دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی مواد و متالورژی

گزارش پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد با عنوان:

استحصال آهن اسفنجی از سنگ های آهن کم عیار به روش احیای مستقیم توسط زغال سنگ کک نشو

ارائه شده جهت اخذ درجه‌ی کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی مواد، گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی

نقدعلی علوی فرد

اساتید راهنما:

دکتر جلیل وحدتی خاکی

دکتر ابوالفضل باباخانی

مهرماه ۱۳۹۱

بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به

روح پدر شهیدم،

که بزرگترین افتخار زندگی من است. با این که هرگز او را ندیده ام ولی همیشه وجودش را در کنارم احساس کرده ام.

مادر مهربانم،

که هم برایم مادر بوده و هم پدر، مادری که هیچوقت نگذاشت خلا پدری را که هرگز ندیده ام احساس کنم. مادری که در نبود پدر معنی معرفت و مردانگی را خوب یادمان داد.

همسر فداکار م،

که در تمام لحظات سخت زندگی کنارم بوده و تنها انگیزه‌ی من برای این همه تلاش و موفقیت بوده و خواهد بود.

و برادر بزرگوارم،

که الگو و مشوق من در زندگی و در تمام دوران تحصیلی‌ام بوده است.

سپاسگذاری

بدین وسیله وظیفه خود می‌دانم که از راهنمایی‌های اساتید گرانقدر آقایان پرفسور جلیل وحدتی خاکی و دکتر ابوالفضل باباخانی نهایت تشکر و قدردانی را به عمل آورم. از آقای مهندس حسین شالچیان به خاطر همکاری و مسئولیت در آزمایشگاه استخراجی و همچنین از آقای مهندس محمد حسین همتی نیز به خاطر مشاوره هایشان سپاسگزارم. از آقای مهندس علی رفسنجانی عباسی یکی دیگر از مسئولین محترم آزمایشگاه استخراجی که در این مدت زحمات اینجانب را متحمل شده است نیز کمال تشکر را دارم. همچنین جادارد از اساتید ممتحن پروژه، جناب آقایان دکتر احد ضابط و دکتر مهرداد کاشفی نیز کمال تشکر را داشته باشم.

چکیده

در این پژوهش فرایند استحصال آهن از منابع کم عیار فاقد ارزش تجاری مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور سنگ آهن کم عیار (حاوی کمتر از ۴۰٪ آهن) که استفاده از آن در روش‌های رایج تولید آهن مقرون به صرفه نیست، همراه با زغال سنگ کک نشو که در فرایندهای کک‌سازی بدون استفاده است و همچنین مقداری آهک برای انجام جدایش بهتر، انتخاب گردید. فرایند احیا با نسبت‌های مختلف زغال سنگ به سنگ آهن (۱، ۱/۲۵، ۱/۵ ، ۱/۷۵ و ۲ برابر مقدار استوکیومتری زغال سنگ) ، درصدهای مختلف آهک (۴/۵٪ ، ۹٪ و ۲۲/۵٪) و در دماها (۹۵۰ ، ۱۰۰۰ و ۱۰۵۰ درجه‌ی سانتیگراد) و زمان‌های (۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ ساعت) مختلف انجام شد. درصد احیا به روش گراویمتری محاسبه گردید و نمونه‌ی دارای بالاترین درصد احیاء مورد جدایش مغناطیسی قرار گرفت. به کمک مطالعات پراش اشعه‌ی ایکس و شیمی تجزیه‌ی کمی، نوع ترکیبات و درصد آهن فلزی در محصول آهنی نهایی تعیین شدکه میزان احیا ۹۶ درصد، میانگین عیار آهن کل در کنسانتره‌ی محصول ۸۰ درصد، درجه‌ی فلزی شدن ۹۴ درصد و بازیابی ۶۴ درصد به دست آمدند. نتایج آزمایشات نشان داد که می‌توان به روش فوق، ماده‌ی آهنی قابل استفاده در کوره‌های فولادسازی تولید نمود. محصول آهنی این فرایند همچنین می‌تواند در شارژ کوره بلند مورد استفاده قرار گیرد. پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این محصول آهنی در شارژ کوره بلند، علاوه بر افزایش راندمان کوره می‌تواند کاهش مصرف کک را نیز به همراه داشته باشد.

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه..... ۱

۱-۱- مقدمه..... ۲

۱-۲- تاریخچه..... ۵

فصل دوم: مروری بر منابع..... ۷

۲-۱- تعریف کلی فرایند احیای مستقیم اکسیدهای آهن..... ۸

۲-۲- مقایسه‌ی روش سنتی کوره بلند و احیای مستقیم..... ۸

۲-۳- مقایسه‌ی روش احیای مستقیم پایه‌گازی و پایه‌زغالی..... ۹

۲-۴- جدول‌ها و نمودارهای آماری..... ۱۰

۲-۵- روش‌های احیای سنگ آهن توسط زغال سنگ و نگاهی به چند روش مهم و صنعتی..... ۱۳

۲-۵-۱- روش اس.ال/آر.ان..... ۱۷

۲-۵-۲- روش هوگانس..... ۲۰

۲-۵-۳- روش ویبرگ..... ۲۳

۲-۶- نگاهی کلی به پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی احیای مستقیم اکسیدهای آهن توسط زغال سنگ..... ۲۵

۲-۷- بررسی دو نمونه از پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی استحصال آهن از منابع کم عیار..... ۲۷

۲-۸- هدف از انجام این پژوهش..... ۳۳

فصل سوم: مواد و روش تحقیق..... ۳۶

۳-۱- مواد اولیه ۳۷

۳-۲- محاسبات احیا..... ۳۹

فهرست مطالب

۳-۳- روش آزمایش ۴۰

فصل چهارم: نتایج و بحث ٤٣

۴-۱- بررسی تاثیر چند پارامتر اولیه ۴۴

۴-۲- گروه اول آزمایشات و بررسی تاثیر دما و زمان احیا بر میزان احیا ۴۵

۴-۳- گروه دوم آزمایشات و بررسی تاثیر نسبتهای استوکیومتری مقدار زغال سنگ بر میزان احیا ۵۰

۴-۴- بررسی نمونه‌ی دارای بیشترین میزان احیا ۵۱

۴-۵- گروه سوم آزمایشات و بررسی تاثیرآسیاکاری قبل از احیا بر میزان احیا و کیفیت جدایش ۵۴

۴-۶- گروه چهارم آزمایشات و بررسی تاثیر آهک بر میزان احیا و کیفیت جدایش ۵۷

۴-۷- بررسی نمونه‌ی دارای بیشترین میزان احیا ۵۹

فصل پنجم: نتیجه‌گیری ٦٢

۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۳

۵-۲- پیشنهادات ۶۴

فصل ششم: منابع و مآخذ ٦٥

فهرست جدول ها

فصل دوم: مروری بر منابع

جدول۲-۱- مقایسه‌ی تولیدات آهن اسفنجی در سال های اخیر بر اساس نوع کوره‌ی احیا..... ۱۰

جدول۲-۲- برآورد هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برای ظرفیت ۳۰۰ هزار تن آهن اسفنجی در سال (میلیارد تومان)..... ۱۱

جدول۲-۳- کشورهای تولید کننده‌ی آهن اسفنجی در جهان تا آخر نوامبر سال ۲۰۱۱ ..... ۱۲

جدول۲-۴- روش‌های مهم و صنعتی احیای اکسیدهای آهن توسط زغال سنگ..... ۱۵

جدول۲-۵- روش‌های نیمه صنعتی و کم اهمیت احیای اکسیدهای آهن توسط زغال سنگ..... ۱۶

جدول ۲-۶- ویژگی تولید آهن اسفنجی به روش اس.ال/آر.ان در کوره‌ی گردان..... ۱۸

جدول۲-۷- ویژگی یک کوره‌ی گردان به روش اس.ال/آر.ان برای تولید هر تن آهن اسفنجی..... ۲۰

جدول ۲-۸- مواد مصرفی برای تولید هر تن آهن اسفنجی به روش ویبرگ..... ۲۴

جدول‌های مربوط به مقالات بررسی شده در فصل دوم

جدول ۲-۹- آنالیز فلورسانس اشعه‌ی ایکس سنگ آهن اولیه (هماتیت کم عیار)..... ۲۷

جدول ۲-۱۰- آنالیز تقریبی زغال سنگ..... ۲۸

جدول ۲-۱۱- آنالیز فلورسانس اشعه‌ی ایکس سنگ اولیه (سنگ باطله‌ی وانادیوم)..... ۳۰

جدول ۲-۱۲- آنالیز تقریبی زغال سنگ..... ۳۱

جدول ۲-۱۳- برآورد سرمایه‌گذاری ثابت برای ظرفیت ۷۲۰۰۰ تن آهن اسفنجی در سال به روش احیای مستقیم پایه زغالی (میلیارد تومان)..... ۳۴

فهرست جدول ها

جدول۲-۱۴- نرخ مصارف و هزینه‌ی مواد اولیه و عوامل متغیر برای تولید هر تن آهن اسفنجی به روش احیای مستقیم پایه زغالی.....۳۴

جدول ۲-۱۵- هزینه‌ی عوامل اصلی برای تولید هر تن آهن اسفنجی به روش احیای مستقیم پایه زغالی (تومان)...۳۵

جدول ۲-۱۶- برآورد کل سود خالص واحدی با ظرفیت سالانه ۷۲۰۰۰ تن آهن اسفنجی به روش احیای مستقیم پایه زغالی از قرار فروش هر تن ۶۰۰ هزار تومان (تومان).....۳۵

فصل سوم: مواد و روش تحقیق

جدول ۳-۱) الگوی فلورسانس اشعه‌ی ایکس سنگ آهن اولیه (هماتیت کم عیار).....۳۸

جدول ۳-۲) آنالیز تقریبی زغال سنگ کک نشو.....۳۸

جدول ۳-۳) مقدار زغال سنگ مورد نیاز به ازای ضرایب استوکیومتری مختلف.....۳۹

جدول ۳-۴) محاسبه‌ی مقدار مواد فرار و رطوبت زغال سنگ در ضرایب مختلف استوکیومتری.....۴۰

فصل چهارم: نتایج و بحث

جدول ۴-۱) گروه اول آزمایشات در مقدار ثابت ۱/۰۵ استوکیومتری زغال سنگ.....۴۶

جدول ۴-۲) گروه اول آزمایشات در مقدار ثابت ۱/۲۵ استوکیومتری زغال سنگ.....۴۸

جدول۴-۳) گروه دوم آزمایشات.....۵۰

جدول ۴-۴) گروه سوم آزمایشات.....۵۴

جدول ۴-۵) گروه چهارم آزمایشات.....۵۷

فهرست شکل ها و نمودارها

فصل دوم: مروری بر منابع

شکل۲-۱- روند تولیدات آهن اسفنجی بر اساس نوع فرایند تولید..... ۱۱

شکل۲-۲- تجهیزات روند احیا به روش اس.ال/آر.ان..... ۱۹

شکل۲-۳- تجهیزات روند احیا به روش هوگانس..... ۲۱

شکل ۲-۴- ظروفی که در روش هوگانس استفاده می شوند..... ۲۱

شکل۲-۵- واگنی که در روش هوگانس داخل تونل احیا می رود..... ۲۲

شکل۲-۶- ظروف حاوی مخلوط سنگ آهن و زغال سنگ در روش هوگانس..... ۲۲

شکل۲-۷- شمایی دیگر از روند کلی احیا به روش هوگانس..... ۲۲

شکل۲-۸- تجهیزات روند احیا به روش ویبرگ..... ۲۵

شکل ها و نمودارهای مربوط به مقالات بررسی شده در فصل دوم

شکل۲-۹- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس سنگ آهن اولیه (هماتیت کم عیار)..... ۲۷

شکل۲-۱۰- تاثیر دمای احیا بر بازیابی آهن و عیار کنسانتره‌ی مگنتیت..... ۲۸

شکل۲-۱۱- تاثیر نسبت زغال سنگ به سنگ آهن بر بازیابی آهن و عیار کنسانتره‌ی مگنتیت..... ۲۸

شکل۲-۱۲- تاثیر زمان آسیاکاری پس از احیا بر بازیابی آهن و عیار کنسانتره‌ی مگنتیت..... ۲۹

شکل۲-۱۳- تاثیر زمان احیا بر بازیابی آهن و عیار کنسانتره‌ی مگنتیت..... ۲۹

شکل۲-۱۴- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی احیا شده قبل از جدایش مغناطیسی..... ۲۹

شکل۲-۱۵- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی احیا شده پس از جدایش مغناطیسی..... ۲۹

فهرست شکل ها و نمودارها

شکل۲-۱۶- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس سنگ اولیه (سنگ باطله‌ی وانادیوم).....۳۱

شکل۲-۱۷- تاثیر زمان احیا بر بازیابی آهن، مقدار آهن کل و درجه‌ی فلزی شدن ۳۲

شکل۲-۱۸- تاثیر نسبت آهک بر بازیابی آهن، مقدار آهن کل و درجه‌ی فلزی شدن ۳۲

شکل۲-۱۹- تاثیر اندازه ذره‌ی نمونه‌ی احیا شده بر بازیابی آهن، مقدار آهن کل و درجه‌ی فلزی شدن.....۳۲

شکل۲-۲۰- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی احیا شده و قبل از جدایش مغناطیسی.....۳۳

شکل۲-۲۱- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی احیا شده و پس از جدایش مغناطیسی.....۳۳

فصل سوم: مواد و روش تحقیق

شکل۳-۱- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس سنگ آهن اولیه (هماتیت کم عیار).....۳۷

شکل۳-۲- بوته‌ی آلومینایی برای مخلوط سنگ آهن کم عیار و زغال سنگ کک نشو.....۴۱

شکل۳-۳- مجموعه‌ی طراحی شده برای جلوگیری از اکسایش مجدد.....۴۲

شکل۳-۴- بیرون آوردن نمونه و سرد شدن آن در دمای محیط.....۴۲

فصل چهارم: نتایج و بحث

شکل۴-۱- بررسی نحوه‌ی انجام آزمایشات الف) ایزوترم ب) از دمای محیط.....۴۴

شکل۴-۲- تاثیر دما و زمان احیا بر میزان احیا در نسبت ثابت ۱/۰۵ استوکیومتری زغال سنگ.....۴۷

شکل۴-۳- تاثیر دما و زمان احیا بر میزان احیا در نسبت ثابت ۱/۲۵ استوکیومتری زغال سنگ.....۴۹

شکل۴-۴- تاثیر نسبت‌های مختلف استوکیومتری مقدار زغال سنگ بر میزان احیا.....۵۱

شکل۴-۵- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ی احیا شده، قبل از جدایش مغناطیسی (آزمایش ۳۳) ۵۲

فهرست شکل ها و نمودارها

شکل۴-۶- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس قسمت مغناطیسی نمونه‌ی احیا شده، پس از جدایش مغناطیسی (آزمایش ۳۳).....۵۳

شکل۴-۷- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس قسمت غیر مغناطیسی نمونه‌ی احیا شده، پس از جدایش مغناطیسی (آزمایش۳۳).....۵۳

شکل۴-۸- تاثیرآسیاکاری قبل از احیا بر میزان احیا.....۵۵

شکل۴-۹- تاثیرآهک بر میزان احیا.....۵۸

شکل۴-۱۰- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس قسمت مغناطیسی نمونه‌ی احیا شده، پس از جدایش مغناطیسی (آزمایش ۴۹).....۵۹

شکل۴-۱۱- الگوی پراش اشعه‌ی ایکس قسمت غیر مغناطیسی نمونه‌ی احیا شده، پس از جدایش مغناطیسی (آزمایش۴۹).....۶۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در گذشته توسعه‌ی تولید آهن به دو روش انجام می‌گرفته است که روش اصلی تولید در کوره بلند[1] متمرکز بوده است. نیاز به توسعه در کوره بلند ناشی از قیمت بالای زغال سنگ کک شو و واحدهای کک سازی، تجهیزات آماده سازی بار و حجم زیاد عملیات کوره بلند بود. در نتیجه روش کوره بلند و تجهیزات آن برای تولید سالیانه‌ی ۲ تا ۳ میلیون تن اقتصادی گردید. با این شرایط برای روش‌های نوین تولید آهن در مقیاس کوچکتر فرصت مناسبی محیا شد. عمده‌ترین این روش‌ها در دهه‌های گذشته احیای مستقیم[2] کانه‌های آهن توسط گاز طبیعی بوده است. هرچند فرایند احیای مستقیم با گاز طبیعی به علت افزایش قیمت گاز لازم، این فرایندها را در اروپا و آمریکا از نظر اقتصادی با شکست موا جه کرد اما روش احیای مستقیم بر پایه‌ی زغال سنگ جایگزین و همچنان وجود دارد. این روش‌ها نیز به علت مشکلات فنی و اقتصادی از کاربرد محدودی برخوردارند و در مناطقی مقرون به صرفه است که منابع گاز طبیعی در اختیار نبوده و یا حداقل باشد و از طرفی منابع زغال سنگ فراوانی موجود باشد [۱و۲].

بطور کلی افزایش قیمت گاز طبیعی این فرصت را به وجود آورد تا فرایند های نوینی ابداع گردند. اکنون بیشترین تلاش برای توسعه‌ی روش تولید آهن مذاب با استفاده از زغال سنگ به عنوان عامل احیاکننده و همچنین منبع حرارتی به جای روش‌های احیای مستقیم با گاز طبیعی متمرکز شده است[۱و۲].

اما دلایلی که باعث گرایش محققین و شرکت‌ها به این روش ها گردیده اند:

کاهش هزینه‌ی سرمایه‌گذاری: هزینه‌های عمده‌ی تجهیزات روش سنتی تولید آهن خام بسیار بالا است. با استفاده‌ی مستقیم از زغال سنگ در فرایندهای نوین، امکان صرفه جویی در هزینه کوره‌های کک سازی فراهم می‌آید و در بعضی حالات با استفاده ازسنگ آهن دانه‌بندی شده بطور مستقیم هزینه‌های کلوخه سازی حذف می‌گردد [۲].

[1] Blast furnace
[2] Direct reduction

حجم کمتر عملیات: کاهش هزینه‌های عمده، امکان اقتصادی بودن حجم عملیات را فراهم می سازد [۲].

افزایش قابلیت انعطاف واحدهای کوچکتر: توانایی استفاده از زغال سنگ کک نشو، حجم کمتر عملیات و کاهش هزینه‌های ثابت باعث می گرددکه واحدهای کوچکتر انعطاف بیشتری را نسبت به روش سنتی تولید آهن خام درکوره‌ی بلند داشته باشند [۲].

برتری از نظر کمتر آلوده کردن محیط زیست: اجتناب یا حداقل نیاز به کک سازی باعث کاهش آلودگی محیط زیست می‌گردد. همچنین در برخی از فرایندها، کلوخه سازی نیز بخاطر به کار بردن مستقیم سنگ آهن دانه بندی شده حذف می‌گردد. نخستین عامل تشویق ابداع کنندگان روش‌های نوین، حذف و یا کاهش کک مصرفی می باشد که در کوره بلند نه تنها به عنوان سوخت مصرف می گردد بلکه همچنین باعث فراهم آمدن قابلیت نفوذ پذیری گاز در حین نرم شدن و ذوب بار میشود. پارامتر اول توسط زغال سنگ نیز قابل تامین است اما به خاطر تامین عامل دوم توسعه‌دهندگان مجبورند عملیات احیا و ذوب در راکتورهای جداگانه انجام گیرد. در این راستا فناوری های متعددی به کار گرفته شده است که بسیاری از آنها بر مبنای توسعه و ترقی روشهای موجود تولید آهن و فولاد میباشد که در فصل دوم با چند روش مهم و صنعتی آشنا خواهید شد [۲].

افزایش نیاز به سنگ آهن و افزایش سریع قیمت آن در سال‌های اخیر، باعث افزایش تمایل به استفاده از منابع ثانویه‌ی حاوی آهن شده است. در این راستا تحقیقات زیادی در استفاده از منابع ثانویه برای بازیابی آهن انجام شده است. به‌عنوان مثال، می‌توان به روش تشویه‌ی مغناطیس کننده[1]- جدایش مغناطیسی[2] برای بازیابی آهن از لجن قرمز[3] [۳و۴] و استفاده از باطله‌های سنگ آهن [۵] اشاره کرد. در مطالعات دیگر به‌جای تشویه‌ی مغناطیس کننده مستقیما

[1] Magnetizing roasting
[2] Magnetic separation
[3] Red mud

آهن اسفنجی تولید شده است. مثلا تولید آهن اسفنجی با استفاده از خاکستر پیریت[1] [۶] ، لجن قرمز [۷و۸] ، و سرباره‌ی حاصل از پالایش[2] مات مس [۹] ، که در همه‌ی این روش‌ها پس از احیای مستقیم، با انجام جدایش مغناطیسی، آهن اسفنجی به‌دست آمده است.

کانه‌های آهنی در باطله‌های جامد معمولا اندازه‌ی ذره‌ی کوچک و ترکیبات پیچیده‌ای دارند [۱۰] که جدایش را دشوار می‌سازد، اما مشخص شده است که تشویه‌ی مغناطیس کننده یا احیای مستقیم به همراه جدایش مغناطیسی برای بازیابی آهن از باطله‌های جامد موثر بوده است [۳-۹].

علاوه بر باطله‌های جامد حاوی آهن، معادن آهن کم عیار نیز نمونه‌ی دیگری هستند که می‌توان آن‌ها را به عنوان منبعی ثانویه برای تولید آهن درنظر گرفت. همچنین معادن زغال سنگ کک نشو نیز وجود دارند که این نوع زغال سنگ عملا از چرخه‌ی کک سازی خارج است، به همین دلیل ارزش اقتصادی چندانی ندارد. لذا در این پروژه سعی بر این شد تا با استفاده از روش احیای مستقیم و جدایش مغناطیسی، و نیز استفاده از این دو منبع ارزان قیمت، آهن اسفنجی با عیار مطلوب برای استفاده در کوره‌های ذوب و فولادسازی تولید شود. بدین منظور، از کانه‌ی هماتیتی کم عیار (حاوی کمتر از ۴۰٪ آهن)، زغال سنگ کک نشو و مقداری آهک استفاده شد وآهن اسفنجی با درجه‌ی فلزی قابل قبول تولید گردید.

[1] Pyrite cinder
[2] smelting

۱-۲- تاریخچه

این که انسان چگونه دریافت که می‌توان از احیای اکسیدهای آهن، فلز آهن را به دست آورد برای ما مجهول است ولی مدارک قطعی وجود دارد که این فرایند در ۱۴۰۰ سال قبل از میلاد و احتمالا پیشتر از آن معمول بوده است. نظریه‌ای وجود دارد که ادعا می کند احتمالا کشف آهن موقعی انجام گرفته که توده‌هایی از سنگ معدن در میان یا اطراف آتش سوزی بزرگ جنگل که باد قوی به آن دامن می زده، قرار گرفته و بسیار داغ شده است و در مراحل بعدی وقتی چوب تبدیل به زغال شده بعضی از واکنش های شیمیایی، انجام گرفته است [۱۱]:

$$Fe_2O_3 + 3C = 2Fe + 3CO \quad (۱-۱)$$

$$Fe_3O_4 + 4C = 3Fe + 4CO \quad (۱-۲)$$

آهن فلزی که در اثر احیای اکسیدهای آهن به دست آمده ، ذوب شده و در بین خاکسترها کشف شده است. نظریه‌ی دیگری نیز وجود دارد این که ممکن است تکه‌های سنگ معدن آهن همراه با سایر سنگها به داخل کوره های سفال‌گری راه پیدا کرده و در این کوره ها در اثر حرارت حاصل از زغال چوب ، آهن احیا شده و سپس ذوب شده و پس از سرد شدن آهن فلزی به دست آمده است [۱۱]. بعد از اینکه احیای سنگ‌های آهن کشف شد و فلز آهن به دست آمد، استفاده از این روش و از این فلز از بیش از ۳۰۰۰ سال پیش به طور سریع در جهان گسترده شد تا این که با پیشرفت صنعت و نیاز بیشتر به آهن و از طرفی کشف فلز فولاد که از ترکیب آهن و کربن می باشد، نیاز به آهن بیشتر شد و بشر به فکر صنعتی کردن این فرآیند در ابعاد وسیع افتاد تا بر نیازهایش تا حدودی غلبه کند و این گونه شد که روشهای احیای اکسیدهای آهن یکی پس از دیگری کشف و استفاده شدند [۱۲و۱۳]. در سال ۱۹۰۹ میلادی احیای اکسیدهای آهن در کشور سوئد با روش هوگانس[1] که در این روش عامل احیا کننده زغال سنگ

[1] Houganes

است، برای اولین بار تجاری شد و در مقیاس صنعتی شروع به تولید کرد. در سال ۱۹۲۵ در آلمان با روش نورسک-استال[۱] و همچنین با روش ویبرگ[۲] در سال ۱۹۳۲ (احیا با زغال سنگ) و۱۹۵۲ (احیا با کک) در سوئد ارتقا پیدا کرد و تا امروزه روش‌های زیادی برای احیای سنگ‌های آهن وارد صنعت شده اند که برخی از آنها بر پایه‌ی گاز[۳] مانند میدرکس[۴] و قایم، و برخی هم بر پایه‌ی زغال سنگ[۵] ازجمله هوگانس، ویبرگ و اس.ال/آر.ان[۶] می باشند [۱و۲و۱۳].

[2]Norskstahl
[2] Wiberg
3 Gas based
[4] Midrex
[5] Coal based
6 Republic Steel - National Lead (RN) , Steco – Lurgi (SL)

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱- تعریف کلی فرآیند احیای مستقیم اکسیدهای آهن

حذف اکسیژن از سنگ های معدنی آهن بدون اینکه به ذوب کردن نیاز باشد. در احیای پایه زغالی، اکسیژن با کربن موجود در زغال سنگ ترکیب شده و با تشکیل شدن گاز مونو اکسید کربن، حذف می شود [۱۲و۱۳].

بعد از اینکه اکسیدهای آهن احیا شدند محصولی که به دست می آید به دو صورت است یا به صورت گندله های مستقیم احیا شده[۱] و یا به صورت بریکت های داغ آهنی[۲] می باشد. که از این محصولات به دست آمده به عنوان ماده‌ی اولیه‌ی کوره های قوس الکتریک، در برخی موارد به عنوان شارژ کوره بلند و گاهی هم به عنوان شارژ کوره‌ی پایه اکسیژن[۳] استفاده می شود [۱۲و۱۳].

۲-۲- مقایسه ی روش سنتی کوره بلند و احیای مستقیم

برای تولید فولاد در جهان دو روش عمده وجود دارد که یکی از آنها روش سنتی کوره بلند-کانورتور است و دیگری فرآیند احیای مستقیم می باشد که در صنعت شامل مراحل زیر می باشد:

- کوره بلند: کک سازی - آگلومراسیون - کوره بلند کانورتور - ریخته گری مداوم شمش
- احیای مستقیم: گندله سازی - احیای مستقیم - کوره ی قوس الکتریکی - ریخته گری مداوم شمش

این دو روش تفاوت هایی دارند که باعث برتری فرآیند احیای مستقیم نسبت به کوره بلند است [۱و۲و۱۲].

- در روش احیای مستقیم، اکسید آهن با عامل احیا کننده (جامد یا گاز) واکنش می دهد و محصول آهن جامد به دست می دهد ولی محصول بدست آمده از کوره بلند بصورت مذاب است.

-کوره بلند توجیه اقتصادی مناسب تری دارد ولی احیای مستقیم نیاز به سرمایه گذاری بالا ندارد.

-کوره بلند محدودیت های زیست محیطی بیشتری نسبت به احیای مستقیم دارد.

[1] Direct reduced iron (DRI)
[2] Hot briquetted iron (HBI)
[3] Basic oxygen furnace (BOF)