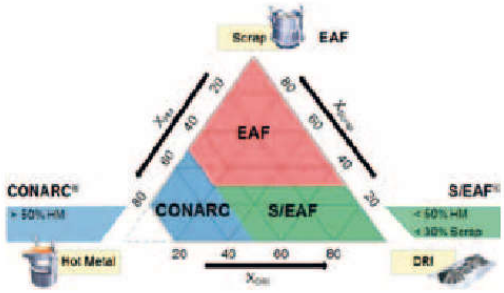
کوره‌های قوس الکتریکی مدرن:
تکنولوژی‌هایی فراتر از نیازمندی‌های جدید بازار[1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی

مقدمه

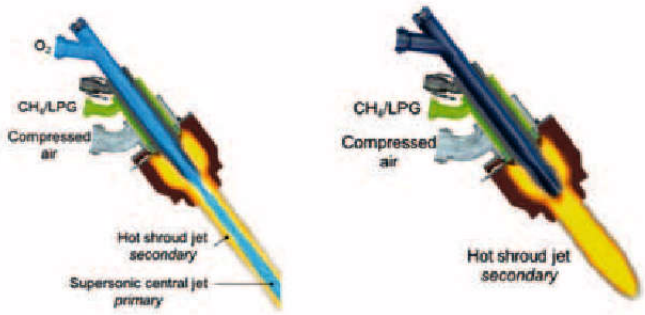
شرکت آلمانی SMS به عنوان یکی از بزرگترین تامین‌کنندگان تجهیزات اصلی (OEM) صنعت فولادسازی، همراه با شرکت‌های تابعه خود در سراسر جهان، از جمله در ایتالیا (SMS group S.p.A.)، در حال سوق دادن تجارت در جهت پاسخ به مسیر جدید آن متشکل از سود محدود، تجارت نامنصفانه بازار و محیط ناپایدار و شرایط قانونی که بر عملکرد فولادسازان در سطح جهانی تأثیر منفی می‌گذارند می‌باشد.

بطور خاص برای مسیر فولادسازی با EAF، در موقعیت تامین‌کننده، ما می‌توانیم به بازار کمک کنیم توسط:



شکل 1- رویکرد مواد ورودی SMS EAF.

- طراحی تجهیزات قادر به ایجاد سود بدون توجه به مواد ورودی از هر نوع که باشد: قراضه فولادی یا DRI/HBI یا چدن خام مذاب، و همچنین انطباق با عملیات غیرپیوسته؛
- طراحی تجهیزات یا بخشی از آن که منابع را با کاهش مصرف یا استفاده از انرژی تلف‌شده به روش سودآور، از جمله کاهش نیروی کار، به ویژه در زمینه‌های خطرناک، بهینه کند؛
- طراحی تجهیزات با هزینه اولیه سرمایه‌گذاری که امکان بازگشت سرمایه (ROI) سریع در محیطی را فراهم می‌کند که سرمایه‌گذاری 15-10 ساله که از آن استفاده می‌کردیم امکان آنرا نمی‌دهد؛
- شناخت نیازهای متفاوت بازارهای مختلف و انطباق خود با آن، و به هر حال بکارگیری آنچه که در یک زمینه یا حوزه بازار برای همه مشتریان خود می‌آموزیم؛
- تحقق نرم‌افزاری که به مشتری در بهینه‌سازی کار روزمره خود، خواه تولید، تعمیرونگهداری یا برنامه‌ریزی باشد، در هر جا در واحدهای آنها که به سمت دیجیتال‌سازی عمیق (موسوم به صنعت 4.0) در حال حرکت هستند کمک می‌کند.



شکل 2- تکنولوژی گاز گرم محافظ (احاطه کننده) SMS SiS®.

چون در سال‌های آینده در دسترس بودن قراضه فولاد با سرعتی کمی بیشتر از تولید رشد خواهد کرد (برای EU27 به ترتیب 0.9 درصد در مقابل 0.8 درصد)، و مسیر EAF در محیطی که نیاز به سازگاری پیوسته تولید با تقاضای بازار دارد سودآورتر و انعطاف‌پذیرتر می‌شود، EAF باید خود را با ورودی‌های مختلف و انعطاف‌پذیر مواد خام تطبیق دهد.

[1] -Modern electric arc furnaces: technologies to exceed the new market requirements, International Journal of the Italian Association for Metallurgy, n. 2, Feb. 2017.

رویکرد شرکت SMS در مورد کوره‌ها

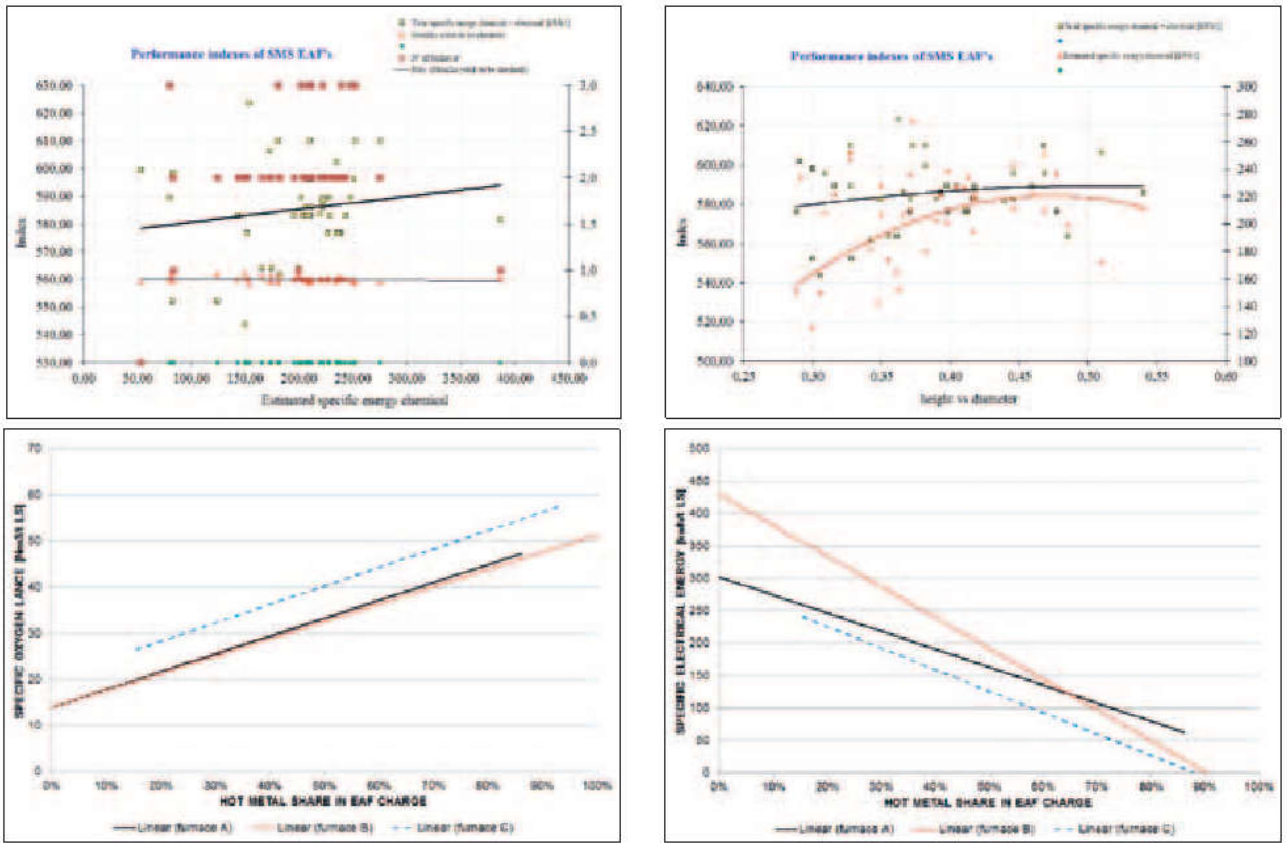
در 15 سال گذشته، گروه SMS، علاوه بر EAF های معمول برای قراضه، 24 کوره با مواد اولیه جایگزین ورودی فرآیند را تأمین کرده است (**شکل 1**): 7 کوره برای DRI سرد/گرم و HBI تا 100 درصد از شارژ، 7 کوره برای چدن خام مذاب تا 80 درصد از شارژ، 5 کوره برای ترکیبی از چدن خام مذاب و DRI/HBI، 4 کوره CONARC® که اقتصاد کنورتر را با انعطاف‌پذیری EAF با تولید توسط چدن خام مذاب و مخلوط قراضه و 2 کوره پیشگرمایش قراضه ترکیب می‌کند. تجربه بدست آمده به صنعت در تعیین مسیرهای جدید، انعطاف‌پذیرتر و کارآمدتر برای تولید محصولات فولاد خام کمک می‌کند، محتوای تکنولوژیکی آنها را به سمت EAF های مدرن سوق می‌دهد. در زیر یک روش کلی در هنگام طراحی اولیه واحد ذوب بر اساس مواد ورودی آورده شده است. همانطورکه در بالا بیان شد، این رویکرد کلی به هر حال به نفع EAF ها با طراحی سنتی تغییر می‌کند اما برای شارژهای مختلف بهینه می‌شود.

استفاده موثر از انرژی شیمیایی و الکتریکی

بسته به هزینه محلی انرژی الکتریکی و گاز طبیعی و همچنین میزان بهره‌وری مورد نیاز EAF، مقادیری انرژی الکتریکی توسط انرژی شیمیایی از طریق مشعل‌های اکسیژن–گاز و لنس‌های اکسیژن جایگزین می‌شوند. برای این منظور شرکت SMS، در طی سالها، دو خانواده مختلف از مشعل‌ها را توسعه و بهبود داده است (**شکل 2**): سیستم‌های CONSO® و SIS®، به ترتیب برای EAF بر پایه قراضه و برای عملیات حمام مذاب تخت همانند شارژ پیوسته قراضه DRI/HBI یا در کوره‌های شارژ شده با چدن خام مذاب. طرح CONSO® برای توزیع گاز طبیعی و اکسیژن ثانویه بهینه شده است، و مورد دومی اطراف مورد اول را در دو لایه متحدالمرکز در یک سطح بزرگ احاطه می‌کند. شعله، تا 8 MW انرژی، بنابراین در ایجاد شعله، و در نتیجه در پیشگرمایش قراضه بسیار کارآمد است. هر مشعل از طریق یک نازل لاوال (Laval) نیز می‌تواند برای تزریق مافوق صوت اکسیژن با اثر محافظت (احاطه‌کنندگی) از شعله با انرژی کمتر مورد استفاده قرار گیرد. سیستم SIS® به خاطر طراحی منحصر به فرد خود، کربن‌زدائی سریع در طی مراحل حمام مذاب تخت را تامین می‌کند. این به خاطر طراحی تکنولوژی پیشرفته نازل مافوق صوت اکسیژن لاوال (Laval) است. طراحی آن با استفاده از روشی مشخص، یک محاسبه ریاضی خاص توسعه داده شده است که منتج به نوع زنگی منحصر به فردی می‌شود. در طی حالت انژکتور، جریان مافوق صوت اکسیژن توسط گاز محافظ (احاطه کننده) برای به حداکثر رساندن سرعت خروج و بازدهی اکسیژن پشتیبانی می‌شود. این مشعل ویژه یک دستگاه بسیار اقتصادی یکپارچه شده‌ای را تشکیل می‌دهد: بجای استفاده از اکسیژن صنعتی گران، گاز طبیعی با هوای فشرده معمولی می‌سوزد و باعث ایجاد جریان هوای گرم محافظ (احاطه کننده) می‌شود. این امر هزینه‌های تولید گاز محافظ را نسبت به راه‌حل‌های معمولی بیش از 70 درصد کاهش می‌دهد.

در طی مرحله طراحی، راه‌حل فنی برای انتخاب بر اساس عوامل ذکر شده در بالا ارزیابی می‌شود. صرف‌نظر از هزینه تبدیل جالب است توجه کرد که، بر اساس تجزیه‌وتحلیل داده‌های 20 سال گذشته، یک نمودار پراکندگی کلی برای عملکرد انرژی ویژه کل نسبت به انرژی ویژه شیمیایی وجود دارد. این موضوع موید آن است که برای انرژی شیمیایی تمایل به تلف شدن در دود خروجی به جای انتقال به قراضه/فولاد وجود دارد و این کاملاً بدون توجه به تعداد سبد قراضه شارژ شده است که با نمودار زیر تأیید می‌شود. تغییرات در این زمینه عمدتاً در نسبت ارتفاع به قطر پوسته فوقانی کوره است که به هر حال نشان می‌دهد که حدی برای کاهش انرژی شیمیایی ورودی به کوره‌های بالا (عمدتا موارد تک سبدی) وجود دارد.

نتایج انرژی الکتریکی ورودی و انرژی شیمیایی ورودی به کوره‌های چدن خام مذاب که اخیراً توسط SMS تهیه شده‌اند، در نمودار زیر ترسیم شده است (**شکل 3**).



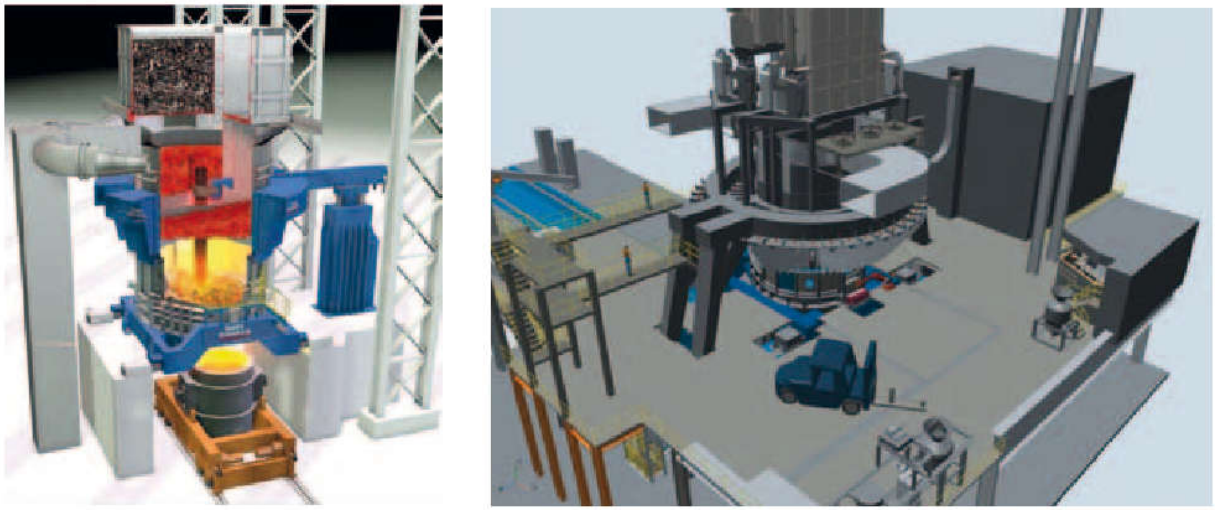
شکل 3- نتایج انرژی الکتریکی ورودی و انرژی شیمیایی ورودی به کوره های چدن خام مذاب.

تکنولوژی‌های نوآورانه EAF برای آینده - کارخانه AFERPI-Piombino آینده

همانطورکه گفته شد، هر EAF باید طبق ماده اولیه ورودی قابل‌دسترس یا برنامه‌ریزی شده برای دسترسی آن در آینده برای کارخانه خاص طراحی شود. علاوه بر بهینه‌سازی طراحی "EAF سنتی" بر اساس الزامات، SMS همیشه به دنبال ایده‌های ابتکاری برای بهبود فرآیند کوره براساس ورودی قابل‌دسترس مواد اولیه و انرژی است. در چند سال اخیر نمونه‌هایی از این سرزندگی در R&D در پاسخ‌های آن در تکنولوژی قبلاً مختصر توصیف شده و اثبات شده Conarc، در کوره ShArc و ذوب‌کننده انرژی اولیه (PEM) یافت می‌شود.

ShArc نشانه Shaft Arc Furnace (کوره قوس ستونی) است و آخرین تکنولوژی ستونی ثبت شده SMS برای پیشگرمایش قراضه از طریق گرمای درونداشت (آنتالپی) گازهای خروجی است. ShArc یک کوره DC است که با تخلیه دو سبد قراضه اختصاصی به محفظه‌های پیشگرمایش تخصیص یافته و سپس از آنجا به حمام فولاد شارژ می‌شود. همچنین می‌تواند با مخلوطی از قراضه و HBI، دومی از طریق یک درگاه بارگیری اختصاصی تا 30 درصد، شارژ گردد. مزایای آن مصرف کمتر انرژی الکتریکی (کاهش تا 280 kWh/t) با زمان ذوب تا ذوب کوتاه‌تر بخاطر بهترین تکنولوژی شناخته شده پیشگرمایش قراضه هستند. به منظور امکان فوق‌گداز یکنواخت فولاد و کربن‌زدائی، قراضه پیشگرمایش شده را می‌توان از حمام فولاد جدا کرد. عملیات دود پایین‌دست [در این مجموعه] جدیدترین تکنیک‌های موجود را برای مطابقت با مقررات مربوط به انتشار گردوغبار و دیوکسین تامین می‌کند.

لازم به ذکر است که ShArc تکنولوژی انتخاب شده برای تاسیسات جدید در کارخانه AFERPI بخاطر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تکنولوژی سبز آن است (**شکل4**). در مورد خاص AFERPI، دولت ایتالیا، از طریق کمیسیون اتحادیه اروپا، از قبل مبلغ بیش از 90 میلیون یورو در 5 سال "گواهینامه‌های سفید" را برای استفاده از تکنولوژی SMS به تصویب رسانده است.



شکل 4- طرح جانمائی کوره ShArc و AFERPI پایه.

تکنولوژی‌های نوآورانه EAF برای آینده – PEM

ایده اصلی فرآیند PEM استفاده مستقیم از انرژی اولیه بجای برق برای ذوب کردن قراضه است. هدف این است که حداقل انرژی ترمودینامیکی مورد نیاز برای پیشگرمایش و ذوب کردن (360kWh/t) با استفاده از انرژی اولیه و انرژی لازم برای فوق‌گداز (35kWh/t) با استفاده از برق در EAF تامین شوند. تلفات انرژی از طریق تولید و انتقال انرژی الکتریکی به حداقل می‌رسد و انتشار کلی CO_2 بیش از 30 درصد کاهش می‌یابد. بنابراین PEM فرآیندی از پیش تعیین شده برای مناطق با محدودیت دسترسی به برق یا پایداری محدود شبکه برق است. PEM یک کوره ستونی است که از بالا بطور پیوسته با قراضه از طریق یک دریچه توسط تسمه نقاله یا سبد (اسکیپ) شارژ می‌شود. ذوب شدن در قسمت‌های پایین ستون با سوزاندن گاز طبیعی تزریق شده در اطراف محور ستون انجام می‌شود. پیشگرمایش قراضه از اصل جریان مخالف استفاده می‌کند که به حداقل مصرف کلی انرژی منتج می‌گردد. مواد ذوب شده از طریق یک ناودانی کوتاه بطور پیوسته به EAF منتقل می‌شوند (**شکل 5**).

شکل 5- ذوب‌کننده انرژی اولیه، PEM.

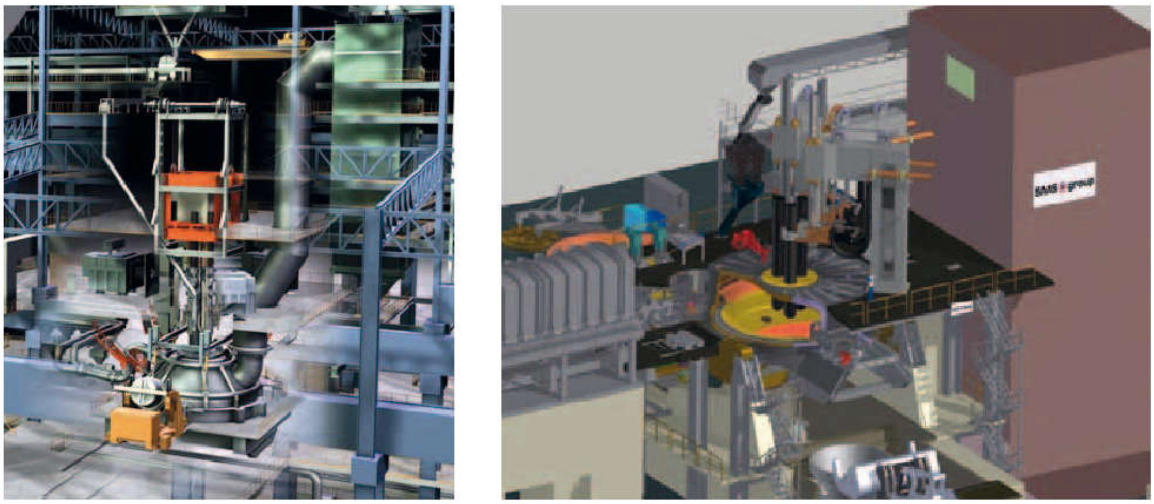
شرکت‌های آرسلورمیتال و SMS اولین PEM در مقیاس واحد آزمایشی (پایلوت) را در محل مجتمع فولاد Gent (بلژیک) برای افزایش عرضه چدن خام مذاب برای BOF، ساخته‌اند. راه‌اندازی گرم آن در پایان سال 2014 آغاز شد و اکنون دو طرف آماده گام برداشتن به مقیاس صنعتی هستند.

تکنولوژی‌های نوآورانه EAF برای آینده- EAF های با سقف ثابت

علاوه بر این، SMS برای طراحی کوره‌ای بهینه شده خاص برای تقاضای آینده شارژ پیوسته HBI/DRI و چدن خام مذاب کار کرده است. نتایج دو طرح مفهومی، نتایج حاصل از طراحی ثبت شده برای یک سقف ثابت EAF، هر یک با ویژگی‌های خاص خود هستند. کوره Arccess S/EAF که نشانه Steady EAF است، برای شارژ پیوسته DRI/HBI و همچنین شارژ چدن خام مذاب بهینه شده است. هدف از این کار افزایش حتی بیشتر مزایای کوره Conarc با استفاده از کربن‌زدایی مناسب با جریان مافوق صوت

اکسیژن از سقف ثابت، کاهش اتلاف انرژی پوسته فوقانی و سقف کوره است که بطور معمول بیش از 15 درصد کل انرژی ورودی را تشکیل می‌دهد. همچنین دارای یک طرح اختراع ثبت شده برای لغزش به پائین و ازدیاد پیوسته الکترود تحت "پاور–آن" است که همراه با طراحی پوسته پایین و راهکار تخلیه، به یک عملیات پیوسته تحت پاور–آن با مزایای صرفه‌جویی در انرژی، پست فرعی برق و به ویژه بهره‌وری منتج می‌شود. یک عملیات پیوسته تحت پاور–آن می‌تواند بهره‌وری EAF را تا 30 درصد افزایش دهد یا اندازه کوره را برای همان بهره‌وری 25 درصد کاهش دهد. علاوه بر این، عملیات پیوسته کاملاً منطبق با سیستم بازیابی انرژی گاز خروجی است.

نتیجه دوم اختراع ثبت شده سقف ثابت ConMelt EAF است. این طرح مفهومی برای تاسیسات کارخانه موجود (براون فیلد) و تغذیه پیوسته DRI/HBI یا قراضه بهینه شده است (**شکل 6**). جانمائی فشرده آن در یک جانمائی EAF متعارف با همان ظرفیت جا می‌گیرد، حتی اگر جانمائی کلی متفاوت باشد و به دلیل سقف ثابت آن در همان سطح سکوی راه رفتن، آنرا شبیه و محسوس با LF نشان می‌دهد. عدم وجود پوسته بالایی با وجود پیشرفت زیاد پانل‌های خنک‌کننده با آب، کاهش ابعاد سقف EAF و کنترل دقیق انرژی ورودی، همه به کاهش مصرف کل انرژی تا بیش از 15 درصد کمک می‌کنند. این جانمائی یک گام به سمت طرح مفهومی کوره کاملاً کنترل شده از راه دور بدون اپراتور دخیل در عملیات خطرناک است. برای Conmelt EAF، شرکت SMS طرح مفهومی EAF بدون هیدرولیک را با جایگزینی تمام محرک‌های هیدرولیکی توسط درایوهای الکتریکی توسعه داده است. البته، عملیات کوره بدون هیدرولیک می‌تواند برای EAF متداول نیز استفاده شود، به کاهش هزینه‌های تعمیرونگهداری در هزینه‌های سرمایه‌گذاری قابل‌مقایسه با راه‌حل‌های هیدرولیکی واقعی کمک کند.



شکل 6- کوره S/EAF و کوره ConMelt.

نتیجه‌گیری

در دو دهه گذشته تکنولوژی EAF برای پذیرش هر نوع ماده اولیه در دسترس بهینه‌سازی شده و با در دسترس بودن یا پایداری تکنولوژی‌های جدید، سازگارتر هم شده است. EAF از نظر سادگی کاملاً یک دستگاه انعطاف‌پذیر است اما باید با در نظر گرفتن کل تجربیات بدست آمده طراحی شود بطوری که همیشه کمی جلو باشد. بعلاوه، برای مورد خاص، کوره‌های مخصوص طراحی شده ممکن است جایگزین EAF سنتی بر پایه قراضه شوند همانند مورد کارخانه آینده Aferpi-Piombino در ایتالیا که در آن یکی از این تکنولوژی‌ها به زودی جاری خواهد شد. با تحقیقات پیوسته در مورد راه‌حل‌های بهتر برای فولادسازی الکتریکی، بهینه-سازی بیشتر طرح مفهومی پایه EAF در حال انجام است: EAF جدید طراحی شده در حال کمک به بهتر و بهتر شدن اسب بارکش فولادسازی است!

پیشتازی با طرح‌های مفهومی جدید[۲]

بازدهی بالا، مصرف انرژی کم، استفاده انعطاف‌پذیر از مواد اولیه: این همان چیزی است که فولادسازان از تولید فولاد خام طلب می‌نمایند. شرکت SMS طرح‌های مفهومی جدید کارخانه‌های فولاد را که دقیقاً این اهداف را برآورده می‌کنند ارائه می‌دهد.

کوره SHARC (Shaft Arc) در حال کار در شرکت Hellenic Halyvourgia (HLV) در Velestino، یونان، یک کوره قوس الکتریکی DC با ظرفیت 95 تن با دو ستون پیشگرمایش است که قراضه در آن خشک و پیشگرم می‌شود. پیشگرمایش قراضه در SHARC بسیار کارآمد است. هنگامی که از ستون به داخل کوره شارژ می‌شود، دمای مخلوط قراضه بیش از 700 °C است. مصرف انرژی در هر تن بیش از 280 kWh نیست.

در کوره SHARC، قراضه با چگالی بسیار کم می‌تواند بدون هیچگونه آماده‌سازی اضافی استفاده شود. بهره‌بردار از بالاترین انعطاف‌پذیری از نظر ترکیب مواد شارژ برخوردار است، در عین حالی که از هزینه‌های پایین تولید بهره‌مند می‌شود. سطح مقطع کوره در ارتفاع کامل دو ستون به عنوان سطح پیشگرم‌کننده برای انتقال انرژی – علاوه بر مدت زمان طولانی‌تر اقامت گازهای دما بالای خروجی– در دسترس است. این امر با شکل متقارن بستر کوره مجهز به تکنولوژی ولتاژ بالای DC تسهیل می‌شود. در پایان سال 2014، بهره‌بردار شرکت Hellenic Halyvourgia و شرکت SMS با هدف ترکیب دانش فنی کوره قوس ستونی (Shaft Arc Furnace با نام قبلی Circoarc) قابل‌دسترس از هر دو طرف، توافقنامه همکاری امضا کردند. از این پس، می‌توان بازدید از سایت را برای مشتریان علاقه‌مند به کوره ترتیب داد. مشتریانی که SHARC را خریداری نمایند آموزش‌های لازم را در محل کارخانه دریافت می‌کنند.

یک فرآیند کارآمد و پیوسته

هنگامی که هزینه‌های انرژی و تولید در حال افزایش است، برای حفظ سودآوری تولید، به تکنولوژی ابتکاری کارخانه نیاز است. EAF مداوم ARCCESS® (S/EAF) توسعه یافته توسط SMS، امکان تولید پیوسته برای مدت زمان یک هفته را فراهم می‌سازد. این تکنولوژی از تجربه طولانی SMS در زمینه کوره‌های قوس غوطه‌ور (SAF)، کوره‌های قوس الکتریکی (EAF) و تکنولوژی CONARC® نشات می‌گیرد. S/EAF® به دلیل فرآیند پیوسته و قابل‌اعتماد خود، 30 درصد بهره‌وری بالاتر با مصرف انرژی کمتر دارد. S/EAF یک کوره قوس الکتریکی ثابت است که برای استفاده از HBI، DRI، چدن خام مذاب و قراضه فولاد طراحی شده است. یک جز اصلی که عملیات پیوسته را تامین می‌کند، دستگاه نگهداشتن و لغزش به پائین الکترود است. این دستگاه امکان می‌دهد تا S/EAF بطور پیوسته با مصرف انرژی کاهش یافته تا یک حداقل کار کند.

مزایا برای تولید فولاد مذاب

PEM (ذوب کننده انرژی اولیه = Primary Energy Melter) یک کوره ستونی است که از انرژی اولیه برای ذوب قراضه استفاده می‌کند. این تکنولوژی از نظر هزینه توجیه‌پذیر و سازگاری با محیط زیست برخوردار است زیرا هیچ هزینه تبدیل و تلفاتی در اثر انتقال برق چنانکه بطور معمول در تولید برق بر پایه ذغال‌سنگ ایجاد می‌شود، وجود ندارد. برای کنترل اکسیدشدن آهن، کوره ستونی با نسبت زیر استوکیومتری از پایین با مشعل‌های گاز/اکسیژن مشتعل می‌شود. سپس گاز در سطوح بالای کوره ستونی سوزانده می‌شود. استفاده از انرژی اولیه باعث کاهش انتشار CO_2، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود تعادل انرژی می‌شود. برای مثال می‌توان از PEM برای تقویت تولید کارگاه BOF در شرایطی که ظرفیت کوره بلند کافی نیست استفاده کرد.

در METEC 2015، بازدیدکنندگان این فرصت را داشتند که اطلاعات بیشتری را در مورد طرح‌های مفهومی ابتکاری کارخانه‌های فولادسازی ارائه شده توسط شرکت SMS، برای مثال، در مقالات کوتاه فنی ارائه شده در غرفه، فرا بگیرند.

[2] - TAKING THE LEAD WITH NEW CONCEPTS, THE MAGAZINE OF THE SMS GROUP ISSUE 02 /2015.