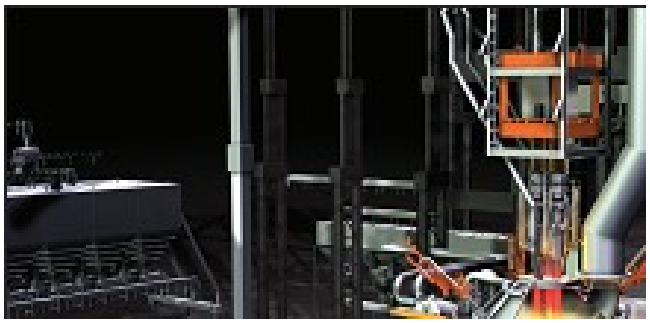
فرآیند فولادسازی پیوسته قوس الکتریکی S/EAF® [1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی

فرآیند جدید فولادسازی S/EAF شرکت SMS امکان فولادسازی پیوسته تا یک هفته را در فراهم می‌کند. DRI، قراضه و چدن خام مذاب بطور پیوسته تحت برقراری برق کوره تغذیه می‌شوند شرایط پایدار و پالایش حمام تخت را فراهم می‌کنند. مزایای آن بهره‌وری بالاتر، هزینه‌های سرمایه و جاری کمتر و بهبود نتایج زیست محیطی است.

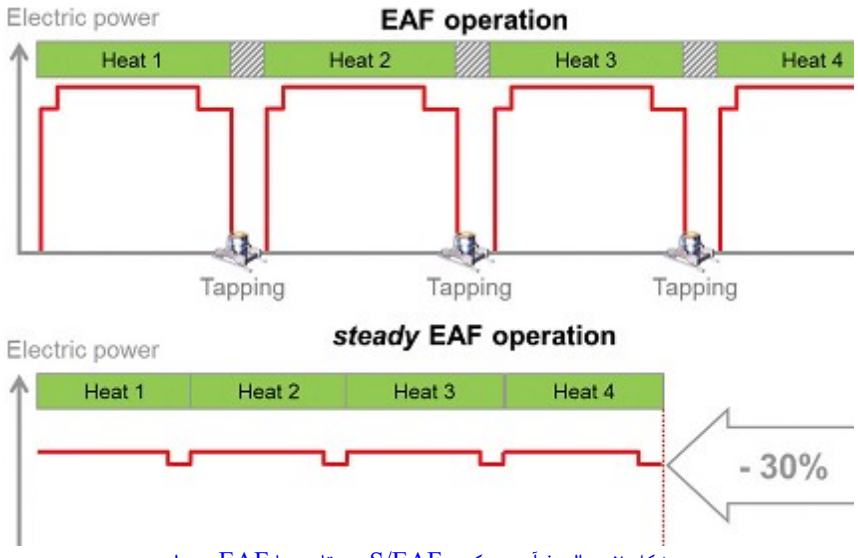


شکل ۱- تصویری از کوره S/EAF

کوره قوس الکتریکی (EAF) هسته اصلی کارخانه فولادسازی الکتریکی است و تأثیر تعیین‌کننده‌ای بر تولید سالانه و هزینه‌های انرژی دارد. به طور معمول، کار EAF پیوسته نیست، بلکه با شارژ کردن قراضه، افزودن الکترود و تخلیه فولاد مذاب قطع می‌شود، که برای کوتاه کردن این زمان‌های غیر مولد گران، باید راه‌حل‌های فنی مناسب در دسترس قرار گیرند.

فرآیند ARCCESS® یا steady EAF (S/EAF®) توسعه‌ای از شرکت SMS است که امکان تولید پیوسته این کوره تا یک هفته را با یک شیفت پس از آن برای تعمیرونگهداری مکانیکی و ترمیم نسوز میان دوره‌ای فراهم می‌سازد. S/EAF که از ابتدا توسعه داده شده، نوآوری‌های جدید و تکنولوژی تثبیت شده را با هم تلفیق می‌کند. طرح شماتیک آن در **شکل ۱** شارژ DRI پیوسته و سیستم اختیاری شارژ چدن خام مذاب را نشان می‌دهد. این تکنولوژی از تجربه طولانی مدت SMS با بیش از ۳۰۰ کارخانه مرجع کوره قوس غوطه‌ور (SAF)، بیش از ۱۳۰۰ کارخانه مرجع EAF و تکنولوژی CONARC® نشات می‌گیرد.

شرح فرآیند



شکل ۲- توالی فرآیند در کوره S/EAF در مقایسه با EAF معمولی.

S/EAF نوع جدیدی از EAF، با افزایش بهره‌وری تا ۳۰ درصد و مصرف انرژی کمتر به دلیل عملیات پیوسته قابل‌اعتماد آن می‌باشد. مقایسه با EAF معمولی با همان ظرفیت ترانس و وزن تخلیه بر اساس محاسبات مدل در **شکل ۲** نشان داده شده است. کوره به طور پیوسته از طریق یک سیستم انتقال مواد با آهن اسفنجی گرم (HDRI) با دمای حداکثر ۶۰۰°C یا با DRI سرد شارژ می‌شود. افزودن آهن بریکت شده گرم

[1]- The S/EAF® continuous electric arc steelmaking process, MILLENNIUM STEEL 2013.

(HBI)، چدن خام مذاب یا قراضه نیز امکان‌پذیر است. در سناریوئی با تغذیه ۱۰۰ درصد HDRI، مصرف ویژه انرژی ۲۰ kWh/t در مقایسه با فرآیند EAF معمولی کاهش می‌یابد.

مشابه با عملیات SAF، فرآیند به طور یکنواخت انجام می‌شود و تقریباً عاری از نوسانات است زیرا به طور پیوسته در فاز حمام تخت با یک حمام مذاب اولیه کار می‌کند.

لنس‌های دمنده اکسیژن خنک‌شونده با آب از سقف کوره وارد می‌شوند، تکنولوژی‌ای که از CONARC©، یک کوره توسعه یافته توسط SMS با هدف کربن‌زدائی سریع ذوبی با محتوای کربن بالا، اقتباس گردیده است. لنس‌ها برای تنظیم فاصله تا مذاب و حصول اطمینان از کربن‌زدائی سریع، متحرک هستند.

سطح سرباره پفکی توسط دریچه جدید سرباره دو بال کنترل می‌شود. با کمک این سیستم دریچه سنگین–کار ثبت اختراع شده که با سیلندرهای هیدرولیک کار می‌کند، در صورت لزوم امکان نگهداشتن سرباره در کوره یا اجازه جاری شدن آن به بیرون وجود دارد. حرکت منظم بال‌های دریچه سرباره اثر تمیزکنندگی دارد و از تجمع سرباره منجمد شده در اطراف ناحیه دریچه جلوگیری می‌کند.

کمی قبل از تخلیه، شارژ DRI قطع می‌شود و DRI دریافتی از کوره احیا در آن زمان در قیف (هاپر) میانی ذخیره می‌شود. این دوره کوتاه برای فوق‌گداز دادن به ذوب، و تنظیم میزان کربن هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

S/EAF مجهز به سیستم تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT) است و عمق فولاد مذاب در بالای سوراخ تخلیه در مقایسه با EAF معمولی بسیار بیشتر است. کج شدن کوره در جهت جلو لازم نیست و با باز کردن دریچه کشویی EBT تخلیه آغاز می‌شود. به دلیل این ویژگی‌های طراحی، تخلیه با پاور–آن امکان‌پذیر است. در طی تخلیه، یک وسیله جابجایی سرباره مشابه میله استوپر نسوز، در سرباره بالای سوراخ تخلیه فرو می‌رود تا از انتقال سرباره جلوگیری کند. به طور معمول، ۴۰ درصد از فولاد مذاب برای شروع ذوب بعدی نگهداشته می‌شود.

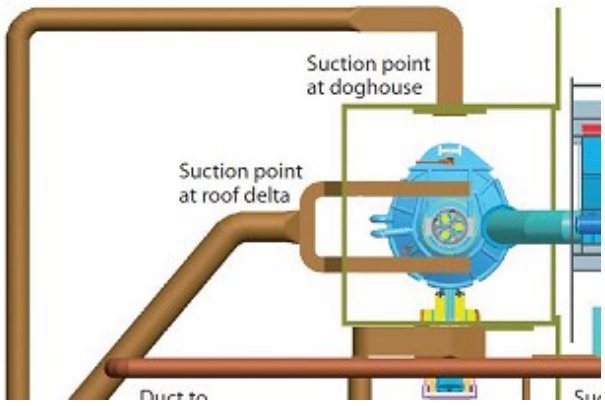
	واحد	EAF	S/EAF	Δ٪
بهره وری	Mt/yr	۲,۲	۲,۲	
ظرفیت ترانسفورمر	MVA	۲۵۰	۲۰۰	-۲۰
وزن تخلیه	t	۲۰۰	۱۸۰	-۱۰
قطر مخزن	mm	۱۰۵۰۰	۸۷۰۰	-۱۷
قطر الکترود	mm	۷۵۰	۶۱۰	-۱۹
زمان ذوب تا ذوب	min	۴۱	۳۸	-۷
انرژی الکتریکی	kWh/t	۴۲۰	۴۰۰	-۵
ظرفیت جرثقیل	t	۴۵۰	۱۹۰	-۵۸

جدو ۱– مقایسه جنبه‌های اصلی طراحی.

طراحی کارخانه

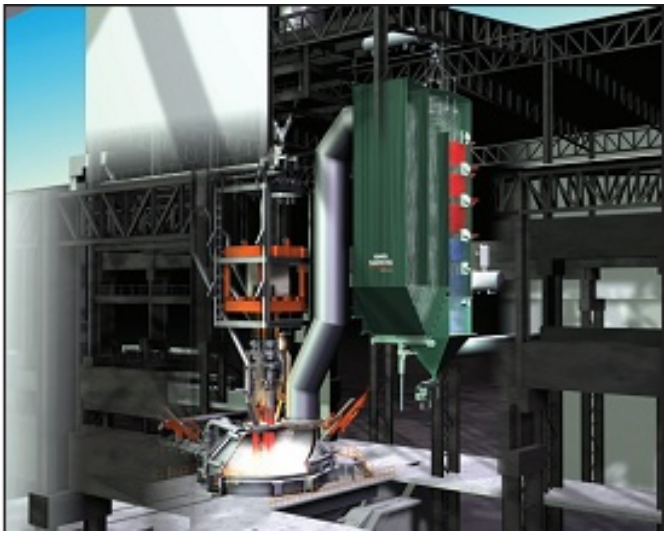
با S/EAF، امکان تحقق یک پیکربندی کارخانه که همزمان هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی را کاهش می‌دهد، وجود دارد. **جدول ۱** داده‌های اساسی طراحی محاسبه شده برای یک S/EAF را در مقایسه با EAF معمولی با همان ظرفیت تولید سالانه نشان می‌دهد. هر دو مورد برای ۱۰۰ درصد HDRI به عنوان ماده شارژ است.

به خاطر تولید پیوسته، یک S/EAF می‌تواند بسیار کوچکتر از یک EAF معمولی با همان تولید سالانه باشد. ظرفیت جرثقیل مورد نیاز تقریباً ۶۰ درصد کاهش می‌یابد زیرا مخزن کوره را می‌توان بر روی یک خودروی حمل‌ونقل (ترانسپورت کار) به جایگاه تعمیرونگهداری برده شود، از این رو به جرثقیل‌های دروازه‌ای سنگین–کار با ساخت سازه و پی‌سازی دقیق نیازی نیست. این به کاهش ۲۵ درصدی سرمایه‌گذاری برای پی‌سازی و سازه فولادی منتج می‌شود.



شکل ۳– نقاط مکش S/EAF.

از آنجا که S/EAF در حین کار باز نمی‌شود، برای جمع‌آوری گاز ثانویه به هود سقفی نیاز نیست. گازهای اولیه مستقیماً از طریق یک دهانه در کوره به کارخانه تمیز کردن گاز، که بسیار کوچکتر از EAF معادل آن نیز هست، خارج می‌شوند. محفظه کوره باعث کاهش سر و صدا و انتشار گرد و غبار فراری می‌شود و امکان دستیابی به طراحی بهینه سیستم تهویه ثانویه را فراهم می‌کند. یک جانمائی شماتیک در **شکل۳** نشان داده شده است.



شکل ۴- S/EAF با سیستم بازیابی انرژی متصل.

سیستم بازیابی انرژی یکپارچه با استفاده از انرژی حرارتی گاز گرم خروجی کوره، بازدهی را بازهم بهبود می‌بخشد (**شکل۴**). گاز خروجی به واحد تولید بخار هدایت می‌شود تا از انرژی حرارتی آن به کارآمدترین نحو استفاده شود. در جائی که بخار یک مدول توربین ژنراتور تولید برق را به حرکت در می‌آورد، بطور متوسط می‌توان ۱۵ MW را بازیافت کرد (برای یک ۲۵۰ t S/EAF).

تمام اجزا طوری طراحی شده‌اند که برای مدت حدود یک هفته امکان عملیات پیوسته در حالت پاور–آن را دارند. عملیات بی‌وقفه توسط یک سیستم ثبت اختراع مشتق شده از تکنولوژی SAF امکان‌پذیر می‌شود تا الکترودها بتوانند بطور پیوسته با گیره گرفته شده و به پائین لغزانده شوند. وقتی الکترود مصرف شد، یک قطعه الکترود تازه به راحتی متصل می‌شود. همه این اعمال با حالت پاور–آن صورت می‌گیرد. بر خلاف EAFهای معمولی، سیستم ولتاژ بالای S/EAF سه ترانسفورمر منفرد برای هر ۱۲۰ درجه بجای یک ترانسفورمر سه فاز دارد. این امر تقارن بسیار خوب سیستم الکتریکی ثانویه را فراهم می‌سازد و می‌توان فواصل کوتاه سیستم ولتاژ بالا را تحقق بخشید.

ورودی پیوسته انرژی الکتریکی و فرآیند حمام تخت از بازخورد منفی بر شبکه برق (برای مثال، فلیکر) جلوگیری می‌کنند، بنابراین فولادسازان می‌توانند از هزینه‌های ارزانتر انرژی الکتریکی منتفع گردند زیرا می‌توانند شرایط بهتری را با تامین‌کنندگان برق تنظیم کنند. مزایای دیگر محافظت از پوشش نسوز و مصرف ویژه کمتر الکترود به دلیل شرایط عملیاتی بسیار پایدار است.