مشکلات و راه‌حل‌های تشکیل اسکول در کوره با تخلیه EBT برای تولید فولادهای ابزار و ضدزنگ[1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی

تشکیل اسکول کف کوره مشکلی معمول در کوره‌های قوس الکتریکی برای تولید فولاد پرآلیاژ است. تشکیل اسکول تعدادی از مشکلات فرآیندی را به وجود می‌آورد: کاهش ظرفیت حجم کوره، کاهش نسبت رسیدن به وزن تخلیه هدف و بهره‌دهی کمتر فولاد. مکانیزم تشکیل اسکول کف در یک کوره قوس الکتریکی ۷۰ تن تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT) برای تولید فولاد ابزار و ضدزنگ در یک کارخانه تولید فولاد در کره‌جنوبی بررسی شده است. اثر همزنی گازی از کف و همزنی الکترومغناطیسی (EMS) در کاهش ضخامت اسکول مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که EMS روش کارآمدتری برای کاهش تشکیل اسکول در مقایسه با همزنی گازی است.

تشکیل اسکول کف مشکلی معمول در کوره‌های قوس الکتریکی (EAF) مورد استفاده در تولید فولادهای پرآلیاژی است، به ویژه هنگامی که درصد بالایی از FeCr همراه با زمان ذوب تا ذوب کوتاه به کوره شارژ می‌شود. تشکیل اسکول تعدادی مشکلات فرآیندی ایجاد می‌کند از جمله: کاهش ظرفیت حجم کوره، کاهش نسبت رسیدن به وزن تخلیه هدف، بهره‌دهی کمتر فولاد، کاهش بهره‌وری و غیره. گزارش شده است که همزنی الکترومغناطیسی (EMS) می‌تواند تشکیل اسکول برای تولید فولاد ضد زنگ کاهش دهد [۱]. همزن‌های الکترومغناطیسی نصب شده در زیر کوره اثر مخلوط کردن در کل حمام مذاب ایجاد می‌کنند، از این رو موجب تسریع در ذوب کردن قراضه و همگن‌سازی دما می‌شوند، که برای حذف اسکول مفید است.

نسل جدیدی از همزنی الکترومغناطیسی برای کوره قوس الکتریکی (ArcSave®) اخیراً در کوره ۷۰ تن تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT) در کارخانه فولاد SeAH در چانگ وون، کره‌جنوبی، نصب شده است. شرکت SeAH CSS در سال ۱۹۶۶ در شهر چانگ وون تاسیس شد. کارخانه چانگ وون سالانه ۱٫۲ میلیون تن فولاد خام تولید می‌کند. SeAH CSS تنها تولیدکننده لوله های بی درز فولاد ضد زنگ در آن کشور است که از سیستم‌های یکپارچه تولید فولاد استفاده می‌کند. از جمله تجهیزات کارخانه ذوب یک کوره EAF، کنورتر کربن‌زدائی با اکسیژن آرگون (AOD)/کربن‌زدایی با اکسیژن در خلا (VOD)، کوره پاتیلی و ریخته‌گری پیوسته/ریخته‌گری شمش (اینگات) است. EAF دارای ظرفیت ۷۰ تن با ترانسفورمر ۷۲ MVA می‌باشد و مجهز به یک بازوی مکانیکی لنس متشکل از چهار لنس برای تزریق O_2، آلومیکس (alumix) و کربن است. در ترکیب با انرژی الکتریکی، از سه مشعل دیواری اکسیژن–سوخت برای ورودی انرژی شیمیایی استفاده می‌شود. داده‌های اساسی کوره در **جدول ۱** ذکر شده است. تشکیل وخیم اسکول بزرگترین مشکل عملیاتی این EAF است. در سال ۲۰۱۲، همزنی گازی از کف، متشکل از سه توپی متخلخل (پوروس پلاگ) نصب شده در کف کوره، با هدف رفع مشکل اسکول کف آزمایش شد اما متأسفانه ناموفق بود. به همین ترتیب، نگهداری‌وتعمیر (نت) پوروس پلاگ به دلیل فراوانی زیاد گرفتگی ناشی از اسکول‌های کف، یک چالش اساسی است. پس از نزدیک به یک سال

جدول ۱– داده های پایه EAF، تیم فولاد سازی ۳، کارخانه SeAH

کوره	تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT)، ۹۰ درصد قراضه
وزن تخلیه	۷۰ تن
زمان ذوب تا ذوب	۶۵–۷۵ دقیقه
ترانسفورمر	۷۲ MVA
تجهیزات	لنس های اکسیژن، دیواره و درب سربارہ
تولید در هر سال	۱۸۰۰۰۰ تن

[1]- Problems With and Solutions to Skull Formation in EBT Furnace for Tooling and Stainless Steel Production, IRON & STEEL TECHNOLOGY, JAN 2021.

آزمایش، پوروس پلاگ‌ها به دلیل نبود اثرات مثبت از کوره خارج شدند. در سال ۲۰۱۸، با همان هدف در ذهن، تکنولوژی همزنی الکترومغناطیسی به عنوان یک راه‌حل جدید بالقوه برای مشکل اسکول کف به SeAH معرفی شد. در این مقاله نتایج آزمایش بدست آمده در طی دوره راه‌اندازی گرم و بعد از آن به طور خلاصه ارائه می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که ArcSave در مقایسه با همزنی گازی، روش کارآمدتری در کاهش تشکیل اسکول در کوره است. اثر EMS بر مصرف انرژی الکتریکی، زمان پاور–آن و کاهش مواد نسوز پاشیدنی (گانینگ) نیز مورد بحث قرار گرفته‌اند.

تشکیل اسکول

تشکیل اسکول در پوسته زیرین متشکل از قراضه ذوب نشده، فروکروم ذوب نشده و سرباره منجمد شده بود. ضخامت اسکول بستگی به مدتی داشت که پوسته زیرین کار می‌کرد، گاهی تا mm ۱۰۰۰ نیز می‌رسید. عکس گرفته شده از اسکول تشکیل شده در کف کوره در **شکل ۱a** ارائه شده است. اسکول بصورت دوره‌ای با استفاده از دستگاه مخصوص تخریب نسوز برداشته می‌شود، همانطور که در شکل ۱a نشان داده شده است. چنانکه در **شکل ۱b** ارائه شده است، پس از متەزنی اطراف اسکول کف، مرکز اسکول توسط جرثقیل بلند می‌شود. این نوع کارهای نگهداری و تعمیر برداشتن اسکول کف سخت و زمان‌بر است.

شکل ۱– عکس اسکول کف گرفته شده از کوره قوس الکتریکی کارخانه SeAH: اسکول کف و دستگاه برداشتن در محل (a) و بخشی از اسکول برداشته شده توسط جرثقیل (b).

اصول نصب و همزنی EMS

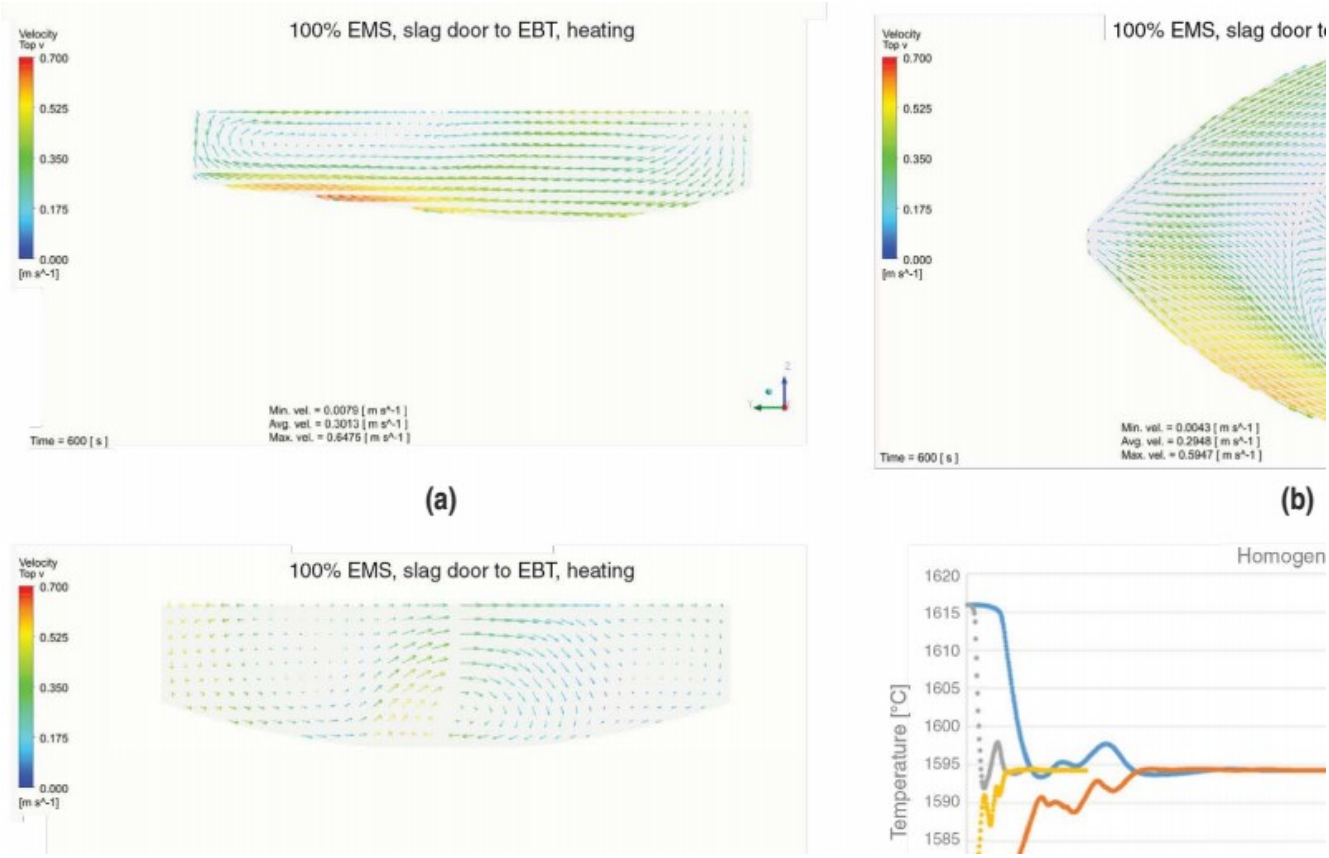
همزن الکترومغناطیسی در زیر کف کوره که از یک صفحه فولادی غیرمغناطیسی (فولاد ضد زنگ آستنیتی) ساخته شده قرار داده شده است، همانطور که در **شکل ۲** نشان داده شده است. جریان الکتریکی فرکانس پایین که از طریق سیم‌پیچ‌های همزن جاری می‌شود، یک میدان مغناطیسی پیشرونده‌ای را ایجاد نموده، که به کف کوره نفوذ کرده و به نوبه خود نیروهائی را در فولاد مذاب ایجاد می‌کند. از آنجا که میدان مغناطیسی به عمق کامل مذاب نفوذ می‌نماید، مذاب در همان جهت در کل قطر کوره و ارتفاع کامل حمام جریان می‌یابد. پس از رسیدن به دیواره کوره، جریان مذاب باید در امتداد کناره های کوره به عقب برگردد. وقتی میدان پیشرونده برعکس شود، مذاب در جهت مخالف جریان می‌یابد. از آنجا که همزنی در کل قطر کوره گسترش یافته است، نیروهای همزنی خوبی در کل حمام بدست می‌آیند.

توزیع سرعت مذاب شبیه‌سازی شده توسط شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای یک کوره ۱۶۰ تنی EBT با جهت همزنی از درب سرباره به EBT در **شکل ۳** نشان داده شده است. شکل ۳a توزیع سرعت در مقطع طولی، شکل ۳b توزیع سرعت در سطح مقطع عرضی و شکل ۳c توزیع سرعت سطح مذاب را نشان می‌دهند. از شکل ۳ مشاهده می‌شود که کل حمام مذاب در حرکت دخیل است. متوسط سرعت حجمی بهینه شده مذاب در محدوده ۰٫۴–۰٫۲ متر بر ثانیه است. در مقایسه با همزنی گازی از کف، همزنی الکترومغناطیسی باعث ایجاد اختلاط در کل حمام می‌شود. این اثر همگن‌سازی دما و ترکیب شیمیایی فولاد را تسریع می‌کند. لازم به ذکر است که نیروی مغناطیسی نه تنها در جهت افقی بلکه در جهت عمودی نیز عمل می‌کند، که به اثر مخلوط‌سازی کارآمدتری بر کل حمام منتج می‌گردد. EMS مزیت اضافی عدم تماس فیزیکی با مذاب فولاد را نیز فراهم می‌سازد، که به نیازهای نگهداری و تعمیرات بسیار کم منتج می‌شود.

شکل ۲– کوره قوس الکتریکی با همزن ArcSave® نصب شده در زیر کوره.

همگن‌سازی دمای حمام مذاب با فرضیات زیر محاسبه شد:

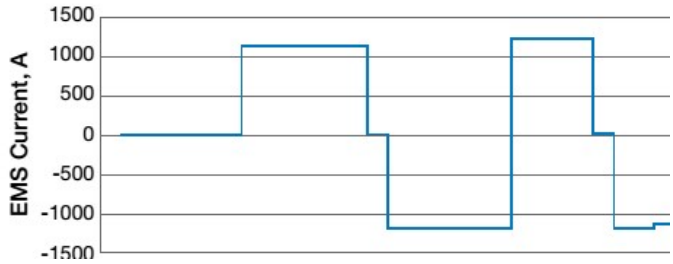
- برای حمام همزنی نشده، دمای کف کوره ۱۵۶۰ °C فرض می‌شود در حالی که دمای سطح ۱۶۲۰ °C است. سپس توزیع دما (اختلاف زمان همگن‌سازی) با و بدون همزنی EMS مقایسه می‌شود.
- برای حمام همزنی نشده، همزنی طبیعی با مورد ۵ درصد حداکثر نیروی EMS به عنوان مرجع شبیه‌سازی شد.



شکل ۳– بردارهای سرعت جریان ذوب و زمان همگن‌سازی دما شبیه‌سازی شده در یک کوره تخلیه از کف خارج از مرکز (EBT): توزیع سرعت در مقطع طولی (a)، توزیع سرعت در مقطع عرضی (b)، توزیع سرعت سطح ذوب (c)، و منحنی‌های همگن‌سازی دما (d).

منحنی‌های همگن‌سازی دما در شکل ۳d ارائه شده‌اند. زمان همگن‌سازی در نقطه‌ای محاسبه می‌شود که حداکثر تفاوت دما کمتر از ۵ °C باشد. زمان همگن‌سازی دما با ۵ درصد EMS برابر با 305 ثانیه و با ۱۰۰ درصد EMS فقط ۵۸ ثانیه است. نتایج نشان می‌دهد که زمان همگن‌سازی دمای حمام با ۱۰۰ درصد EMS تنها ۱۹ درصد از زمان بدون EMS است. همگن‌سازی سریع دما باعث افزایش بازدهی انتقال حرارت قوس و همچنین سرعت ذوب کردن قراضه می‌شود.

در طی بهار سال ۲۰۱۸، همزن EMS در واحد فولادسازی شماره ۳ در سایت چانگ‌وون شرکت SeAH نصب شد. برای استقرار این دستگاه، یک پوسته زیرین جدید کوره از جنس فولاد ضدزنگ نصب شد و فرآیند نصب طی ۹ روز توقف تولید به روانی انجام شد. همزنی EMS دارای کنترل کاملاً خودکار از طریق یک پروفیل همزنی است که می‌تواند متناسب با نیازهای مراحل مختلف فرآیند EAF مانند گرمایش قراضه، همگن‌سازی، ذوب کردن آلیاژها، کربن‌زدایی، سرباره‌گیری و تخلیه منطبق شود.



شکل ۴- پروفیل جریان EMS دینامیک برای ذوب کردن فولاد ابزار در کارخانه SeAH.

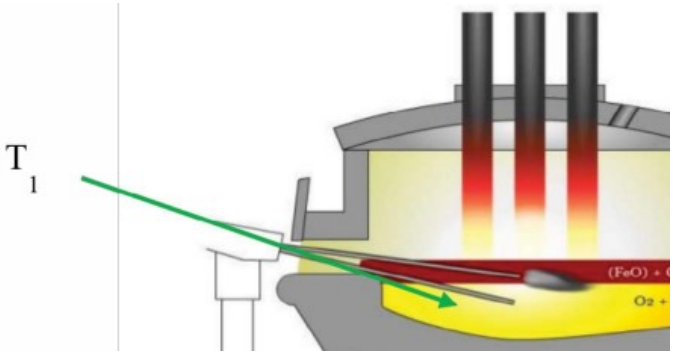
عملیات EMS دارای مشخصه هزینه عملیاتی کم، قابلیت اطمینان بالا، ایمنی بالا و تکثیرپذیری بالا می‌باشد. پروفیل کنترل EMS مورد استفاده توسط SeAH در **شکل ۴** ارائه شده است. جهت همزنی با توجه به مقدار مثبت یا منفی فرکانس تغییر خواهد کرد.

نتایج و بحث

مزیت اصلی همزنی فولاد مذاب در فرآیند EAF تسریع فرآیند انتقال حرارت و جرم است. برای مقایسه تأثیر ArcSave بر فرآیند EAF، داده های فرآیند به مدت چهار ماه بدون همزنی به عنوان مرجع (در سه ماهه اول سال ۲۰۱۸) و شش ماه با ArcSave برای سنجش عملکرد جمع‌آوری شد. اثر EMS بر همگن‌سازی دمای حمام، مصرف انرژی و الکترود، زمان پاور-آن و مصرف نسوز در این بخش بحث خواهد شد.

همگن‌سازی و تفاوت دمای حمام- جریان متلاطم حجمی ناشی از همزنی EMS، اختلاط کامل کل مذاب را ایجاد می‌کند، به همگنی بسیار خوب دما و ترکیب منتج می‌شود. توزیع دما بدون/با EMS در دو موقعیت کوره اندازه‌گیری شده است: یکی از درب کوره و دیگری از منطقه EBT، همانطور که در **شکل ۵** نشان داده شده است. اختلاف دما در محدوده ۳۹ °C-۹ با EMS خاموش و در محدوده ۱۰ °C-۰ با EMS روشن می‌باشد.

همگنی خوب حمام مذاب از نظر متالورژیکی مهم است. امکان تعیین قابل‌اعتماد ترکیب حمام، پیش‌بینی دقیق کنترل نهایی کربن تخلیه و اندازه‌گیری دقیق دمای تخلیه را فراهم می‌سازد. از این رو، همگن‌سازی حمام پس از استفاده از EMS امکان دستیابی به دمای دقیق تخلیه برای گریدهای مختلف فولاد را فراهم می‌نماید، که برای کاهش تغییر در دمای تخلیه هدف و قابلیت انجام روان‌تر عملیات پایین‌دستی کوره پاتیلی VOD/(LF) بسیار مهم است.



شکل ۵- اندازه‌گیری دمای حمام از درب سرباره و منطقه EBT. متوسط تفاوت دما در دو موقعیت با EMS کمتر از ۹°C می باشد. تصویر کوره از مهندسی مواد NEDUET کراچی.

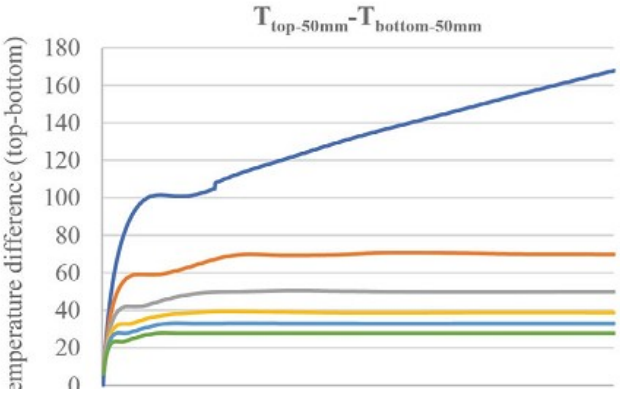
ذوب کردن قراضه و جابجا کردن قراضه [۴]- همرفت اجباری ناشی از همزنی الکترومغناطیسی ذوب کردن قطعات و بسته های بزرگتر قراضه را افزایش می‌دهد و از اهمیت لایه‌بندی قراضه می‌کاهد. نتایج شبیه سازی CFD نشان می‌دهد که سرعت ذوب کردن با ArcSave در مقایسه با فقط همرفت طبیعی در حمام مذاب با ضریب ۱۰ افزایش می‌یابد [۲]. علاوه بر این، همچنین مشخص شد

که ArcSave با کاهش نوسانات جریان الکترود توسط ذوب کردن سریع بسته‌های بزرگ قراضه و کاهش حفره‌سازی الکترودها در قراضه، قوس را پایدار کرده است [۳].

مزیت اصلی ذوب کردن سریع قراضه کاهش هزینه‌های جابجا کردن قراضه در SeAH است. قبل از استفاده از EMS، شمش (اینگات) رد شده داخلی باید قبل از اینکه در کوره شارژ شود، به قطعات کوچکتر (کمتر از ۲۵۰ kg) برشکاری شود، در غیر این صورت ذوب کردن آن در کوره در طی یک ذوب دشوار است. با استفاده از ArcSave، شمش رد شده (تا ۴ تن) می‌تواند مستقیماً بدون هیچ مشکلی در ذوب کردن در کوره شارژ شود. کار کمتر جابجا کردن قراضه به معنای هزینه کمتر نیروی کار، مصرف گاز طبیعی کمتر و بهره‌دهی فلزی بالاتر است. هزینه جابجا کردن قراضه پس از نصب EMS به میزان 80-70 درصد کاهش یافت.

بازدهی حرارتی قوس و صرفه‌جویی در مصرف انرژی- شیب دما در حمام تخت در طی ذوب کردن قراضه در کوره قوس الکتریکی معمولی در محدوده ۷۰-۵۰ °C بدون همزنی گزارش شده است. محدودیت‌های عملی، اندازه‌گیری دما در کف حمام را به ویژه در طی زمان پاور-آن قوس دشوار می‌کنند. برای برآورد توزیع دمای حمام در طی زمان پاور-آن، یک شبیه‌سازی CFD با مطالعه اثر همزنی بر توزیع دما در طی گرمایش با قوس در یک کوره ۱۶۰ تنی EBT با کل توان اکتیو ورودی ۷۰ MW انجام شد. توزیع توان قوس در کوره به صورت سه قسمت فرض شد:

- P_{con}: ۵۵ درصد به ذوب توسط همرفت. این قسمت از برق ورودی را می‌توان به صورت تابعی از فاصله تا الکترود توصیف کرد.
- P_{rad}: ۲۰ درصد به ذوب توسط تابش، که می‌تواند برای توزیع همگن در مذاب در نظر گرفته شود.
- P_{los}: ۲۵ درصد اتلاف برق به دیواره، سقف و الکترودها.

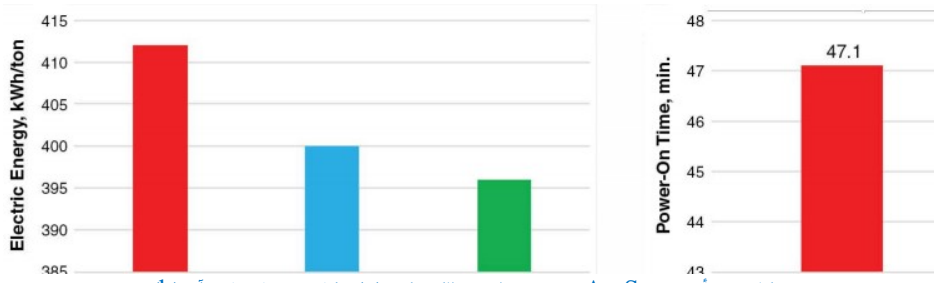


شکل ۶- متوسط گرادیان دما بین لایه پایینی کوره (۵۰ mm از پایین) و لایه سطح (۵۰ mm زیر سطح) در طی زمان پاور-آن در یک کوره ۱۶۰ تنی EBT.

متوسط شیب دما بین لایه پایینی (۵۰ mm بالای کف) و لایه سطحی (۵۰ mm زیر سطح) در طی زمان پاور-آن قوس در یک کوره EBT برای چند مورد با استفاده از توان‌های مختلف همزنی EMS (۵، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد نیروی EMS) محاسبه شده و نتایج در **شکل ۶** ارائه شده است. می‌توان مشاهده کرد که متوسط گرادیان دما با ۵ درصد نیروی EMS (مورد برای بدون همزنی) با زمان پاور-آن افزایش می‌یابد و پس از ۱۰ دقیقه زمان پاور-آن به ۱۶۸ °C می‌رسد. با افزایش نیروی همزنی، گرادیان دما کاهش می‌یابد. با ۱۰۰ درصد نیروی EMS، متوسط گرادیان دما فقط ۲۸ °C می‌باشد و با افزایش زمان پاور-آن تقریباً ثابت است. این بدان معنی است که همزنی فوق‌گداز سطح ذوب را کاهش می‌دهد و حرارت از منطقه قوس به سرعت به حجم ذوب منتقل می‌شود. کاهش دمای فوق‌گداز سطح باعث کاهش اتلاف حرارت از دیواره و سقف کوره در طی مدت پاور-آن می‌شود و در نتیجه مصرف برق را کاهش می‌دهد. در همان زمان، همزنی الکترومغناطیسی سرعت ذوب کردن قراضه و کربن‌زدائی را افزایش می‌دهد، بنابراین در زمان فرآیند کوره صرفه‌جویی می‌شود، که به کاهش اتلاف حرارت نیز کمک می‌کند. افزایش نسبی دمای پایین حمام در طی زمان پاور-آن نیز به ذوب شدن اسکول کف در طی فرآیند کمک می‌کند.

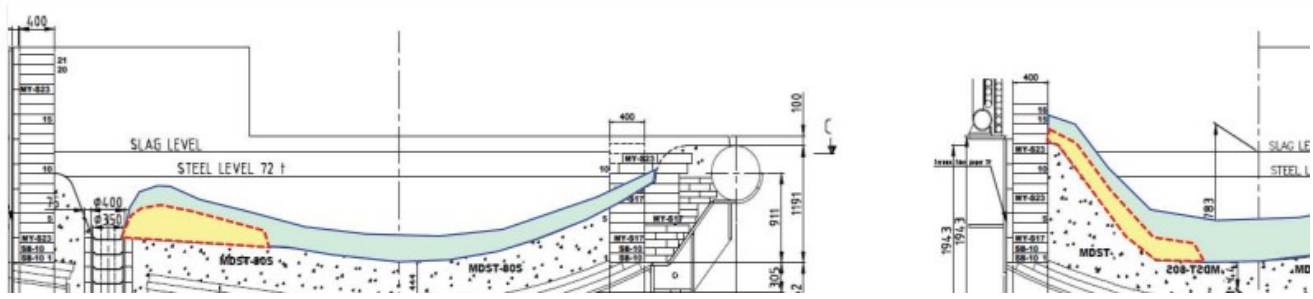
در طی آزمایش SeAH EMS، متوسط صرفه‌جوئی انرژی الکتریکی ۳ درصد همراه با ۷ درصد کاهش مصرف اکسیژن تزریق شده است. صرفه‌جویی معادل در مصرف انرژی در حدود ۴ درصد توسط جبران مصرف با O_2 تزریق شده می باشد، چنانکه

در **شکل ۷** نشان داده شده است. زمان پاور–آن ۵–۴ درصد کاهش می‌یابد. قوس زنی پایدار، فوق‌گداز کمتر و مصرف برق کمتر نیز به کاهش مصرف الکترود در محدوده ۴–۳ درصد منتج می‌شود.



شکل ۷– تأثیر ArcSave بر مصرف انرژی الکتریکی (a) و کاهش زمان پاور–آن (b).

کاهش اسکول و مزایای عملیاتی- همانطور که در بخش قبلی بحث شد، یکی از اهداف اصلی نصب ArcSave در کارخانه SeAH حل مشکل اسکول کف کوره بود. ضخامت اسکول با استفاده از فاصله سنج لیزری اندازه‌گیری شد و تغییر ضخامت با EMS با مورد آزمایش مرجع بدون EMS مقایسه شده است. یک تصویر کلی از مقطع اسکول در کوره در **شکل ۸** ارائه شده است. ضخامت اسکول از ۷۰۰–۱۰۰۰ mm بدون EMS به ۲۰۰ mm با EMS کاهش یافت. کاهش ضخامت اسکول تا حدی به توان در حال کار EMS بستگی دارد. در مورد جریان، 1400 آمپر جریان EMS برای کاهش تشکیل اسکول کارآمدتر است.

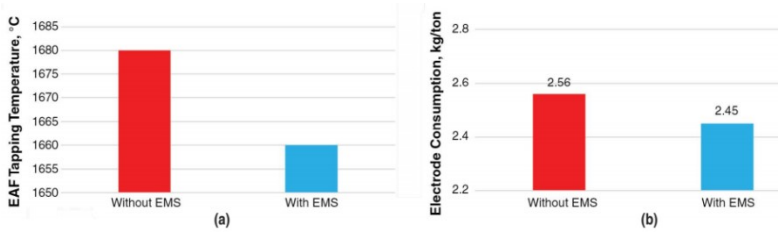


شکل ۸– نمای تغییرات اسکول کف: کاهش ضخامت از ۷۰۰–۱۰۰۰ mm (بدون EMS) به ۱۰۰–۲۰۰ mm (با EMS).

مکانیزم حذف اسکول با EMS می‌تواند افزایش دمای نسبی در کف حمام و جریان همرفت در حمام باشد. دمای بالای نقطه ذوب و چگالی زیاد FeCr به این معنی است که تمایل دارد در کف کوره بماند، جایی که مذاب خنک‌تر است، در نتیجه حل شدن بدون همزن می‌تواند مشکل‌ساز باشد. همچنین مشخص شد که مشکل تشکیل اسکول وقتی که افزودن فروکروم بیشتر و زمان ذوب تا ذوب کوتاه‌تر باشد جدی‌تر است. انباشت فروکروم ذوب نشده در کف کوره دلیل اصلی تشکیل اسکول است. Argyropoulos و Guthrie اثر دما و همزنی حمام بر زمان انحلال ذرات فروکروم کروی در حمام فولادی را مدل کرده‌اند [۶]. گزارش شده است که زمان انحلال ۲۰ cm برای فروکروم تقریبا ۹۵۰ ثانیه در ۱۵۷۰ °C، ۹۰ ثانیه در ۱۶۰۰ °C و ۵۰ ثانیه در ۱۶۲۰ °C بود [۶]. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده، دمای کف حمام با EMS در طی زمان پاور–آن تا حدود ۵۰–۱۰۰ °C افزایش یافته است. افزایش نسبی دمای کف حمام زمان انحلال برای افزودن فروکروم در فرآیند ذوب کردن را کاهش می‌دهد. همچنین گزارش شده است که در دمای ثابت حمام فولاد (۱۶۰۰ °C) همزنی حمام با سرعت جابجائی ۰٫۳ متر بر ثانیه زمان انحلال فروکروم را به فقط یک چهارم حالت بدون همزنی (فقط همرفت طبیعی) کاهش می‌دهد [۶]. این بدان معنی است که هم همگن‌سازی دما و هم همرفت اجباری مذاب به انحلال FeCr و قطعات بزرگ قراضه کمک می‌کنند. اثر مثبت EMS بر حذف اسکول نیز در یک کوره با مجرای تخلیه ناودانی برای تولید فولاد ضد زنگ ثابت شده است [۱].

کاهش ضخامت اسکول در کوره کارخانه SeAH مزایای عملیاتی زیر را به همراه داشت:

- شارژ کردن آسان تر سبد قراضه.
- کنترل بهتر سطح حمام مذاب.
- افزایش شارژ یا وزن تخلیه در هر ذوب.
- افزایش نسبت رسیدن به وزن تخلیه هدف.
- کار نگهداری‌وتعمیر کمتر روی نسوز کوره.
- بهره‌دهی بالاتر قراضه و فروآلیاژها.
- عملکرد یکنواخت کوره.
- بهره‌وری بالاتر فولاد.



شکل ۹- تأثیر ArcSave بر کاهش دمای تخلیه EAF برای فولاد ضد زنگ (a) و کاهش مصرف الکترود (b).

کاهش دمای سطح حمام و صرفه‌جویی نسوز- بیست ماه فعالیت EMS در کارخانه SeAH نشان می‌دهد که همزنی در حمام مذاب مصرف نسوز تعمیرات کوره را در مقایسه با عدم وجود EMS تا حدود ۴۵ درصد برای تعمیر گرم و ۹ درصد برای تعمیر سرد کاهش داده است. کاهش دمای سطح حمام توسط همزنی EMS در طی پاور-آن احتمالاً نقش اصلی را در این صرفه‌جویی نسوز دارد، زیرا وخیم‌ترین صدمه به نسوز در ناحیه خط سرباره، به ویژه در نقاط گرم (هات اسپات) رخ می‌دهد. عامل دیگری که فرسایش نسوز را کاهش می‌دهد، کاهش دمای تخلیه پس از EMS است. میانگین دمای تخلیه برای گریدهای فولاد ضد زنگ از ۱۶۸۰ به ۱۶۶۰ °C کاهش یافت، در حالی که برای فولاد ابزار از ۱۶۳۰ به ۱۶۱۰ °C کاهش پیدا کرد، همانطور که در **شکل ۹** ارائه شده است. باید بخاطر داشت که ۲۰–۳۰ °C کاهش در دمای تخلیه که در EAF اندازه‌گیری شده است می‌تواند به دو قسمت تفکیک شود: قسمت اول حدود ۱۵ °C کاهش دمای تخلیه بر دمای ورودی کوره پاتیلی تأثیر نخواهد گذاشت. حذف لایه‌بندی حرارتی در حمام مذاب به وضوح دمای تخلیه را کاهش می‌دهد. در مورد یک حمام همزنی نشده که در آن، به طور کلی، فولاد در نزدیکی سطح گرمتر است، دماهای اندازه‌گیری شده غالبا نمایانگر متوسط دمای حمام نیستند. قسمت دوم ۵–۱۵ °C کاهش مطلق دمای تخلیه در پاتیل تخلیه خواهد بود. کاهش دمای تخلیه ۲۰–۳۰ °C قطعاً فرسایش نسوز را کاهش خواهد داد. سومین روشی که در آن همزنی EMS به صرفه‌جویی نسوز کمک می‌کند، توسط کاهش تشکیل اسکول است. مشکلات کمتر با اسکول کف به کار کمتر نگهداری‌وتعمیر کف کوره و کنترل سطح یکنواخت حمام منتج می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که EMS تأثیر مثبتی بر پوشش نسوز دیواره کوره دارد و هزینه‌های نگهداری‌وتعمیر نسوز کوره را داده است.

قابلیت‌اطمینان و ایمنی فرآیند- ایمنی و قابلیت‌اطمینان همیشه از اهمیت بالایی برای عملیات EAF برخوردار هستند. تأثیر مثبت EMS بر فرآیند EAF تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود قابلیت‌اطمینان فرآیند دارد. ذوب کردن سریع قراضه بزرگ و فروکروم همگن-سازی سریع حمام مذاب را از لحاظ ترکیب شیمیایی و دما فراهم می‌سازد، که وزن و دمای تخلیه هدفگذاری شده برای فولاد را تضمین می‌نماید. همزنی در حمام مذاب باعث کاهش جوشاندن کربن می‌شود. دمای همگن در کل حمام تخلیه هموار را فراهم می‌کند و تاخیرات تخلیه را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، حذف لایه‌بندی حرارتی در حمام مذاب به وضوح دمای تخلیه را کاهش می‌دهد. مشخص شد که دمای تخلیه با EMS می‌تواند ۱۵–۲۰ °C بدون تغییر دمای ورودی LF کاهش یابد. در مورد ذوب‌های همزنی نشده که در آنها به طور کلی، فولاد در نزدیکی سطح حمام گرمتر است، دمای اندازه‌گیری شده غالبا نمایانگر متوسط دمای حمام نیست.

نتیجه‌گیری

همزنی EMS انتقال حرارت و جرم در فرآیند EAF را بهبود می‌بخشد و مصرف انرژی و الکترود را کاهش داده، در حالی که قابلیت‌اطمینان و ایمنی عملیاتی را نیز بالا می‌برد. نتایج آزمایش گرم نشان می‌دهد که EMS ذوب کردن قراضه و فروکروم را افزایش داده و به طور موثری تشکیل اسکول کوره را کاهش می‌دهد. دمای فولاد در حمام همگن‌تر است و دمای تخلیه هدف با دقت بیشتری کنترل می‌شود، که عملیات VOD پایین دستی را هموار می‌کند. زمان کوتاه ذوب تا ذوب و عملیات یکنواخت کوره نیز باعث افزایش بهره‌وری می‌شود. مزایای فرآیندی حاصل از EMS در **جدول ۲** ارائه شده‌اند.

جدول ۲- بهبود فرآیند پس از نصب EMS در کارخانه SeAH

بهبود	موارد
۳- تا ۴- درصد	کاهش انرژی الکتریکی
۳- تا ۴- درصد	کاهش مصرف الکترود*
۴- تا ۵- درصد	کاهش زمان پاور-آن
≤۱۰°C	همگن‌سازی دمای حمام
۲۰- تا ۳۰°C-	کاهش دمای تخلیه
۴۰- تا ۵۰- درصد	کاهش مصرف مواد نسوز پاشیدنی گرم
۶- تا ۱۰- درصد	کاهش نسوز دیواره
۳+ تا ۵+ تن	وزن فولاد مذاب تخلیه شده در هر ذوب
۷۰- تا ۸۰- درصد	کاهش هزینه حمل‌ونقل قراضه
۵+ تا ۷+ درصد	افزایش بهره‌وری