

ارزیابی روش‌های مختلف تولید آهن اسفنجی



(میدرکس، اچ‌وای‌ال، SL/RN، کوره تونلی)

تهیه و تدوین: حسام‌الدین
مدیرعامل گروه پاترون

بخش اول

در بخش اول این مقاله ۴ روش تولید آهن اسفنجی مورد بررسی همه‌جانبه قرار می‌گیرد و در بخش دوم مقاله که در شماره آینده «چیلان» منتشر می‌گردد، مقایسه روش‌های مختلف تولید آهن اسفنجی از نظر سابقه روش‌ها، ظرفیت روش‌ها، سرمایه‌گذاری، مدت زمان پروژه و بهره‌برداری، محصول، نگهداری و تعمیرات، آلاینده‌گی، مواد اولیه اصلی، امکان تولید برق و هزینه‌های بالاسری و غیره مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد.

مقدمه

شاخص‌ها در جهت شناخت و رتبه‌بندی کشورها از بعد توسعه یافتگی در نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر مصرف سرانه فولاد در هر کشور، با سطح سرمایه‌گذاری‌ها، اجرای طرح‌های عمرانی و بالاخره توسعه یافتگی کشورها رابطه‌ی مستقیم و معناداری دارد چراکه با افزایش درآمد سرانه که از شاخص‌های توسعه محسوب می‌گردد، مصرف سرانه فولاد نیز افزایش می‌یابد.

با توجه به اهمیت بالای آهن و فولاد، نقش ویژه آن در اشتغال‌زایی، اهمیت آن در رشد اقتصادی کشورها و نیز با توجه به مزیت‌های رقابتی که گفته می‌شود ایران از آن‌ها بهره‌مند است، افزایش تولید فولاد مورد توجه ویژه دولت قرار گرفته و برای نیل به این هدف برنامه‌ریزی‌های کلانی صورت گرفته است.

با وجود آنکه گزارش‌ها نشان‌گر آن هستند که تولید آهن و فولاد در صدر رتبه‌بندی رقابت‌پذیری ایران قرار ندارند (به عنوان مثال طبق گزارش منتشره موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی در سال ۱۳۸۸، تولید آهن و فولاد در رتبه‌سی‌ام قرار گرفته است) اما وجود مزیت‌های زیر در ایران باعث شده افزایش تولید آهن و فولاد یکی از برنامه‌های

اهمیت آهن و فولاد در توسعه جهانی به قدری است که می‌توان گفت آهن بنیان تمدن امروزی را تشکیل می‌دهد. فراوانی، قیمت پایین، قابلیت بازیافت، استحکام زیاد و همچنین قابلیت آلیاژسازی، ویژگی‌های متنوعی در کاربرد آن ایجاد کرده است. دامنه‌ی این تنوع از تولید سوزن و سنجاق تا کشتی‌های عظیم‌الجثه و آسمان‌خراش‌ها گسترش دارد. از آن‌جا که صنعت تولید فولاد از جمله صنایع به شدت سرمایه‌بر و نیازمند به تکنولوژی پیش‌رفته است و به دلیل تأثیر زیادی که بر روی توسعه صنعتی کشورها دارد، صنعت مادر نامیده می‌شود. طبق استانداردهای جهانی، تولید هر یک میلیون تن فولاد باعث اشتغال‌زایی مستقیم حدود هزار نفر خواهد گردید. این در حالی است که به طور متوسط، به ازای هر یک نفر که به طور مستقیم در صنعت فولاد شاغل است، ۳/۵ نفر نیز در صنایع مرتبط با آن مشغول به کار خواهد شد.

از طرفی رشد صنعت فولاد در بررسی پیشرفت اقتصادی کشورها از اهمیت خاصی برخوردار بوده، میانگین سرانه‌ی مصرف فولاد در هر کشور به عنوان یکی از مناسب‌ترین



شده توسط شرکت های مشاوره از جمله برسو، فولاد تکنیک، وبسایت شرکت آمبار پولاد، میدرکس، اچ وای ال، هوگاناس، اتوتک و غیره استفاده شده است.

۱. فرایند میدرکس

ورود شرکت میدرکس در فرایند احیاء مستقیم را می توان در کارهای انجام شده توسط شرکت Surface Combustion در دهه ۳۰ میلادی ردیابی نمود. در سال ۵۹ میلادی این شرکت به شرکت Midland Ross ملحق گردید، که در آن شرکت فرآیند Heat fast به عنوان طلایه دار فرآیند Fastmet در دست بررسی و توسعه قرار داشت. شرکت Surface Combustion بعدها به شرکت میدرکس (Midrex) تغییر نام یافت.

اولین واحد احیاء مستقیم میدرکس که در سال ۱۹۶۹ میلادی در شهر پرتلند ایالت آرگون آمریکا نصب گردید، دارای دو کوره عمودی با قطر داخلی ۳/۷ متر بوده و هر یک از کوره ها برای تولید ۱۵۰ هزار تن آهن اسفنجی در سال طراحی شده بودند. به مرور زمان و با توجه به نیاز فولادسازی ها به بار فلزی با کیفیت بالا و قیمت مناسب، شرکت میدرکس در طول چهل سال گذشته طراحی و احداث واحدهای بزرگتر را در دستور کار خود داشته و به تدریج کوره های عمودی میدرکس را از قطر داخلی ۳/۷ متر به ۴/۲۵ و نهایتاً به ۷/۵ متر توسعه داده و به صنعت فولاد معرفی نموده است. البته لازم به ذکر است کوره های کوچک تر فرآیند میدرکس همچنان در مدار تولید بوده و به صورت اقتصادی کار می کنند (واحد هامبورگ HSW و واحد کانادا SIDBEC) این امر نشان دهنده قابلیت این فرآیند در عرضه ظرفیت های مختلف می باشد.

مختصات اصلی روش میدرکس به شرح ذیل می باشد:
الف) سنگ آهن ورودی: سنگ آهن ورودی در این فرایند به صورت گندله پخته شده می باشد و از کلوخه سنگ آهن هماتیته با عیار بالا و شرایط مناسب نیز میتوان تا حدود معینی با توجه به شرایط آن استفاده نمود.

ب) عامل احیاء کننده: گاز طبیعی شکسته شده پس از فرآیند ریفرمینگ می باشد. در فرآیند میدرکس گاز منواکسید کربن سهم بیشتری نسبت به گاز هیدروژن در مخلوط گاز احیاء کننده دارد.

ج) نوع کوره احیاء و شرایط آن: کوره میدرکس یک کوره

اصلی و مورد توجه دولت ها باشد:

- « وجود منابع غنی سنگ آهن
- « وجود منابع غنی گاز
- « وجود منابع غنی زغالسنگ حرارتی
- « موقعیت ممتاز جغرافیایی
- « وجود نیروی انسانی مورد نیاز

در این راستا، تکنولوژی های مختلف تولید آهن و فولاد مورد بررسی سازمان ها، شرکت های مشاوره، فولادسازان و غیره قرار گرفته تا بهترین راهکارها انتخاب گردند.

با توجه به یکی از معضلات اساسی کشور، یعنی کمبود آب، گروه پاترون اقدام به بررسی راهکاری جهت تولید آهن اسفنجی نموده که کمترین میزان آب ممکن را نیاز داشته باشد. در این بررسی معضلات و موضوعات دیگر از جمله موارد زیر نیز مورد توجه قرار گرفته است:

- « وجود معادن پراکنده، با عیارهای متفاوت در کشور
- « وجود کارخانجات تولید فولاد در نقاط مختلف کشور که ظرفیت های عمدتاً پایینی دارند و با معضل تامین مواد اولیه یعنی قراضه یا ضایعات فولاد روبرو هستند
- « نبود زیرساخت لازم در همه نقاط کشور جهت تکمیل زنجیره تولید فولاد در مقیاس های بزرگ و بیش از یک میلیون تن
- « مسائل زیست محیطی و آلایندهی کارخانجات تولید آهن و فولاد

در این گزارش به بررسی این راهکار و مقایسه آن با روش های دیگر تولید آهن اسفنجی، که ماده اولیه ذوب در کوره های الکتریکی است می پردازیم. بدیهی است هر راهکار بایستی متناسب با نیازها باشد و توصیه راهکار در این گزارش به معنای رد راهکارهای دیگر به طور کلی نیست.

روش های تولید آهن اسفنجی

روش های تولید آهن اسفنجی (احیاء مستقیم سنگ آهن) که در اینجا مورد بررسی قرار می گیرند، از روش هایی انتخاب شده اند که شناخته شده بوده و مراجع آنها موجود و قابل استناد هستند. لذا به بررسی ۴ روش مختلف تولید آهن اسفنجی می پردازیم. در این بررسی از مراجع معتبر منتشر

شافت عمودی است که تحت فشار کمی بیش از اتمسفر کار می کند و ورودی و خروجی آن به صورت آبیندی دینامیکی بوده و توسط جریان ورود و خروج مواد تنظیم می گردد.

د) درجه حرارت احیاء: حدود ۸۵۰ تا ۹۲۰ درجه سانتیگراد
ه) سابقه فرآیند: از حدود سال ۱۹۶۹

و) موقعیت فرآیند: کاملاً تثبیت شده و تجاری

ز) ظرفیت فرآیند: کوره میدرکس در ابتدا دارای ابعاد (قطر) کوچکتری بوده و با بهبود تکنولوژی به سمت کوره های با قطر بالاتر و ظرفیت بیشتر توسعه پیدا کرده است. پیدایش نسل کوره های مگا مدول با ظرفیت های سالانه ۱.۵ میلیون تن و بیشتر نشان دهنده این امر میباشد. البته لازم به تذکر است کوره های کوچکتر فرآیند میدرکس همچنان در مدار تولید بوده و به صورت اقتصادی کار می کنند. این امر نشان دهنده قابلیت این فرآیند در عرضه ظرفیت های مختلف می باشد.

ح) سهم بازار: حدود ۶۰٪ کل تولید آهن اسفنجی

۲. فرآیند HYL (نسل چهارم) یا Energiron

فرآیند اچ وای ال در طول سالیان گذشته از نظر طراحی پایه فرآیند آن دچار تغییرات نسبتاً زیادی شده است نسل اول و دوم این فرآیند بر اساس احیاء مستقیم مرحله ای و با استفاده از کوره در شرایط متفاوت از مرحله ابتدایی احیاء تا مرحله نهایی و تخلیه طراحی شده بود. در سال های اخیر نسل چهارم کوره های اچ وای ال با هدف حذف باکس ریفرمر وارد بازار شده است. این گزارش بر مبنای نسل چهارم این فرآیند تنظیم شده است.

الف) سنگ آهن ورودی: سنگ آهن ورودی در این فرآیند به صورت گندله پخته شده می باشد و استفاده از کلوخه سنگ آهن هماتیته در حد قابل قبولی با توجه به خصوصیات سنگ امکان پذیر است.

ب) عامل احیاء کننده: در این فرآیند همانند روش میدرکس از گاز طبیعی شکسته شده (ولی یا حذف ریفرمر) به عنوان عامل احیاء کننده استفاده می شود همچنین استفاده از بخار آب برای تولید گاز احیایی هیدروژن و افزایش آن در ترکیب گاز احیایی پیش بینی شده است. در این فرآیند میزان هیدروژن در مخلوط گاز احیایی نسبت به مونو اکسید کربن بسیار بیشتر بوده و هیدروژن به عنوان اصلی ترین عامل احیاء کننده عمل می کند.

ج) نوع کوره احیاء و شرایط آن: کوره این روش مشابه کوره شافت عمودی روش میدرکس می باشد. این کوره توسط مکانیزم های مکانیکی (هیدرولیکی) آب بندی شده است و فشار محیط واکنش بسیار بالاتر و تا ۷ اتمسفر تنظیم شده است تا سرعت واکنش احیاء مورد نظر بدست آید.

د) درجه حرارت احیاء: حدود ۸۵۰ تا ۸۷۰ درجه سانتیگراد
ه) سابقه فرآیند: از حدود سال ۲۰۰۳

و) موقعیت فرآیند: تثبیت نشده ولی تجاری

ز) ظرفیت: ظرفیت کوره های نسل چهارم بر اساس ادعای صاحب دانش فنی آن بر اساس نیاز بازار قابل تنظیم و بسیار متغیر می باشد. در حال حاضر واحدهای ۲۰۰ الی ۸۰۰ هزار تن در سال پیشنهاد داده می شود.

ح) سهم بازار: فعلاً در حد ۴ مدول راه اندازی شده و یا در دست ساخت می باشد.

۳. فرآیند SL/RN و مشابه

این فرآیند از قدیمی ترین روش های احیاء مستقیم محسوب می گردد و ایده ساختار آن بر اساس کوره افقی پخت سیمان طراحی شده است. در این روش ذغال سنگ حرارتی به عنوان ماده احیاء کننده با سنگ آهن مخلوط می شود و در یک کوره افقی آهن اسفنجی تولید می گردد.

الف) سنگ آهن ورودی: در فرآیند میدرکس و یا اچ وای ال عموماً استفاده از گندله پخته شده با کیفیت بالا و حداکثر حدود ۳۰٪ کلوخه سنگ آهن توصیه می شود. در این فرآیند استفاده از کلوخه تا ۱۰۰٪ امکان پذیر می باشد و همچنین برخی انواع گندله های خام نیز قابل استفاده خواهند بود. استفاده از سنگ مگنتیتی در این فرآیند نیز توصیه نمی شود و این فرآیند نیاز به سنگ آهن کلوخه هماتیته عیار بالا دارد.

ب) عامل احیاء کننده: مزیت این روش امکان استفاده از ذغال سنگ حرارتی با کیفیت نسبتاً پایین به عنوان ماده احیاء کننده می باشد. ذغال سنگ در کوره گاز مونو اکسید کربن را تولید می کند و این گاز باعث احیاء اکسید آهن می گردد. با وجود درجه حرارت نسبتاً بالا در کوره سرعت واکنش نسبتاً پایین بوده و کوره ماهیتاً دارای ظرفیت پایینی خواهد بود. در این فرآیند گاز هیدروژن وجود ندارد.

ج) نوع کوره احیاء: کوره افقی دوار Rotary Kiln که در فشار کمی بالاتر از اتمسفر کار می کند. کوره اصلی دوار شامل بخش پیشگرم و منطقه احیاء است و گازهای حاصل از واکنش با درجه حرارت حدود ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد از آن خارج می شوند و سیستم های بازیافت در آن پیش بینی نشده اند و به همین دلیل عموماً از این انرژی برای تولید برق استفاده می شود. بخش خنک کننده کوره یک محفظه کاملاً جداگانه است که توسط آب از بیرون خنک می شود.

د) درجه حرارت احیاء: حدود ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد
ه) سابقه فرآیند: از حدود سال ۱۹۸۰

و) موقعیت فرآیند: تثبیت شده و تجاری

ز) ظرفیت بهینه: حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ هزار تن به ازاء هر مدول
ح) سهم بازار: جمعا حدود ۲۳٪ کل تولید آهن اسفنجی

۴. فرآیند کوره تونلی

این فرآیند قدیمی ترین روش احیاء مستقیم محسوب می گردد. در این روش ذغال سنگ حرارتی به عنوان ماده احیاء کننده با سنگ آهن مخلوط می شود. گاز طبیعی دمایی مورد نیاز احیاء را به وجود می آورد و عمل احیاء در بوتله های کار باید سیلیسیوم در یک کوره تونلی انجام می گیرد.

الف) سنگ آهن ورودی: سنگ آهن هماتیت یا مگنتیت به

صورت نرمه با عیارهای ترجیحاً بالا مثل ۶۵٪
 (ب) عامل احیاء کننده: مزیت این روش امکان استفاده از ذغال سنگ حرارتی با کیفیت نسبتاً پایین به عنوان ماده احیاء کننده می باشد. ذغال سنگ در کوره گاز مونو اکسید کربن را تولید می کند و این گاز باعث احیاء اکسید آهن می گردد. دمای مورد نیاز جهت احیاء بر خلاف روش SL/RN از ذغال نبوده، بلکه از گاز طبیعی به کمک مشعل ها به دست می آید. لذا آلاینده‌گی در این روش بسیار پایین است.
 (ج) نوع کوره احیاء: کوره تونلی، کوره تونلی شامل سه بخش پیشگرم، منطقه احیاء و خنک سازی است
 (د) درجه حرارت احیاء: حدود ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد
 (ه) سابقه فرآیند: از حدود سال ۱۹۰۸ (بیش از ۱۰۰ سال)
 (و) موقعیت فرآیند: تثبیت شده و تجاری
 (ز) ظرفیت پهنه: حدود ۵۰ هزار تن به ازاء هر مادل
 (ح) سهم بازار: جمعا حدود ۵٪ کل تولید آهن اسفنجی

نکات

صرف نظر از فرآیند تولید، معمولاً ۶۵ تا ۷۵ درصد از هزینه تولید آهن اسفنجی مربوط به هزینه مواد مصرفی فرآیند است لذا جهت بهبود و ارتقای اقتصادی فرآیندهای احیاء تلاش می شود که هر چه بیشتر سنگ آهن ریزدانه (Fine Ore) جایگزین درشت دانه (Lump Ore) گردد و از سوخت ارزان قیمت مثل خرده زغال و یا گازهای ضایعاتی و برگشتی استفاده شود. (برگرفته از گزارش شرکت برسو که در دومین

ماده کمبود وجود داشته، علی رغم آنکه در سال های آتی کارخانه های تولید گندله وارد زنجیره تولید فولاد خواهند شد، عموماً به دلیل آنکه در کنار این کارخانجات، کارخانه های تولید آهن اسفنجی طراحی گردیده اند، عرضه آن به بازار محدود خواهد بود.

لذا در همه روش های ذکر شده، به جز کوره تونلی، که نیازمند کلوخه هماتیته عیار بالا و یا گندله هستند، بایستی کارخانجات تولید آهن اسفنجی را به همراه کارخانه گندله سازی طراحی و اجرا نمود و اجرای صرف کارخانه تولید آهن اسفنجی به هیچ وجه توصیه نمی گردد.

در نتیجه از حیث تامین مواد اولیه می توان روش های مختلف را بر اساس جدول شماره ۱ دسته بندی کرد:

- با وجود آنکه گاهای برخی افراد و شرکت ها ادعا می کنند در روش تولید پیشنهادی آنها، امکان استفاده از سنگ آهن با عیارهای پایین مثلاً ۶۰٪ وجود دارد، باید به این نکته توجه کرد که اگرچه تقریباً هر نوع سنگ آهن با هر عیاری در عمل احیاء مستقیم تبدیل به آهن اسفنجی با عیار بالاتر می گردد، اما محصول تولیدی الزاماً قابل استفاده نخواهد بود. این یعنی نمی توان مثلاً در فرآیند کوره دوار از سنگ آهن با عیار ۶۰٪، آهن اسفنجی مشابه فرآیند میدرکس که از سنگ آهن ۶۶٪ استفاده می کند تولید نمود و آهن اسفنجی تولیدی از سنگ آهن با عیارهای پایین تر از ۶۵٪ عملاً کیفیت لازم جهت استفاده

فرآیند	نوع ماده اولیه	گندله سازی	امکان استفاده از سنگ آهن مگنتیتی
میدرکس	گندله یا کلوخه سنگ آهن	مورد نیاز است	تقریباً منتفی است
اچ وای ال	گندله یا کلوخه سنگ آهن	مورد نیاز است	تقریباً منتفی است
کوره دوار	گندله یا کلوخه سنگ آهن	مورد نیاز است	تقریباً منتفی است
کوره تونلی	ریزدانه سنگ آهن	خیر	بله

جدول شماره ۱: دسته بندی روش های مختلف تولید بر اساس تامین ماده اولیه

همایش چشم انداز صنعت فولاد ارائه گردید.

در ایران سنگ آهن هماتیته کلوخه (درشت دانه) پر عیار (بالای ۶۳٪) به سادگی قابل تامین نیست. لذا روش هایی که این نوع ماده اولیه مورد نیاز است به هیچ وجه توصیه نمی گردند. روش های گازی میدرکس و اچ وای ال نیز بایستی از گندله استفاده نمایند و روش کوره دوار SL/RN نیز نیازمند گندله خواهد بود.

کمبود گندله در سال های اخیر منجر به واردات این ماده اولیه از خارج از کشور شده است. به عنوان مثال شرکت فولاد مبارکه در سال ۱۳۹۳ حدود ۳ میلیون تن گندله وارد کشور نموده است. با وجود سرمایه گذاری زیادی که روی تولید گندله در سال های اخیر شده است همچنان در تولید این

در کوره های الکتریکی را ندارد.

۲. عامل احیاء کننده در روش میدرکس و اچ وای ال گاز طبیعی است که با توجه به وجود منابع آن در ایران یک مزیت محسوب می گردد. در روش SL/RN از ذغال سنگ حرارتی به عنوان ماده احیاء کننده استفاده می شود که در مقایسه با گاز طبیعی گرانتر خواهد بود. مزیت گاز طبیعی حتی در صورت حذف یارانه نیز همچنان باقی می ماند. البته در روش کوره تونلی از هر دو عامل، یعنی گاز طبیعی (جهت ایجاد گرما) و زغالسنگ، به عنوان عامل احیاء کننده استفاده می گردد.