Archive of SID

سمپوزیوم فولاد ۹۳
۵ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۳
یزد، مجتمع معدنی و صنعتی اردکان
انجمن آهن و فولاد ایران
شرکت معدنی و صنعتی چادرملو

# مزایای استفاده از هات هیل و شارژ ۱۰۰ درصد آهن اسفنجی در میکس شارژ فلزی کوره‌های قوس فولاد هرمزگان

*احسان رسولی[1]، مجید ابوعطیوی، احمد قرایی، حامد لهراسبی‌نژاد، پویان بنی اسد*
فولاد هرمزگان

**چکیده**

کوره‌های قوس فولاد هرمزگان برای اولین بار در کشور براساس رژیم شارژ فلزی ۹۵٪ آهن اسفنجی و ۵٪ قراضه طراحی شده‌اند و این طراحی به گونه ای است که امکان شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی، در بیش از ۸۵٪ از ذوب‌های تخلیه شده از کوره وجود دارد. فولاد هرمزگان با بهره بردن از امکان نگهداشتن ۴۰ تا ۶۰ تن هات هیل (ذوب باقیمانده در کوره) از رژیم شارژ،۱۰۰٪ آهن اسفنجی جهت تولید فولاد استفاده می‌نماید و به نتایج قابل قبولی نیز در این خصوص رسیده است. در گزارش زیر سعی شده مزایای استفاده از شارژ۱۰۰٪ آهن اسفنجی در رژیم شارژ فلزی کوره‌های قوس مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد. در روش استفاده از شارژ ۱۰۰ درصدی آهن اسفنجی، به دلیل اینکه امکان افزایش نرخ شارژ آهن اسفنجی از ابتدای عملیات وجود دارد در نتیجه میزان زمان عملیات کاهش و با توجه به پایدار شدن قوس از ابتدای عملیات مصارف انرژی الکتریکی و الکترود کاهش خواهد یافت و در نتیجه بهره‌وری افزایش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** کوره قوس، هات هیل، شارژ ۱۰۰ آهن اسفنجی، کاهش مصرف انرژی.

[1] Rasooli.e@hosco.ir

www.SID.ir

Archive of SID



**مقدمه**

در سال‌های اخیر به دلیل مشکلات تأمین قراضه در کشور و افزایش قیمت قراضه و نزدیک شدن قیمت آن به قیمت محصولات تولیدی و از طرفی نوسانات زیاد در کیفیت قراضه‌های تأمین شده که بستگی به منابع و روش‌های تامین آن دارد (Baling Scrap, mill returns, shredder) استفاده از قراضه را در رژیم شارژ فلزی با مشکل مواجه کرده است.

و اما، در آهن اسفنجی به دلیل یکنواخت بودن کیفیت ترکیب شیمیایی (در صورت استفاده از منابع سنگ‌آهن با عیار و آنالیز یکنواخت)، عاری بودن از عناصر مزاحم، پایین بودن میزان گوگرد، شارژ پیوسته از طریق سقف کوره، افزایش میزان کربن تا ۳٪، افزایش متالیزاسیون تا ۹۶٪، توسعه شارژ اسفنجی به صورت گرم جهت افزایش بهره‌وری و کاهش مصارف، پایین بودن میزان جذب N و H به دلیل وجود سرباره پفکی مناسب، تشکیل سرباره پفکی بهتر و پایدارتر، افزایش سریع توان ورودی به کوره ها در حین شارژ مداوم آهن اسفنجی و در نهایت افزایش کیفیت محصولات تولیدی باعث شده در سال‌های اخیر به شدت مصرف‌آهن اسفنجی در میکس شارژ فلزی افزایش یابد.

لازم به ذکر است در صورتی استفاده از آهن اسفنجی در رژیم شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی اقتصادی خواهد بود که آهن اسفنجی از کیفیت مناسبی برخوردار باشد. در صورت پایین بودن کیفیت آهن اسفنجی، پایین بودن درصد آهن کل و بالا بودن میزان گانگ، مخصوصاً گانگ‌های اسیدی، هزینه‌های تولید به شدت افزایش یافته و راندمان کاهش می‌یابد. بالا بودن گانگ‌های اسیدی در آهن اسفنجی باعث افزایش مصرف دولومیت و آهک جهت رسیدن به بازیسیته مناسب در کوره خواهد شد که در اثر افزایش مصرف آهک و دولومیت، راندمان کاهش و مصارف انرژی؛ الکترود و زمان عملیات افزایش خواهد یافت.

پایین بودن متالیزاسیون در آهن اسفنجی نیز باعث افزایش FeO در سرباره کوره خواهد شد، که یا با اضافه کردن کربن، نسبت به کاهش FeO اقدام می گردد (این واکنش گرماگیر بوده و باعث افزایش مصرف انرژی الکتریکی می‌گردد) و یا اینکه FeO همراه با سرباره از کوره تخلیه می‌شود. (راندمان کوره در اثر افزایش FeO سرباره کاهش می‌یابد).

لازم به یادآوری است با توجه به اینکه منابع سنگ آهن با کیفیت مناسب در جهان محدود می‌باشد معمولاً تأمین سنگ‌آهن با عیار مناسب از قیمت بالایی برخوردار است.

در خاورمیانه به دلیل وجود ذخایر عظیم گاز طبیعی و ناچیز بودن هزینه‌ی تأمین گاز، هزینه‌ی احیاء سنگ آهن و تبدیل آن به آهن اسفنجی نسبت به سایر کشورهای تولیدکننده فولاد پایین‌تر می‌باشد، از طرفی پایین بودن قیمت انرژی الکتریکی که بر پایه‌ی توربین‌های گازی تولید می‌شود، باعث شده است که هزینه‌ی تبدیل آهن اسفنجی به فولاد نیز در کوره‌های قوس الکتریکی قابل توجیه باشد. کمبود منابع

www.SID.ir

Archive of SID



تأمین قراضه محلی، یافتن منابع سنگ‌آهن با عیار و ظرفیت بالا، تولید آهن اسفنجی با کیفیت مناسب و همچنین قرار گرفتن در کنار خلیج فارس جهت واردات سنگ‌آهن با آنالیز و قیمت مناسب، باعث شده خاورمیانه ظرفیت مناسبی جهت تبدیل سنگ‌آهن به آهن اسفنجی و سپس ذوب در کوره‌های قوس را داشته باشد. از طرفی در حال توسعه بودن منطقه خاورمیانه و نیاز به افزایش مصرف فولاد جهت تحقق زیرساخت‌ها و ساخت و سازهای شهری، باعث شده فولادسازی بر پایه آهن اسفنجی و کوره‌های قوس در منطقه به شدت توسعه یابد.

## روش تحقیق

ظرفیت کوره‌های قوس فولاد هرمزگان ۱۸۰ تن مذاب بوده و این در حالی است که ظرفیت پاتیل‌های انتقال مذاب ۱۲۰ تن می‌باشد، در نتیجه طراحی به گونه‌ای انجام شده است که امکان نگهداشتن ۶۰ تن مذاب در کوره وجود داشته باشد و همین عامل، باعث شده، توانایی تولید فولاد مذاب به روش ذوب ۱۰۰ درصد آهن اسفنجی در رژیم شارژ فلزی وجود داشته باشد. در این مقاله با افزایش تناژ هات هیل در کوره، تأثیرات آن بر شاخص‌های فرآیندی مورد بررسی قرار گرفته است.

## نتایج و بحث

### تأثیرات شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی بر شاخص‌های فرآیندی کوره‌های قوس

در ادامه گزارش تأثیرات شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی در کوره‌های قوس مورد بررسی، تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. جهت شارژ ۱۰۰ درصد آهن اسفنجی، طراحی کوره می‌باید به گونه‌ای باشد که امکان نگهداشتن مذاب (هات هیل) در کوره، پس از تخلیه ذوب وجود داشته باشد تا در ذوب‌های بعدی نیاز به شارژ قراضه جهت ساخت حوضچه مذاب وجود نداشته باشد. طبق بررسی‌های انجام شده میزان هات هیل (ذوب باقیمانده) مناسب جهت افزایش بهره‌وری و کاهش مصارف و هزینه‌ها می‌بایست ۴۰ تا ۵۰٪ وزن تخلیه می‌باشد. طراحی کوره‌های قوس فولاد هرمزگان به گونه‌ای است که امکان نگهداشتن ۶۰ تن هات هیل را دارد ولی معمولاً در سایر پلنت‌های فولادسازی ایران، طراحی کوره‌ها امکان نگهداشتن ۴۰ تا ۵۰ درصدی وزن تخلیه را به اپراتور نمی‌دهد لذا پیشنهاد می‌شود با توجه به تجربه Qatar Steel در استفاده از جرم مناسب و کاهش آجرهای ایمنی، تناژ ذوب باقیمانده در کوره را افزایش داد.

همانگونه که در شکل شماره ۱ مشاهده می‌فرمایید در فولاد قطر (Qatar Steel) قبل از انجام تغییرات در کوره شماره ۴ میزان ذوب باقیمانده در کوره ۲۰ تن بوده است که با توجه به تخلیه ۸۰ تنی میزان ذخیره مناسبی نبود با کاهش آجرهای ایمنی میزان تناژ ذوب باقیمانده در کوره را به ۳۰ تن افزایش داد و در اثر این تغییرات بهبود خوبی در پروسه ایجاد شد.

www.SID.ir

Archive of SID



**زمان عملیات**

در همان ابتدای فرآیند به دلیل وجود اکسیژن در ذوب باقیمانده (هات هیل)، همزمان با شارژ آهن اسفنجی؛ سرباره پفکی تشکیل شده و در اثر تشکیل سرباره پفکی، قوس به خوبی پوشش داده می‌شود در نتیجه امکان افزایش توان ورودی و در پی آن افزایش نرخ شارژ آهن اسفنجی وجود خواهد داشت، که در نتیجه زمان عملیات به نحوه چشمگیری کاهش می‌یابد. از طرفی با توجه به وجود مذاب به میزان کافی (۵۰٪ میزان تخلیه) امکان استفاده از اکسیژن با فلوی بالا از همان ابتدای فرآیند وجود خواهد داشت و عملیات متالورژیکی از قبیل فسفرزدایی بهتر و در زمان مناسب‌تری انجام می‌گردد. جذب نیتروژن در ذوب نیز به دلیل پوشش مناسب سطح ذوب توسط سرباره پفکی کاهش می‌یابد.

**زمان آماده‌سازی**

با توجه به اینکه نیاز به شارژ قراضه در هر ذوب وجود ندارد؛ توقفات ناشی از شارژ قراضه و زمان لازم جهت آماده‌سازی کاهش و در نتیجه زمان Power Off نیز کاهش خواهد یافت. از طرفی با توجه به کاهش مصرف نسوز (در ادامه به آن اشاره خواهد شد) زمان‌های لازم جهت تعمیرات گرم نسوز و تعمیرات کلی نسوز نیز کاهش می‌یابد که در نتیجه زمان آماده‌سازی کاهش خواهد یافت.

**افزایش بهره‌وری**

با توجه به کاهش زمان توقفات آماده‌سازی و زمان مستقیم کاری مدت زمان Tap to tap کاهش می‌یابد که در اثر کاهش زمان tap to tap راندمان تولید و بهره‌وری افزایش خواهد یافت.

**کاهش مصرف انرژی**

در زمان شارژ ۱۰۰% آهن اسفنجی به دلیل عدم نیاز به باز کردن سقف کوره جهت شارژ قراضه، پرت حرارتی ناشی از باز و بسته کردن سقف کاهش و در نتیجه میزان انرژی الکتریکی مصرفی کمتر خواهد شد. از طرفی به دلیل کاهش توقفات ناشی از شارژ قراضه حرارت از دست رفته توسط پنل‌ها و ذوب کمتر شده و در نتیجه میزان مصرف انرژی الکتریکی کاهش می‌یابد.

از طرفی در همان ابتدای عملیات، کربن موجود در آهن اسفنجی با اکسیژن موجود در مذاب واکنش داده و به سرعت سرباره پفکی شکل می‌گیرد، سرباره پفکی تشکیل شده، قوس به را خوبی پوشش داده و انتقال انرژی به مذاب بهتر صورت می‌گیرد در نتیجه به سرعت امکان افزایش طول قوس و توان ورودی در همان ابتدای فرآیند وجود خواهد داشت، در ادامه قوس پایدارتری تشکیل خواهد شد و میزان Cos φ افزایش در نتیجه مصرف انرژی الکتریکی کاهش خواهد یافت. از طرفی به دلیل پایدار شدن قوس، و افزایش طول قوس، نوسانات برق در خطوط انتقال نیرو نیز کاهش می‌یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



**کاهش مصرف نسوز**

مصرف نسوز نیز به دلیل تشکیل سرباره پفکی مناسب از ابتدای فرآیند، کاهش خواهد یافت و از طرفی به این دلیل که طول قوس بلندتر شده و فاصله نوک الکترود از کف کوره بیشتر و برخورد قوس با کف کوره ضعیف‌تر و در نتیجه فرسایش نسوز کمتر خواهد شد. از طرفی، به دلیل وجود هات هیل، سرباره از نسوز کف کوره فاصله بیشتری خواهد داشت و تأثیرات سرباره بر نسوز کف کمتر خواهد شد.

وجود هات هیل و ذوب در کف کوره باعث شده سطح ذوب برای پوشش کل بانک نسوز کوره مناسب بوده و از شوک های حرارتی وارد شده به نسوزهای منیزیتی کوره جلوگیری می‌نماید. لذا ترک‌های ناشی از شوک‌های حرارتی در نسوزهای منیزتی کمتر شده و عمر نسوزهای کف افزایش خواهد یافت.

از طرفی MgO موجود در گانگ آهن اسفنجی به دلیل سرعت در ذوب آهن اسفنجی به سرعت وارد سرباره شده و به اشباع سرباره از MgO کمک کرده، در نتیجه بازیسیته سرباره افزایش و خوردگی دیواره نسوز کاهش می‌یابد. از طرفی نیز با افزایش ویسکوزیته شرایط را برای پفکی کردن سرباره مطلوب می‌سازد.

وجود هات هیل از طرفی نیز باعث خواهد شد احتمال Over Heat شدن ذوب در اثر قوس‌زدن کاهش یابد و از تخریب نسوز جلوگیری شود.

همچنین وجود سرباره پفکی مناسب از ابتدای عملیات عمر نسوز سنتر کوره را نیز افزایش خواهد داد. در حال حاضر عمر سنترهای نسوز فولاد هرمزگان بالای ۱۰۰۰ ذوب می‌باشد. همچنین پنل‌های آبگرد کوره نیز در اثر پوشش مناسب قوس از عمر بالاتری برخوردار خواهند بود.

**کاهش مصرف الکترود**

با ایجاد سرباره پفکی مناسب، طول قوس افزایش یافته، جریان کاهش و در نتیجه قوس پایدارتری تشکیل شده و مصرف الکترود کاهش می‌یابد. یکی از روش‌های مصرف الکترود اکسیداسیون الکترود می‌باشد در روش شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی به دلیل اینکه نیاز به بالا آوردن الکترود و چرخاندن سقف کوره جهت شارژ قراضه نمی‌باشد همیشه ۲/۳ الکترود زیر سقف قرار داشته و به دلیل اینکه اکسیژن موجود در هوا در زیر سقف کوره با CO واکنش داده است، تمایل اکسیژن جهت واکنش با الکترود کمتر شده و در نتیجه مصرف الکترود کاهش خواهد یافت.

از طرفی به دلیل عدم مصرف قراضه، شکست ناشی از برخورد قراضه‌های سنگین با الکترود کمتر شده و شکست و مصرف الکترود کاهش می‌یابد.

ضمناً با توجه به عدم مصرف قراضه، تنظیمات الکترود کمتر شده و شوک‌های وارد شده به تجهیزات مکانیکی کوره نیز کاهش خواهد یافت.

www.SID.ir

Archive of SID



**بهبود فرآیندهای متالورژیکی**

با توجه به جود هات هیل در زمان تخلیه، احتمال تخلیه سرباره به درون پاتیل در اثر ایجاد جریان گردابی کمتر شده و در نتیجه مصرف مواد اکسیژن‌زدا در پاتیل کاهش یافته، مصرف نسوز پاتیل کمتر شده و راندمان مواد و فروآلیاژها افزایش می‌یابد. در اثر کاهش مصرف آلومینیوم جهت احیا سرباره اکسیدی کوره، میزان آلومینا در ذوب کمتر شده و ذوب از کیفیت مناسب‌تری برخوردار بوده و ریخته‌گری با شرایط مطلوب‌تری انجام می‌گردد.

از طرفی به دلیل افزایش مصرف اکسیژن در ابتدای فرآیند فسفرزدایی بهتر و در زمان مناسب‌تری انجام می‌گردد. جوشش مذاب در اثر واکنش کربن با اکسیژن و تماس سرباره با ذوب به فسفرزدایی کمک خواهد کرد.

تسریع در ایجاد سرباره پفکی و پوشش مناسب ذوب جذب نیتروژن و هیدروژن هوا را کاهش خواهد داد و ذوب تولید شده از کیفیت بهتری برخوردار خواهد بود.

**نکاتی که می‌باید در زمان تولید به روش ۱۰۰ آهن اسفنجی به آن توجه نمود**

۱. میزان هات هیل یا مذاب باقیمانده در کوره می بایست ۴۰ تا ۵۰٪ وزن مذاب تخلیه شده در پاتیل باشد.
۲. نرخ شارژ آهن اسفنجی می‌بایست با انرژی ورودی به دقت کنترل شود که مذاب بیش از حد سرد یا گرم نشود.
۳. همانطور که عمر نسوز افزایش می‌یابد امکان افزایش هات هیل وجود خواهد داشت.
۴. وقتی میزان هات هیل به دلیل کاهش ضخامت نسوز و افزایش عمر نسوز افزایش می‌یابد می‌باید دمای کف مانیتور شود و در صورت نیاز؛ تعمیرات گرم کوره انجام شود.
۵. کربن موجود در آهن اسفنجی متناسب با ریت شارژ آهن اسفنجی و میزان اکسیژن دمش شده در کوره باشد نباید نرخ کربن‌زدایی از زمان عملیات بیشتر شود یا عملیات اپراتوری را غیر ایمن سازد.
۶. جهت تشخیص میزان هات هیل بهتر است کوره به سمت دریچه سرباره ۷ درجه تیلت شود در صورت رسیدن سطح ذوب به دریچه سرباره مشخص می‌شود، میزان هات هیل در کوره مناسب می‌باشد. در صورتی که بعد از تیلت، ذوب از دریچه سرباره تخلیه شد مشخص می‌شود میزان هات هیل در کوره بالاست که می‌بایست در ذوب بعدی میزان اسفنجی کمتری به درون کوره شارژ شود. در صورتی که سطح ذوب بعد از تیلت به دریچه سرباره نرسید می‌بایست در ذوب بعدی نسبت به افزایش میزان اسفنجی اقدام نمود.
۷. در صورتی‌که میزان هات هیل خیلی پایین باشد با شارژ اسکول تاندیش توسط جرثقیل سقفی به درون کوره و یا شارژ سبد قراضه امکان افزایش میزان هات هیل وجود خواهد داشت این روش سریع‌تر از افزایش میزان هات هیل از طریق اضافه کردن اسفنجی به عنوان شارژ فلزی عمل خواهدکرد.

www.SID.ir

Archive of SID



۸. هات هیل به اپراتور کمک خواهد کرد که مدیریت سکوئنس‌سازی را بهتر انجام داده و در زمانی‌که وقت کافی جهت ساخت ذوب و رساندن آن به سکوئنس را نداشته باشد از میزان هات هیل کاسته و ذوب را به سکوئنس برساند.

**نتیجه‌گیری**

شارژ ۱۰۰ درصد آهن اسفنجی با بهره جستن از میزان مناسب هات هیل در کوره‌ها شاخص‌های فرآیندی را به نحو مطلوبی بهبود می‌بخشد، زمان عملیات، مصرف انرژی، مصرف الکترود، مصرف نسوز را کاهش و بهره‌وری را افزایش خواهد داد. با توجه به افزایش تعرفه‌های برق و تأمین نسوز و الکترود از خارج از کشور استفاده از شارژ ۱۰۰ آهن اسفنجی در صورت مناسب بودن کیفیت آهن اسفنجی مصرفی مقرون به صرفه بوده و باعث خواهد شد قیمت نهایی محصول تولید شده به شدت کاهش یابد.

**تشکر و قدردانی**

در پایان از تمامی کارکنان محترم واحد فولادسازی فولاد هرمزگان تشکر و قدردانی نموده که در کمتر از ۳ سال از شروع بهره‌برداری با تلاش بی‌وقفه به نتایج مطلوبی درخصوص بهبود فرآیند و کاهش هزینه‌ها دست‌یافتند هم‌چنین تشکر بی‌نهایت از کارکنان واحد احیا که در یک سال گذشته تلاش بی‌وقفه نمودند آهن اسفنجی با شرایط مطلوب به فولادسازی ارسال شود و سپاس از جناب آقای Dr.Bernd Strohmeier که با راهنمایی‌ها و مشاوره‌های خود زمینه استفاده از هات هیل مناسب را در فولاد هرمزگان فراهم ساخت. از معاونت محترم بهره‌برداری، مدیریت محترم فولاد سازی و ریاست محترم کارگاه ذوب به دلیل ایجاد شرایط لازم جهت استفاده از هات هیل مناسب و شارژ ۱۰۰٪ آهن اسفنجی سپاسگزاری می‌نمایم.

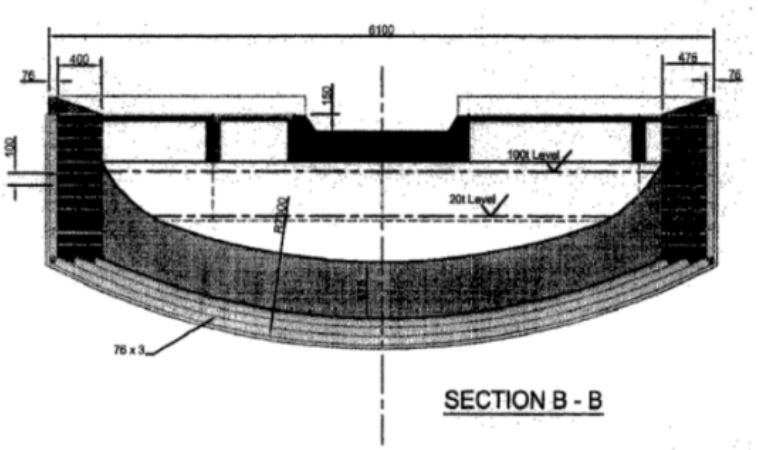
**مراجع**

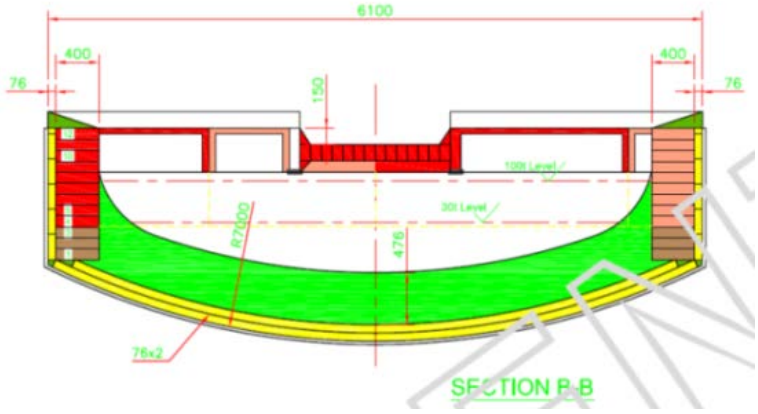
[1] R.Lule, F.Lopez, R.Torres, “Operation Result during the melting of 100% DRI of high Carbon/high metallization at IMEXSA”, May2001
[2] Philip Dsouza, “Quality of DRI and its influence on EAF Operation”, Aqust2010, india steel congress
[3] Paolo Razza, “Excellent operating results of the integrated minimill #1 at Emirates steel industries”, April 2010
[4] Nabil Daoud Takla, “Utilization of Sponge iron in Electric Arc Furnaces”, october1998, Qatar steel company,
[5] Joachim D Souza, “Efficient EAF Operation with Cold or Hot DRI”, May2014, Japan, 11th Annual Yamato Technical Conference
[6] Ruben Lule Gonzalez, “The production of steel applying 100% DRI for nitrogen removal”, AISTech conference proceeding, 2009
[7] Francisco Lopez, “increase of Metallic Yield through the FeO reduction in the hot heel using 100% DRI”, AISTech conference proceedings, 2008
[8] O.A Rosales and M.R Lule, “Decreased Energy consumption in the EAF”, Arcelor Mittal lazaro cardenas flat carbon internal report, July 2011,

www.SID.ir

Archive of SID





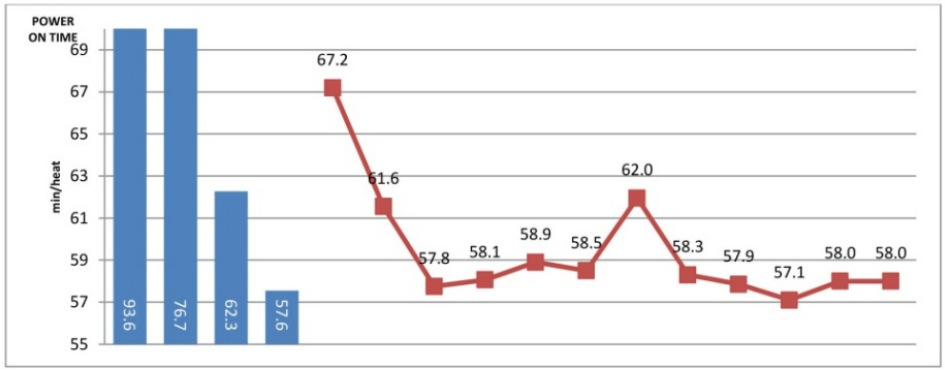

| Items | 20t Hot heel ( 500 heats) | 25/30t Hot heel (500 heats) | |
|---|---|---|---|
| Power On time(min) | 39 | 37 | |
| Power Off time(min) | 9 | 8 | |
| Melting Power Kwh/t | 495 | 485 | Average Lime Consumption is 15Kg/t and Dololime 25 kg/t |
| $O_2$ consumption($Nm^3/t$) | 32 | 34 | |
| Electrode Kg/t | 1.3 | 1.07 | |
| Gunning Kg/t | 2.1 | 1.64 | |
| Fettling Kg/t | 0.76 | 0.61 | |
| Bottom material Kg/t | 0.34 | 0.305 | |
| Roof Kg/t | 0.2 | 0.24 | |
| Wall Kg/t | 0.58 | 0.46 | |

شکل ۱. تغییر میزان هات هیل با کم کردن آجرهای ایمنی
در نسوز کوره و بهبود شاخص‌های فرآیند.

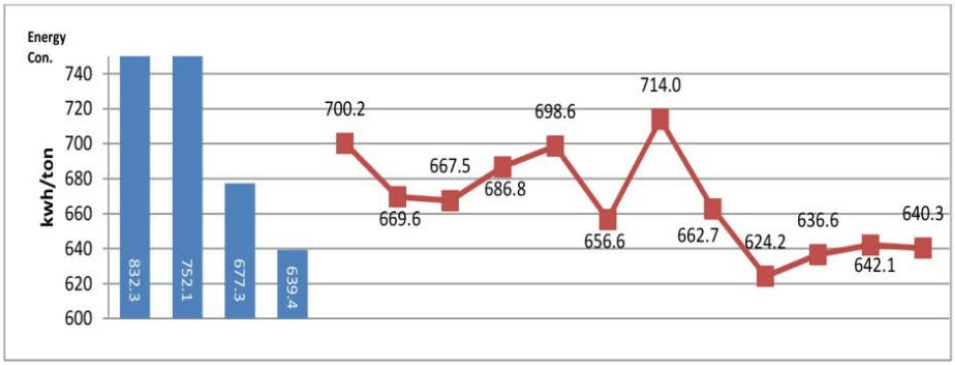
www.SID.ir

Archive of SID

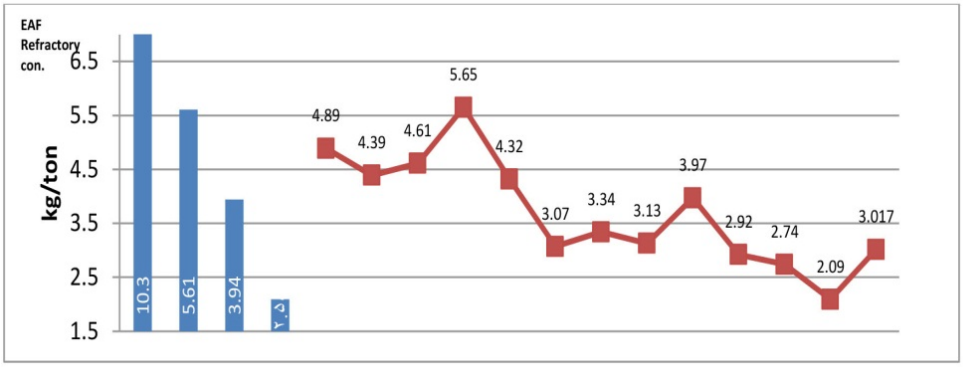




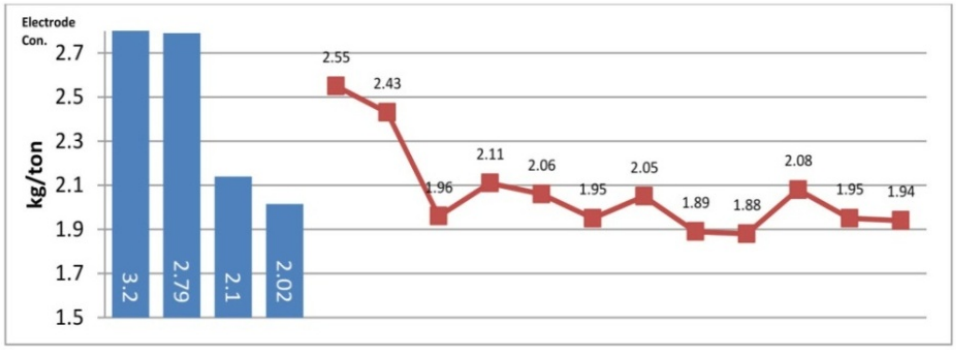

نمودار۱: کاهش زمان عملیات با افزایش میزان هات هیل در کوره‌ها در فولاد هرمزگان.




نمودار ۲. کاهش مصرف انرژی الکتریکی با افزایش میزان هات هیل در کوره‌ها در فولادهرمزگان.




نمودار ۳. کاهش مصرف نسوز کوره با افزایش میزان هات هیل در کوره‌ها در فولاد هرمزگان.




نمودار ۴. کاهش مصرف الکترود کوره با افزایش میزان هات هیل در کوره‌ها در فولاد هرمزگان.

www.SID.ir