

مطالعه تطبیقی فرایندهای تولید آهن اسفنجی

www.ketab.ir

گردآورندگان:

دکتر رضا تقی آبادی

دکتر محمدحسین شاعری

اعضای هیات علمی گروه مهندسی مواد و متالورژی - دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

سرشناسه	: تقی‌آبادی، رضا، ۱۳۵۴ -
عنوان و نام پدیدآور	: مطالعه تطبیقی فرایندهای تولید آهن اسفنجی / گردآورندگان رضا تقی‌آبادی، محمدحسین شاعری.
مشخصات نشر	: قزوین: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	: ۲۳۲ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۳۲-۹۲-۴
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۲۳۱.
موضوع	: آهن اسفنجی
موضوع	: Iron, Sponge
موضوع	: آهن اسفنجی -- ذوب و استخراج
موضوع	: Iron, Sponge -- Metallurgy
شناسه افزوده	: شاعری، محمدحسین، ۱۳۶۲ -
شناسه افزوده	: دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)
شناسه افزوده	: Imam Khomeini International University
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۸ م۶/ت۷۲۷/ TN
رده بندی دیویی	: ۶۶۹/۱۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۵۶۷۱۳۳۳

عنوان : مطالعه تطبیقی فرایندهای تولید آهن اسفنجی

مؤلف : رضا تقی‌آبادی، محمدحسین شاعری

ناظر فنی : حمید کلهر

طرح جلد : داود دانشمند

شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۵۰۳۲-۹۴-۴

نوبت چاپ : اول ۱۳۹۸

قیمت : ۴۰،۰۰۰ تومان

شمارگان : ۵۰۰ جلد

ناشر : انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی «ره» قزوین

قزوین، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، تلفن ۳۳۹۰۱۴۲۶ - ۰۲۸

کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است.

مسئولیت حقوقی و قانونی محتوای کتاب بر عهده صاحب/صاحبان اثر است.

یکی از شاخص‌های اصلی توسعه‌یافتگی و رشد اقتصادی کشورها، میزان تولید و مصرف سرانه فولاد است. بر این اساس، قدرت‌های صنعتی و کشورهای توسعه یافته، خودکفایی در صنعت فولاد را حتی در صورت عدم برخورداری از منابع اولیه، جزء اولویت‌های صنعتی و زیربنایی خود قرار داده‌اند. جمهوری اسلامی ایران نیز در راستای توسعه‌ی همه‌جانبه و نجات از اقتصاد تک‌محصولی، توجه و اهتمام ویژه‌ای به رشد و توسعه صنعت فولاد داشته و به‌واسطه احداث و توسعه واحدهای فولادسازی، طی سالیان اخیر ارتقاء چشم‌گیری در رده‌بندی تولیدکنندگان فولاد جهان داشته است. بر اساس گزارش انجمن جهانی آهن و فولاد، میزان تولید فولاد ایران در هشت ماهه نخست سال ۲۰۱۷ افزایش ۱۵/۷ درصدی را تجربه نموده که در مقایسه با رشد ۴/۹ درصدی تولید جهانی فولاد، بسیار قابل توجه است. این افزایش در شرایطی حاصل شده است که براساس راهبردهای مدون دولت مقرر شده است که با راه‌اندازی طرح‌های جدید و اجرای طرح‌های توسعه‌ای، ظرفیت تولید فولاد کشور تا پایان سند چشم‌انداز بیست ساله به ۵۵ میلیون تن برسد.

لازمه تحقق اهداف سند چشم‌انداز ۲۰ ساله در صنعت فولاد، تکمیل زنجیره فولاد و تامین پایدار مواد اولیه مورد نیاز با قیمت مناسب است اما بررسی ظرفیت‌های فعلی در چهار بخش گندله‌سازی، احیای مستقیم، ذوب و نورد حاکی از آن است که اکنون سرمایه‌گذاری و توسعه در دو بخش گندله‌سازی و تولید آهن اسفنجی، به‌صورت متوازن انجام نشده است. با این حال به‌واسطه برنامه‌ریزی و حمایت‌های دولت طی سالیان اخیر، تعداد واحدهای فعال در زمینه تولید آهن اسفنجی رشد قابل ملاحظه‌ای داشته است و با توجه به دسترسی به منابع گسترده گاز طبیعی و معادن غنی سنگ آهن، ادامه سیاست‌های حمایتی دولت و افزایش روزافزون تقاضا برای مواد اولیه فولادسازی، پیش‌بینی می‌شود که روند توسعه این واحدها طی سالیان آتی همچنان ادامه یابد و جمهوری اسلامی ایران جایگاه نخست خود در فهرست تولیدکنندگان بزرگ آهن اسفنجی در سطح جهان را بازپس گیرد.

با توجه به اهمیت استراتژیک آهن اسفنجی و جایگاه ویژه جمهوری اسلامی ایران در تولید جهانی این ماده، افزایش سطح آگاهی و ارتقاء علمی دانشجویان، محققین و صنعت‌گران محترم

در زمینه فناوری و مزایا و معایب فرایندهای تولید این محصول بسیار با اهمیت است. بررسی مراجع موجود حاکی از نگارش چند کتاب به زبان فارسی در زمینه تولید آهن اسفنجی است که عمدتاً بر مفاهیم پایه و فناوری تولید آهن اسفنجی تمرکز نموده‌اند. این در حالی است که تاکنون بیش از ۳۰ فرایند مختلف تولید آهن اسفنجی در سطح جهان به ثبت رسیده است و آگاهی از نحوه عملکرد، میزان بازدهی و سرنوشت فرایندهای مذکور می‌تواند کمک شایانی به توسعه کمی و کیفی وضعیت موجود و محصولات تولیدی نماید. بر این اساس در کتاب حاضر سعی شده است عملکرد فرایندهای تولید آهن اسفنجی به صورت تطبیقی مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور پس از معرفی آهن اسفنجی و ویژگی‌های کلیدی این محصول، جنبه‌های ترمودینامیکی و سینتیکی فرایندهای تولید آهن اسفنجی و سازوکارهای حاکم بر احیای اکسید آهن در هر یک از فرایندها مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه روند توسعه و آخرین وضعیت فرایندهای تولید آهن اسفنجی بررسی شده و وضعیت تولید آهن اسفنجی در ایران و سایر کشورهای جهان به صورت تطبیقی مورد مطالعه قرار گرفته است. امیدواریم که اطلاعات ارائه شده سودمند باشد. با وجود کوشش بسیار زیادی که برای رفع ایرادات نگارشی در متن کتاب انجام شده است، این اثر نیز به مانند هر اثر مکتوب دیگر، خالی از اشکال نبوده و از کارشناسان، صاحب‌نظران و همایند محترم تقاضا می‌شود نظرات و پیشنهادها را ارزشمند و سازنده خود در مورد این کتاب را از طریق پست الکترونیکی taghjabadi@ikiu.ac.ir منعکس فرمایند.

در پایان، ضمن تشکر از داوران گرانقدر، از جناب آقای دکتر بیدختی مدیر محترم مرکز چاپ و نشر دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) و جناب آقای کلهر مدیر مسئول محترم این مرکز که امکان چاپ کتاب را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می‌نمایم. از سرکار خانم مهندس جادریاف زاده که ویراستاری کتاب را متقبل شده‌اند نیز سپاسگزاری می‌شود.

دکتر رضا تقی‌آبادی

دکتر محمد حسین شاعری

فهرست مطالب

فصل اول - مبانی احیای مستقیم.....	۱
۱-۱- تاریخچه‌ی احیای مستقیم.....	۲
۲-۱- الزامات سنگ آهن مورد استفاده در فرایند تولید آهن اسفنجی.....	۲
۱-۲-۱- الزامات شیمیایی.....	۳
۲-۲-۱- الزامات فیزیکی.....	۵
۳-۲-۱- الزامات احیاءپذیری.....	۱۰
۳-۳-۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آهن اسفنجی.....	۱۲
۱-۳-۱- درجه فلز شدن.....	۱۴
۲-۳-۱- مقدار کربن.....	۱۵
۳-۳-۱- مقدار پس‌کانش.....	۱۶
۴-۳-۱- ناخالصی‌ها و عناصر باقیمانده.....	۱۶
۵-۳-۱- مقدار نرمه آهن اسفنجی.....	۱۶
۶-۳-۱- استحکام مکانیکی.....	۱۷
۴-۱- آهن اسفنجی به‌عنوان جایگزین ضایعات فولادی.....	۱۷
۵-۱- محدودیت‌های استفاده از آهن اسفنجی.....	۲۶
۶-۱- عوامل موثر بر پایداری فیزیکی و شیمیایی آهن اسفنجی.....	۲۷
فصل دوم: ترمودینامیک و سینتیک احیای اکسید آهن.....	۳۱
۱-۲- نمودار الینگهام.....	۳۱
۲-۲- سایر داده‌های ترمودینامیکی.....	۳۳
۳-۲- جنبه‌های سینتیکی.....	۳۴
۴-۲- سیستم‌های بر پایه استفاده از احیا کننده‌های گازی و جامد.....	۳۸

- ۴۰ ۵-۲- مراحل احیای اکسید آهن
- ۴۱ ۵-۲-۱- انتقال جرم از میان لایه گازی راكد
- ۴۱ ۵-۲-۲- انتقال جرم بين سطح اكسيد جامد و فصل مشترك واكنش
- ۴۱ ۵-۲-۳- حذف اكسيژن در فصل مشترك واكنش شيميايي
- ۴۲ ۵-۲-۴- جوانه‌زایی و رشد آهن
- ۴۲ ۵-۲-۶- سازوکار احیای اكسيد آهن در فرایندهای پایه زغالی
- ۴۴ ۵-۲-۷- سازوکار احیای اكسيد آهن در فرایندهای پایه گازی
- ۴۴ ۵-۲-۷-۱- احیای اكسيد آهن متراكم
- ۴۷ ۵-۲-۷-۲- احیای اكسيد آهن متخلخل
- ۴۹ ۵-۲-۸- واكنش بودوارد
- ۵۰ ۵-۲-۸-۱- تأثیر فشار بر روی واكنش بودوارد
- ۵۱ ۵-۲-۸-۱-۱- رسوب كربن
- ۵۴ ۵-۲-۸-۲- احیا با هیدروژن
- ۵۵ ۵-۲-۸-۳- احیا با مخلوط هیدروژن- مونو اكسيد كربن
- ۵۸ ۵-۲-۹- نرخ احیای اكسيد آهن
- ۵۸ ۵-۲-۹-۱- کلیات
- ۵۹ ۵-۲-۹-۲- قابلیت احیای سنگ‌های معدن آهن
- ۶۳ ۵-۲-۹-۳- تغییرات ساختاری در حین احیا
- ۶۵ ۵-۲-۹-۴- مراحل كنترل كننده نرخ واكنش‌های احیا
- ۶۶ ۵-۲-۹-۴-۱- كنترل لایه مرزی
- ۶۸ ۵-۲-۹-۴-۲- كنترل واكنش فصل مشترك
- ۶۸ ۵-۲-۹-۴-۳- كنترل نفوذ گاز
- ۶۹ ۵-۲-۹-۴-۴- كنترل آمیخته
- ۷۰ ۵-۲-۹-۵- مراحل نهایی احیا
- ۷۱ ۵-۲-۹-۶- نقش خواص گندله
- ۷۲ ۵-۲-۹-۷- تأثیر تركیب و فشار گاز

۷۳.....۸-۹-۲- احیا با کربن جامد.....

فصل سوم: فرایندهای احیای مستقیم پایه زغالی.....۷۷

۷۷.....۱-۳- فرایندهای احیای مستقیم پایه زغالی با استفاده از کوره پخت دوار.....

۷۸.....۱-۱-۳- طبقه‌بندی گسترده فرایندهای احیای مستقیم.....

۸۰.....۲-۱-۳- کلیات فرایند احیای مستقیم در کوره‌ی پخت دوار.....

۸۳.....۳-۱-۳- واکنش‌های احیای مستقیم.....

۸۵.....۴-۱-۳- تأسیسات/تجهیزات واحدهای احیای مستقیم با کوره پخت دوار.....

۸۶.....۵-۱-۳- نقاط قوت و ضعف احیای مستقیم کوره دوار.....

۹۰.....۶-۱-۳- سایر ویژگی‌های فرایندهای احیای مستقیم در کوره پخت دوار.....

۹۲.....۷-۱-۳- کاربرد تجاری فرایندهای احیای مستقیم کوره دوار.....

۹۵.....۸-۱-۳- بررسی فرایندهای احیای مستقیم پایه زغالی.....

۹۵.....۱-۸-۱-۳- SI/RN.....

۹۷.....۲-۸-۱-۳- فرایند کودیر.....

۱۰۱.....۳-۸-۱-۳- Accar.....

۱۰۴.....۴-۸-۱-۳- DRC.....

۱۰۷.....۵-۸-۱-۳- TDR.....

۱۰۹.....۶-۸-۱-۳- SIIL.....

۱۱۰.....۷-۸-۱-۳- جیندال.....

۱۱۳.....۹-۱-۳- نکات بارز احیای مستقیم کوره دوار.....

۱۱۳.....۱-۹-۱-۳- تحلیل فرایند.....

۱۱۶.....۲-۹-۱-۳- مشخصه‌های مواد خام.....

۱۲۸.....۱۰-۱-۳- فرایندهای کوره دوار برای احیای اکسیدهای آهن زائد.....

۱۲۸.....۱-۱۰-۱-۳- فرایند کاوازاکی.....

۱۲۹.....۲-۱۰-۱-۳- کوهو.....

۱۳۱.....۳-۱۰-۱-۳- CRIMM.....

- ۱۳۴ ۲-۳- سایر فرایندهای احیای مستقیم پایه زغالی
- ۱۳۴ ۱-۲-۳- فرایندهای بر پایه کوره‌ی اجاقی دوار (RHF)
- ۱۳۷ ۱-۲-۳-۱- فرایند اینمکتو
- ۱۴۲ ۲-۳-۱-۲- فرایند فستمت
- ۱۵۰ ۳-۲-۱-۳- فرایند کامت
- ۱۵۶ ۳-۲-۱-۴- فرایند مائومی (آهن خشک)
- ۱۵۹ ۳-۲-۱-۵- IT Mk3
- ۱۶۳ ۳-۲-۲- فرایندهای بر پایه قرع عمودی
- ۱۶۳ ۳-۲-۱- فرایند کینگلار-متور
- ۱۶۶ ۳-۲-۳- فرایندهای بر اساس کوره‌های اجاقی چندگانه
- ۱۶۶ ۳-۲-۱-۳- فرایند پریماس
- ۱۷۱ ۳-۲-۴- احیای مستقیم پایه زغالی در کوره‌های تونلی (فرایند هوگاناس)
- ۱۷۴ ۳-۲-۵- فرایندهای بستر سیال
- ۱۷۷ فصل چهارم: احیای مستقیم با استفاده از گاز
- ۱۷۷ ۴-۱- گاز طبیعی چیست؟
- ۱۷۸ ۴-۲- پیدایش گاز طبیعی
- ۱۷۹ ۴-۳- استفاده از گاز طبیعی در احیای مستقیم
- ۱۸۲ ۴-۴- اصول احیای مستقیم پایه گازی
- ۱۸۳ ۴-۵- بخش‌های اصلی کارخانه‌های احیای مستقیم پایه گازی
- ۱۸۳ ۴-۵-۱- کوره احیا
- ۱۸۴ ۴-۵-۲- بخش شکست گاز
- ۱۸۵ ۴-۵-۳- بخش تصفیه گاز
- ۱۸۵ ۴-۶- فرایندهای قرع
- ۱۸۵ ۴-۶-۱- HYL (امروزه به نام HYL I)
- ۱۸۸ ۴-۷- فرایندهای بستر سیال

۱۸۸	۴-۷-۱- فیور
۱۹۰	۴-۷-۲- فاینمت
۱۹۶	۴-۷-۳- فرایند HIB
۱۹۷	۴-۷-۴- سیرکورد
۲۰۱	۴-۸-۱- فرایندهای کوره استوانه‌ای
۲۰۲	۴-۸-۱-۱- HYL III
۲۰۷	۴-۸-۲- HYL همراه با خود شکست (HYLSA IV M)
۲۱۲	۴-۸-۳- فرایند انرژاین
۲۱۲	۴-۸-۴- توسعه‌ی روش آرکس برای شکست خودکار گاز
۲۱۴	۴-۸-۵- میدرکس
۲۲۴	۴-۸-۶- مقایسه‌ی میدرکس و HYL
۲۲۴	۴-۸-۷- فرایند دانارکس
۲۲۸	۴-۸-۸- آرمکو
۲۲۹	۴-۸-۹- پیورفر
۲۳۱	۴-۸-۱۰- NSC-DR
۲۳۵	۴-۸-۱۱- احیای مستقیم قائم
۲۳۷	۴-۸-۱۲- احیای مستقیم به روش برد
۲۳۸	۴-۸-۱۲-۱- گاز فرایند
۲۴۱	۴-۸-۱۲-۲- عملیات احیا
۲۴۲	۴-۹- افزایش بازدهی کوره‌های استوانه‌ای احیای مستقیم

فصل پنجم: احیای مستقیم پایه گازی بدون استفاده از گاز طبیعی..... ۲۴۷

۲۴۷	۵-۱- گاز تولید شده از زغال
۲۴۹	۵-۲- واکنش‌های تولید گاز از زغال
۲۵۰	۵-۳- فناوری‌های موجود برای تولید گاز زغال
۲۵۴	۵-۳-۱- مولد گاز لورگی

- ۲۵۴ ۵-۳-۲- فرایند وینکلر
- ۲۵۴ ۵-۳-۳- گازساز کوپر-توترک (KT)
- ۲۵۵ ۵-۳-۴- گاز تکزاکو (GE)
- ۲۵۶ ۵-۳-۵- گازساز زغال نیل
- ۲۵۷ ۵-۳-۶- فرایند ساسول-لورگی
- ۲۵۸ ۵-۴- تمیزسازی و مناسب سازی گاز مصنوعی
- ۲۵۸ ۵-۵- الزامات کیفیت گاز برای احیای مستقیم در کوره های استوانه ای

فصل ششم: استفاده از آهن اسفنجی در چدن سازی و فولادسازی ۲۶۳

- ۲۶۵ ۶-۱- خواص آهن اسفنجی
- ۲۶۶ ۶-۲- استفاده از آهن اسفنجی در کوره بلند
- ۲۷۲ ۶-۳- استفاده از آهن اسفنجی به عنوان ماده تغذیه در فولادسازی
- ۲۷۲ ۶-۳-۱- استفاده از آهن اسفنجی در کنورتورهای اکسیژنی
- ۲۷۷ ۶-۳-۲- استفاده از آهن اسفنجی در کوره قوس الکتریکی
- ۲۸۱ ۶-۳-۳- عوامل مؤثر در استفاده بهینه از آهن اسفنجی در کوره قوس الکتریکی
- ۲۸۱ ۶-۳-۳-۱- اندازه کوره
- ۲۸۲ ۶-۳-۳-۲- طبقه بندی کوره
- ۲۸۲ ۶-۳-۳-۳- قابلیت کوره
- ۲۸۳ ۶-۳-۳-۴- ویژگی های ابزاری الکتریکی
- ۲۸۳ ۶-۳-۳-۵- آستر دیرگداز
- ۲۸۴ ۶-۳-۳-۶- روش عملی شارژ و ذوب آهن اسفنجی
- ۲۸۴ ۶-۳-۳-۷- تعیین نسبت قراضه و آهن اسفنجی
- ۲۸۸ ۶-۳-۳-۸- عملکرد کوره با شارژ پیوسته آهن اسفنجی
- ۲۹۱ ۶-۳-۳-۹- انرژی مورد نیاز
- ۲۹۳ ۶-۳-۳-۱۰- حجم سرباره
- ۲۹۴ ۶-۳-۳-۱۱- مصرف الکترود

۲۹۶	۱۲-۳-۳-۶ - مصرف دیرگداز
۲۹۶	۱۳-۳-۳-۶ - نرخ شارژ
۲۹۷	۱۴-۳-۳-۶ - اکسیژن در فولاد و مصرف اکسیژن زدا
۲۹۷	۱۵-۳-۳-۶ - بازدهی فلزی
۴-۳-۶	توسعه‌های اخیر فولادسازی با کوره‌ی قوس الکتریکی با استفاده از آهن اسفنجی
۲۹۸	
۲۹۹	۱-۴-۳-۶ - فرایندهای نوظهور
۲۹۹	۲-۴-۳-۶ - فولادسازی پیوسته
۳۰۲	۳-۴-۳-۶ - فرایند کنارک
۳۰۴	۴-۴-۳-۶ - فرایند قوس در کنورتور
۳۰۵	۵-۴-۳-۶ - کوره با مصرف بهینه انرژی
۳۰۸	۶-۴-۳-۶ - کوره‌ی Fuchs
۳۰۸	۷-۴-۳-۶ - فرایند K-ES
۳۰۹	۸-۴-۳-۶ - فرایند Fasteel
۳۱۰	۵-۳-۶ - استفاده از آهن اسفنجی داغ در فولادسازی
۳۱۲	۶-۳-۶ - استفاده از آهن اسفنجی / HBI در کوره‌های القایی
۳۱۵	۷-۳-۶ - استفاده از آهن اسفنجی در تولید چدن
۳۱۵	۸-۳-۶ - استفاده از آهن اسفنجی / خسته گرم به‌عنوان خنک‌کننده مذاب در کوره قوس الکتریکی، کوره کوبل و کنورتورهای اکسیژنی و پاتیل‌های حمل فولاد مذاب
۳۱۷	فصل هفتم: مطالعه تطبیقی فرایندهای تولید آهن اسفنجی
۳۳۱	مراجع