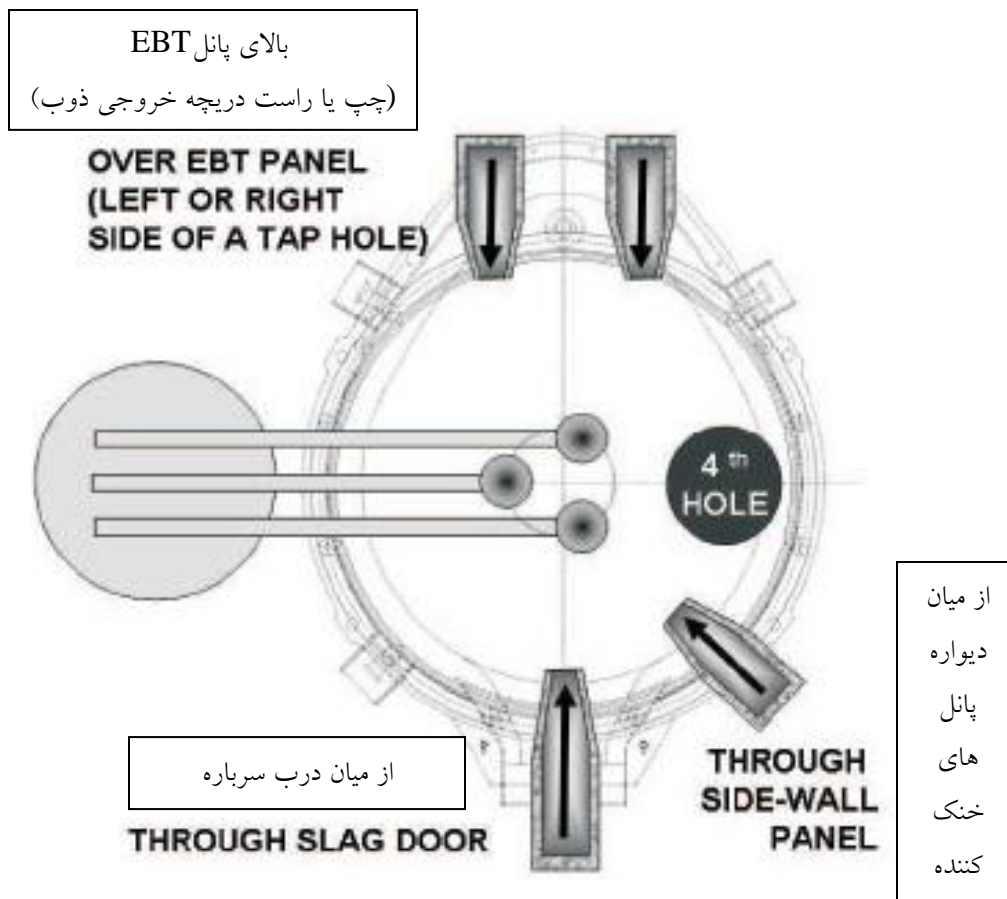
آخرین دستاوردها نشان میدهد که جهت استفاده از چدن مذاب در کوره های قوس الکتریکی و بدست آوردن اهداف فوق نیاز است در طراحی کوره توجهات خاصی بعمل آید که تعدادی از آن نکات بشرح جدول ذیل ارائه می گردد.

مناسب برای یکبار شارژ سبد	حجم کوره
مناسب جهت اطمینان از نرخ کربن زدایی بالا	سطح حمام مذاب
طراحی بگونه ای باشد که کاملاً مسائل ایمنی را از دید تجهیزاتی و انسانی در هنگام شارژ تضمین نماید	محل تزریق چدن مذاب
قابل دسترس بودن مقدار اکسیژن مورد نیاز	تزریق اکسیژن

## ۲- شارژ چدن مذاب بداخل کوره قوس

جهت شارژ چدن مذاب بداخل کوره قوس لازم است سقف کوره بحالت بسته بوده تا از پاشیدن ذوب به اطراف و تجهیزات کوره جلوگیری بعمل آمده و امکان شارژ مطلوب فراهم گردد. محدودیت های منطقی و جانمایی کوره امکان انتخاب بهترین نقطه جهت تخلیه پاتیل چدن مذاب به کوره را دشوار، بطوری که آزادی چندانی برای اینکار وجود ندارد. در شکل ۱ راه حل های مختلف جهت تزریق چدن مذاب بصورت شماتیک ارائه شده است.

شکل ۱: راه حل های شماتیکی شارژ چدن مذاب بداخل کوره قوس



مسیر انتقال چدن مذاب از طریق درب سرباره باید توسط یک ماشین شارژ چدن بصورت متحرک باشد. در سایر حالت ها این محل میتواند هم بصورت ثابت بر روی بدنه کوره طراحی گردد و هم طراحی بگونه ای باشد که چدن مذاب توسط ماشین شارژ و بحالت متحرک باشد.

بیشترین ریسکی که شارژ چدن از طریق درب سرباره ایجاد میکند احتمال خروج چدن مذاب در هنگام تخلیه توسط جریان سرباره میباشد. در بعضی مواقع موضوع فوق میتواند منجر به کاهش فسفر زدایی در حمام مذاب گشته و علاوه بر آن عمل تخلیه چدن از این طریق فقط زمانی میتواند انجام شود که ناحیه پشت درب سرباره فاقد سرباره باشد. ضمناً تخلیه چدن از پهلو و اطراف کوره میتواند در صورتی که منجر به سرریز گردد بسیار مخاطره انگیز و جمع آوری مذاب از آن ناحیه بسیار مشکل و احتمال ریزش بر روی لوله ها و تجهیزات مجاور کوره میتواند صدمات جدی به کوره وارد نموده سبب توقف کوره و نتیجتاً تولید گردد.

با توجه به بررسیها بنظر میرسد بهترین موقعیت برای قرار دادن مسیر تخلیه چدن مذاب، استقرار تجهیز مربوطه بر روی بالکن EBT باشد جایی که محدودیت حضور قراضه داشته و این نیز بعنوان یک نکته مثبت جهت کمک به شارژ سریعتر چدن مذاب میباشد. بدیهی است زمانی که در این محل سرریزی اتفاق بیفتد این موضوع با توجه به حضور چاله زیر کوره نمیتواند باعث صدمات به سایر قسمت ها گردد.

در هر حال شارژ چدن مذاب بداخل کوره قوس نیازمند مراقبت های ویژه ای است زیرا تماس با سرباره فوق اکسیدی کوره و یا تماس با قراضه جامد میتواند سبب واکنش های شدید و خطرناکی گردد. همین واکنش معمولاً زمانی که شیب افزایش غلظت کربن در حمام مذاب زیاد باشد، در طی فاز سوپر هیتینگ نیز میتواند اتفاق بیفتد. اصولاً کنترل ضعیف در طی فرآیند شارژ چدن مذاب منجر به سرریز سرباره و فولاد از کوره شده و در حالت های شدیدتر باعث خرابی بازوی الکتروود و نیز گاهی انفجار در کوره می گردد.

در ذیل راه حل هایی که کمترین مشکل را در روش شارژ چدن مذاب بداخل کوره قوس میتواند ایجاد کند ارائه میگردد.

- \* تخلیه چدن مذاب باید در حالت کوره روشن (power on) جهت جلوگیری از افت بهره وری انجام شود.
- \* خم نمودن پاتیل چدن مذاب جهت تخلیه بداخل کوره نیاز به تجهیز مخصوص داشته و در هر حال نباید باعث درگیر شدن جرتقیل گردد.
- \* کنترل میزان خم شدن پاتیل باید با دقت کافی جهت حصول اطمینان از تخلیه با مقدار نسبتاً ثابت انجام شود.
- \* طول مسیر تخلیه چدن مذاب باید در حدی باشد که سبب جامد شدن ذوب در مسیر تخلیه نگردد.
- \* مسیر تخلیه باید بین هر بار تخلیه پیشگرم شود.

۳- نمونه ای از کوره قوسی که جهت اجرای شارژ چدن مذاب طراحی شده است در نوامبر ۲۰۰۷، یکی از شرکت های معروف اروپایی یک کوره قوس الکتریکی جدیدی را در شرکت ZHW چینی که تولید کننده ویر است راه اندازی کرد.

این کوره برای زمان تخلیه تا تخلیه (tap to tap) کمتر از ۳۵ دقیقه بانضمام یک دستگاه کوره پاتیلی و گاز زدایی در خلا و یک ماشین ریخته گری ۶ شاخه با مجموع تولید سالانه ۱.۱۰۰.۰۰۰ تن جهت تولید فولادهای SBQ قابل مصرف در صنعت خودروسازی چین طراحی گردید.

در جدول شماره ۱ اطلاعات کلی کوره نشان داده شده است

جدول شماره ۱

ردیف	مشخصات	موضوع
۱	AC فول پلت فرم	نوع کوره
۲	از نوع بازویی متحرک	سقف کوره
۳	۱۱۰ تن	وزن ذوب دریافتی از کوره
۴	۱۵ تن	وزن ذوب باقی مانده در کوره جهت شروع عملیات ذوب سازی بعدی
۵	۶.۵ متر	قطر بدنه کوره
۶	۱۲۵ مترمکعب	حجم بدنه
۷	۲۷ مترمربع	مساحت حمام
۸	۸۰ MVA + ٪۲۰	توان نامی ترانسفرمر
۹	۶۱۰ میلی متر	قطر الکتروود
۱۰	۶ × ۶ MW	مشعل ها
۱۱	نرمال متر مکعب در ساعت ۶ × ۲۵۰۰	تزریق اکسیژن
۱۲	۳ × ۵۰ کیلوگرم در دقیقه	تزریق کربن

گروه فولادسازی شاگانگ چین تا کنون چندین کارگاه فولادسازی مجهز به BOF و EAF را راه اندازی نموده و از مزایای استفاده از شارژ چدن مذاب در فرآیند کوره قوس الکتریکی بهره برده است.

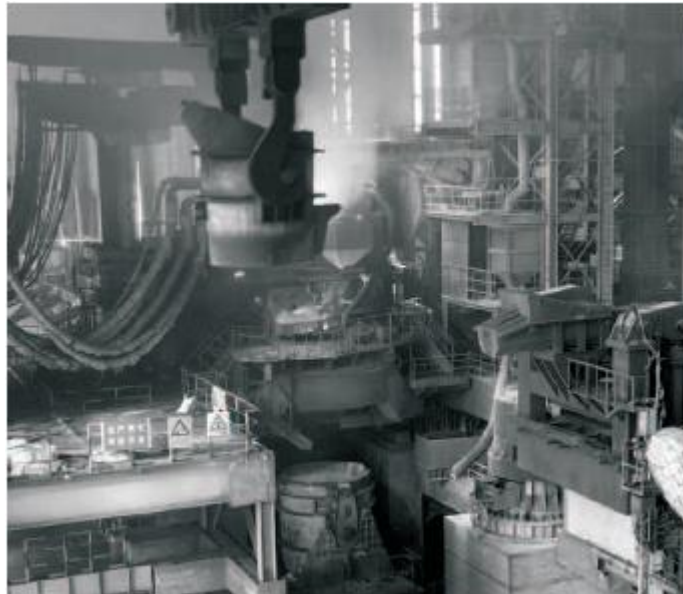
در این کارگاه، پاتیل چدن مذاب بر روی یک سکوی خم شونده (tilting stand) که مجهز به یک ظرف میانی (buffer container) جهت کنترل جریان ذوب طراحی و نصب گردیده قرارداد شده است.

در زمان تخلیه ذوب بداخل کوره قوس، تیلتر پاتیل ذوب تا ۹۰ درجه بالای بالکن EBT جایی که راهگاه به بدنه کوره فرار دارد چرخیده و عمل تخلیه را از آن طریق بداخل کوره میسر میسازد. (شکل ۲)

شکل ۲: تخلیه چدن مذاب از طریق راهگاه EBT



شکل ۳: کوره قوس الکتریکی آماده تخلیه



سیستم هیدرولیکی خم کننده پاتیل چدن مذاب از یک سیستم بسیار دقیقی برخوردار است بطوری که قادر است ترکیب شارژ با ۳۵٪ (۴۰ تن) چدن مذاب را ظرف ۵ دقیقه با دبی ۷-۸ تن در دقیقه در حالت کاملاً ایمن بدون کوره تخلیه نماید. در کنار هدف تخلیه ایمن از طریق سیستم EBT مزیت دیگری حاصل میگردد که آن حذف بهتر فسفر در اثر افزایش زمان واکنش بین چدن مذاب و سرباره فوق بازی میباشد.

مزیت دیگر اینکه در صورتی که حداقل سهم چدن مذاب در شارژ بیش از ۳۰٪ باشد میتوان از شارژ تنها یک سبد استفاده نمود که این موضوع علاوه بر اینکه باعث کاهش ۱۵ درصدی زمان خاموشی (power off) کوره شده، بدلیل گرمای حاصل از کربن زدایی چدن مذاب در اثر واکنش کربن و اکسیژن و احتراق منواکسید کربن، سبب پیشگرم

قراضه داخل شل کوره شده و بدین ترتیب استفاده بهینه ای از انرژی گرمایی بعمل آمده و در کاهش مصرف برق اثر قابل ملاحظه ای را ایجاد می نماید. اما از طرفی دیگر موضوع مهم دیگری که در رابطه با شارژ چدن بداخل کوره قوس باید به آن توجه داشت مسئله ظرفیت کربن زدایی و تنظیم درصد کربن میباشد. محتوی کربن بالا در شارژ به زمان بیشتری برای کربن زدایی نیاز داشته و کوره قوس بدلیل محدودیت های بشرح ذیل در مقایسه با BOF قادر نخواهد بود از اکسیژن مناسب جهت حذف کربن بهره ببرد.

تعدادی از محدودیت های موجود در کوره قوس جهت تزریق اکسیژن:

- ۱- شدت پدیده پاشش مذاب
- ۲- پس زدن شعله (backfire)
- ۳- افزایش مصرف الکترو
- ۴- سایش آستر نسوز
- ۵- کاهش عمر پانل های آبگرد سقف
- ۶- کاهش عمر قطعه نسوز مرکزی سقف (Delta centre piece)

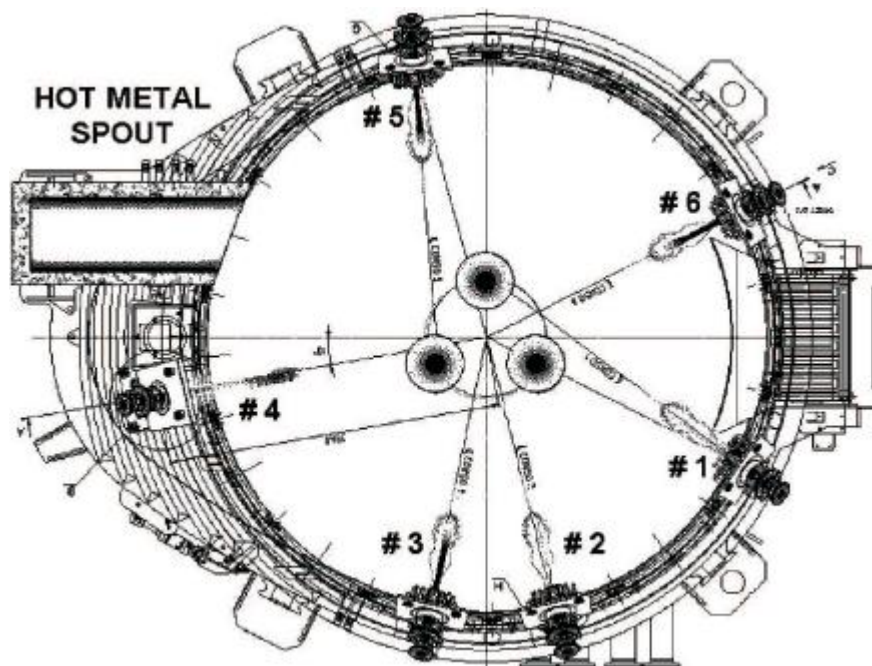
بنابراین مسئله کربن زدایی در کوره قوس دارای محدودیتی است و بدین لحاظ رعایت ترکیب شارژ در این کوره ها از دقت بیشتری برخوردار بوده لذا با توجه به موارد فوق الذکر ، شارژ چدن مذاب با در نظر داشتن مسئله بهره وری کوره قوس ، بیشتر از حداکثر ۴۰٪ نمی تواند باشد.

کوره قوس گروه فولادسازی شاگانگ به تجهیز تزریق اکسیژن بنام CONSO با امکان تزریق ۱۵ هزار نرمال مترمکعب اکسیژن با سرعت مافوق صوت به منظور نفوذ و ایجاد تلاطم مناسب ذوب مجهز شده است. (لازم به ذکر است که نمونه های دیگری از جمله KT Injection System در دنیا طراحی و هم اکنون در تعدادی از کوره های قوس نیز نصب گردیده است).

تجهیز CONSO منحصرأ متعلق به شرکت CONCAST بوده و تا کنون بر روی تعداد زیادی کوره های قوس تست و بطور موثری نتایج مثبت از خود نشان داده است. این تجهیز با توجه به شدت واکنش شیمیایی که در اثر ایجاد تلاطم و فراهم نمودن سطح بیشتر واکنش ایجاد می نماید باعث تولید انرژی گرمایی قابل ملاحظه گردیده که معادل حدود ۴۰٪ توان الکتریکی مورد نیاز در کوره های قوس میباشد.

در شاگانگ ۶ دستگاه از تجهیز فوق در ۶ نقطه پیرامون کوره به منظور توزیع دقیق انرژی گرمایی ، افزایش سرعت واکنش های متالورژیکی از طریق شدت تلاطم حمام و یکنواخت سازی ذوب از حیث حرارتی و شیمیایی نصب گردید. در شکل ۴ محل نصب آنها بر روی بدنه کوره قوس به نمایش گذاشته شده است.

شکل ۴: محل نصب تجهیز CONSO بر روی بدنه کوره قوس



هر کدام از این تجهیزات که منبع آنرا انژکتور مینامیم قادر است تا ۶۰۰ نرمال مترمکعب در ساعت گاز طبیعی و ۱۲۵۰ نرمال مترمکعب در ساعت اکسیژن بدون مشعل و کوره تزریق نماید. این انژکتور که از یک خط جداگانه اکسیژن تشکیل شده قادر است ۸۰۰-۱۳۰۰ نرمال مترمکعب در ساعت اکسیژن را با سرعت کمتر از سرعت صوت و ۱۷۰۰-۲۵۰۰ نرمال مترمکعب در ساعت اکسیژن را با سرعت مافوق صوت بدون کوره تزریق نماید.

انژکتورهای شماره ۳ و ۶ نشان داده شده در تصویر ۴ با نازل کربن کوپل شده اند تا امکان تزریق دقیق کربن بدون جت اکسیژن فراهم گردد. تزریق کربن بجز تامین سربراه پفکی، از جنبه های ایمنی نیز مورد توجه میباشد زیرا با افزایش و تزریق کربن بدون سربراه میتوان مقدار FeO موجود در سربراه را کنترل و نتیجتاً از شدت واکنش بین کربن و اکسیژن داخل حمام ذوب جلوگیری بعمل آورد.

بعد از عمل شارژ قراضه، همه انژکتورها با توان پائین با یک شعله در حالت پیشگرم، ابتدا شروع بکار نموده و سپس تدریجاً به حداکثر توان خود خواهند رسید. انژکتورهای شماره ۳ و ۴ بیشتر جهت عمل ذوب قراضه در ناحیه تخلیه چدن مذاب استفاده میگردند. این انژکتورها به محض اینکه عمل تخلیه چدن مذاب بداخل کوره انجام شد تزریق اکسیژن با سرعت کمتر از سرعت صوت را آغاز میکنند و انژکتورهای اطراف درب سربراه در حالت مشعل کامل در همان حالت اولیه بکار خود جهت ذوب قراضه باقیمانده ادامه می دهند. بعد از اینکه تقریباً ۲/۳ چدن مذاب بدون کوره شارژ شد لانس اکسیژن مافوق صوت ابتدا در انژکتورهای شماره ۲ و ۳ و ۴ شروع بکار می کنند. در آن زمان انژکتورهای ۱ و ۶ با جریان اکسیژن زیر سرعت صوت جهت تامین اکسیژن و ایجاد احتراق وسیع در حجم کوره به منظور تولید منواکسید کربن و کربن زدایی چدن مذاب شروع بکار می نمایند.

در انتهای ذوب ، همه انژکتورها بحالت لانس مافوق صوت عمل کرده و در حدود ۳ دقیقه قبل از تخلیه ذوب کوره ، درجه حرارت و اکسیژن محلول در ذوب اندازه گیری می گردد. بسته به محتوی واقعی کربن ، جریان اکسیژن سپس می تواند تا حصول نتیجه و رسیدن به آنالیز مورد نظر کاهش و یا افزایش یابد.

نتایج:

در جدول شماره ۲ نتایج بدست آمده از ذوب های تولید شده براساس ترکیب شارژ محتوی حدود ۳۵٪ چدن مذاب نشان داده شده است.

جدول شماره ۲

ردیف	مشخصات	معدل	بهترین نتیجه
۱	زمان کوره روشن ( دقیقه )	۲۵	۲۱
۲	زمان کوره خاموش ( دقیقه )	۱۴	۱۰
۳	زمان تخلیه تا تخلیه ( دقیقه )	۳۹	۳۵
۴	مصرف انرژی ( کیلو وات ساعت بر تن فولاد مذاب )	۲۰۰	۱۶۰
۵	درجه حرارت ذوب در هنگام تخلیه ( سانتی گراد )	۱۶۲۰	
۶	درصد کربن ذوب در هنگام تخلیه	۰.۰۵	
۷	مصرف گاز طبیعی ( نرمال متر مکعب در هر تن فولاد مذاب )	۴	
۸	مصرف نهایی اکسیژن ( نرمال متر مکعب در هر تن فولاد مذاب )	۴۳	
۹	مصرف آهک و دولومیت ( کیلوگرم در تن فولاد مذاب )	۴۵	
۱۰	مصرف کربن تزریق شده از طریق لانس ( کیلوگرم در تن فولاد مذاب )	۹	
۱۱	مصرف الکترود ( کیلوگرم در تن فولاد مذاب )	۱	
۱۲	بهره وری مواد ورودی	٪۹۰	

متوسط زمان تخلیه تا تخلیه ، ۳۹ دقیقه میباشد که به زمان ۳۵ دقیقه موجود در طراحی اولیه نزدیک است. اختلاف ناچیز در زمان فوق مربوط میشود به زمان خاموشی کوره که در عمل ۱۴ دقیقه است و در طرح ۱۰ دقیقه در نظر گرفته شده است که این انحراف با تجربه و ممارست در امر تولید رفته رفته کاهش و به سمت صفر میل خواهد نمود.  
نتیجه گیری:

علیرغم اینکه در متن بالا بنظر مزایای استفاده از شارژ چدن مذاب نسبت به مشکلات آن پر رنگ تر میباشد اما لازم است به این نکته توجه گردد که انتخاب روشها و فرایندها با توجه به در نظر داشتن یکسری عوامل مختلف انجام میشود که برای هر مکان و یا کشوری متفاوت بوده و چه بسا روشی که در یک نقطه از دنیا بسیار اقتصادی می نماید در نقطه دیگر بدلیل محدودیت های مختلف از جمله تهیه مواد و انرژی و سایر موارد از اولویت کمتری برخوردار باشد.



لذا روش شارژ چدن مذاب بعنوان ماده اولیه کوره قوس الکتریکی بدلائل ذیل از ارجعیت کافی برخوردار نبوده و نمی تواند بعنوان یک روش فراگیر مدنظر قرار گیرد.

- ۱- با عنایت به اینکه در ایران در حال حاضر تهیه آهن اسفنجی که بهترین مواد ورودی کوره قوس میباشد بلحاظ بومی بودن تکنولوژی تولید آن و دسترسی به منابع غنی و ارزان آسانتر و قابل اطمینان میباشد.
- ۲- در روش استفاده از شارژ چدن نیاز است تغییراتی در طراحی کوره قوس اعمال گردد.
- ۳- استفاده از ترکیب دو روش کوره قوس و کوره بلند مستلزم همجواری آنها در کنار هم بوده و در ایران اغلب کارگاههای تولید فولاد از روش تنها کوره قوس استفاده می نمایند.

تهیه کننده :

علیرضا بنکدار

خرداد ۱۳۹۳