کوره قوس الکتریکی Danieli DANARC PLUS M^2 در کارگاه ذوب شرکت ABS [1]

ترجمه: محمدحسین نشاطی

خلاصه

این مقاله ویژگی‌های اصلی طراحی کوره DANARC PLUS M^2 در کارگاه ذوب شرکت ABS را با تمرکز بر تکنولوژی‌های نوآورانه مورد استفاده در پروژه توصیف می‌کند. رویه‌های کلی عملیاتی نیز به همراه شرح مختصری از تجربه جمع‌شده از اولین ذوب تا به امروز [2013] نیز نشان داده شده است.

1. مقدمه

نصب کوره DANARC PLUS M^2 در کارگاه ذوب شرکت ABS بخشی از مدرن‌سازی و گسترش کلی تاسیسات تولید فولاد برای مواجهه موثرتر با نیازهای چالش‌برانگیز آینده است.

ارقام واقعی تولید سالانه ABS در حدود 535 هزار تن در سال فولاد با کیفیت بالا است، که شامل انواع مختلفی از محصولات نهایی، از بلوم‌ها و بیلت‌های ریخته‌گری پیوسته و اینگات‌ها تا محصولات نوردی است.

در نتیجه یک برنامه چشمگیر سرمایه‌گذاری، ABS به تولید سالانه بیش از یک میلیون تن با کاهش قابل‌توجه در هزینه‌های عملیاتی و با طیف وسیع‌تری از محصولات موجود، خواهد رسید.

کوره DANARC PLUS M^2 با بخش عمده‌ای از نیازهای آینده تولید روبرو خواهد شد، در حالی که کوره موجود به تولید فولاد ضد زنگ اختصاص خواهد یافت.

2. طرح مفهومی DANARC PLUS M^2

2.1 ویژگی‌های اصلی طراحی

منبع تغذیه DC Arc

منبع تغذیه برق کوره DC بطور معمول شامل دو یا چهار یکسوکننده جداگانه (پل‌های یکسوکننده 6 پالسی) است. ترانسفورمرهای یکسوکننده و یکسوکننده‌ها بطور معمول برای بدست آوردن گروه‌های یکسوکننده 12 پالسی چیده می‌شوند. هر واحد یکسوکننده به صورت جداگانه کنترل می‌شود و همچنین به منظور کاهش قله‌های جریان لحظه‌ای در اتصال کوتاه و برای تثبیت قوس، با یک راکتور یکنواخت‌کننده به صورت سری نیز مجهز می‌شود.

سیستم الکترود پایین شامل چهار الکترود از نوع بیلت کارگذاشته شده در پوشش نسوز است. قسمت بالای الکترود یک بیلت فولادی در تماس با فولاد مذاب است و قسمت مسی تحتانی اتصال الکتریکی و خنک‌کنندگی را فراهم می‌کند. منطقه خنک شده با هدف افزایش مرز مذاب–جامد در داخل ضخامت نسوز پایین قرار دارد، بنابراین بار حرارتی موضعی را محدود می‌کند. سیستم کنترل منبع تغذیه بطور همزمان موقعیت الکترود فوقانی، ولتاژ قوس و جریان در چهار الکترود پایین را تنظیم می‌کند.

ایستگاه پیشگرمایش

ایستگاه پیشگرمایش شامل یک باکت نگهدارنده خنک‌شونده با آب است که بر روی واگن (ارابه) (car) قرار گرفته است تا بتواند شارژ کردن دسته‌ای سریع و کاملاً خودکار را در مرکز کوره قراضه گرم شده تا دمای متوسط $\backsim 600^{o}C$ انجام دهد.

[1]-Aldo A. Fior, THE DANIELI DANARC PLUS M^2 FURNACE AT ABS MELTSHOP, DANIELI CENTROMET, 2013.

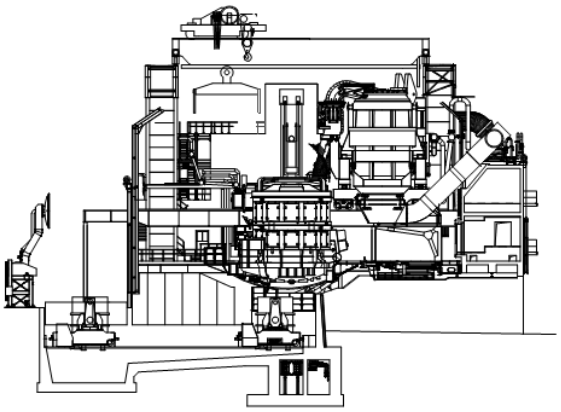
گازهای خروجی گرم که از کوره خارج می‌شوند، از طریق یک کانال متحرک خنک‌شونده با آب منتقل می‌شوند، از ستون قراضه از بالا به پائین عبور کرده و گرمای خود را به شارژ منتقل می‌کنند و در حین انتقال خنک می‌شوند و با دمای حدود 450°C از ایستگاه خارج می‌گردند، از این رو از تنش‌های حرارتی اضافی در اجزای نگهدارنده [قراضه] جلوگیری می‌شود.

دود و غبارهای گرم می‌توانند از کنارگذر ایستگاه پیشگرمایش طبق فرآیند یا نیازهای تعمیر و نگهداری از طریق یک دریچه اختصاصی و کانال خنک‌شونده با آب، بدون قطع عملیات کوره عبور کنند.

تکنولوژی پیشگرمایش، در عین حالی که مصارف بسیار کمتر در ذوب کردن را تضمین می‌نماید، اما عوامل منفی مربوط به آلودگی (انتشار دیوکسین بیشتر) و ایمنی (تشکیل احتمالی پاکت‌های CO، انفجار) را نیز مطرح می‌سازد؛ با این جنبه‌ها باید از طریق واحدهای تصفیه اختصاصی مانند محفظه‌های پس‌سوزی و سیستم‌های کنترل انتشار بر خط (آنلاین) مقابله کرد.

طراحی کوره

یکی از جنبه‌های اصلی که طراحی کوره DANARC PLUS را متمایز می‌کند، پیکربندی شارژ دسته‌ای تک باکتی آن است که به هندسه بلند کوره EAF تبدیل شده است، با سطح دوم پانل-های خنک‌کننده با آب که بالاتر از طرح سنتی سطح یک پوسته ای قرار دارند (**شکل 1**).



شکل 1: طرح جانمائی کوره DANARC PLUS- نمای جانبی.

نتایج ناشی از این پیکربندی متعدد است:

- کاهش زمان پاور–آف برای شارژ کردن قراضه؛
- کاهش تلفات تابش کوره ناشی از شارژ کردن قراضه؛
- بازیابی انرژی بالاتر به دلیل پیشگرمایش مرحله دوم (پیش ذوب کردن) در آتمسفر کوره.
- بازده بالاتر قوس در عملیات قوس بلند به دلیل گسترش محافظت قراضه به سمت پانل‌ها.

ورودی انرژی جایگزین توسط 3 مدول DANARC مدیریت می‌شود، که ضمن حذف مشکلات مربوط به تحرک (انسداد یا استفاده غیر استاندارد، معمول در لنس‌های مافوق صوت) و نفوذ هوا، بازدهی بالا را تضمین می‌کند.

مدول‌های DANARC واحدهای نصب شده روی دیواره‌های جانبی شامل دو انژکتور هستند: انژکتور اکسیژن بالا (Oxyjet) و انژکتور کربن پایین (Carbonjet). هر دو در مراحل اولیه ذوب کردن به عنوان مشعل نیز عمل می‌کنند و پس از آن به حالت لنس تغییر حالت می‌دهند و احتراق کامل کربن تزریقی را تقویت می‌نمایند.

انژکتورها در جعبه های مسی خنک‌شونده با آب قرار دارند و ورود هوای نامطلوب را حذف می‌کنند.

طراحی کوره از مزایای کامل تکنولوژی‌های دمیدن پنوماتیک بهره می‌برد، به انژکتورهای آهک مجهز شده؛ پیکربندی جعبه مسی چهارگوش خنک‌شونده با آب نیز برای این واحدها انتخاب شده است.

باید به ویژه به طراحی ابتکاری پانل اشاره کرد که شامل یک لایه دوتایی پانل‌های آبگرد، داخلی و خارجی است، که در آن لایه مستقیم در معرض فرآیند ذوب کردن دارای گام (فاصله) بزرگی بین لوله‌ها است.

ناحیه بین لایه‌های داخلی و خارجی، مانند بین لوله‌های پانل داخلی، در ابتدا با مخلوط نسوز کوبیدنی (رمینگ) پر شده است، که در حین عملیات تولید به تدریج با سرباره جایگزین می‌شود، در نتیجه اتلاف حرارت مربوط به قرار گرفتن مستقیم اجزای خنک-شونده با آب در معرض منابع حرارتی کوره (بازیابی تا 30 درصد از 50÷80 kWh/t در عملیات استاندارد به دلیل تابش قوس، دود و غبار گرم، شعله مشعل و غیره) به صورت چشمگیری کاهش یافته و همچنین عمر عملیاتی پانل افزایش می‌یابد.

طراحی سقف

سقف موسوم به "سقف سیکلون" کوره DANARC PLUS M^2 شامل یک ترتیب متوالی از بخش‌های مارپیچی لوله های آبگرد است که یک توروئید (چنبره) توخالی در سقف کوره تشکیل می‌دهد.

گام (فاصله) لوله متغیر در ارتباط با موقعیت مجرای اصلی خروجی باعث ایجاد جریان گاز عمودی یکنواخت کم سرعت در داخل پوسته، به حداقل رساندن کشیده شدن ذرات در سیستم غبارگیر و به حداکثر رساندن تبادل حرارت بین گازهای گرم و قراضه ذوب نشده درون کوره می‌شود (پیش ذوب کردن).

همانند مورد واحد پیشگرمایش، سقف کوره نیز برای باز و بسته شدن با واگن (ارابه) جفت‌وجور می‌شود.

محفظه‌های پس‌سوزی و کنترل انتشار

تکنولوژی‌های پیشگرمایش باید با محدودیت‌های انتشار گازهای آلاینده با سختگیری مختلفی طبق مقررات مختلف ملی روبرو شوند.

بنابراین محفظه‌های پس‌سوزی با عملیات پیشگرمایش در طراحی برای روبرو شدن با الزامات اختصاصی جفت‌وجور می‌شوند، و با مشعل‌ها و حتی در صورت نیاز به واحدهای خنک‌شونده با اسپری آب مجهز می‌شوند.

ورود محفظه‌های پس سوزی در مدار، قابلیت نگهداری گازهای خروجی در منطقه‌ای با دمای بالا را برای مدت زمان کافی برای از بین بردن ترکیبات آلی سمی فراهم می‌سازد؛ سریع سرد کردن از دمای بالا ممکن است برای جلوگیری از تشکیل مجدد گسترده دیوکسین‌ها اضافه شود.

بهینه‌سازی کنترل فرآیند، قابل‌دستیابی با شناسایی پارامتر اتوماسیون مناسب، از بالاترین اهمیت برای کاهش هزینه‌های مربوط به تصفیه گاز خروجی برخوردار است.

برای غلبه بر افت فشار در ایستگاه پیشگرمایش، یک فن تقویت‌کننده در سیستم غبارگیر قرار داده می‌شود که قدرت مکش آن را با ظرفیت فن‌های اصلی جمع می‌کند و حالت عملیاتی آن را نسبت به مراحل فرآیند تغییر می‌دهد.

2.2. جنبه‌های اصلی اتوماسیون

در این پروژه توجه زیادی صرف پیاده‌سازی سیستم کنترل پیشرفته برای حصول موارد زیر شده است:

- کیفیت محصول نهایی بهتر؛
- بهره‌وری بالاتر؛
- هزینه‌های پایین‌تر؛
- شرایط کار بهتر.

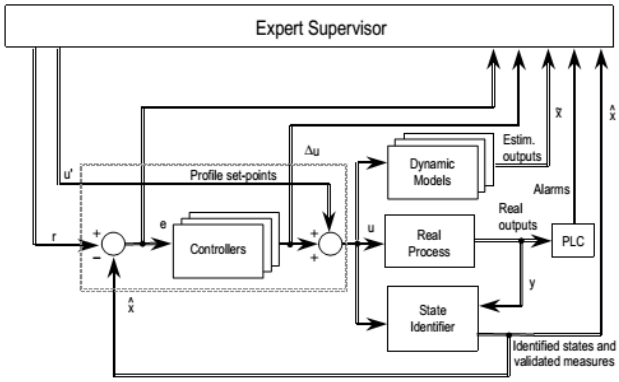
جدای از قابلیت اجرا به عنوان یک سیستم کنترل سنتی، چالشی که اتوماسیون پروژه با آن روبرو است انجام کنترل فرآیند بصورت آنلاین است که توسط یک سیستم خبره خود–انطباق نظارت می‌شود که نه تنها فرآیند را کنترل می‌کند، بلکه خود فرآیند را نیز ایجاد کرده، به دنبال بهینه‌سازی بهره‌وری، کیفیت و هزینه هاست.

کنترل فرآیند توسط کنترل‌کننده‌های "هوشمند" نظارت می‌شود با تمرکز بر:

- پس‌سوزی، کنترل جریان O_2 مدول در رابطه با دما و ترکیب (CO_2 ،CO ،O_2) گاز خروجی کوره؛
- پیشگرمایش، کنترل ترکیب، دما و دبی ورودی گاز خروجی و شرایط عملیاتی ایمن، در رابطه با کانال متحرک و موقعیت شیر کنارگذر (بای پس)؛
- ارتفاع سرباره پفکی، کنترل کافی دمیدن کربن و آهک در رابطه با مدل‌های محاسبه آنلاین و اندازه‌گیری‌های مربوط به وضعیت قوس غوطه‌ور یا آشکار.

- پس‌سوزی ثانویه، کنترل دبی مشعل‌های O_2 و CH_4 محفظه پس‌سوزی در رابطه با دما و ترکیب دود خروجی.

کنترل آنلاین خود از شبیه‌سازی دینامیکی استفاده می‌کند که تکوین صحیح فرآیند را بر اساس سیگنال‌های میدانی تأیید می‌کند (**شکل 2**).



شکل 2: نمودار جریان کنترل آنلاین.

برای استفاده از خود این قابلیت‌های اتوماسیون، پارامترهای فرآیند بطور پیوسته توسط یک سیستم داده‌یابی نظارت و ثبت می‌شوند. این سیستم سیگنال‌های میدانی را ثانیه به ثانیه ثبت نموده و سپس کل حرارت برای سابقه ذخیره می‌شود.

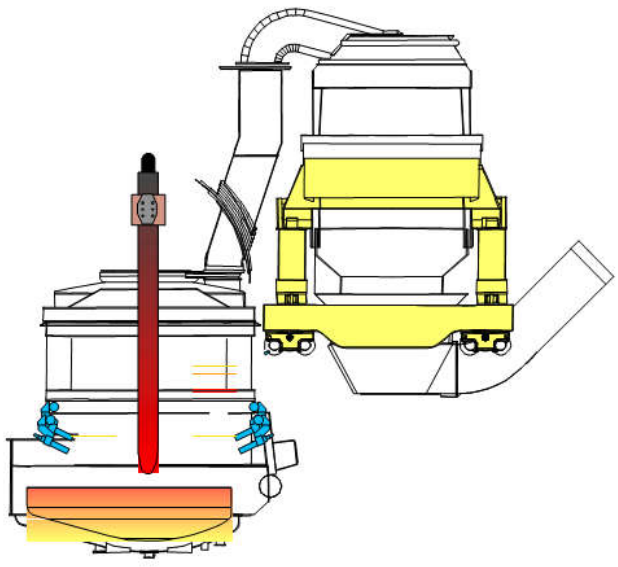
2.3 فرآیند ذوب کردن

برای دستیابی به زمان‌های کوتاه ذوب تا ذوب، فرآیند ذوب کردن کوره DANARC PLUS به سمت بهینه‌سازی زمان در تمام عملیات جهتگیری شده است: شارژ کردن کوره، نقب‌زنی (boring)، موقعیت و اجرای پیشگرمایش، ذوب کردن، تخلیه، دوباره پر کردن مجرای تخلیه.

همانطورکه قبلاً توضیح داده شد، شارژ کردن کوره در یک بار شارژ دسته‌ای انجام می‌شود، از این رو زمان پاور–آف کاهش می‌یابد. هنگامی که کوره آماده شارژ است، سیلندرهای واگن (ارابه) سقف فعال می‌شوند، در مقرهای مخروطی قرار می‌گیرند و سقف را بلند می‌کنند. همانطورکه سقف هنگام باز شدن منتقل می‌شود، ارابه پیشگرمایش آنرا دنبال نموده و باکت رفت و برگشتی را در موقعیت بالای کوره قرار می‌دهد.

با در نظر گرفتن حداکثر 4 ثانیه زمان باز شدن دریچه باکت، کل عملیات شارژ کردن بسیار سریع است زیرا ارابه پیشگرمایش و ارابه سقف آماده هستند تا بطور همزمان به موقعیت خود برای مرحله ذوب کردن برگردند.

به محض اینکه الکترود به موقعیت خود برگشت، نقب‌زنی در ستون بلند قراضه پیشگرم شده با قوس آغاز می‌شود، در حالی که مدول‌ها در حالت مشعل شروع به کار می‌کنند (**شکل 3**).



شکل 3: پیکربندی ذوب کردن کوره.

در ضمن، هنگام نقب زنی، باکت خالی رفت و برگشتی از ارابه پیشگرمایش برداشته شده و در قسمت شارژ قراضه گذارده می‌شود. پس از اتمام این عملیات، باکت رفت و برگشتی دوم، شارژ شده در طی ذوب قبلی و در حالت آماده به کار، در ارابه نقلیه خالی قرار می‌گیرد و پیشگرمایش می‌تواند پس از بسته‌شدن دریچه کنارگذر (بای-پس) دود، با هدایت گاز خروجی از شارژ قراضه شروع شود.

در مراحل بعدی ذوب کردن، مدول‌ها از حالت مشعل به حالت لنس تغییر می‌کنند. در این مرحله، جریان اکسیژن پس سوزی، همانطورکه قبلا توضیح داده شد، طبق قرائت آنالیز و دمای پیوسته گاز خروجی، کنترل می‌شود.

هنگامی که حمام مذاب کافی حاصل شد، کنترل ارتفاع سرباره فعال می‌شود بطوری که طول قوس بتواند بلند نگه

داشته شود و زمان فوق‌گداز دادن به حداقل برسد.

یک راه‌حل به‌ویژه موثر از نظر زمان که برای بهینه‌سازی مرحله تخلیه استفاده شده است، به کوره امکان تخلیه را در حالی که الکترود در پوسته قرار دارد را می‌دهد. الکترود با کوره کج نمی‌شود، زیرا در نتیجه اتخاذ روش کوره با ارتفاع زیاد، الکترود طویل برای نقب‌زنی از کل شارژ ضروری است و ستون الکترود باید مستقیماً به زمین محکم شود، تا سازه آن صلب شود.

پوسته کوره بر روی سکوی قابل کج کردن قرار دارد که بر غلتک‌هائی متکی است و کج کردن توسط 2 سیلندر هیدرولیکی انجام می‌شود. به این ترتیب، پوسته به سمت عقب، یا در حالت سرباره‌گیری به سمت جلو حرکت می‌کند و مرکز چرخش پوسته را در مجاورت دهانه الکترود در دلتا حفظ می‌کند.

هنگامی که تخلیه به پایان رسید، الکترود خارج می‌شود بطوری که کوره بتواند برای ذوب بعدی شارژ شود، هنگامی که پر کردن مجدد مجرای تخلیه و بازرسی نسوز کاملا انجام شده باشد.

3. تمرکز بر تجهیزات کارخانه ABS

3.1 ویژگی‌های طراحی خاص

کوره کارخانه ABS تمام جنبه‌های نشان داده شده در طرح مفهومی DANARC PLUS M^2 را ارائه می‌دهد. اما برخی ویژگی‌ها در این پروژه وجود دارد که نویسندگان مایل به توصیف آنها هستند.

منبع تغذیه DC Arc

سیستم تغذیه یک سیستم 1 x 12 پالس متشکل از یک ترانسفورمر و دو مبدل که هر کدام تغذیه‌کننده دو آند هستند می‌باشد. جابجاشدگی (dislocation) مدار ثانویه برای کاهش اثرات انحراف بر قوس با پایین آوردن تونل باس‌بار طراحی شده است.

تجهیزات آند مطابق با اختراع ثبت شده دانیلی است و تجربه بدست آمده از عملیات کوره در اسپانیا و مکزیک که در طراحی آنها گنجانده شده است مقاومت حرارتی بیشتر و دمای پایین تر آند را نشان می‌دهد.

کنترل مبدل دیجیتال در سیستم عملیاتی است و بیش از 60 درصد کاهش اختلالات فلیکر با عملیات پیشگرمایش، همراه با کاهش شدید انتشار صدا مورد انتظار است. در آزمایشات انجام شده تا به امروز، اندازه‌گیری‌های فلیکر تقریباً 50 درصد کاهش نشان داده است.

ایستگاه پیشگرمایش

مدار آب خنک‌کننده باکت از طریق اتصال سریع که بطور خودکار با موقعیت باکت در ارابه درگیر می‌شود، تغذیه می‌گردد.

ارابه مجهز به یک درپوش سبد قراضه قابل بلند شدن و چرخش است که از فرار دود قراضه از سیستم غبارگیر در حین حرکت جلوگیری می‌کند.

این درپوش مجهز به مشعل‌های 4x3.5MW با کنترل شعله هوای فشرده است تا تشکیل پاکت‌های خطرناک CO در دمای معینی و در محدوده‌ای از درصد CO، در باکت را حذف کند. این مشعل‌ها در کنترل پیشگرمایش ارائه شده در بخش 2.2 ادغام شده‌اند.

از خروجی پایین باکت قراضه خنک‌شونده با آب، گاز خروجی از طریق یک مجرای با آستر نسوز به محفظه‌های پس‌سوزی هدایت می‌شود تا سطح دما را حفظ کرده و نیازهای بعدی به گرمایش مجدد در رابطه با قانون کنترل انتشار آلاینده ها را به حداقل برساند.

شارژ کردن قراضه

شارژ کردن باکت‌های رفت و برگشتی خنک‌شونده با آب توسط سبدهای معمول قراضه انجام می‌شود.

باکت رفت و برگشتی بر روی ارابه‌ای قرار گرفته است که به موقعیت شارژ کردن در زیر قیف متکی به خرپا منتقل می‌شود، که جدای از جریان قراضه محتوی در طی شارژ کردن، به عنوان غبارگیر عمل می‌کند.

اتوماسیون

اتوماسیون سیستم به شش PLC تقسیم شده به شرح زیر واگذار شده است:

- اتوماسیون کوره (حرکات، هیدرولیک، خنک‌کنندگی، تنظیم الکترود و غیره)؛
- اتوماسیون انرژی جایگزین؛
- اتوماسیون مبدل AC/DC؛
- اتوماسیون تصفیه خانه آب؛
- اتوماسیون مواد افزودنی؛
- اتوماسیون واحد تصفیه دود و غبار.

اتاق کنترل برای 8 ایستگاه کاری پیکربندی شده است: کنترل اپراتور، مدیریت فرآیند 1، کنترل مدل و فرآیند، پایگاه داده‌ها و داده‌یابی، تکنولوژیست، تعمیرونگهداری نرم‌افزار (SW)، مدیریت فرآیند 2، کنترل مانیتور تلویزیون.

کلیه عملیات مربوط به کارکرد کوره توسط یک سیستم مدار بسته تلویزیونی با 8 دوربین تلویزیونی جابجاشده در منطقه کاری نظارت می‌شود.

تجهیزات خودکار نمونه‌برداری

کوره مجهز به یک دستگاه نمونه‌برداری خودکار است که بجز نمونه‌برداری، دمای و کربن حمام را نیز اندازه‌گیری می‌کند، خطرات کار را از بین می‌برد و زمان پاور–آف را کاهش می‌دهد.

3.2 پارامترهای اصلی طراحی

داده‌های انرژی الکتریکی

ترانسفورمر	
توان اسمی ترانسفورمر	2*43.5MVA
ولتاژ اسمی سیستم اولیه	21000V±10%
سطح خطای اتصال کوتاه در 21kV	1000MVA
دامنه ولتاژ ثانویه	780-400V
دامنه ولتاژ ثانویه در توان کامل	780-640V
دامنه ولتاژ ثانویه در جریان ثانویه ثابت	640-400V
حداکثر جریان ثانویه برای هر سیم پیچ (wind) ثانویه	40kA

مبدل	
تعداد پل ها	2
نوع پل	6 pulse 2 way
جریان اسمی پل منفرد	48kA

داده های انرژی کمکی	
مدول ها	
جریان اسمی O_2	3*2500Nm³/h
جریان اسمی کربن	3*30kg/min
توان مشعل*	6*3.5MW
* 2 مشعل به ازای هر واحد مدول (2 انژکتور)	

داده های دمش (تزریق)	
اهک	
تعداد انژکتور	3
دبی در هر انژکتور	150kg/min

داده های هندسی	
کوره	
ارتفاع کوره	7380mm
قطر کوره	5800mm
قطر الکترود	711mm (28")
کورس الکترود	8800mm

باکت رفت و برگشتی	
ارتفاع باکت رفت و برگشتی	8000mm
قطر باکت رفت و برگشتی	5500mm

داده های غبارگیری	
تقویت کننده	
قدرت تقویت کننده اولیه	1*630kW
سرعت اسمی	1000rpm

فن های اصلی	
توان فن دودکش	3*800kW
سرعت اسمی	1000rpm

3.3 ارقام اصلی عملکرد طراحی

ارقام عملکرد طراحی برای نصب در ABS در زیر نشان داده شده‌اند (**جدول1**)؛ تمام مقادیر ویژه مربوط به فولاد مذاب تخلیه شده است:

	واحد	مقدار
مصرف انرژی الکتریکی	[kWh/t]	280
مصرف اکسیژن	[Nm3/t]	38
مصرف گاز طبیعی	[Nm3/t]	6
کربن تزریقی	[kg/t]	13
آهک تزریقی	[kg/t]	35
مصرف الکترود	[kg/t]	0.9
زمان پاور–آن	[min]	34
زمان ذوب تا ذوب	[min]	42
وزن شارژ	[t]	100
وزن تخلیه	[t]	90
بهره وری	[t/h]	128

جدول 1: ارقام عملکرد طراحی شده.

4. مرحله راه‌اندازی

عملیات کوره Danarc Plus در کارگاه ذوب کارخانه ABS از اواسط دسامبر سال 1998 آغاز شد.

مرحله1 راه اندازی، با هدف تنظیم و تلفیق عملیات پیوسته با دور زدن ایستگاه پیشگرمایش، تا نیمه اول سال 1999 ادامه یافت. عملیات مرحله 2، شامل راه‌اندازی کامل واحد پیشگرمایش، به دنبال آن، فشار به سمت روش‌های عملیاتی که ارقام عملکرد مشخصه طراحی DANARC PLUS M^2 بود.

ذوب‌های اولیه راه‌اندازی در "حالت نرم" در سطح توان متوسط–پایین و در ابتدا پس از یک عملیات متناوب انجام می‌شد تا امکان بازرسی چشمی سیستم‌های آند فراهم شود.

وضعیت آمادگی کوره در هنگام راه‌اندازی شامل قابلیت عملیاتی شدن کامل کلیه تجهیزات کمکی بود که در طی دوره‌های اولیه به نحو مقتضی آزمایش شدند و عملکرد مطابق با انتظارات را ارائه دادند.

قبلا در طی اولین ذوب‌ها، نتایج بسیار رضایت‌بخشی از منبع تغذیه قوس DC، از لحاظ یکنواختی انرژی بدست آمده با عملیات قوس عمودی، با توجه به نبود کامل پدیده‌های "تاب خوردگی" حاصل شد. این نتیجه از نظر عملیات پیوسته با یک ستون بلند قراضه در کوره بسیار نویدبخش تلقی شد.

ثابت شده است راه‌حل‌های نشان داده شده در بخش 3.1. برای حذف اثرات انحراف الکترومغناطیسی القا شده بر قوس بسیار موفقیت‌آمیز بوده است، زیرا فضای داخلی کوره بطور یکنواخت گرم می‌شود.

آندهای پایین برای حداکثر جریان برای ذوب‌های پی در پی امتحان شدند و هیچ مشکلی بروز نکرد: دمای آند و افزایش دمای آب خنک‌کننده مینرال‌زدایی‌شده (نمک‌زدائی‌شده) ثابت و کم باقی ماند.

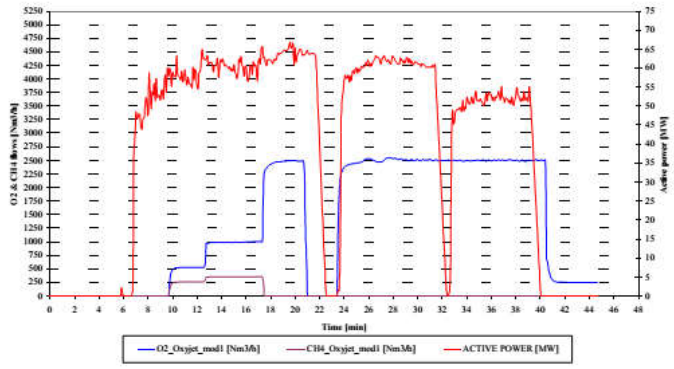
تمام ذوب‌ها با شارژ کامل قراضه در کوره انجام شد، بجز اولین ذوب هر دوره از تولید، که در دو باکت و با استفاده محدود از انرژی جایگزین در باکت دوم عملیات ذوب کردن انجام می‌شد.

همانطورکه به وضوح انتظار می‌رفت، ثابت شد شارژ کردن قراضه نه تنها در رابطه با سطح کیفیت‌های مختلف آن (لایه‌بندی)، بلکه همچنین از نظر بازه های زمانی مربوط به عملکرد جرثقیل، موقعیت باکت رفت و برگشتی و شارژ کردن، یک موضوع کلیدی در بهینه‌سازی عملیات کوره است.

5. نتایج عملیاتی

در حال حاضر، عملیات Danarc Plus بطور منظم در برنامه تولید کارخانه ABS زمان‌بندی می‌شود، فعالیت متناوب با کوره AC که به تولید فولاد ضد زنگ اختصاص یافته است.

اکنون کوره تحت آزمایش‌های عملکردی قرار دارد و به زودی تجهیزات بطور رسمی به ABS تحویل داده می‌شود. اما دانیلی با بهره‌گیری از قابلیت‌های گسترده نظارت بر داده‌ها و نوآوری‌های کنترل فرآیند به عنوان بازخورد، به حضور خود در ارتباط با کوره ادامه می‌دهد تا بطور پیوسته تیم-های طراحی و تکنولوژی را برای کاربردهای بعدی به روز کند.

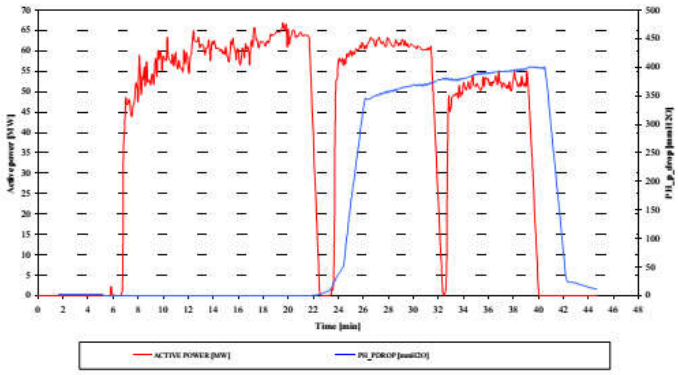


شکل 4: نمودار انرژی الکتریکی و شیمیایی.

نمودار ذوب کردن در **شکل4** و نمودار پیشگرمایش در **شکل5** مربوط به یک ذوب تولید شده توسط این کوره می‌باشند.

در مورد نمودار ذوب کردن، نمودار همراه با ورودی توان فعال، ورودی انرژی جایگزین Oxyjet یکی از سه مدول را نشان می دهد: نمودارهای دو مدول باقیمانده یکسان هستند.

می‌توان به ملاحظات جالبی در مورد نمودار پیشگرمایش توجه کرد که در آن، همراه با ورودی توان فعال، سیگنالی از مدار پیشگرمایش نشان داده می‌شود که مربوط به افت فشار در باکت قراضه آبگرد است.



شکل 5: نمودار پیشگرمایش.

عملیات پیشگرمایش در ABS نشان داده است که این تجهیزات قادر به پیشگرمایش ایمن قراضه با

حداکثر 15 درصد تراشه های ماشینکاری در شارژ است، از این رو هزینه شارژ مربوط به عملیات پیشگرمایش (PH) را کاهش می دهد. این به دلیل طراحی مدار بسیار انعطاف‌پذیر است که اجازه می‌دهد هرگاه که نیاز باشد، جریان گاز بین مدار PH و کنارگذر (بای-پس) تقسیم شود.

چنانکه مشاهده می‌شود، افت فشار در حدود $350\ mmH_2O$، مقداری نسبتاً زیاد می‌باشد، که مربوط به وجود تراشه‌های ماشینکاری در ناحیه پایین باکت است؛ سهمی از دود EAF از کنارگذر عبور می‌کند.

به دلیل این واقعیت که هنوز باید جابجایی اتوماتیک جرثقیل اجرا شود، عملیات PH پس از حدود 15 دقیقه پاور-آن شروع می‌شود.

در مورد عملیات ذوب کردن، ABS تقاضا کرده است که حداقل از 15 درصد شارژ قراضه سنگین داخلی خود (اسکول‌های تاندیش و پاتیلی، اینگات‌های برگشتی و غیره) استفاده کند. دانیلی این نیاز فرآیندی را اجابت کرده است، و کوره انعطاف‌پذیری زیادی در عمل شارژ، نه تنها از لحاظ فرآیند، که تا حدودی تحت تأثیر این قید قرار گرفته است، بلکه همچنین از نظر قابلیت اطمینان مکانیکی نشان داده است، از این رو از سایر تجهیزات پیشگرمایش نوع سنتی‌تر پیش افتاده است.

در مورد عملکرد، بهترین ذوب‌های با PH، مربوط به شارژ معمولی بدون تراشه تراشکاری، عملکرد بازیابی انرژی بالا، kWh/t 55-60 با 20 دقیقه PH، مطابق با محاسبات طراحی را نشان داده‌اند.

با تجزیه‌وتحلیل داده‌های متوسط، **جدول 2** ارقام عملکرد عملیات انجام شده تاکنون را نشان می‌دهد:

مصرف ویژه*	واحد	بدون PH	با PH	تفاوت
انرژی الکتریکی	[kWh/t]	359	302	**57**
اکسیژن	[Nm3/t]	39.8	37.8	**2.0**
گاز طبیعی	[Nm3/t]	5.1	4.7	**0.4**
کربن	[kg/t]	14.3	10.2	**4.1**
دمای تخلیه	[°C]	1655	1655	-
توان متوسط	[MW]	55	55	-
مدت پاور-آن	[min]	34	30	**4**

* مقادیر ویژه برای فولاد مذاب

جدول 2: ارقام عملکرد

در توضیح این ارقام، در مقایسه با عملکرد طراحی شده ارائه شده در بخش 3.3، باید در نظر گرفت که چگالی واقعی شارژ $1100 kg/m^3$ است (15 درصد قراضه سنگین داخلی شرکت، ذکر شده در بالا) در حالی که قبل از این تغییر در شیوه شارژ کردن، چگالی متوسط $880\ kg/m^3$ بود. بنابراین عملکردهای عملیاتی مطابق با عملکردهای طراحی هستند، زیرا این تغییر در چگالی شارژ مستلزم تقریباً $20 kWh/t$ مصرف انرژی بیشتر است.

لازم به ذکر است که عملکرد کوره شامل تمام طیف گریدهای فولادی مخصوص تولید شده توسط ABS، به استثنای فولاد ضد زنگ (در سال 1998 معادل 5 درصد از کل) می‌باشد.

تاکنون، همکاری زیاد و دوستانه بین ABS و دانیلی در این پروژه، نتایج درخشانی در راه‌اندازی و عملکرد کوره جدید به ارمغان آورده است.

نویسندگان بر این باورند که با ادامه این روند، نتایج قابل‌توجه مورد انتظار از تکنولوژی DANARC PLUS M^2، با شناسایی این کوره ابتکاری به عنوان رقیبی معتبر در فولادسازی در سراسر جهان در آینده بسیار نزدیک، به واقعیت تبدیل خواهد شد.