



مجمع
فولاد
مبارک



دوماهنامه آهن و فولاد
شماره پنجاه و پنجم، بهمن و اسفند ماه
سال ۱۳۹۸

فهرست

بررسی تکنولوژی های نوین اندازه گیری ضخامت آجر نسوز پاتیل در
جابجایی مواد مذاب



۲ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

به کارگیری فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در صنعت



۵ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

آنیل ناپیوسته کاملاً اتوماتیک گسترش یافته توسط BILSTEIN



۸ گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

اصلاح رایدی های کوره های پیشگرم نورد گرم شرکت فولاد مبارک



۱۲ بابک وفایی، سعید ضیایی راد، فرهاد مددی، محمد حدادی، حسین پارسا

مروزی بر تکنولوژی تولید کک سوزنی مورد استفاده در ساخت الکترودهای
گرافیتی کوره قوس الکتریک و ارزیابی بازار مصرف آن در داخل کشور



۲۴ محسن علی زاده، مهدی علی زاده، شهرام عباسی

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دوماهنامه آهن و فولاد



۵۶

صاحب امتیاز: شرکت فولاد مبارک اصفهان
مدیر مسئول: ایرج ترابی

نشانی:

اصفهان، شرکت فولاد مبارک اصفهان
آدرس اینترنتی:

<http://ironandsteel.msc.ir>

نشریه در حکم و اصلاح مطالب ارسالی آزاد است.
مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.
مسئولیت مطالب به عهده نویسنده آن است.
اصل تصاویر و عکس ها با کیفیت مطلوب ارسال گردد.
نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

شمارگان: ۳۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۰۰۰ تومان

طرح جلد و صفحه آرای: گرافیک نقطه

۰۹۱۳۳۰۰۸۱۹۳

چاپ: آرمان نو



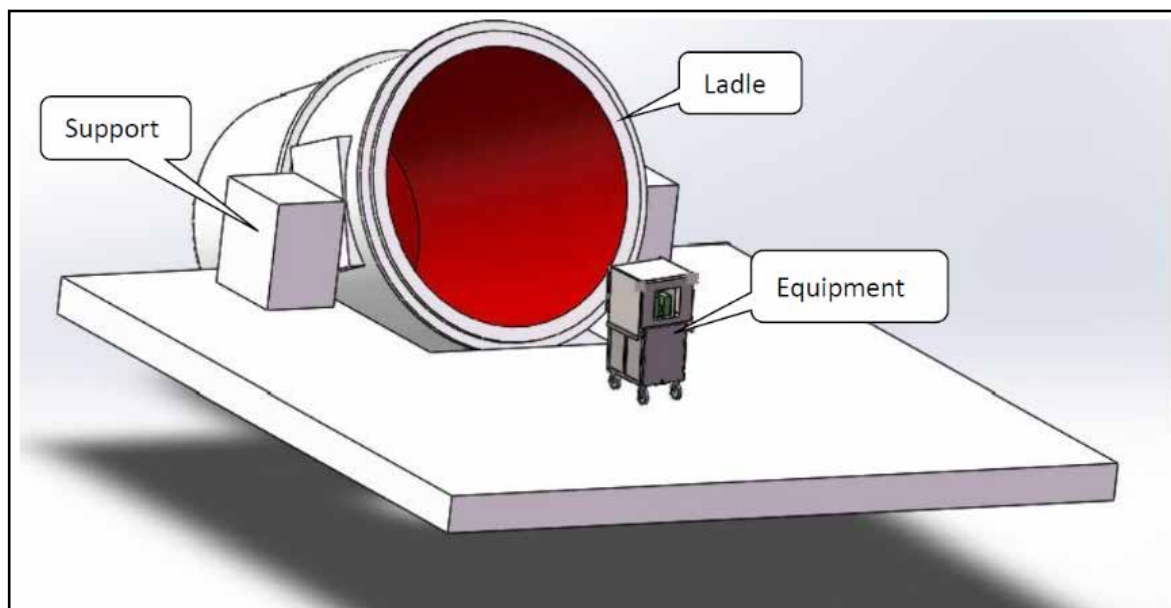
بررسی تکنولوژی‌های نوین اندازه‌گیری ضخامت آجر نسوز پاتیل در جابجایی مواد مذاب

ضخامت و تعویض به موقع آجرهای نسوز دیواره و کف پاتیل می‌شود. با نازک شدن و یا شکستگی آجرها و در نهایت سوراخ شدن بدنه فولادی پاتیل مواد مذاب به بیرون پاتیل هدایت می‌شوند که خسارت‌های جانی و مالی بسیاری به همراه خواهد داشت.

با تعیین ضخامت آجر نسوز با بهره‌گیری از فرایند اسکن پاتیل می‌توان از آسیب به بخش فولادی پاتیل جلوگیری به عمل آورد. با توجه به کاربرد طیف گسترده‌ای از پرتو ها

امروزه تکنولوژی حرارت سنج بدنه پاتیل با قابلیت کار در حرارت بالا جزء صنایع با تکنولوژی بالا محسوب می‌شود و با محاسبه ضخامت نسوز پاتیل از تحمیل خسارت‌های جانی و مالی سنگین ناشی از خوردگی آجر نسوز و سوراخ شدن بدنه پاتیل در هنگام جابجایی مواد مذاب جلوگیری به عمل می‌آید. هم‌اکنون بازرسی ضخامت آجر نسوز پاتیل و کوره ذوب توسط نیروی انسانی و بازدید چشمی صورت می‌گیرد که این عمل علاوه بر خطرات مختلف، باعث خطا در تشخیص





شکل ۱. حالت قرار گرفتن پاتیل بر روی استند افقی در فرآیند اندازه گیری ضخامت نسوز پاتیل

با اندازه گیری دمای نقاط مختلف پاتیل، ضخامت هر نقطه از پاتیل بنابر رابطه رسانش و استفاده از نرم افزارهای خاص محاسبه و نمایش داده می شود. در این روش ضخامت پاتیل طی مدت زمان ۵ تا ۱۰ دقیقه و با دقت ۵ میلیمتر اندازه گیری می شود.

برخی از ترمومترهای لیزری قابلیت نصب پراب جهت اندازه گیری دما به روش تماسی را نیز دارا می باشد که به آنها ترمومتر دو کاره می گویند. دقت اندازه گیری دما با استفاده از ترمومتر لیزری در حدود ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد می باشد.

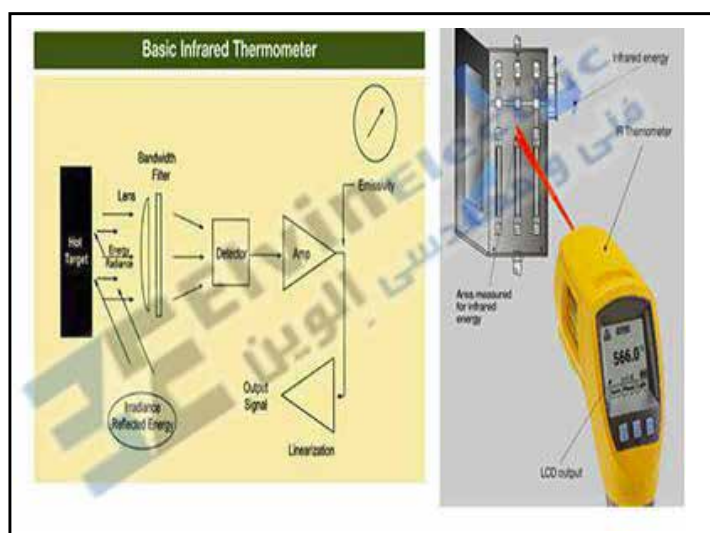
ب: روش تابش پرتو گاما

این روش بر پایه تابش پرتو گاما و آشکارسازی پرتوهای

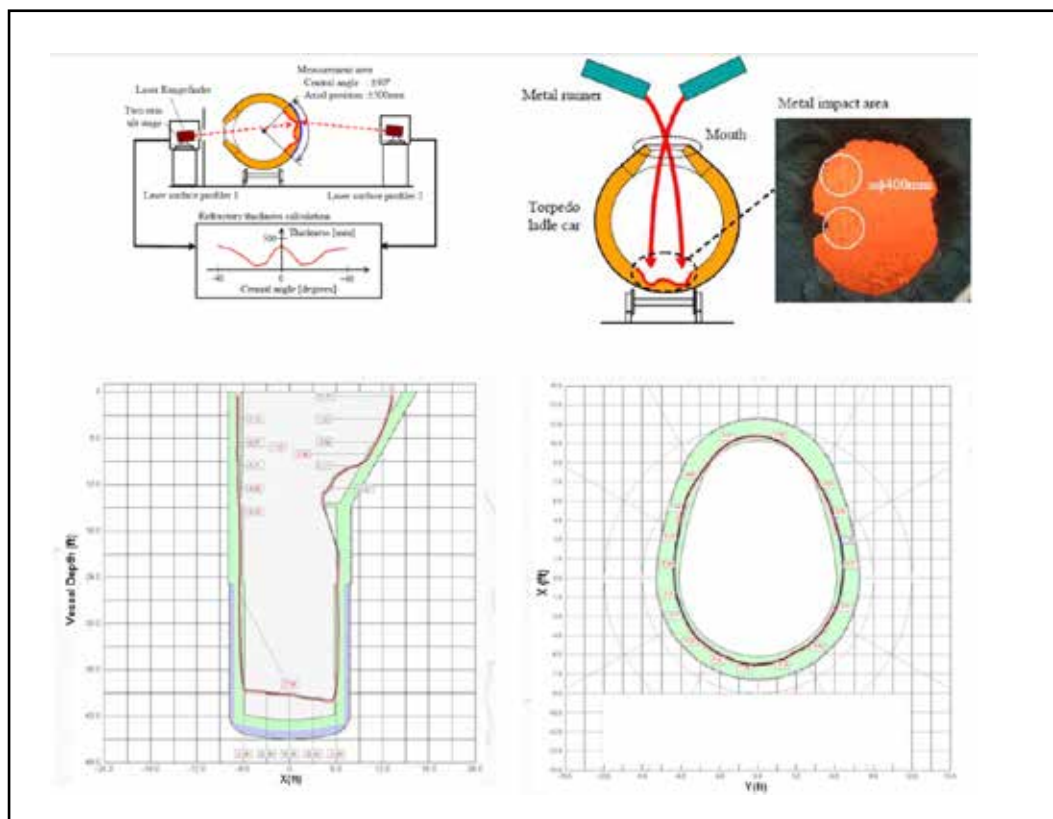
و تابش های یونیزان و غیر یونیزان در صنعت، از دو روش لیزر و تابش پرتو گاما می توان جهت اسکن پاتیل انتقال مواد مذاب بهره برد.

الف: روش لیزر

روش لیزری یک روش اندازه گیری غیر تماسی دما (تا فاصله ۵۰ متر) می باشد. دماسنج های لیزری موجی از پرتو مادون قرمز با انرژی مشخص را از طریق لنزها و آینه هایی که درونش تعبیه شده به نقاط مختلف پاتیل تابانیده و با توجه به دمای هر نقطه از پاتیل انرژی پرتوهای بازگشتی تغییر می کند. با اندازه گیری انرژی و تبدیل آن به سیگنال الکتریکی دمای هر نقطه بدون تماس اندازه گیری می شود.



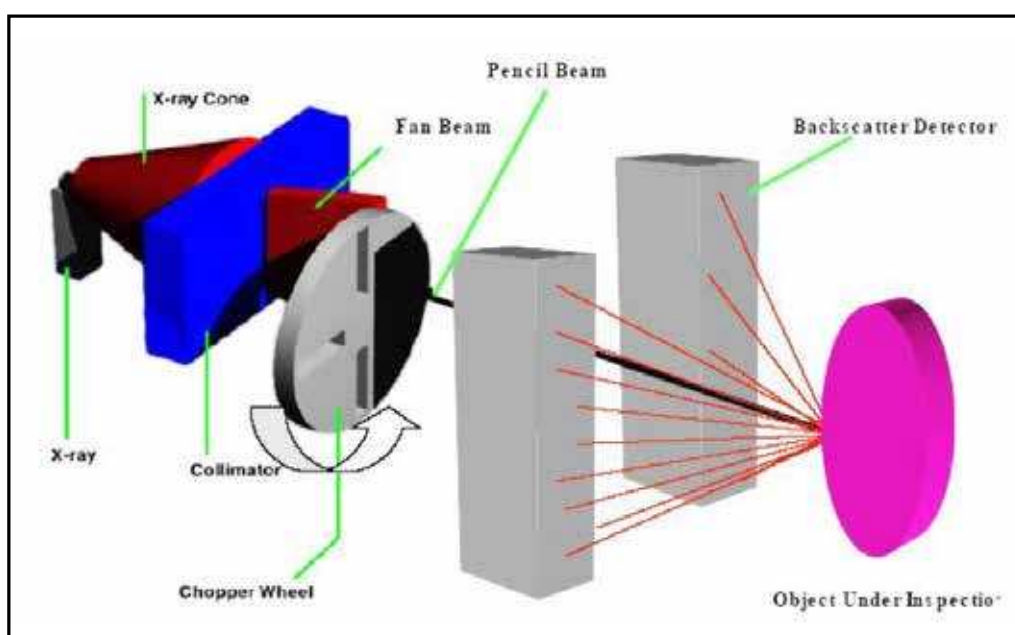
شکل ۲. نمونه ای از ترمومتر لیزری قابل حمل



شکل ۳. ضخامت سنجی پاتیل با استفاده از روش لیزر

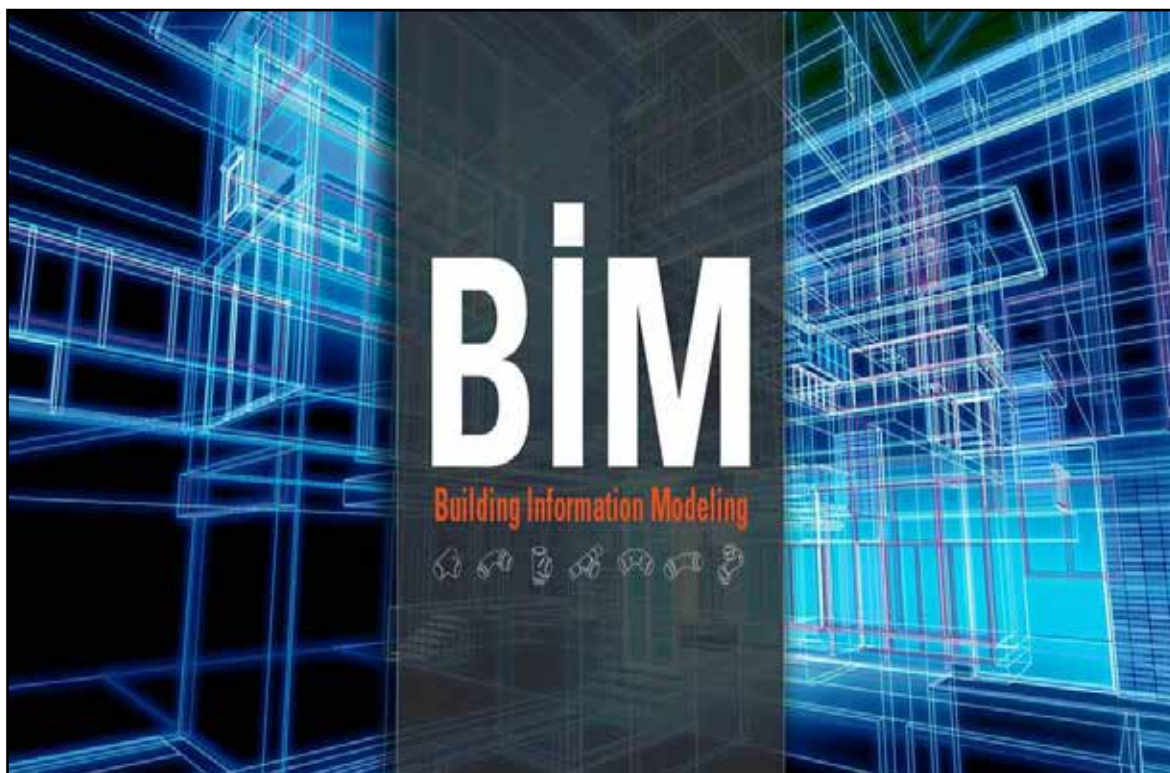
شدن، با استفاده از دکتورهایی در زوایای گوناگون آشکارسازی می‌شوند و با استفاده از نرم افزار و پردازش صورت گرفته ضخامت آجرهای نسوز داخل پاتیل مشخص می‌گردد.

گامای پس پراکنده شده (بازگشتی) استوار است. در این روش یک چشمه گامای پوشیده شده و کولیماتور تنظیم کننده تابش گاما در بالای پاتیل قرار می‌گیرد و پرتو گسیل می‌نماید. تابش‌ها پس از برخورد به دیواره داخلی پاتیل و پس پراکنده



شکل ۴. شماتیکی از سیستم های اسکن پرتو ایکس بازگشتی

به کارگیری فناوری مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در صنعت



مورد توجه کشورهای توسعه یافته بوده است اما از سال ۲۰۱۵ بصورت وسیعی استفاده از آن رایج شده است. یکی از اهداف تحول دیجیتال، به خدمت گرفتن فناوری BIM و روش‌های پیشرفته مدیریت اطلاعات مبتنی بر پروتکل‌های وب بیس برای بهبود فرآیندهای مدیریت ساخت، در مرحله طراحی و ساخت و راه‌اندازی و یا بهبود فرآیندهای بهره‌برداری و نگهداری در مرحله استفاده از یک مجتمع صنعتی است که می‌تواند مزایای زیادی برای مالک و بهره‌بردار ایجاد نماید. معمولاً کاربرد و مزایای فناوری BIM در ارتباط با تیم طراحی می‌باشد، اما در زمینه مدیریت پروژه در جایی که پروژه‌ها دارای زمان طولانی مدت هستند، نیز بکار می‌رود. از آنجایی که پرسنل تیم طراحی در مراحل مختلف چرخه طراحی و تولید در یک کارخانه فولادسازی دارای تغییراتی خواهند بود، لذا نیاز به مدیریت دارایی از ابتدا تا انتهای فرآیند تولید به طور

مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM^۱) باعث به وجود آمدن انقلابی در صنعت شده است. مدل‌سازی BIM یک فرهنگ مدیریتی است که بر پایه ساخت دیجیتال پروژه قرار دارد و با دخیل کردن تمامی ذینفعان و دست‌اندرکاران پروژه در مرحله طراحی، گام بزرگی را در جهت کاهش دوباره‌کاری‌ها در طول اجرای پروژه برداشته و در نهایت محاسبه دقیق حجم کار و مصالح پروژه، برآورد دقیق مالی و زمانی را برای یک پروژه ساخت عمرانی به ارمغان می‌آورد. با توجه به اهمیت حرکت صنایع به سمت انقلاب صنعتی چهارم، تحول دیجیتال و ایجاد زیرساخت‌های لازم برای هوشمندسازی واحدهای تولیدی و کارخانجات، پیاده‌سازی BIM از جمله اولین گام‌های عملیاتی برای صنایعی می‌باشد که به سمت هوشمندسازی و انقلاب صنعتی چهارم پیش می‌روند. دانش مربوط به پیاده‌سازی فناوری BIM از سال‌های گذشته

1. Building information modeling



شکل ۱. به کارگیری فناوری مدل سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در صنعت

چرخه حیات پروژه در آن مشارکت داشته باشد. نمودار مکلیمی در شکل ۳ این مساله را به صورت واضح شرح می دهد. در این نمودار که به نمودار مکلیمی نیز معروف است، محور عمودی میزان تلاش و هزینه، و محور افقی فازهای مختلف چرخه حیات پروژه را نشان می دهند.

خلق مستندات پروژه در سیستم BIM دارای امتیاز ویژه ای هم چون تجسم پروژه در فضای سه بعدی است که ماحصل

پیوسته وجود دارد. بالطبع مدیران پروژه به منظور دستیابی به حداکثر مزایای BIM، به درک و تحلیل اطلاعات BIM نیاز دارند. استانداردهای مربوط به این فناوری، از اروپا و آمریکا کسب شده، اما پیاده سازی آن برای هر سازمان منحصر به فرد خواهد بود.

در صورتی که فناوری BIM به صورت صحیح اجرا شود، این امکان را به وجود می آورد که ذی نفعان مختلف بتوانند از ابتدای



شکل ۲. مدل سازی ساختمان با استفاده از فناوری BIM.

موارد زیر اشاره نمود:

* کاهش هزینه و کارایی و نگهداری بهتر و مؤثر از خطوط تولید و ساختمان‌ها

* **تجزیه و تحلیل مقادیر و متره:** هدف از آنالیز مقادیر، دسترسی آسان به فرآیند تهیه متره مصالح به کار رفته در مدل است.

* **تجزیه و تحلیل برنامه‌ریزی‌ها:** آنالیز برنامه‌ریزی‌ها در BIM به معنای کمک مدل اطلاعاتی پروژه در استفاده از برنامه‌های زمان‌بندی پروژه و اولویت فعالیت‌های ساخت می‌باشد به این ترتیب با اطلاعاتی که از مدل و عناصر مدل‌سازی شده در پروژه در اختیارمان قرار می‌گیرد می‌توانیم جدول زمان‌بندی پروژه را با محوریت مدل تهیه کنیم.

* **تجزیه و تحلیل بصری:** با استفاده از ابزارهای بخش تصویرسازی از مدل اطلاعاتی درک درستی از مدل و نمونه نهایی هر عنصر قبل از ساخت در یک نمونه دیجیتالی شبیه‌سازی شده ایجاد می‌شود که دید بیننده را در هر مرحله از کار پروژه بهتر می‌سازند.

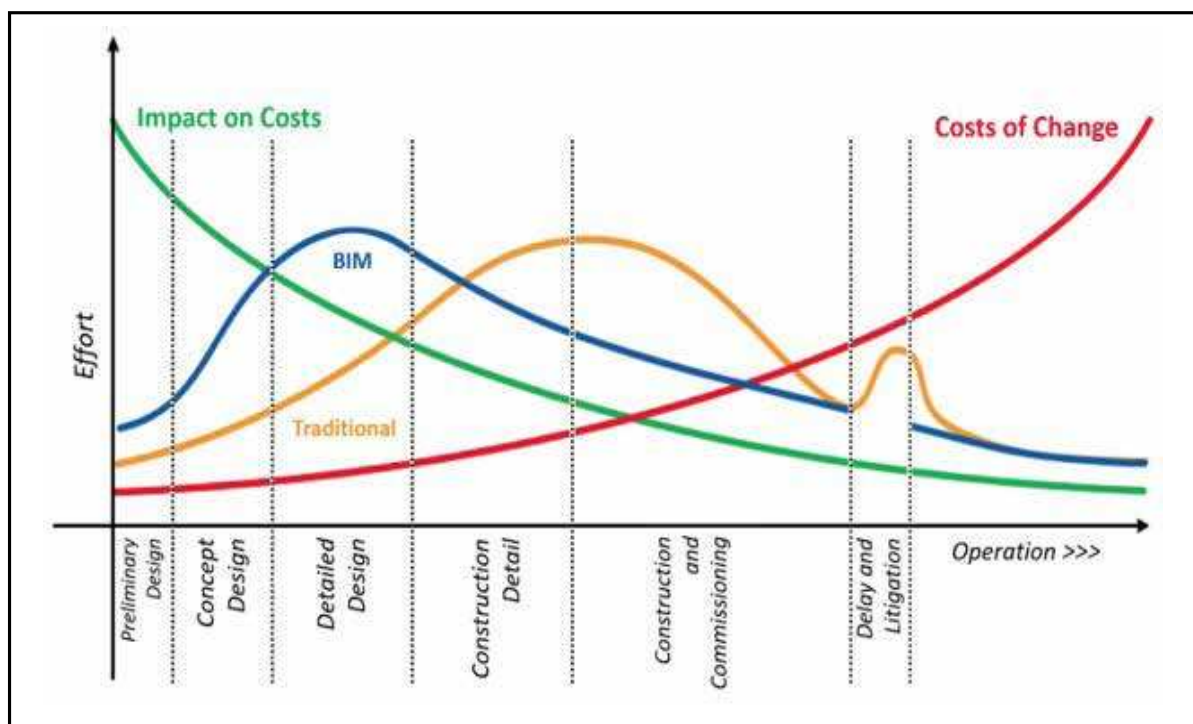
* **تجزیه و تحلیل انرژی:** برای تجزیه و تحلیل انرژی ابزارها و نرم‌افزارهای هم‌راستا با مدل‌سازی اطلاعاتی ساختمان در زمینه آنالیز انرژی وجود دارد که به طراح کمک می‌کنند تا بهترین انتخاب را در حین طراحی در کاهش مصرف انرژی در نظر بگیرند.

* **تجزیه و تحلیل سازه‌ای:** برای آنالیز بخش سازه ساختمان از ابزارهای ویژه‌ای استفاده می‌شود که ساختار اصلی آن‌ها بر مبنای عنصر مدل شده در بخش سازه استوار است.

عمده و محرک اصلی در طراحی با فناوری BIM است و تمامی کاربران را به استفاده از آن ترغیب می‌کند. خلق دیجیتالی پروژه با ابزارهای جدید ما را در پیشبرد اهدافمان کمک می‌کند. امکان تداعی فضای خارجی و داخلی پروژه همانند بازی با کنسول می‌باشد به طوری که با ایجاد یک گردش مجازی در فضای طراحی تصاویر ملموسی از پروژه نمایش داده می‌شود و همچنین با کلیک بر روی هر شیئی در فضای سه بعدی می‌توان اطلاعات مربوط به آن مانند سال تولید، کشور سازنده، دیتاشیت مربوط به آن و غیره نمایش داده شود. در آینده نه چندان دور کارفرمایان به معمارانی که با روش BIM طراحی می‌کنند اعتماد بیشتری خواهند داشت چرا که می‌توانند در فضای واقعی و مسیرهای داخلی و خارجی پروژه حرکت نمایند و هیچ محدودیتی در ارائه فضای داخل و خارج پروژه ندارند.

پیشرفت‌های موجود در زمینه نرم‌افزارهای مبتنی بر تکنولوژی BIM در سال‌های اخیر این امکان را فراهم نموده است که یک مدل ترکیبی چند وجهی مهندسی و یکپارچه، مشابه طرحی که قرار است اجرا گردد و یا طرحی که موجود است تهیه شود و در طول زمان ساخت همه اطلاعات و تغییرات در آن اعمال می‌گردد بصورتی که در پایان مرحله اجرا مدل عینی ساخت ایجاد می‌گردد. در مرحله بعدی با اضافه شدن اطلاعات فاز بهره‌برداری و تداوم پشتیبانی و به‌روزرسانی سیستم در زمان تغییرات و توسعه‌ها، امکان مدیریت بهتر دارایی (Asset Information Management) در زمان بهره‌برداری فراهم می‌شود.

از مزایای پیاده‌سازی فناوری BIM می‌توان به



شکل ۳. نمودار مکلیمی، نمایش میزان تلاش و هزینه بر حسب فازهای مختلف چرخه حیات پروژه.

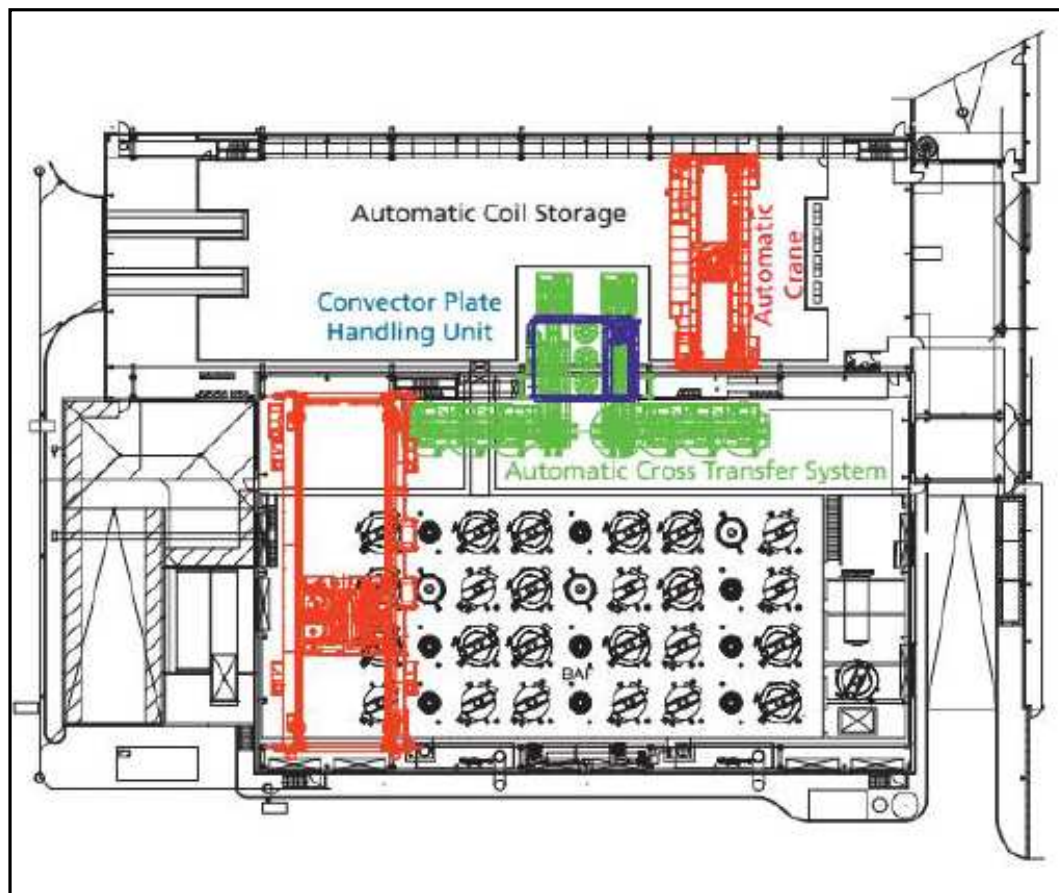
آنیل ناپیوسته کاملاً اتوماتیک گسترش یافته توسط BILSTEIN

شرکت BILSTEIN با توسعه اخیر خود در واحد آنیل ناپیوسته، اعتبار بسیار بالایی برای خود حاصل کرد به گونه‌ای که اولاً ظرفیت اولیه آنیل خود را تا دو برابر افزایش داد و ثانیاً خود را به عنوان یکی از شرکت‌های نوآور و خلاق در صنعت مطرح نمود. آنیل ناپیوسته گسترش یافته توسط این شرکت به عنوان تنها و اتوماتیک‌ترین واحد آنیل در دنیا شناخته شده است. همچنین دارای بیشترین بهره‌انرژی و قوی‌ترین سیستم کنترل می‌باشد.

در دسامبر ۲۰۱۷ شرکت BILSTEIN که تولید کننده محصولات نورد سرد شده در آلمان می‌باشد، جهت گسترش اولین واحد آنیل اتوماتیک در دنیا ارتباط بیشتری با LOI حاصل نمود که در نهایت این ایده با همکاری چند شرکت آلمانی اجرا شد. قرارداد مرحله اول در سال ۲۰۱۱ منعقد شد و مشتمل بر ۱۲ ایستگاه آنیل با ۶ سیستم گرمایش و سرمایش می‌باشد و به صورت کاملاً اتوماتیک در نوامبر ۲۰۱۲ مورد بهره‌برداری قرار گرفت. پس از تست‌های موفق اولیه، واحد مذکور به چهار ایستگاه در سال ۲۰۱۵ توسعه یافت (مرحله دوم). در دسامبر ۲۰۱۷، قرارداد مرحله سوم مشتمل بر هشت ایستگاه اضافه منعقد شد و برنامه آن تولید در نوامبر ۲۰۱۸ بود.

تاکنون واحدها جهت آنیل ورق‌های با عرض متوسط مورد استفاده قرار گرفته‌اند و در آینده ورق‌های عریض با عرض ۱۳۵۰ mm نیز تحت عملیات قرار خواهند گرفت و مهم‌ترین ویژگی‌های آن به صورت زیر می‌باشد: جرقه‌زنی





شکل ۱. شماتیک کلی واحد

جهت تامین الزامات بهره‌برداری اتوماتیک، یک سری تنظیمات و تغییرات جدید لازم بود. در سیستم اتوماتیک، پرسنل بهره‌بردار دسترسی به واحد را ندارند. کل واحد توسط حصارهای محافظ شامل ۹ درب احاطه شده است همچنین مناطق امن جهت ایجاد اطمینان از عملکرد منظم و اتوماتیک

کاملاً اتوماتیک (بدون نیاز به اپراتور)، بارگیری و تخلیه کاملاً اتوماتیک، بارگیری و تخلیه کاملاً اتوماتیک هودهای سرمایش و گرمایش، قابلیت قطع و وصل اتوماتیک سیال (گاز طبیعی، هیدروژن) و جریان برق، قابلیت برنامه‌دهی سریع و داده‌گیری، قابلیت اتوماتیک کاهش و جمع‌آوری مواد کندانس.





شکل ۲. عملکرد چندگانه نگهدارنده

دوربین‌های بی سیم جهت پایش فرایند به کار برده می‌شوند. سیستم جمع‌آوری داده‌ها توسط BILSTEIN گسترش یافته و در واحد نصب شده و جهت ثبت، دسته‌بندی و آنالیز داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. این امر بدان معناست که شرکت در صنعت یک پیشرو بوده و همه فرایندها در واحد را ضمانت اجرایی می‌نماید. تنها یک نفر در هر شیفت در سالن ذخیره کوئل، سیستم انتقال و واحد آنیل کار می‌کند. محیط کار در اتاق کنترل و هشت متر بالاتر از سطح زمین قرار دارد. علاوه بر ایده اتوماتیک بودن که در سراسر جهان منحصر به فرد است، واحد آنیل مذکور دارای بهترین عملکرد بوده به گونه‌ای که ظرفیت آن تقریباً $2/82 \text{ t/h}$ می‌باشد. یک سیستم ایجاد سیلان مجدد با پره‌های کروی به همراه سیستم سرمایش BYPASS مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین سیستم سیلان BYPASS که بر اساس فرکانس کنترل می‌شود، در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم مذکور دارای بالاترین بهره انرژی در دنیا بوده و قادر به باز یافت ۵۸٪ انرژی می‌باشد. همچنین مصرف گاز آن kWh/t ۱۴۰ که در مقایسه با موارد معمول (180 kWh/t) نشان از ۲۲٪ ذخیره انرژی دارد.

هر قسمت و عدم وجود تداخل در نظر گرفته شده است. با این وجود، کل سیستم باید به گونه‌ای عمل کند که بازرسی چشمی اولیه در ادامه فرایند نیاز نخواهد بود. ذخیره کوئل‌ها در سالن مجاور به صورت اتوماتیک بوده و سپس توسط نوار نقاله به ایستگاه‌های آنیل منتقل می‌شوند. نوار نقاله‌ها دارای چهار موقعیت بوده و هر کدام دارای سیستم ردیابی جداگانه می‌باشند. کوئل‌ها توسط جرثقیل اتوماتیک که دارای آهنرباهای دائم می‌باشند، بلند شده و به روی نوار نقاله در راستای محور افقی کوئل قرار داده شده و در نهایت بر روی یک وسیله در حال چرخش قرار داده می‌شود. در مرحله بعد، کوئل به روی محور عمودی خود چرخانده می‌شود. کوئل‌های آنیل شده به سالن ذخیره اولیه کوئل توسط نوار نقاله دوم برگردانده می‌شود. سیستم چرخاننده دوم جهت چرخش کوئل‌ها به حالت محور افقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جرثقیل اتوماتیک توسط Kranbau Kothlen GmbH تهیه شده و دارای یک سیستم ضد نوسان جهت بارهای با وزن مختلف و مرکز جرم‌های گوناگون می‌باشد. در هر دو طرف جرثقیل، سنسورهای موقعیت و ایمنی نصب شده است. دقت موقعیت جرثقیل کمتر از $\pm 15 \text{ mm}$ در همه حالات می‌باشد. همچنین



شکل ۳. سیستم حمل کویل اتوماتیک



شکل ۴. قابلیت جابجایی تجهیزات مختلف

اصلاح رایدردهای کوره های پیشگرم نورد گرم شرکت فولاد مبارکه

نویسندگان : مهندس بابک وفايي، دکتر سعيد ضيايي راد، مهندس فرهاد مددي
مهندس محمد حدادي، مهندس پارسا

چکیده:

خواص کیفی و کارایی رایدرد جهت جلوگیری از تخریب، انهدام و همچنین افزایش عمر کاری و کاهش هزینه های تعمیراتی می باشد. در این راستا با شبیه سازی قطعه و بررسی عوامل مخرب تاثیر گذار بر روی عملکرد آن، با بکارگیری از روش های مهندسی سطح و مهندسی عملیات حرارتی برای بهبود و اصلاح و ارتقاء خواص مهندسی رایدرد و همچنین تغییر در نحوه اتصال آن باعث افزایش عمر کاری رایدرد شده چنانچه نتایج این پژوهش حاکی از عدم ریزش و تخریب رایدرد در توقفات سالیانه می باشد.

شناسایی و بررسی عوامل تخریب و بکارگیری روش های مناسب برای کاهش یا حذف تبعات خسارت بار این عوامل به جهت افزایش عمر کاری قطعات و تجهیزات، بهبود عملکرد قطعه و کاهش هزینه های تعمیرات و نگهداری همواره از جمله دغدغه ها و اهداف واحدهای تولیدی بشمار می آید. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی و ارزیابی دلایل تخریب رایدرد کوره های پیشگرم نورد گرم بعنوان یکی از قطعات پر مصرف در کوره ها و ارائه راهکارهای اصلاحی در جهت بهبود

واژگان کلیدی:

رایدر - کوره پیشگرم - المان محدود - عملیات حرارتی و مهندسی سطح، مهندسی جوشکاری

مقدمه:

امروزه افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف انرژی در نتیجه‌ی کاهش توقفات خطوط تولید بیش از پیش حائز اهمیت می‌باشد.

برای دستیابی به این مهم می‌بایست از سامانه‌ها، تجهیزات و قطعاتی با انسجام هماهنگ استفاده نمود تا بتوان گامی موثر در توسعه‌ی پایدار واحدهای تولیدی صنایع مادر همچون مجتمع فولاد مبارکه برداشته شود. در این راستا افزایش عمر و خواص مهندسی رایدرهای بیم‌های کوره پیشگرم نورد گرم که از جمله قطعات پرمصرف و موثر در عملکرد کوره و مدت زمان تعمیرات کوره پیشگرم است می‌تواند بسیار کارآمد باشد.

باعث کج شدن تختال در کوره شود که برای خروج آن از کوره مشکلاتی ایجاد خواهد کرد و در نهایت باعث کاهش تولید خط نورد گرم خواهد شد. شرایط کاری و دمای بالای کوره باعث تخریب زودهنگام رایدرها شده و موجب ریزش آنها می شود. در صورتیکه رایدرها اصلاح شوند و عمر آنها افزایش پیدا کند وضعیت کوره ها مطلوب خواهد شد.

در کوره های پیشگرم ۱ و ۲، سه منطقه وجود دارد که در آن مناطق از سه مدل رایدرا استفاده می شود که از نظر جنس و مشخصات ابعادی با یکدیگر متفاوت هستند. چینش رایدرها بر روی بیم با فاصله مشخص بوده که این چینش در کوره ها با کمی اختلاف در فاصله ی آنها از هم، متفاوت است. در این تحقیق به بررسی و اصلاح رایدرهای منطقه دشارژ پرداخته شده است. در منطقه دشارژ، دمای کوره بالغ بر ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد شده و آسیب دیدگی در این قسمت به وفور دیده می شود. تصویر سه بعدی از این قطعه در شکل ۱ قابل مشاهده می باشد. [۳]

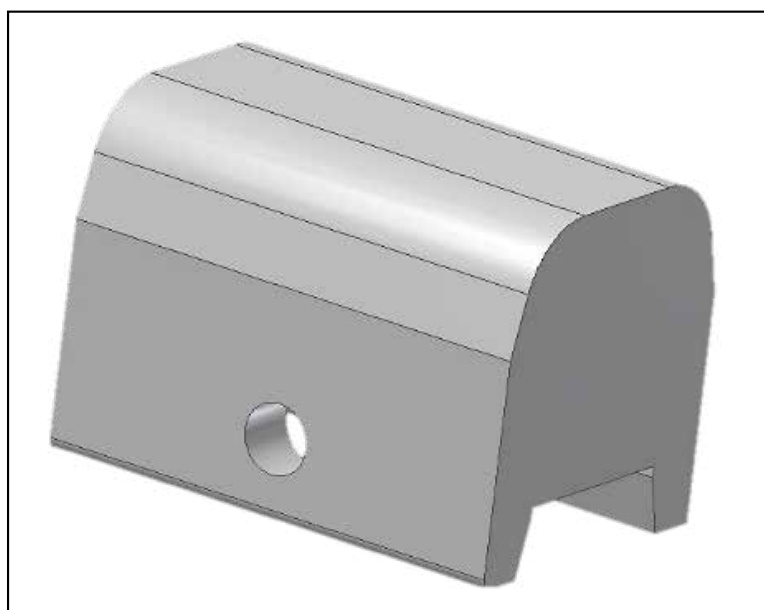
همانطور که اشاره شد جنس این قطعه از UMC۵۰ است که آنالیز شیمیایی و مشخصات مکانیکی آن در جدول ۱ و ۲ آورده شده است.

در این پژوهش به بررسی عوامل مخرب و تاثیر گذار بر کاهش عملکرد رایدرها و راه کارهای افزایش عمر کاری و همچنین اصلاح روش اتصال رایدرها بر روی بیم های کوره های پیشگرم نورد گرم پرداخته شده است.

نیازمندی برای ارسال منظم و با کیفیت تختال برای تولید ورق از ملزومات خط تولید نورد گرم می باشد که چالش حاضر باعث کاهش کیفیت در تختال های ارسالی به قسمت نورد و همچنین امکان کاهش تولید با توجه به کج شدن تختال در واحد پیش گرم می شود، لذا توجه ویژه به حل این مشکل می تواند کمک شایانی به بالا بردن کیفیت و همچنین نرخ تولید و کاهش توقفات خط داشته باشد. همچنین بعلاوه شرایط خاص کوره از لحاظ دما و اتمسفر کوره [۱ و ۲]، رایدرها از فولادهای پر کبالت UMC۵۰ تولید می شوند که بسیار گرانبه می باشد و با افزایش عمر کاری این قطعات نه تنها می توان از محل تامین این قطعات صرفه جویی نمود بلکه با کاهش توقفات خط تولید و زمان تعمیرات نیز می توان ارزش افزوده ای برای مجموعه فولاد مبارکه ایجاد نمود.

رایدرا:

وظیفه رایدرا به گونه ای است که نشیمنگاه تختال بر روی بیم های کوره های پیش گرم ۱ تا ۴ می باشد. این قطعه وظیفه انتقال گرمای محیط را به تختال دارد و تلاش بر آن می شود که از اتفاق skid mark جلوگیری کند. با گذر زمان این قطعه مستهلک شده و به مرور دچار شکست می شود و ریزش این قطعه باعث می شود که تختال به طور نامناسب در کوره قرار گیرد. با افزایش تعداد رایدرهای آسیب دیده، توزیع یکنواخت دما بر روی سطح تختال با مشکل مواجه شده و همچنین با توجه به ناهمسطح بودن رایدرهای دچار شکست، می تواند



شکل ۱. نمای سه بعدی طراحی شده از رایدرا

جدول ۱. ترکیب شیمیایی رایدر

دیگر عناصر (%)	Cr (%)	S (%)	P (%)	Mn (%)	Si (%)	C (%)	عنصر
۵۱.۰۰	۲۸.۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۲	۰.۶۵	۰.۷۵	۰.۱۲	حداکثر

جدول ۲. خواص مکانیکی رایدر

سختی	از دیاد طول نسبی (%)	استحکام مکانیکی (kg/mm2)
۱۵۵ HB	۸	۵۵

بررسی ترکیب شیمیایی قطعه و ضرورت انجام عملیات حرارتی:

میزان بالای کبالت و کرم با وزن مخصوص بالا می باشد که به احتمال زیاد در حین عملیات ریختگری زمینه ی جدایش ثقلی در رایدرها را فراهم خواهند آورد که خود عاملی بر ناهمگونی خواص در این قطعه می شود. عدم وجود انسجام کافی در قطعه از نظر تریب شیمیایی که می تواند ناهمگونی در خواص مکانیکی را نیز در پی داشته باشد، عامل اصلی برای عدم کارایی مناسب با توجه به شرایط کاری کوره خواهد شد که می بایست با عملیات حرارتی مناسب بر مرتفع نمودم نواقص آن اهتمام ورزید. در این راستا جهت اصلاح رایدر از عملیات حرارتی استفاده شده و با در نظر گرفتن ماسکینگ مناسب برای جلوگیری از آسیب به گوشه ها و نقاط تمرکز تنش، عملیات هموژن سازی [۴-۶] و افزایش سختی حجمی

پارامترهایی که بر روی رایدر تاثیر گذار هستند شامل دمای بالا کوره، تغییرات دما با باز و بسته شدن درب کوره، تحمل بار و تنش های مکانیکی ناشی از وزن تختال و ضربه و تنش اعمالی در اثر نشست تختال بر روی رایدرها می باشد. با توجه به آنالیز شیمیایی با درصد کروم و کبالت بالا می توان پیش بینی کرد که بتواند در برابر دمای بالا کوره تحمل کند ولیکن این اتفاق نمی افتد. برای بررسی علت این موضوع، در مرحله اول آنالیز شیمیایی این قطعه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آزمایش حاکی از اختلاف ترکیب شیمیایی در نقاط مختلف رایدر را نشان می داد. یک دلیل برای وقوع چنین پدیده ای



شده و باعث شکست در قطعه شده است. برای بررسی و شناسایی نحوه توزیع تنش و پاسخ و بازخورد قطعه در مقابل شرایط محیطی، رایدِر با توجه به شرایط حاکم در کوره مورد شبیه سازی قرار گرفت که در ادامه به ارزیابی نتایج آن می پردازیم.

شبیه سازی قطعه توسط المان محدود

برای شبیه سازی قطعه از نرم افزار COMSOL multiphysics استفاده گردید. تصویر رایدِر با ابعاد واقعی بر طبق نقشه ی قطعه توسط نرم افزار طراحی Inventor ترسیم و جهت شبیه سازی به نرم افزار شبیه ساز انتقال یافت.

روند کلی شبیه سازی به صورت ذیل می باشد:

۱. انتقال تصویر سه بعدی طراحی شده توسط نرم افزار Inventor
۲. تعریف و اختصاص خواص ماده ی رایدِر اعم از خواص مکانیکی و حرارتی
۳. اعمال بارگذاری بر مبنای تخطال با وزن ماکزیمم و دمای ۱۳۰۰ درجه سانتی گراد

و سطحی صورت گرفت چنانچه سختی قطعه تا حدود دو برابر حالت ریخته گری شده با احتساب عملیات تمپرینگ افزایش داده شد. با توجه به نشست تختال بر روی بیم که دارای وزن به طور متوسط ۲۰ تن می باشد هر رایدِر به طور متوسط وزن ۳۲۰ الی ۳۵۰ کیلوگرم را تحمل می کند و هر تختال با سرعتی متوسط بر بیم نشست می کند که ضربه ای به این قطعه وارد خواهد آورد که با توجه به مشخصات رایدِر سختی آن در حد ۱۵۵ برینل بوده، که با توجه به این ضربه این مقدار سختی کم می باشد. همچنین با افزایش سختی این امکان نیز وجود دارد که رایدِر بر اثر تنش های مکانیکی زیاد و عدم چقرمگی مناسب دچار شکست شود. البته لازم بذکر است که رایدِر ها بر روی یک نشیمنگاه آبگرد متصل شده و طرفین آن به توسط جرم نسوز از حرارت بالای کوره محافظت می شود و خود این عوامل باعث پایین نگهداشته شدن دمای رایدِر می گردد. شکل ۲ قطعه ای که دچار شکست شده را نشان می دهد که با توجه به شکل این شکست در اطراف سوراخ هایی که پین در آن قرار دارد و همچنین در گوشه های رایدِر ترک ها رشد کرده و با افزایش رشد ترک این ترک ها به هم متصل



شکل ۲. تصاویری از رایدِر مستهلک که دچار شکست شده در مقایسه با رایدِر نصب نشده

ارزیابی نقاط حساس به ترک و گسیختگی در قطعه

با توجه به قطعه مستهلک شده نتایج شبیه سازی شده انطباق بالایی با نتایج عملی را نشان می دهد. همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد، مدل شبیه سازی شده نیز محل شکست را در گوشه ها پیشبینی می نماید. علتی که می تواند این پدیده ی مخرب را توجیه نماید وجود تنش های مکانیکی و حرارتی بر روی رایدِر می باشد. این تنش های مکانیکی به همراه تنش های حرارتی تشدید شده می تواند در کنار وجود نقاط تمرکز تنش ناشی از تولید ناصحیح باعث تغییر شکل و گسیختگی قطعه گردد. همچنین وجود ضخامت های متفاوت باعث شکل هندسی قطعه در قسمت های بالایی و پایینی آن، تفاوت در میزان انبساط و انقباض و تنش های پسماند ناشی از تغییرات تنش باعث می شود تا نقاط ضعیف تر در معرض گسیختگی قرار گیرند. تنش های مکانیکی ناشی از برخورد تختال بر روی سطح می تواند در دماهای بالا فشار بسیار زیاد بر روی قسمت های حساس و همچنین قیود اتصال قطعه ایجاد کند.

۴. مش بندی قطعه جهت ارزیابی آن

۵. استفاده از معادلات تنش های حرارتی و مکانیکی جهت

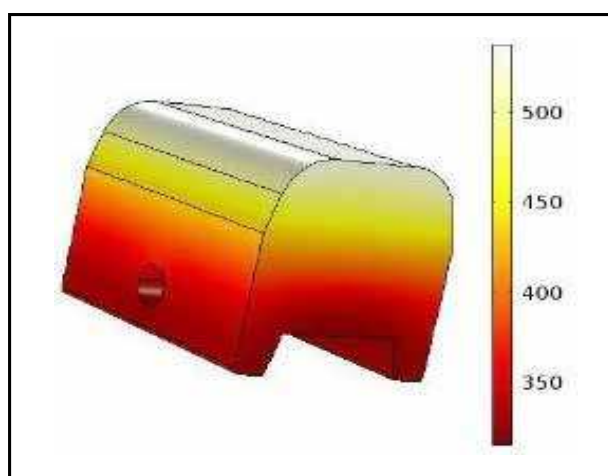
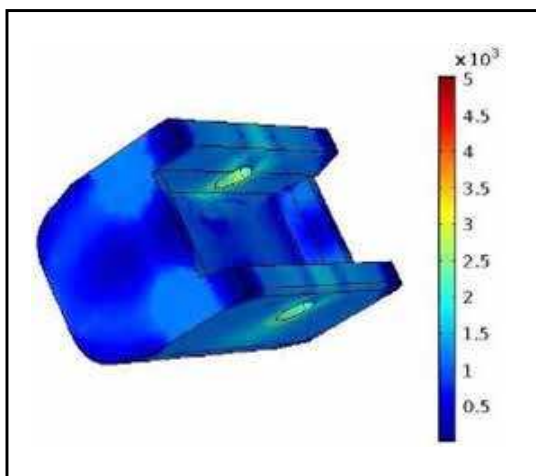
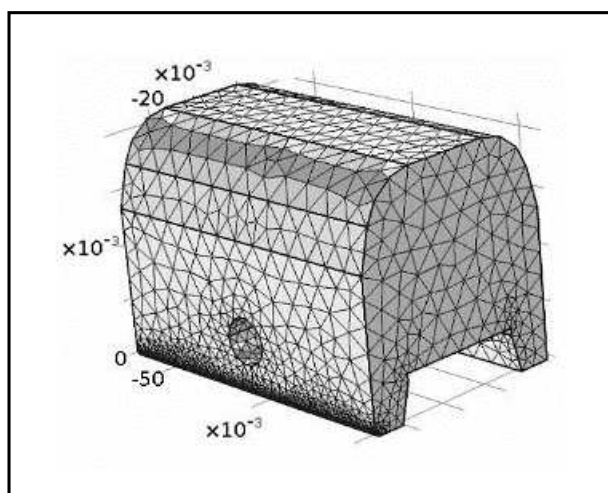
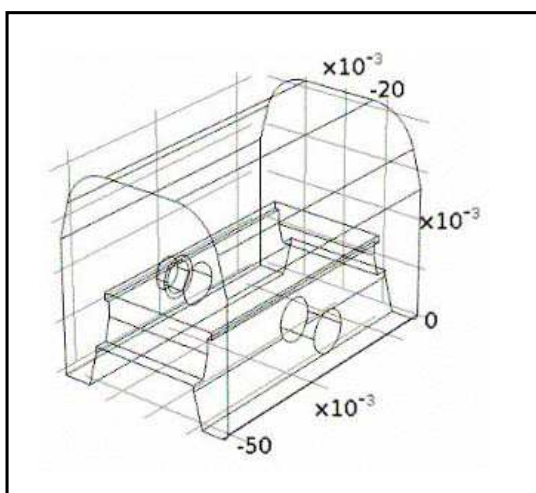
ارزیابی رفتار قطعه در برابر شرایط محیطی

۶. اعمال شرایط مرزی بر روی قطعه

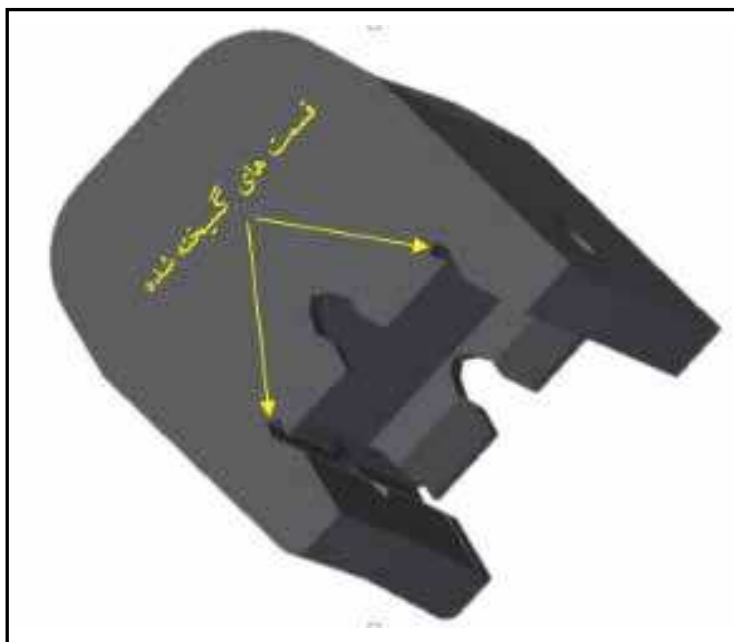
۷. شبیه سازی و ارزیابی نتایج [۷]

در شکل ۳ تصاویر مربوط به مراحل شبیه سازی قطعه قابل مشاهده است.

تصویر شبیه سازی شده تنش و نیرو از قطعه نشان می دهد که نقاط تمرکز تنش منطبق با تصاویر نمونه ی مستهلک گسیخته شده در شکل ۲ می باشد. این تصویر کاملاً نشان می دهد که گوشه های رایدِر محل تجمع و تمرکز تنش است که می تواند با عبور از الاستیسیته ی فولاد و شکسته شدن قیود اتصال و محل های جوش و همچنین انبساط و انقباض های پی در پی باعث گسیختگی این قسمت ها به مرور زمان گردد. [۹و۸]



شکل ۳. تصویر مربوط به مراحل مش بندی، شبیه سازی نیرو و تنش و شبیه سازی حرارتی قطعه رایدِر



شکل ۴. شبیه سازی قسمت های گسیخته شده رایدر

یکی از شرایط بسیار حائز اهمیت در قطعه ی رایدر، وجود یک سیستم سه جنسی در آن می باشد. جنس رایدر، پین اتصال و الکتروود مورد استفاده برای جوشکاری پین به رایدر هر یک دارای ترکیب شیمیایی متفاوت بوده که همخوانی آنها و قرارگیری در یک سیستم ترمودینامیکی واحد بدون استحاله ی خاص متالورژیکی و همخوانی خواص فیزیکی در کنار تطابق و هماهنگی با شرایط کوره، نکته ای است بسیار کلیدی که در عملکرد این قطعه تاثیر گذار می باشد. هر یک از ترکیب شیمیایی های مذکور دارای ضریب انبساط و انقباض حرارتی و مدول الاستیسیته و استحکام فشاری خاصی بوده که در شرایط کاری کوره در مقایسه با یکدیگر، از عملکردی متفاوت برخوردار خواهند بود. لذا استفاده از این سیستم در کنار یکدیگر مستلزم رعایت تمهیدات خاص برای به حداقل رساندن واگرایی های خواص مهندسی و تتبع آن خسارات ناشی از عدم هماهنگی و تطابق آنها خواهد بود. [۱۰]

یکی از شرایط بسیار حائز اهمیت در قطعه ی رایدر، وجود یک سیستم سه جنسی در آن می باشد. جنس رایدر، پین اتصال و الکتروود مورد استفاده برای جوشکاری پین به رایدر هر یک دارای ترکیب شیمیایی متفاوت بوده که همخوانی آنها و قرارگیری در یک سیستم ترمودینامیکی واحد بدون استحاله ی خاص متالورژیکی و همخوانی خواص فیزیکی در کنار تطابق و هماهنگی با شرایط کوره، نکته ای است بسیار کلیدی که در عملکرد این قطعه تاثیر گذار می باشد. هر





شکل ۵. رایدیهای نصب شده بر روی بیم کوره ی پیش گرم شماره ۲

راهکار افزایش عمر کاری و عملکرد رایدی (الف) اصلاح قطعه

داشته و خود عاملی برای عدم عملکرد مناسب رایدی در کوره شده و بستر لازم جهت گسیختگی و انهدام قطعه را فراهم می آورد که باید با توجه به شرایط کاری کوره سیکل مناسب عملیات های حرارتی برای بهبود خواص رایدی در نظر گرفته شود. شناخت و ارزیابی نقاط ضعف قطعه و مراکز تمرکز تنش و انجام عملیات اصلاحی بر روی آنها می تواند نقش موثری در بهبود عملکرد این قطعه داشته باشد. در شکل ۵ تصویر رایدیهای نصب شده بر روی بیم کوره ی پیش گرم شماره ۲ قابل مشاهده است. [۱۱]

(ب) اصلاح در نصب قطعه

جدای از خواص مربوط به خود قطعه، نحوه اتصال، فرایند و شرایط اتصال، الکتروود یا فیلمتال مناسب و پارامترها و

با توجه به در نظر گرفتن شرایط دمایی و بارهای اعمالی درون کوره، رایدی با خواص حاضر مناسب نبوده که بدین منظور کل قطعه از نظر خواص مهندسی با روش هایی اعم از عملیات حرارتی و مهندسی سطح بهبود یافت تا بتوان نه تنها سختی قطعه را در برابر تحمل بارهای وارده افزایش داد بلکه حرارت های بالای کوره تاثیراتی بر روی عملکرد قطعه نگذاشته و کارکرد طولانی مدت آنرا به ارمغان آورد. همچنین با توجه به عدم استفاده از عملیات حرارتی همگن کردن پس از ریخته گری (هموژنایزینگ) به طور قطع ناهمگونی توزیع عناصر بر اثر جدایش ثقلی حاصل از وزن مخصوص و همچنین ایجاد تحت انجماد ترکیبی در حین سرد شدن قطعه وجود



در بررسی های انجام گرفته از نحوه ی اتصال رایدرها پیش از انجام پروژه ی حاضر، رایدرها توسط یک پین اینکونلی فقط از یک سمت به رایددر متصل می شد که اتصال ناصحیح و کم دقت در جوش پین به رایددر باعث افزایش احتمال گسیختگی اتصال پین به رایددر شده که نتیجتاً رایددر بر روی بیم هیچگونه قیدی نداشته و با کمترین ضربه و تنش احتمال افتادن و ریزش از روی بیم وجود داشت. در کنار این موضوع عدم نشست مناسب رایددر بر روی نشیمنگاه خود که با سیستم آبگرد خنک کاری می شود، می تواند تنش های حرارتی در رایددر را افزایش داده و لذا گسیختگی در قسمت های تحتانی و انبساط های بعدی آن باعث تسهیل در ریزش رایددر از روی بیم می گشت که این عامل نه تنها تاثیرات منفی بر روی تختال عبوری از کوره می نماید بلکه با ریزش رایددر نسبتاً سنگین (هر قطعه نزدیک ۵ کیلوگرم می باشد) به درون کانال از روی بیم، صدمات و آسیب هایی به جداره و کف کانال وارد می آورد. لذا با بررسی های صورت گرفته نحوه ی اتصال رایددر به طور کلی تغییر کرده و با ایجاد سوراخی دو طرفه از پین های بلند در مهار رایددر بر روی نشیمنگاه

طراحی جوش مناسب همگی از جمله پارامترهای تاثیر گذار بر روی عملکرد قطعه می باشد و می تواند نقش بسزایی در تعداد قطعات مورد استفاده در توقفات سالیانه جهت تعمیرات داشته باشد. تنش های بسیار زیاد مکانیکی ناشی از نشست یا انتقال تختال در کنار حرارت بالای منطقه ی دشارژ و همچنین تشدید مباحث شوک حرارتی در نواحی نزدیک به درب خروج کوره می تواند پیچیدگی محیط کاری این قطعه را بازگو نماید. در محیط کوره رایددر در مقابل سیستم انتقال حرارت سه گانه ی جابجایی، همرفت و تشعشع قرار دارد و بنابراین انتخاب فلز پر کننده ی مناسب به همراه پارامترهایی مانند قطر فیلر یا الکتروود، انتخاب روش صحیح جوشکاری، پارامترهای جوشکاری جهت جوشکاری صحیح با کمترین حرارت ورودی (Heat input) و همچنین پیاده سازی اتصالی که بتواند باعث میرایی (Damping) تنش شده و قیدی مناسب برای دربرگیری رایددر در شرایط مذکور باشد بسیار با اهمیت می باشد. همچنین با در نظر گرفتن تمام موارد فوق الذکر، همخوانی ترکیب شیمیایی پین اتصال و رایددر نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است.





شکل ۶. خط جوش مربوط به اتصال رایدِر به بیم

جوش اتصال رایدِر به بیم و حرکت دورانی فیلر متال توسط جوشکار ماهر که باعث اختلاط بهتر در حوضچه ی مذاب را می شود و همچنین عاملی مقاوم در برابر رشد ترک های احتمالی مقاومت نموده و اشاعه ی آنها را به تعویق خواهد انداخت به خوبی قابل مشاهده است.

در سیستم های چند جزیی از نظر ترکیب شیمیایی بدلیل عدم انسجام و تطابق کامل میان سیستم های انجمادی، احتمال پیدایش عیوبی همچون ترک انجمادی و جدایش

استفاده شد. همچنین بغیر از استفاده از پین بلند و مهار رایدِر توسط این پین، چهار طرف رایدِر به بیم جوش داده شد که باعث تثبیت قطعه گشته و درجه ی آزادی را به صفر می رساند. در این خصوص برای نصب رایدِر ها از روش جوشکاری قوسی تنگستن-گاز [۱۲ و ۱۳] با فیلر متال سوپرآلیاژ پایه نیکلی به دلیل مقاومت بالا به حرارت و همچنین امتزاج بالا با قطعه اصلی استفاده شد. در شکل ۶ تصویر خط جوش مربوط به اتصال رایدِر به بیم قابل مشاهده است. در این تصویر خط



(Segregation) [۱۴] وجود دارد که هر دو عیب باعث کاهش خواص مکانیکی و تحمل تنش در قطعه می شود لذا انتخاب متریال مناسب بسیار حائز اهمیت می باشد. همچنین لازم بذکر است که جوش رایدِر به بیم و همچنین استفاده از پین بلند جوش داده شده می تواند در برابر تنش های وارده مقاومت بهتر و بیتشری نموده و از طرفی بعلت اینکه خود بیم نیز توسط سیستم آبگرد خنک کاری می گردد، انتقال حرارت بیشتری بین رایدِر و بیم اتفاق افتاده و به کاهش بیشتر دمای رایدِر کمک نموده که به تبع آن کاهش تنش های حرارتی و افزایش عمر کاری و بهبود عملکرد را در پی خواهد داشت.

نتیجه گیری

به طور خلاصه در ارتباط با نصب رایدِر که از اهمیت ویژه ای در کوره های پیشگرم برخوردار است، رایدِر ها توسط عملیات حرارتی مورد اصلاح قرار گرفته و ضعف های ناشی از عملیات ریخته گری بهبود یافته و برخی خواص مانند یکنواختی ترکیب شیمیایی و سختی سطحی و حجمی ارتقاء پیدا کرده و با تغییر روش جوشکاری، طرح اتصال متفاوت و ترکیب شیمیایی فلز پرکننده و همچنین تغییر در نحوه ی اتصال رایدِر به بیم از حالت پین کوتاه یکطرفه به پین بلند دوطرفه و جوش و اتصال کامل به بیم افزایش عمر کاری و بهبود عملکرد این قطعه ی حیاتی در کوره بوجود آمد چنانچه آمار بازدید از قطعات در توقفات کوره حاکی از عدم ریزش یک رایدِر در کوره بوده که به نسبت گذشته بسیار چشم گیر بوده و نه تنها از نظر اقتصادی از منظر تامین رایدِر ها ارزش افزوده ای برای مجموعه محترم داشته بلکه کاهش زمان مورد نیاز جهت نصب رایدِر و عدم تاثیرات منفی بر روی تختال ها و سازوکار کوره از جمله دیگر فواید اجرای پروژه ی حاضر می باشد.



منابع

- [۱] دکتر محمد محسن مشکسار ، اصول مهندسی نورد ، انتشارات دانشگاه شیراز ، ۱۳۸۴
- [۲] خط نورد گرم شرکت فولاد مبارکه ” سمپوزیوم فولاد ۸۳، شرکت فولاد آلیاژی ایران ، ۱۳۸۳، صفحه ۲۸۰-۲۸۹
- [3] Implementation of Models for reheating processes in industrial furnaces, Vienna University of Technology, Institute of Energy Systems and thermodynamics
- [4] ASM Handbook:Heat Treatment, Vol. 4, 1991
- [۵] گل‌عذار. م، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن ها، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان
- [۶] بویر، عملیات حرارتی کاربردی، ترجمه اسرافیل بشارت، نشر طراح، ۱۳۷۹
- [7] Microstructure Modelling of Dual-Phase Steel Using SEM Micrographs and Voronoi Polycrystal Models, Metallography, Microstructure, and Analysis, 2013
- [8] Nonlinear dynamic simulation and control of large-scale reheating furnace operations using a zone method based model, Applied Thermal Engineering, 135 (2018) 41-53
- [9] Micromechanical modeling of damage behavior of multiphase steels. Comput. Mater. Sci. 43, 27–35 (2008)
- [10] A micro mechanical study on failure initiation of dual phase steels under tension using single crystal plasticity model. Int. J. Plast. 31, 1103–1125 (2011)
- [11] Hierarchical predictive control. Application to reheating furnaces in the steel industry, ArcelorMittal, 2018
- [12] ASM Handbook Volume 06: Welding, Brazing, and Soldering
- [13] Weld integrity and performance: a source book adapted from ASM international handbooks, conference proceedings, and technical books
- [۱۴] دکتر پرویز دوامی، دکتر جلال حجازی، اطلس عیوب قطعات ریختگی، انتشارات آزاده، ۱۳۸۱



مروری بر تکنولوژی تولید کک سوزنی مورد استفاده در ساخت الکترودهای گرافیتی کوره قوس الکتریک و ارزیابی بازار مصرف آن در داخل کشور

محسن علی زاده^۱، مهدی علی زاده^۲ و شهرام عباسی^۳
۱- پژوهشگر پژوهشکده فولاد دانشگاه صنعتی اصفهان
۲- دانشیار دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان
۳- مدیر تحقیق و توسعه شرکت فولاد مبارکه اصفهان

چکیده

با توجه به استراتژیک بودن تأمین الکتروده کوره قوس در صنایع فولادسازی داخل کشور، بومی سازی ساخت الکتروده به عنوان یکی از طرح های ویژه جهت توسعه تولید فولاد کشور مدنظر قرار گرفته است. ماده اولیه اصلی الکتروده گرافیتی، کک سوزنی (نیدل کک) است که از سنتز پسماندهای سنگین نفتی یا محصولات جانبی حاصل از تولید کک متالورژی با مشخصات کیفی موردنظر و به روش کک سازی تأخیری تولید می شود. از جمله شاخص های اصلی کیفی این کک می توان به گوگرد کم تر از ۵/۰ درصد وزنی، شاخص بافت نوری (OTI) حدود ۳۰ و ضریب انبساط حرارتی (CTE) کم تر از $10^{-7} / ^\circ\text{C}$ اشاره نمود. کک سوزنی از پسماندهای سنگین نفتی طی فرایند کک سازی تأخیری و پس از آن فرایند کلسیناسیون توسط کوره دوار تولید می شود. از جمله مهم ترین شاخص های کیفی پسماند نفتی مورد نیاز شامل گوگرد کم تر از یک درصد وزنی، خاکستر کم تر از ۰/۰۳ درصد وزنی و درجه آروماتیکی حدود ۶۵ درصد وزنی با کربن کنرادسون (CCR) بین ۸ الی ۱۰ درصد وزنی است.

کلمات کلیدی:

کک سوزنی، کک‌سازی تأخیری،
الکتروود گرافیتی، فولاد، پسماند
نفتی، کوره قوس.

۱- کاربرد کک سوزنی در ساخت

الکتروودهای گرافیتی

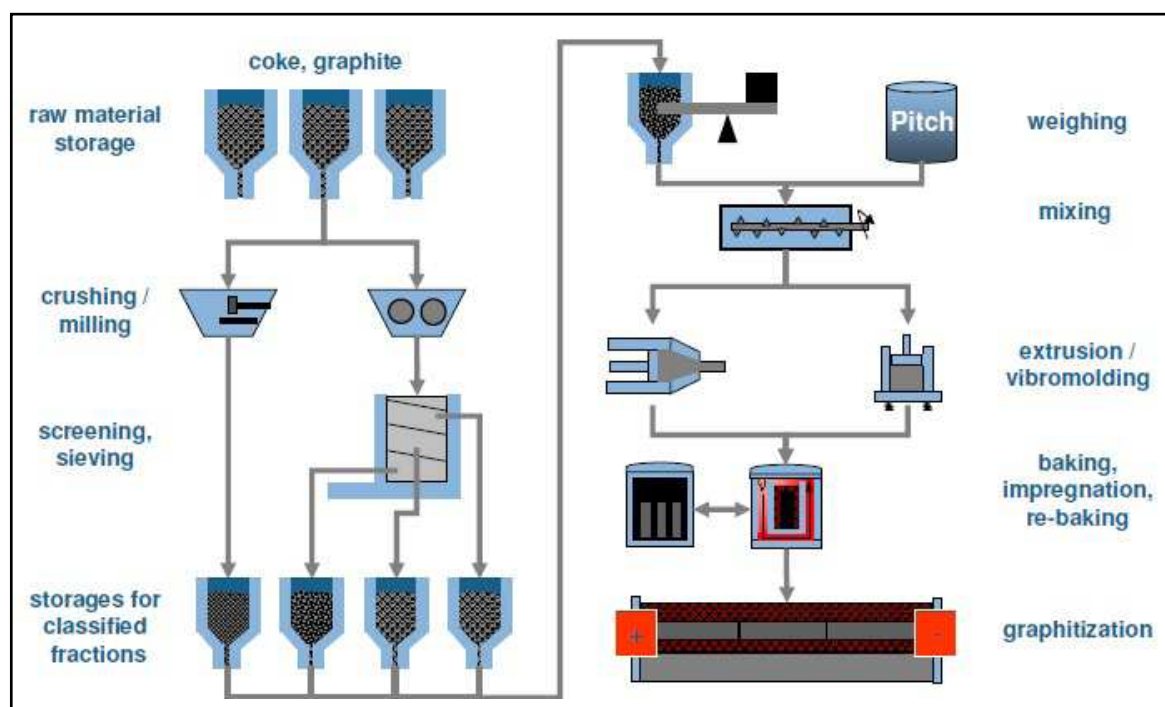
کوره‌های قوس الکتریکی از سه جزء اصلی بدنه، سقف و الکتروود گرافیتی تشکیل شده است. این کوره‌ها عمدتاً به دو سامانه برجسته جریان متناوب (AC) و مستقیم (DC) تقسیم‌بندی می‌شوند [۱]. در کوره‌های جریان متناوب، سه الکتروود گرافیتی داخل کوره قرار می‌گیرد و در جریان مستقیم تنها از یک الکتروود استفاده می‌شود که وظیفه هدایت جریان الکتریکی را به عهده دارند [۱]. در جدول ۱ مشخصات کاری کوره قوس از نوع AC مشخص شده است [۲]. کار الکتروود انتقال جریان از الکتروود به سمت بار کوره و تولید حرارت از طریق ایجاد قوس الکتریکی است. این الکتروودها که در حین کار در کوره در اثر اکسیداسیون، تصعید و شکستگی از بین می‌روند، یک ماده مصرفی برای صنایع فولادسازی محسوب می‌شوند. به طوری که میزان مصرف آن برای تهیه هر تن فولاد بین یک الی ۳ کیلوگرم است. این دامنه زیاد در مقدار مصرف الکتروود علاوه بر اینکه به شرایط عملیاتی و تناژ کوره وابسته است، به کیفیت الکتروود نیز بستگی دارد. همچنین به طور تجربی در صنایع فولادسازی برآورد شده است که در هر بار ذوب‌گیری معمولاً بین ۳۰۰ الی ۵۰۰ میلی‌متر از طول نوک الکتروود کاسته می‌شود. بنابراین، این الکتروودها که دارای طول ۱/۵ الی ۲/۵ متر و قطرهای متفاوت (بسته به تناژ کوره) هستند به طور خورده‌کار با هر بار ذوب‌گیری به سمت پایین حرکت می‌کنند، تا فاصله بین نوک الکتروود تا سطح شارژ ثابت باقی بماند

جدول ۱. مشخصات فنی کوره قوس AC [۲]

ردیف	مشخصه	مقدار
۱	قطر کوره (m)	۶ الی ۸
۲	جریان (kA)	۵۰ الی ۷۰
۳	ولتاژ (V)	۱۵۰۰ الی ۶۰۰
۴	دمای ذوب (°C)	۱۶۲۰ الی ۱۶۸۰
۵	زمان (min)	۵۰ الی ۸۰
۶	زمان پاور (min)	۴۲ الی ۷۵
۷	انرژی الکتریکی مصرفی (kWh/t)	۳۵۰ الی ۵۵۰
۸	مقدار کل مصرف انرژی (kWh/t)	۶۰۰ الی ۷۰۰
۹	مصرف الکترود (kg/ton)	۲/۱ الی ۸/۲

به خوبی مخلوط و اکسترود می‌شوند. به منظور افزایش خواص فیزیکی و کاهش تخلخل الکترود خام عملیات تلقیح^۱ انجام می‌شود که پس از آن فرایند گرافیت‌کردن صورت می‌گیرد. امروزه جهت کاهش مصرف الکترود و جلوگیری از اکسیداسیون سطح الکترود مرحله‌ای دیگری به نام پوشش‌دهی اضافه شده است.

عبور جریان الکتریکی و دمای کاری بسیار بالا در الکترود، تکنولوژی ساخت این قطعات را در جایگاه ویژه‌ای قرار می‌دهد. در شکل ۱ روند تولید الکترود گرافیتی نشان داده شده است [۲]. مشاهده می‌شود که ماده کربنی (کک سوزنی^۱) پس از خردایش و عبور از سرنده، در دانه‌بندی‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند. سپس در مرحله بعد کک دانه‌بندی شده همراه با چسب (قیر)



شکل ۱. مراحل ساخت الکترود گرافیتی [۲].

1. needle coke
2- impregnation

۲- کک سازی تأخیری

۲-۱- معرفی تکنولوژی

کربن در کک به شدت منظم و محصول تجزیه حرارتی مواد آلی است که در طول فرایند کربنیزاسیون^۱ از حالت مایع یا مایع بلوری (مزوفاز) عبور نموده و تبدیل به کربن غیرگرافیتی شده است. کک را می توان از دو منبع نفتی و قیرقطران به دست آورد که کک تهیه شده از تجزیه حرارتی مواد نفتی، پترولیوم کک^۲ نامیده می شود و خود به دو دسته خام^۳ و کلسینه شده^۴ تقسیم می شود. کک خام اولین محصول ناشی از تجزیه ترکیبات کربنی در دمای زیر ۶۰۰ درجه سانتی گراد است و کک کلسینه شده با حرارت دادن کک خام تا دمای ۱۲۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد به دست می آید. با این وجود کک های دیگری مانند کک قیرقطران و متالورژی وجود دارند که کک قیر قطران اولین محصول صنعتی کربنیزاسیون قیر قطران و کک متالورژی از فرایند کربنیزاسیون ذغال سنگ در دمای بیش از دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد به دست می آید.

سه تکنولوژی بستر سیال^۵، کاهش گرانیروی^۶ و کک سازی تأخیری^۷ در دنیا جهت ساخت کک استفاده می شود. یکی از مهم ترین و معمول ترین روش های تولید کک در دنیا کک سازی تأخیری^۸ است. تاکنون روش کک سازی تأخیری جزء بهترین روش های اقتصادی بهره برداری از برش های سنگین نفتی است [۳]. به طوری که در سال ۱۹۹۸ برآورد شده که در بین کل ۵۵ واحدهای تولید کک در آمریکا حدود ۴۹ مجموعه از آن دارای تکنولوژی کک سازی تأخیری می باشند [۴]. در بیش تر واحدهای کک سازی تأخیری در دنیا به دلیل ارزش اقتصادی کم کک، تولید کک در مقایسه با دیگر محصولات (مایع و گاز) در حداقل مقدار کنترل می شود. با این وجود، در رابطه با کک سوزنی به دلیل قیمت بالای آن شرایط عملیاتی تولید به سمت افزایش بازدهی تولید کک برنامه ریزی می شود.

کک سازی تأخیری یک فرایند کراکینگ^۹ در پالایشگاه های نفت است که پسماندهای نفتی را به محصولات مختلف مایع، گاز و کک نفتی تبدیل می کند [۴]. واکنش کراکینگ به معنای کاهش وزن مولکولی هیدروکربن های سنگین از طریق

1 - carbonization

2 - petroleum coke

3- green coke

4- calcined coke

5- fluid-bed processes

6- Flexicoking

7- delayed coker

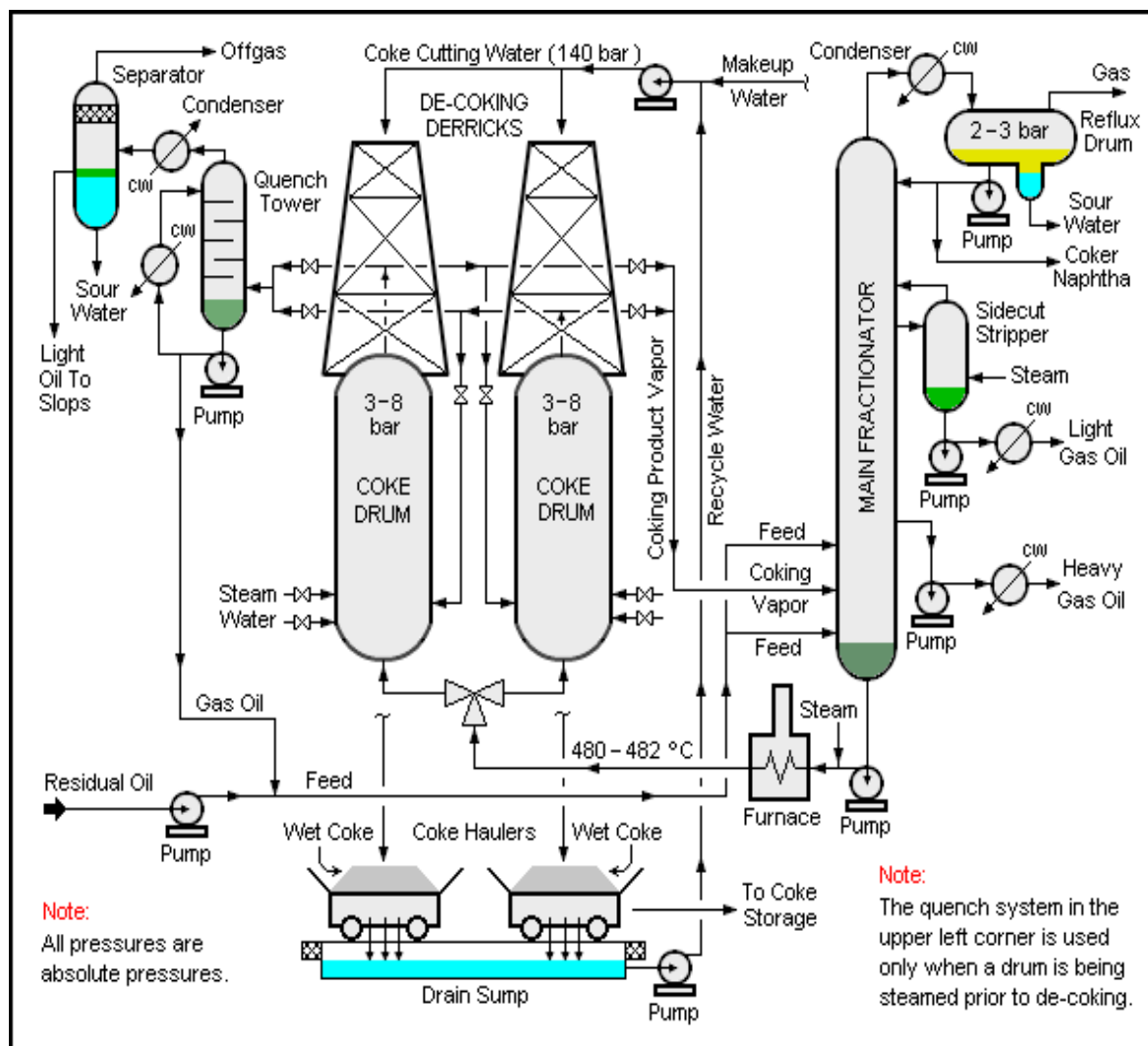
8- delayed coker

9- cracking

داخل کوره تونلی تا دمای حدود ۴۸۰ الی ۵۰۰ درجه سانتی گراد با زمان اقامت حدود ۳ دقیقه گرم می‌شود [۶]. سپس خوراک گرم‌شده از طریق لوله به درون درام خالی حرکت می‌کند. در ادامه خوراک با دمای حدود ۵۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۴ بار وارد راکتور می‌شود که واکنش کراکینگ صورت می‌گیرد. بنابراین در این مرحله محصولات واکنش کراکینگ به‌صورت بخار از راکتور خارج و کک تولیدی در ته راکتور رسوب می‌نماید. به‌منظور انجام عملیات پیوسته معمولاً از دو درام استفاده می‌کنند، تا زمانی که یکی در حین کار است محصول کک درام دیگر تخلیه شود [۴]. سپس فرایند تخلیه کک یا کک‌زدایی خود در دو مرحله اصلی انجام می‌پذیرد. در مرحله اول توسط فشار آب سوراخ عمیقی در وسط بستر کک ایجاد می‌شود و در مرحله دوم کک‌های اطراف سوراخ خرد و به بیرون کشیده می‌شوند.

شکسته‌شدن پیوندهای آن‌ها است. به‌طور کلی سه نوع واکنش در فرایند کک‌سازی تأخیری وجود دارد. هیدروژن‌زدایی^۱ که شامل کاهش اتم‌های هیدروژن از هیدروکربن آروماتیکی و نتیجه آن تولید رادیکال آزاد آروماتیکی میانی است (کراکینگ). واکنش بازآرایی^۲ که طی آن ساختار اسکلتی ماده تغییر می‌کند و یگ گروه از کربن از مولکول جدا شده و به کربن دیگر متصل می‌شود. بنابراین انجام این واکنش باعث شکل‌گیری ترکیبات آروماتیکی پایدار می‌شود. واکنش پلیمریزاسیون^۳ که در آن ترکیبات آروماتیک به کک تبدیل می‌شوند [۵].

در شکل ۲ فرایند کک‌سازی تأخیری نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود خوراک توسط پمپ با فشار ۳۵ بار به برج جداساز تزریق می‌شود تا با محصولات گرم برگشتی از فرایند در داخل قسمت ته‌تانی برج جداساز با دمای ۳۶۰ الی ۴۰۰ درجه سانتی گراد مخلوط شود [۳]. در ادامه خوراک در



شکل ۲. طرح‌واره کلی فرایند کک‌سازی تأخیری.

۲-۲- عوامل متغیر فرایند

به‌طور کلی، در فرایند کک‌سازی تأخیری سه پارامتر دما، فشار و مقدار نسبت برگشت مواد^۱ (TRP) وجود دارند که قابل تغییر است و نرخ تولید کک را کنترل می‌نمایند [۵]. با ثابت در نظر گرفتن نسبت برگشتی و فشار، با افزایش دما، بازدهی کک کاهش و محصولات درام (مانند بخار و نفت‌گاز) افزایش می‌یابد. در صورتی که انجام فرایند کک‌سازی در حداقل دما، باعث افزایش بازدهی کک می‌شود؛ اما در دماهای خیلی پایین واکنش کراکینگ به‌طور کامل انجام نمی‌شود و خروج مواد فرار بطور کامل انجام نخواهد شد [۵]. با افزایش فشار در فرایند کک‌سازی تأخیری و باقی‌ماندن هیدروکربن‌های سنگین در درام، بازده تولید کک افزایش می‌یابد. از طرف دیگر افزایش فشار گاز در داخل راکتور باعث می‌شود عملکرد حرکت حباب‌های گازی تشکیل‌شده در مزوفاز به منظور ایجاد یک آرایش غیر هم‌محوری دچار اختلال شود و در نتیجه از میزان ناهمسان‌گردی کک خام نیز کاسته شود. در صورتی که فشار پایین، باعث خواهد شد که بافت جهت‌دار جریانی با آرایش غیر هم‌محوری تشکیل شود که باعث افزایش ناهمسان‌گردی کک سوزنی نهایی می‌شود [۷]. به بیان دیگر، فشار اثر زیادی بر فرگشتی گازی^۲ (گاز خروجی حاصل از فرایند) دارد [۸]. در فشارهای پایین (۱ kg/cm^۲) گازهای فرگشتی سریعاً از سامانه خارج می‌شوند و ویسکوزیته مزوفاز سریع‌تر زیاد می‌شود. بنابراین در این شرایط مزوفاز زمان کافی برای رشد پیدا نخواهد کرد و ریزساختار کاملاً موزائیکی

ایجاد می‌شود. همچنین در فشارهای بالا حفرات در مزوفاز به‌صورت کره باقی می‌مانند و مانع از تشکیل ریزساختار جریانی غیرهمسان می‌شود [۸]. علاوه بر این در زمان انجماد کک در فشارهای بالا به دلیل اینکه گاز فرگشتی به شدت کاهش یافته است، به همین دلیل باعث می‌شود که بافت جریانی در مسیر جریان خروجی گاز به خوبی تشکیل نشود و ریزساختار تقریباً موزائیکی ایجاد شود [۸].

نرخ عملکرد یا بازیابی برابر با نسبت جریان حجمی خوراک به درام به جریان حجمی خوراک تازه به واحد کک‌سازی تأخیری است. تأثیر نرخ بازیابی در فرایند کک‌سازی مشابه با اثر فشار بر فرایند است. بنابراین، با افزایش نرخ بازیابی، گردش مجدد گازهای سنگین به کوره افزایش یافته و باعث افزایش تولید کک و گازهای سبک و کاهش بازدهی تقطیرهای میانی و گرفتگی لوله‌های کوره می‌شود. معمولاً TRP در واحد کک‌سازی تأخیری رایج بین ۱/۰ الی ۲/۱ است که در فرایند تولید کک سوزنی معمولاً حداکثر مقدار ممکن را اعمال می‌نمایند [۵، ۹]. از لحظه‌ای که درام از خوراک پر می‌شود زمان کک‌سازی تأخیری معمولاً ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد. بازدهی کک در اندازه صنعتی عمدتاً حدود ۲۵ درصد است [۶].

۲-۳- محصولات

محصولات کک‌سازی تأخیری شامل گازها (مانند هیدروژن، نیتروژن و هیدروکربن‌های سبک)، تقطیر میانی (مانند نفتا و

1- recycle or throughput ratio

2- gas evolution



جدول ۲. مقایسه خواص شیمیایی و فیزیکی کک خام با کک کلسینه شده از نوع سوزنی [۳]

Item	Green coke	Calcined coke
Moisture	6–14%	0.1%
Volatile matter	4–7%	0.5%
Sulfur	0.5–1.0%	0.5–1.0%
Silicon	0.02%	0.02%
Iron	0.013%	0.02%
Nickel	0.02%	0.03%
Ash	0.25%	0.4%
Vanadium	0.01%	0.02%
Bulk density	45–50 lb/ft ³ (720–800 kg/m ³)	42–45 lb/ft ³ (670–720 kg/m ³)
Real density		2.11 g/cm ³
Coefficient of thermal expansion (25–130°C), 1/°C		5×10^{-7}

یک محصول میانی از کک سازی تأخیری است که مورفولوژی آن بین کک دانه ای و کک سوزنی است که به عنوان ساخت الکتروآندی در صنایع آلومینیوم سازی استفاده می شود [۱۰]. کک سوزنی دارای ریزساختار جریانی است که عمدتاً برای ساخت الکترودهای گرافیتی در صنایع فولاد سازی به روش قوس الکتریکی کاربرد دارد. البته کک سوزنی که در این مرحله تشکیل می شود به عنوان کک خام شناخته می شود که ترکیب شیمیایی متفاوتی با کک کلسینه شده دارد که در جدول ۲ مشخص شده است [۳].

۳- کلسیناسیون

کک خامی که از فرایند کک سازی تأخیری به دست می آید، هنوز یک ماده هیدروکربنی محسوب می شود [۱۱]. به همین منظور برای اینکه از کک به عنوان یک عنصر کربنی استفاده شود، باید فرایند پتروشیمی روی آن انجام شود که به این

گازوئیل) و کک خام است. البته برخی از محصولات جانبی برج جداساز مانند نفت گاز که یک محصول جانبی از فرایند تقطیر میانی است می تواند به صورتی برگشتی با خوراک ابتدایی مخلوط شود (به نسبت ۱ به ۵) که منجر به افزایش بازده فرآوری (حدود ۵ درصد وزنی) کک خواهد شد. کک خام تولیدی بر اساس مقدار آسفالتین^۱ موجود در خوراکی که استفاده می شود به سه نوع دانه ای^۲، اسفنجی^۳ و سوزنی^۴ تقسیم بندی می شود. آسفالتین مواد هیدروکربن آروماتیکی با وزن مولکولی بسیار بالایی است که توسط عناصر گوگرد، اکسیژن، نیتروژن، وانادیوم و نیکل آلوده شده است. بنابراین مقدار آسفالتین خوراک برای تولید کک دانه ای، اسفنجی و سوزنی به ترتیب بایستی در حد زیاد، کم و بسیار ناچیز کنترل شود [۵]. کک دانه ای از دانه های کروی شکل با اندازه بین ۱ الی ۴ میلی متر تشکیل شده است و در صنایع سیمان سازی، بویلر و گازی سازی کاربرد فراوان دارد. کک اسفنجی



- 1- asphalten
- 2- shot coke
- 3- sponge coke
- 4- needle coke

از خروج توسط آب سریع سرد می‌شود. نرخ گرمادهی در کوره کلسیناسیون تقریباً ۳۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه است [۱۴].

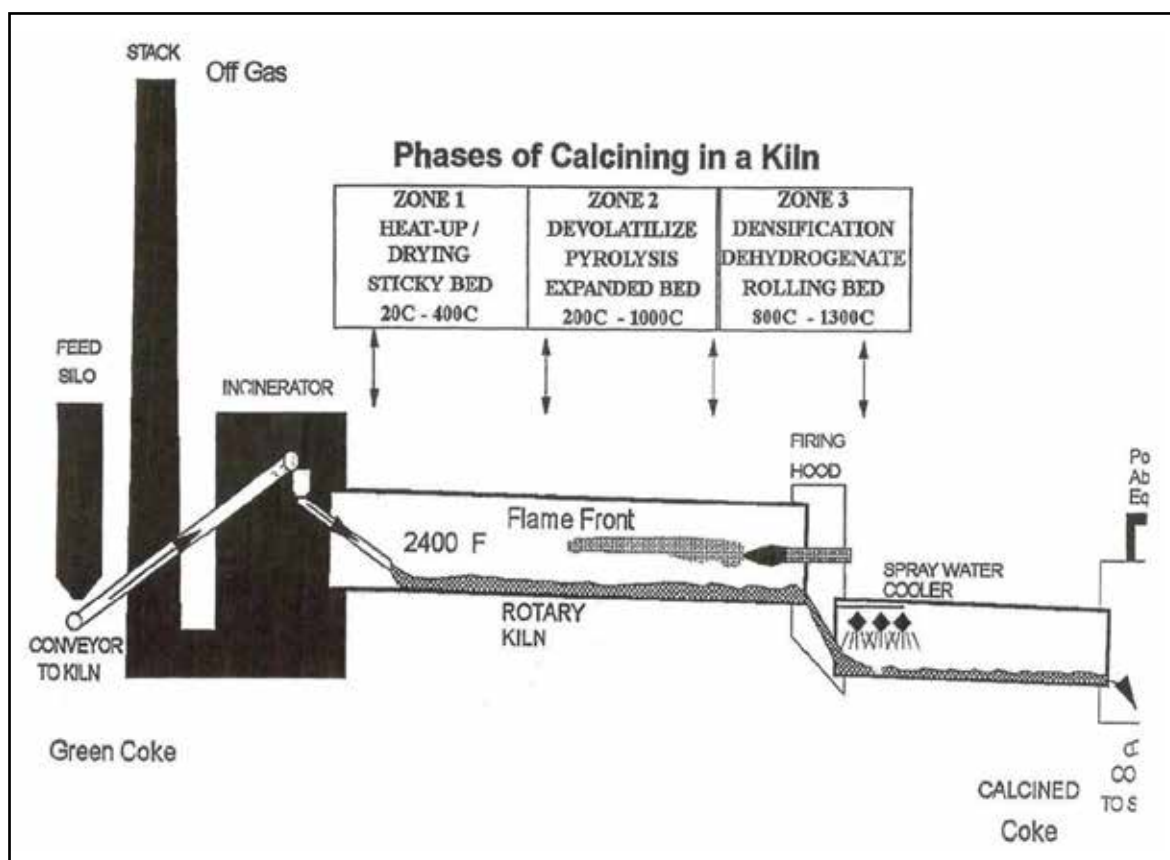
۴- انواع خوراک

۴-۱- قیرهای قطران (CTP)^۴

کک سوزنی را عموماً توسط دو نوع خوراک شامل پسماندهای سنگین نفتی و قیرقطران ذغال سنگ می‌توان تهیه نمود [۱۵]. در دهه ۷۰ میلادی ژاپن برای اولین بار به تکنولوژی تولید کک سوزنی از CTP دست یافت. قطران مایع متراکمی است که از تقطیر زغال سنگ به‌دست می‌آید. قیر قطران محصول جانبی سنگین کوره‌های کک‌سازی تولیدکننده کک متالورژی است که معروف‌ترین ماده اولیه جهت تولید کک سوزنی به‌شمار می‌رود و دارای بازدهی بالایی (۳۰ الی ۸۰ درصد) است [۱۶، ۱۷].

یکی از نکات حائز اهمیت در سنتز کک سوزنی توسط CTP این است که در این نوع قیر، گروه‌های خطی کم بوده و واکنش‌پذیری آن کم‌تر می‌باشد. این موضع باعث می‌شود به علت ویسکوزیته بالای مزوفاز، عدم وجود شاخه‌های آلکیلی و عدم هیدروژن آروماتیکی کافی، تشکیل ریزساختار جهت‌دار کک سوزنی را با مشکل مواجه نماید. به همین منظور عمدتاً برای ساخت کک سوزنی از CTP از روش هم‌کربنیزاسیون استفاده می‌شود. این روش به صورتی است که CTP با ماده‌ای که نفتتیک بیش‌تری

فرایند کلسیناسیون می‌گویند. در فرایند کلسیناسیون مواد فرار، گروه‌های متیل آزاد و هیدروژن متصل به حلقه‌های آروماتیک در کک خام خارج می‌شود و خواص فیزیکی کک مانند هدایت الکتریکی و ضریب انبساط حرارتی بهبود می‌یابد. بر این اساس کک خام در دمای ۱۳۰۰ الی ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد عملیات حرارتی می‌شود [۱۱]. جهت انجام فرایند کلسیناسیون از یکی از تکنولوژی‌های کوره دوار^۱، اجاقی دوار^۲، شافتی^۳ استفاده می‌شود [۱۲]. اولین کوره دوار کلسیناسیون کک خام در سال ۱۹۳۵ در شرکت Great Lakes Carbon استفاده شد. این کوره‌ها دارای لوله فولادی به طول ۳۰ الی ۸۵ متر و قطر ۲/۴ الی ۴/۴ متر بوده و داخل آن با مواد نسوز پوشیده شده است [۱۳]. این کوره دارای یک شیب ملایم بوده بطوریکه مواد با سرعت کمی به سمت جلو حرکت نمایند که زمان مقاومت این فرایند حدود ۴۰ الی ۶۰ دقیقه است. طرح‌واره کوره دوار کلسیناسیون کک در شکل ۳ نشان داده شده است [۱۲]. همان‌طور که مشخص است کوره از سه قسمت با پروفایل دمایی مختلف تشکیل شده است. در منطقه اول که دما بین ۲۰۰ الی ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد است آب آزاد و ساختاری کک خام از بین می‌رود. در منطقه دوم با محدوده دمای ۲۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد مواد فرار موجود در کک و در منطقه سوم (۱۰۰۰ الی ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) هیدروژن موجود در کک حذف می‌شود. دمای کک کلسینه‌شده خروجی حدود ۱۲۰۰ الی ۱۳۵۰ درجه سانتی‌گراد است که پس



شکل ۳. نقشه کوره کلسینه‌کردن کک خام [۱۲].

- 1- rotary kiln
- 2- rotary hearth calciner
- 3- shaft kiln
- 4- coal-tar pitch

داشته باشد ترکیب می‌شود.

امروزه بخاطر رعایت مسائل زیست محیطی بسیاری از تولیدکنندگان کک سوزنی به دنبال جایگزین ماده اولیه CTP هستند [۱۸]. لازم به ذکر است که در دنیا فقط دو شرکت ژاپنی وجود دارند که از CTP توانسته است کک سوزنی تهیه نماید. بقیه شرکت‌ها به دلیل مشکلات حذف مواد نامحول در کینولین اولیه، حضور نیتروژن و مسائل مربوط به محیط زیست ناشی از پخت قیر، عمدتاً از پسماندهای نفتی استفاده می‌نمایند [۱۹]. اخیراً از CTP عموماً به‌عنوان چسب (حدود ۲۰ درصد CTP همراه با ۸۰ درصد کک سوزنی) و تلقیح‌کننده (اشباع‌کننده)^۱ در ساخت الکتروود استفاده می‌شود.

۴-۲- روغن دکانت کراکینگ کاتالیزوری بستر سیال (FCCDO)^۲

روغن‌های دکانت شکست کاتالیستی سیال نفتی که به آن CSO نیز گفته می‌شود، پسماندهای سنگینی هستند که توسط کراکینگ کاتالیستی خلا، اتمسفری یا مخلوطی از هر دو تشکیل می‌شوند [۲۰]. این پسماندها که مقدار آن حدود ۳ الی ۷ درصد مقدار کل تولید واحد FCC است، کاربرد فراوانی جهت تولید کک سوزنی در جهان دارند. این فرایند پالایشگاهی (FCC) ی‌کی از مهم‌ترین واحدها و فرایندهای تبدیل کاتالیستی در جهان محسوب می‌شود که مواد سنگین و کم ارزش نفتی را به مواد سبک‌تر و با ارزش‌تر تبدیل می‌کند. عملکرد عمده واکنش کراکینگ کاتالیستی عمدتاً تولید نفتا است. از نظر شیمیایی، روغن‌های دکانت از هیدروکربن‌های آروماتیکی چند حلقوی با غلظت بیش از ۷۰

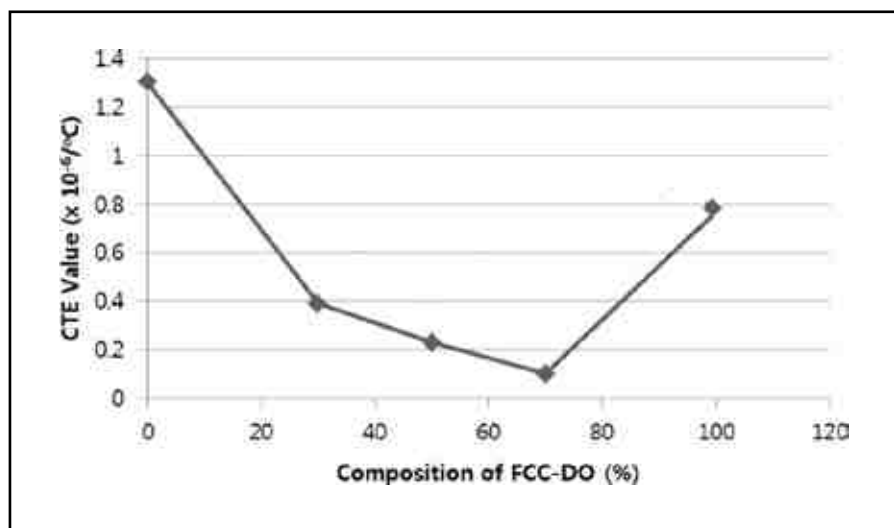
درصد و مقدار ناچیزی از آسفالتن ارزیابی می‌شود.

۴-۳- پسماندهای برج‌های خلا با گوگرد کم (LSVR)^۳

پسماندهای خلا نفتی به عنوان محصول پسماند برج تقطیر تولید می‌شود. غلظت‌های آسفالتن و گوگرد در مقایسه با ذخایر خوراک دیگر، در این پسماندها معمولاً بالاتر است [۲۰]. حضور آسفالتین زیاد (حلال در تولوئن و غیرحلال در پنتان) در این پسماند باعث شده که مقدار کربن باقی‌مانده و هتروآتم‌ها (گوگرد، نیتروژن و فلزات) زیاد شوند. علاوه بر این به دلیل وجود غلظت زیاد آلیفاتیک (ترکیبات غیرآروماتیکی) درجه آروماتیکی بالایی ندارند و برای تولید کک دانه‌ای و اسفنجی مناسب هستند. با این وجود به دلیل فراوانی این خوراک برای تولید کک سوزنی مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور جهت افزایش کیفیت کک سوزنی تولیدی، لازم است خوراک بصورت ترکیبی از این پسماند با مقدار گوگرد پایین و سایر روغن‌های دکانت با درجه آروماتیکی بالا در نظر گرفته می‌شود [۲۰]. به‌طور کلی از این مواد به تنهایی برای کک‌سازی سوزنی استفاده نمی‌شوند و عمدتاً همراه با روغن دکانت مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است، افزودن روغن دکانت به LSVR منجر به کاهش CTE کک سوزنی شده است [۲۱]. حضور ترکیباتی نظیر پارافین و زنجیرهای آلکیل در LSVR باعث می‌شود که روغن دکانتی که فاز مزوفاز آن ویسکوزیته بالایی دارد را کنترل نماید و گاز فرگشتی حاصل از تجزیه این ترکیبات، ساختار جریانی غیرهمسانی را ایجاد می‌کند و مانع از شکل‌گیری ساختار موزائیکی شود [۲۲].



1- impregnation pitch
2- fluid catalytic cracking oil decant
3- low sulfur vacuum reduces



شکل ۴. اثر افزودن FCCDO به LSVR در مقدار CTE کک سوزنی [۲۱].

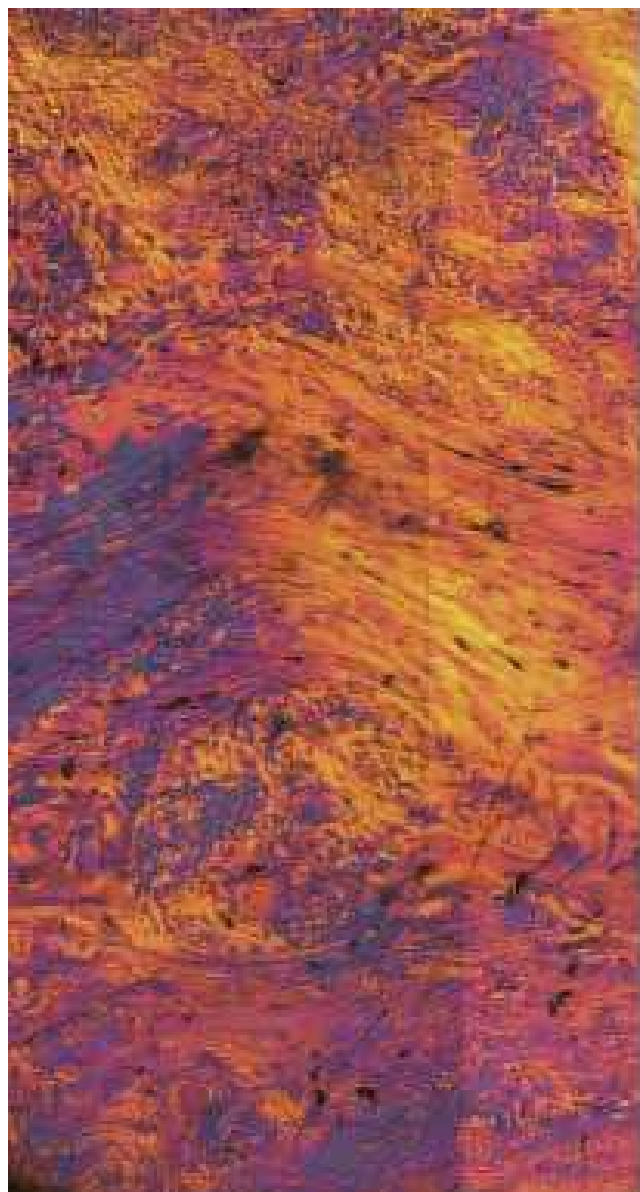
۴-۴- پسماندهای صنایع پتروشیمی

قیر اتیلنی محصول پسماند تولید اتیلن است که پتانسیل بالایی برای تولید مواد کربنی دارد؛ اما واکنش بالایی کربنیزاسیون آن (تشکیل سریع کک) این کاربرد را مانع شده است [۱۶، ۲۰]. به عبارت دیگر، عمده مشکل این ماده اولیه برای تولید کک سوزنی ویسکوزیته زیاد این ماده است که باعث تشکیل فاز مزوفاز با خواص همسان گرد می‌شود. به همین منظور جهت استفاده از قیر نفتی به‌عنوان ماده اولیه کک سوزنی بایستی بصورت ترکیبی با ماده اولیه دیگر (مثلاً روغن دکانت کراکینگ کاتالیزوری بستر سیال که درجه آروماتیکی بالایی دارند) استفاده شود [۲۰]. به این فرایندهای تولید کک که با همکاری چند نوع ماده اولیه است اصطلاحاً کربنیزاسیون مشترک^۱ می‌گویند. این فرایند حتی باعث شده که خواص کک سوزنی حاصل از

ترکیب پسماند برج تقطیر خلاء با روغن دکانت حاصل از کراکینگ کاتالیزوری بستر سیال، بهتر از استفاده از هر کدام به‌تنهایی باشد [۱۶]. به‌همین دلیل جهت اصلاح ماده اولیه قیر قطران بخاطر نیتروژن و کربن آزاد بالای آن می‌توان آن را با قیر اتیلنی ترکیب نمود که باعث بهبود خواص ناهمسان گردی و کاهش پفکی شدن گرافیت می‌شود. به این پسماند واحدهای پتروشیمی تولیدکننده محصولات اتیلنی، CFO^۱ نیز گفته می‌شود که برای صنایع دوده‌سازی، لاستیک‌سازی و تولید قیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این محصول یک برش سنگین نفتالین دار است که عموماً در صنایع پتروشیمی تولیدکننده اتیلن به‌عنوان محصول جانبی تولید می‌شود. پسماندهای پلاستیکی مختلف دیگری مانند پلی‌استایرن، پلی‌کربنات، پلی‌اورتان، پلی‌ونیل کلرید، لاستیک تایر و رزین پلی‌استر اشباع‌نشده که محصولات

1- crack fuel oil





شکل ۵. میکروگراف نوری پلارایز شده کک خام تهیه شده از روغن آنتراسن [۷].

صنایع پتروشیمی هستند، در فرایند کربنیزاسیون مشترک در سنتز کک عمدتاً همراه با CTP استفاده می‌شود [۲۳]. حضور این ترکیبات همراه با CTP در فرایند کربنیزاسیون مشترک باعث می‌شود که کمبود ساختارهای شیمیایی حاوی هیدروژن کافی در فرایند کک‌سازی توسط CTP جبران شود. یکی از مهم‌ترین این نوع پسماندها، ضایعات پلی‌استایرن (WPS) است. در این نوع پسماند پلاستیکی در دمای حدود ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، حدود ۶ درصد مواد غیر فرار وجود دارد که می‌تواند انتقال‌دهنده هیدروژن در فرایند کک‌سازی باشد [۲۳].

۵-۴- روغن آنتراسن^۲ و روغن سنگین^۳

آنتراسن یک هیدروکربن چند حلقه‌ای است که در قطران ذغال سنگ وجود دارد و به راحتی در دسترس است. از ویژگی‌های منحصر به فرد این ماده اولیه نسبت به قیر قطران می‌توان میزان سمیت کم، مقدار رزین بتا بالا و عدم وجود ذرات و فلزات در آن را نام برد [۲۴]. در سال ۲۰۱۲ آلورز^۴ و همکارانش کک سوزنی به‌دست آمده از روغن آنتراسن را بررسی نمودند [۷]. در شکل ۵ ریزساختار بافت نوری کک خام تولیدشده از روغن آنتراسن با شاخص بافت نوری (OTI) حدود ۲۷ را نشان می‌دهد [۷]. این شاخص OTI بالا بیان‌گر جهت‌دار شدن جریانی و شدید در کک خام است. علاوه بر این، آن‌ها نتیجه گرفتند که شکل هیدروژن موجود در ترکیبات هیدروکربنی بر سیالیت مزوفاز بسیار اثر گذار است. به معنای دیگر، وجود هیدروژن به صورت آلیفاتیک در مزوفاز باعث افزایش سیالیت می‌شود که این می‌تواند ریزساختار کک سوزنی را از بافت جهت‌دار جریانی خود خارج نماید. این در صورتی است که هیدروژن آروماتیکی و توانایی خارج شدن آن از مزوفاز همراه با ایجاد ریزساختار جریانی منجر به ایجاد جهت‌گیری بیش‌تر ریزساختار کک خام می‌شود [۷].

یکی دیگر از خوراک‌های مناسب برای سنتز کک سوزنی از مواد بر پایه قطران، روغن سنگین است. عمدتاً این روغن در صنایع دوده‌سازی کاربرد فراوانی دارد. در صورتی که این روغن در فشار ۷۵۰ psi برای ۵ ساعت در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار بگیرد فاز مزوفاز شکل می‌گیرد.

1- co-carbonization
2- anthracene oil
3- heavy oil
4- Alvarez

۵- بررسی کیفی خوراک لازم جهت سنتز کک سوزنی

۵-۱- ترکیب شیمیایی

کیفیت کک سوزنی به مقدار ترکیبات آروماتیک، اشباع، رزین، آسفالت و هترواتم‌ها در خوراک بستگی دارد. ترکیبات آروماتیکی دارای وزن مولکولی بیش‌تری نسبت به ترکیبات اشباع‌شده دارند [۲۵]. ترکیبات اشباع عمدتاً با مقدار کمی اتم هیدروژن که دارای ساختار آلکانی با زنجیرهای بلند است، می‌باشند. رزین ترکیباتی است که شامل مقدار زیادی کربن آروماتیکی با پارافین (یا آلکان) با طول زنجیر متوسط که روی حلقه آروماتیک قرار دارند، می‌باشد [۲۱]. آسفالت شامل توده‌های متراکم شده آروماتیک چند هسته‌ای متصل به زنجیرهای سیرشده هستند. ترکیبات آسفالتی غلظت بالایی از هترواتم‌ها (گوگرد، نیتروژن، نیکل و وانادیوم) را به همراه دارند. این ترکیبات جامدهای سیاه درخشانی هستند که وزن مولکولی بسیار بالایی دارند [۲۱]. حضور آسفالت در ترکیب شیمیایی خوراک باعث می‌شود که کک با ساختار موزائیکی با CTE بالا ایجاد شود. آروماتیک دارای ساختار شیمیایی ساده‌تری نسبت به رزین و آسفالت دارد. البته تمام ترکیبات آروماتیک برای سنتز یک کک سوزنی با کیفیت، مناسب نیستند و عمدتاً ترکیبات آروماتیکی که به آن زنجیرهای آلکینی متصل است بیش‌تر پیشنهاد می‌شود. در اصل حضور ترکیبات آلکیل و حلقه‌های نفتین (سیکلوآلکان یا حلقه‌های کربنی سیرشده) منجر به کنترل ویسکوزیته مزوفاز می‌شوند. علاوه بر این توانایی انتقال هیدروژن به اجزاء مولکولی و فرگشتی گازی به ایجاد ساختار جریان‌ی کمک می‌کند [۲۱]. به عبارت دیگر میزان درجه آلکلی جایگزین در حلقه‌های آروماتیک در فرایند کک‌سازی می‌تواند آرایش‌های گوناگون پلی‌آروماتیکی را ایجاد نماید. این مطالب بیان‌گر این است که گلوگاه اصلی در ساخت کک سوزنی فراهم‌نمودن خوراک با ترکیب شیمیایی مناسب است. بنابراین تمام مباحث مطرح شده در خصوص کیفیت و نوع ترکیب شیمیایی خوراک بیانگر این مطلب است که صرفاً درجه آروماتیکی خوراک اثرگذاری خیلی زیاد نمی‌تواند برای سنتز کک سوزنی مناسب داشته باشد. برای رسیدن به کک سوزنی با CTE کم، خوراکی با درجه آروماتیکی بین ۶۰ الی ۸۵ درصد کربن



از نوع کک موزائیکی است.

حضور آلکیل‌های زنجیری بلند اثر مخربی در تشکیل مزوفاز غیرهمسانگرد دارند و عمدتاً آلکیل‌های زنجیری کوتاه متصل به حلقه‌های آروماتیک مفید هستند. به طور کلی حضور ترکیبات آلیفاتیک باعث ایجاد گاز می‌شود که وظیفه اصلی آن ایجاد ریزساختار جهت‌دار در کک سوزنی است. مقدار این گازهای خروجی حدود ۷ الی ۱۰ درصد کل مواد موجود در درام در نظر گرفته می‌شود. همچنین مقدار آسفالت، رزین و ترکیبات اشباع‌شده (آلیفاتیک) به منظور تهیه کک سوزنی به ترتیب صفر، صفر و بیش‌تر از ۱۵ درصد وزنی مورد نیاز است [۱۰ و ۲۱].

۲-۵- نقطه جوش و نرمی

دمای جوش پسماندهای نفتی (مانند روغن دکانت) مناسب برای فرایند کک‌سازی تأخیری بیش از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد است و ۲۵ الی ۳۰ درصد مواد نباید دارای دمای جوش کم‌تر از ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد را دارا باشند. در رابطه با خوراک فیرقطران ذغال‌سنگ نقطه جوش قیر قطران ذغال‌سنگ

آروماتیک (معادل BMCI^۱ بیش از ۱۰۰) و وزن مولکولی بین (unified atomic mass unit) ۲۰۰ الی ۲۰۰۰ نیاز است [۲۶]. حضور ترکیبات آلیفاتیک در خوراک باعث تشکیل مواد فراری می‌شوند که منجر به شکستن مزوژن‌ها^۲ به منظور کنترل ویسکوزیته و همچنین تشکیل حفرات در ریزساختار جریانی می‌شوند [۱۰]. مزوژن از مولکول‌های بزرگ با وزن مولکولی حدود ۲۰۰۰ amu تشکیل و منجر به ایجادشدن فرایند رشد رادیکالی می‌شود [۲۷]. این گروه‌ها سریع‌تر از سایر ترکیب‌های واکنش‌دهنده موجود واکنش داده، و کره‌های کوچک فاز میانی (مزوفاز) را شکل می‌دهند. کره‌های اولیه فاز میانی بسیار چگال‌تر از محیط همسانگرد و همگن حامل خود هستند و به سمت پایین ظرف کک‌سازی حرکت می‌کنند. از این‌رو قطر این کره‌ها معمولاً در نواحی پایینی ظرف کک‌سازی بزرگ‌تر است. در ناحیه پایینی ظرف کک‌سازی این کره‌های چگال به هم پیوسته و اولین ساختارهای ککی را پدید می‌آورند. در برخی موارد به دلیل بزرگ‌تر بودن قطر کره‌های فاز میانی در نواحی پایینی محصول نهایی در این ناحیه دارای ریزساختار موزائیکی است. به همین دلیل است که در پایین برج درام ککی که تشکیل می‌شود

نماد Bureau of Mines Correlation Index - ۱

۲- مولکول‌های بسیار بزرگ آروماتیک با وزن بیش از ۲۰۰۰ amu



اساس API های کوچکتر و برابر با ۲۰ را جزء مواد نفتی سنگین به حساب می آورند. هرچقدر مقدار API پسماند نفتی کاهش یابد در نتیجه نقطه جوش زیادتر می شود. در اصل این کمیت بدون بعد نشان دهنده میزان چگالی ماده مورد نظر به چگالی آب است به طوری که اگر واحد API برای مایعی کمتر از ۱۰ باشد، نسبت به آب چگال تر بوده و در آن فرو می رود و اگر مقدار آن بیش تر از ۱۰ باشد ماده مورد نظر روی آب شناور خواهد ماند. بنابراین، مواد اولیه مناسب برای فرایند کک سازی تأخیری جهت سنتز کک سوزنی باید API کمی داشته باشد (حدوداً کمتر از ۱۱/۴).

۵-۴- مقدار گوگرد، هیدروژن، نیتروژن و اکسیژن

الف) گوگرد

گوگرد به مقدار زیادی به شکل های مختلف در مواد نفتی و نفت خام وجود دارد که تقریباً غلظت آن در مواد مختلف بین ۰/۱ الی ۸ درصد وزنی متغیر است. گوگرد در نفت یا مشتقات آن به صورت محلول مانند گوگرد عنصری (S)، سولفید

جهت استفاده در سنتز کک سوزنی عموماً بیش از ۲۸۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته می شود [۲۸].

نقطه نرمی قیر عبارت است از درجه حرارتی که در آن قیر حالت نرمی پیدا می کند. به طور کلی می توان گفت که همه قیرها در این درجه حرارت به یک گرانیوی مشخص می رسند. نقطه نرمی قیر به روش های مختلفی اندازه گیری می شود که یکی از این روش ها، آزمون حلقه و گلوله است. قیرها بسته به درجه حرارت نرم شدن (ASTM D-۳۱۰۴) به سه دسته نرم (۵۰ الی ۷۰ درجه سانتی گراد)، متوسط (۷۰ الی ۹۰ درجه سانتی گراد) و سخت (۹۰ الی ۱۴۰ درجه سانتی گراد) تقسیم بندی می شوند. عموماً برای تهیه کک سوزنی از قیر قطران با درجه نرمی کم (کم تر از ۶۰ درجه سانتی گراد) استفاده می شود [۲۹].

۵-۳- مقدار API

شاخصی به نام API وجود دارد که با چگالی رابطه عکس دارد که عمدتاً توسط آزمون هیدرومتری قابل ارزیابی است. بر همین



هیدروژن (H_2S)، کربونیل سولفید (COS) و یا به شکل مولکول های آلی مانند ترکیبات سولفیدی، دی سولفید، تیول^۱ یا مرکاپتان^۲ و تیوفن^۳ (گوگرد موجود در ترکیبات آروماتیکی) یافت می شود. حضور گوگرد بیش از ۱/۸ درصد وزنی در کک سوزنی باعث می شود که هنگام عملیات گرافیته کردن پدیده ای به نام پفکی شدن (انبساط حجمی غیر برگشت پذیر) ایجاد شود. گسترش این پدیده در الکتروود منجر به کاهش استحکام و هدایت الکتریکی می شود. در اصل پفکی شدن نتیجه تکامل انفجاری گوگرد از ترکیبات CS_2 و H_2S در طی فرایند گرافیته شدن در یک محدوده دمایی باریک ایجاد می شود.

حضور گوگرد در کک سوزنی عمدتاً به کیفیت خوراک بستگی دارد. به طور کلی حداکثر مقدار گوگرد در خوراک مناسب جهت سنتز کک سوزنی یک درصد وزنی است [۳۰]. در برخی مواقع خوراک های وجود دارد که مقدار گوگرد آنها زیاد است که باعث می شود فرایند گوگردزدایی مورد توجه قرار بگیرد. به طور کلی می توان گفت که حدود ۷۰ درصد وزنی مقدار گوگرد اولیه در کک خام ظاهر می شود و بقیه همراه با گازهای خروجی از سامانه خارج می شوند. یکی از اقتصادی ترین فرایندهای حذف گوگرد استفاده از تکنولوژی گوگردزدایی هیدروژنی^۴ (HDS) است. چالشی که در این فرایند جهت حذف گوگرد از پسماندهای نفتی وجود دارد، فرایند حذف گوگرد از ترکیبات آروماتیکی است.

ب) هیدروژن

هیدروژن در خوراک به منظور تشکیل مزوفاز غیرهمسان و کنترل ویسکوزیته نقشی بسیار مهم در سنتز کک سوزنی دارد. مقدار هیدروژن مفید (هیدروژن اهداکننده) ترکیبات آروماتیکی با شاخصی تحت عنوان عامل کیفی پروتون اهداکننده ($PDQI$)^۵ توسط طیفسنجی جرمی سنجیده می شود [۳۱]. کاهش هیدروآروماتیکی در فرایند گوگردزدایی هیدروژنی در دمای بالا، یکی از عوامل کاهنده $PDQI$ به حساب می آید که باعث افزایش ویسکوزیته مزوفاز می شود [۳۱]. مقدار کل هیدروژن در خوراک مورد استفاده جهت سنتز کک سوزنی عموماً بایستی در محدوده ۴ الی ۶ درصد وزنی باشد.

ج) نیتروژن

حضور نیتروژن در کک سوزنی مانند گوگرد باعث ایجاد شدن پدیده پفکی شدن در زمان گرافیته شدن می شود که باعث کاهش استحکام و افزایش مقاومت الکتریکی و CTE گرافیت یا کک سوزنی می شود [۳۲].

1- Thiol

2- Mercaptan

3- Thiophene

4- hydrodesulfurization

5- proton donor quality index



علاوه بر این حضور ترکیبات پلی آروماتیک حاوی نیتروژن مانند کربازول^۱ و فنازین^۲ موجب ایجاد ساختار موزائیکی می شود و مانع از رشد مزوفاز می شود [۲۱]. به طور کلی حداکثر مقدار نیتروژن خوراک مناسب برای سنتز کک سوزنی حدود ۰/۷ درصد وزنی است. به طور کلی مقدار نیتروژن در مشتقات حاصل از قیر قطران بیش تر از مشتقات نفتی است. به همین منظور میزان استفاده از کک بر پایه قطران در الکتروود محدودیت دارد.

د) اکسیژن

یکی از دیگر از عناصر ناخالصی موجود در خوراک، اکسیژن است که می تواند بر کیفیت کک اثر بگذارد. حضور اکسیژن مانع از رشد مزوفاز در فرایند کک سازی می شود. در ترکیبات آروماتیکی که حاوی اکسیژن و نیتروژن است، کک با ساختار همسانگرد ایجاد می شود. همچنین حضور عامل هیدروکسیل (R-O-H) در خوراک منجر به افزایش ویسکوزیته و ایجاد ساختار موزائیکی در کک می شود [۲۱]. به طور کلی خوراکی در فرایند کک سازی تأخیری جهت ساخت کک سوزنی استفاده می شود که میزان اکسیژن آن کم تر از ۱ درصد وزنی باشد.

۵-۵- نسبت هیدروژن به کربن و کربن باقی مانده

نسبت هیدروژن به کربن در خوراک همان طور که مشخص است به مقدار کربن و هیدروژن موجود بستگی دارد. عمده تاً مقدار نسبت هیدروژن به کربن بر بازدهی کک اثر می گذارد و هر چه این مقدار در خوراک افزایش یابد از بازدهی کک کاسته می شود [۳۱]. هر چقدر مقدار H/C در خوراک زیاد تر شود باعث کاهش اتم های گوگرد و نیتروژن و افزایش API خوراک می شود [۱۱]. بنابراین مقدار بهینه کربن باقی مانده به روش کنرادسون (CCR) در خوراک مناسب جهت سنتز کک سوزنی، کم تر از ۱۰ درصد وزنی است [۳۰]. مقدار باقی مانده کربن در خوراک بر اساس روش های مختلف رمزباتوم^۳، کنرادسون و میکروکربن قابل اندازه گیری است. عموماً برای ارزیابی مقدار کربن باقیمانده در خوراک از روش کنرادسون استفاده می شود که با بازدهی کک ارتباط مستقیم دارد (رابطه ۱) مقدار H/C خوراک مناسب برای سنتز کک سوزنی معمولاً ۱/۵ نسبت اتمی است [۱۱].

رابطه (۱) $wt\% \text{ coke} = 1.6(wt\% \text{ CCR})$

۵-۶- درصد مواد فرار

درصد مواد فرار عبارت است از اختلاف بین درصد

1- carbazole
2- phenazine
3- Ramsbottom

محسوب می شود [۱۹].

۸-۵- مقدار TS ، TI و QI

برای انتخاب قیر قطران با ترکیب شیمیایی مناسب جهت سنتز کک سوزنی باید عواملی مانند مواد نامحلول در تولوئن (TI)^۱، محلول در تولوئن (TS)، نامحلول در کینولین (QI)^۲ و محلول در آن (QS) مشخصه یابی شوند. کینولین یک حلال آروماتیکی با فرومول شیمیایی C_9H_7N است که مواد نامحلول در آن را به اختصار رزین آلفا نیز می نامند. مواد نامحلول در کینولین به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم بندی می شود که اولیه شبیه به دوده و ثانویه یک فاز مزوفازی است که در طی عملیات حرارتی قیر قطران ایجاد می شود. در کل مواد نامحلول در کینولین اولیه از ذراتی مانند دوده، زغال و کک و مواد نامحلول در کینولین ثانویه عمدتاً مواد نسوز هستند. بنابراین پیشنهاد شده است که جهت انتخاب قیر قطران به عنوان ماده اولیه برای تولید کک سوزنی لازم است عاری از QI یا مقدار آن کمتر از یک درصد وزنی باشد [۳۳]. حلال دیگری تحت عنوان تولوئن وجود دارد که مواد قیر نامحلول در آن را با TI و مقدار مواد حل شده در آن را با TS یا رزین گاما نشان می دهند که همان مقدار آسفالت موجود در خوراک است. تولوئن یا متیل بنزن یک حلال حلقوی به فرومول $C_6H_5CH_3$ است. در برخی مواقع از بنزن بجای تولوئن استفاده

کاهش وزن نمونه و درصد رطوبت آزاد، هنگامی که نمونه را در شرایط معینی گرم کنند. زمانی که ماده اولیه کک سوزنی در معرض حرارت قرار بگیرد هیدروکربن های آن شروع به تجزیه می کنند و مولکول های حلقوی بزرگ تر حلقوی تشکیل می شوند. این عمل به مفهوم کاهش نسبت هیدروژن به کربن و خارج شدن ترکیبات سبک و فرار مانند آب، منوکسید کربن، هیدروژن، متان و هیدروکربن های دیگر است. محدوده مواد فرار در خوراک جهت تهیه کک نفتی حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد است.

۷-۵- ویسکوزیته

دو مرحله اساسی در تشکیل کک سوزنی با کیفیت بالا بایستی مدنظر قرار گیرد که مرحله اول شامل تشکیل مزوفاز از طریق جوانه زنی، رشد و ادغام کره های مزوفاز و مرحله دوم آرایش غیرهم محوری مزوفاز توسط گاز فرگشتی کنترل شده است [۲۱]. در مرحله اول ویسکوزیته مزوفاز نقش کلیدی داشته و عوامل بسیار مختلفی بر ویسکوزیته مزوفاز اثر می گذارند که مهم ترین آن ها ترکیب شیمیایی خوراک است. عبارت ویسکوزیته در این بخش به معنای روشن سازی ویسکوزیته لازم برای خوراک است که بطور کلی صرفه نظر از دیگر عوامل انتخاب خوراک، هرچه قدر ویسکوزیته کمتر باشد خوراک مناسب تری

1- toluene insolubles
2- quinoline



به‌طوری که فرایند حذف خاکستر از FCCDO یکی از عوامل بسیار مهم و تأثیرگذار در افزایش قیمت کک سوزنی نسبت به سایر محصولات کک‌سازی تأخیری و حتی انتخاب CTP به عنوان خوراک اصلی است [۲۸]. البته در CTP ذرات نامطلوب جامد تا بیش از ۱۰ درصد نیز وجود دارند که به راحتی با کاهش یا حذف QI شدیداً مقدار آن کم می‌شود و حتی به مقادیر نزدیک به صفر می‌رسد.

می‌شود. همچنین مقدار مواد حل‌نشده در پنتان (یا هپتان) برابر با مواد حل‌شده در تولوئن است به بیان دیگر مواد حل‌نشده در پنتان همان TS را نشان می‌دهد. حضور آسفالت در خوراک منجر به توسعه ساختار موزائیکی می‌شود و برای سنتز کک سوزنی بایستی مقدار آسفالت در حد صفر درصد (نهایتاً ۰/۵ درصد) باشد [۳۴].

۹-۵- مقدار خاکستر

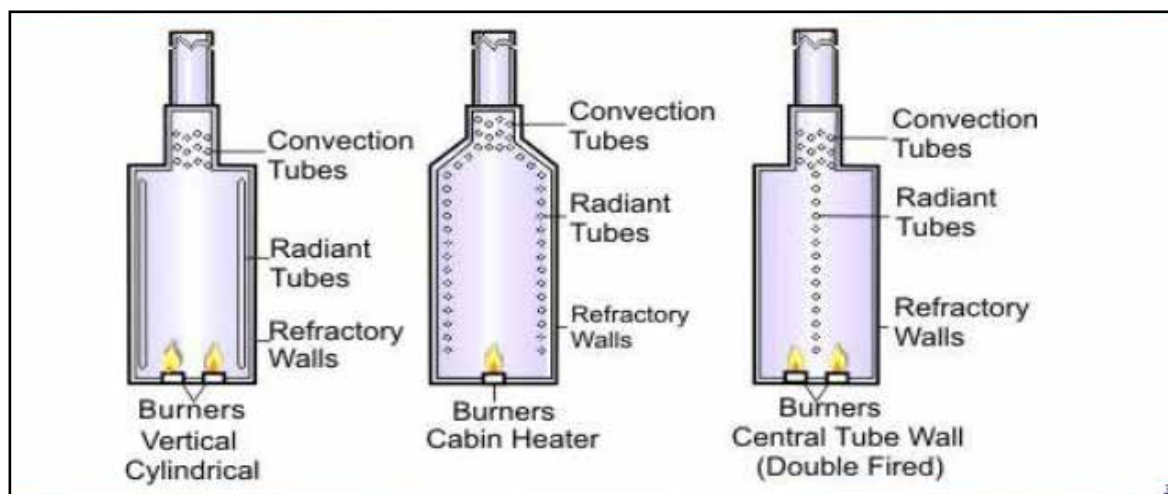
برای تولید کک سوزنی با CTE کم‌تر از $10^{-7} \times 1/1$ به منظور ساخت الکترودهای گرافیتی باید چند ویژگی خوراک همیشه مد نظر باشد [۲۸]. این مشخصات مهم خوراک شامل درجه آروماتیکی، بازدهی کک و مقدار خاکستر بسیار پایین آن است. عموماً در صنعت از خوراک FCC-DO به منظور ساخت کک سوزنی استفاده می‌شود که بایستی مقدار خاکستر آن بین ۰/۲ الی ۰/۴ باشد. سهم قابل توجهی از خاکستر موجود در روغن دکانت ناشی از حضور ذرات سرامیکی کاتالیت‌ها در فرایند FCC است. حضور کاتالیت‌ها در خوراک باعث افزایش CTE کک سوزنی می‌شود. روش‌های مختلفی وجود دارد که منجر به حذف این کاتالیت‌ها از خوراک می‌شود که روش‌های فیلتراسیون، گریز از مرکز و تجمع الکترواستاتیکی از جمله این روش‌ها است.

۶- تجهیزات اصلی و واحدهای جانبی

۱-۶- کوره

یکی از اجزاء اصلی واحد کک‌سازی تأخیری کوره یا پیش‌گرم‌کننده است. کوره کک‌سازی به صورتی طراحی شده است که افزایش دما با شیب ثابت صورت پذیرد [۵]. این کوره شامل لوله‌های با آرایش متقارنی است که گردش سیال درون آن با سرعت بالا و با نرخ انتقال حرارت بالا در حداقل زمان لازم صورت می‌پذیرد. اساساً گرم شدن خوراک در کوره بایستی به گونه‌ای انجام شود که فرآیند گرمایش با حداقل گرفتگی انجام شود. برای این منظور انتقال حرارت در لوله‌ها از دو نوع مکانیزم تابشی و همرفتی استفاده می‌شود. در شکل ۶ قرارگیری مختلف لوله‌ها در کوره‌های کک‌سازی تأخیری نشان داده شده است.





شکل ۶. آرایش‌های مختلف لوله‌های کوره.

مسدودشدن لوله‌ها است که این امر بسیار تحت تأثیر قطر لوله و نرخ جریان خوراک در داخل آن می‌باشد [۵]. اصلی‌ترین عامل مسدودشدن لوله‌ها تشکیل کک درون آن‌ها است. مسدودشدن یا رسوب کک در داخل لوله‌ها باعث افزایش دمای خارجی لوله تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد می‌شود که تقریباً در دوره‌های ۱۸ ماه اتفاق می‌افتد. این افزایش دما دیواره‌های خارجی لوله‌ها ناشی از افزایش مقاومت حرارتی در ضخامت دیواره لوله است که منجر به افت دمای جریان خوراک داخل لوله می‌شود. در نتیجه سامانه

کوره‌ها بر اساس نحوه آرایش لوله‌های داخل آن تقسیم‌بندی متفاوتی دارند که شامل کوره استوانه‌ای با لوله عمودی^۱، جعبه افقی^۲، گرم کننده ویکت^۳، ویکت معکوس^۴، گرم کننده با لوله مارپیچ^۵ می‌باشد.

تقریباً ۱۰ الی ۲۵ درصد مواد در کوره بخار یا کراکینگ می‌شوند. جریان خوراک در کوره با سرعت ۱/۸ متر بر ثانیه است که با این سرعت، زمان ماند مواد در کوره حدود ۲ الی ۳ دقیقه خواهد بود. یکی از مشکلاتی که در کوره‌های کک‌سازی اتفاق می‌افتد،

- 1- vertical tube cylindrical heater
- 2- horizontal box type
- 3- arbor or wicket type heater
- 4- inverted wicket type
- 5- helical coil heater

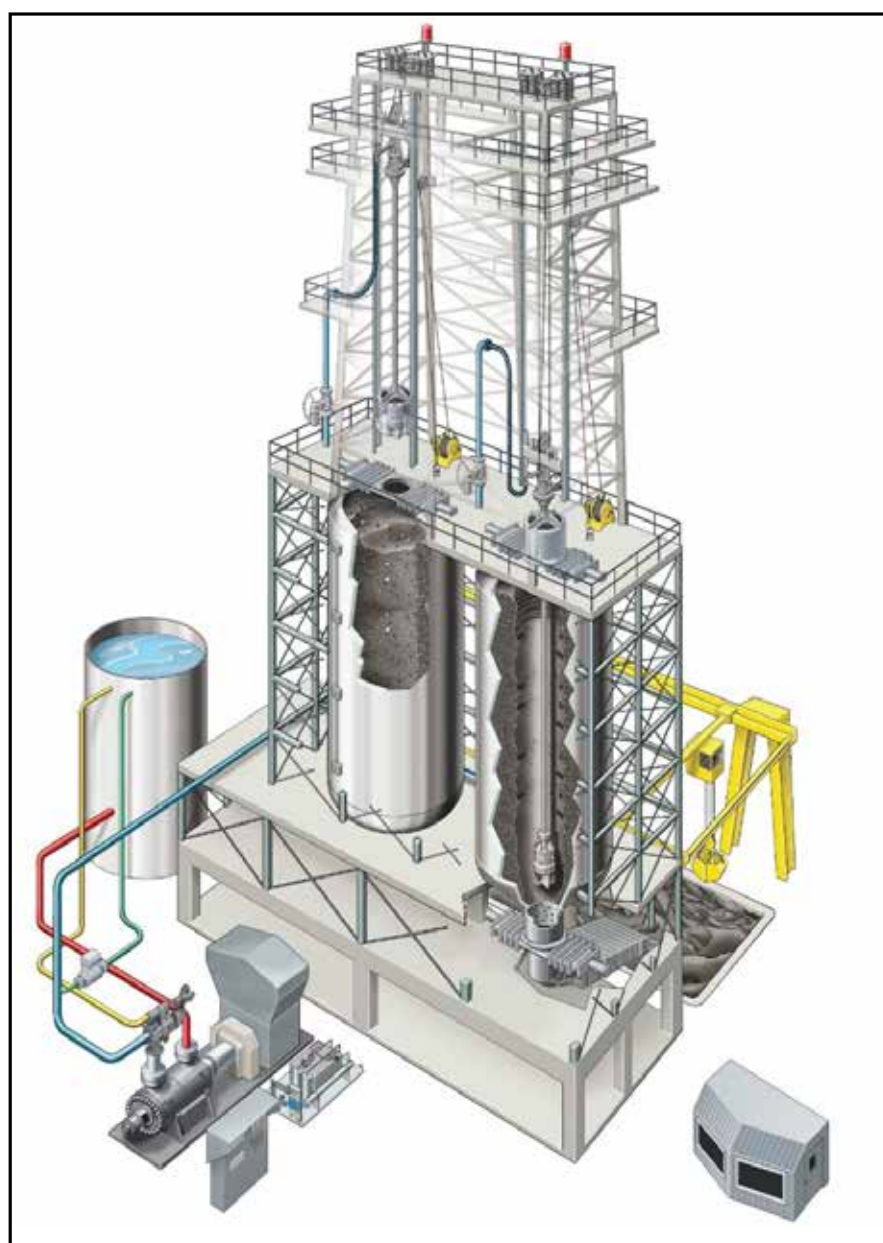


فرایند کراکینگ پرداخته می‌شود تا مایع سنگین پلیمری باقی بماند و تبدیل به کک شود. درام به گونه‌ای طراحی می‌شود که نرخ سطحی بخار (نرخ جریان حجمی فاز مایع نسبت به سطح مقطع دارم) در بالای آن بین 0.09 الی 0.12 متر بر ثانیه باشد. با رعایت نرخ بخار در حداکثر مقدار خود می‌توان از تشکیل کف جلوگیری نمود. علاوه بر این، امروزه در طرح بهینه‌سازی فرایند کک‌سازی برای جلوگیری از تشکیل کف از ضدکف‌های^۲ سیلیکونی استفاده می‌نمایند که معمولاً در ۵ الی ۶ ساعات پایانی به درام افزوده می‌شود. معمولاً در صنایع کک‌سازی تأخیری از دو درام با قطر برج حدود ۴ الی ۹ متر و با طول حدود ۱۸ الی ۳۵ متر استفاده می‌شود (شکل ۷).

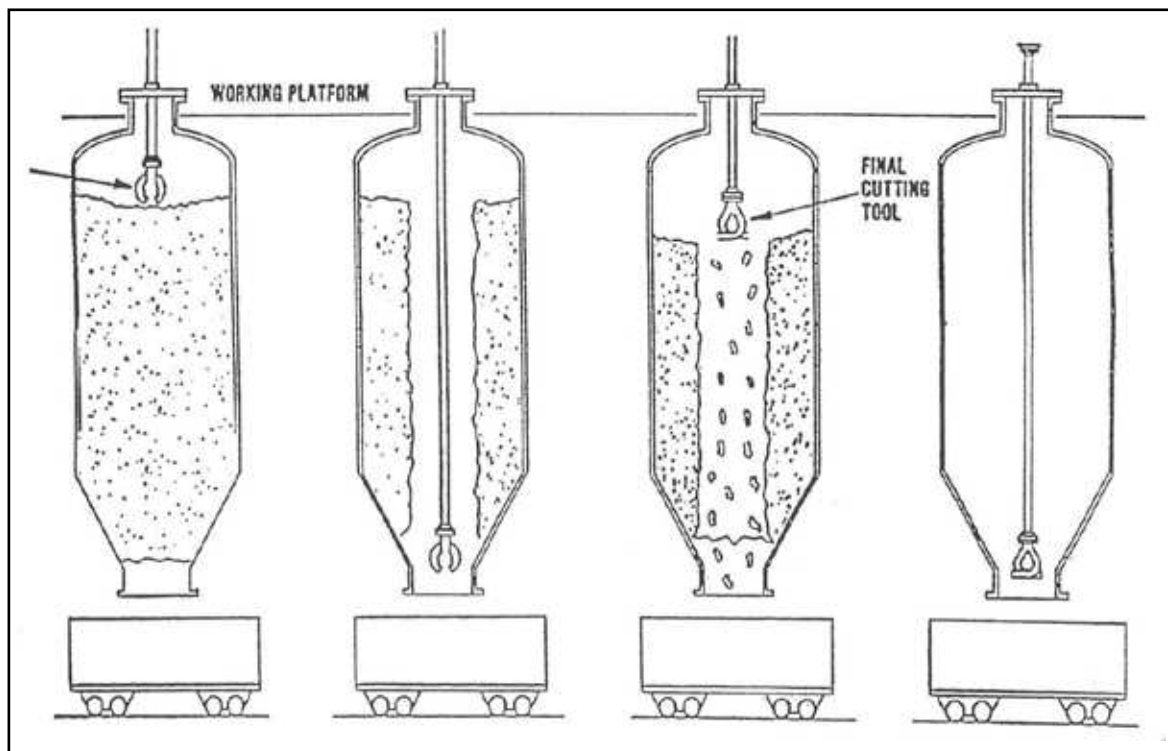
برای این افت دما فلاکس گرمای ورودی به لوله را افزایش می‌دهد که منجر به افزایش شدید دمای سطح لوله‌ها می‌شود. به همین منظور جهت کک‌زدایی پس از خاموش نمودن و کاهش دمای کوره توسط تمیزکننده‌های هیدرولیکی و فشار آب رسوبات داخل لوله برطرف می‌شوند [۴]. این فرایند که بسیار هزینه‌بر و وقت‌گیر است، مشکل اغلب پالایشگاه‌ها در فرآیندهای پالایش و تصفیه نفت است.

۲-۶- درام

خوراک مایعی که در قسمت کوره پیشگرم شده و مقداری از آن نیز کراکینگ‌شده است وارد درام کک‌سازی شده و به ادامه



شکل ۷. نمای کلی از درام‌ها در صنایع کک‌سازی تأخیری.



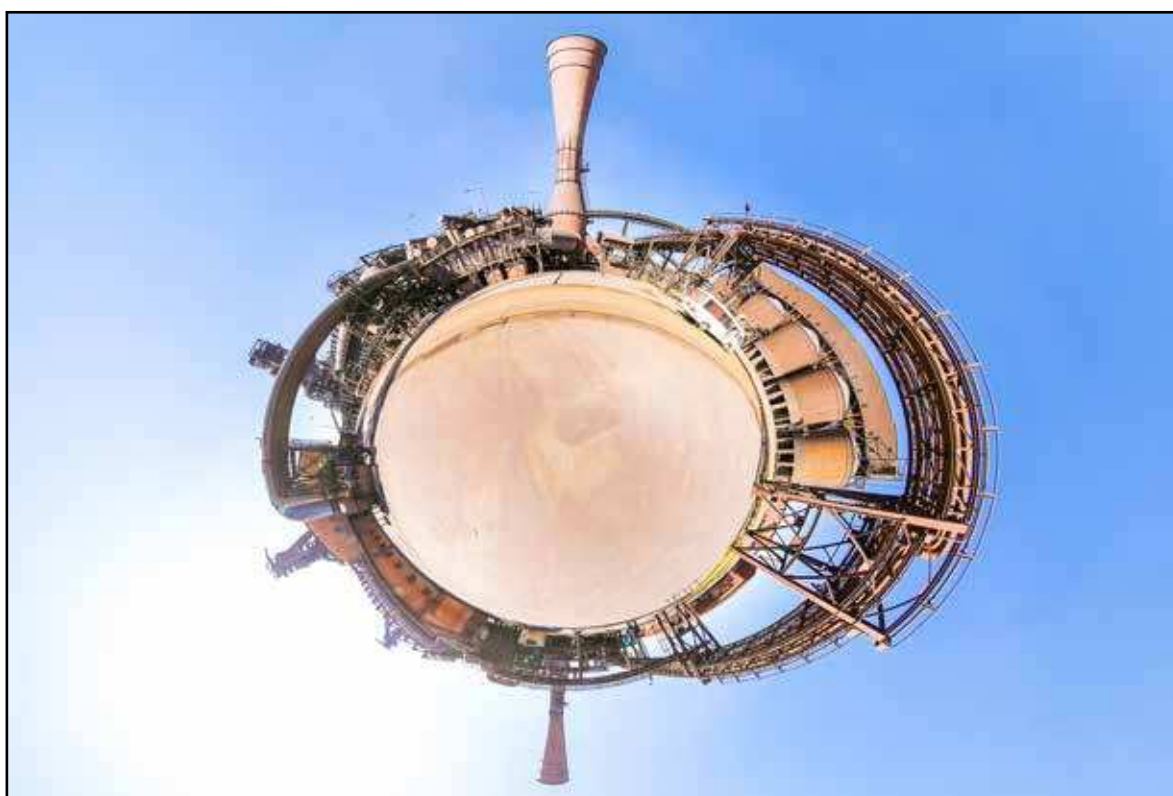
شکل ۸. فرایند کک‌زدایی توسط واتر جت [۱۲].

۳-۶- تجهیزات کک‌زدایی^۱

الف) الوهای متحرک

حذف‌کننده^۲ نامیده می‌شود جزء فرایندهای کک‌زدایی یا برش کک قرار می‌گیرد [۳۵]. عمدتاً در کف درام‌های کک‌سازی والو حذف‌کننده و پرکننده^۳ متحرک اتوماتیک وجود دارد [۳۵].

حذف فلنچ‌های کف و بالایی درام که اصطلاحاً فرایند



- 1- decoking
- 2- unheading
- 3- reheading

ب) پمپ واتر جت

تجهیزات کک‌زدایی جهت برش کک مجهز به جت پمپ‌های با فشار آب بین ۲۴۰ الی ۲۷۵ بار است که آب را با سرعت ۹۰۰ الی ۱۳۰۰ گالن بر دقیقه به سمت بستر کک هدایت می‌کند. در شکل ۸ نحوه فرایند کک‌زدایی توسط فشار آب نشان داده شده است [۱۲]. همان‌طور که مشخص است ابتدا سوراخ عمیقی در بستر کک ایجاد و سپس با فشار آب کک‌های اطراف خرد و بیرون کشیده می‌شوند. این فرایند نیازمند تجهیزات خاصی و بسیار مهمی است که به کل آن‌ها سامانه کک‌زدایی هیدرولیکی می‌گویند.

۴-۶-۱- برج جداساز^۱

به‌طور کلی وظیفه اصلی جداساز ترکیب مایعات سنگین با خوراک تازه و تفکیک مایعات ارزشمند از سایر محصولات است. بنابراین برج‌های تقطیری که در واحدهای کک‌سازی تأخیری به کار می‌روند بسیار همانند برج‌های تقطیری است که در پالایشگاه‌های نفت به کار می‌روند. تنها اختلاف مهم، توجه ویژه به بخش زیرین برج‌های تقطیر به کار رفته در واحدهای کک‌سازی تأخیری است. دما در این بخش از برج تقطیر باید نزدیک و حتی کمی بالاتر از دمای کراکینگ اولیه خوراک ورودی باشد. در نتیجه این دمای نسبتاً بالا، میزان کک‌سازی روی این سینی‌ها افزایش می‌یابد. از این‌رو سینی‌های این بخش باید به گونه‌ای طراحی شوند که قابلیت خود تمیز شوندگی داشته باشد.

۵-۶-۲- تجهیزات آب‌زدایی

حذف کک از درام با مصرف بیش از حد آب معادل است که باید این حجم از آب به سامانه برگردد. تاکنون سامانه‌های آب‌زدایی مختلفی از جمله واگن ریلی^۲ و بارگیری پیتی^۳ وجود دارد که عمده اختلاف آن‌ها در نحوه رساندن فراوده‌های نهایی (کک خام) به سامانه آب‌زدایی است. عموماً از سامانه بارگیری پیتی در فرایند آب‌زدایی استفاده می‌شود.

۶-۶-۳- آسفالت‌زدایی

حذف ترکیبات آسفالتی با استفاده از پروپان یا بوتان انجام می‌گیرد. به‌کارگیری حلال‌های سبک‌تر موجب رسوب پارافین‌های سنگین‌تر به همراه ترکیبات آسفالتی شده و خواص آروماتیکی آن‌ها کاهش می‌یابد. باید در نظر داشت که برای سنتز کک سوزنی، در مواد اولیه آسفالتینی نباید وجود داشته باشد. همان‌طور که گفته شد عموماً برای کاهش میزان آسفالت و رزین از حلال‌های پارافینی سبک استفاده می‌شود. در این روش خوراک از بالای برج با دمای حدود ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار ۴۰ بار وارد و پس از عبور از یکسری دیسک‌های چرخان،

1- fractionator

2- direct railcar loading

3- pit loading

۸-۶- حذف QI از قیرقطران

حضور QI در قیرقطران باعث تشکیل مزوفاز کروی می‌شود که در نهایت منجر به افزایش CTE کک سوزنی می‌شود. به همین منظور حذف QI یکی از واحدهای اساسی در تولید کک سوزنی از خوراک CTP است. به طور کلی چهار روش اصلی جهت حذف QI وجود دارد که شامل فیلتراسیون، حل نمودن توسط حلال با روش گرانشی، گریز از مرکز و استخراج حلالی است [۱۷]. هر یک از این روش‌ها دارای مشکلات خاص خودش است. به عنوان مثال روش فیلترسازی به غربالگری ظریف و دمای حدود ۱۴۰ الی ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد نیاز دارد. روش گرانشی با حلال زمان‌بر و حدوداً ۲۴ ساعت به طول می‌انجامد. دو روش استخراج و گریز از مرکز نسبتاً سریع هستند ولی مصرف انرژی بالایی دارند. امروزه روش‌های دیگری مانند الکترواستاتیکی جهت حذف همزمان QI و خاکستر ایجاد شده‌اند. در روش گریز از مرکز کافی است که CTP همراه با تولوئن داخل همزن با سرعت ۴۰۰ rpm به مدت زمان ۱ ساعت مخلوط شود و سپس داخل سانتریفیوژ با سرعت ۱۴۰۰ rpm به مدت زمان ۳۰ دقیقه جدایش صورت گیرد و TS از TI جدا شود [۳۶]. در ادامه محلول توسط فیلتر M-۵۰ تحت خلاء عبور داده می‌شود. در نهایت جهت جدایش تولوئن، ماده در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت و فشار ۰/۱ MPa قرار می‌گیرد.

در نهایت از پایین آسفالت خارج می‌شود. جریان حلال (از پروپان تا پنتان) از پایین به صورت فاز پیوسته و ناهمسو با جریان آسفالتن به بالای برج حرکت می‌کند.

۷-۶- گوگردزدایی هیدروژنی

در گوگردزدایی هیدروژنی که معروف‌ترین نوع گوگردزدایی است، ترکیبات گوگردی با هیدروژن واکنش داده و به هیدروژن سولفید و سایر هیدروکربن‌های مشابه تبدیل می‌شود و در ادامه هیدروژن سولفید از روغن‌های سوختی جدا می‌گردد. فرایند گوگردزدایی هیدروژنی به مصرف هیدروژن، کاتالیست‌های گران‌قیمت و شرایط عملیاتی سختی از قبیل دما و فشار بالا (به ترتیب بیش از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۳ MPa الی ۱۰) نیازمند است. همچنین در جداسازی ترکیبات گوگردی حلقوی مانند تیوفن به خاطر عدم جذب این ترکیبات روی سطح کاتالیست، کار دشواری است. کاتالیست‌ها عمدتاً از جنس مولیبدن می‌باشد و فلزات دیگر به‌عنوان ترقی‌دهنده^۱ نظیر نیکل و کبالت استفاده می‌شود. علاوه بر این، پایه کاتالیست عموماً از جنس گاما آلومینا است. روش‌های گوگردزدایی دیگری نظیر اکسیدی، بیولوژیکی و حلالی وجود دارند که بر خلاف گوگردزدایی هیدروژنی بازدهای بالایی ندارند.

1- promoter





شکل ۹. ساختار ماکروسکوپی کک، الف) دانه‌ای، ب) اسفنجی و ج) سوزنی.

۷- بررسی ریزساختار، خواص شیمیایی و فیزیکی کک سوزنی

۷-۱- ریزساختار

در شکل ۹ ساختار ماکروسکوپی سه دسته دانه‌ای، اسفنجی و سوزنی نشان داده شده است. این تقسیم‌بندی بر اساس ریزساختار کک است که معیار سنجش آن شاخص بافت نوری (OTI)^۱ است. در جدول ۳، OTI مربوط به ریزساختارهای مختلف کک خام مشخص شده است [۷]. بنابراین بر اساس جدول ۳ مشخص است که کک خام به دو دسته کلی همسان^۲ و غیرهمسان^۳ تقسیم‌بندی می‌شود. واضح است که OTI

معیاری برای تشخیص همسانی و غیرهمسانی ریزساختار کک است. در نتیجه هرچقدر این معیار بیش‌تر شود یعنی بافت غیرهمسان‌تری در ماده تشکیل شده است. شاخص OTI کک با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزه از طریق رابطه (۲) به‌دست می‌آید. البته در این رابطه شاخص OTI از ۱۰۰ است که در برخی از مراجع از ۳۰ نیز دسته‌بندی شده است. در این رابطه FD کسر دامنه جریانی^۴، D دامنه^۵، SD رشته‌های کوچک^۶ و M موزائیک^۷ است که بر اساس شاخص‌های ذکر شده در جدول ۳ هر یک از انواع بافت کک اشاره شده از یکدیگر قابل تفکیک خواهند بود.

$$\text{OTI} = 100(\text{FD}) + 50(\text{D}) + 5(\text{SD}) + 1(\text{M}) \quad \text{رابطه ۲}$$

1 - optical texture index	5- domain
2 - isotropic	6- small domain
3- anisotropic	7- mosaic
4- flow domain	

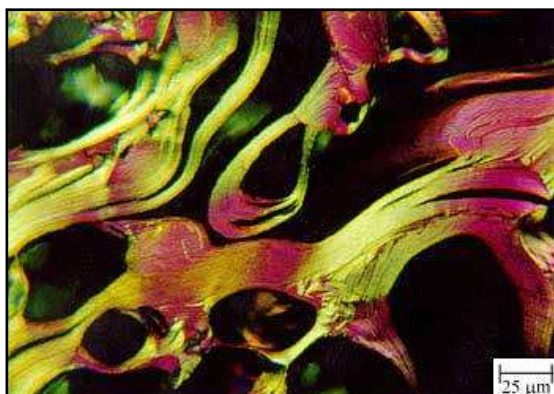
جدول ۳. نام گذاری بافت کک خام [۷]

Category	Description of optical texture	Size		Optical texture index (OTI)
		Length (μm)	Width (μm)	
Iso	Isotropic	No optical activity		0
1	Fine-grained mosaic	<1.5		1
2	Medium-grained mosaic	1.5-5		3
3	Coarse-grained mosaic	5-10		7
4	Supra-mosaic	Aligned mosaics		10
5	Small domain	10-60		20
6	Domain	>60		30
7	Medium-flow anisotropy	<30	<5	7
8	Coarse-flow anisotropy	30-60	5-10	20
9	Flow domain anisotropy	>60	>10	30

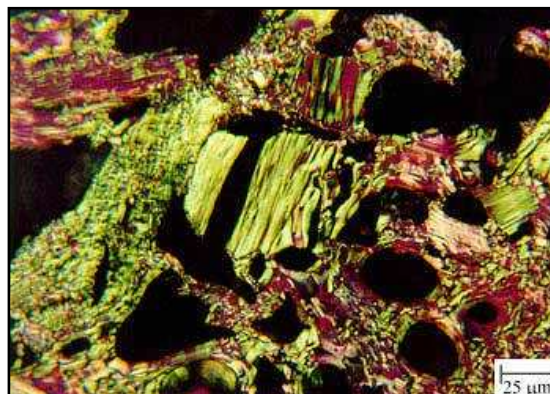
است و انکسار نور با رنگ های مختلف و متنوعی دیده می شود. به عنوان مثال در شکل ۱۰ سه دسته معروف کک تهیه شده با فرایند تأخیری با ساختار غیرهمسان نشان داده شده است. به نظر می رسد که هر سه محصول دارای بافت دامنه ای بوده ولی آنچه

ساختار کک وقتی همسان است که تصویر میکروسکپ نوری پلاریزه سطح کک دارای یک ضریب شکست نور باشد و شدت نور در همه جهات یکسان منعکس شود. در ریزساختار نوری پلاریزه غیرهمسان تصویر سطحی کک دارای ضریب شکست های مختلفی

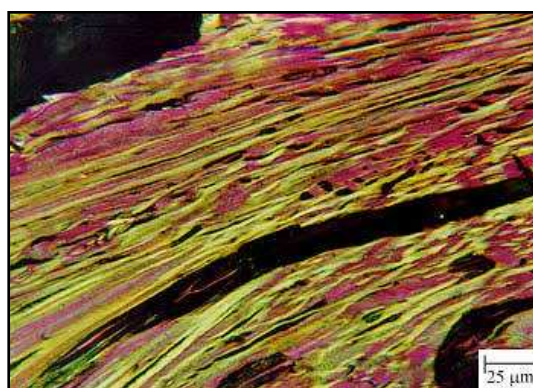




(ب) کک اسفنجی



(ف) کک دانه‌ای



(ج) کک سوزنی

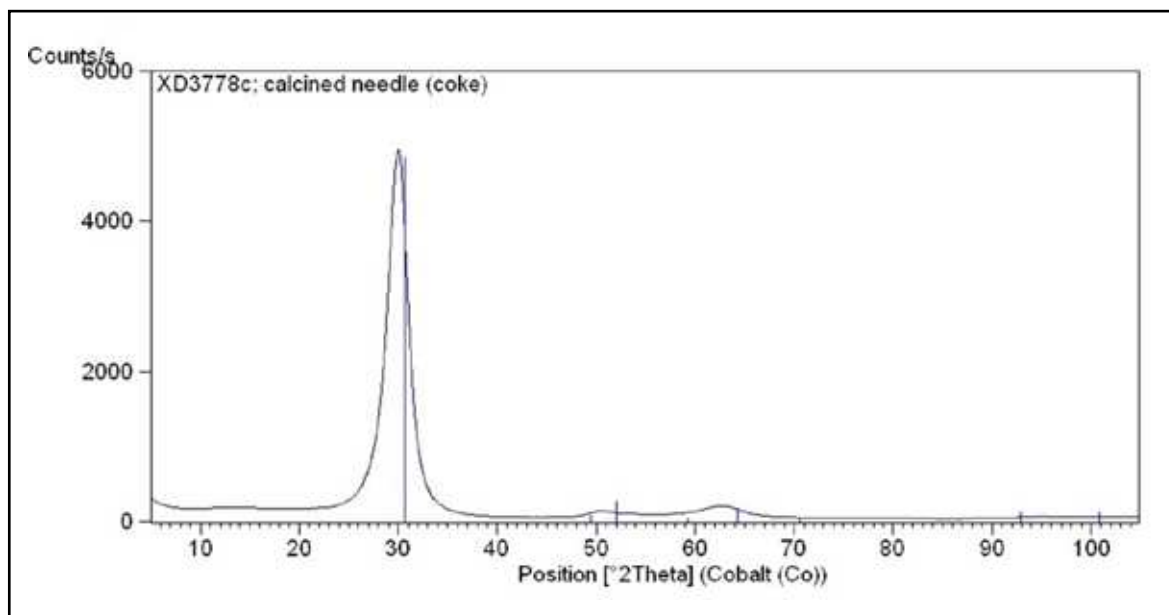
شکل ۱۰. ریزساختار نوری پلاریزه سه نوع معروف کک تهیه شده در فرایند تأخیری.

OTI کم‌تری از کک سوزنی هستند. بافت دیگری که در کک ایجاد می‌شود، بافت موزائیکی است که طبق شاخص OTI به سه دسته ریز، درشت و فوق موزائیک تقسیم‌بندی می‌شود. با این وجود، دسته‌بندی شرح داده شد مربوط به کک خام است و علاوه بر این تقسیم‌بندی دیگری برای کک کلسینه شده وجود دارد که در جدول ۴ مشخص شده است.

که این سه را از هم متفاوت نشان می‌دهد شاخص OTI هر کدام است. کک سوزنی که بیش‌ترین شاخص OTI را مربوط می‌شود دارای بافت جریان‌ی جهت‌داری است که در آن رشته‌های جریان‌ی طولی و عرضی بیش‌تر از به ترتیب ۶۰ و ۱۰ میکرومتر دارد. در بافت جریان‌ی به جزء بافت دامن‌ه جریان‌ی (یا همان کک سوزنی)، سه دسته دیگر شامل خشن، گرانولی (یا متوسط) و کوچک وجود دارد که بر اساس شاخص OTI سنجش می‌شوند و دارای

جدول ۴. تقسیم‌بندی بافت کک کلسینه شده [۳۳]

Classification	Description	Size	OTI [58]
I	Isometrics	<100 μm	1
A	Acicular	100–300 μm	5
S	Stringy	300–1000 μm	50
F	Fibrous	>1000 length, >60 μm width	100



شکل ۱۱. مرجع پراش اشعه ایکس کک سوزنی [۳۸].

۷-۲- بررسی فازی

الکترودهای گرافیتی در صنایع فولاد عمدتاً از کک سوزنی نوع SP استفاده می‌شود که چگالی حقیقی آن حدود $2/15 \text{ g/cm}^3$ است.

در شکل ۱۱ پراش اشعه ایکس کک سوزنی کلسینه‌شده در مرجع ۲۰۰۸ PDF-۴+ با کد XD۳۷۷۸c نشان داده شده است [۳۷]. اندازه کریستالی برای کک سوزنی اغلب بین ۲۵ الی ۳۰ آنگستروم اندازه گیری می‌شود.

۷-۴- ضریب انبساط حرارتی

یکی از ویژگی‌های بارز کک تولیدشده در درام (راکتور یا محفظه ای که کک حاصل از ترکیبات نفتی در شرایط خاص دما و فشار حاصل می‌شود)، که به عنوان شاخص کیفی نوع ساختار درونی آن نیز می‌باشد، ضریب انبساط حرارتی (CTE) است که بسیار مورد توجه است. ضریب انبساط حرارتی کک سوزنی بین $1 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}$ الی ۴ متغیر است که بستگی به کیفیت خوراک مصرفی دارد [۲۰].

۷-۳- چگالی

محدوده چگالی به کیفیت کک سوزنی بستگی دارد به طوری که کک سوزنی بر اساس کیفیت به سه دسته متوسط (I)، عالی (P) و فوق عالی (SP) تقسیم‌بندی می‌شود. جهت ساخت



- 1- intermediate premium
- 2- premium
- 3- super premium
- 4- coefficient thermal expansion

۵-۷- مواد فرار

سهم کک سوزنی در مقدار مواد فرار^۱ به دلیل اینکه قبلاً تحت فرایند کلسیناسیون قرار گرفته است خیلی کم است. به بیان دیگر، میزان مواد فرار کک در فرایند کلسیناسیون به شدت کاهش می‌یابد که بیشینه مواد فرار کک خام و کلسینه‌شده برای سوزنی به ترتیب ۷ و ۰/۲۵ درصد وزنی است. کک سوزنی به دلیل وجود تخلخل‌های مرتبط با یکدیگر که همگی به سطح می‌رسند دارای مواد فرار کم‌تری در کک پس از فرایند کلسیناسیون است. این در صورتی است که در کک اسفنجی تخلخل‌ها دارای ارتباط کامل نیستند و به اصطلاح تخلخل از نوع بسته است. به همین منظور در این نوع کک مواد فرار در فرایند کلسیناسیون به راحتی نمی‌تواند از فضای داخلی کک خارج شود. مهم‌ترین تأثیر مواد فرار بر مقدار ضریب مقاومت الکتریکی کک سوزنی است به‌طوری که می‌توان دریافت که درصد مواد فرار با ضریب مقاومت الکتریکی یک رابطه خطی مستقیم دارد [۳۸]. علاوه بر این مواد فرار بر میزان تخلخل کک نیز اثر فراوانی دارد به طوری که با افزایش خروج مواد فرار مقدار تخلخل افزایش می‌یابد. میزان متوسط تخلخل در کک سوزنی حدود ۲۴ درصد حجمی است [۳۹].

۵-۷- خاکستر

خاکستر به‌طور عمده از اکسیدهای معدنی مانند SiO_2 ، Al_2O_3 ، CaO ، MgO و Fe_2O_3 تشکیل شده است. این مواد دارای هدایت الکتریکی خیلی کمی هستند و در نتیجه با افزایش درصد خاکستر

در کک سوزنی، علاوه بر اینکه هدایت الکتریکی آن کاهش می‌یابد باعث کاهش درصد کربن آن نیز می‌شود. حداکثر میزان خاکستر برای کک سوزنی کلسینه‌شده گرید SP حدود ۰/۰۳ درصد وزنی است.

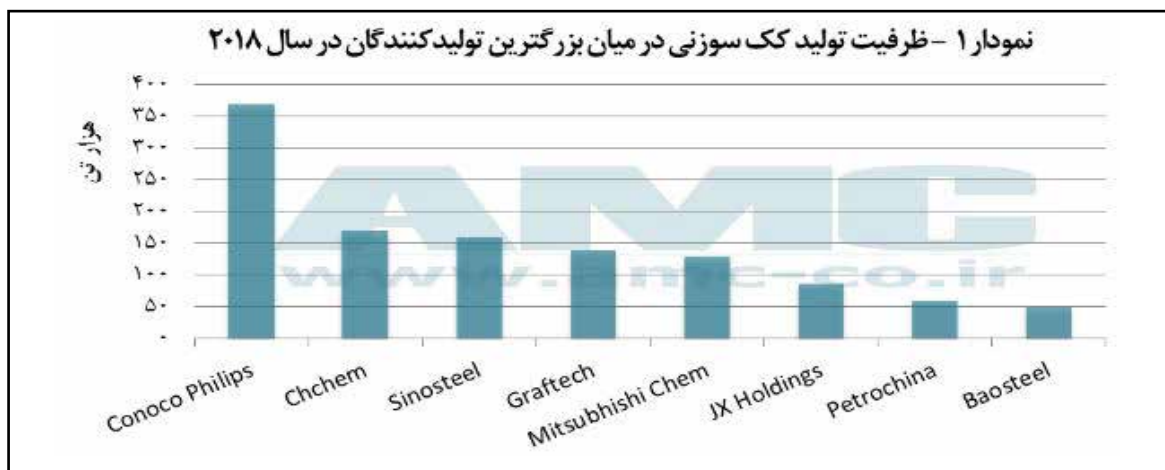
۶-۷- گوگرد

تأثیر اصلی وجود گوگرد در کک بر کیفیت الکترود نهایی است. به طوری که حضور گوگرد بیش از ۱/۲ درصد در کک باعث می‌شود که در دمای گرافیت‌شدن الکترود (حدوداً ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) پیوندهای کربن-گوگرد شکسته و باعث ایجاد بخار و پفکی شدن^۲ الکترود شود [۴]. پفکی شدن الکترود باعث افزایش ضریب انبساط حرارتی الکترود خواهد شد و مصرف الکترود را در هنگام استفاده افزایش می‌دهد. همچنین حضور گوگرد در خوراک منجر به شکل‌گیری پل‌های پیوندی سه‌بعدی و در نتیجه کاهش غیرهمسانی مزوفاز می‌شود [۳۱]. علاوه بر این، گوگرد موجود در کک سوزنی و یا ماده اولیه به دلیل اینکه پس از ساخت الکترود وارد ذوب می‌شوند و ترکیب شیمیایی فولاد را تحت تأثیر قرار می‌دهند مضر است. باید به این نکته توجه داشت که منشاء پیدایش گوگرد در کک از خوراک اصلی است. رسیدن به گوگرد کم‌تر از ۰/۵ درصد در کک سوزنی عمدتاً وابسته به مقدار گوگرد ماده اولیه است. به طوری که باید مقدار گوگرد مواد اولیه کم‌تر از ۱/۰ درصد وزنی باشد چرا که بخشی از گوگرد در طی فرایند کلسیناسیون حذف خواهد شد [۱۱].



1- volatile matter

2- puffing



شکل ۱۲. ظرفیت تولید کک سوزنی در میان بزرگترین تولیدکنندگان در سال ۲۰۱۷.

۷-۷- مقاومت الکتریکی ویژه

در سامانه‌هایی مانند الکتروود گرافیتی که از جریان‌های بسیار بالا (۵۰ الی ۱۰۰ کیلوآمپر) استفاده می‌شود در صورتی که مقاومت الکتریکی بالا باشد مقادیر زیادی به‌صورت گرما از سامانه خارج می‌شود. بنابراین تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان الکتروود سعی می‌کنند که الکتروود دارای کم‌ترین مقدار ضریب مقاومت الکتریکی باشد. به‌طور کلی هرچقدر کیفیت کک سوزنی مورد استفاده، بهتر باشد در نتیجه مقاومت الکتریکی ویژه کاهش می‌یابد. روی مقاومت الکتریکی ویژه کک سوزنی عوامل زیادی مؤثر هستند. به‌طور کلی می‌توان گفت که مقدار مقاومت الکتریکی ویژه با مقدار کربن و چگالی ظاهری رابطه عکس و با مقدار مواد فرار و خاکستر رابطه مستقیم دارد. با افزایش مقدار خاکستر کک سوزنی مقدار مواد معدنی که مقاومت الکتریکی بیش‌تری نسبت به کربن دارند، زیادتر می‌شود و مقاومت الکتریکی ویژه افزایش می‌یابد. مقاومت الکتریکی ویژه یک قطعه تهیه‌شده از کک سوزنی با فشار ۱۵۰ psi و در دمای اتاق که موازی با محور پرس اندازه‌گیری شد حدود $0.93 (\Omega\text{-cm})$ به‌دست آمده است. در صنایع الکتروودسازی برای تأیید شاخص کیفیت مقاومت الکتریکی الکتروود گرافیتی از آزمون غیر مخرب مقاومت الکتریکی استفاده می‌شود. آزمایش نمونه الکتروود سالم، مقاومت الکتریکی ۱۵ میکرواوم سانتی‌متر را در جهت طول الکتروود نشان می‌دهد. با این حال حد تغییرات قابل قبول برای الکتروودهای سالم حداقل $(\mu\Omega\text{-cm})$ ۱۲ و حداکثر ۲۲ است.

۸- بررسی بازار کک سوزنی در ایران و جهان

سه کشور آمریکا، چین و ژاپن بزرگ‌ترین تولیدکنندگان کک سوزنی در جهان هستند. کشورهای دیگری مانند هند، روسیه، آلمان و انگلیس از جمله کشورهای تولیدکننده کک سوزنی و الکتروود گرافیتی در دنیا به‌شمار می‌روند. در شکل ۱۲ ظرفیت تولید کک سوزنی چند شرکت تولیدکننده مهم نشان داده شده است. در بین این شرکت‌ها، Conoco Phillips (Phillips^{۶۶}) بزرگ‌ترین شرکت تولیدکننده کک سوزنی در جهان است [۳]. عمده‌ترین مصرف کک سوزنی در ایران و جهان صنایع تولیدکننده فولاد با روش کوره قوس هستند. فولادسازی با کوره قوس عمده‌ترین روش تولید فولاد در ایران است به طوری که حدود ۸۵ درصد از کل فولاد تولید شده در ایران توسط کوره قوس تولید می‌شود. بر اساس گزارش انجمن جهانی فولاد در سال ۲۰۱۷ (جدول ۵)، کل مقدار فولاد تولید ایران، ۲۱،۷۰۰ هزار تن بوده است که تخمین زده می‌شود از این مقدار حدود ۲،۳۰۰ هزار تن مربوط به تولید کوره بلند است. بنابراین ۱۹،۴۰۰ هزار تن از ظرفیت تولید باقی‌مانده مربوط به کارخانجات دارای کوره قوس و القایی می‌شود. در ادامه اگر فرض شود که حدود یک میلیون تن فولاد از طریق کوره‌های القایی در کشور تولید شده است در نتیجه در سال ۲۰۱۷ میلادی، ۱۸،۴۰۰ هزار تن فولاد توسط کوره قوس تولید شده است.

جدول ۵. میزان کل تولید فولاد ایران در سال‌های مختلف

سال	کل تولید فولاد خام (میلیون تن)	تولید به روش کوره‌های قوس و القایی (میلیون تن)	تولید به سایر روش‌ها (میلیون تن)
۲۰۱۶	۱۷،۸۰۰ ^W	۱۵،۷۰۰ ^W	۲،۱۰۰ ^C
۲۰۱۷	۲۱،۷۰۰ ^W	۱۹،۴۰۰ ^C	۲،۳۰۰ ^E

W: World steel association figures

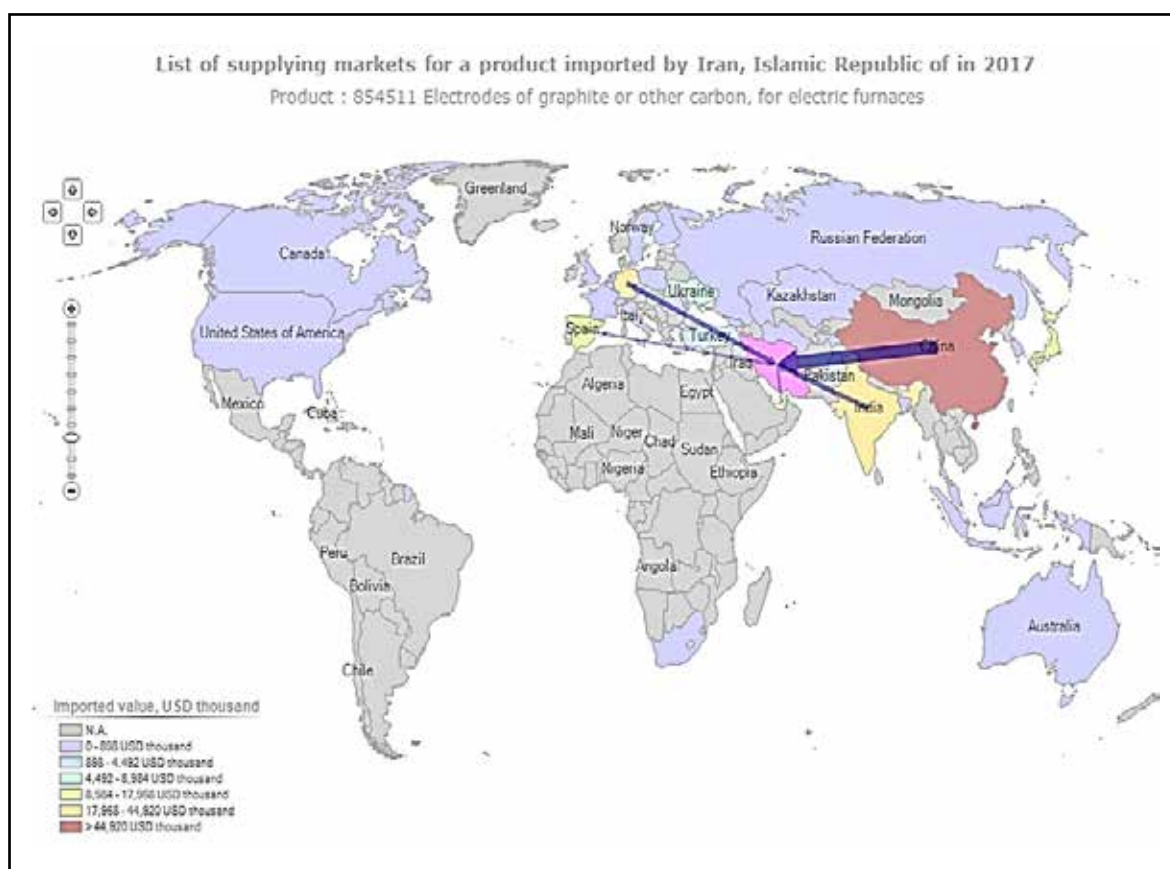
C: Calculated

E: Estimateed

تولید فولاد کوره بلند در راستای رعایت مسائل زیست محیطی، حجم زیادی از مصرف کک سوزنی جهانی را به خود اختصاص داد و این موضوع باعث رشد شدید قیمت جهانی کک سوزنی شد. همچنین افزایش تولید باتری‌های لیتیومی مورد استفاده در خودروهای برقی در چین نیز عامل دیگر اختصاص دادن حجم زیادی از کک سوزنی به کشور چین محسوب می‌شود. در نتیجه در اواسط سال ۲۰۱۷ قیمت کک سوزنی طی ۳ ماه حدود ۴ برابر شد که باعث شده قیمت الکتروود تا مرز ۲۵,۰۰۰ دلار به ازای هر تن نیز افزایش یابد. متعاقب آن سایر کشورهای تولیدکننده جهت کنترل بازار ظرفیت تولید الکتروود گرافیتی خود را افزایش دادند که باعث کاهش قیمت آن شد.

ایران جزء معدود کشورهایی است که با دارا بودن ذخایر نفت در واردات و صادرات کک نفتی نقش زیادی بازی نمی‌نماید در حالی که سومین کشور واردکننده الکتروود گرافیتی می‌باشد. در شکل ۱۳ نقشه پراکندگی کشورهای صادرکننده الکتروود گرافیتی به ایران نشان داده شده است که از ۵ کشور چین، دبی، هند، آلمان و اسپانیا صورت می‌گیرد. در مقابل، کشور ترکیه که فاقد منابع نفت خام می‌باشد وضعیتی مشابه ایران را در واردات الکتروود گرافیتی دارد.

به طور کلی تخمین زده می‌شود که مصرف سالیانه الکتروود گرافیتی در ایران (با فرض اینکه برای هر تن فولاد، ۲/۵ کیلوگرم الکتروود مصرف شود) ۴۶ هزار تن است. در سند چشم‌انداز توسعه تولید فولاد ایران مشخص است که در سال ۱۴۰۴ میزان تولید فولاد کشور به ۵۵ میلیون تن می‌رسد. با توجه به اینکه حدود ۸۵ درصد فولاد کشور از تکنولوژی کوره قوس تولید می‌شود، بنابراین حدود ۴۷ میلیون تن فولاد از طریق کوره قوس تولید خواهد شد. بنابراین در سال ۱۴۰۴ حدود ۱۱۷ هزار تن مصرف الکتروود در ایران است که اگر فرض شود مبلغ هر تن الکتروود حدود ۱۵,۰۰۰ دلار شود در نتیجه حدود ۷/۱ میلیارد دلار باید صرف تأمین الکتروود گرافیتی از خارج کشور شود. اگر فرض شود که در هر تن الکتروود ۸۰ درصد آن را کک سوزنی و ۲۰ درصد دیگر را سایر افزودنی‌ها تشکیل دهند، بنابراین نیاز به یک واحد کک‌سازی تأخیری با ظرفیت سالیانه ۹۳ هزار تن در سال است. کشور چین به دلیل مقدار زیاد تولید سالیانه الکتروود گرافیتی نقش به‌سزایی در بازار جهانی الکتروود در صنایع فولاد بازی می‌کند که مشاهده شد در سال ۲۰۱۷ به‌دلیل سیاست‌های کلان کشور در حوزه مسائل زیست محیطی صادرات الکتروود گرافیتی چین به سایر کشورها به شدت کاهش یافته است. به بیان دیگر، چین با افزایش ظرفیت تولید فولاد کوره قوس و کاهش ظرفیت



شکل ۱۳. پراکندگی واردات الکتروود گرافیتی کشور ایران در سال ۲۰۱۷.

۹- نتیجه گیری

است که معروف ترین آن ها CSO، CTP، HO، CFO و آنتراسین است. به طور کلی مرسوم است که برای تولید کک سوزنی از CSO و ترکیب آن با LSVR استفاده می کنند.

✓ لازم است کک سوزنی تولیدی دارای مشخصات فنی به لحاظ مقدار گوگرد کم تر از ۰/۵ درصد وزنی، شاخص بافت نوری حدود ۳۰ و ضریب انبساط حرارتی کم تر از $1 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ باشد.

✓ جهت تولید کک سوزنی با گرید مناسب جهت تولید الکترود گرافیتی بایستی پسماند نفتی دارای شاخص های کیفی مانند گوگرد کم تر از ۱ درصد وزنی، خاکستر پایین تر از ۰/۰۳ درصد وزنی، درجه آروماتیکی بیش از ۶۵ درصد وزنی و درصد کربن کنرادسون بین ۸ الی ۱۰ درصد وزنی را باشد.

✓ در حال حاضر با توجه به تولید فولاد کشور که عمدتاً از طریق فرایند کوره قوس الکتریکی تولید می شود، به ۴۶ هزار تن الکترود گرافیتی و به تناسب آن ۳۷ هزار تن کک سوزنی مورد نیاز است. در صورت تحقق طرح توسعه تولید فولاد کشور تا سال ۱۴۰۴ که به ۵۵ میلیون تن می رسد، مقدار نیاز کشور به کک سوزنی ۹۳ هزار تن در سال است.

✓ از الکترود گرافیتی جهت اعمال جرایت الکتریکی به منظور ایجاد قوس بین الکترود و مواد شارژ داخل کوره استفاده می شود که حدود ۸۰ آن را کک سوزنی تشکیل می دهد.

✓ به دلیل عوامل نظری اکسیداسیون و عوامل مکانیکی الکترود در صنایع فولادسازی یک ماده مصرفی با نرخ به طور متوسط ۲/۵ کیلو برای تهیه هر تن فولاد به حساب می آید.

✓ اغلب شرکت های تولید کک سوزنی از تکنولوژی کک سازی تأخیری استفاده می نمایند که بازده تولید کک در آن به کیفیت خوراک و عوامل فرایندی بستگی دارد.

✓ محصولات فرایند کک سازی تأخیری به سه دسته گاز، مایع و جامد دسته بندی می شود که محصولات جامد آن بسته به مقدار آسفالتین موجود در خوراک به سه دسته کک سوختی، آندی و سوزنی تقسیم بندی می شود.

✓ ککی که پس از فرایند کک سازی تأخیری به دست می آید به آن کک خام گفته می شود که برای تکمیل فرایند نیاز به فرایند کلسیناسیون دارد تا مقدار مواد آب آزاد، مواد فرار و هیدروژن کک به حداقل مقدار ممکن برسد.

✓ خوراک های متفاوتی برای تولید کک سوزنی در دنیا موجود

منابع مراجع

- [1] R. Adams, W. Frohs, H. Jager, K. Roussel, Graphite electrode and needle coke development, Carbon, 1 (2007) 1-9.
- [2] SGL Group, The carbon Company, Steel Recycling with Graphite Electrodes, An Industrial Success Story, Symposium October 16th, 2013.
- [3] R.A. Meyers, R.A. Meyers, Handbook of petroleum refining processes, McGraw-Hill New York, 2004.
- [4] P.J. Ellis, C.A. Paul, T. Session, Tutorial: Delayed coking fundamentals, American Institute of Chemical Engineers, 1998.
- [5] C. Hsu, P. Robinson, Handbook of petroleum technology, Springer, 2017.
- [6] H. Schobert, Chemistry of fossil fuels and biofuels, Cambridge University Press, New York, 2013.
- [7] P. Alvarez, N. Diez, R. Santamaria, C. Blanco, R. Menendez, M. Granda, Novel coal-based precursors for cokes with highly oriented microstructures, Fuel, 95 (2012) 400-406.
- [8] I. Mochida, T. Oyama, Y. Korai, Formation scheme of needle coke from FCC-decant oil, Carbon, 26 (1988) 49-55.
- [9] R. DeBiase, J.D. Elliott, T.E. Hartnett, Delayed-coking process update, ACS symposium series, Oxford University Press, 1986, pp. 155-171.
- [10] H.J. Picon-Hernandez, A. Centeno-Hurtado, E.F. Pantoja-Agreda, Morphological classification of coke formed from the castilla and jazmin crude oils, CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro, 3 (2008) 169-183.
- [11] A.N. Sawarkar, A.B. Pandit, S.D. Samant, J.B. Joshi, Petroleum residue upgrading via delayed coking: A review, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 85 (2007) 1-24.
- [12] T. Albahri, Petroleum Refining, University Chemical Engineering, Kuwait, 2018.
- [13] L. Edwards, The history and future challenges of calcined petroleum coke production and use in aluminum smelting, Jom, 67 (2015) 308-321.
- [14] S. Raseev, Thermal and catalytic processes in petroleum refining, CRC Press, New York, 2003.
- [15] Z. Shi-Gui, W. Bao-Cheng, S. Quan, Effect of physical disturbance on the structure of needle coke, Chinese Physics B, 19 (2010) 108101.



- [16] I. Mochida, Y.Q. Fei, Y. Korai, T. Oishi, Co-carbonization of ethylene tar pitch and coal tar pitch to form needle coke, *Fuel*, 69 (1990) 672-677.
- [17] Q. Cao, X. Xie, J. Li, J. Dong, L.e. Jin, A novel method for removing quinoline insolubles and ash in coal tar pitch using electrostatic fields, *Fuel*, 96 (2012) 314-318.
- [18] L.D.d. Castro, Anisotropy and mesophase formation towards carbon fibre production from coal tar and petroleum pitches: a review, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 17 (2006) 1096-1108.
- [19] S. Kumar, M. Srivastava, Mesophase formation behavior in petroleum residues, *Carbon Lett*, 16 (2015) 171-182.
- [20] J. G. Clark, The modification OF Waxy oil for preparing a potential feedstock for needle coke production, Phd thesis of Chemical Engineering, South Africa, 2011.
- [21] S. Im Ji, C.W. Lee, H.P. Halim, Preparation of needle coke from petroleum by-products, *Carbon letters*, 14 (2013) 152-161.
- [22] T. Oyama, Y. Todo, Study on mechanism of formation and quality improvement of petroleum-based needle coke, *Journal of The Japan Petroleum Institute*, 36 (1993) 407-413.
- [23] G. Collin, B. Bujnowska, J. Polaczek, Co-coking of coal with pitches and waste plastics, *Fuel processing technology*, 50 (1997) 179-184.
- [24] R.M. Menendez Lopez, M. Granda Ferreira, Coal-Tar Pitch Utilization, in: I.N.d. Carbón (Ed.) Instituto Nacional del Carbon, Instituto Nacional del Carbón, Spain, 2007.
- [25] L. Narayana Suvarapu, S.O. Baek, Biomonitoring of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Mini Review, *Mini-Reviews in Organic Chemistry*, 14 (2017) 496-500.
- [26] D. Tandon, P. Mondal, G. Dang, S. Kumar, Y. Sharma, M. Garg, Needle Coke Quality-Effect Of Operating Parameters, *Indian Institute of Petroleum Dehradun*, (2010) 1-6.
- [27] A. Radenovic, K. Terzic, Microstructure and physical-chemical properties of petroleum coke as carburizer, *Nafta*, 61 (2010) 136-139.
- [28] D.J. Miller, I.C. Lewis, C.F. Chang, R.T. Lewis, Method of producing needle coke for low CTE graphite electrodes, *Google Patents*, 2017.
- [29] X.P. Zhou, D.S. Xu, P.X. Zhang, S.C. Yin, J.X. Long, Y. Hu, L.P. Liu, A.P. Mao, Y.H. Chen, Research on Coal Tar Pitch Based Needle Coke Production Quality, *Advanced Materials Research*, *Trans Tech Publ*, 2013, pp. 155-160.
- [30] J. Rodriguez, C. AcuAa, J. Guerrero, L. Velasco, Predicting Petroleum Coke Quality From Feedstock Properties, *Abstracts of papers of the american chemical society*, Washington, 1992, pp. 601-607.
- [31] K. Tanabe, T. Takada, B.A. Newman, M. Satou, H. Hattori, Hydrotreating of FCC decant oil as a needle coke feedstock, *Journal of the Japan Institute of Energy*, 75 (1996) 916-924.
- [32] P.G. Stansberry, C.F. Chang, Reduction eduction of puffing by nitrogen compounds in coal based needle coke precursors for electrode graphite Carbon, 1 (2010) 1-2.
- [33] G.E. Totten, S.R. Westbrook, R.J. Shah, *Fuels and lubricants handbook: technology, properties, performance, and testing*, American Society for Testing & Materials, 2003.
- [34] D. Bhattacharyya, S.V. Kumaran, B.V.H.P. Gupta, P. Kumar, A.K. Das, G. Saidulu, S.K. Das, G.S. Kapur, V. Bansal, V. Krishnan, Process for the production of needle coke, *Google Patents*, 2009.
- [35] J.D. Elliott, R. Director, *Managing Shot Coke: Design and Operation*, Foster Wheeler USA Corporation: Houston, TX, 2009.
- [36] X. Cheng, G. Li, Y. Peng, S. Song, X. Shi, J. Wu, J. Xie, M. Zhou, G. Hu, Obtaining needle coke from coal liquefaction residue, *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 48 (2012) 349-355.
- [37] J. Clark, B. Rand, M. Hayes, W. Barnard, S. Lubhelwana, The effect of an iron oxide catalyst (Fe₃O₄) on the characteristics of Waxy Oil coke, *Fuel*, 94 (2012) 523-531.
- [38] W. Qiao, S.H. Yoon, I. Mochida, KOH activation of needle coke to develop activated carbons for high-performance EDLC, *Energy & Fuels*, 20 (2006) 1680-1684.
- [39] A. Tomsett, J. Johnson, *Essential readings in light metals: electrode technology for aluminum production*, John Wiley & Sons, New Jersey, 2013.

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دو ماهنامه‌ی آهن و فولاد

اهداف فصلنامه:

- ✓ انتقال تجرب علمی و کمک به نشر دانش
- ✓ فراهم کردن زمینه های ارتباط علمی بین صنایع و دانشگاهها
- ✓ انتشارات مفاهیم تجربه شده در میدان عمل
- ✓ معرفی فعالیت های علمی و اجرایی فولاد مبارکه
- ✓ انتشار اخبار مهم فولاد در جهان، ایران و اخبار داخلی شرکت فولاد مبارکه اصفهان

شرایط پذیرش مقالات:

- مقاله باید در یکی از موضوعات زیر باشد :
- ✓ محصولات فولادی
- ✓ تکنولوژی تولید فولاد
- ✓ فنی و مهندسی
- ✓ مدیریت
- ✓ ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- ✓ کاهش هزینه
- دارای جنبه های علمی و پژوهشی قوی باشد.
- حاوی ایده های جدید، نکات کاربردی، عملی، جدید و نو باشد.
- اصول و قواعد نگارش مورد نظر این مجله رعایت گردد.
- مسئولیت صحت مطالب مندرج در مقاله به عهده نویسنده یا نویسندگان می باشد.

شرایط تدوین مقالات:

- مقاله در محیط نرم افزاری WORD و دارای حاشیه از بالا و پا بین ۳ سانتیمتر و چپ و راست ۲.۵ سانتیمتر و فاصله خطوط ۰.۸ سانتیمتر به زبان فارسی تایپ و از طریق سامانه-<http://ironand-steel.msc.ir> بارگذاری گردد.
- مقاله دارای چکیده حداکثر ۱۵۰ کلمه و حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه باشد و واژگان کلیدی حداقل ۴ و حداکثر ۸ کلمه.
- مقاله های ارسالی باید دارای بخش های زیر باشد:
 - عنوان کامل مقاله، نام نویسنده یا نویسندگان، رشته علمی و مسئولیت نویسنده یا نویسندگان، نام مؤسسه یا دانشگاه، محل کار، نشانی کامل (آدرس، تلفن، پست الکترونیک و)...
 - بیان مسأله، اهمیت مسأله، اهداف پژوهش، ادبیات موضوع، چهارچوب نظری، فرضیه های پژوهش، روش تحقیق، فنون تجزیه و تحلیل، نتیجه گیری و ذکر منابع (مقالات پژوهشی)
 - برای مقاله های مروری چکیده، مقدمه، متن مقاله، ارائه چارچوب ادراکی، جمع بندی و ذکر منابع لازم است.
- ارجاعات در متن و پایان مقاله به روش های زیر باشد:

- الف - مرجع نویسی داخل متن باید در داخل پرانتز و به صورت نام خانوادگی نویسنده، تاریخ انتشار و شماره صفحه باشد.
- ب - مرجع نویسی پایان مقاله بایستی براساس نمونه های زیر به ترتیب الفبایی نام خانوادگی نویسنده مرتب شود.
- ج - در مورد مقالات، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، شماره صفحه
- د - در مورد کتاب، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان کتاب، محل انتشار، ناشر
- عنوان، توضیحات و شماره جداول، الگوها و اشکال، در بالای آن ذکر شود.
- مجله در ویرایش مقاله ها، بدون تغییر در اصل و محتوا آزاد است.
- مقاله های رسیده برگشت داده نمی شود.
- به پیوست یک قطعه عکس با ۳۰۰ dpi از نویسنده یا نویسندگان به همراه ایمیل و شماره تلفن همراه دریافت می شود.

دستورالعمل داوری مقالات مجله آهن و فولاد

اهداف:

- داوری علمی مقالات واصل شده
- حرکت در جهت علمی تر شدن محتوای فصلنامه
- استفاده از نظرات صاحب نظران در غنی کردن فصلنامه

مراحل:

- مقالات واصله که در راستای موضوعات فصلنامه می باشند استخراج و مقوله بندی می شوند.
- مقالات بر حسب تخصص علمی برای دو نفر از اعضاء داوران علمی جهت داوری ارسال می گردد.
- حداکثر دو هفته به داوران فرصت داده می شود که نظرات و نتیجه داوری خود را مطابق فرم پیوست ارائه نمایند.
- در صورتی که دو نفر داور در مورد قابل چاپ بودن مقالات در مجله نظر مثبت داشته باشند، مقالات به صورت مقدماتی پذیرش می شوند.
- مقالاتی که معدل نمرات دو نفر داور بر اساس فرم داوری بین ۳۹-۵۰ باشد به صورت چاپ برای فصلنامه انتخاب می گردند (در صورت زیاد بودن مقالات، مقالات دارای رتبه بالاتر در الویت چاپ هستند)
- جهت اشتراک دو ماهنامه آهن و فولاد فرم زیر را به نشانی پستی زیر ارسال فرمائید :
- استان اصفهان ، شهر مبارکه، صندوق پستی ۱۶۱-۸۴۸۱۵ واحد اطلاعات و انتشارات روابط عمومی - دو ماهنامه آهن و فولاد.

فرم اشتراک

نام: نام خانوادگی: نام پدر: تاریخ تولد:

قسمت یا واحد فعالیت: تحصیلات: شغل:

نشانی: تلفن تماس:

کد پستی: