۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

1928
K.N.Toosi University of Technology

صنعت آهن و فولاد
از معدن تا محصول

حسن قاسم‌زاده

صنعت آهن و فولاد از معدن تا محصول حسن قاسم‌زاده

۵۵۳

Iron and Steel Industry
from Mine to Product

Hasan Ghasemzadeh

بدون تردید یکی از تولیداتی که چهره زندگی بشر را دگرگون کرده، فولاد است. گرچه تولید این محصول در چند مرحله صورت می‌گیرد و تولید آن نیازمند متخصصان مختلف در گرایش‌هایی نظیر زمین‌شناسی، معدن، عمران، مکانیک، متالورژی، برق و صنایع است؛ کتاب‌های موجود در این زمینه اغلب به قسمتی از فرایند تولید فولاد پرداخته و کمتر ارتباط با سایر تخصص‌ها را دربرمی‌گیرند.

کتاب پیش رو یک آشنایی با بخش‌های مختلف فرآیند تولید آهن و فولاد از معدن تا محصول نهایی است؛ به گونه‌ای که یک دید کلی به خواننده ارائه می‌کند. مطالعه این اثر می‌تواند برای آشنایی دانشجویان با صنعت فولاد سازی ایدئال باشد. از سوی دیگر بررسی ارتباط فرایندهای تولید فولاد در این کتاب می‌تواند کمک مفیدی برای مهندسان طراح، مجریان پروژه‌ها، بازرگانان و مدیران معادن و کارخانه‌های تولید کنسانتره، گندله، آهن اسفنجی، فولاد و محصولات فولادی به حساب می‌آید.

ISBN : 978-622-5234-36-9

انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
شابک: ۹-۳۶-۵۲۳۴-۶۲۲-۹۷۸

صنعت آهن و فولاد

از معدن تا محصول

حسن قاسم‌زاده

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

شماره ۵۵۳

سرشناسه : قاسم‌زاده، حسن، ۱۳۴۹-
عنوان و نام پدیدآور : صنعت آهن و فولاد از معدن تا محصول / حسن قاسم‌زاده.
مشخصات نشر : تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری : ۱۸۴ص.: مصور(رنگی) ،جدول.
فروست : دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۵۵۳
شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۵۲۳۴-۳۶-۹ ISBN: 978-622-5234-36-9
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه: ۴۱۵-۴۱۸.
موضوع : فولاد -- صنعت و تجارت/ Steel industry and trade.
موضوع : فولاد -- صنعت و تجارت
موضوع : فولادسازی/ Steel casting.
رده بندی کنگره : ۵/HD۹۵۱۰
رده بندی دیویی : ۳۳۸/۴۷۶۶۹۱۴۲
شماره کتابشناسی ملی : ۹۶۶۳۶۸۸

ناشر : دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدّین طوسی press.kntu.ac.ir
عنوان : صنعت آهن و فولاد از معدن تا محصول
مؤلف : دکتر حسن قاسم‌زاده
نوبت چاپ : اول
تاریخ انتشار : تیر ۱۴۰۳
شمارگان : ۲۰۰ جلد
سر ویراستار : دکتر سید حجت الحق حسینی
چاپ و صحافی : آرمانسا
قیمت : ۴۱۲,۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی- شماره ۴۷۰- انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدّین طوسی- تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲
میدان ونک – خیابان ولی‌عصر(عج)- بالاتر از چهارراه میرداماد- شماره ۶۲۶- مرکز پخش و فروش انتشارات
تلفن ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه :press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): press.kntu.ac.ir

دیباچه

ایران با برخورداری از ۸۱ نوع ماده معدنی در شمار ۱۰ کشور شاخص جهان در بین کشورهای دارای منابع معدنی است. بر مبنای ارزش معادن، ایران با بیش از ۲۷ تریلیون دلار منابع طبیعی و معدنی اعم از نفت، گاز، زغال‌سنگ، سنگ‌آهن، کروم، مس، منگنز، روی، سرب، سولفور و... رتبه پنجم دنیا را پس از کشورهای روسیه، آمریکا، عربستان سعودی و کانادا در اختیار دارد. ایران بیش‌ترین ذخایر آهن خاورمیانه را دارا است. درحال حاضر حدود چهار میلیارد تن ذخیره قطعی آهن در ایران شناسایی شده است که نیاز کارخانجات تولید فولاد را تا سال ۱۴۲۰ تأمین می‌کند. در حال حاضر سالانه حدود ۱۰۵ میلیون تن سنگ آهن استخراج می‌شود. با توجه به رشد تولید فولاد، ایران می‌بایست در زمینه اکتشاف، استخراج معادن آهن و تولید فولاد برنامه‌ریزی کرده و سرمایه‌گذاری کند.

با قیمت مناسب، فولاد دارای مقاومت بالایی نسبت به دیگر موارد مشابه است؛ از این‌رو از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است. فولاد دارای دوام خوب بوده و در عین حال قابلیت بازیافت دارد. قابلیت شکل‌پذیری فولاد، آن را قابل استفاده در صنایع مختلف و به اشکال متفاوت کرده است. پژوهش‌های بسیار در زمینه فولاد باعث بهبود کیفیت آن شده و هر روز محصولات جدید با مشخصات بهتر روانه بازار می‌گردد. پیدایش نسل جدید فولادهای پرمقاومت نوع نگرش مهندسان را در طراحی‌ها عوض کرده است. فولادهای پیشرفته با استحکام بالا سبب کاهش وزن فولاد مصرفی و کاهش مصرف انرژی می‌شوند.

فولاد مهم‌ترین ماده در ساخت و سازها است به‌گونه‌ای که امروزه بیش از ۳۵۰۰ نوع فولاد با خواص مختلف تولید شده و استفاده می‌شود. دنیای مهندسی و مدرن بدون فولاد نمی‌تواند تصور شود. مزایای فولاد سبب رشد جهانی تولید فولاد شده است. نرخ رشد تولید فولاد ایران در سال‌های اخیر از نرخ رشد تولید جهانی بیش‌تر بوده است. ایران هم اکنون دارای ۴۵ میلیون تن ظرفیت تولید فولاد بوده و با تولید بیش از ۳۲ میلیون تن فولاد در سال ۱۴۰۲ دارای رتبه ۱۰ در میان تولیدکنندگان فولاد جهان است. گرچه در سال‌های آتی شاهد رشد جزئی در بازار مصرف جهانی فولاد هستیم؛ ایران پرچم‌دار رشد تولید فولاد در جهان بوده و هدف گذاری برای ظرفیت تولید ۵۵ میلیون تن فولاد در سال ۱۴۰۴ است. هم اکنون حدود ٪۷۰ مصرف فولاد متعلق به کشورهای آسیایی بوده و در این میان ایران دارای رتبه پانزدهم در میان کشورهای صادرکننده انواع محصولات فولادی است.

به دلیل صرف انرژی زیاد در تولید فولاد و همچنین ایجاد آلاینده‌ها به خصوص گازهای گلخانه‌ای، امروزه از واژه فولاد سبز جهت کاهش ایجاد آلاینده‌ها در تولید فولاد استفاده می‌شود. همچنین با جهت‌گیری تولید در کشورهای صنعتی به سمت فولادهای پیشرفته با استحکام بالا، افزایش دانش عمومی و تخصصی و همچنین انجام پژوهش‌ها در زمینه فولاد ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر ضایعات تولید فولاد نظیر سرباره‌های کوره بلند و کوره قوس الکتریکی نیز یکی از معضلات این صنعت بوده که راه‌کارهای مناسبی برای آن توصیه شده و به‌کار گرفته می‌شود. در تغییرات انجام شده در این ویرایش، افزون بر به‌روز کردن محتوای کتاب به این مهم نیز پرداخته شده است.

از آنچه بیان شد اهمیت صنعت فولاد در کشور به خوبی نمایان است. تولید فولاد در چندین مرحله انجام شده و نیاز به متخصصان گرایش‌های مختلف نظیر زمین‌شناسی، معدن، عمران، مکانیک، متالورژی، برق، صنایع و ... دارد؛ کتاب‌های موجود در این زمینه به صورت رایج به قسمتی از فرایند تولید فولاد پرداخته و تخصصی هستند. کتاب پیش‌رو با هدف آشنایی با قسمت‌های مختلف فرایند تولید فولاد از معدن تا محصول نهایی نگاشته شده به گونه‌ای که یک دید کلی از این فرایند به خواننده ارائه کرده و دانش عمومی وی را در این زمینه افزایش می‌دهد. مطالعه این کتاب می‌تواند کمک خوبی برای آشنایی دانشجویان و مهندسان با صنعت فولاد باشد. همچنین این کتاب با ارائه ارتباط فرایندهای مختلف تولید آهن و فولاد می‌تواند برای مهندسان و مدیران فعال در این صنعت مفید باشد.

ویرایش اول این کتاب در انتشارات لوح فکر، با نام «آشنایی با صنعت آهن و فولاد» چاپ شد. ویرایش جدید با عنوان «صنعت آهن و فولاد از معدن تا محصول» توسط انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد. مؤلف خود واقف است که این اثر علمی و کاربردی بدون لغزش و خطا نیست. از این‌رو از خوانندگان و استادان محترم کمال تشکر را دارد تا نکات مورد نظر خود را به نشانی الکترونیکی نگارنده ghasemzadeh@kntu.ac.ir ارسال نمایند.

حسن قاسم‌زاده
عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
بهار ۱۴۰۳ ش.

فهرست مطالب

دیباچه ۱
فهرست مطالب ۳

فصل اول: مقدمه ۱۲
۱-۱ تعریف آهن و فولاد ۱۲
۱-۲ طبقه‌بندی فولاد ۱۴
۱-۲-۱ فولاد کربنی ۱۵
۱-۲-۲ فولاد آلیاژی ۱۶
۱-۳ روش‌های تولید محصولات فولادی ۱۶
۱-۳-۱ مواد اولیه ۱۶
۱-۳-۲ تولید آهن خام ۱۷
۱-۳-۳ تولید فولاد ۲۰
۱-۳-۴ ریخته‌گری و تولید فرآورده‌های نیمه‌نهایی ۲۳
۱-۳-۵ تولید فرآورده‌های نهایی ۲۴
۱-۴ عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های تولید فولاد ۲۷
۱-۵ دورنمای تولید و مصرف فولاد در جهان ۲۸
۱-۶ مصرف فولاد در جهان ۳۱
۱-۷ صادرات جهانی محصولات فولاد ۳۴
۱-۸ چشم انداز توسعه صنایع آهن و فولاد ایران ۳۵
۱-۸-۱ برآورد تقاضای فولاد ۳۷
۱-۸-۲ فرصت‌ها و تهدیدهای صنعت فولاد ایران ۳۹

فصل دوم: مواد اولیه واحدهای تولید آهن و فولاد ۴۵
۲-۱ مقدمه ۴۵
۲-۲ سنگ آهن ۴۶
۲-۳ کنسانتره ۵۰
۲-۳-۱ خردایش ۵۰
۲-۳-۲ دستگاه‌های مورد استفاده در مدار سنگ‌شکنی ۵۳
۲-۳-۳ دستگاه‌های مورد استفاده در آسیاکنی ۵۵
۲-۳-۴ سیستم طبقه‌بندی ۵۸
۲-۳-۵ فلوتاسیون (شناورسازی) ۶۴

۲-۳-۶ آبگیری ۶۵
۲-۳-۷ فیلتراسیون ۶۸
۲-۴ زینتر کردن ۶۹
۲-۴-۱ کانه آهن ۷۱
۲-۴-۲ گرد و غبار کوره بلند ۷۲
۲-۴-۳ لجن صنعتی ۷۳
۲-۴-۴ سنگ منگنز ۷۳
۲-۴-۵ سوخت مورد استفاده ۷۳
۲-۴-۶ عوامل مؤثر بر کیفیت زینتر تولیدی ۷۴
۲-۵ گندله ۷۵
۲-۵-۱ مواد اولیه و فرایند تولید گندله ۸۰
۲-۵-۲ تولید صنعتی گندلهٔ خام ۸۲
۲-۶ آهن اسفنجی ۸۳
۲-۷ قراضه ۸۵
۲-۸ روان‌کننده‌ها و سرباره‌سازها ۸۶
۲-۹ کک ۸۷
۲-۱۰ فروآلیاژها ۸۹

فصل سوم: کوره بلند ۹۱
۳-۱ مقدمه ۹۱
۳-۲ ساختمان کوره بلند ۹۴
۳-۳ مشخصات هندسی کوره بلند ۹۵
۳-۳-۱ ساختمان و وظیفه پی ۹۶
۳-۳-۲ بوته ۹۶
۳-۳-۳ بستر کک و شکم ۹۷
۳-۳-۴ بدنه و دهانه ۹۷
۳-۳-۵ پوسته کوره بلند ۹۹
۳-۳-۶ مجاری خروج مذاب و سرباره ۱۰۰
۳-۳-۷ لوله‌های دمش ۱۰۱
۳-۳-۸ ساختمان دمنده‌های هوا ۱۰۲
۳-۳-۹ لوله‌های خارج کننده گاز ۱۰۳
۳-۳-۱۰ دستگاه باردهی ۱۰۳
۳-۴ فرایند ذوب و احیاء در کوره بلند ۱۰۷
۳-۴-۱ واکنش‌های منطقه بالایی کوره بلند(پیش‌گرم) ۱۰۷

۳-۴-۲ واکنش‌های منطقه میانی (منطقه احیاء غیر مستقیم) ۱۰۹
۳-۴-۳ منطقه پایینی یا فراوری یا ذوب (منطقه احیای مستقیم) ۱۱۱
۳-۵ تعادل جرم و انرژی در کوره بلند ۱۱۲
۳-۶ معایب و مشکلات کوره بلند ۱۱۴
۳-۷ روش‌های جدید بهبود عملکرد کوره بلند ۱۱۶

فصل چهارم: کوره اکسیژنی ۱۱۹
۴-۱ مقدمه ۱۱۹
۴-۲ ساختار کوره BOF ۱۲۰
۴-۳ عملیات اولیه ۱۲۱
۴-۴ تعادل جرم و انرژی ۱۲۵
۴-۵ مواد اولیه ۱۲۸
۴-۵-۱ آهن خام مذاب ۱۲۸
۴-۵-۲ قراضه ۱۲۸
۴-۵-۳ سرباره‌سازها ۱۲۹
۴-۵-۴ خنک‌کننده‌ها ۱۳۰
۴-۵-۵ عناصر آلیاژی ۱۳۰
۴-۵-۶ مواد نسوز ۱۳۰
۴-۶ مسایل زیست محیطی ۱۳۱

فصل پنجم: تولید آهن اسفنجی ۱۳۳
۵-۱ مقدمه ۱۳۳
۵-۲ خواص آهن اسفنجی ۱۳۵
۵-۳ فرایندهای تولید آهن اسفنجی ۱۳۶
۵-۳-۱ فرایندهای پایه گاز ۱۳۸
۵-۴ فرایندهای پایه زغال سنگ ۱۵۴
۵-۴-۱ اساس فرایند ۱۵۶
۵-۴-۲ فرایند FASTMET ۱۵۷
۵-۴-۳ فرایند FASTMELT ۱۶۱
۵-۴-۴ فرایند ITMK3 ..... ۱۶۳
۵-۴-۵ آینده روش‌های پایه زغال‌سنگ ۱۶۷

فصل ششم: کوره قوس الکتریک (EAF) ۱۷۱
۶-۱ مقدمه ۱۷۱

۶-۲ ساختمان کوره قوس الکتریک ۱۷۳
۶-۳ عملکرد کوره قوس الکتریک ۱۷۶
۶-۳-۱ شارژ کردن کوره ۱۷۶
۶-۳-۲ ذوب ۱۷۸
۶-۳-۳ شارژ ثانویه ۱۸۲
۶-۳-۴ تصفیه و نمونه برداری ۱۸۲
۶-۳-۵ تخلیه ۱۸۳
۶-۴ مصرف الکترودها ۱۸۴
۶-۵ نسوزها ۱۸۴
۶-۶ مصرف انرژی ۱۸۵
۶-۷ مشکلات محیط زیستی ۱۸۷
۶-۸ مزایای کوره‌های قوس الکتریک در فولادسازی ۱۸۷
۶-۹ انواع دیگر کوره‌های قوس الکتریک ۱۸۸

فصل هفتم: فولادسازی ثانویه ۱۸۹
۷-۱ مقدمه ۱۸۹
۷-۲ عملیات متالورژی ثانویه ۱۹۱
۷-۲-۱ اکسیژن‌زدایی فولاد مذاب ۱۹۱
۷-۲-۲ گاززدایی و کربن‌زدایی فولاد مذاب ۱۹۴
۷-۲-۳ گوگردزدایی در فولادسازی ثانویه ۱۹۶
۷-۳ هم‌زدن مذاب در پاتیل ۱۹۹
۷-۴ تصفیه با استفاده از سرباره مصنوعی به همراه هم‌زدن ۲۰۰
۷-۴-۱ فرایند پرین ۲۰۱
۷-۵ فرایندهای گاززدایی تحت خلأ (VD) ۲۰۱
۷-۵-۱ فرایندهای گاززدایی گردش مذاب (RH و RH–OB) ۲۰۲
۷-۵-۲ فرایندهای گاززدایی در پاتیل(VD – VAD) ۲۰۴
۷-۶ دمش گاز خنثی (IGP) ۲۰۶
۷-۷ روش‌های کربن‌زدایی ۲۰۷
۷-۷-۱ کربن‌زدایی توسط اکسیژن در خلأ (VOD) ۲۰۷
۷-۷-۲ کربن‌زدایی توسط اکسیژن در حضور گاز آرگون (AOD) ۲۰۸
۷-۸ فرایندهای تزریق ۲۰۹
۷-۹ فرایندهای پس از انجماد ۲۱۱
۷-۱۰ کوره‌های تصفیه ثانویه ۲۱۲
۷-۱۰-۱ فرایند کوره پاتیلی (LF) ۲۱۲

۷-۱۱ مباحث دیگر در فولادسازی ثانویه ۲۱۸
۷-۱۱-۱ اصلاح ناخالصی‌ها ۲۱۸
۷-۱۱-۲ کاهش دمای مذاب ۲۱۸
۷-۱۱-۳ نسوز در فولادسازی ثانویه ۲۲۰
۷-۱۱-۴ آلیاژهای فولاد ۲۲۱

فصل هشتم: ریخته‌گری ۲۲۵
۸-۱ مقدمه ۲۲۵
۸-۲ شمش‌ریزی تک‌باری ۲۲۶
۸-۲-۱ انواع قالب ۲۲۸
۸-۲-۲ ساز و کار انجماد ۲۳۰
۸-۲-۳ کنترل ساختار شمش ۲۳۱
۸-۲-۴ انواع شمش ۲۳۳
۸-۲-۵ عیوب ۲۳۴
۸-۳ ریخته‌گری مداوم ۲۳۷
۸-۳-۱ نمونه‌هایی از ماشین ریخته‌گری مداوم ۲۳۷
۸-۴ نحوه عملکرد ماشین ریخته‌گری مداوم ۲۴۰
۸-۴-۱ فرایند ریخته‌گری ۲۴۱
۸-۴-۲ جزییات ماشین ریخته‌گری مدام ۲۴۲
۸-۴-۳ خروجی ماشین ریخته‌گری مداوم ۲۴۷
۸-۴-۴ معایب و مشکلات روش ۲۴۸
۸-۵ مشکلات محیط زیستی ۲۵۱

فصل نهم: نورد ۲۵۳
۹-۱ مقدمه ۲۵۳
۹-۲ دسته‌بندی فرایندهای نورد ۲۵۴
۹-۲-۱ دستگاه نورد ۲۵۴
۹-۲-۲ دمای نورد ۲۵۶
۹-۲-۳ نورد قطعات نیمه تمام ۲۶۲
۹-۲-۴ نورد قطعات بلند ۲۶۳
۹-۲-۵ نورد قطعات مسطح ۲۶۳
۹-۲-۶ نورد لوله‌های بدون درز ۲۶۴
۹-۲-۷ ریخته‌گری و نورد یکپارچه ۲۶۵

۹-۲-۸ نورد پروفیل و ریل ۲۶۷
۹-۲-۹ فرایند ساخت ریل ۲۶۷
۹-۲-۱۰ نورد میلگرد ۲۶۹
۹-۲-۱۱ نورد سیم ۲۷۰
۹-۲-۱۲ نورد صفحه‌ای ۲۷۰
۹-۳ مباحث تئوری در نورد ۲۷۵
۹-۳-۱ ساز و کار گازگرفتگی ۲۷۵
۹-۳-۲ زاویه گازگیری در نورد ۲۷۵
۹-۳-۳ بررسی نیروها در فرایند نورد ۲۷۶

فصل دهم: بهبود خواص فولاد ۲۷۷
۱۰-۱ مقدمه ۲۷۷
۱۰-۲ آستنیته کردن ۲۷۹
۱۰-۲-۱ فولاد پایین خط یوتکتوئید ۲۸۰
۱۰-۲-۲ فولاد بالای خط یوتکتوئید ۲۸۲
۱۰-۳ آنیل کردن ۲۸۲
۱۰-۴ نرمال کردن ۲۸۳
۱۰-۵ آنیل کردن همدما ۲۸۵
۱۰-۵-۱ آنیل کردن همدمای پرلیتی ۲۸۵
۱۰-۵-۲ آنیل کردن پتنت کاری ۲۸۶
۱۰-۶ هیدروژن‌زدایی ۲۸۶
۱۰-۷ تبلور مجدد ۲۸۷
۱۰-۸ آنیل کردن نرم ۲۸۷
۱۰-۸-۱ آنیل کردن جزیی ۲۸۸
۱۰-۸-۲ آنیل کردن کلی ۲۸۸
۱۰-۹ تنش زدایی ۲۸۸
۱۰-۱۰ سردسازی سریع (سخت کردن) و گرم کردن ۲۸۹
۱۰-۱۰-۱ سردسازی سریع ۲۸۹
۱۰-۱۰-۲ سردسازی سریع در گاز ۲۹۱
۱۰-۱۰-۳ سردسازی سریع در روغن ۲۹۲
۱۰-۱۰-۴ سردسازی سریع در آب ۲۹۲
۱۰-۱۰-۵ سردسازی سریع در حمام نمک/فلز ۲۹۲
۱۰-۱۰-۶ سردسازی سریع در پلیمرها ۲۹۳
۱۰-۱۱ تمپر کردن ۲۹۳

۱۰-۱۲ آستمپر کردن ۲۹۴
۱۰-۱۳ عملیات سطحی ۲۹۵
۱۰-۱۳-۱ مقدمه ۲۹۵
۱۰-۱۴ کربوره کردن ۲۹۶
۱۰-۱۴-۱ تأثیرات کربوره کردن ۲۹۷
۱۰-۱۴-۲ کربوره کردن با گاز ۲۹۸
۱۰-۱۴-۳ کربوره کردن با مایع ۲۹۸
۱۰-۱۴-۴ کربوره کردن جامد ۲۹۹
۱۰-۱۵ نیتروسختی ۲۹۹
۱۰-۱۵-۱ نیتروسختی با گاز ۳۰۰
۱۰-۱۵-۲ نیتروسختی پلاسما ۳۰۰
۱۰-۱۶ سخت کردن القایی ۳۰۱
۱۰-۱۷ سخت کردن با اشعه لیزر ۳۰۲
۱۰-۱۸ کوره‌ها ۳۰۳
۱۰-۱۸-۱ کوره خلأ ۳۰۴
۱۰-۱۸-۲ کوره خلأ، گازهای کربوره کردن ۳۰۵
۱۰-۱۸-۳ کوره گازی ۳۰۵
۱۰-۱۸-۴ انواع کوره ۳۰۶
۱۰-۱۸-۵ کوره تک‌باری ۳۰۷
۱۰-۱۹ استفاده از نانو فناوری در بهبود خواص فولاد ۳۰۸
۱۰-۱۹-۱ نانو فناوری در فولاد ضد خوردگی ۳۱۱
۱۰-۱۹-۲ بهبود خواص سطحی فولاد با استفاده از نانو فناوری ۳۱۵

فصل یازدهم: عملیات تکمیلی ۳۱۷
۱۱-۱ مروری بر ماشین‌کاری ۳۱۷
۱۱-۲ عملیات‌های ماشین‌کاری ۳۱۹
۱۱-۳ ماشین‌کاری سنتی ۳۲۰
۱۱-۳-۱ تراش‌کاری ۳۲۰
۱۱-۴ فرزکاری ۳۲۲
۱۱-۴-۱ ماشین‌های فرز ستونی یا زانویی ۳۲۳
۱۱-۴-۲ ماشین‌های فرز دروازه‌ای ۳۲۳
۱۱-۴-۳ ماشین‌های فرز مخصوص ۳۲۴
۱۱-۵ فرایندهای ایجاد حفره ۳۲۴

۱۱-۵-۱ سوراخ‌کاری(دریل کردن) ۳۲۴
۱۱-۵-۲ مته‌زنی چرخشی ۳۲۴
۱۱-۵-۳ برقوکاری ۳۲۵
۱۱-۵-۴ خزینه‌کاری ۳۲۵
۱۱-۵-۵ سنگ‌زنی ۳۲۵
۱۱-۶ صیقل‌کاری ۳۲۵
۱۱-۶-۱ ماشین‌کاری اسپارک ۳۲۶
۱۱-۶-۲ ماشین‌کاری الکتروشیمیایی ۳۲۷
۱۱-۶-۳ ماشین‌کاری التراسونیک ۳۲۸
۱۱-۶-۴ ماشین‌کاری با جت ذرات ساینده ۳۳۰
۱۱-۶-۵ برش‌کاری با جت آب ۳۳۰

فصل دوازدهم: واحدهای جنبی ۳۳۵
۱۲-۱ مقدمه ۳۳۵
۱۲-۲ واحد تولید گازهای صنعتی (اکسیژن، نیتروژن، آرگون) ۳۳۶
۱۲-۳ کمپرسورخانه ۳۳۹
۱۲-۴ واحد آب‌رسانی ۳۴۱
۱۲-۵ پست برق ۳۴۴
۱۲-۶ سیستم جمع‌آوری غبار و گازهای آلاینده ۳۴۶
۱۲-۷ سیستم انتقال مواد ۳۴۸
۱۲-۷-۱ سیستم انتقال مواد پیوسته ۳۴۸
۱۲-۷-۲ ماشین‌آلات جابجایی مواد ۳۵۱
۱۲-۸ انبارهای صنعتی ۳۵۳
۱۲-۹ آزمایشگاه و تعمیرگاه ۳۵۵
۱۲-۱۰ لوله‌کشی صنعتی ۳۵۶
۱۲-۱۱ ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز ۳۵۷
۱۲-۱۲ سیستم‌های کنترل مجتمع فولاد ۳۵۷

پیوست شماره ۱: دسته بندی انواع قراضه ۳۶۱

پیوست شماره۲: مشخصات فنی طرح برخی از فولاد سازی‌های رایج ۳۶۷
۱۴-۱ مجتمع فولاد یک میلیون تنی به روش احیای مستقیم ۳۶۷
۱۴-۲ مجتمع ذوب آهن یک میلیون تنی به روش کوره بلند ۳۷۱

پیوست ۳: مشخصات برخی فولادهای رایج ۳۷۵

پیوست ۴: مشخصات برخی مقاطع رایج ۳۸۱

فهرست واژگان اختصاری ۳۸۷
فهرست واژگان به ترتیب حروف انگلیسی ۳۸۹
فهرست واژگان به ترتیب حروف فارسی ۴۰۱

مراجع ۴۱۳

فصل اول: مقدمه

۱-۱ تعریف آهن و فولاد

آهن و فولاد زندگی بشر را آسان‌تر کرده است. اگر به اطراف خود نگاهی بیاندازیم محصولات فولادی را بی‌درنـگ خواهیم دید. در محل زندگی، محل کار، وسایل حمل و نقل، ظروف طبخ و نگهداری غذا، ساختمان‌سازی و در صنایع و معادن مختلف از محصولات فولادی بهره‌برداری می‌شود. فولاد ماده اصلی استفاده شده در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، جذر و مد و بادی است؛ می‌توان گفت در جهان امروز، انسان مستقل از محصولات متنوع فولادی نمی‌تواند زندگی نماید و مزایای فولاد باعث رشد کیفیت زندگی ما شده است. در این قسمت به تعریف آهن و فولاد پرداخته می‌شود.

آهن[1] یا واژه آنگلوساکسون (Iron) به معنی فلز مقدس است. نماد فلز آهن Fe از واژه لاتین Ferrum اقتباس شده است. آهن با عد اتمی ۲۶ دومین فلز فراوان و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۵ درصد و ششمین ماده باریونی فراوان در کهکشان راه شیری

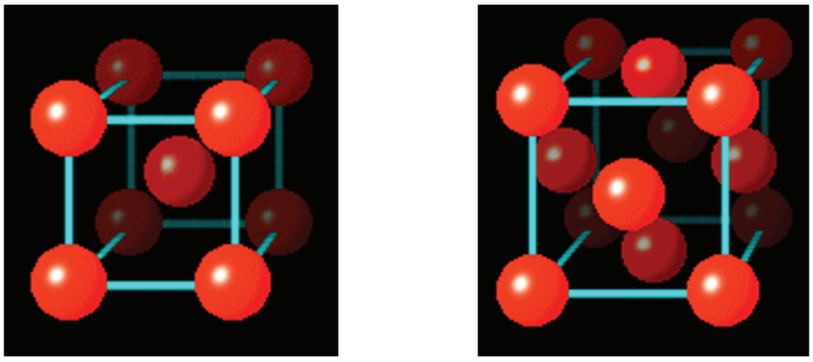
[1] Iron

است. دلیل فراوانی آهن در سیاره‌هایی نظیر زمین و ماه فرایند همجوشی هسته‌ای در گرانش بسیار زیاد پیش از فروپاشی ستاره‌ها است [1]. جدول ۱–۱ خواص فلز آهن را نشان می‌دهد.

جدول ۱–۱ برخی خواص فیزیکی فلز آهن

ویژگی‌های فیزیکی	چگالی ($g \cdot cm^{-3}$)	نقطه ذوب (°C)	نقطه جوش (°C)	ظرفیت گرمایی ویژه ($J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$)	جرم اتمی ($g \cdot mol^{-1}$)	عدد اتمی ($g \cdot mol^{-1}$)
مقدار	۷/۸۷۴	۱۵۳۸	۲۸۶۲	۲۵/۱۰	۵۵/۸۴۵	۲۶

آهن فلزی خالص، کاربرد بسیار محدودی در مهندسی دارد چون دارای استحکام بسیار پایین و مقاومت اندک در برابر خوردگی است. آهن خالص جامد بین دمای محیط و دمای ذوبش، دچار دو تغییر در ساختمان بلوری می‌شود. آهن یک ساختار بلوری در دماهای پایین و خیلی زیاد و یک ساختار بلوری در دماهای بینابین دارد. زیر ۹۱۲ درجه سانتیگراد، آهن دارای ساختار بلوری مکعبی با یک اتم در مرکز مکعب (BCC) است. این ماده، آهن آلفا (α–iron) نامیده می‌شود. در دماهای بالاتر از 1395°C تا نقطه ذوب، آهن همچنان دارای ساختار بلوری مکعب مرکزدار (BCC) است و در این دامنه دمایی به آن آهن دلتا (δ iron) می‌گویند. در دماهای متوسط بین 912°C تا 1395°C ساختمان بلوری آهن، مکعب با وجوه مرکزدار (FCC) است و آهن گاما (γ – iron) نامیده می‌شود. نحوه چیدمان اتم‌ها در ساختارهای آهن در شکل ۱–۱ قابل مشاهده است.



BCC: Body Centered Cubic　　FCC: Face Centered Cubic

شکل ۱–۱ ساختار بلوری آهن– مکعبی مرکزدار(BCC) و مکعبی با وجوه مرکزدار(FCC)

کلمه فولاد[1] به آلیاژهایی گفته می‌شود که حداقل پنجاه درصد آن را آهن تشکیل می‌دهد و شامل یک یا چند عنصر دیگر است. این عناصر معمولا شامل کربن، منگنز، سیلیسیم، نیکل، کرم، وانادیم، مولیبدن، تیتانیوم، نیوبیم و آلومینیوم هستند. کربن به عنوان مهم‌ترین ماده آلیاژی فولاد محسوب می‌گردد هر چند که ممکن است در انواع مختلف فولاد، مواد آلیاژی دیگری نیز به میزان زیادتری یافت شود یا حتی کربن در بعضی از آلیاژهای فولاد ناخالصی محسوب شود.

کربن در آهن BCC حل شده و یک محلول جامد به نام فریت (Ferrite) تشکیل می‌دهد. حل شوندگی کربن در فریت آلفا حداکثر ۰/۰۲۵ درصد و در فریت دلتا ۰/۰۹ درصد است. کربن در ساختار بلوری گاما (FCC) حل شده و محلول جامد آستنیت (Austenite) به دست می‌آید. حل شوندگی کربن در FCC اندکی بیش‌تر بوده و به میزان ۲/۱۴ درصد می‌رسد. با افزایش میزان کربن در آلیاژ آهن تا حداکثر ۶/۶۷ درصد، می‌توان فاز کاربید آهن یا سمنتیت (Cementite) را به دست آورد که ساختاری ترد و شکننده دارد. میزان حداکثر انحلال کربن در آهن برای فازهای مختلف در دماهای مختلف روی می‌دهد و فولادهای مختلف را از یکدیگر متمایز می‌سازد. با توجه به آلیاژ فولاد و نرخ سرد کردن آن می‌تواند پرلیت[2] یا مارتنزیت[3] تشکیل شود. پرلیت هنگام سرد سازی آهسته و مارتنزیت هنگام سرد شدن سریع آلیاژ فولاد به دست می‌آید. میزان کربن موجود در فولاد به صورت رایج بین ۰/۰۲۵ تا ۲/۱۴ درصد تغییر می‌کند. آلیاژ آهن با کربن بین ۲/۱۴ تا ۶/۶۷ درصد چدن نامیده می‌شود. خواص چدن و فولاد به درصد کربن، فلزهای آلیاژ دهنده و عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن‌ها بستگی دارد.

۱-۲ طبقه‌بندی فولاد

می‌توان فولاد را به روش‌های گوناگونی طبقه‌بندی کرد. معیار اولیه جهت طبقه‌بندی فولاد آنالیز شیمیایی آن است که فولاد بر مبنای میزان کربن، منگنز، فسفر، گوگرد و سیلیسیم موجود در آن طبقه‌بندی می‌شود.

به طور کلی می‌توان از دو نوع فولاد تجاری نام برد: فولاد کربنی و فولاد آلیاژی.

- فولاد کربنی به انواع کم‌کربن، متوسط‌کربن و پرکربن طبقه‌بندی می‌گردد. فولادهای بسیار کم‌کربن نیز در مواردی خاص تولید می‌شود. فولاد کربنی افزون بر داشتن کربن، دارای مقادیری منگنز و مقادیر به نسبت کمی نیز سیلیسیم، آلومینیوم، مس

[1] Steel [2] Pearlite [3] Martensite

و ... است. به طور کلی موارد استفاده فولاد کربنی در ساخت بدنه اتومبیل، لوازم منزل، انواع ماشین آلات، کشتی، انواع کانتینرها و بالاخره اسکلت ساختمان‌ها است. پیوست ۲ فولادهای پرکاربرد را به همراه عناصر تشکیل‌دهنده آنها نشان می‌دهد.

- فولاد آلیاژی به دو دسته فولاد با آلیاژ کم و فولاد با آلیاژ زیاد تقسیم می‌شود. فولاد با آلیاژ کم دارای یک تا ۵ درصد از مواد آلیاژی معمولی نظیر نیکل، کروم، مولیبدن، منگنز، تنگستن، تیتانیوم، نیوبیوم و... است. این نوع فولاد در ساخت لوازم مخصوص فرود هواپیما، انواع شفت، ابزار دستی، چرخ‌دنده و بالاخره فولاد تأسیساتی با استحکام زیاد، به کار می‌رود. فولاد با آلیاژ زیاد، سرجمع دارای بیش از ۵ درصد از مواد آلیاژی است. این مواد آلیاژی به طور معمول کروم، نیکل، منگنز، مولیبدن و یا تنگستن است. باید دانست که فولاد ضدزنگ، خود نوع عمده‌ای از فولاد با آلیاژ زیاد بوده و به صورت رایج به فولادی گفته می‌شود که بیش از ۵ درصد کروم داشته باشد. فولاد ضدزنگ به خاطر مقاومت در برابر فرسایش و سایش و استقامت در برابر خوردگی و نیز ظاهر خوب آن، کاربرد فراوانی یافته است. از فولاد ضدزنگ در ساخت قطعات موتور جت، وسایل و لوازم شیمیایی، کارد و چنگال، انواع لوازم پخت و پز و بالاخره انواع دستگاه‌های مخصوص برش، استفاده می‌شود. در پیوست ۲ انواع فولاد ضدزنگ پرکاربرد و آلیاژهای مربوطه آمده است.

۱-۲-۱ فولاد کربنی

کربن ارزان‌ترین و در عین حال مؤثرترین عامل آلیاژی در فولاد است. تقسیم‌بندی انواع فولادهای کربنی؛ به شرح ذیل است:

- فولاد با کربن کم، بین ۰/۰۴ تا ۰/۱۵درصد کربن دارد و بیشتر هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که هزینه کم، سطح به نسبت خوب، دوام و سختی مطلوب، قابلیت جوش‌پذیری مورد نظر و سهولت در کار کردن با آن مورد نظر باشد.
- فولاد با کربن متوسط بین ۰/۱۵ تا ۰/۴۵ درصد کربن دارد و به راحتی در کارهای ساختمانی، ساختن پل‌ها، بدنه کامیون، وسایل راه آهن و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- فولاد با کربن زیاد بین ۰/۴۵ تا ۱/۲ درصد کربن دارد و برای ساختن انواع فنر، ریل فولادی و انواع چرخ فولادی، ماشین‌آلات برش و مته‌های حفاری استفاده می‌شود. فولادهای دارای حدود ۲ درصد کربن همراه با عناصر آلیاژی به فولادهای سخت ابزاری معروف هستند.

۱-۲-۲ فولاد آلیاژی

هنگامی که مواد آلیاژی گوناگون استفاده شود انواع بی‌شماری از ترکیبات فولاد، قابل حصول است. مواد آلیاژی می‌توانند به تنهایی و یا به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار بگیرند. مهم‌ترین فلزات آلیاژی نیکل، کروم، منگنز، وانادیوم و مولیبدن هستند. با افزودن مواد آلیاژی فولادهایی با خواص متفاوت به‌دست می‌آیند(جدول ۱—۲). در فصل فولادسازی ثانویه به آلیاژها اشاره شده است.

جدول ۱—۲ ویژگی‌های مهم انواع فولاد آلیاژی

نوع فولاد	ویژگی‌های مهم
کروم‌دار	ضدزنگ، مقاوم در برابر حرارت بالا
منگنزدار	مقاوم، مقاومت سایشی بسیار خوب، سخت
وانادیوم‌دار	مقاوم، هادی خوب، ویژگی ارتجاعی خوب
نیکل‌دار	ضدزنگ، سخت و مقاوم
مولیبدن‌دار	مقاوم، هادی، مقاوم در برابر شوک و ضربه
تنگستن‌دار	سختی بالا و مقاوم در برابر حرارت بالا
کبالت‌دار	دارای ویژگی مغناطیس دائم، مقاوم در برابر حرارت بالا
مس‌دار	ضدزنگ و قابل استفاده در قطعات ماشین
نیوبیوم‌دار	مقاوم در برابر حرارت بالا
سیلیسیم‌دار	ضدزنگ، مقاوم در برابر حرارت و سایش

۱-۳ روش‌های تولید محصولات فولادی

در این قسمت به صورت مختصر تولید فولاد تشریح می‌شود. روند کلی تولید فولاد مطابق شکل ۱—۷ است که از پنج قسمت عمده مواد اولیه، آهن‌سازی، فولادسازی، نورد و محصولات نهایی تشکیل شده است. تشریح کامل‌تر این موارد در فصول بعدی کتاب آمده است.

۱-۳-۱ مواد اولیه

ماده اصلی اولیه فولاد سنگ آهن است. در قسمت‌های مختلف فولادسازی با توجه به روش مورد استفاده، سنگ آهک، دولومیت و زغال سنگ نیز کاربرد دارند.

- **آگلومراسیون**

سنگ آهن بعد از کانه‌آرایی دارای اندازه‌های بسیار ریز است. از نرمه‌های کنسانتره کانه آهن، نمی‌توان به طور مستقیم در کوره بلند و کوره‌های احیای مستقیم استفاده کرد. از این‌رو آگلومراسیون یا ایجاد مواد با دانه‌بندی درشت‌تر لازم است. به طور کلی آگلومراسیون به دو روش رایج است:

- گندله‌سازی[1]: دانه‌های ریز از ۴۵ میکرون تا ۰/۱ میلی‌متر به گندله با ابعاد ۶ تا ۱۶ میلی‌متر تبدیل می‌شود.
- کلوخه سازی یا زینترینگ[2]: دانه‌های کنسانتره بین ۰/۱ میلی‌متر تا ۱۰ میلی‌متر به کلوخه یا زینتر تبدیل می‌شود.

- **کک سازی**

در فرایند کک سازی زغال سنگ کک‌شو در دماهای بالا (حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) در اتمسفری بدون اکسیژن به طور غیر مستقیم حرارت می‌یابد تا مواد فرّار از آن خارج گردد. محصول این فرایند کک است که احیاء کننده مناسب برای تولید آهن خام مذاب در کوره‌های بلند است.

۱-۳-۲ تولید آهن خام

در تولید آهن خام، روش‌های بسیاری به‌کار گرفته شده است. ولی دو روش مهم که تاکنون اهمیت و نقش خود را حفظ کرده‌اند عبارتند از (شکل ۱–۷):

- روش کوره بلند[3]
- روش احیای مستقیم[4]

روش اول با استفاده از سنگ آهن به صورت زینتر، گندله یا کلوخه با دانه‌بندی مناسب، کک، دولومیت و سنگ آهک بوده و آهن حاصل از آن به صورت مذاب است و به آن چدن (آهن خام مذاب) می‌گویند. در روش احیای مستقیم که با استفاده از کنسانتره سنگ آهن با عیار آهن حدود ۷۰ درصد که به گندله تبدیل شده باشد و مخلوط گازهای H_2+CO صورت می‌گیرد، آهن خام به‌دست آمده به صورت اسفنجی است که به آن، آهن اسفنجی[5] گفته می‌شود و امروزه به روش‌های گوناگون از جمله میدرکس[6] ، HYL و RHF تولید می‌شوند. روش‌های دیگری نیز برای تولید آهن اسفنجی، نظیر SL/RN، وجود دارندکه در فصل پنجم بدانها اشاره شده است.

---

1 Pelletizing
2 Sintering
3 BF: Blast Funace
4 Direct Reduction
5 Sponge Iron
6 MIDREX

- **کوره بلند**

سنگ آهن به شکل مخلوطی از کلوخه (با دانه‌بندی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر)، زینتر و گندله، دولومیت، آهک و کک به عنوان سوخت و عامل احیاء از بالای کوره و هوای داغ غنی شده از اکسیژن از پایین کوره باعث ذوب شدن سنگ آهن به صورت چدن مذاب (آهن خام مذاب) در داخل بوته می‌شود. اکنون حدود ۷۰٪ از کل آهن خام مذاب در دنیا با استفاده از روش کوره بلند [1] و کوره اکسیژنی تولید می‌شود.

- **احیای مستقیم به روش میدرکس**

روش میدرکس از نوع کوره‌های عمودی است که به گندله سنگ آهن یا سنگ آهن با عیاری حدود ۶۵ درصد نیاز دارد. عامل احیاء در این روش گاز احیائی حاصل از شکستن گاز طبیعی است و محصول آن آهن اسفنجی است.

- **احیای مستقیم به روش هیل [2]**

روش HYL1 بر اساس احیای سنگ معدن در حالت استاتیک توسط گاز احیائی که از تغییر فرم گاز طبیعی با بخار آب به‌دست می‌آید طراحی شده است. در تغییر فرم دهنده‌های گاز، نیکل به عنوان کاتالیزور به صورت استوانه‌های تو خالی در داخل لوله‌های فولادی کروم-نیکل پر شده، مخلوط گاز طبیعی و بخار آب از داخل آنها عبور کرده و در درجه حرارتی حدود ۸۰۰ درجه سانتیگراد به هیدروژن و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌گردد. سنگ معدن توسط نوار نقاله به داخل محفظه احیاء تغذیه شده و سپس محل ورود شارژ(تغذیه) بسته شده و گاز احیائی از بالا به داخل محفظه جریان می‌یابد. محصول این روش نیز آهن اسفنجی است. در این روش سرجمع حداقل به سه کوره نیاز است که یکی در حال تخلیه، پر کردن، یکی در حال احیاء اولیه و یکی در حال احیاء نهایی است.

سیستم تکامل یافته HYL1 مشابه روش میدرکس دارای کوره‌های عمودی است و گاز احیاء کننده و مواد آهن‌دار در جهت مخالف یکدیگر یعنی مواد آهن‌دار از بالا و گاز احیاء کننده از پایین با فشاری بیشتر از سیستم میدرکس وارد کوره عمودی می‌شود. گازشکن روش HYL3 مشابه روش HYL1 است. در داخل کوره عمودی HYL3 بر خلاف روش میدرکس گلوله

---

[1] BF-BOF: Blast Furnace-Basic Oxygen Furnace

2 HYL

شکن وجود ندارد. در نسل جدید HYL3 تولید گاز احیاء در حرارت بالای ^{o}C ۱۰۰۰ انجام می‌گیرد و نیاز به کاتالیزور ندارد.

- **احیای مستقیم به روش کوره افقی دوار[1] RHF**

در راستای استفاده بهینه از ضایعات و تولید اقتصادی با جمع‌آوری گرد و غبار، لجن و پوسته‌های اکسیدی، آهن اسفنجی به روش کوره افقی دوار RHF تولید شد.

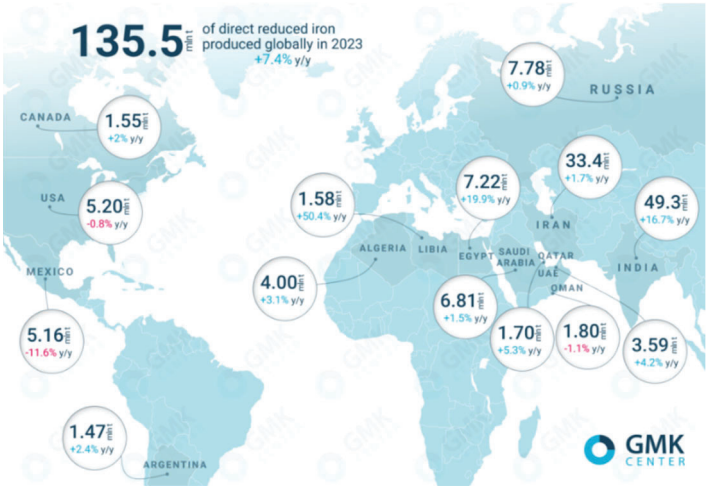
واحد RHF که مجموعه‌ای از تجهیزات شامل یک مخزن مخلوط مواد با کربن، دیسک مخصوص جهت تبدیل مواد به گندله و یا تبدیل مواد به بریکت توسط تجهیزات خاص، کوره خشک‌کن و کوره چرخشی مورد نظر است، گندله را در مدت ۱۰ تا ۲۰ دقیقه تحت اتمسفر احیای کوره تبدیل به آهن اسفنجی می‌کند.

مواد ورودی این واحد از غبارهای سنگ آهن، لجن‌ها و پوسته‌های اکسیدی حاصل از تولید محصولات فولاد تشکیل شده به منزله کاهش آلودگی و تولید اقتصادی در کارخانه‌های فولادسازی پیشرفته جهان به‌کار می‌رود و ضایعات و مواد ورودی پس از مخلوط شدن با کربن در مسیر فرایند تولید کلوخه، تبدیل به گندله یا بریکت گشته و پس از عبور از کوره خشک کن به منظور افزایش استحکام آن وارد کوره RHF شده و عملیات احیا صورت می‌گیرد. استحکام آهن اسفنجی (DRI) به دست آمده از این طریق در حدود ۱/۵ برابر استحکام کلوخه آهن زینتر شده است.

با توجه به اینکه در صنایع تولید فولاد همیشه مقداری از مواد ورودی به سیستم به صورت ضایعات به هدر می‌رود، بنابراین جمع‌آوری و بازگشت آنها به چرخه تولید در حد امکان کمک بزرگی در جهت رفع آلودگی‌های زیست محیطی و همچنین کاهش هزینه‌های تولید بوده و در واقع به منزله حداکثر استفاده از منابع خواهد بود.

در ۲۰۲۳ م. به روش‌های مختلف روی هم بیش از ۱۳۵ میلیون تن آهن اسفنجی در دنیا تولید شده است که در این میان ایران بعد از هند دومین رتبه را با تولید بیش از ۳۳ میلیون دارا است(**شکل ۱–۲**).

1 Rotary Hearth Furnace



شکل ۱–۲ تولید جهانی آهن اسفنجی در ۲۰۲۳ م. در مناطق مختلف جهان

۱-۳-۳ تولید فولاد

بعد از طی مرحله تولید آهن خام، مرحله تولید فولاد خام شروع می‌شود. در تولید فولاد خام از چهار روش عمده استفاده می‌شود. که عبارتند از:

- روش روباز[1] (OHF) یا زیمنس مارتین
- روش کوره‌های القایی[2] (IF)
- روش کوره اکسیژنی[3] (BOF) یا کنورتور
- روش کوره قوس الکتریکی[4] (EAF)

روش روباز، برای تولید فولاد از آهن خام به‌دست آمده از کوره بلند یا به صورت عمده قراضه استفاده می‌شود. در این روش کوره محیطی ایجاد می‌کند که به حذف ناخالصی‌ها از آهن خام مورد استفاده در فرآیند فولادسازی، کمک می‌کند. کوره روباز این امکان را فراهم می‌کند که آهن خام را به‌گونه‌ای در آن قرار دهید که ترکیب شعله‌های باز و هوای گرم تولیدشده در داخل کوره بتواند فعالیت شیمیایی لازم برای تولید فولاد را تحریک کند. تولید فولاد به این روش از سایر روش‌ها قدیمی‌تر بوده و به علت پایین بودن کارآیی آن، روز به روز کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. باگذشت زمان، کوره باز جایگاه خود را ازدست‌داده است چرا که فناوری‌های جدیدحذف ناخالصی‌ها و تولید فولاد درجات بالاتر و درعین‌حال کاهش هزینه‌های تولید را ممکن ساخت. در ۲۰۱۵ م. حدود ۰/۴ درصد فولاد دنیا به این روش تولید شد و تا چند سال آینده فولاد به این روش دیگر تولید نخواهد شد(شکل ۱–۳).

[1] Open Hearth Furnace
[2] Induction Furnace
[3] Basic Oxygen Furnace
[4] Electric Arc Furnace

شکل ۱–۳ تولید فولاد با کوره روباز(زیمنس مارتین)

در روش کوره القایی آهن قراضه و آهن اسفنجی به کمک انرژی الکتریکی به فولاد تبدیل می‌گردد. کوره القایی از جریان الکتریکی برای ذوب فلز استفاده می‌کند. عبور جریان از یک سیم پیچ و استفاده از میدان مغناطیسی برای ایجاد جریان در هسته سیم پیچ، اساس کار کوره‌های القایی را تشکیل می‌دهد. در این کوره‌ها از حرارت ایجاد شده توسط تلفات فوکو و هیسترزیس برای ذوب فلزات یا هرگونه عملیات حرارتی استفاده می‌شود تولید فولاد خام به روش کوره القایی نیز بسیار محدود است(شکل ۱–۴).

در روش کوره اکسیژنی از آهن خام به‌دست آمده از کوره بلند با مقداری قراضه و از طریق دمش اکسیژن خالص، فولاد خام تولید می‌شود. اکنون حدود ۷۱/۵ درصد فولاد خام دنیا توسط انواع کنورتورها تولید شده‌اند.

شکل ۱–۴ تولید فولاد با کوره القایی