تاثیر پیش‌گرم ضایعات بر بهره‌وری تولید در کوره‌های القایی

امیرحسین یوسف بیگی – مهندس فروش گروه پاترون

ماهنامه پـردازش: با توجه به رکود بازار فولاد در سـالهای گذشـته و بالا رفتن بهای تمام شده، کارخانجـات فولادی در حال تلاش برای کاهش هزینه‌ها و همچنین افزایش تولید به منظور کاهش سهم هزینه سربار هستند.

انتخـاب مواد اولیـه و مصرفی بـا کیفیت بالا، استفاده از تجهیزات و نیروی‌انسانی ماهر، اجرای دقیق دستورالعمل‌های تولید و فرآیندها، نمونه‌ای از مـواردی هسـتند کـه در کاهـش هزینه‌ها به صورت مستقیم یا غیر مستقیم تاثیرگذار هستند.

ماده‌مصرفی اصلـی کارخانه‌های فولادسـازی بـا کوره‌القایی، ضایعات اسـت. با توجه به اینکه ضایعات بیشترین سـهم را در هزینه تولید فولاد دارد، طبیعتـا کار کردن روی این موضوع و بهبود روش‌های مصرف آن می‌تواند برای فولادسـازان حائـز اهمیت باشـد. روش‌هـای مختلفی برای کاهـش هزینه‌هـای تولیـد از طریق بـالا بردن بهـره‌وری مصرف ضایعـات در کوره‌های القایی وجـود دارد که در این مقالـه به صورت اجمالی بـه تعدادی از آنها اشـاره می‌کنیم و در نهایت به بررسی تاثیر پیش‌گرم ضایعات بر بهره‌وری تولید در کوره‌های القایی می‌پردازیم.

۱- فرآوری ضایعات

دلایل مختلفی از جمله محل دپوی نامناسـب و در معرض گرد و خاک بـودن و خرید ضایعات با کیفیت پاییـن و ناخالصی بالا از جمله عواملی هستند که تولید را با مشکل مواجه می‌کند. همین عوامل باعث بالا رفتن مصرف انرژی برای ذوب ایـن ناخالصی‌ها می‌شـود. ناخالصی‌ها می‌توانند بر کاهش میـزان تولید، کیفیت محصول، مصرف نسـوزها و همچنیـن مصـرف فروآلیاژها برای رسیدن به آنالیز هدف تاثیرگذار باشند.

بعنـوان مثال خاکی کـه از طریق ضایعات وارد کـوره می‌شـود، یک و نیـم برابر انرژی بیشـتر نسـبت به انرژی لازم برای رسـیدن ضایعات به دمای ذوب فلز را مصرف می‌کند و این ضایعات کثیف و ناخالص سبب می‌شود واحد تولید زمان بیشتری را صرف عملیات سرباره‌گیری کند.

فرآوری ضایعات به ۳ روش جداسـازی دست (سـنتی)، استفاده از شـردر (خردکن) و یا پرس قیچی (شیرپرس) انجام می‌شود.

روش‌های شارژ ضایعات

برخی از روش‌های شـارژ ضایعات وجود دارد که به بعضی از آنها اشاره می‌کنیم.

- شارژدستی
- شارژ به کمک مگنت
- شارژ به کمک چنگ
- شارژ بوسیله تسمه نقاله (سیستم Material Handling)
- شـارژ بـه وسـیله شـارژرهای ویبراتـوری (لرزشـی)

در صورت تناسب بین نرخ شارژ ضایعات با نرخ ذوب در کوره از بالا رفتن بیش از اندازه دما در حوضچه مذاب و در نتیجه آن فرسایش و کاهش عمر جداره نسوز جلوگیری شده و کوره بیشترین توان را در هر لحظه خواهد داشت. بالا بودن توان کوره منجر به کاهش زمان ذوب و افزایش بهره‌وری می‌گردد.

۲- پیش‌گرم ضایعات:

پیش‌گرم کردن ضایعات نه تنها باعث تبخیر رطوبت موجود در ضایعات می‌شود، بلکه با بالا بردن دمای ضایعات تا ٤٥٠-٥٠٠ درجه سانتیگراد به جای ضایعات با دمای محیط، عملیات ذوب ضایعات تسریع و در نتیجه راندمان تولید افزایش یافته منجر به کاهش زمان ذوب می‌شود.

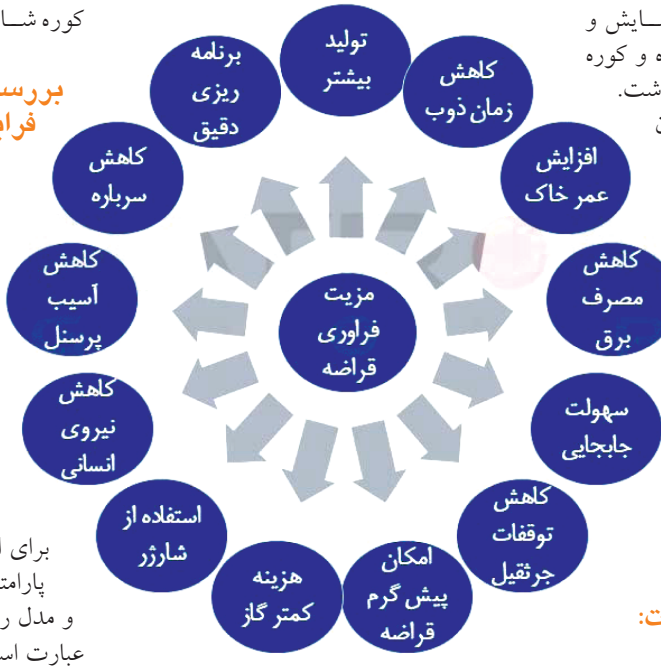
مزایای پیش‌گرم کردن ضایعات:

۱- کاهش زمان ذوب
۲- کاهش مصرف برق به ازای هر تن به میزان قابل توجه
۳- کاهش میزان تولید سرباره
٤- بهبود عمر لایه نسوز کوره
٥- حذف رطوبت، روغن، رنگ و سایر آلودگی‌های موجود در ضایعات
٦- کاهش دود و آلودگی‌های محیطی و زیست‌محیطی

نمونه‌ای از سیستم پیش‌گرم ضایعات که توسط گروه پاترون قابل طراحی است در تصویر ذیل آمده است.

پیش‌گرم ضایعات به روش‌های مختلفی قابل انجام است. نمودار شماتیکی که در تصویر ٥ آمده است، روش پیش‌گرم پیوسته است که البته نیازمند قراضه خرد شده و سایز شده دارد. در روش‌های غیرپیوسته نیز می‌توان با پیش‌گرم ضایعات به صورت بچ، آنها را در کوره شارژ نمود.

تصویر ۱ - مزیت فرآوری قراضه



بررسی اثر پیش‌گرم ضایعات در فرایند فولادسازی با کوره‌القایی

تشریح مدل :

گروه پاترون برای اولین‌بار اقدام به مدل‌سازی میزان تولید با کوره‌های القایی با عنوان PSM (مخفف عبارت Patron Steelmaking Modeling) نموده است.

با توجه به اینکه قبلا مدلی مشابه که بر اساس پارامترهای مختلف قادر به پیش‌بینی میزان تولید باشد ارائه نشده است، می‌توان گفت این مدل‌سازی برای اولین‌بار در جهان انجام گرفته است.

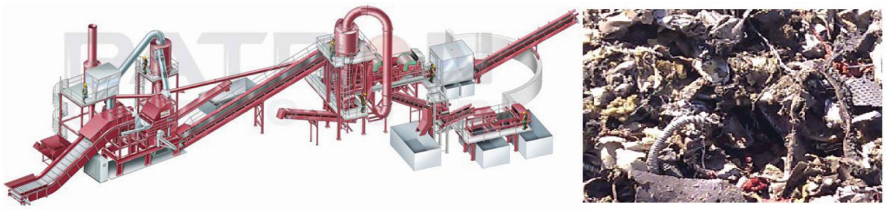
پارامترهایی که در مدل PSM وارد می‌شود و مدل را قادر به پیش‌بینی میزان تولید می‌کند عبارت است از: ظرفیت اسمی کوره، توان اسمی کوره، نوع کوره (مدار موازی یا مدار سری)، راندمان تجهیز، دمای محیط، دمای تخلیه، روش‌زینتر کردن، میزان توقفات، درصد مصرف انواع ضایعات، میزان مصرف آهن‌اسفنجی، آنالیز محصول تولیدی (مثلا شمش)، ضریب تبدیل ذوب به محصول، توقفات و تاخیرات در فرایند تولید و پارامترهای دیگری که بر راندمان تولید، میزان تولید و مصرف انرژی تاثیرگذار است.

در طول سال‌های گذشته، گروه پاترون در شرایط مختلفی مدل PSMرا آزموده و آن را محک زده است. خوشبختانه این مدل به قدری کامل و البته پیچیده است که قادر به پیش‌بینی تمام شرایطی که کارخانجات مختلف با آن روبرو هستند می‌باشد.

همچنین با استفاده از PSM می‌توان بهای تمام شده محصول تولیدی را محاسبه نمود و در شرایط مختلف قیمتی، میزان سود یا زیان تولید را مشخص نمود.

نمودار زیر به عنوان یک نمونه خروجی از مدل PSM است که در مقالات متعدد و نیز در سمینارهای برگزار شده توسط گروه پاترون و همچنین در دوره کاربردی استانداردسازی زمان

تصویر ۲ - شردر



تصویر ۳ - روشهای شارژ قراضه

و میزان تولیـد در کوره‌های القایـی با همکاری انجمن تولیدکنندگان فـولاد ایران و آکادمی ملی فولاد ایران در آذرماه امسال برگزار شد ارائه شده است: بر اسـاس یافته‌های مدل PSM، همانطور که در نمودار آمده است، با کاهش پرت ضایعاتی کـه در کوره‌القایی شـارژ می‌گـردد، میزان تولید افزایش یافته، مصرف انرژی کاهش می‌یابد.

پیش‌فرض‌هـای تحلیل عـددی در این مقاله:

پیش‌فرض‌هـا و سـناریوهای درنظـر گرفتـه شـده برای محاسـبات در این مقاله در شـرایط مطابق اسـتاندارد مدل اسـت که به برخی از آنها می‌پردازیم. این پیش‌فرض‌ها عبارتند از:

ظرفیت کوره: یک ست کوره ۱۰ تن
نوع کوره: مدار موازی
دمای محیط: ۲۰ درجه سانتیگراد
دمای تخلیه: ۱۶۷۰ درجه سانتیگراد

روش زینترینـگ کوره: ذوب به ذوب یا زینتر مایع (تخلیه ذوب آخر در بوته آماده زینترینگ و نگهداشت ٤٥ دقیقه‌ای)
ضریـب دسترسـی: ٦٥ درصد-۷۰درصـد-۷۵درصد زمان بسته به سناریو
میزان تاخیرات: ٦درصد زمان
مصرف آهن‌اسـفنجی: بسته به سناریو ۰درصد و ٤٠درصد می‌باشد
آنالیز محصول تولیدی: شمش ٥
ضریب تبدیل ذوب به شمش فولاد: ۹۸درصد
توان کوره: ٤ مگا وات

میـزان تولید هر سـناریو در دماهـای مختلف ضایعات (یعنـی ۲۰، ٥۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ٤۰۰ و ٤٥۰ درجـه ی سـانتی‌گراد) بوسـیله ی مـدل PSM محاسبه و در نهایت تحلیل می‌گردد.

سناریوی اول

با فرض مصرف ۱۰۰درصد ضایعات با پرت ۸ درصد و راندمان ۷۰درصد، نتایج بدست آمده از مدل PSM مطابق جدول شماره ۱ می‌باشد:

با توجه به خروجی بدست آمده از مدل PSM با پیشگرم ضایعات تا دمای ٤٥۰ درجه سانتیگراد، تولیـد ماهیانه ۱۷درصد افزایش و مصرف انرژی ۲۰درصد کاهش خواهد یافت.

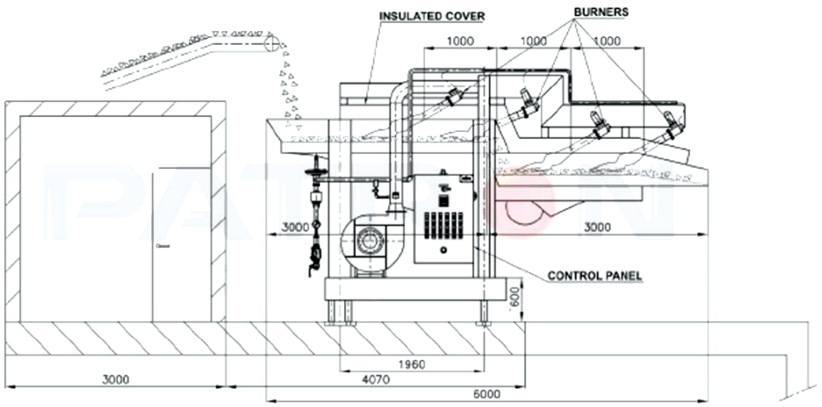
سناریو دوم

با فرض مصرف ۱۰۰درصد ضایعات شـرد شده با ۲درصد پرت با راندمان ۷۵درصد، نتایج بدسـت آمده از مدل PSM مطابق جدول شماره ۲ می‌باشد:

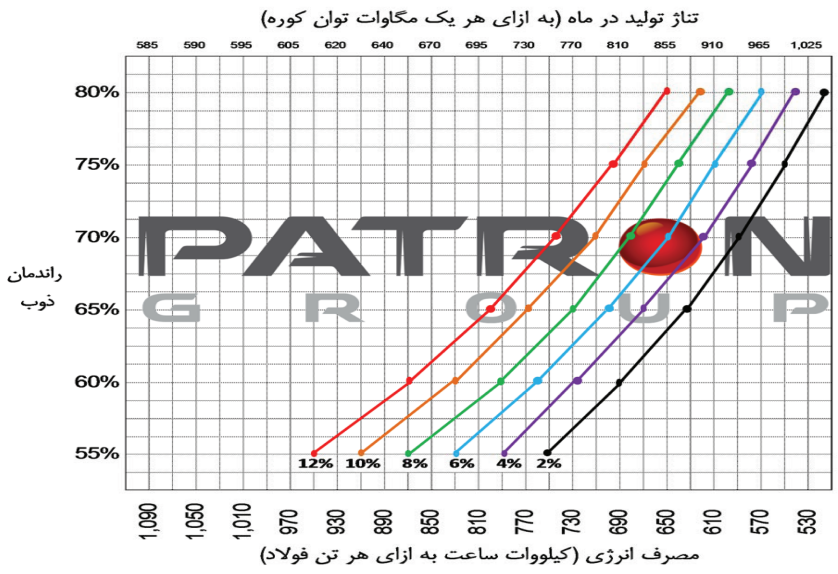
بـا توجه بـه خروجی بدسـت آمـده از مدل PSM با پیش‌گرم ضایعـات تا دمای ٤٥۰ درجه سـانتیگراد، تولیـد ماهیانه ۲۰درصـد افزایش و

تصویر۴- پیش‌گرم قراضه

تصویر۵- نمای شماتیک از ماشین پیش‌گرم قراضه



تصویر۵- نمای شماتیک از ماشین پیش‌گرم قراضه



جدول ۱ - سناریو اول

دمای ضایعات(℃)	تولید ماهیانه (تن)	انرژی مصرف شده (کیلو وات ساعت به ازای هر تن)
۲۰	۳۲۱۷	۶۸۳
۵۰	۳۲۵۱	۶۷۵
۱۰۰	۳۳۰۸	۶۶۱
۲۰۰	۳۴۲۴	۶۳۵
۳۰۰	۳۵۴۹	۶۰۸
۴۰۰	۳۶۸۳	۵۸۱
۴۵۰	۳۷۵۵	۵۶۷

مصرف انرژی ۲۴درصد کاهش خواهد یافت.

سناریو سوم

با فرض مصرف ۶۰درصد ضایعات با ۸درصد پرت و ۴۰ درصد آهن‌اسفنجی با راندمان ۶۵ درصد، نتایج بدست آمده از مدل PSM مطابق جدول شماره ۳ می‌باشد:

با توجه به خروجی بدست آمده از مدل PSM با پیشگرم ضایعات تا دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد، تولید ماهیانه ۱۵درصد افزایش و مصرف انرژی ۱۹درصد کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری

بر اساس مدل PSM تاثیر پیش‌گرم ضایعات بر روی مصرف انرژی و میزان تولید فولادسازی با کوره‌القایی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اطلاعات فوق، نتایج زیر حاصل گردید:

- با پیش‌گرم ضایعات و رساندن دمای آن از ۲۰ درجه سانتیگراد به ۴۵۰ درجه سانتیگراد در سناریوی اول با ۱۷درصد افزایش تولید و ۲۰درصد کاهش مصرف انرژی مواجه شدیم.
- در سناریوی دوم تولید ماهیانه ۲۰درصد افزایش و مصرف انرژی ۲۴درصد کاهش خواهد یافت و در سناریو سوم تولید ماهیانه ۱۵درصد افزایش و مصرف انرژی ۱۹درصد کاهش خواهد یافت. با توجه به فرمول $Q=mc\Delta T$ و در نظر گرفتن یک کیلوگرم ضایعات با گرمای ویژه ۰/۱۰۸ (Kcal/Kg°c) انرژی مورد نیاز برای رساندن دمای ضایعات با دمای محیطی به دمای ۴۵۰ درجه سانتیگراد ۴۶ کیلو کالری موردنیازاست.

حال با در نظر گرفتن اینکه هر کیلوگرم

جدول۲ - سناریو دوم

دمای ضایعات(℃)	تولید ماهیانه (تن)	انرژی مصرف شده (کیلو وات ساعت به ازای هر تن)
۲۰	۳۵۳۳	۶۳۷
۵۰	۳۵۷۷	۶۲۸
۱۰۰	۳۶۵۱	۶۱۳
۲۰۰	۳۸۰۴	۵۸۴
۳۰۰	۳۹۷۲	۵۵۶
۴۰۰	۴۱۵۴	۵۲۷
۴۵۰	۴۲۵۲	۵۱۲

ضایعات برای رسیدن به این دما ۴۶ کیلوکالری نیاز دارد این مقدار برای یک کوره ۱۰ تن ۴۶۰,۰۰۰ کیلو کالری خواهد بود و با توجه به اینکه هر متر مکعب گاز معادل ۸۶۰۰ کیلو کالری است، این مقدار چیزی در حدود ۵۳ متر مکعب گاز خواهد شد.

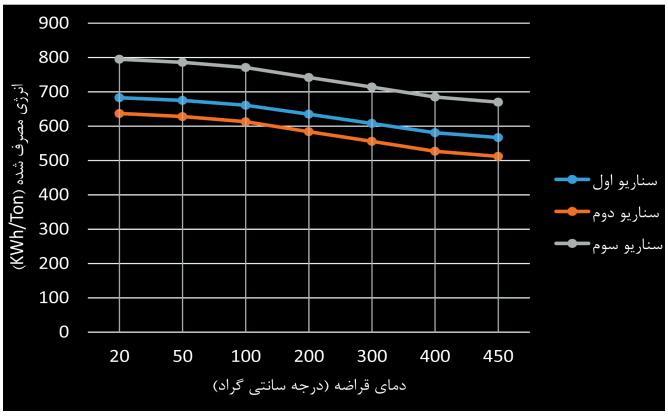
مبلغ هر متر مکعب گاز در حدود ۱۳۲۰ ریال می‌باشد که با توجه به تناژ تولید در سناریوی اول که ۳۷۵۵تن می باشد، در هر ماه در حدود ۲۶۳ میلیون ریال بابت پیش‌گرم ضایعات باید هزینه کرد که با افزایش تولید ۱۵درصد ناچیز بوده و کاملا توجیه خواهد داشت. برای سناریوی دوم هر ماه ۲۹۷ میلیون ریال با افزایش تولید ۲۰درصد و در سناریوی سوم ۲۲۳ میلیون ریال با افزایش تولید ۱۵درصد را خواهیم داشت.

جدول ۳ - سناریو سوم

دمای ضایعات(℃)	تولید ماهیانه (تن)	انرژی مصرف شده (کیلو وات ساعت به ازای هر تن)
۲۰	۲۷۶۳	۷۹۵
۵۰	۲۷۸۹	۷۸۶
۱۰۰	۲۸۳۴	۷۷۱
۲۰۰	۲۹۲۶	۷۴۲
۳۰۰	۳۰۲۳	۷۱۴
۴۰۰	۳۱۲۸	۶۸۵
۴۵۰	۳۱۸۳	۶۷۰

به طور کلی می‌توان اینطور نتیجه‌گیری کرد که با توجه به قیمت گاز، هر چه دمای ضایعات را بتوان بیشتر افزایش داد، راندمان تولید افزایش، هزینه‌های تولید کاهش و بهره‌وری افزایش چشم‌گیری خواهد داشت.

نمودار ۲ - نمودار دمای قراضه به انرژی مصرفی



نمودار۳ - نمودار دمای قراضه به تولید ماهیانه