

آهن و فولاد

شماره پنجاهم، فروردین و اردیبهشت ماه
سال ۱۳۹۸

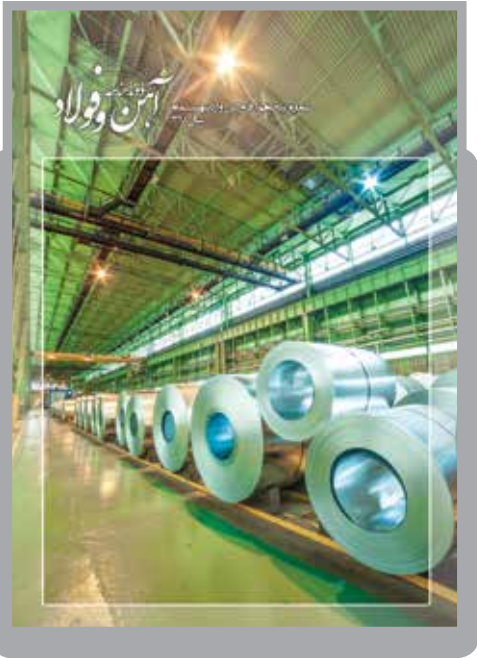




مجمع
فولاد
مبارک



دوماهنامه آهن و فولاد
شماره پنجاه، فروردین و اردیبهشت ماه
سال ۱۳۹۸



فهرست

فوتوکاتالیست‌ها آینده سیستم های تصفیه فاضلاب های صنعتی



گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

توسعه تکنولوژی رسوب دهنده های الکترواستاتیک ساکن (ESP) جهت حذف ذرات غبار از گاز فرآیند



گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

Finex نسل جدید تکنولوژی آهن سازی



گردآوری: تحقیق و توسعه شرکت فولادمبارک

نسل سوم فولادهای پیشرفته استحکام بالا



پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان

FINEX تکنولوژی نوین تولید آهن بر پایه احیامستقیم



پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان

پیش مقدمه‌ای در مورد آینده‌نگاری در صنعت فولاد



پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دوماهنامه آهن و فولاد



۶۴

صاحب امتیاز: شرکت فولاد مبارک اصفهان
مدیر مسئول: درحال تغییر
سر دبیر علمی: مسعود هراتیان

سر دبیر اجرایی: رسول مهماندوست
دبیر اجرایی: سجاد امیری فارسانی

هیات تحریریه:

شهرام عباسی
محمد ناظمی هرندی
طهمورث جوانبخت
غلامرضا طاهری
مسعود هراتیان
علی مالکی
ابوذر طاهری زاده

نشانی:

اصفهان، شرکت فولاد مبارک اصفهان
تلفن: ۰۳۱-۵۲۷۳۳۴۵۰
دورنگار: ۰۳۱-۵۲۷۳۳۷۸۰
آدرس اینترنتی:

<http://ironandsteel.msc.ir>

نشریه در حکم و اصلاح مطالب ارسالی آزاد است.
مقالات ارسالی برگشت داده نخواهد شد.
مسئولیت مطالب به عهده نویسنده آن است.
اصل تصاویر و عکس‌ها با کیفیت مطلوب ارسال گردد.
نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

شمارگان: ۳۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۰۰۰ تومان

طرح جلد و صفحه آرایی: گرافیک نقطه

۰۹۱۳۳۰۰۸۱۹۳

چاپ: آرمان نو



(گردآوری: تحقیق و توسعه)

پاشش حرارتی از این جمله‌اند. شکل ۲ مکانیزم پاشش حرارتی را که تقریباً پرکاربردترین و صنعتی ترین روش ساخت پوشش های فوتوکاتالیستی است را نشان می دهد. در اکثر تحقیقاتی که بیشتر زمینه صنعتی داشته اند، این پوشش ها روی زیرلایه فولادی ایجاد شده اند و مشخص شده است که علاوه بر افزایش مقاومت به خوردگی فولاد خاصیت فوتوکاتالیستی خود را نیز به خوبی حفظ می کنند. این پوشش ها در صورت تولید به روش های اقتصادی تر می توانند در سیستم های مختلفی مورد استفاده قرار گیرند.

چند مورد از مهمترین کاربردهای پیش بینی شده برای این پوشش ها در ادامه ارایه شده است:

تصفیه آب شرب:

پوشش های فوتوکاتالیستی بدون استفاده از مواد شیمیایی گران قیمت، می توانند کیفیت آب را به میزان قابل توجهی افزایش دهند.

تصفیه پساب های صنعتی:

پساب های صنعتی صنایع شوینده، حاوی اکسیژن بیوشیمیایی و مواد فعال شیمیایی است که باید در فرآیندهای تصفیه از آب جدا شوند. یکی از دیگر موادی که در پساب های صنعتی یافت می شود مواد نامحلول روغنی است. حضور این مواد فرآیند تصفیه آب را با مشکل مواجه می کند. یکی از روش های مورد نظر برای حذف این آلودگی ها، استفاده از پوشش های فوتوکاتالیستی در سیستم های انتقال پساب و همچنین سیستم تصفیه پساب صنایع می باشد.

تصفیه هوا:

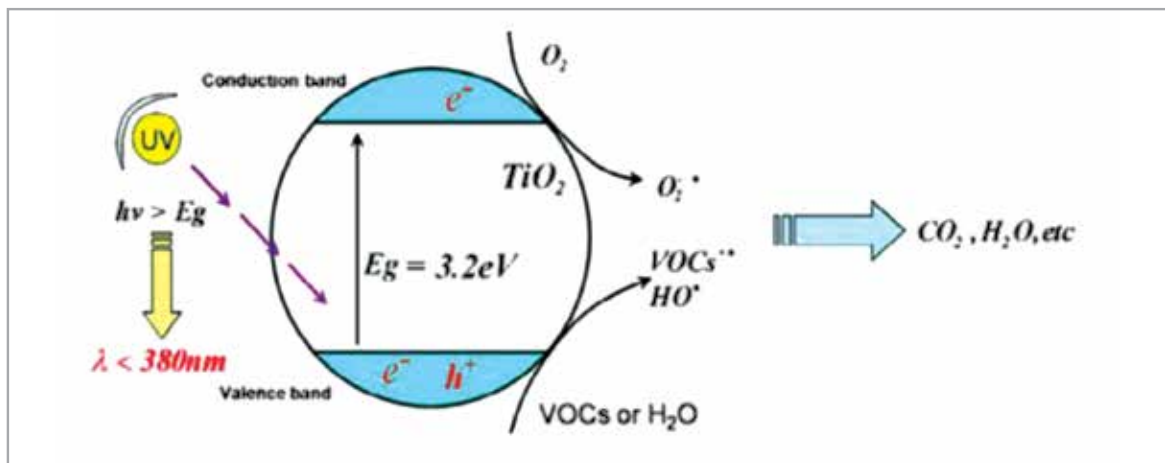
تحقیقات انجام شده نشان داده است که استفاده از پوشش های فوتوکاتالیستی در سیستم های تصفیه هوا نیز کارایی قابل قبولی دارد. شکل ۳ به طور خلاصه کلیات تصفیه هوا با استفاده از فوتوکاتالیست ها را نشان می دهد.

فوتوکاتالیست ها موادی هستند که باعث نابودی آلاینده ها در آب و فاضلاب و تبدیل آنها به مواد بی خطر نظیر آب و دی اکسید کربن می شوند. به طور کلی فوتوکاتالیست ماده ای است که در اثر تابش نور بتواند منجر به بروز یک واکنش شیمیایی شود، در حالی که خود ماده، دست خوش هیچ تغییری نشود. فوتوکاتالیست ها مستقیماً در واکنش های اکسایش و کاهش دخالت ندارند و فقط شرایط مورد نیاز برای انجام واکنش ها را فراهم می کنند تعدادی از مواد که به عنوان فوتوکاتالیست به کار میروند عبارتند از: دی اکسید تیتانیوم (TiO_2)، اکسید روی (ZnO)، اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید تنگستن (WO_3). دی اکسید تیتانیوم به علت قیمت پایین، عدم نیاز به انرژی بالا، بازدهی بالا و عدم ایجاد آلودگی از بقیه مشهور تر است. دی اکسید تیتانیوم کاربردهای فراوانی در زمینه های مختلف سنتز شیمیایی، حفظ محیط زیست و پزشکی دارد. این اکسید به صورت نانو پودر و لایه نازک می تواند در انواع راکتور های شیمیایی به انجام واکنش کمک کند. اندازه این فوتوکاتالیست در اندازه ۲۰ نانومتر ساخته می شود. پس از جذب اشعه ماورابنفش به وسیله این ذرات (طول موج های کوچک تر از ۴۰۰ نانومتر)، الکترون های آنها برانگیخته شده و از مدار خود خارج می شوند. که نتیجه آن بر جای گذاشتن حفراتی است که قابلیت اکسید کنندگی بسیار بالایی دارند. در عین حال الکترون ها نیز که خاصیت احیا کنندگی قوی دارند پس از تماس با آب رادیکال های آزاد اکسیژنی-هیدرواکسیدی ایجاد می کنند. این رادیکال ها خاصیت اکسید کنندگی بالایی داشته و قادر خواهند بود مواد آلاینده و باکتری ها را به مواد بی خطر مانند آب و دی اکسید کربن تجزیه کنند. شکل ۱ عملکرد فوتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم را نشان می دهد.

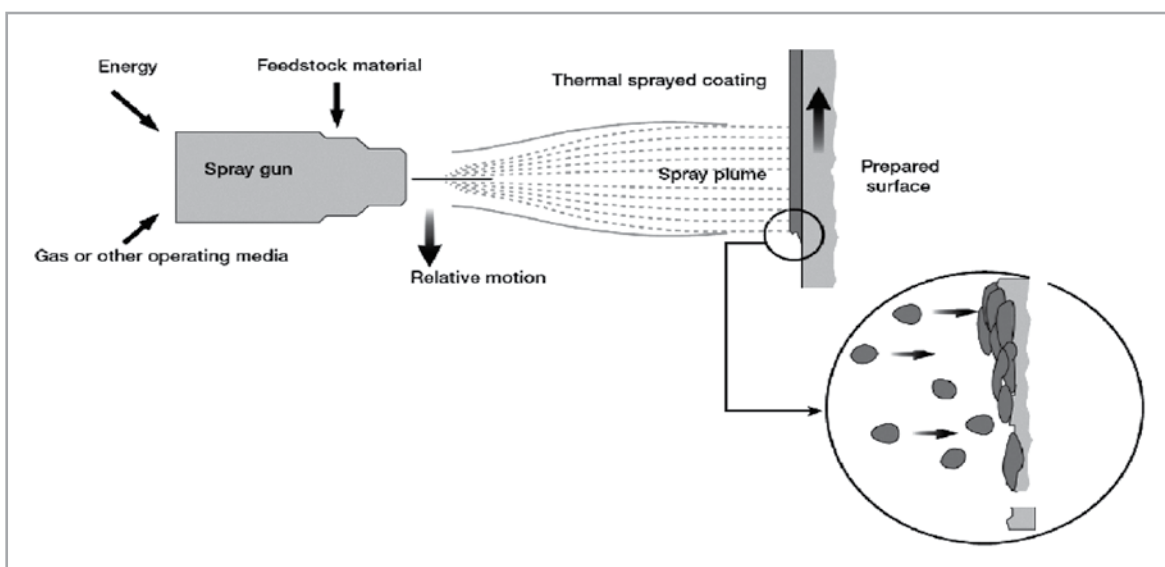
یکی از زمینه های کاربردی مورد مطالعه این فوتوکاتالیست ها استفاده آنها به صورت پوشش است. در همین راستا روش های مختلفی برای ایجاد پوشش های نانوساختار فوتوکاتالیستی ارائه شده اند که روش های سل-ژل، رسوب شیمیایی و فیزیکی بخار، پاشش پلاسمایی و

Ref: www.sciencedirect.com

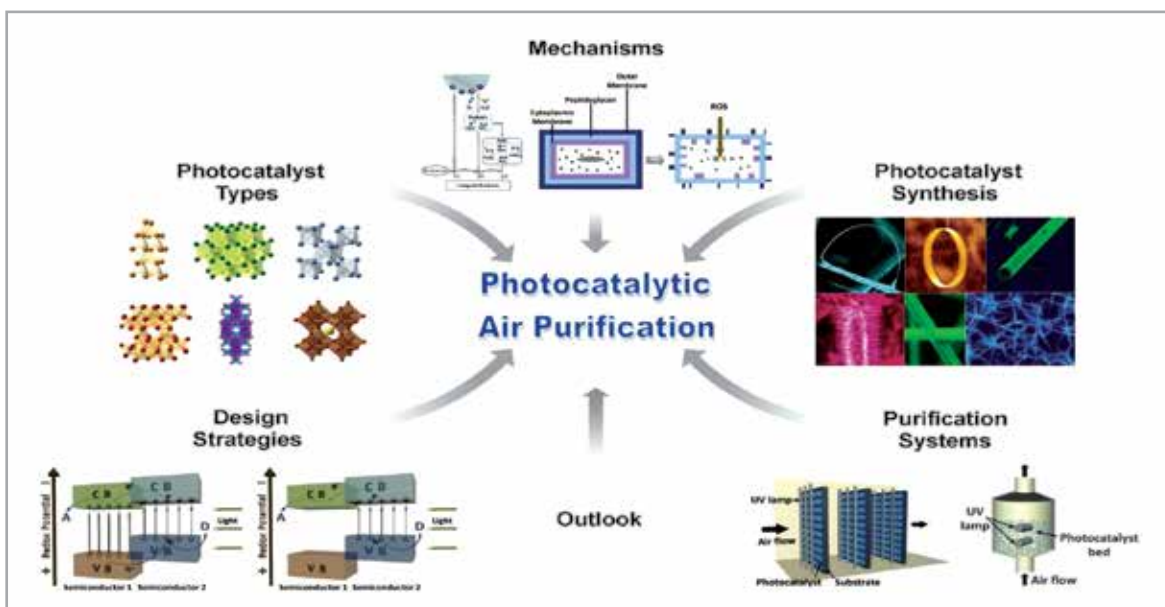




شکل ۱: مکانیزم فوتوکاتالیستی اکسید تیتانیوم.



شکل ۲: مکانیزم پاشش حرارتی.



شکل ۳: کلیات تصفیه هوا با استفاده از پوشش های فوتوکاتالیستی.

اصولاً از متداول ترین تجهیزات کاهنده آلودگی که برای تصفیه حجم های بزرگ از گازهای حاوی ذرات غبار در کارخانه های مختلف بکار گرفته می شود، ته نشین سازهای الکترواستاتیک خشک هستند که به صورت چندتایی و در حالت سری مورد استفاده قرار می گیرند. ذرات گرد و غبار، با جذب بار منفی به سمت صفحات جمع آوری باردار حرکت می کنند. در ته نشین سازهای الکترواستاتیک خشک، مواد جمع آوری شده بوسیله ی رپرها^۲ جداسازی می شوند که به طور دوره ای ایجاد ضربه یا ویبره می کنند. با این کار، ذرات چسبیده به صفحه با بار مثبت جدا شده و به قسمت جمع آوری انتقال داده می شود.

در ته نشین سازهای الکترواستاتیک، ماده جمع آوری شده بوسیله یک جریان ثابت از آب جداسازی می شود.

اساساً افزایش ظرفیت تولید منجر به افزایش حجم گرد و غبار حاصله می شود که در نتیجه باعث افزایش انتشار گازهای ناشستی و اتلافی مملو از ذرات ریز می گردد. این گازهای خروجی که از قسمت های مختلف عملکرد در فرآیند خارج می گردد، در محدوده گسترده ای حاوی آلاینده های ارگانیک هوا و ذرات خطرناک فلزات سنگین است و حجم آن از ده تن در سال تجاوز می کند. با ارسال گازهای خروجی به رسوب دهنده های الکترواستاتیک^۱ از طریق لوله های با بار منفی، ذرات موجود باردار شده و با عبور از میان صفحات دارای بار مثبت، گاز خروجی از ذرات آلاینده تمیز می گردد. ذرات جدا شده توسط جمع کننده های غبار، خشک، جداسازی و دوباره بازیافت می شوند. نمایی از این رسوب دهنده ها در شکل ۱ ارایه شده است.



شکل ۱: نمایی از رسوب دهنده های الکترواستاتیک (ESP)

مقاومت ویژه بالاست.

۲. ته نشین ساز الکترواستاتیک با الکتروود متحرک^۱ (MEEP): در MEEPها، چندین گروه از صفحات الکتروودی بر روی مسیره‌های منحنی شکل حرکت می‌کنند. برس‌های چرخنده به طور پیوسته این صفحات را تمیز می‌کنند. بنابراین، غبارات با چسبندگی بالا به سهولت از صفحات زدوده می‌شوند و از ایجاد اثرات عایق شونده‌گی لایه غبارات جلوگیری می‌شود

۳. تمیزکننده فوق الکترواستاتیک^۲ (ESCS): این تمیزکننده در ولتاژهای بالاتر (۷۰ تا ۲۰۰ کیلوولت) کار می‌کند. در واقع افزایش فاصله میان صفحات الکتروود اجازه می‌دهد تا ولتاژهای بالاتری ایجاد شود.

ESPها میزان انتشار گرد و غبار را با بازدهی بالاتر از ۹۵ درصد کاهش می‌دهند. در برخی موارد، یک بازه بالاتر از ۹۹ درصد نیز قابل حصول است. بر اساس متوسط سالانه، EPSهای دارای میدان‌های MEEP می‌توانند غلظت‌های گرد و غباری در گستره $50-200 \text{ mg/Nm}^3$ را (تنها با در نظر گرفتن حالت نرمال تولید و مستثنی کردن موارد توقف و شروع مجدد) ایجاد کند. بر اساس متوسط‌های سالانه، ESPها با سوپرایمپوزیشن می‌توانند مقادیر نشر در گستره $77-43 \text{ mg/Nm}^3$ را ایجاد کند؛ اگر چه در برخی کارخانه‌ها که از کانه‌های ممتاز استفاده می‌کنند، این گستره می‌تواند تا 140 mg/Nm^3 نیز برسد.

در واقع ذرات ماده چسبیده به صفحه با بار مثبت در داخل آب وارد شده و سپس این ذرات از آب جداسازی می‌شوند. به منظور حصول جدایش کافی، مقاومت ویژه ذرات باید در گستره $10^9-10^4 \text{ m}\Omega$ باشد که معمولاً برای بیشتر ذرات موجود در نمونه‌های گازی این محدوده مهیاست. اما ترکیبات با مقاومت ویژه بسیار بالاتر نیز در این گازها وجود دارد. از جمله این مواد باید به کلریدهای قلیایی، کلریدهای فلزات سنگین و اکسیدهای کلسیم نیز اشاره کرد. امکان جداسازی با بازده بالای این مواد مشکل بوده و لازم است در انتخاب نوع تکنولوژی ESP این موارد لحاظ شود.

در ادامه به طور کلی سه نوع ESP با کارایی مناسب جهت جداسازی ذرات غبار از گاز گزارش شده‌اند:

۱. استفاده از سوپرایمپوزیشن^۱ با انرژی پالسی:

سیستم پالسی، ولتاژی را مهیا می‌کند که شامل پالس‌های منفی محدود، بر روی ولتاژ فیلتر شده با پلاریته (قطبیدگی) منفی است. این پالس‌ها دارای ولتاژی بالا با عرض ۱۴۰ میکرون است و در یک فرکانس تا ۲۰۰ پالس بر ثانیه افزایش می‌یابد. حداکثر ولتاژ با انرژی گرفتن پالس‌ها افزایش می‌یابد و با مهیا نمودن ذره‌های باردار موثرتر، توزیع جریان مناسبی را در رسوب دهنده ایجاد می‌کند. یکی از مهمترین ویژگی‌های انرژی دهی پالسی، قابلیت آن برای جذب گرد و غبار با



1- Superimposition
2- Moving Electrode Electrostatic Precipitator
3- Electrostatic Space Cleaner Super



تولید قابل دسترسی است. با در نظر گرفتن نگرانی های زیست محیطی، در فرآیند Finex تنها مقادیر ناچیز، NOx، SO2، گرد و غبار، فنول ها، سولفید ها و آمونیاک تولید می شوند. حداکثر مقدار آلودگی های قابل انتشار در این فرآیند در حال حاضر بسیار پایین تر از حداکثر مقادیر مجاز توسط استانداردهای اروپایی است. علاوه بر این، تولید فاضلاب در فرآیند Finex بسیار پایین تر از موارد معمول در مسیر کوره بلند است.

برتری های این روش:

۱. استفاده مستقیم از ذغال سنگ.

ذغال سنگ به درون ذوب کننده گاز سوز شارژ می شود که می تواند ذغال سنگ کک نشده باشد و بنابراین مرحله کک سازی حذف می شود. در این مرحله چون دما بالای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد است، ذغال سنگ به ترکیبات هیدروکربنی می شکند و از تشکیل قیر جلوگیری می شود.

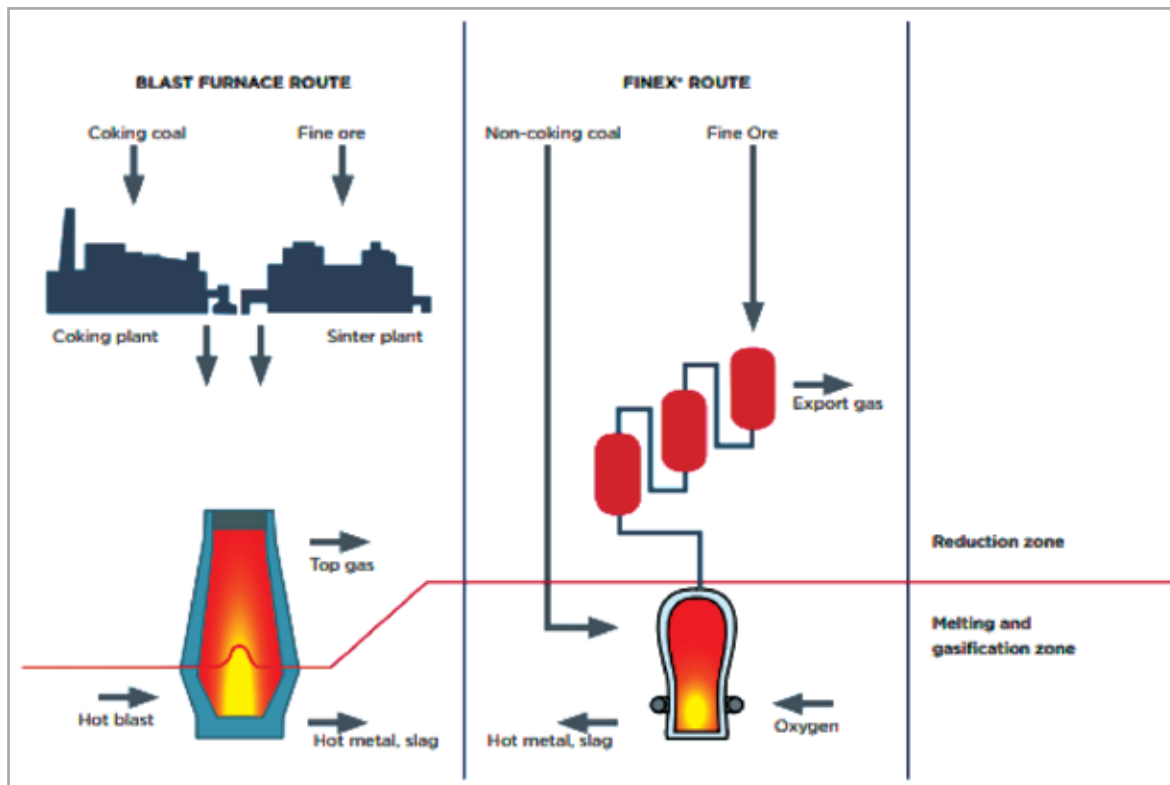
نیاز به کاهش هزینه های آهن سازی، افزایش انعطاف پذیری فرآیند از نظر استفاده از مواد اولیه و فرآیند تولید و همچنین افزایش سازگاری تولید با محیط زیست باعث توسعه فرآیند Finex توسط POSCO و Siemens VAI شده است. این فرآیند اساساً ترکیبی از Finment's fluidized bed و ذوب کننده گازسوز Corex می باشد و لذا نام آن Finex در نظر گرفته شده است. در این روش چدن مذاب به طور مستقیم با استفاده از پودر سنگ آهن و ذغال سنگ کک نشو، به جای روش سنتی کوره بلند که از پختن و احیا از طریق کک استفاده می کند، تولید می شود. ادعا می شود که حذف بخش های کک سازی و پخت^۱ در مراحل اولیه، باعث ارزان تر شدن فرآیند Finex تا حدود ۲۰٪، نسبت به ساخت یک کوره بلند با مقیاس مشابه است. علاوه بر این، کاهش ۱۰ تا ۱۵ درصدی هزینه های تولید، از طریق استفاده از مواد خام ارزان تر، کاهش هزینه های تاسیسات، کاهش تولید آلاینده ها، کاهش هزینه کارکنان، تعمیرات و نگهداری و همچنین کاهش زمان

۲. استفاده از کسر قابل توجهی از سنگ معدن.

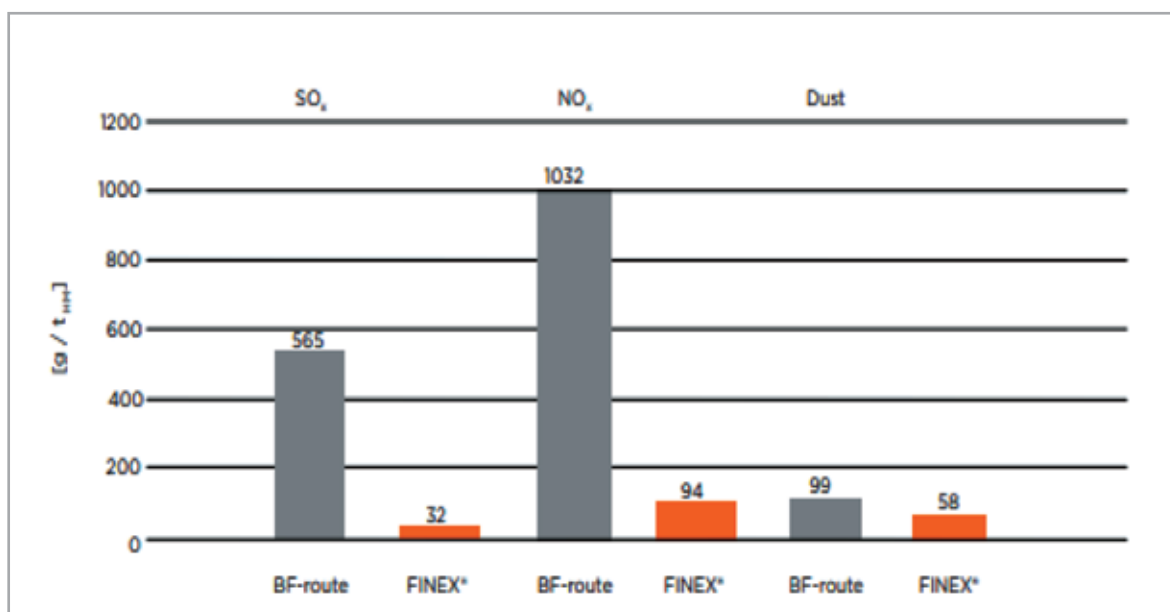
ترکیب معمول در فرآیند Finex شامل ۳۰ درصد سنگ معدن می باشد که نتایج عملیاتی نشان داده است که این مقدار تا ۸۰ درصد نیز قابل افزایش است. به علاوه برای حالت بهینه، فرآیند پخت و لذا ناحیه پخت، غیر ضروری می باشد.

۳. استفاده از اکسیژن خالص.

در فرآیند Finex از اکسیژن خلوص بالا استفاده می شود که در نتیجه دمای گاز به صورت قابل توجهی بالا می رود. با توجه به مقدار بالای حرارت، این گاز می تواند برای تولید گرما یا انرژی استفاده شود.



شکل ۱: مقایسه کلی فرآیند Finex و کوره بلند.



شکل ۲: مقایسه حجم آلودگی تولید شده در روش Finex در مقایسه با کوره بلند.



نسل سوم فولادهای پیشرفته استحکام بالا

(بخش اول)

پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان



چکیده

تغییر شکل^۲ (TWIP) و فولادهای با فاز پیچیده به عنوان گزینه‌های مناسبی برای بهبود در نسل سوم فولادهای پیشرفته پر استحکام می‌باشند. در بخش اول این مقاله به بررسی دو مورد اول این فولادها یعنی فولادهای دوفازی و TRIP پرداخته خواهد شد. برای این منظور مسیرهای مختلف تولید برای این گریدها که توسط نویسندگان مختلف ارائه شده مورد بحث قرار می‌گیرند. در این بررسی همچنین ریزساختار و خواص مکانیکی که در شرایط مختلف تولید حاصل می‌شود، مورد بحث قرار می‌گیرد. در نهایت، یافته‌های کلیدی در رابطه با تحقیقات بیشتر مورد نیاز برای تولید فولادهای پیشرفته نسل سوم با استحکام بالا مورد بحث قرار گرفته است.

کلمات کلیدی:

دو فازی ، فاز پیچیده، نسل سوم، مقاومت برخورد، شکل پذیری، استحکام، آنیل، انعطاف پذیری

در حال حاضر تمرکز صنعت خودرو بر تولید فولادهای پیشرفته با ترکیبی از استحکام بالا و انعطاف پذیری و همچنین وزن کمتر نسبت به فولادهای استحکام بالای معمولی است. فولادهای پیشرفته با استحکام بالا، دسته جدیدی از مواد برای پاسخگویی به نیاز صنعت به استحکام بالا و در عین حال حفظ قابلیت انعطاف پذیری خوب در کنار هزینه پایین تولید هستند. نسل اول و دوم از فولادهای پیشرفته با استحکام بالا از برخی محدودیت‌ها رنج می‌برند. نسل اول دارای استحکام بالا اما انعطاف پذیری پایینی بود، در حالی که نسل دوم هم استحکام و هم انعطاف پذیری داشتند اما از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبودند. در میان انواع مختلف فولادهای پیشرفته با استحکام بالا، فولادهای دوفازی، فولادهای با استحاله ناشی از تغییر شکل^۱ (TRIP) ، فولادهای با دو قلوبی ناشی از





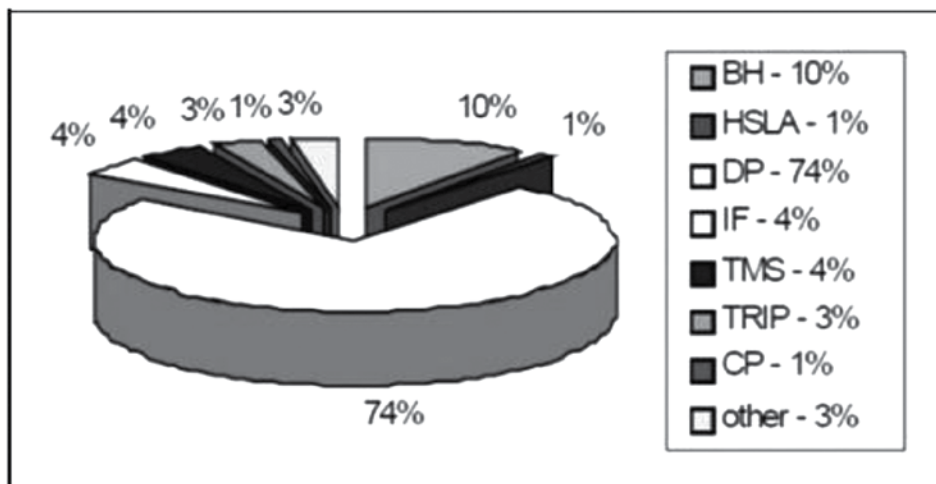
۱- مقدمه

آن‌ها را با محدودیت مواجه کرده است [۴]. برای غلبه بر محدودیت‌های نسل اول و دوم AHSS، علاقه به پیشرفت در تولید AHSS نسل سوم با ترکیبی از انعطاف‌پذیری و استحکام بالا اما با هزینه کمتر، در حال رشد است. نسل سوم به عنوان توسعه‌یافته نسل اول AHSS با بهبود خواص مکانیکی به وسیله تکنیک‌های مختلفی نظیر کاهش اندازه دانه، بهبود فرایندهای تولید و غیره به شمار می‌آیند [۶-۹، ۴]. نسل سوم AHSS، به نظر می‌رسد که ترکیبی از استحکام بالای ۱۰۰۰ مگاپاسکال و انعطاف‌پذیری بیش از ۳۰ درصد، با هزینه پایین‌تر از نسل دوم را دارا باشند [۱۱، ۱۰، ۷، ۶، ۴، ۱]. با استفاده از تغییر در ترکیب در توسعه نسل سوم AHSS، اثربخشی در کاهش هزینه حاصل می‌شود. علاوه بر این، طراحی و کنترل مؤثر بر ریزساختار برای تعیین خواص بهتر در نسل سوم AHSS بسیار مهم است [۷، ۶، ۴]. فولادهای TRIP، DP، و CP به عنوان گزینه‌های بسیار خوبی برای تغییر و توسعه به نسل سوم AHSS در نظر گرفته می‌شوند. این به خاطر پتانسیل آن‌ها برای رسیدن به استحکام و انعطاف‌پذیری معقول بدون اضافه شدن عناصر گران قیمت تثبیت کننده آستنیت است [۱۰، ۷، ۶، ۴]. TWIP با کاهش در مقدار Mn نیز به عنوان یک گزینه از نسل سوم AHSS در نظر گرفته می‌شود. در ادامه به بررسی دو مورد از این فولادهای یعنی فولادهای DP و TRIP پرداخته خواهد شد.

۲- فولادهای دوفازی

فولادهای DP به دلیل ترکیبی مناسب از استحکام-انعطاف‌پذیری نسبت به فولادهای معمولی HSLA و نیز سهولت تولید به طور گسترده‌ای در صنعت خودرو

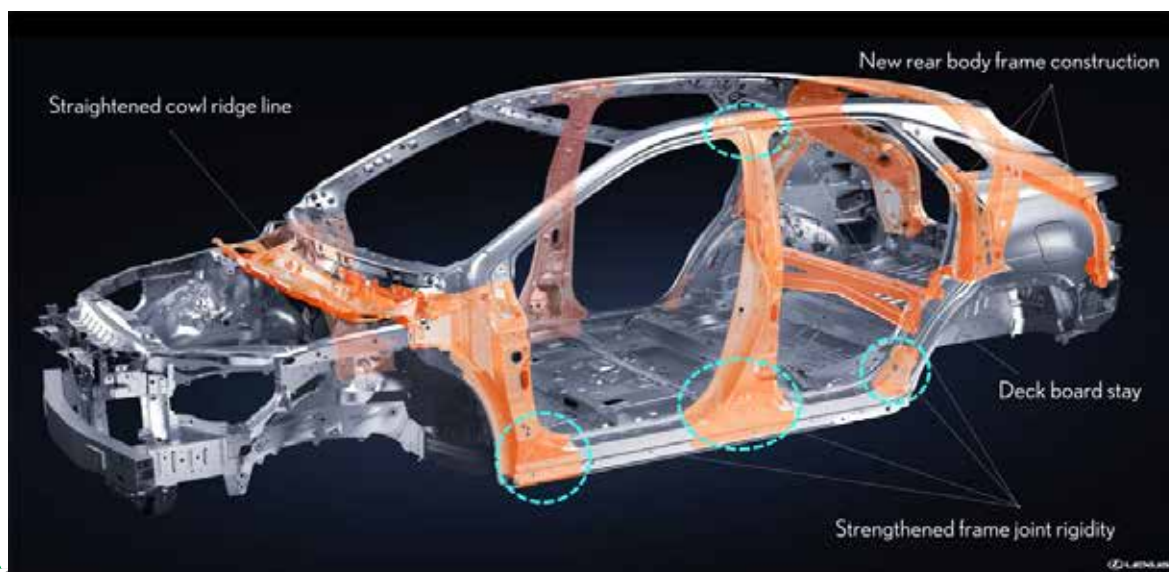
ساخت وسایل نقلیه با وزن سبک برای کاهش مصرف سوخت و افزایش مقاومت در تصادفات برای حفاظت بیشتر، چالش‌های عمده برای صنعت فولاد می‌باشند. صنعت فولاد در پاسخ به این چالش‌های جدید، یک دسته جدید از فولادهای استحکام بالا را به نام فولادهای استحکام بالای پیشرفته (AHSS^۲) معرفی کرده است. فولادهای AHSS دارای ترکیب بهتری از استحکام-انعطاف‌پذیری در برابر فولادهای معمولی هستند [۱-۳]. این فولادها عمدتاً به عنوان نسل اول، دوم و نسل سوم AHSS طبقه‌بندی می‌شوند. AHSS نسل اول عمدتاً دارای فاز فریت هستند و به طور عمده شامل فولادهای دو فاز (DP)، فولادهای با فازهای پیچیده (CP)، فولادهای با استحاله ناشی از تغییر شکل (TRIP) است. سطح استحکام نسل اول AHSS بالاتر از فولادهای معمولی میکرو آلیاژی (HSLA) است، اما شکل‌پذیری نامطلوب همچنان یک مشکل اساسی باقی مانده است [۱-۵]. برای غلبه بر مشکل انعطاف‌پذیری پایین در نسل اول AHSS، نسل دوم این فولادها توسعه یافتند که ترکیبی عالی از استحکام و انعطاف‌پذیری را نشان می‌دهند. نسل دوم AHSS عمدتاً شامل فولادهای L-IP (سبک وزن با تغییر شکل القا شده)، فولادهای TWIP (دوقلویی ناشی از تغییر شکل) و فولادهای SIP (تشکیل باند برشی ناشی از تغییر شکل) است. این فولادها به علت ساختار آستنیتی، خواص مکانیکی خوبی دارند. با این حال برای ایجاد آستنیت در ریزساختار، فولادهای نسل دوم حاوی مقادیر بالای عناصر آلیاژی (یعنی منگنز، نیکل و غیره) هستند که معمولاً هزینه بسیار بالایی دارند [۴-۷]. هزینه‌های تولید بالای فولادهای نسل دوم استفاده از

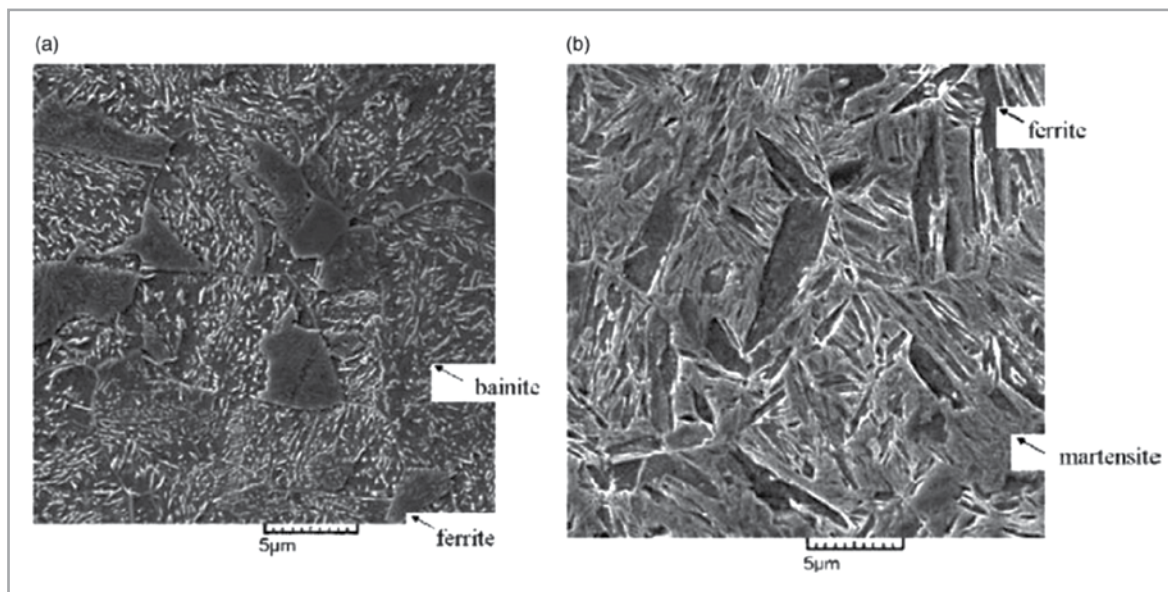


شکل ۱: سهم فولادهای DP در تولید خودرو [۴۱].

و درصد شکل پذیری) توسط مقدار فاز سخت بینیت/مارتنزیت و نحوه توزیع آن در شبکه فریت کنترل می شود [۲۸، ۵۰]. فولادهای DP با ساختار بینیتی-فریتی، قابلیت شکل پذیری و چقرمگی را افزایش می دهد در حالی که استحکام تسلیم و استحکام نهایی کمتر از فولادهای مارتنزیت فریتی است [۲۷]. سعیدی و همکارانش [۲۷]، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار فولادهای بینیتی-فریتی (BF) و مارتنزیتی-فریتی (MF) که هر دو شامل فریت برابر (۳۴٪) می باشند را ارائه کردند (همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده است). ساختار BF در شکل ۲ الف (استحکام نهایی ۱۴۲۴ مگاپاسکال و ازدیاد طول ۱۳/۷۷ درصد و انرژی ضربه چارپی ۳۶/۵ ژول) و ساختار MF در شکل ۲ ب (استحکام نهایی ۲۱۹۰ مگاپاسکال و ازدیاد طول ۸/۱۲ درصد و انرژی ضربه چارپی ۱۰ ژول) ارائه شده است. این تفاوت ها به تغییرات استحکام/انعطاف پذیری فازهای بینیت و مارتنزیت موجود در شبکه فریت مربوط می شود [۲۷].

مورد استفاده قرار می گیرند [۱۲، ۲۱]. فولادهای DP دارای استحکام بالا، درجه کار سختی اولیه خوب و انعطاف پذیری برتر نسبت به ورق های فولادی معمولی هستند [۲۲-۲۴]. فولادهای DP را می توان با تمام تکنیک های جوشکاری معمول جوش داد. این خواص فولادهای DP به ویژه برای قطعات جانبی، ساختار بدنه، مخازن سوخت و غیره در وسایل نقلیه بسیار مناسب است. [۱۰، ۷، ۱۲، ۲۰-۱۷، ۴۰-۲۵]. پیش بینی شده است که سهم کل فولاد DP در صنعت خودرو حدود ۷۰٪ می باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است [۴۱]. فولادهای DP به طور کلی شامل کربن در محدوده (۰/۰۵-۰/۲ درصد)، منگنز (۱/۲ تا ۱/۶ درصد)، سیلیسیوم (۰/۳ تا ۰/۶ درصد) به همراه عناصر میکرو آلیاژی (تا ۰/۱ درصد) Nb و Ti، V می باشند [۱۰، ۲۵، ۲۸، ۴۲]. میکروساختار آن ها نیز حاوی فاز سخت مارتنزیت یا بینیت (با کسر حجمی ۱۰ تا ۴۰ درصد) همراه با فریت است [۱، ۳۱-۲۶، ۵۰-۴۳]. خواص فولاد (استحکام





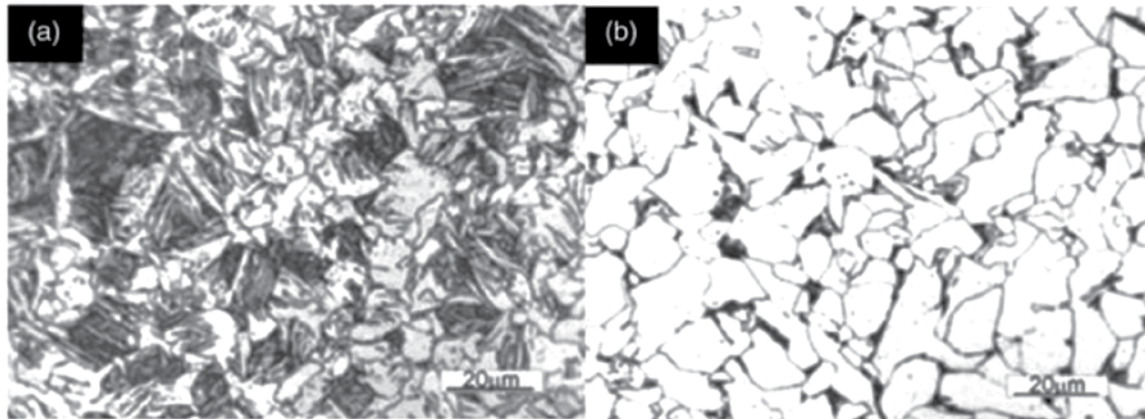
شکل ۲: تصویر SEM از ریزساختار فولاد (الف) بینیت-فریت و (ب) مارتنزیت-فریت [۲۷].

DP مورد بررسی دارای انعطاف‌پذیری بالاتر و استحکام کششی بیشتر نسبت به فولاد DP دانه درشت بود. وانگ^۵ و وی^۶ در مورد تأثیر MVF^7 و توزیع آن بر خواص برشی فولادهای DP تحقیقی انجام دادند. شکل ۳، تصاویر میکروسکوپ الکترونی از فولادهای DP۶۰۰، DP۸۰۰ و DP۱۰۰۰ را جهت نشان دادن تفاوت در خواص گریدهای DP بسته به حجم فاز مارتنزیت نشان می‌دهد. کسر حجم مارتنزیت در DP۶۰۰، DP۸۰۰ و DP۱۰۰۰ ب به ترتیب ۱۸، ۳۲ و ۵۰ درصد گزارش شده است و این فولدها به ترتیب دارای LDR^8 ۲/۱۹، ۲/۱۵ و ۲/۰۷ می‌باشند. نتایج نشان داد که به علت افزایش کسر مارتنزیت و نحوه توزیع مارتنزیت، استحکام افزایش یافته ولی LDR کاهش یافته است [۴۰].

فولادهای DP با توجه به میکروساختارشان دارای استحکام در محدوده ۴۰۰-۱۰۰۰ مگاپاسکال و ازدیاد طول ۳۰-۱۰ هستند [۴، ۲۶، ۳۳، ۳۶]. کراجوسکی^۱ و همکارانش [۳۷]، تشکیل فولاد DP با استحکام کششی ۱۱۸۰ مگاپاسکال و ازدیاد طول تا ۲۷٪ را گزارش کردند. کیم^۲ و همکاران، [۵۱] و سان^۳ و همکارانش [۵۲]، گزارش دادند که خواص کششی مطلوب در فولاد DP، در حجم مارتنزیت ۲۰ تا ۲۵ درصد به دست می‌آید. ترکیب‌های مختلف استحکام و انعطاف‌پذیر را می‌توان با استفاده از تغییر مقدار فازها، توزیع فازها، محتوای کربن در فاز سخت‌تر و اندازه دانه‌ها در میکروساختار DP به دست آورد [۵۳-۷۰، ۳۴، ۱۲]. پارک^۴ و همکارانش [۶۶]، یک فولاد DP فوق ریز دانه متشکل از دانه‌هایی با اندازه متوسط ۱/۴ میکرومتر را مورد بررسی قرار دادند. فولاد



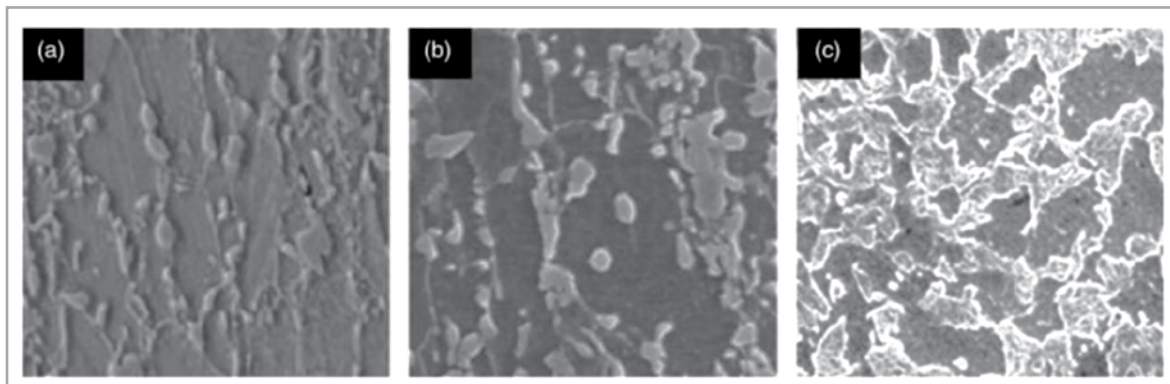
- | | |
|--------------|-------------------------------|
| 1- Krajewski | 5- Wang |
| 2- Kim | 6- Wei |
| 3- Sun | 7- Martensite volume fraction |
| 4- Park | 8- Limiting drawing ratio |



شکل ۴: ریزساختار فولاد DP با نرخ سرمایش الف (۱۰۰، ب) ۱۰ درجه سانتی-گراد بر ثانیه [۴۱].

خنک کردن متفاوت پس از یک آستنیت‌ه کردن یکسان منجر به تشکیل ریزساختارهای مختلفی می‌شود که منجر به خواص مختلف می‌شود (همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است).

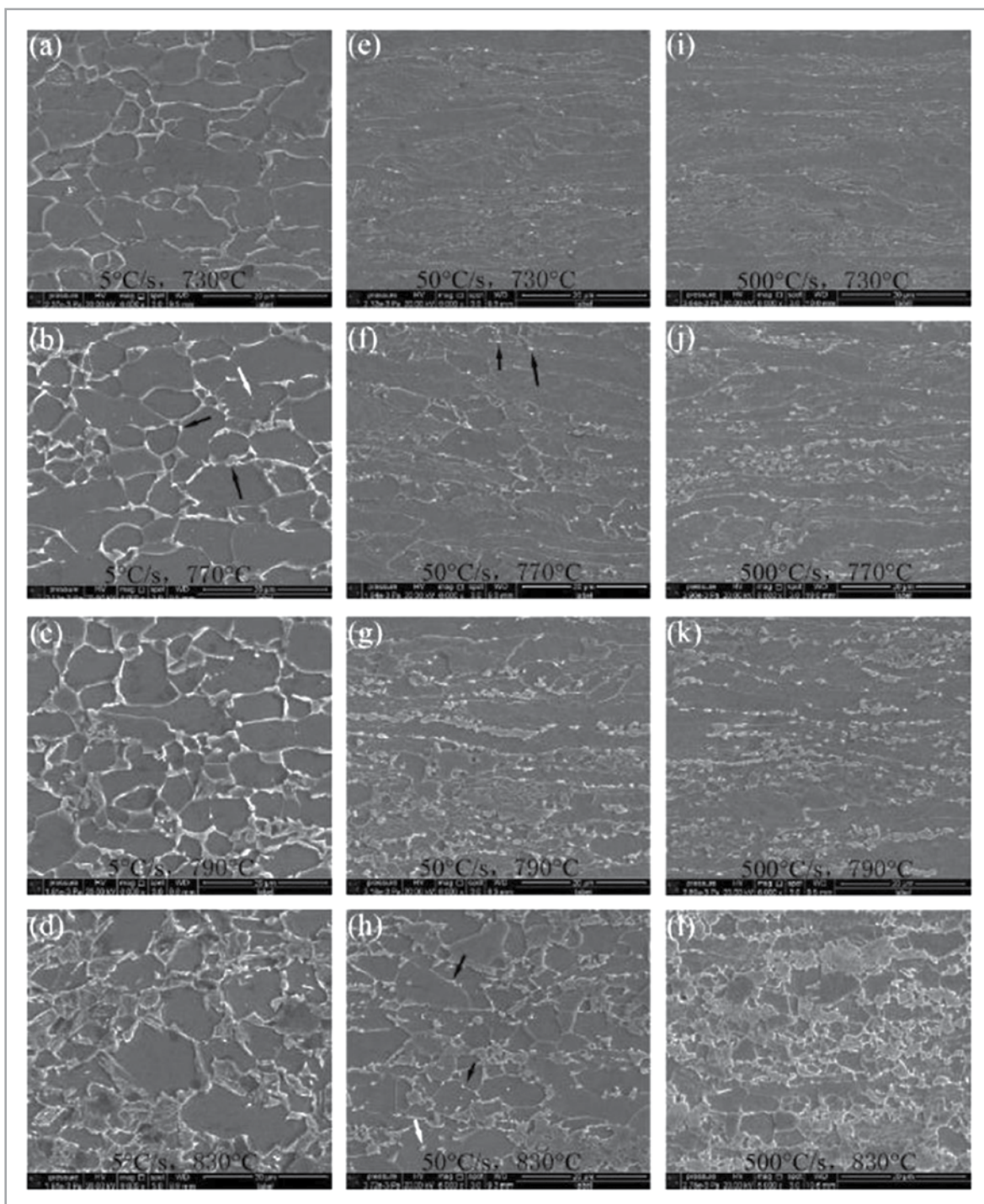
۲-۱- اثر پارامترهای آنیلینگ بر روی فولادهای DP
نرخ خنک کردن به طور قابل توجهی بر ریزساختار به دست آمده در فولادهای DP تأثیر می‌گذارد [۶۹، ۷۰]، دزدیزیک^۱ و تورکزین^۲ [۴۱] نشان دادند که نرخ



شکل ۳: تصویر SEM از ساختار گریدهای DP ۱۰۰۰ و DP ۸۰۰، DP ۶۰۰ [۴۰].



علاوه بر این، لی^۱ و همکارانش [۷۱]، در مورد تأثیر نرخ حرارت دهی بر روی فرآیند تبلور مجدد فریت و آستنیت در فولادهای DP گزارشی ارائه کرده‌اند. فولاد مورد نظر در دماهای مختلف بحرانی (۷۳۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۷۹۰ درجه سانتی‌گراد، ۸۳۰ درجه سانتی‌گراد) با نرخ‌های مختلف گرم شدند (۵ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه، ۵۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه و ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه) و سپس تا دمای اتاق سرد شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی برای این نمونه‌ها (همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است؛ فلش سیاه نشان‌دهنده جوانه‌زنی آستنیت است و فلش سفید نشان‌دهنده پراکندگی کاربید است) نشان داد که هر دو، فرآیند تبلور مجدد فریت و آستنیت شدن تحت تأثیر نرخ حرارت دهی قرار دارند.



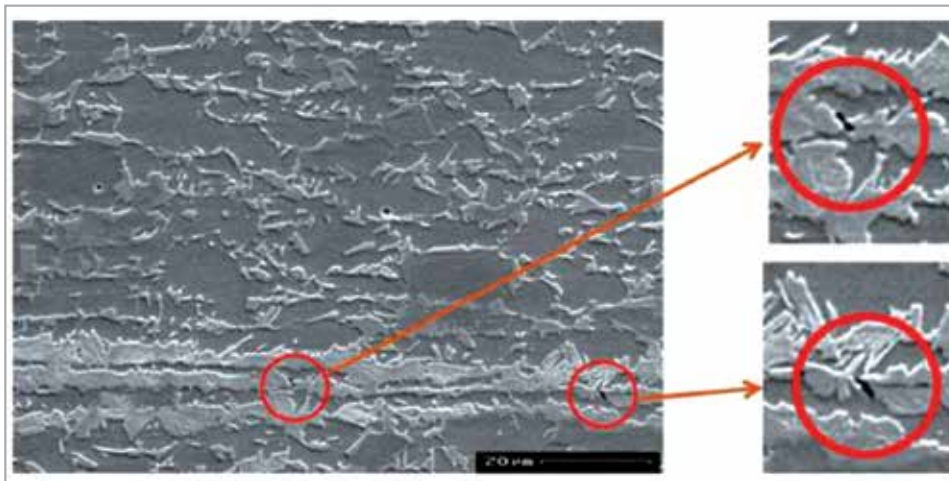
شکل ۵: تصاویر SEM از ریزساختار فولاد DP که نشان‌دهنده اثر نرخ حرارت دهی بر تشکیل فاز آستنیت در شرایط مختلف می‌باشد [۷۱].

۲-۲- فرایندهای ساخت فولادهای DP

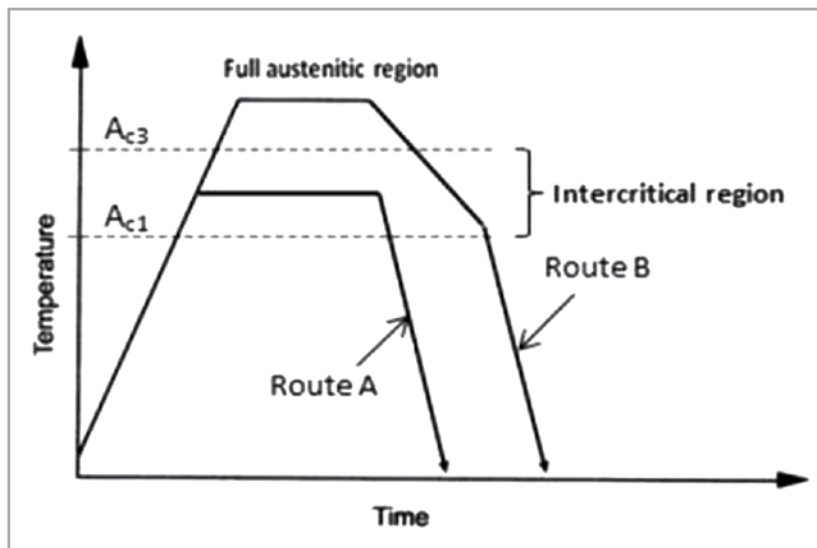
رضانی^۲ و همکارانش [۸۲] گزارش دادند که افزایش میزان کربن مارتنزیت در فولادهای DP موجب ایجاد ترک می‌شود و به همین علت باعث ضعیف شدن شکل‌پذیری می‌شود (همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده است). بنابراین، کسر مارتنزیت عمدتاً در محدوده ۱۰-۴۰٪ نگهداری می‌شود.

روش دیگر برای پردازش فولادهای (Route B، DP) شامل خنک شدن آهسته از منطقه کاملاً آستنیتی تا دمای استحاله فریت و سپس خنک کردن سریع به دمای اتاق برای تبدیل آستنیت باقی مانده به مارتنزیت می‌باشد [۸۳-۸۷، ۲۶]. خواص حاصل از این مسیر شامل استحکام کششی کمتر و انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به روش اول است. این امر به اندازه بزرگ‌تر دانه‌های آستنیت به دست آمده از مسیر B نسبت به مسیر A نسبت داده شده است. شکل ۷ منحنی‌های دما-زمان برای مسیر A و مسیر B را نشان می‌دهد.

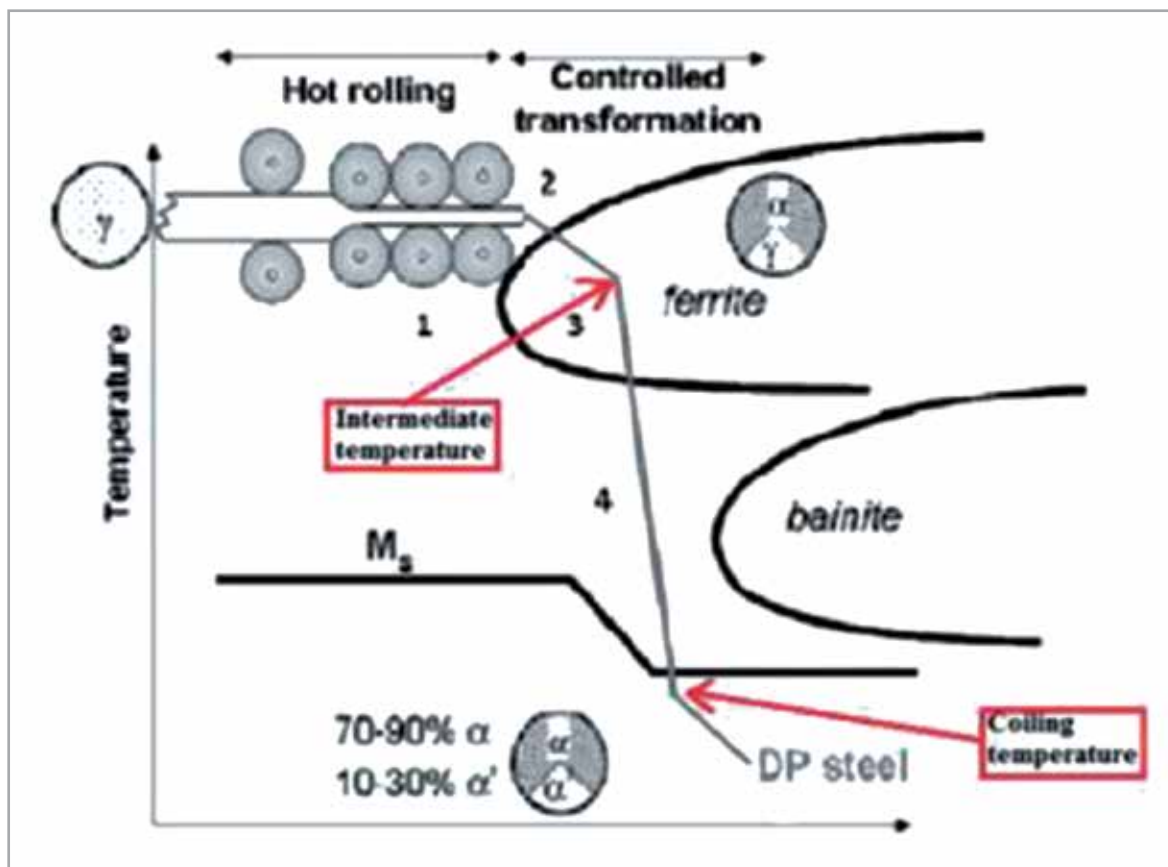
چند روش معمول برای ساخت فولادهای DP وجود دارد. یکی از روش‌ها (به عنوان مثال Route A) شامل خنک شدن سریع از دمای بین بحرانی به دمای اتاق به طور مستقیم است [۴۷-۷۴]. ریزساختار حاصل از آن شامل فریت و مارتنزیت می‌شود [۲۵، ۳۲، ۸۱-۷۷]. سرمایه‌گذاری از دمای بالاتر مقدار بیشتری مارتنزیت را به وجود می‌آورد که در نتیجه استحکام کششی افزایش و شکل‌پذیری کاهش می‌یابد [۷۲، ۷۳، ۷۹-۸۱]. احمد^۱ و همکارانش [۷۹] از این روش پردازش و دماهای آنیل ۷۵۰، ۷۶۰ و ۷۷۵ درجه سانتی‌گراد، زمان نگهداری یکنواخت ۲۰ دقیقه و نرخ خنک کردن ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه استفاده کردند. مشاهده شد که با افزایش دمای آنیل استحکام کششی افزایش و قابلیت شکل‌پذیری کاهش یافت. این امر به افزایش حجم فاز مارتنزیت که از ۱۲ به ۳۵ درصد افزایش یافت مربوط می‌باشد.



شکل ۶: شروع ترک در فولاد دوفازی مارتنزیتی [۸۲].



شکل ۷: روش‌های ساخت فولادهای دوفازی.



شکل ۸: روش NG-TCMP برای ساخت فولاد DP [۹۹].

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است. این روش خنک کننده به عنوان (UFC^۱) خنک کننده فوق‌العاده سریع شناخته شده است و مسیر پردازش به عنوان (NGTMCP^۲) نامیده می‌شود [۹۸-۸۸].

یک روش سوم برای ساخت فولادهای (DP) شامل نورد گرم فولاد است و به دنبال آن ابتدا سرد کردن آهسته تا دماهای متوسط، سپس خنک کردن دوم با سرعت بسیار بالا (خنک‌سازی فوق‌العاده سریع) و در نهایت، خنک کردن آهسته به دمای اتاق



- 1- Ultra-fast cooling
- 2- New generation thermomechanical controlled processing

بینیت/مارتنزیت ریز، به واسطه سختی سازی رسوبی می توانند بدون کاهش در انعطاف پذیری استحکام خوبی داشته باشند که این نوع فولادها برای نسل سوم AHSS مناسب هستند [۱۰۸-۱۱۶، ۳۱، ۱۰، ۷، ۶]. جدول ۱ مسیرهای اصلی پردازش و نتایج به دست آمده برای فولادهای DP با ترکیبات مختلف را نشان می دهد.

علاوه بر خنک سازی فوق العاده سریع، بعضی از تکنیک های دیگر مانند میکرو آلیاژ سازی با تیتانیوم، چرخه حرارتی، گرمایش سریع و غیره نیز برای اصلاح اندازه دانه و بهبود ترکیب استحکام کششی همراه با جذب انرژی بالا استفاده شده است [۱۰۱-۱۰۷، ۳۲، ۳۱، ۷، ۶]. تعدادی از نویسندگان گزارش داده اند که فولادهای DP با بینیت فوق العاده ریز، ریز ساختار فریت

جدول ۱: روش های ساخت و ترکیبات شیمیایی برای فولادهای DP

Authors	Composition of DP steel (wt%)	Major results/Conclusions
1. Processing Route – A Adamczyk and Grajcar ²⁵	C – 0.09, Mn – 1.5, Si – 0.26, Ni – 0.07, P – 0.014, S – 0.009, B – 0.003, Al – 0.029, and N – 0.012	<ul style="list-style-type: none"> Different initial structures influence the martensite morphology of final DP-type structure. YS: 520 MPa; UTS: 800 MPa; TE: 20%
Ahmad et al. ¹¹⁵	C – 0.09, Mn – 1.2, Cr – 0.78, Si – 0.26, Ni – 0.15, Cu – 0.2, and Mo – 0.04	<ul style="list-style-type: none"> Thermomechanical processing in the inter-critical range influences the hardenability of steel. UTS 1023 MPa; TE: 18%
Demir and Erdogan ⁸⁰	<ul style="list-style-type: none"> C – 0.064, Mn – 1.72, Si – 0.46, Ni – 0.67, P – 0.0113, S – 0.0105, V – 0.07, Ti – 0.015 and Nb – 0.005 C – 0.062, Mn – 1.89, Si – 0.37, Ni – 0.85, P – 0.0130, S – 0.0110, V – 0.06, Ti – 0.013 and Nb – 0.003 	<ul style="list-style-type: none"> The compositions of steels investigated were perceived suitable for commercial processing of DP steels (having desired fraction of ferrite and martensite) through continuous annealing process, even with low quenching power. When low temperature annealing was done with slow cooling rates, there was more martensite content in DP steel with finer grain structure as compared to relatively coarse grained.
Meng et al. ²⁶	C – 0.06, Si – 0.20, Mn – 1.3, P – 0.017, and S – 0.006	<ul style="list-style-type: none"> For continuous annealing lines, the quenching route may decrease the processing cost, enhance the solderability and galvanizing results.
Calcagnotto et al. ¹⁰⁶	C – 0.17, Mn – 1.49, Si – 0.22, Al – 0.033, N – 0.0033, P – 0.0017 and S – 0.0031	<ul style="list-style-type: none"> UTS 1000 MPa with lean composition. Fine grained structure enhances yield strength as well as ultimate tensile strength. Grain refinement promotes ductile fracture mechanisms in response to both tensile and impact conditions. YS: 525 MPa, UTS: 1037 MPa and TE: 7.3%
Li et al. ⁷¹	C – 0.1, Si – 0.4, Mn – 1.6, P – 0.013, S – 0.006 and Cr – 0.017	<ul style="list-style-type: none"> The variation in microstructure due to difference in heating rate minimizes at a very high annealing temperature. An improvement in strength was observed under rapid heating of the steel at a high annealing temperature.
Armaki et al. ¹¹⁷	C – 0.15, Mn – 1.45 and Si – 0.30	<ul style="list-style-type: none"> In the as-received steel, strength and hardness within individual ferrite grains was not spatially homogeneous. YS: 350 MPa, UTS: 1050 MPa, TE: 15%
Meng et al. ³²	C – 0.07, Mn – 1.7 and Si – 0.29	<ul style="list-style-type: none"> As a result of fast heating, the morphology of secondary phase changed from coarse lath-like martensite to fine fiber-like shape. Fast-heating annealing process can be a promising alternative routine for producing DP steels as the process is more energy efficient, simple and economic. YS: 372 MPa; UTS: 666 MPa; TE: 26.6%
2. Processing Route – B Ghanei et al. ¹¹⁸	C – 0.08, Mn – 0.41, Si – 0.502, P – 0.091, Ni – 0.232, Cr – 0.389 and Cu – 0.324	<ul style="list-style-type: none"> With the increase in martensite fraction magnetic permeability of DP steel experienced a decline (because ferrite is more permeable magnetically than

(continued)



جدول ۱: ادامه

Authors	Composition of DP steel (wt%)	Major results/Conclusions
Seyedrezai et al. ¹¹⁹	C – 0.09, Mn – 0.1, P – 0.012, S – 0.006, Si – 0.02, Cu – 0.03, Ni – 0.01, Cr – 0.26, Mo – 0.29, N – 0.004, V – 0.001, Ti – 0.001 and Nb – 0.002	<p>martensite).</p> <ul style="list-style-type: none"> As martensite content increased there was an increase in dislocation density and more internal stresses were developed. At a given fraction and size of martensite, the difference in work hardening rate was observed because of the effect of morphology and spatial distribution and the contribution of martensite to work hardening was only significant at early stages of deformation. Various austenite nucleation sites exist in the DP steel microstructures during IC annealing. The most effective ones are pearlite colonies, previous martensite particles and carbides located at ferrite grain boundaries.
3. Processing Route – C Cai et al. ¹⁰¹	C – 0.085, Si – 0.62, Mn – 0.92, P – 0.013, S – 0.008, Cr – 0.39, Cu – 0.08, Nb – 0.02, and Ti – 0.02	<ul style="list-style-type: none"> By combing the temperature field and phase field, the cooling process of DP steels can be simulated, and ferrite grain size and the tensile behavior predicted with reasonable accuracy. YS: 476 MPa, UTS: 670 MPa, TE: 22%
Schemmann et al. ¹²⁰	0.14 C, 1.9 Mn and 0.4 Cr, 0.25 Si	<ul style="list-style-type: none"> The coiling temperature may drastically influence the enrichment of carbides with substitution elements like manganese and chromium. High temperatures lead to a high degree of enrichment(P + F)

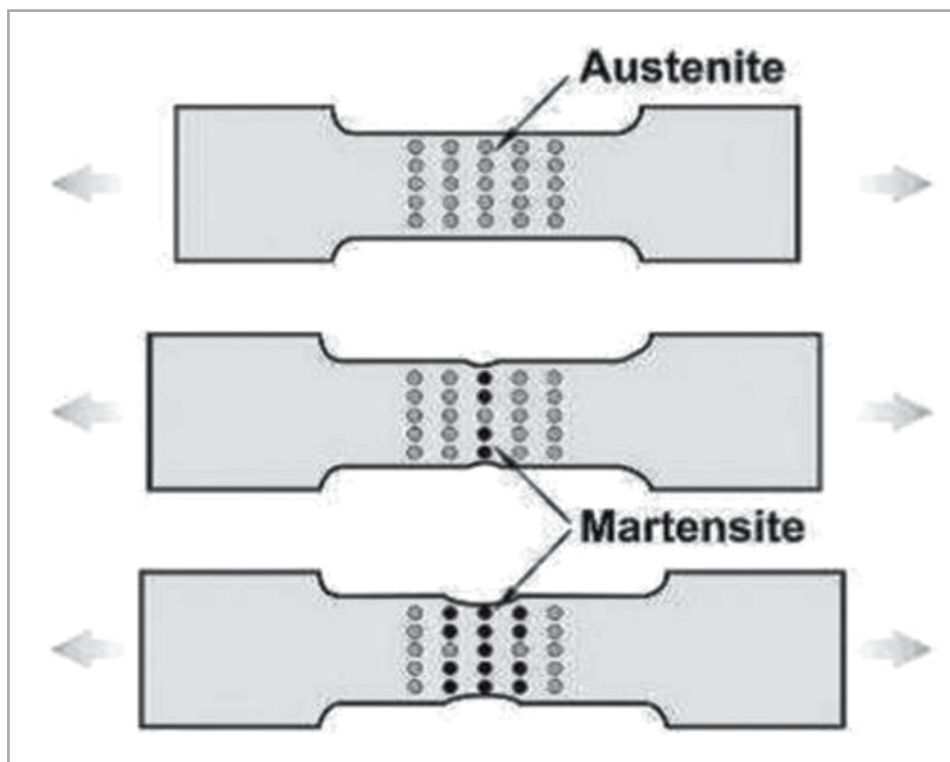
حرارتی (فرایندی کلی برای اصلاح اندازه دانه) برای ساخت فولادهای DP انجام نشده است.

تحقیقات آینده در فولادهای DP می‌تواند بر تعیین زمان حرارت دهی مطلوب، نرخ سرمایش/گرمایش با کاهش عناصر آلیاژی برای ایجاد ریزساختارهایی که قادر به ارائه خواص خوب در هزینه‌های نسبتاً پایین هستند تمرکز کند.

۲-۳- بررسی آینده فولادهای DP با توجه به روش‌های ساخت

نویسندگان مختلف در مورد روش‌های مختلف برای کاهش اندازه دانه (به عنوان مثال اضافه کردن عناصر آلیاژی، فرایندهای مکانیکی حرارتی و غیره) به منظور بهبود خواص مکانیکی در فولادهای DP مطالعاتی انجام داده‌اند، اما هیچ تلاشی برای استفاده از فرآیند چرخه





شکل ۹: پدیده TRIP در حین تست کشش.

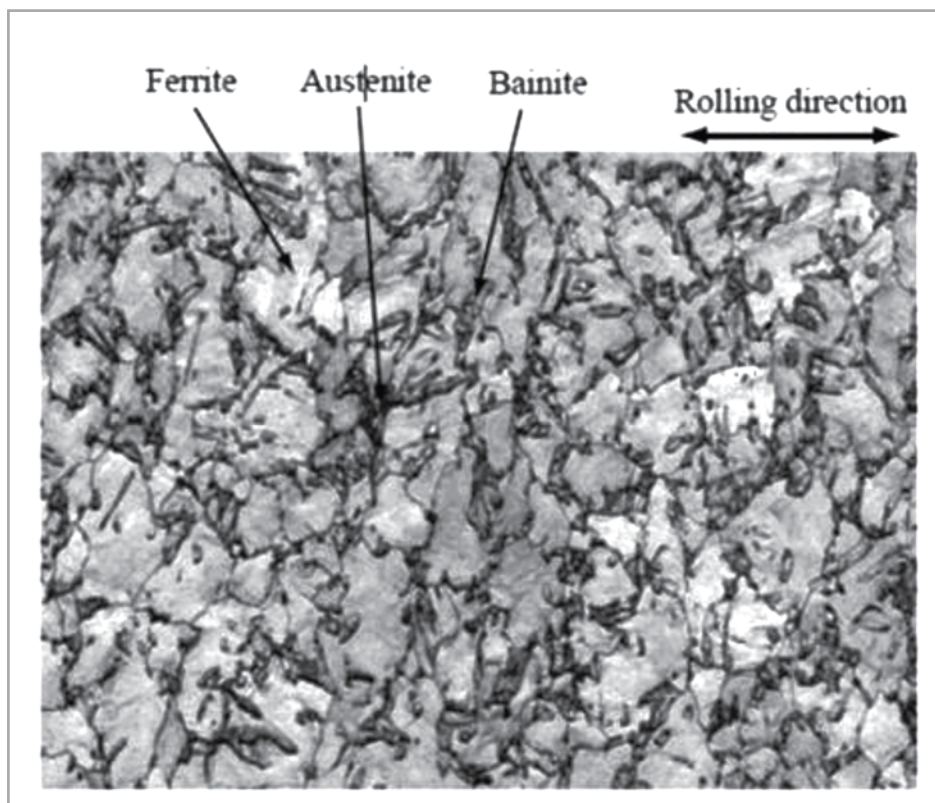
عمدتاً دارای ساختارهای چند فازی تشکیل شده از فریت (۵۰-۵۵٪)، بینیت (۳۰-۳۵٪)، آستنیت باقی مانده (۷-۱۵٪) و مارتنزیت (۱-۵٪) هستند [۱۳۱-۱۳۶، ۱]. انعطاف پذیری عالی و استحکام بالا در فولادهای TRIP به واسطه استحاله آستنیت باقی مانده به مارتنزیت در اثر تغییر شکل است [۱۳۷-۱۴۵، ۱]. این استحاله (بر اثر تغییر شکل) اثر TRIP نامیده می شود [۱۴۶، ۱]. شکل ۹ اثر TRIP را در طول تست کشش یک نمونه نشان می دهد. محققان اظهار داشتند که فولادهای TRIP، ترکیبی از استحکام کششی و انعطاف پذیری عالی (و همچنین مقاومت بالا در برابر ضربه) را ارائه می دهند و کاندیداهای قوی برای نسل سوم AHSS می باشند [۱۴۷، ۱۰-۱۲، ۶، ۷، ۱].

۳- فولادهای با استحاله ناشی از تغییر شکل

۳-۱- ریزساختار و خواص مکانیکی فولادهای TRIP

تولیدکنندگان خودرو از فولادهای TRIP به طور گسترده ای به علت استحکام و انعطاف پذیری بالای هم زمان استفاده می کنند [۱۳۰]. در فولادهای TRIP، تثبیت کننده های آستنیت، عمدتاً C، Mn و یا Ni هستند. استفاده از N نیز در این فولادها بدون حضور آلومینیوم توصیه می شود. علاوه بر این، Si نیز به منظور کاهش تولید کاربید به کار می رود و به حفظ حداکثر کربن آزاد برای پایداری آستنیت کمک می کند [۱۲، ۶]. به دلیل حفظ قابلیت جوش پذیری، مقدار کربن به طور کلی در محدوده ۰/۲-۰/۲۵ درصد محدود است. فولادهای TRIP





شکل ۱۰: ریزساختار فولاد TRIP [۱۳۵].

همکارانش [۱۴۸]، گزارش دادند که هرچه اندازه دانه کوچک‌تر باشد، پایداری آستنیت کمتر است و اثر TRIP کمتر است. این به رقابت بین دوقلوبی و تغییر شکل فازها مربوط می‌باشد. در دانه‌های بزرگ‌تر، پدیده دوقلوبی نیز در طول تغییر شکل رخ می‌دهد و استحاله آستنیت را به تأخیر می‌اندازد و پایداری آستنیت را در برابر تغییر شکل و افزایش اثر TRIP افزایش می‌دهد.

۳-۳- فرایندهای تولید فولادهای TRIP

فولادهای TRIP عمدتاً توسط گرم کردن فولاد به منطقه کاملاً آستنیتی، سپس خنک کردن آن تا منطقه بین دماهای بحرانی و در ادامه تغییر شکل نمونه، انتقال سریع به منطقه بینیت و نگه داشتن در این منطقه و در نهایت خنک کردن به دمای اتاق تولید می‌شوند [۱۴۹-۱۳۷، ۱۴۰]. (همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است)

تغییر شکل نمونه در منطقه بین دماهای بحرانی، نرخ تبدیل آستنیت به فریت را افزایش می‌دهد. به این ترتیب، آستنیت باقیمانده با کربن غنی می‌شود، که منجر به پایداری بیشتر این فاز می‌شود. علاوه بر این، تغییر شکل موجب افزایش نرخ جوانه‌زنی بینیت می‌شود، اما سرعت رشد دانه‌های آن را کاهش می‌دهد که باعث می‌شود صفحات کوچک بینیت ایجاد شود. این مجدداً به غنی شدن آستنیت با کربن کمک می‌کند و

متلوک^۱ و اسپیر^۲ گزارش دادند که خصوصیات نسل سوم فولادهای AHSS را می‌توان با استفاده از دو تغییر عمده در فولادهای TRIP بدست آورد. (۱) بوسیله افزایش کسر آستنیت در ریزساختار فولاد TRIP و (۲) افزایش پایداری آستنیت در طول تغییر شکل منجر به استحاله پایداری آستنیت از طریق افزایش درصد کربن محلول در آستنیت با افزایش سایر تثبیت‌کننده‌های آستنیت مانند Mn، Ni و غیره، بیشتر می‌شود. همچنین با کاهش اندازه دانه آستنیت [۱۴۸، ۱۳۷، ۱۳۶]. در شکل ۱۰، ریزساختار فولاد TRIP شامل آستنیت باقیمانده (Ar)، بینیت (B) و فریت (F) و بدون مارتنزیت را نشان می‌دهد. در حین تغییر شکل، آستنیت باقی مانده به مارتنزیت تبدیل می‌شود و باعث رخ دادن اثر TRIP می‌شود [۱۳۴-۱۳۸].

۳-۲- پارامترهای مؤثر بر اثر TRIP

فاکتورهایی که بر اثر TRIP اثر می‌گذارند عبارتند از: (۱) تراکم حجم^۳ RA در ریزساختار و مقاومت آن در برابر تبدیل به مارتنزیت در طول تغییر شکل، (۲) محتوای کربن RA، که باعث افزایش عامل اول می‌شود، (۳) اندازه دانه آستنیت و (۴) عناصر آلیاژی موجود در فولاد [۱۳۰-۱۴۷، ۱۲۵]. سونگ^۴ و همکارانش [۱۴۵]، اثر RA و کربن بر عملکرد فولادهای TRIP را بررسی کردند. نویسندگان گزارش دادند که مقدار کربن آستنیت، مقدار آستنیت باقی مانده در فولاد را تعیین می‌کند. وانگ^۵ و

1- Matlock

4 Seong

2- Speer

5- Wang

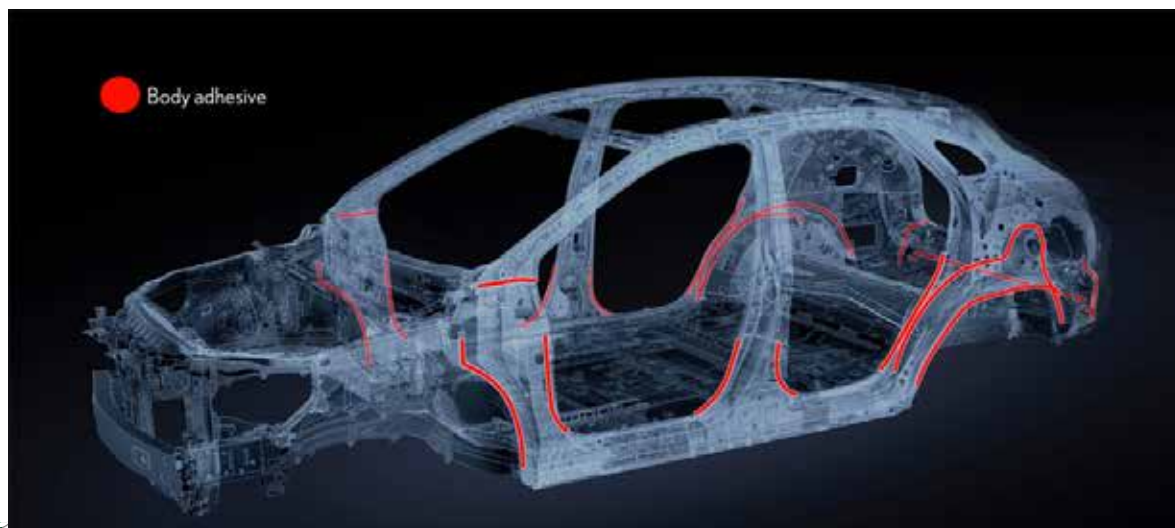
3- Retained Austenite

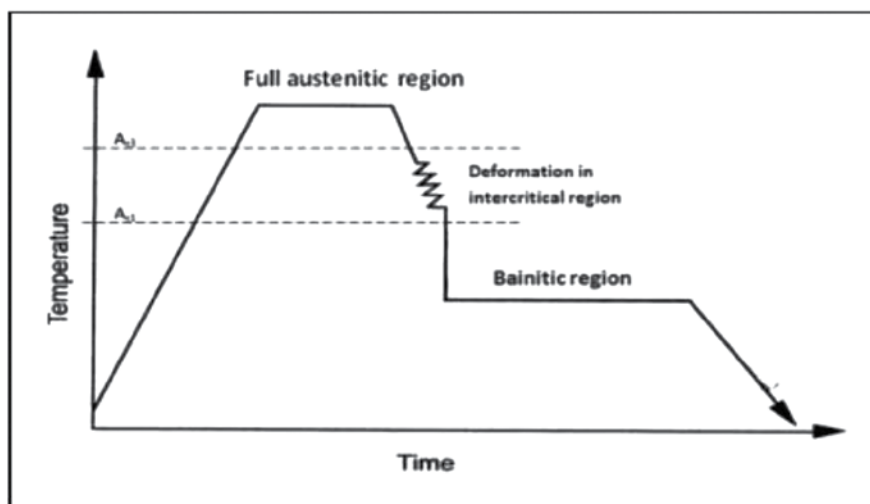
جدول ۲: فرایندهای ترمو مکانیکی هفت نمونه مختلف [۱۳۸]

Specimen	Austenization conditions	Compression temperature, percent reduction, cooling medium	Bainitic hold
T1	950°C/900 s	710°C/16 s, 30%, water	400°C/300 s
T2	950°C/450 s	710°C/16 s, 30%, water	400°C/300 s
T3	950°C/450 s	610°C/16 s, 30%, water	400°C/300 s
T4	900°C/450 s	660°C/16 s, 30%, water	400°C/300 s
T5	850°C/450 s	710°C/16 s, 30%, water	400°C/300 s
T6	850°C/450 s	700°C/16 s, 30%, CO ₂	400°C/300 s
T7	850°C/450 s	700°C/16 s, 50%, CO ₂	400°C/300 s

این به این دلیل است تغییر شکل باید در دمای بالا انجام شود و نیاز به تثبیت دما وجود دارد همچنین نمونه باید در منطقه بینیتی نگه داشته شود که این موارد نیاز به تدابیر ویژه دارد. این موارد استفاده از فولادهای TRIP را در کاربردهای صنعتی محدود می کند. نورد در ناحیه بین دماهای بحرانی خواص فولاد TRIP را با افزایش میزان کربن، افزایش نابجایی ها و کاهش اندازه دانه بهبود می دهد [۱۳۷].

پایداری آن را افزایش می دهد. نویسندگان مختلف گزارش کرده اند که ثبات RA به دلیل داشتن محتوای کربن بالا افزایش می یابد و زمان بیشتری برای تبدیل به مارتنزیت نیاز دارد که باعث افزایش قابلیت شکل پذیری فولاد می شود. تبدیل آستنیت به مارتنزیت در میکروساختار نهایی، استحکام کششی را افزایش می دهد. بدین ترتیب، ترکیبی از استحکام و انعطاف پذیری به دست می آید [۱۳۷-۱۴۱]. تولید فولاد TRIP از این روش، زمان بر است.



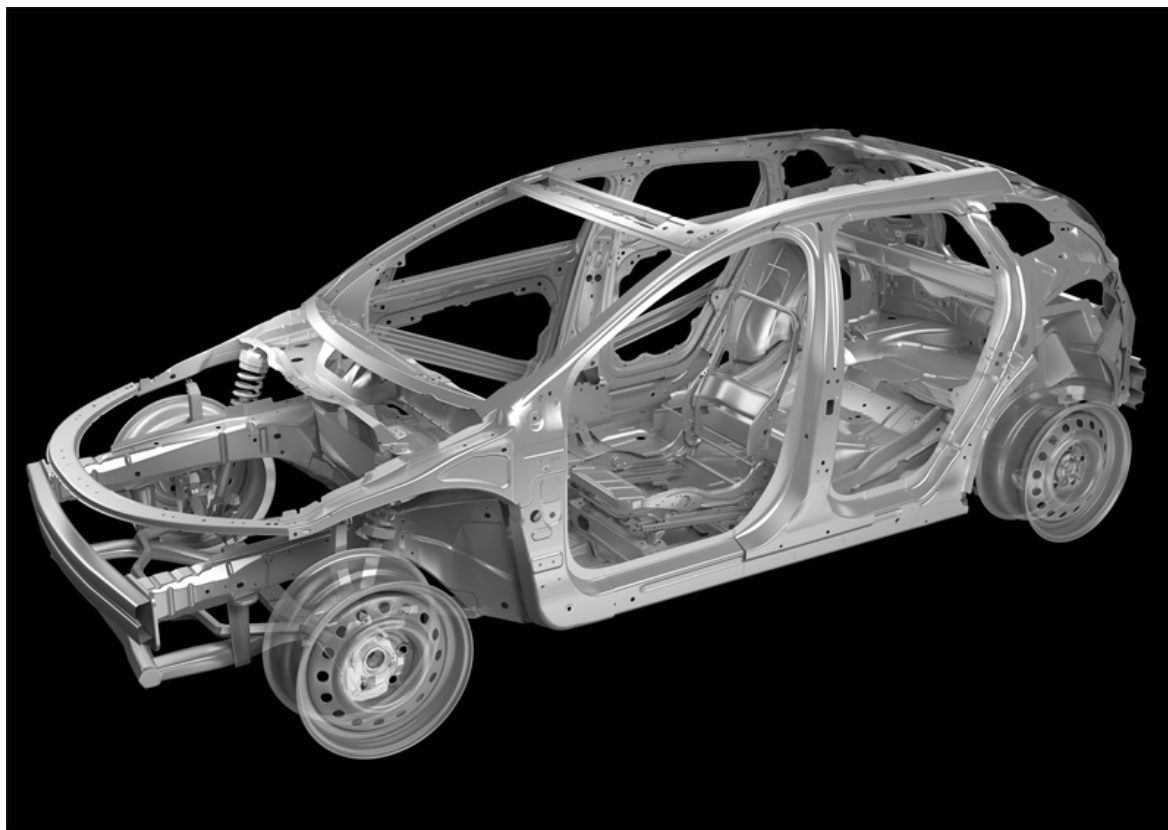


شکل ۱۱: روش معمولی ساخت فولاد TRIP.

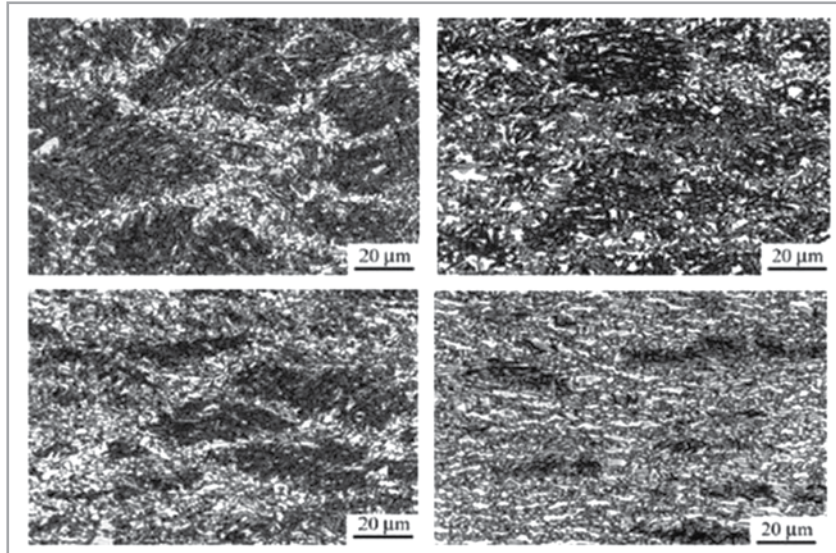
داشته‌اند، و پس از آن تا دمای اتاق سرد کرده‌اند. نمونه‌هایی که در دمای بالاتری حرارت دیدند ساختار ناهمگنی از خود نشان دادند که منجر به افزایش اندازه دانه شد اما سایر نمونه‌ها ساختار همگن و ریزی از خود نشان دادند. بررسی تفاوت ریزساختارهای ایجاد شده نشان داد که کرنش دارای مقدار بهینه‌ای است که فراتر از آن خواص فولادهای TRIP را کاهش می‌دهد. لی^۳ و همکارانش [۱۵۰]، اثر کرنش در منطقه بین دماهای بحرانی را در اثر TRIP بررسی کردند (همان‌طور

اسکالوا^۱ و همکاران نیز از مسیر مشابه (همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است) استفاده کردند و اثر مسیر^۲ TMP را مطالعه کردند. همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است آن‌ها هفت نمونه با ترکیبات متفاوت را در هفت مسیر مختلف TMP مورد پردازش قرار دادند.

در هر مسیر، دمای نمونه را بالا برده و در آنجا تغییر شکل داده‌اند. سپس، آن را تا محدوده بینیتی خنک کرده و برای مدت زمان تعیین شده در آن دما نگه



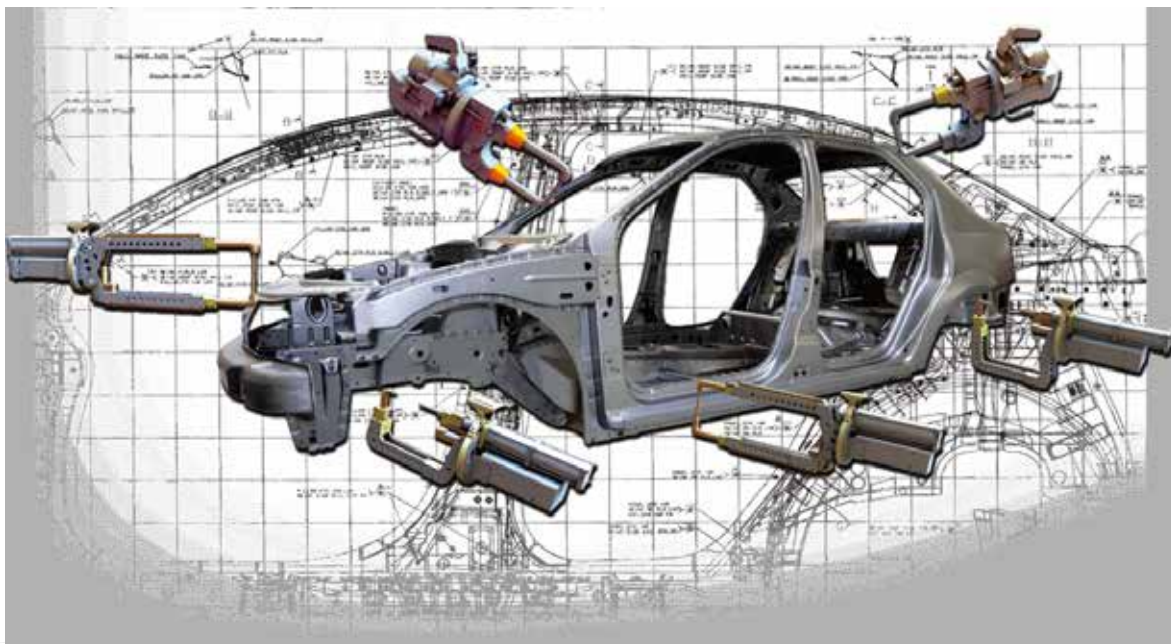
- 1- Skalova
- 2- Thermo-mechanical processing
- 3- Li



شکل ۱۲: ریزساختار فولاد تحت کرنش‌های مختلف [۱۵۰].

کاهش مقدار بینیت در میکرو ساختار چند فازی مربوط می‌باشد. علاوه بر این، کاهش در استحکام می‌تواند به افزایش کسری از جزایر بلوکی M/A بین دانه‌های فریت نسبت داده شود. افزایش حرکت نابجایی‌ها نیز دلیل دیگری برای این کاهش استحکام می‌باشد. در برخی از تحقیقات نیز از آستنیت‌زدن جزئی، سپس ننگه داشتن در دمای بینیت برای دقایقی و بدون اعمال تغییر شکل برای ساختن فولاد TRIP استفاده کرده‌اند. در این روش مشاهده شده است که با افزایش دمای اولیه مقدار آستنیت باقی مانده کاهش می‌یابد. علت این موضوع نیز مربوط به افزایش تشکیل رسوبات سمنتیت و کاهش مقدار کربن محلول می‌باشد [۱۴۵].

که در شکل ۱۴ نشان داده شده است). نمونه‌های فولادی در دمای ۱۲۷۳ K به مدت ۵ دقیقه حرارت داده شدند و با سرعت ۵ کلومین بر ثانیه خنک شدند و نرخ کرنش S-۱ تا کرنش‌های مختلفی تغییر شکل پیدا کردند. پس از آن با سرعت ۳۰ کلومین بر ثانیه تا ۶۷۳ K سرد شدند و برای ۳ دقیقه در این دما ننگه داشته شدند و سپس درون آب به دمای اتاق رسیدند. مشاهده شد که با افزایش کرنش، فریت افزایش یافت، بینیت کاهش یافت، آستنیت A کاهش پیدا کرد و مقدار آستنیت بلوکی افزایش یافت، (همان‌طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است). کاهش مداوم استحکام بین ۸۵۰ تا ۷۰۰ مگاپاسکال در این مسیر مشاهده شد که به



۳-۴- بررسی آینده فولادهای TRIP با توجه به روش‌های ساخت

TWIP / در مرکز توجه برای کاربردهای صنعتی هستند. یافته‌های کلیدی در مورد کارهای آینده مورد نیاز برای پردازش AHSS فولاد نسل سوم به شرح زیر است: فولادهای DP همان‌طور که مورد بحث قرار گرفتند، عمدتاً شامل نوارهای مارتنزیتی در راستای فاز فریت می‌باشند. همچنین گزارش شده است که آغاز ترک در هنگام اعمال نیرو به فولادهای DP در بین لایه‌های مارتنزیت رخ می‌دهد که منجر به شکست فولاد می‌شود. با این حال، تحقیقات بسیار محدودی پیرامون تغییر مورفولوژی مارتنزیت برای بهبود ریزساختار و عملکرد آن انجام شده است. علاوه بر این، مسیرهای پردازش مانند چرخه حرارتی در پردازش فولادهای DP استفاده نشده است.

برای فولادهای TRIP، تحقیقات را می‌توان برای دست یافتن به میکروساختارهای حاوی فازهای فریت و آستنیت فوق ریز دانه بدون تشکیل فازهایی مانند کاربید، سمنتیت، مارتنزیت و غیره ادامه داد. با این نوع ریزساختار، فاز آستنیت با کربن بیشتری غنی می‌شود و اثر TRIP را به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد.

پردازش فولادهای TRIP به دلیل نیاز به نگهداشتن فولاد در منطقه بینیتی بسیار وقت‌گیر است. علاوه بر این، در اکثر تحقیقات گزارش شده در فولادهای TRIP، محتوای کربن بالایی برای تثبیت آستنیت استفاده شده است. این باعث می‌شود که جوش‌پذیری فولادها به صورت قابل توجهی کاهش یابد. تحقیقات آینده می‌تواند بر توسعه فولادهای TRIP که نیازمند دوره‌های کوتاه‌تر پردازش هستند و همچنین ترکیبات کم آلیاژی برای افزایش قابلیت جوشکاری تمرکز کند.

از بحث فوق در فولادهای TRIP، مشاهده می‌شود که این فولادها به دلیل اثر TRIP، یک ترکیب عالی از استحکام و شکل‌پذیری را فراهم می‌کنند. اثر TRIP عمدتاً بر پایه آستنیت باقی مانده و پایداری آن استوار است. علاوه بر این، کرنش اعمال شده در منطقه بین دماهای بحرانی تأثیر زیادی بر خواص فولادهای TRIP دارد. مسیرهای پردازش گزارش شده برای ساخت فولادهای TRIP بسیار وقت‌گیر هستند. همچنین افزایش مقدار کربن در فولادهای TRIP عامل اصلی نگرانی است زیرا باعث کاهش جوش‌پذیری این فولادها می‌شود. تحقیقات بیشتری برای توسعه فولادهای TRIP با مسیرهای تولید کوتاه مدت و همچنین با ترکیبات کم آلیاژی برای افزایش قابلیت جوش‌پذیری مورد نیاز است. علاوه بر این، شبیه به فولادهای DP، ترکیب شیمیایی که برای فولادهای TRIP انتخاب شده است بر اساس روش صحیح و خطا بوده است. ترکیب شیمیایی بهینه همراه با مسیرهای تولید بهینه برای ارائه حداکثر اثر TRIP مورد نیاز هستند.

۴- نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، صنعت فولاد بر پردازش نسل سوم AHSS ها به منظور بالا بردن استحکام بدون کاهش انعطاف‌پذیری با هزینه‌های معقول تمرکز کرده است. TWIP، TRIP، DP و فولادهای CP به عنوان کاندیداهای بسیار خوبی برای توسعه به نسل سوم AHSS در نظر گرفته می‌شوند. فولادهای DP به علت فرایند تولید ساده و با هزینه‌های پایین نسبت به فولادهای TRIP



مراجع

1. Kuziak R, Kawalla R and Waengler S. Advanced high strength steels for automotive industry. *Arch Civil Mech Eng* 2008; 8: 103–117.
2. Mukherjee M, Bhattacharyya T and Singh SB. Models for austenite to martensite transformation in TRIP-aided steels: A comparative study. *Mater Manuf Process* 2010; 25: 206–210.
3. Simon P and Beggs PD. A numerical performance comparison of a dual-phase steel and aluminium alloy bumper bar system. *Int J Crashworthiness* 2010; 15: 425–442.
4. Hao QU. Advanced high strength steel through paraequilibrium carbon partitioning and austenite stabilization. PhD Thesis, Case Western Reserve University, USA, 2011.
5. Cora ON and Koc M. Promises and problems of ultra/ advanced high strength steel (U/AHSS) utilization in automotive industry. In: Solmaz E, Kaya N and Öztürk F (ed.) *The 7th Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, Bursa, Turkey, 26–27 May 2014. Bursa: Uludag University.
6. Matlock DK and Speer JG. Processing opportunities for new advanced high-strength sheet steels. *Mater Manuf Process* 2010; 25: 7–13.
7. Matlock DK, Speer JG, Moor ED, et al. Recent developments in advanced high strength sheet steels for automotive applications: An overview. *J Eng Sci Technol* 2012; 15: 1–12.
8. Maggi S and Murgia M. Introduction to the metallurgic characteristics of advanced high strength steels for automobile applications. *Weld Int* 2008; 22: 610–618.
9. Weber G, Thommes H, Gaul H, et al. Mechanical properties of weld bonded joints of advanced high strength steels. *J Adhes Sci Technol* 2011; 25: 2369–2389.
10. Kwon O, Lee K, Kim G, et al. New trends in advanced high strength steel developments for automotive applications. *Mater Sci Forum* 2010; 638–642: 136–141.
11. Davies RG. The mechanical properties of zero-carbon ferrite-plus-martensite structures. *Metall Mater Trans A* 1978; 9: 451–455.
12. Bhattacharya D. Developments in advanced high strength steels. In: *Proceedings of advanced high strength steel workshop*, VA, USA, 22–23 October 2006.
13. Takahashi M, Uenishi A, Yoshida H, et al. Advanced high strength steels for automobile body structures. *Mater Sci Forum* 2007; 539–543: 4386–4390.
14. Winkler S, Thompson A, Salisbury C, et al. Strain rate and temperature effects on the formability and damage of advanced high-strength steels. *Metall Mater Trans A* 2008; 39: 1350–1358.
15. Choi JS, Lee JW, Kim JH, et al. Measurement and modeling of simple shear deformation under load reversal: Application to advanced high strength steels. *Int J Mech Sci* 2015; 98: 144–156.
16. European Commission. *The strategic research agenda of the European Steel Technology Platform*. ESTEP, Brussels, 2005, pp.49.
17. Chamisa A. Development of ultra-high strength steels for reduced carbon emissions in automotive vehicles. PhD Thesis, The University of Sheffield, UK, 2014.
18. Dinda S, Di JA and Kasper AS. Microalloying 75. In: *Proceedings of an international symposium on high strength low alloy steels*, Washington, USA, 1–3 October 1975, Union Carbide, NY, USA, 1977.
19. Horvath CD and Fekete JR. Opportunities and challenges for increased usage of advanced high strength steels in automotive applications. In: Baker MA (ed.) *Proceedings of international conference on AHSS for automotive applications*, Colorado, USA, 6–9 June 2004. Warrendale, PA: Association for Iron & Steel Technology, 2004.
20. Paul SK, Mukherjee M, Kundu S, et al. Prediction of Hole expansion ratio for automotive grade steels. *Comput Mater Sci* 2014; 89: 189–197.
21. Sun SL, Huang QX, He WW, et al. Workability behavior of 9%Cr ferritic/martensitic steel. *Mater Manuf Process* 2014; 29: 1190–1196.
22. Li C, Li Z, Cen Y, et al. Microstructure and mechanical properties of dual phase strip steel in the overaging process of continuous annealing. *Mater Sci Eng A* 2015; 627: 281–289.
23. Vajragupta N, Wechsuanmanee P, Lian J, et al. The modelling scheme to evaluate the influence of microstructure features on microcrack formation of DP-steel: The artificial microstructure model and its application to predict the strain hardening behaviour. *Comput Mater Sci* 2014; 94: 198–213.
24. Sirinakorn T, Uthaisangsuk V and Srimanosawapal S. Microstructure based description of deformation behavior of dual phase steel sheets. *Procedia Eng* 2014; 81: 1366–1371.
25. Adamczyk J and Grajcar A. Effect of heat treatment conditions on the structure and mechanical properties of DP-type steel. *J Achieve Mater Manuf Eng* 2006; 17: 305–308.
26. Meng Q, Li J, Wang J, et al. Effect of water quenching process on microstructure and tensile properties of alloy cold rolled dual-phase steel. *Mater Des* 2009; 30: 2379–2385.



27. Saeidi N and Ekrami A. Comparison of mechanical properties of martensite/ferrite and bainite/ferrite dual phase 4340 steels. *Mater Sci Eng A* 2009; 523: 125–129.
28. Mohammad RA and Ekrami A. Effect of ferrite volume fraction on work hardening behaviour of high bainite dual phase (DP) steels. *Mater Sci Eng A* 2008; 477: 306–310.
29. Deardo AJ, Garcia CI, Cho K, et al. New method of characterizing and quantifying complex microstructures in steels. *Mater Manuf Process* 2010; 25: 33–40.
30. Huseyin A, Havva KZ and Ceylan K. Effect of intercritical annealing parameters on dual phase behavior of commercial low-alloyed steels. *J Iron Steel Res* 2010; 17: 73–78.
31. Wang J, Li G and Xiao A. Bainite-ferrite multi-phase steel strengthened by Ti-microalloying. *Mater Trans* 2011; 52: 2027–2031.
32. Meng Q, Li J and Zheng H. High-efficiency fast-heating annealing of a cold-rolled dual-phase steel. *Mater Des* 2014; 58: 194–197.
33. Mohrbacher H. Modern steel grades and advanced steel semi-products for automotive body applications. *Metal* 2005; 24: 1–13.
34. Hoper T, Endo S, Ishikawa N, et al. Effect of volume fraction of constituent phases on the stress-strain relationship of dual phase steels. *Iron Steel Inst Jpn Int* 1999; 39: 288–294.
35. Erdogan M and Tekeli S. The effect of martensite volume fraction and particle size on the tensile properties of a surface-carburized AISI 8620 steel with a dual-phase core microstructure. *Mater Charact* 2003; 49: 445–454.
36. Rocha RO, Melo TME, Pereloma EV, et al. Microstructural evolution at the initial stages of continuous annealing of cold rolled dual-phase steel. *Mater Sci Eng A* 2005; 391: 296–304.
37. Krajewski S and Nowacki L. Dual-phase steels microstructure and properties consideration based on artificial intelligence techniques. *Arch Civil Mech Eng* 2014; 14: 278–286.
38. Lorusso H, Burgueno A, Egidi D, et al. Application of dual phase steels in wires for reinforcement of concrete structures. *Procedia Mater Sci* 2012; 1: 118–125.
39. Aktas S, Ozsarac U and Aslanlar S. Effect of spot welding parameters on tensile properties of DP 600 steel sheet joints. *Mater Manuf Process* 2012; 27: 756–764.
40. Wang W and Wei X. The effect of martensite volume and distribution on shear fracture propagation of 600– 1000 MPa dual phase sheet steels in the process of deep drawing. *Int J Mech Sci* 2013; 67: 100–107.
41. Dziedzic M and Turczyn S. Experimental and numerical investigation of strip rolling from dual phase steel. *Arch Civil Mech Eng* 2010; 10: 21–30.
42. Manoj MK, Pancholi V and Nath SK. Mechanical properties and fracture behaviour of medium carbon dual phase steels. *Int J Res Advent Technol* 2014; 2: 243–249.
43. Sun S and Pugh M. Properties of thermo-mechanically processed dual-phase steels containing fibrous martensite. *Mater Sci Eng A* 2002; 335: 298–308.
44. Kumar A, Singh SB and Ray KK. Influence of bainite/martensite-content on the tensile properties of low carbon dual-phase steels. *Mater Sci Eng A* 2008; 474: 270–282.
45. Mukherjee K, Hazra S and Militzer M. Deformation-induced ferrite transformation in dual-phase steels. In: Proceedings of the joint international conference HSLA steels and ISUGS, Sanya Hainan, China, 2005, pp.211–216.
46. Mohanty RR, Girina OA and Fonstein NM. Effect of heating rate on the austenite formation in low-carbon high-strength steels annealed in the intercritical region. *Metall Mater Trans A* 2011; 42: 3680–3690.
47. Adamczyk J and Grajcar A. Heat treatment and mechanical properties of low-carbon steel with dual-phase microstructure. *J Achieve Mater Manuf Eng* 2007; 22: 13–20.
48. Mondal DK and Ray RK. Microstructural changes and kinetics of recrystallization in a few dual-phase steels. *Steel Res* 1989; 60: 33–40.
49. Lis AK and Gajda B. Modelling of the DP and TRIP microstructure in the C–Mn–Al–Si automotive steel. *J Achieve Mater Manuf Eng* 2006; 15: 127–134.
50. Karjalainen LP and Somani MC. Physical simulation studies on the kinetics of the recrystallization and austenite decomposition in steels. In: Proceedings of international conference on thermomechanical simulation and processing of steels (SimPro'04), R & D Centre for Iron & Steel, SAIL, Ranchi, India, 2004, pp.119.
51. Kim IS, Reichel U and Dahl W. Effect of bainite on the mechanical properties of dual-phase steels. *Steel Res* 1987; 58: 186–190.
52. Sun ZM, Wang ZG and Ai S. Effects of morphology on the tensile and fatigue behaviour of a dual phase steel. *Steel Res* 1989; 60: 215–220.
53. Davies RG. Influence of martensite composition and content on the properties of dual phase steels. *Metall Mater Trans A* 1978; 9: 671–679.
54. Granbom Y. Structure and mechanical properties of dual phase steels– anexperimental and theoretical analysis.



PhD Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, 2010.

55. Davies RG. Early stages of yielding and strain aging of a vanadium-containing dual phase steel. *Metall Mater Trans A* 1979; 10: 1549–1555.

56. Furukawa T, Morikawa H, Takechi H, et al. Process factors for highly ductile dual-phase sheet steels. In: Kot RA and Morris JW (ed.) *Proceedings of structure and properties of dual phase steels*, Warrendale, PA, USA, 1979.

57. Koo JY and Thomas G. Design of duplex low carbon steels for improved strength: Weight applications. In: Davenport AT (ed.) *Proceedings of symposium on modern developments in HSLA formable steels*, Chicago, 20 October 1977. New York: Metallurgical

Society of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.

58. Marder AR. Factors affecting the ductility of dual phase alloys. In: Davenport AT (ed.) *Proceedings of symposium on modern developments in HSLA formable steels*, Chicago, USA, 26 October 1977. New York: Metallurgical Society of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.

59. Hansen SS and Pradhan R.R. Structure/property relations in C-Mn-Si dual phase steels. In: Kot RA and Bramfitt BL (ed.) *Proceedings of fundamentals of dual phase steels*, Warrendale, USA, 1981. New York: Metallurgical Society of American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.

60. Korzekwa DA, Lawson RD, Matlock DK, et al. A consideration of models describing the strength and ductility of dual-phase steels. *Scripta Metall* 1980; 14: 1023–1028.

61. He XJ, Tera N and Berghezan A. Influence of martensite morphology and its dispersion on mechanical properties and fracture mechanisms of Fe-Mn-C dual-phase steels. *J Mater Sci* 1984; 18: 367–373.

62. Tomota Y. Effects of morphology and strength of martensite on cyclic deformation behaviour in dual-phase steels. *Mater Sci Technol* 1987; 3: 415–421.

63. Gladman T. *The physical metallurgy of microalloyed steels*. Cambridge: Cambridge University Press, 1997, p.7.

64. Erdogan M and Priestner R. Effect of epitaxial ferrite on yielding and plastic flow in dual phase steel in tension and compression. *Mater Sci Technol* 1999; 15: 1273–1284.

65. Erdogan M and Priestner R. Effect of martensite content, its dispersion and epitaxial ferrite content on Bauschinger behavior of dual phase steel. *Mater Sci Technol* 2002; 18: 369–376.

66. Park KT, Han SY, Ahn BD, et al. UltraEne grained dual phase steel fabricated by equal channel angular pressing and subsequent intercritical annealing. *Scripta Mater* 2004; 51: 909–913.

67. Lis J, Lis AK and Kolan C. Processing and properties of C-Mn steel with dual-phase microstructure. *J Mater Process Technol* 2005; 162–163: 350–354.

68. Seol JB, Jung JE, Jang YW, et al. Influence of carbon content on the microstructure, martensitic transformation and mechanical properties in austenite martensite dual-phase Fe–Mn–C steels. *Acta Metall* 2013; 61: 558–578.

69. Suwanpinij P, Prah U, Bleck W, et al. Fast algorithms for phase transformations in dual phase steels on a hot strip mill run-out table (ROT). *Arch Civil Mech Eng* 2012; 12: 305–311.

70. Ravikumar SV, Jha JM, Sarkar I, et al. Achievement of ultrafast cooling rate in a hot steel plate by air-atomized spray with different surfactant additives. *Exp Therm Fluid Sci* 2013; 50: 79–89.

71. Li P, Li J, Meng Q, et al. Effect of heating rate on ferrite recrystallization and austenite formation of cold-roll dual phase steel. *J Alloys Compnd* 2013; 578: 320–327.

72. Mittal M. Effect of inter-critical annealing parameters on the recrystallization, austenite formation and stabilization in a dual phase steels. ME Thesis, Thapar University, India, 2014.

73. Singh S. Inter-critical annealing of a lean composition steel under controlled cooling to produce multiphase microstructures. ME Thesis, Thapar University, India, 2014.

74. Sebek M, Hornak P, Zimovcak P, et al. Microstructure evolution and mechanical properties of C-Mn cold rolled dual phase steel after continuous annealing process in laboratory conditions. *Arch Metall Mater* 2014; 59: 821–824.

75. Oliveria FLG, Andrade MS and Cota AB. Kinetics of austenite formation during continuous annealing in low carbon steel. *Mater Charact* 2007; 58: 256–261.

76. Shi L, Yan Z, Liu Y, et al. Improved toughness and ductility in ferrite/acicular ferrite dual-phase steel through inter-critical heat treatment. *Mater Sci Eng A* 2014; 590: 7–15.

77. Kozasu I. Metallurgical framework of direct-quenching of steel. In: Chandra T and Sakai T (eds) *Proceedings of international conference on thermomechanical processing of steels and other materials*, Wollongong, Australia, 1997.

78. Ouchi C. Development of steel plates by intensive use of TMCP and direct quenching processes. *Iron Steel Inst Jpn Int* 2001; 41: 542–553.

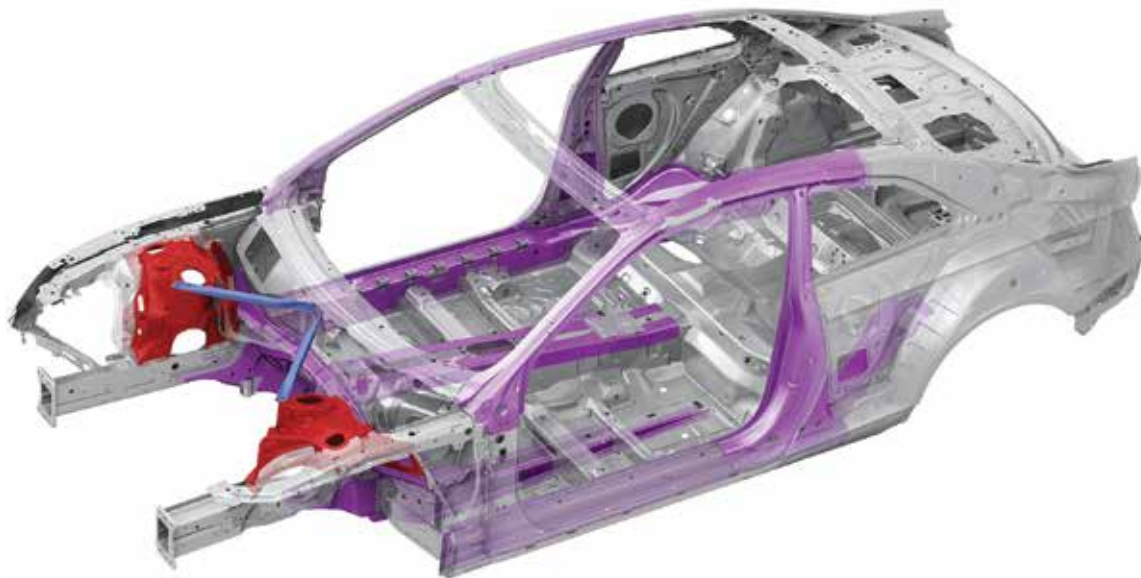
79. Ahmad E, Manzoor T and Hussain N. Thermo mechanical processing in the intercritical region and tensile properties of dual-phase steel. *Mater Sci Eng A* 2009; 508: 259–265.

80. Demir B and Erdogan M. The hardenability of austenite with different alloy content and dispersion in dual-phase steels. *J Mater Process Technol* 2008; 208: 75–84.



81. Khamedi R, Fallahi A and Oskouei AR. Effect of martensite phase volume fraction on acoustic emission signals using wavelet packet analysis during tensile loading of dual phase steels. *Mater Des* 2010; 31: 2752–2759.
82. Ramazani A, Ebrahimi Z and Prah U. Study the effect of martensite banding on the failure initiation in dualphase steel. *Comput Mater Sci* 2014; 87: 241–247.
83. Gao L, Zhou YM, Liu JL, et al. Effect of water quenching process on the microstructure and magnetic property of cold rolled dual phase steel. *J Magnet Magnet Mater* 2010; 322: 929–933.
84. Marder AR. The effect of heat treatment on the properties and structure of molybdenum and vanadium dual-phase steels. *Metall Mater Trans A* 1981; 12A: 1569–1579.
85. Speich GR, Schiwoeble AJ and Huffman GP. Tempering of Mn and Mn-Si-V dual-phase steels. *Metall Mater Trans A* 1983; 14A: 1079–1087.
86. Sawar M, Ahmad E, Qureshi KA, et al. Influence of epitaxial ferrite on tensile properties of dual phase steel. *Mater Des* 2005; 28: 335–340.
87. Li Z, Wu D and Lu H. Effect of thermomechanical processing on mechanical properties of hot rolled multiphase steel. *J Iron Steel Res Int* 2008; 15: 55–60.
88. Cornet X and Herman JC. Method for making a multiphase hot-rolled steel strip. Patent US6821364 B2, USA, 2003.
89. YF Shena, LN Qiu X, et al. Effects of retained austenite volume fraction, morphology, and carbon content on strength and ductility of nanostructured TRIP-assisted steels. *Mater Sci Eng A* 2015; 636: 551–564.
90. Mohapatra SS, Chakraborty S and Pal SK. Experimental studies on different cooling processes to achieve ultra-fast cooling rate for hot steel plate. *Exp Heat Transfer* 2012; 25: 111–126.
91. Yong T, Shuai T, Bingxing W, et al. Development and industrial application of ultra-fast cooling technology. *Sci China Technol Sci* 2012; 55: 1566–1571.
92. Buzzichelli G and Anelli E. Present status and perspectives of European research in the field of advanced structural steels. *Iron Steel Inst Jpn Int* 2002; 42: 1354–1363.
93. Lucas A, Simon P, Bourdon G, et al. Metallurgical aspect of ultra-fast cooling in front of down-coiler. *Steel Res Int* 2004; 75: 139–146.
94. Han B, Liu XH, Wang G-D, et al. Development of cooling process technique in hot strip mill. *J Iron Steel Res Int* 2005; 12: 12–16.
95. Cho MJ, Thomas BG and Lee PJ. Three dimensional numerical study of impinging water jet in run out table cooling processes. *J Heat Transfer* 2008; 129: 593–602.
96. Cai XH, Zhang DH, Liu XH, et al. Design of UFC process parameters for hot rolled dual phase steel. In: *Proceedings of international symposium on automobile steel, Dalian, China, 6–8 September 2009*, pp.207–210.
97. Liu H, Sun H, Liu B, et al. An ultrahigh strength steel with ultrafine-grained microstructure produced through intercritical deformation and partitioning process. *Mater Des* 2015; 83: 760–767.
98. Rana R, Liu C and Ray RK. Evolution of microstructure and mechanical properties during thermomechanical processing of a low-density multiphase steel for automotive application. *Acta Mater* 2014; 75: 227–245.
99. Homberg D, Krumbiegel K and Togobytska N. Modelling, simulation and control of multiphase steel production. In: Chan F, Marinova D and Anderssen RS (eds) *Proceedings of 19th international conference on modeling and simulation, Perth, Australia, 12–16 December 2011*. Perth: The Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2011.
100. Kang Y, Han Q, Zhao X, et al. Influence of nanoparticle reinforcements on the strengthening mechanisms of an ultrafine-grained dual phase steel containing titanium. *Mater Des* 2013; 44: 331–339.
101. Cai X, Liu C and Liu Z. Process design and prediction of mechanical properties of dual phase steels with prepositional ultrafast cooling. *Mater Des* 2014; 53: 998–1004.
102. Vedantam K, Bajaj D, Brar NS, et al. Johnson-Cook strength models for mild and DP590 steels. *Ame Inst Phys* 2014; 845: 775–778.
103. Banadkouki SSG and Fereiduni E. Effect of prior austenite carbon partitioning on martensite hardening variation in a low alloy ferrite–martensite dual phase steel. *Mater Sci Eng A* 2014; 619: 129–136.
104. Suehiro M, Sato K, Tsukano Y, et al. Computer modeling of microstructural change and strength of low carbon steel in hot strip rolling. *Trans Iron Steel Inst Jpn* 1987; 27: 439–445.
105. Mukherjee K, Hazra S, Petkov P, et al. Critical comparison of novel and conventional processing for dual-phase steels. *Mater Manuf Process* 2007; 22: 511–515.
106. Calcagnotto M, Ponge D and Rabbe D. Effect of grain refinement to 1 μm on strength and toughness of dual-phase steels. *Mater Sci Eng A* 2010; 527: 7832–7840.
107. Somani MC and Karjalainen LP. Innovative approaches in physical simulation and modeling for optimal design and processing of advanced high strength steels. *Mater Manuf Process* 2010; 25: 133–141.
108. Caballero FG, Mateo CG, Capdevila C, et al. Advanced ultrahigh strength bainitic steels. *Mater Manuf Process*





2007; 22: 502–506.

109. Jiang Z, Guan Z and Lian J. Effects of microstructural variables on the deformation behaviour of dual-phase steel. *Mater Sci Eng A* 1995; 190: 55–64.

110. Kalashami GA, Kermanpur A, Najafizadeh A, et al. The effect of intercritical annealing time on the microstructures and mechanical properties of an ultrafine grained dual phase steel containing niobium. *Int J Iron Steel Soc Iran* 2014; 11: 7–11.

111. Mazaheri Y, Kermanpur A, Najafizadeh A, et al. Effects of initial microstructure and thermo-mechanical processing parameters on microstructures and mechanical properties of ultrafine grained dual phase steels. *Mater Sci Eng A* 2014; 612: 54–62.

112. Pierman AP, Bouaziz O, Pardoën T, et al. The influence of microstructure and composition on the plastic behaviour of dual-phase steels. *Acta Mater* 2014; 73: 298–311.

113. Kulakov M, Poole WJ and Militzer M. The effect of the initial microstructure on recrystallization and austenite formation in DP600 steel. *Metall Mater Trans A* 2013; 44A: 3564–3576.

114. Waters RE, Whiting MJ and Stolojan V. Examining the pearlite growth interface in a Fe-C-Mn alloy. *Mater Sci Eng* 2013; 7: 184–187.

115. Ahmad E, Manzoor T, Hussain N, et al. Effect of thermomechanical processing on hardenability and tensile fracture of dual-phase steel. *Mater Des* 2008; 29: 450–457.

116. Rao DS, Hebbar HS, Komaraiah M, et al. Investigations on the effect of ball burnishing parameters on surface hardness and wear resistance of HSLA dual-phase steels. *Mater Manuf Process* 2008; 23: 295–302.

117. Armaki HG, Maab R, Bhat SP, et al. Deformation response of ferrite and martensite in a dual-phase steel. *Acta Mater* 2014; 62: 197–211.

118. Ghanei S, KasheE M and Mazinani M. Comparative study of eddy current and Barkhausen noise nondestructive testing methods in microstructural examination of ferrite–martensite dual-phase steel. *J Magnet Magnet Mater* 2014; 356: 103–110.

119. Seyedrezai H, Pilkey AK and Boyd JD. Effect of preIC annealing treatments on the final microstructure and work hardening behavior of a dual-phase steel. *Mater Sci Eng A* 2014; 594: 178–188.

120. Schemmann L, Zaefferer S, Rabbe D, et al. Alloying effects on microstructure formation of dual phase steels. *Acta Mater* 2015; 95: 386–398.

121. Srijampam W, Wiengmoon A, Morakotjinda M, et al. Microstructure and mechanical property of sintered Fe-Cr-Mo steels due to phase transformations with fast cooling rates. *Mater Des* 2015; 88: 693–701.

122. Ghaheri A, Shafyei A and Honarmand M. Effects of inter-critical temperatures on martensite morphology, volume fraction and mechanical properties of dualphase steels obtained from direct and continuous annealing cycles. *Mater Des* 2014; 62: 305–319.

123. Zhang J, Di H, Deng Y, et al. Effect of martensite morphology and volume fraction on strain hardening and frac-



ture behaviour of martensite–ferrite dual phase steel. *Mater Sci Eng A* 2015; 627: 230–240.

124. Concepcio ´ na VL, Lorussoa HN and Svobodab HG. Effect of carbon content on microstructure and mechanical properties of dual phase steels. *Procedia Mater Sci* 2015; 8: 1047–1056.

125. Park K, Nishiyama M, Nakada N, et al. Effect of the martensite distribution on the strain hardening and ductile fracture behaviors in dual-phase steel. *Mater Sci Eng A* 2014; 604: 135–141.

126. Maresca F, Kouznetsova VG and Geers MGD. Deformation behaviour of lath martensite in multiphase steels. *Scripta Mater* 2016; 110: 74–77.

127. Fereiduni E and Banadkouki SSG. Ferrite hardening response in a low alloy ferrite–martensite dual phase steel. *J Alloys Compnd* 2014; 589: 288–294.

128. Ding R, Tanga D, Zhao A, et al. Effect of ultragrain refinement on quenching and partitioning steels manufactured by a novel method. *Mater Des* 2015; 87: 640–649.

129. Qu H, Michal GM and Heuer AH. Third generation 0.3C–4.0Mn advanced high strength steels through a dual stabilization heat treatment: austenite stabilization through paraequilibrium carbon partitioning. *Metall Mater Trans A* 2014; 45A: 2741–2749.

130. Wiewio ´ rowska S and Muskalski Z. The application of low and medium carbon steel with multiphase TRIP structure in drawing industry. *Procedia Manuf* 2015; 2: 181–185.

131. Zrník J, Mamuzic I, Lukas P, et al. Design of thermos mechanical processing and transformation behavior of bulk Si–Mn TRIP steel. *Metalurgija* 2006; 45: 85–91.

132. Ehrhardt B, Berger T, Hofmann H, et al. Property related design of advanced cold rolled steels with induced plasticity. *Steel Grips* 2004; 2: 247–255.

133. Krizan D and Cooman BCD. Mechanical properties of TRIP steel microalloyed with Ti. *Metall Mater Trans A* 2014; 45A: 3481–3492.

134. Adamczyk J and Grajcar A. Structure and mechanical properties of DP-type and TRIP-type sheets. *J Mater Process Technol* 2005; 162–163: 23–27.

135. Gajda B and Lis AK. Intercritical annealing with isothermal holding of TRIP CMnAlSi steel. *J Achieve Mater Manuf Eng* 2007; 20: 439–442.

136. Jacques PJ, Furnemont Q, Godet S, et al. Micromechanical characterisation of TRIP-assisted multiphase steels by in situ neutron diffraction. *Philos Magaz* 2006; 86: 2371–2392.

137. Basuki A and Aernoudt E. Influence of rolling of TRIP steel in the intercritical region on the stability of retained austenite. *J Mater Process Technol* 1999; 89–90: 37–43.

138. Skalova L, Divisova R and Jandova D. Thermomechanical processing of low-alloy TRIP-steel. *J Mater Process Technol* 2006; 175: 387–392.

139. Zrník J, Stejskal O, Novy O, et al. Relationship of microstructure and mechanical properties of TRIPaided steel processed by press forging. *J Mater Process Technol* 2007; 192–193: 367–372.

140. Park H, Seol J, Lim N, et al. Study of decomposition behavior of retained austenite and the partitioning of alloying elements during tempering in CMnSiAl TRIP steels. *Mater Des* 2015; 82: 173–180.

141. Shi W and Li L. Thermal stability of retained austenite in TRIP steel after different treatments. *J Iron Steel Res Int* 2008; 15: 61–64.

142. Ganguly S, Datta S, Chattopadhyay PP, et al. Designing the multiphase microstructure of steel for optimal TRIP Effect: A multiobjective genetic algorithm based approach. *Mater Manuf Process* 2008; 24: 31–37.

143. Anxin M and Hartmaier A. A study of deformation and phase transformation coupling for TRIP-assisted steels. *Int J Plasticity* 2015; 64: 40–55.

144. Wang Y, Wang Q, Liu L, et al. Fracture mode of martensite-austenite constituents containing multiphase steel controlled by microstructural and micromechanical aspects. *Mech Adv Mater Struct* 2015; 22: 591–596.

145. Golling S, Ostlund R and Oldenburg M. A study on homogenization methods for steels with varying content of ferrite, bainite and martensite. *J Mater Process Technol*. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2015. 07.007.

146. Burgolda A, Kunaa M and Prugera S. Material forces in consideration of phase transformation in TRIPsteel. *Procedia Mater Sci* 2014; 3: 461–466.

147. Dey S, Dey P, Datta S, et al. Rough set approach to predict the strength and ductility of TRIP steel. *Mater Manuf Process* 2009; 24: 150–154.

148. Kim SJ, Lee CG, Choi I, et al. Effects of heat treatment and alloying elements on the microstructures and mechanical properties of 0.15 wt.% C transformationinduced plasticity-aided cold-rolled steel sheets. *Metall Mater Trans A* 2001; 32: 505–514.

149. Grajcar A, Kuziak R and Zaleckib W. Third generation of AHSS with increased fraction of retained austenite for the automotive industry. *Arch Civil Mech Eng* 2012; 12: 334–341.

150. He Z, He Y, Ling Y, et al. Effect of strain rate on deformation behavior of TRIP steels. *J Mater Process Technol* 2012; 212: 2141–2147.



FINEX تکنولوژی نوین تولید آهن بر پایه احیا مستقیم



چکیده:

تکنولوژی‌های نوین جهت تولید فلز داغ (آهن مذاب) بر پایه استفاده از سنگ آهن ریز و زغال کک نشو از طریق فرایند احیای مذاب^۱ (SR)، تکنولوژی FINEX می‌باشد. فرایند FINEX قابلیت شارژ صددرصدی سنگ آهن نرم و ریز و عدم نیاز به فرایندهای پلت سازی و زینترینگ را دارا می‌باشد. قابلیت استفاده از کانی‌های ریز به معنی عدم نیاز به نصب و راه‌اندازی واحد زینترینگ و در نتیجه کاهش قیمت می‌باشد. شاید امروزه در بازار فولاد فرایند FINEX جذاب‌ترین تکنولوژی تولید آهن بوده که دارای پتانسیل بالایی از لحاظ بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید فلز داغ می‌باشد. در این مقاله مروری بر فرایند FINEX صورت گرفته و از لحاظ مشخصات کلی با روش سنتی کوره بلند مقایسه شده است.

امروزه صنایع فولاد با چالش‌های زیادی به دلیل افزایش تقاضای انرژی؛ افزایش مداوم هزینه‌های مربوط به تهیه مواد خام، گاز طبیعی و کک سازی و همچنین کاهش پیوسته کیفیت و کمیت کانی‌های آهن مواجه می‌باشد. روش کوره بلند سنتی فرایندی پز هزینه و پر مصرف از لحاظ انرژی بوده و برآورده کردن تقاضاهای زیست‌محیطی سخت‌گیرانه و دستیابی به رقابت اقتصادی پایدار با استفاده از این روش سنتی تولید آهن بسیار مشکل می‌باشد. از طرف دیگر فرایند EAF وابستگی شدیدی به کیفیت مطلوب قراضه، HBI و چدن مورد استفاده دارد. برای غلبه و مواجهه با مسائل اشاره شده؛ تکنولوژی‌های جدیدی توسط شرکت‌های تولید کننده فولاد در حال ابداع و توسعه می‌باشد. یکی از انواع



تولیدی توسط این فرایند بریکت داغ می‌باشد. فرایند COREX بر اساس احیا هم‌زمان با ذوب بوده که واکنش‌های متالورژیکی در دو اتاقک مجزای احیا^۱ و ذوب کننده گازی^۲ صورت می‌پذیرد.

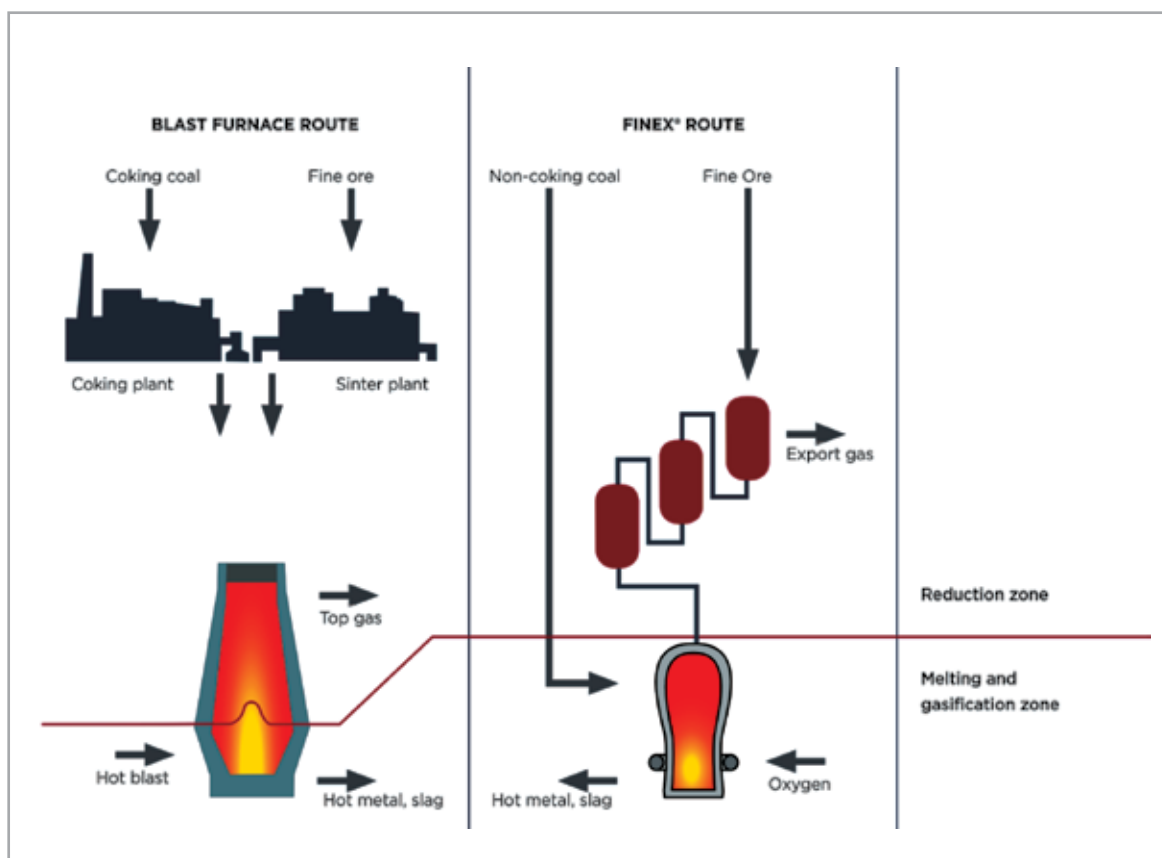
FINEX نام تکنولوژی‌های تولید آهن توسعه یافته توسط Siemens VAI و POSCO می‌باشد. این فرایند اساساً ترکیبی از بستر سیال FINMET و ذوب کننده گازی COREX بوده و به همین دلیل نام FINEX برای آن انتخاب شده است. بنابراین تفاوت اصلی فرایند FINEX با فرایند COREX جایگزینی بخش شافت احیایی توسط تعدادی راکتور بستر سیال^۳ می‌باشد. در مقایسه با فرایند کوره بلند که آهن مذاب از طریق فرایند زینترینگ و احیا توسط کک تولید می‌شود، در فرایند FINEX آهن مذاب مستقیماً از سنگ آهن ریز و زغال کک نشو بدست می‌آید و می‌تواند جایگزین فرایند سنتی تولید آهن به روش کوره بلند از طریق فرایند زینتر و احیا توسط کک شود. مقایسه دو فرایند FINEX و کوره بلند در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین مقایسه کلی در مورد عملکرد عملیاتی^۴ مربوط به یک واحد کوره بلند شرکت Pohang و واحد ۱/۵ میلیون تنی FINEX مربوط به شرکت POSCO در جدول ۱ ارائه شده است.

۱- مقدمه:

امروزه تولید آهن و فولاد در صنایع پیشرفته فولاد دنیا به دنبال پاسخ‌گویی به چالش‌های مختلف از جمله تأمین مواد خام مرغوب جهت تولید آهن، کاهش هزینه‌های تولید، استفاده از مواد نامرغوب نظیر سنگ آهن نرم و زغال کک نشو، کاهش آلودگی‌ها و گازهای گلخانه‌ای به دلیل قوانین و جریمه‌های مالی زیست‌محیطی بین‌المللی سخت‌گیرانه و افزایش کیفیت تولید می‌باشد.

در این میان، جایگزینی فرایندهای پیش گرم-پیش احیا و احیا-ذوب در روش متداول کوره بلند با تکنولوژی‌های جدید بر پایه ذوب مستقیم جهت تولید چدن مذاب از اهداف مهم در صنعت فولاد دنیا بوده است. تکنولوژی‌های نوینی نظیر COREX، FINMET، ROMELT، HISMELT از جمله فرایندهای ابداع شده جهت کاهش انتشار گازهای آلاینده، استفاده از سنگ آهن نرم، عدم استفاده از کک و جایگزینی آن با زغال کک نشو یا گاز طبیعی بوده‌اند.

اولین فرایند معرفی شده جهت استفاده از سنگ آهن نرم توسط شرکت Siemens آلمان با عنوان فرایند FINMET در دهه ۱۹۹۰ میلادی معرفی شد. محصول



شکل ۱: مقایسه فرایندهای FINEX و کوره بلند.

- 1- Reduction shaft
- 2- Melter-Gasifier
- 3- Fluidized-bed reactor
- 4- Operational performance

جدول ۱: مقایسه عملکرد عملیاتی واحد کوره بلند سنتی شرکت Pohang و FINEX مربوط به شرکت POSCO.

Indices		Pohang BF4	1.5MT FINEX
Production	t/y	3.2 م	1.5 م
Availability	%	97.7	96.8
Coal Rate	kg/thm	750	710
	PCR Kg/thm	166	160
Hot Metal	[S] %	0.03	0.03
	[Si] %	0.48	0.65

• PCR : Pulverized Coal Injection Rate

شده به قسمت ذوب کننده گازی به صورت گاز در آمده^۲ و علاوه بر گاز احیایی، انرژی لازم جهت ذوب را نیز فراهم می نمایند. واحد ذوب کننده گازی قلب فرایند نوین آهن سازی FINEX می باشد. در این قسمت نه تنها فلز داغ تولید می شود بلکه گاز مورد استفاده برای احیای کانی آهن در راکتورهای بستر سیال نیز تأمین می شود.

۲- تشریح فرایند FINEX

در فرایند FINEX تولید آهن در دو مرحله فرایند مجزا صورت می گیرد. در یک سری از راکتورهای بستر سیال، اکسیدهای آهن نرم و ریز به^۱ DRI تبدیل شده، فشرده گشته و سپس به قسمت ذوب کننده گازی (کوره FINEX) منتقل می شود. زغال و بریکت های زغال سنگ شارژ



1- direct reduced iron
2- gasify

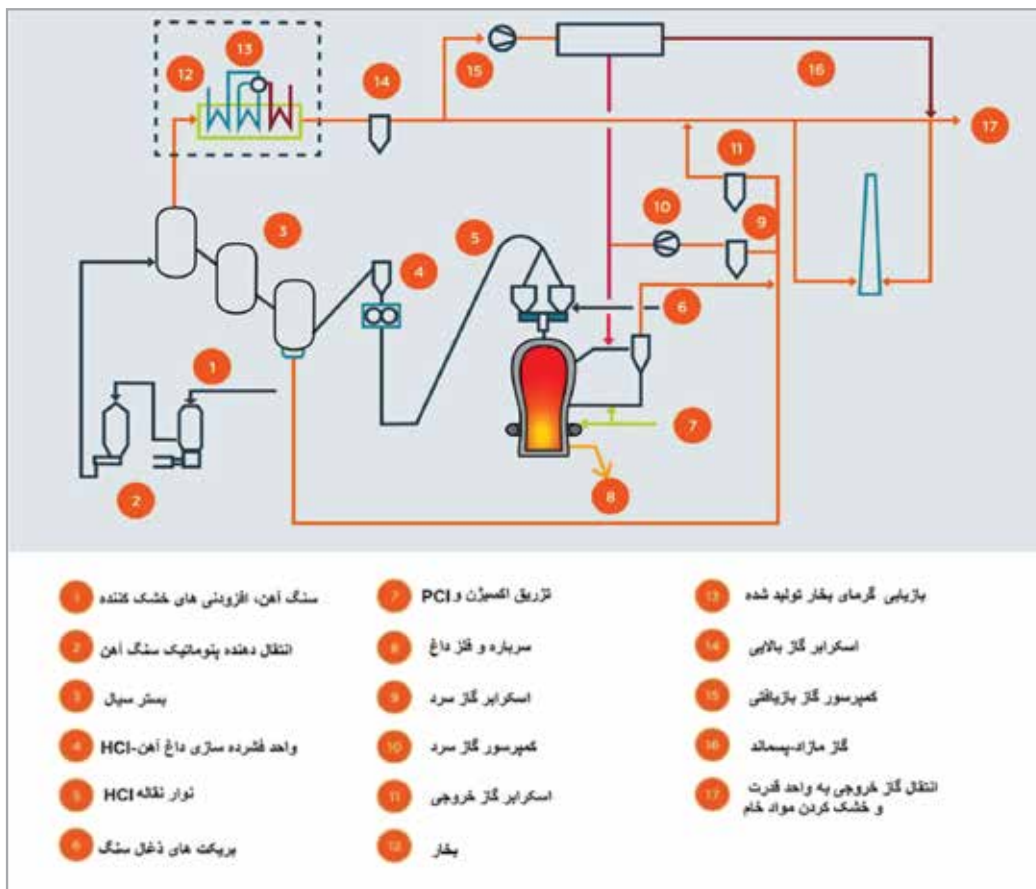
۲-۱- اصول کلی فرایند FINEX

فشرده‌سازی مواد و تبدیل به بریکت‌های داغ قبل از شارژ به قسمت ذوب کننده گازی ضروری می‌باشد؛ زیرا به علت اطمینان از نفوذپذیری کافی در بستر، این قسمت امکان استفاده از مواد ریز را ندارد.

به وسیله نیروی گرانش، HCl های داغ از طریق منطقه گنبدی شکل^۴ به سمت بستر زغال^۵ سقوط می‌کنند. منطقه گنبدی شکل در بالای بستر ثابت^۶، فضای آزادی است که توسط گاز صعود کننده از قسمت پایین واحد ذوب کننده گازی، پر شده است. دمای این فضای آزاد در حدود ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود. زغال سنگ (ناصاف)^۷، خرد شده و یا خارج از سایز (از بالای قسمت ذوب کننده گازی شارژ شده و در چنین دمای بالایی، رطوبت زغال سنگ از بین رفته و به زغال نیمه‌سوخته^۸ در بالای بستر ثابت تبدیل می‌شود. سپس به سمت پایین حرکت کرده و سرانجام توسط اکسیژن خالصی که از دهانه لوله^۹ خارج می‌شود واکنش داده و محترق می‌شود. فرایند گازی شدن زغال سنگ، انرژی لازم برای واکنش‌های متالورژیکی و ذوب شدن HCl و خاکستر زغال برای تبدیل به فلز مذاب و سربراره را تأمین می‌کند. سیستم^{۱۰} PCI جهت تزریق زغال سنگ همراه با اکسیژن از پایین فراهم شده

نمودار روند^۱ مربوط به فرایند FINEX در شکل ۲ نشان داده شده است. سنگ آهن نرم و ریز و افزودنی‌هایی نظیر دلومیت و سنگ آهک ابتدا در قسمت خشک‌کن، خشک شده و سپس به سیستم بستر سیال^۳ یا ۴ مرحله‌ای شارژ می‌شود. دو راکتور بالایی عمدتاً به عنوان مرحله پیش‌گرمایش کانی‌های نرم و رسیدن به دمای احیا عمل کرده که دمای مورد نیاز می‌تواند توسط احتراق جزئی گاز خروجی از راکتور سوم تأمین شود. در مراحل بعدی سنگ آهن به صورت مداوم در جهت مخالف با جریان گاز احیاکننده به DRI ریز احیا شده و افزودنی‌های ریز به صورت جزئی کلسینه می‌شوند؛ به طوری که در راکتور سوم کانی‌های نرم پیش احیا^۲ شده و به درجه احیای حدود ۳۰٪ می‌رسند و در مرحله نهایی در راکتور چهارم احیای نهایی و تولید DRI با درجه احیای حدود ۹۰-۸۵ درصد صورت می‌گیرد. فشار عملیاتی در راکتورهای بستر سیال حدوداً بین ۴-۵ بار می‌باشد.

در مرحله بعدی DRI های ریز به فرم^۲ HCl (تکه‌های داغ بهم فشرده شده) تبدیل شده و به صورت پیوسته و مداوم به قسمت ذوب کننده گازی شارژ می‌شوند.



شکل ۲: نمودار روند فرایند FINEX به همراه معرفی بخش‌های مختلف فرایند.



جدول ۲: کیفیت دو نمونه از گاز خروجی از فرایند معمولی FINEX.

Components	Export gas	
CO	28-32 %	CO 34%
H ₂	8-12 %	CO ₂ 43%
CO ₂	44-48 %	H ₂ 13%
H ₂ O	3-4 %	H ₂ O 3%
CH ₄	1-2 %	CH ₄ 1%
N ₂ /Ar	4-10 %	N ₂ /Ar 6%
Dust	< 5 mg/m ³ (STP)	H ₂ S <100 ppmv
H ₂ S	< 100 ppmv	Dust 5 mg/m ³ (STP)
Calorific value	5500 - 6250 kJ/m ³ (STP)	Pressure 10 kPa g
		Temperature 40 °C
		Calorific value 5500 - 6250 kJ/m ³ (STP)
		Export gas credit approx. 8 GJ/t _{HM}

می آورد که می توانند به شبکه گاز مربوط به صنعت فولاد عرضه شود. با توجه به محاسبات انجام گرفته، انرژی استفاده شده برای احیای سنگ آهن و خروجی گاز راکتور به میزان حدود ۷۱۰ میلیون کالری بر هر تن چدن بوده و انرژی خروجی از گاز کوره FINEX حدود ۴۸۰ میلیون کالری بر هر تن چدن می باشد؛ که از این میزان حدود ۱۷۰ میلیون کالری بر هر تن چدن برای فشرده کردن گاز خروجی برای مصرف در کوره FINEX استفاده شده و میزان ۳۱۰ میلیون کالری بر هر تن چدن می تواند مورد صرفه جویی و استفاده مجدد قرار گیرد. گاز خروجی می تواند به عنوان سوخت برای تولید انرژی، اهداف گرمادهی، تولید محصولات شیمیایی/ گاز سنتز و یا تولید DRI/HBI اضافی مورد استفاده قرار گیرد. آنالیز یک نمونه از گاز خروجی از فرایند FINEX در جدول ۲ نشان داده شده است.

همچنین میزان مواد مصرفی از جمله سنگ آهن، زغال سنگ و آب و همچنین انرژی های مصرف شده (برق و گاز) برای تولید یک تن فولاد مذاب با استفاده از طرح FINEX در جدول ۳ ارائه شده است. در طرح FINEX میزان نیاز به آب برای تولید ۱ تن فولاد خام از ۱۵۵ مترمکعب می تواند به ۳۰ مترمکعب توسط عملیات مربوطه و استفاده از چرخه آب کاهش یابد.

جدول ۳: نرخ مواد مصرفی در فرایند FINEX.

Coal	819 kg/t _{HM} (dry)
Ore	1,624 kg/t _{HM}
Additives	250 kg/t _{HM}
Oxygen	485 m ³ (STP)/t _{HM}
Nitrogen	370 m ³ (STP)/t _{HM}
Make up water	1 m ³ /t _{HM}
Electric energy	214 kWh/t _{HM}
Export gas credit	9 GJ/t _{HM}

است. در نتیجه به علت گرما و گاز احیایی تولید شده در طول فرایند گازی کردن زغال سنگ توسط اکسیژن، بار که عمدتاً حاوی HCl با درجه احیایی بین ۸۰-۷۰ درصد است، ذوب شده و به طور کامل به صورت فلز احیا می شود. مذاب داغ فلزی و سرباره در قسمت ذوب کننده گازی جمع آوری شده و مشابه اجزای کوره بلند به صورت پیوسته جاری می شوند. همان طور که بیان شد، اکسیژن خالص از طریق دهانه های لوله جهت احتراق زغال نیم سوخته در منطقه دمش^۱ دمیده می شود. دمای ایجاد شده در منطقه دمش حدود ۲۸۰۰ درجه سانتی گراد تخمین زده شده است.

گاز تولید شده که از واحد ذوب کننده گازی خارج می شود، عمدتاً شامل CO و H₂ با دمای در حد ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد، گردوغبار، خاکستر و پودر آهن می باشند که از طریق بستر ثابت واحد ذوب کننده گازی به سمت بالا حرکت می کنند. از این گاز برای احیای ذرات سنگ آهن ریز در راکتورهای بستر سیال نیز استفاده می شود. البته قبل از استفاده از آن به عنوان گاز احیا کننده در بستر سیال، دمای آن با اضافه نمودن گاز سرد از سیستم خنک کننده گاز و با محصولات گازی سرد از واحد^۲ PSA در دمای بین ۸۵۰-۸۰۰ درجه سانتی گراد تنظیم می شود. متعاقباً در سیکلون های گاز داغ، غبارزایی شده و غبارهای جدا شده در سیکلون ها توسط دهانه های غبارگیر به قسمت ذوب کننده گازی بازگردانده می شود.

گاز احیایی با شرایط مذکور برای احیای غیرمستقیم اکسیدهای آهن به سیستم بستر سیال مورد استفاده قرار می گیرد. گاز احیایی مورد استفاده که راکتورهای بستر سیال را ترک کرده اند، می توانند به صورت جزئی بازیابی شوند. برای این منظور، گاز بازیابی شده، فشرده گشته و CO₂ در واحد PSA از آن حذف می شود. به عنوان محصول درجه دوم، فرایند FINEX گاز خروجی^۳ با مقادیر گرمایی بین ۶۲۵۰-۵۵۵۰ کیلوژول بر مترمکعب را فراهم



1- raceway
2- pressure swing adsorption
3- export gas

۳- تفاوت فرایند FINEX با فرایند COREX:

آمونیاک و غیره به مراتب کمتر از فرایند سنتی کوره بلند می‌باشد. این موضوع اساساً بر پایه این حقیقت است که فرایند FINEX هیچ‌گونه نیازی به سنگ آهن زینتر شده نداشته و تنها مقدار کمی کک در مقایسه با فرایند کوره بلند استفاده می‌شود. واحد زینتر و کوره کک سازی منابع اصلی انتشارات در فرایند سنتی کوره بلند می‌باشد.

به دلیل کک سازی در محل^۱ زغال سنگ در واحد ذوب کننده گازی، سهم بالایی از سولفور در داخل سرباره گیر افتاده و در نتیجه میزان انتشار گازهای SO₂ و H₂S به صورت چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین میزان زیادی از گوگرد در زغال سنگ با آهن و اکسید داده و سولفید کلسیم تشکیل شده که در سرباره به دام افتاده و همراه با سرباره مایع خارج می‌شود، بنابراین امکان فرار ترکیبات SO_x به سمت اتمسفر خیلی ناچیز می‌باشد.

علاوه بر این به علت استفاده از اکسیژن خالص به جای دمش هوای گرم در فرایند FINEX انتشار نیتروژن به فرم NO_x به میزان زیادی کاهش می‌یابد. از آنجایی که بر خلاف اتمسفر اکسیدی به وجود آمده در طول فرایندهای زینترینگ و کک سازی و همچنین در هوا گرم کن مربوط به کوره بلند، در روش FINEX فرایندهای متالورژیکی در اتمسفر احیایی رخ می‌دهد، لذا انتشارات NO_x نیز در فرایند FINEX به ندرت اتفاق می‌افتد. بیان شده است که فرایند مذکور میزان آلودگی‌های کمتری نظیر SO_x (حدود ۳ درصد)، NO_x (حدود ۱ درصد) و دی‌اکسید کربن را نسبت به روش‌های سنتی تولید می‌کند. از طرف دیگر، طبیعت بسته فرایند FIENX منجر به کاهش انتشارات مربوط به گردوغبار در فرایند

تفاوت اصلی بین فرایندهای COREX و FINEX این است که قسمت کوره شافت احیا جایگزین ۴ راکتور بستر سیال شده است که قابلیت استفاده از اکسیدهای آهن نرم و استفاده مستقیم از زغال کک نشو را دارد. به همین دلیل فرایندهایی نظیر آماده‌سازی کانی‌های آهن و دیگر مواد مورد استفاده نظیر فرایندهای کک سازی و زینترینگ و در نتیجه صرف هزینه برای آماده‌سازی پلت‌ها در روش COREX لازم بوده ولیکن برای فرایند FINEX نیاز نمی‌باشد. گاز احیایی تولید شده در اثر تزریق اکسیژن به واحد ذوب کننده گازی فرایند FINEX که در قسمت بستر سیال استفاده می‌شود، نسبت به گاز احیایی مورد استفاده در کوره شافت فرایند COREX از شدت بسیار بالاتری برخوردار بوده و به همین دلیل نیاز به استفاده از ترکیب سنگ آهن تکه‌ای و گندله به عنوان مواد اولیه برای فرایند COREX می‌باشد. هر دو فرایند قابلیت تولید آهن نیم احیا شده را دارد و می‌توان از محصولات آن‌ها در کوره بلند استفاده نمود.

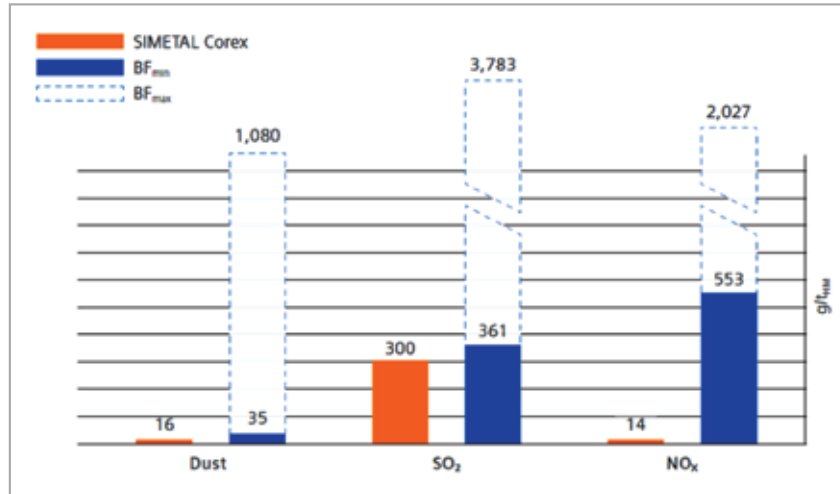
۴- ملاحظات زیست محیطی فرایند FINEX

بررسی‌های انجام شده درباره ارزیابی چرخه حیات بیانگر این است که روش FINEX در مقایسه با روش کوره بلند با معیارهای حفاظت از محیط‌زیست (انتشار گازهای آلاینده و تأثیر روی گرمایش زمین) تطابق بالاتری دارد. تجهیزات کمتر و اشغال فضای کمتر برای احداث کارخانه نیز از مزایای استفاده از این تکنولوژی می‌باشد.

در فرایند FINEX انتشارات گازی و همچنین انتشارات مایعات نظیر گردوغبار، SO₂، NO_x، فنل‌ها، سولفیدها،

جدول ۴: مقایسه عملکرد عملیاتی دو فرایند کوره بلند و FINEX.

کوره بلند (۳/۲ میلیون تنی)	فاینکس (۱/۵ میلیون تنی)	
۸۸۵۱	۴۳۰۵	میزان تولید [t/d]
۹۸	۹۵	قابلیت تأسیس واحد [%]
۱۵۱۴	۱۵۳۰	چدن مذاب دما [°C]
۴/۵	۴/۵	کربن [%]
۰/۵۳	۰/۸۵	سیلیسیم [%]
۰/۰۲۷	۰/۰۲۷	گوگرد [%]
۱۵/۶۲	۱۸/۰۳	سرباره آلومینا [%]
۲۹۸	۲۷۱	مقدار کل سرباره [Kg/t]



شکل ۳: مقایسه انتشارات مربوط به گرد و غبار، SO₂ و NO_x برای دو فرایند کوره بلند و FINEX.

- (ب) میزان خاکستر تا حداکثر ۲۵ درصد باشد.
 (ج) ترکیبات فرار کمتر از ۳۵ درصد باشد.
 (د) ترکیبات گوگرد کمتر از ۱ درصد باشد.

علاوه بر کیفیت‌های ارائه شده، زغال سنگ مورد استفاده بایستی پایداری حرارتی بالایی داشته باشد و اطمینان لازم جهت تشکیل یک بستر زغال char پایدار در واحد ذوب کننده گازی حاصل شود. برای فرایند FINEX زغال سنگ کلوخه‌ای و بریکت‌های زغال سنگ به صورت تنها و مخلوط می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. زغال سنگ‌های کوچک‌تر از سایز را می‌توان به شیوه‌های مختلف مورد استفاده قرار داد ولیکن توصیه می‌شود که یک واحد بریکت سازی برای زغال سنگ‌های کوچک‌تر از سایز راه‌اندازی شده و سهم کاملی از زغال سنگ در خود واحد FINEX مورد استفاده قرار گیرد.

تجمیع و ادغام تکنولوژی بریکت سازی زغال سنگ،

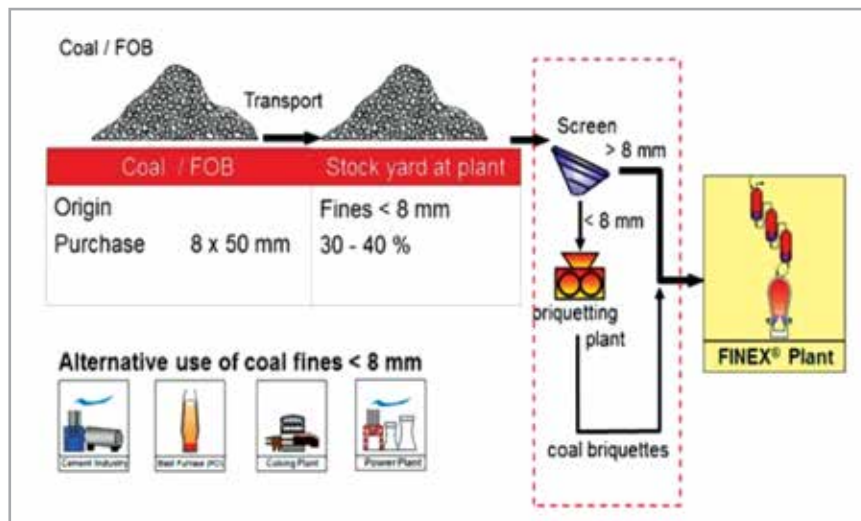
مذکور به میزان حدود ۲۸ درصد می‌شود. مقایسه انتشارات مربوط به دو فرایند سنتی کوره بلند و FINEX در شکل ۳ نشان داده شده است.

۵- انعطاف در مواد خام مصرفی

به‌طور عمده، طیف وسیعی از مواد خام می‌تواند در فرایند FINEX مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود هر دو مواد آهنی و مواد سوختی مورد استفاده بایستی مشخصات و خواص مورد نیاز برای عملکرد بهینه در واحد FINEX را با مد نظر قرار دادن ترکیب شیمیایی و قدرت حرارتی داشته باشند.

۵-۱- سوخت

معیار اساسی برای ارزیابی اولیه زغال سنگ و یا مخلوط‌های زغال برای فرایند FINEX به شرح زیر می‌باشد: الف) حداقل میزان محتویات کربن حاوی ۵۵ درصد باشد.



شکل ۴: استفاده از کسر زغال سنگ‌های کوچک‌تر از سایز و واحد بریکت سازی زغال سنگ‌های خارج از سایز.

	V.M. (%)	Ash (%)	FSI	BF	FINEX [®]	
					F-0.6M	F-1.5M
Thermal coal	30-38	< 17	0-2		20%	10%
Semi-soft coking coal	28-34	< 10	1-6	40%	80%	80%
Hard coking coal	20-26	< 10	6-9			10%
Semi-antracite	10-15	< 15	0-2	60%		

شکل ۵: زغال سنگ‌های مورد استفاده به عنوان ماده اولیه برای فرایند FINEX.

هزینه‌های عملیاتی (OPEX) نسبت به کوره بلند کاهش می‌یابد.

۲-۵- اکسید آهن

به‌طور عمومی، ۱۰۰ درصد سنگ آهن نرم به عنوان خوراک به راکتورهای بستر سیال شارژ می‌شود. تا حدود ۳۰ درصد استفاده پلت به عنوان خوراک نیز مناسب می‌باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی و فیزیکی نظیر مقدار آهن کل، ساختار ترکیبی^۱ و سایز دانه، برندها و مخلوط‌های مختلف سنگ آهن مورد توجه قرار گرفته‌اند.

مشابه حالت مورد استفاده در فرایند کوره بلند، میزان

رنج مخلوط‌های زغال مناسب را برای فرایند FINEX افزایش می‌دهد. استفاده ۱۰۰ درصدی از بریکت‌های زغال سنگ امکان استفاده و ترکیب مخلوط‌های مختلف زغال سنگ با کیفیت‌های متفاوت برای تولید بریکت‌های زغال سنگ را فراهم می‌آورد. بازار گسترده‌ای برای زغال سنگ‌های نرم و ریز وجود داشته و بنابراین با خرید انواع کیفیت‌های مختلف زغال سنگ، هزینه مواد خام کاهش یافته و بریکت‌های زغال سنگ به‌منظور کارایی بهینه در داخل واحد ذوب کننده گازی FINEX تولید می‌شود.

با خرید زغال سنگ‌های با کیفیت کمتر برای بریکت سازی زغال سنگ مورد استفاده در فرایند FINEX



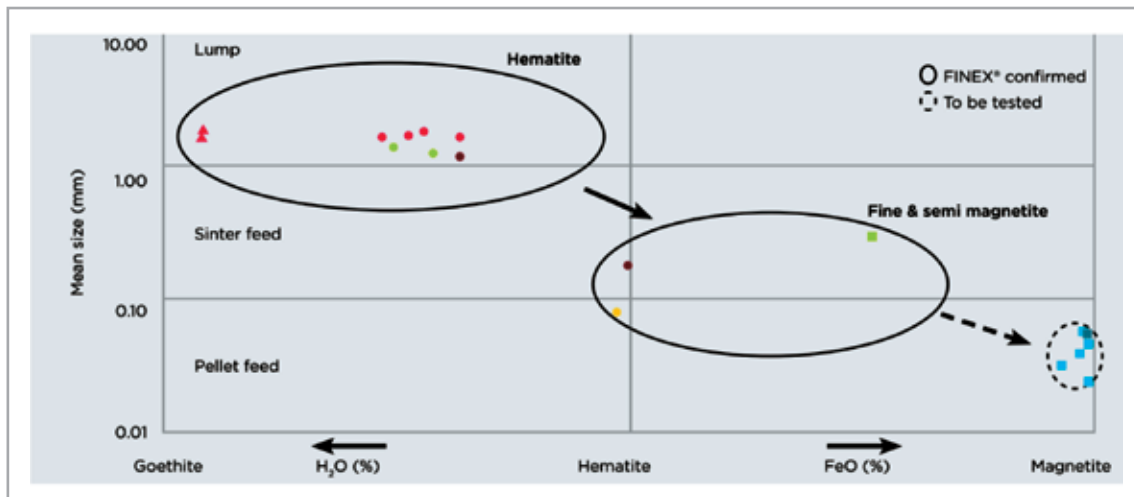
1- operating expenses
2- composition structure

آهن موجود در کانی آهن بهره‌وری آن را تعیین می‌کند. نسبت مخلوط سازی بایستی با توجه به کیفیت کانی و قیمت آن تصمیم‌گیری شود. از آنجایی که حضور مقادیر بیشتر آلومینا در فرایند سرپاره گیری FINEX نسبت به فرایند کوره بلند قابلیت تحمل بالاتری دارد، لذا حضور مقادیر بالای آلومینا در کانی سنگ آهن نیز مجاز می‌باشد. به‌طور کلی محدودیت خاصی در زمینه ساختار مواد تغذیه از لحاظ هماتیت و مگنتیت بودن برای راکتورهای بستر سیال وجود ندارد. به خلاصه می‌توان بیان نمود که داده‌های زیر بایستی توسط سنگ آهن شارژ شده به سیستم بستر سیال تأمین و برآورده شود.

بر اساس استفاده از برندهای مختلف کانی در واحد FINEX، هر نوعی از کانی هماتیت بدون در نظر گرفتن برند آن می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. گنوتیت حاوی مقادیر زیاد آب نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین استفاده از مگنتیت ارزان قیمت تا ۳۰ درصد نیز مجاز می‌باشد.

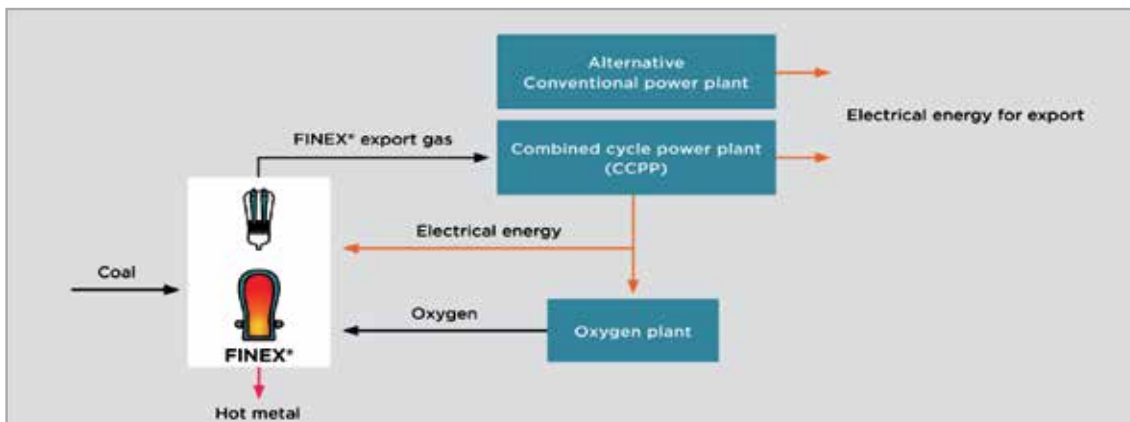
جدول ۵: خواص مورد نیاز کانی آهن شارژ شده به سیستم بستر سیال فرایند FINEX.

Criteria	Guideline Value	Remark
Chemical Analysis		
Fe content	min. 55% (up to local condition)	preferred: 60%
SiO ₂ + Al ₂ O ₃	max. 6%	limit is slag amount



شکل ۶: انعطاف کانی آهن مناسب برای فرایند FINEX.





شکل ۷: تولید انرژی الکتریکی از گاز خروجی فرایند FINEX.

خشک کردن مواد خام، واحدهای گندله‌سازی و تولید گازهای سنتز مورد استفاده قرار گیرد. بسته به ترکیب زغال سنگ مورد استفاده و تصمیم مبنی بر اعمال یا عدم اعمال گاز بازیابی شده، میزان و ترکیب گاز خروجی می‌تواند تا حد معینی متفاوت باشد.

۸- پتانسیل بالا برای کاهش میزان CO₂

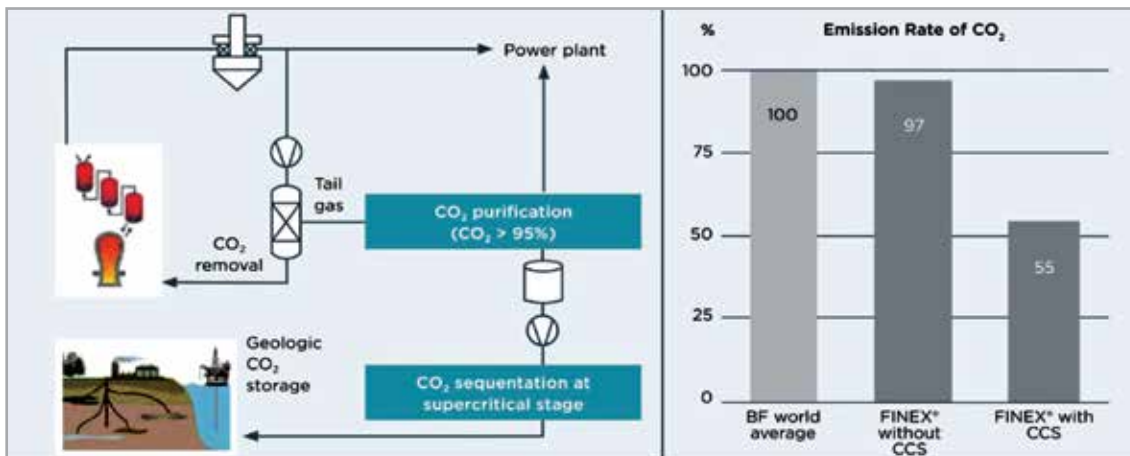
فرایند FINEX امکان تولید CO₂ با خلوص بالا را برای استفاده بیشتر در فرایندهای جذب^۴، بهبود بازیابی نفت و یا دیگر استفاده‌های اقتصادی فراهم می‌آورد. بر اساس حقیقت استفاده از گاز اکسیژن با خلوص بالا در قسمت ذوب کننده گازی جهت گازی کردن و احتراق زغال سنگ، گاز خروجی از فرایند FINEX حاوی مقادیر اندکی از نیتروژن می‌باشد. این واقعیت، اجازه بازیافت CO₂^۵ در غلظت‌های بالا از گاز خروجی و سپس تولید با خلوص بالاتر (> 95% CO₂) پس از تصفیه گاز CO₂ را می‌دهد. پتانسیل بالای برای کاهش انتشار CO₂ مربوط به فرایند FINEX همراه و بدون CCS^۶ در شکل ۸ نشان داده شده است.

۶- استفاده از اکسیژن خالص

در حالی که هدف از حضور اکسیژن در فرایند کوره بلند افزایش دمای هوای داغ می‌باشد؛ در فرایند FINEX از اکسیژن با خلوص بالا استفاده نموده و در نتیجه گاز خروجی تنها حاوی مقادیر کمی نیتروژن می‌باشد. از همین رو، مقادیر کالری خالص بیشتر از دو برابر مربوط به گاز خروجی از کوره بلند می‌باشد. بنابراین می‌تواند بازیابی شده و برای فرایندهای احیا و یا تولید گرما و انرژی مورد استفاده قرار گیرد. بسته به تقاضا و کشش صنعت فولاد، ارزش افزوده با بهره‌گیری از گاز خروجی به وجود آید.

۷- استفاده از گاز خروجی از فرایند FINEX

گاز خروجی از کوره فرایند FINEX مخلوطی از گاز خروجی^۱ بازیابی نشده، گازهای اضافی^۲ و گازهای پسماند^۳ از واحد نوسانات جذب سطحی (PSA) می‌باشد. گاز خروجی از فرایند FINEX می‌تواند به عنوان جایگزین گاز طبیعی، نفت، کک و یا زغال سنگ برای کاربردهای متعددی نظیر تولید انرژی الکتریکی، تولید آهن اسفنجی، اهداف گرمادهی، تولید بخار،



شکل ۸: پتانسیل بالای فرایند FINEX برای کاهش انتشار CO₂ همراه و بدون CCS.

1- off gas 4- sequestra
 2- Excess gas 5- scrub out
 3- tail gas 6- carbon capture and storage



سنگ آهن و توان استفاده از سنگ آهن با عیار پایین می تواند منجر به صرفه جویی قابل توجهی در تولید فولاد نسبت به روش های موجود شود. همچنین ادعا شده است که فرایندهای مقدماتی برای ساخت واحد FINEX نسبت به ساخت واحد کوره بلند با مقیاس مشابه نیاز به هزینه کمتری دارد، علاوه بر این می توان انتظار کاهش ۱۵-۱۰ درصدی در هزینه های تمام شده تولید را به دلیل استفاده از مواد خام ارزان تر، کاهش هزینه های مربوط به تأسیسات، تعمیرات و نگهداری، گازهای آلوده کننده و زمان تولید داشت. به طور کلی ادعا شده است که هزینه ساخت و تولید در طرح FINEX حدود ۳۵ درصد کمتر از کوره بلند می باشد.

جهت ارزیابی اقتصادی با در نظر گرفتن هزینه های تولید فلز مذاب و مقایسه با دیگر تکنولوژی ها، بایستی پیکربندی تمام واحد تولید آهن و فولاد را در نظر گرفته و با هم مقایسه شود. موارد زیر هزینه های فرایند FINEX در رقابت با روش سنتی کوره بلند را بیان می کند.

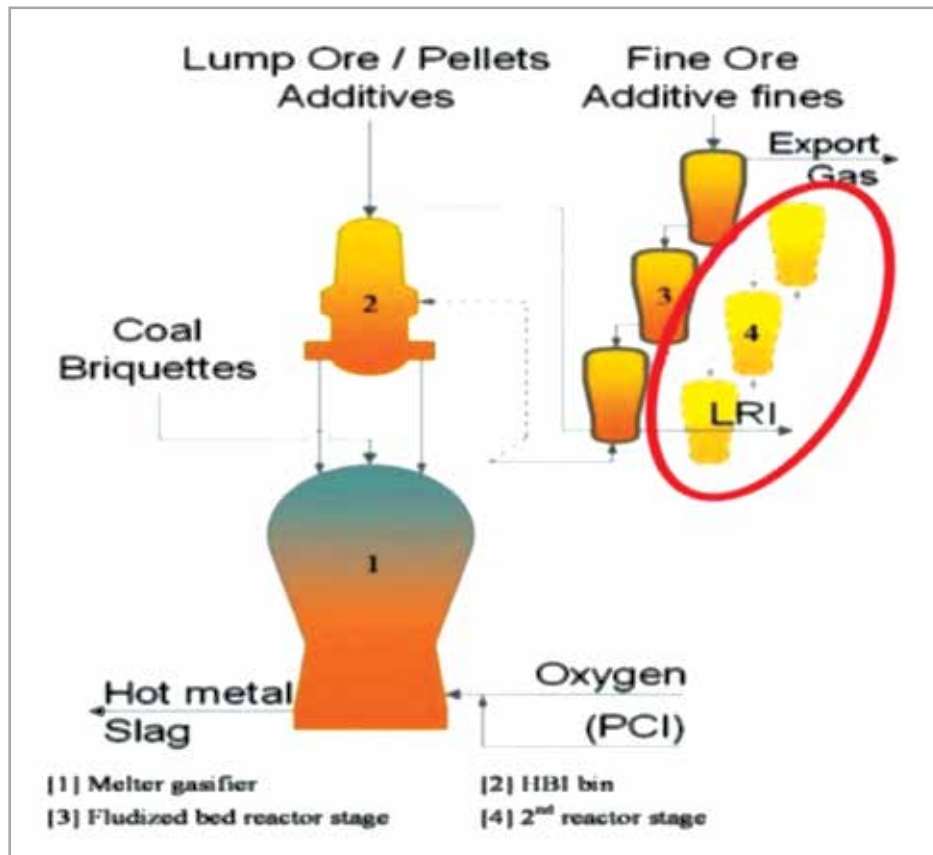
الف) هزینه های سرمایه ای (CAPEX) کمتر
 هزینه های CAPEX کمتر شامل عدم نیاز به

۹- محصول فرایند FINEX جهت کاربرد در کوره بلند:

آهن نیم احیا شده^۱ به عنوان محصول خروجی از روش FINEX می تواند جهت کاهش مصرف کک، سنگ آهن و گندله در کوره بلند مورد استفاده قرار گیرد. در این حالت میزان مذاب تهیه شده در کوره بلند افزایش یافته، میزان مصرف کک کاهش یافته و در نتیجه علاوه بر مزایای اقتصادی منجر به کاهش آلودگی های زیست محیطی می شود. بنابراین علاوه بر تولید آهن اسفنجی مرغوب می توان از واحد FINEX به عنوان واحد واسطه در مجاورت کوره بلند جهت تولید آهن نیم احیا شده برای افزایش بازده کوره بلند استفاده نمود. در این حالت می توان برای تولید بیشتر محصول آهن نیم احیا شده، ابعاد راکتورهای بستر سیال را افزایش و یا تعداد راکتورهای موازی را افزایش داد. شماتیکی از فرایند FINEX با راکتورهای بستر سیال توسعه یافته جهت تولید آهن نیم احیا در شکل ۹ نشان داده شده است.

۱۰- ملاحظات اقتصادی:

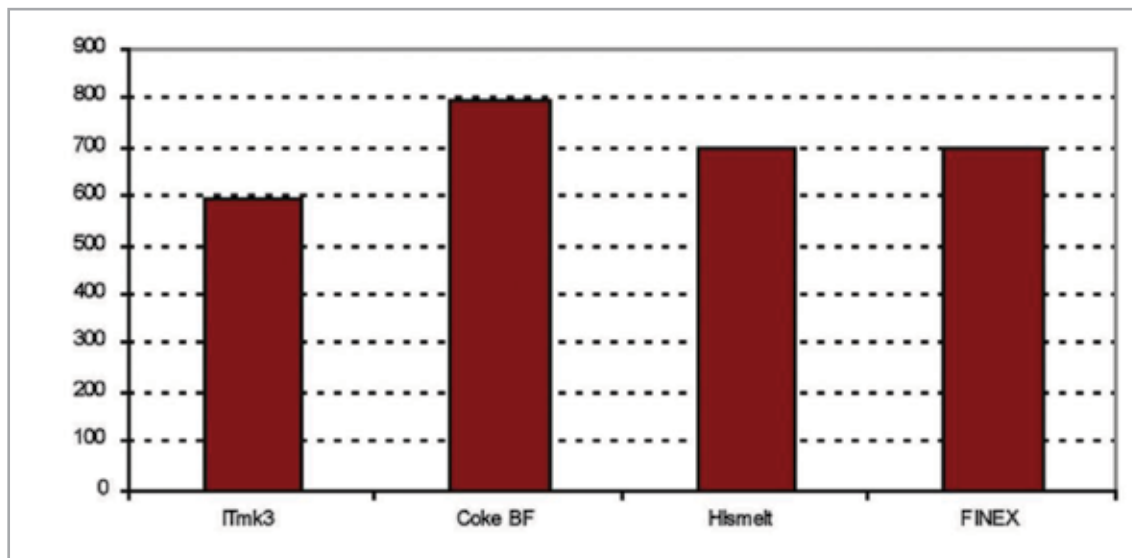
حذف واحدهای کلوخه سازی^۲ و کک سازی^۳ از فرایند فولادسازی و همچنین امکان استفاده از نرمه



شکل ۹: شماتیکی از فرایند FINEX با راکتورهای بستر سیال توسعه یافته جهت تولید آهن نیم احیا.



- 1- low reduction iron
- 2- sintering
- 3- coke oven
- 4- Capital Expenditure



شکل ۱۰: مقایسه هزینه‌های CAPEX دو فرایند FINEX و کوره بلند.

نیز در این روش نیاز نمی‌باشد. مقایسه هزینه‌های OPEX دو فرایند FINEX و کوره بلند در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

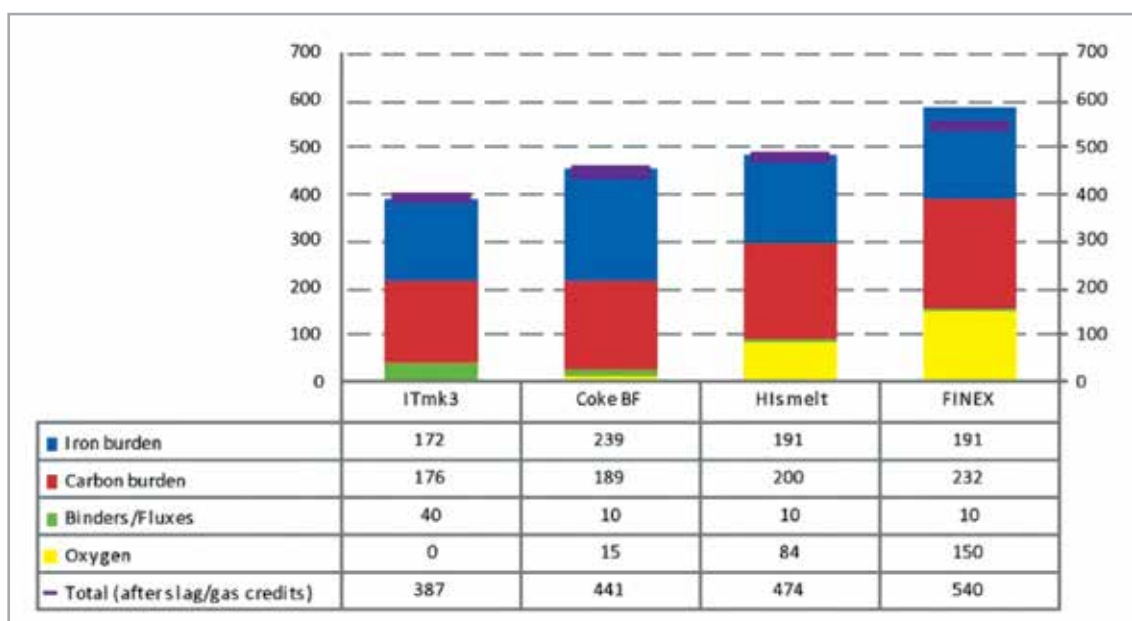
۱۱- محدودیت فرایند FINEX

با وجود مزایای ذکر شده برای فرایند FINEX هنوز قابلیت جایگزین شدن به جای فرایند کوره بلند سنتی را ندارد. نقطه ضعف اصلی فرایند FINEX این است که به دلیل نابالغ بودن این تکنولوژی، امروزه خروجی این فرایند حدود ۱/۵ میلیون تن بوده که تنها نصف خروجی مربوط به کوره بلند سنتی می‌باشد. در نتیجه ادامه تحقیقات در زمینه بهبود فرایند FINEX

واحدهای پر هزینه کک سازی و زینترینگ؛ استفاده از محوطه فشرده‌تر و نیاز به زمین کمتر، حجم کمتر ساخت‌وساز و سرمایه‌گذاری کمتر برای ادغام و تجمیع امکانات و تسهیلات نظیر نیرو، شبکه جاده‌ای، توزیع آب و برق و غیره می‌باشد. مقایسه هزینه‌های CAPEX فرایند FINEX با فرایندهایی نظیر کوره بلند و Hismelt در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

(ب) هزینه‌های عملیاتی کمتر

در این مورد می‌توان به نکاتی نظیر عدم احتیاج به درجه کیفی بالای زغال سنگ، آهک و سنگ آهن اشاره نمود. همچنین مخلوط سازی و ترکیب مواد خام



شکل ۱۱: مقایسه هزینه‌های OPEX دو فرایند FINEX و کوره بلند.

فازی پایداری عملکرد و افزایش بازدهی فرایند امری ضروری می‌باشد. در این زمینه تحقیقات متفاوتی انجام گرفته است به طوری که استفاده از مدل‌های ریاضی برای درک بهتر فرایندهای پیچیده رخ داده در واحد ذوب کننده گازی توانسته تا حدودی راهگشا باشد. ارزیابی مناسب نفوذپذیری جامد و توزیع جریان گاز جامد در واحد ذوب کننده گازی جهت پیش‌بینی دقیق و قابل اتکا نسبت به جریان دیگر فازها و همچنین فرایندهای شیمیایی/حرارتی امری ضروری می‌باشد. از دیگر محدودیت‌های فرایند FINEX مقادیر بسیار بالای اکسیژن می‌باشد. همچنین زغال مورد استفاده در فرایند FINEX بایستی پایداری حرارتی بالایی داشته تا اطمینان کافی از تشکیل بستر زغال نیمه‌سوخته در واحد ذوب کننده گازی حاصل شود. به منظور مقایسه سه نوع فرایند Hismelt، COREX و FINEX، مزایا و محدودیت سه فرایند به صورت خلاصه در جدول ۶ اشاره شده است.

به خصوص برای واحد ذوب کننده گازی که هم‌زمان به عنوان راکتور در موقع احتراق زغال سنگ و تولید گاز احیایی عمل نموده، نیاز می‌باشد. شبیه فرایند کوره بلند، عملکرد واحد ذوب کننده گازی به میزان زیادی تحت تأثیر توزیع زغال سنگ و بار می‌باشد، زیرا توزیع مناسب منجر به افزایش بازده تبادل حرارتی بین گاز و بار می‌شود. زه کشی مذاب آهن و سرپاره نیز موضوعی حیاتی برای اطمینان از توزیع جریان گاز در قلب واحد ذوب کننده گازی می‌باشد. علاوه بر این، نگهداری و تنظیم مناسب عمق منطقه دمش برای افزایش منطقه فعال کوره امری ضروری می‌باشد. این موضوع باعث حرکت نرم گاز محترق و استفاده مؤثر از آن در تمام طول بستر ثابت می‌شود. واضح است که پدیده‌های فیزیکی و شیمیایی رخ داده در واحد ذوب کننده گازی بسیار پیچیده می‌باشد، زیرا در این واحد ۴ فرم از مواد شامل گاز، مایع، پودر و جامد حضور دارند. درک جریان چنین مجموعه چند

جدول ۶: مقایسه سه تکنولوژی نوین تولید آهن و بررسی مزایا و معایب هر کدام.

فرایند Hismelt	فرایند COREX	فرایند FINEX
هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی پایین‌تر نسبت به دو فرایند دیگر، محصولات آهنی با کیفیت بالا، فرایند دوستدار محیط‌زیست	این فرایند نیازمند استفاده از اکسید آهن با کیفیت و خوراک کک با کیفیت بالا نبوده و همین دلیل هزینه و میزان آلودگی کاهش می‌یابد.	هزینه‌های مربوط به پلت و زینترینگ و در نتیجه مشکلات زیست‌محیطی در این فرایند مرتفع شده است.
چدن تولید شده حاوی گوگرد به میزان تقریباً ۲-۳ برابر بیشتر از چدن تولید شده با کوره بلند می‌باشد. بنابراین چدن تولید شده با فرایند Hismelt نیاز به گوگردزایی قبل از استفاده دارد.	این فرایند نسبتاً هزینه‌های بالایی داشته و مشکلات زیست‌محیطی مربوط به آماده‌سازی پلت و زینترینگ نیز بایستی مد نظر قرار گرفته شود.	میزان بهره‌برداری این فرایند پایین‌تر از دو فرایند دیگر بوده به طوری که میزان خروجی آن نصف فرایند کوره بلند سنتی می‌باشد.

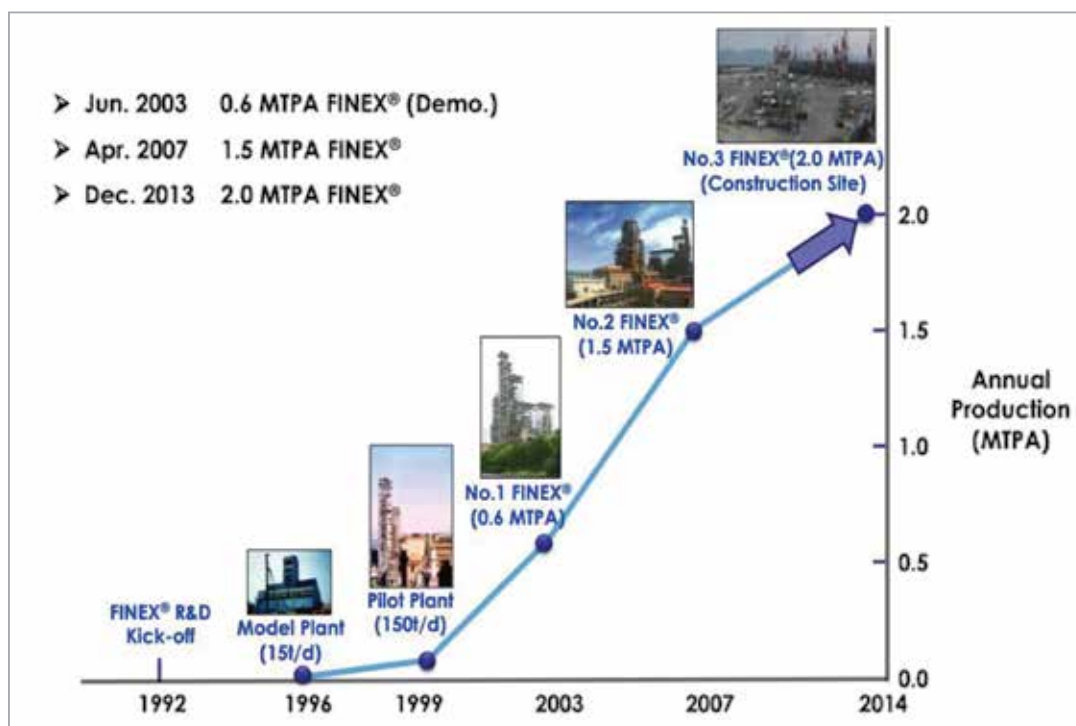


بهره‌برداری قرار گرفتند. تغییرات تاریخی فرایند FINEX در گذر زمان در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

همچنین قرارداد احداث واحد FINEX در صنعت فولاد کشور ایران نیز با شرکت POSCO به امضا رسیده است. فولاد چابهار از جمله طرح‌های مشترک صنعت فولاد ایران و شرکت POSCO کره جنوبی می‌باشد. البته تأمین برق و گاز به عنوان دو نیاز اساسی برای طرح FINEX جهت راه‌اندازی واحد فولادسازی از اهمیت بالایی برخوردار است. میزان مصرف برق در روش FINEX به شدت بالا می‌باشد.

۱۲- واحدهای FINEX در صنعت فولاد دنیا:

تحقیقات در زمینه فرایند FINEX از سال ۱۹۹۲ میلادی آغاز و در سال ۱۹۹۹ یک کارخانه به صورت پایلوت با ظرفیت ۱۵۰ تن در روز در شرکت POSCO ساخته شد. در ادامه و با پیشرفت تکنولوژی مربوطه واحدهای FINEX ۱ با ظرفیت سالانه ۶۰۰ هزار تن در سال ۲۰۰۳، FINEX ۲ با ظرفیت سالانه ۱/۵ میلیون تن در سال ۲۰۰۷ و FINEX ۳ با ظرفیت سالانه ۲ میلیون تن در سال ۲۰۱۴ با همکاری POSCO و Siemens مورد



شکل ۱۲: رخدادهای تاریخی فرایند FINEX.





**POSCO POHANG WORKS
(KOREA) -
FINEX® F-0.6M
DEMONSTRATION PLANT**

The plant commenced operation in 1995 as the first COREX® C-2000 plant. In parallel the FINEX® research and development started. Following initial laboratory and pilot-plant tests for the FINEX® Process, the existing Corex C-2000 plant was converted to the FINEX® F-0.6M Demonstration Plant which commenced operations in May 2003. And after just a few months, it became clear that the production target would not only be met but also exceeded, with the same plant now producing 800,000 tons of high quality hot metal per year. The plant was shut down in July 2014 and is to be relocated to India.



**POSCO POHANG WORKS
(KOREA) -
FINEX® F-1.5M PLANT**

On the basis of the successful results achieved at the FINEX® F-0.6M Demonstration Plant and following optimization of equipment and process parameters, the decision was quickly taken to build the bigger sized FINEX® F-1.5M plant having a nominal production capacity of 1.5 million tons of hot metal per year. This plant commenced operation in April 2007.



**POSCO POHANG WORKS
(KOREA) -
FINEX® F-2.0M PLANT**

The FINEX® F-2.0M plant for the annual capacity of 2.0 million tons of hot metal successfully commenced operation in January 2014.

تحولات زیادی در عملکرد فرایند مذکور صورت گرفته و به‌طور مداوم در حال بهبود می‌باشد. سرعت تحولات در فرایند FINEX به گونه‌ای است که قطعاً راه را برای تولید فولاد با هزینه کمتر هموار خواهد نمود. عملکرد فرایند FINEX نشان دهنده آینده روشن فرایندهای ذوب-احیا می‌باشد. در طول مدت زمان کوتاهی، تعدادی واحد تولید آهن به روش FINEX توسعه یافته و تلاش‌های مستمری جهت بهبود فرایند در حال رخداد می‌باشد.

از آنجایی که تولید آهن به روش سنتی کوره بلند همراه با افزایش محدودیت‌ها و فشارهای زیست‌محیطی و اقتصادی می‌باشد، تلاش روزافزونی در جهت توسعه تکنولوژی‌های ذوب مستقیم در حال انجام می‌باشد. هر چند به نظر می‌رسد که بهبود و ارتقا تکنولوژی‌های نوین نظیر FINEX تا حدی مشکل و زمان پیش‌بینی شده برای آن بیش از انتظار می‌باشد.

نتیجه‌گیری:

سازگاری، ارتقا و بهبود تکنولوژی‌های تولید آهن روز به روز از اهمیت بالاتری در بازار فعال و پویای فولاد برخوردار می‌شود تا جایی که تقاضاهای آین ۸۹۲۹ ده در هیچ یک از راهکارهای متداول دیده نشده است. چالش‌های آینده شامل تغییرات جاری در بخش مواد خام، کاهش هزینه‌های مربوط به انرژی و قوانین زیست‌محیطی سخت‌گیرانه‌تر می‌باشد. فرایند FINEX به عنوان یکی از تکنولوژی‌های نوین تولید آهن قابلیت رقابت با فرایند کوره بلند را دارد. امروزه بهینه‌سازی بیشتر فرایند FINEX هنوز در حال جریان بوده و بهبود مزایای اقتصادی و تکنولوژیکی فرایند هنوز در حال بررسی و پیشرفت می‌باشد. فرایند FINEX آینده روشنی برای فرایندهای ذوب-احیا را ترسیم می‌نماید. در طول مدت زمان کوتاهی

مراجع:

[۱] S.-J. Lee, E.-H. Lee, Case Study of POSCO-Analysis of its Growth Strategy and Key Success Factors, (۲۰۰۹).

[۲] U. Jain, Corex & Finex-New Developments in Utilization of Low Grade Raw Materials, (۲۰۱۳).

[۳] J. Schenk, W. Kepplinger, F. Wallner, H. Kim, S. Joo, I. Lee, Development and future potential of the Finex process, in: ۲nd International Congress on the Science and Technology of Ironmaking and ۵th Ironmaking Conference, ۱۹۹۸, pp. ۱۵۴۹-۱۵۵۷.

[۴] L. WANG, L.-h. CHEN, H.-o. LV, Development situation of COREX smelting reduction process [J], Journal of Shenyang Institute of Engineering (Natural Science), ۰۲۵ (۲۰۰۶) ۴.

[۵] M. Cho, K. HG, L. HG, Energy and Pollutants Reducing Technologies in New Ironmaking Processes at POSCO, ISIJ international, ۲۰۰۲) ۴۲) S-۳۳S۳۷.

[۶] S. Joo, H. Kim, I. Lee, J. Schenk, U. Gennari, F. Hauzenberger, FINEX: a new process for production of hot metal from fine ore and coal, Scandinavian journal of metallurgy, ۱۸۳-۱۸۸ (۱۹۹۹) ۲۸.

[۷] G. Peer, FINMET[®] and FINEX[®]: Fluidized-bed applications for iron production, in: IFSA, ۲۰۰۵, pp. ۲۵۵-۲۴۵.

[۸] F. Plaul, C. Böhm, J. Schenk, Fluidized-bed technology for the production of iron products for steelmaking, Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, ۱۲۸-۱۲۱ (۲۰۰۹) ۱۰۹.

[۹] C. Thaler, T. Tappeiner, J.L. Schenk, W.L. Kepplinger, J.F. Plaul, S. Schuster, Integration of the Blast Furnace Route and the FINEX[®]-Process for Low CO₂ Hot Metal Production, steel research international, ۱۸۸-۱۸۱ (۲۰۱۲) ۸۳.

[۱۰] B. Agrawal, A. Mathur, New Ironmaking Processes: Relevance to India, in: MMMM ۲۰۱۱ Conference, ۲۰۱۱.

[۱۱] J.H. Noldin Jr, An overview of the new and emergent ironmaking technologies.

[۱۲] A.Z.-w.H. Su-ju, G.L.Z. Ying-wei, Technology and Economy Analysis on FINEX Process [J], Journal of Hebei Institute of Technology, ۲۰۰۷) ۲).

[۱۳] Shibu John, FINEX: An Old Vision of the Iron and Steel Industry Becomes

پیش‌مقدمه‌ای در مورد آینده‌نگاری در صنعت فولاد

پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان



فعالیت‌ها برای مخاطبان گوناگون با تأکیدات مختلف و با استفاده از رویکردها، جهت‌گیری‌ها و روش‌های متفاوت اجرا می‌شود. لذا به همان نسبت توانایی پاسخ‌گویی به گستره متنوعی از اهداف و خواسته‌ها را نیز دارد. آینده‌نگاری در صنعت فولاد کشور به عنوان یکی از صنایع مادر جهت فعالیت گسترده و تأثیرگذار در بازار رقابتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله سعی شده است که فرایند آینده‌نگاری به‌طور مختصر معرفی شود. هدف اصلی این مقاله، آشنایی اولیه ذینفعان صنعت فولاد با آینده‌نگاری جهت حضور هوشمندانه در این فعالیت می‌باشد.

آینده‌نگاری را می‌توان ابزاری برای پیش‌بینی تکنولوژی دانست، یا از نگاهی دیگر آن را به‌مثابه‌ی بخشی از فرایند مدیریت استراتژیک قلمداد نمود. اما امروزه آینده‌نگاری بیش از هر چیز ابزاری برای سیاست‌گذاری است. آینده‌نگاری به عنوان ابزاری برای کشف آینده و شکل بخشیدن به آینده مطلوب جهت مشارکت، شبکه‌سازی، تهیه چشم‌انداز و سیاست‌گذاری‌ها در ابعاد سازمانی یا فرا سازمانی و کلان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار طیف گسترده و متنوعی از فعالیت‌ها را شامل شده و این

چکیده



شکل ۱. استفاده از علم پیش‌بینی و پیش‌گویی برای کشف آینده.

۱- مقدمه:

می‌برند و هر کدام برای دستیابی به اهداف گوناگونی کاربرد دارند.

یکی از مفاهیم اساسی و کلیدی در صنعت فولاد توجه به مفاهیم آینده‌نگاری برای ترسیم آینده‌ای مطلوب در صنعت دنیا می‌باشد. حضور مستمر و پیشگام در صنعت جهانی و همچنین پیشتازی در بازار اقتصادی برای صنعت نسبتاً قدیمی فولاد در جهانی که بسیاری از تحقیقات در راستای پدید آوردن جایگزین‌های فولاد هستند؛ بسیار مهم و حیاتی می‌باشد. پس جهت جلوگیری از گوشه‌نشینی صنعتی و حضور در خط مقدم صنعت جهانی بایستی در مسیری روشن، آگاهانه و همراه با ملزومات قدم برداشت. به همین دلیل در این مقاله سعی در معرفی این مفهوم به عنوان گام نخست جهت آینده‌نگاری در صنعت فولاد کشور می‌باشد.

تلاش جهت رسیدن به آینده‌ای مطلوب در تفکرات ایرانی ما نهادینه شده است. اما آیا به راستی گام علمی و اساسی برای تحقق آینده مطلوب برداشته می‌شود؟ آنچه مهم است، برداشتن گام‌های اساسی و اصولی توسط تمام اعضای جام جهت رسیدن به آینده مطلوب می‌باشد.

در چند سال گذشته، تحقیق در مورد آینده و ترسیم تصاویری از آینده و اتفاقات آن توسط بسیاری از پژوهشگران صورت گرفته است. درک تصویر مناسب از آینده می‌تواند منجر به اتخاذ تصمیم‌های مناسب و در نتیجه کسب سود و منفعت بالاتر شود. برعکس این موضوع نیز منجر به تصمیم‌گیری غلط می‌شود. دستیابی به تصویر آینده در زمان‌های گوناگون تابع پارادایم‌های آن زمان می‌باشد. به‌طور مثال در گذشته مردم برای پیش‌بینی آینده از پیش‌گویان و جادوگران و جام طالع‌بین استفاده می‌کردند. کارگزاران بورس با استفاده از محاسبات پیچیده و ابزارهای مناسب کامپیوتری به تصویری مناسب جهت سرمایه‌گذاری و ادامه فعالیت خود دست می‌یابند. اما آیا به راستی تنها موضوع مهم، درک اتفاقات آینده است؟ آیا نگاه به آینده بایستی تحمیلی و یا گزینشی باشد؟

امروزه آینده‌پژوهی^۱، آینده‌اندیشی^۲، آینده‌نگاری^۳ و آینده‌شناسی^۴ از جمله واژگان‌های متداولی است که در بحث مربوط به مطالعات آینده مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر یک از این واژگان وابسته به تئوری‌ها و پیش‌فرض‌های خاصی بوده و از روش‌های خاصی بهره



- 1- Futures study
- 2- Futures
- 3- Foresight
- 4- Futurology

این پارادایم این است که آینده چه وضعیتی دارد و ما چگونه خود را با آن وفق دهیم. آیا شده است به جای اینکه تنها به فکر کاهش مصرف آب باشیم به فکر تولید باران مصنوعی یا استفاده از آب موجود در لایه‌های زیرین سطح زمین باشیم؟ آیا شده است به جای اینکه به دنبال ظهور منجی برای ساخت مدینه فاضله باشیم به فکر تلاش فردی و ایفای نقش در ساخت مدینه مطلوب باشیم؟

۲-۱- پیش‌بینی در صنعت فولاد ایران؟

همان‌طور که بیان شد، نگاه علم پیش‌بینی بر پایه شناخت آینده‌ای محتوم و آمادگی انسان برای تطابق با آینده محتوم جهت به حداقل رساندن آسیب‌ها می‌باشد. آیا این نگاه در صنعت فولاد کشور وجود دارد؟ آیا جایگاه و منظر ما برای آینده صنعت فولاد کشور، از جایگاه بیرونی و مشاهده‌گر است؟ پیش‌بینی جز جدایی‌ناپذیر تفکر انسانی می‌باشد. پیش‌بینی افزایش قیمت دلار، پیش‌بینی کاهش منابع آبی، پیش‌بینی رخداد جنگ و نیاز به پیشرفت در صنایع جنگی، پیش‌بینی افزایش مهاجرت به کشورهای اروپایی و آمریکایی، پیش‌بینی زلزله در آینده نزدیک در تهران و ... همگی از جمله مثال‌هایی که انسان از کنار آن‌ها به راحتی عبور می‌کند. این نوع دید اگر همراه با دیدی فاعلانه برای رسیدن به آینده مطلوب نباشد، ارزش چندانی ندارد. آیا

۲- ظهور پیش‌بینی

پیش‌بینی^۱ از جمله نخستین تلاش‌های علمی بشر برای شناخت آینده بوده است. این علم تجربی با توسل به مشاهدات قبلی و بر پایه وضعیت گذشته و حال، آینده را پیش‌گویی می‌نماید. با توجه به ماهیت تجربی بودن آن، دارای ضعف‌ها و قوت‌های مخصوص هر علم تجربی می‌باشد. در این علم با شکل‌گیری حدس بر اساس مشاهدات مکرر، تبدیل آن به فرضیه و سپس تئوری و تأیید چندین باره آن، "قانون" شکل می‌گیرد.

مهم‌ترین انتقاد وارد شده به پیش‌بینی، تکیه آن بر گذشته می‌باشد، زیرا هیچ لزومی برای پیروی آینده از گذشته وجود ندارد. به مرور زمان تشکیک در مورد این علم افزایش یافت و عدم استفاده و ناتوانی این علم در خصوص پدیده‌های پیچیده، باعث شد که دانشمندان برای آن از مفهوم "عدم اطمینان" استفاده کنند. از طرف دیگر هر چه موضوع وضعیت آینده مهم‌تر می‌شد، علم پیش‌بینی در ارائه اطلاعات و پیش‌بینی آن موضوع ناتوان‌تر نشان می‌داد.

این علم بر پایه پارادایم اکتشافی بنا شده بود که آینده را نتیجه علت و معلولی گذشته می‌دانست و نوعی جبری‌گرایی در آن پنهان بود. در این حالت، آدمی ناظری بیرونی است که تنها می‌تواند به اکتشاف آینده محتوم بپردازد و بدین ترتیب نتیجه پیش‌بینی تنها اکتشاف آینده است. سؤال اساسی



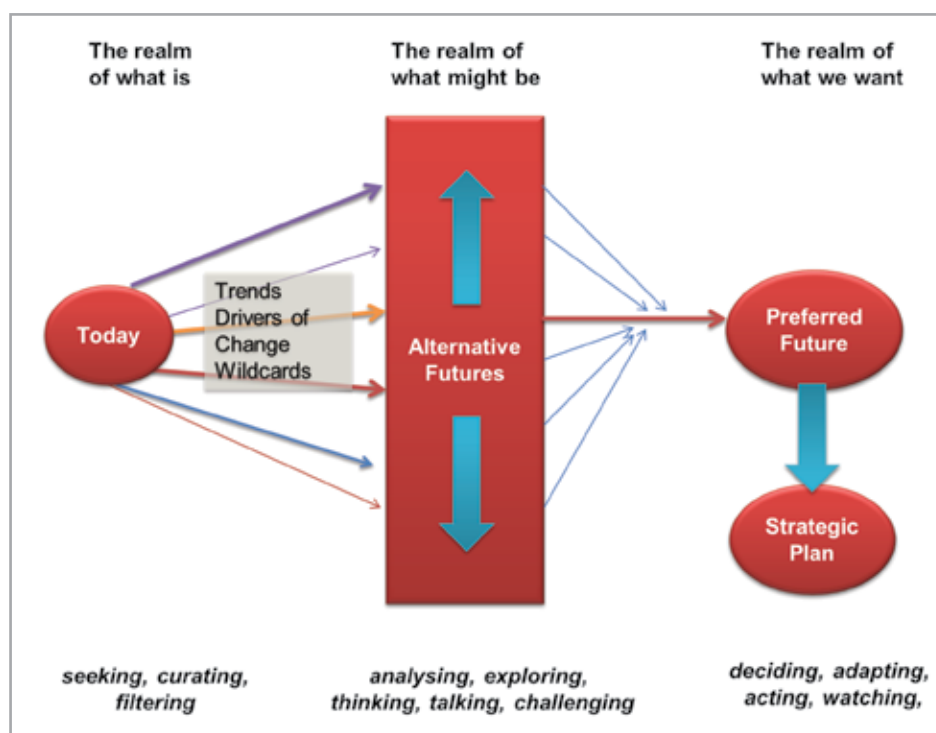
شکل ۲. پیش‌گویی آینده توسط علم پیش‌بینی بر اساس علم تجربی و اکتشاف آینده محتوم.



شکل ۳. آیا پیش‌بینی در صنعت فولاد امری درست است؟

اندیشه نشود، تنها ترس دائمی برای رکود صنعت فولاد را در مویرگ این صنعت تزریق می‌کند. اینکه تنها بدانیم تا چند سال دیگر می‌توانیم از سنگ‌آهن موجود در کشور استفاده کنیم و راهکار جایگزینی برای آن اندیشه نشود، تنها شناخت مسئله است و مسئله بدون جواب ارزشی ندارد.

تنها پیش‌بینی کاهش منابع آبی و در نتیجه کاهش مصرف آب دیدگاه درستی است؟ این دید در صنعت فولاد کشور نیز می‌تواند مضر باشد. بنابراین توجه به پرهیز از پیش‌بینی آینده به عنوان تنها علم مربوط به آینده، می‌تواند ما را از مشکلات اساسی در صنعت فولاد دور کند. اینکه تنها بدانیم در آینده با مشکل آب در صنعت فولاد دچار می‌شویم و برای آن راهکاری

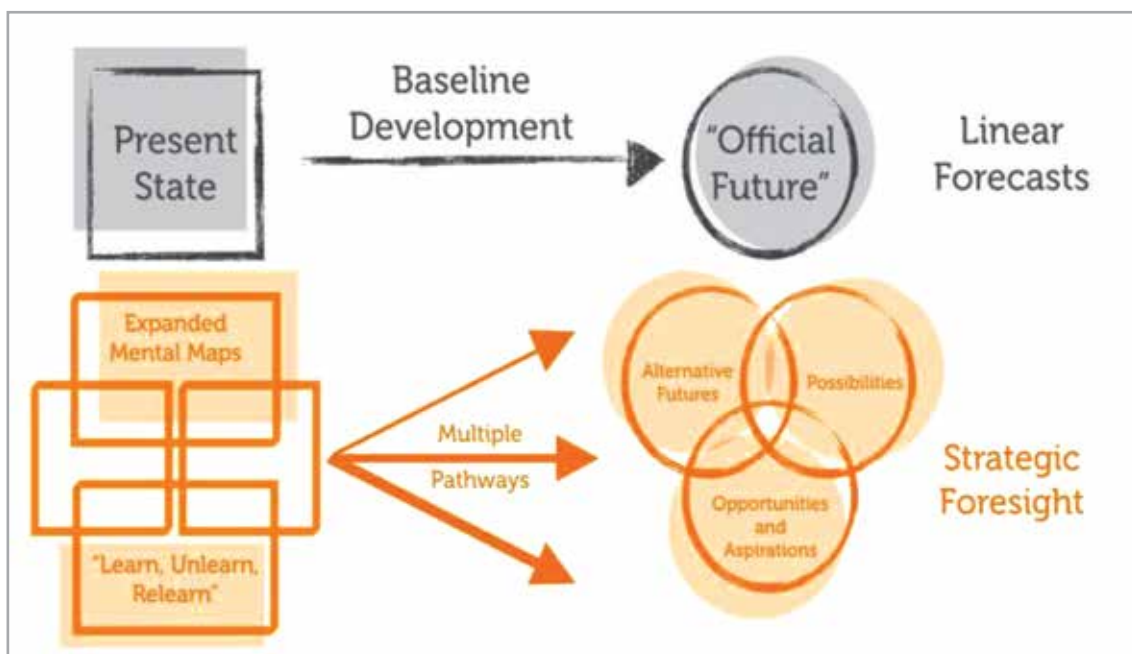


شکل ۴. روند کلی فرایند بر اساس شناخت آینده‌های محتمل، آینده مطلوب و تعیین برنامه استراتژیک برای رسیدن به آن.

۲-۲- تغییر نوع نگاه از منفعلانه به فاعلانه

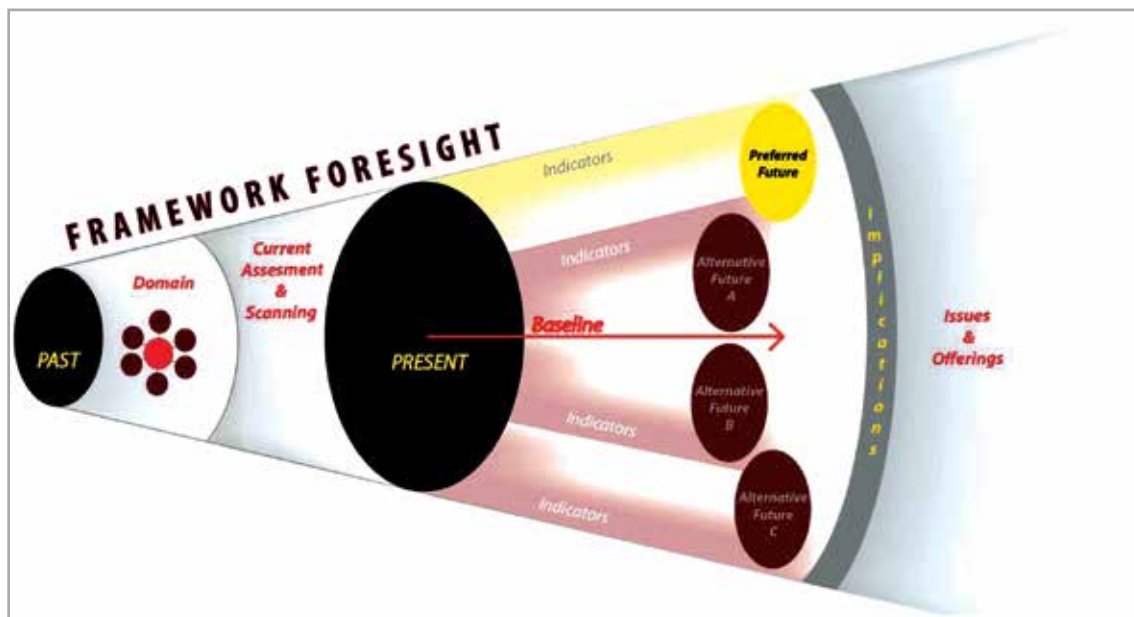
پارادایم هنجاری، نیروی انسان را در ساخت آینده و تاریخ در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند با این نگاه، آینده را بسازد. در این حالت پیش‌بینی از حالت انفعالی به صورت افعالی بروز می‌نماید. ساخت آینده این امکان را می‌دهد که هر باز‌یگری در جهت ساخت آینده مطلوب خود اقدام نماید. در این پارادایم بایستی به دنبال سه سؤال اساسی بود. وقوع کدام آینده‌ها محتمل است؟ آینده‌های مطلوب ما کدامند؟ و کدام آینده امکان وقوع می‌یابد. آینده مطلوب انعکاسی از قضاوت‌ها، هنجارها و ارزش‌های مطلوب جامعه می‌باشد. پس باید روش‌هایی را طراحی نمود و بکار

برد که به تحقق آینده مطلوب منجر شود. تفاوت بین پیش‌بینی و آینده‌نگاری در نوع عملکرد و نتیجه بدست آمده به صورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است. بر این اساس، اولویت اول در آینده صنعت فولاد کشور، ابتدا شناخت آینده‌های ممکن و محتمل و سپس شناخت آینده‌های مطلوب می‌باشد. در گام بعدی بایستی بر روی روش‌های لازم برای رسیدن به آینده مطلوب تمرکز نمود. توجه همه‌جانبه به تمامی مسائل از جمله مسائل کلان نظیر بازار فروش، مسائل زیست‌محیطی و راهکارهای کاهش انتشارات مضر نظیر CO₂، تولید بهینه به جای افزایش نرخ تولید، افزایش



شکل ۵. تفاوت بین پیش‌بینی و آینده‌نگاری.



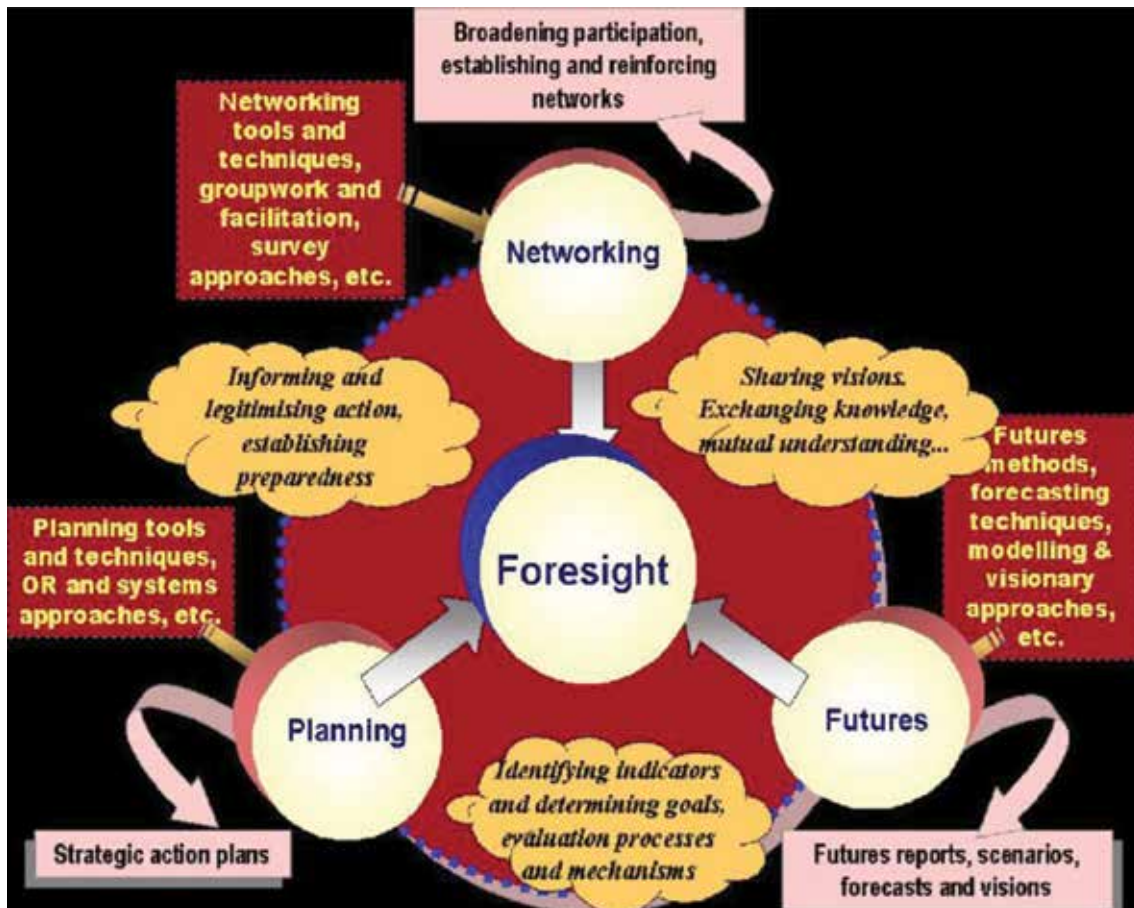


شکل ۶. چارچوب کلی فرایند آینده‌نگاری جهت تعیین آینده‌های ممکن و تشخیص آینده مطلوب.

۳- آینده‌نگاری

با توجه به آنچه در مورد پیش‌بینی بیان شد، دانش‌های جدیدی با استفاده از روش‌ها و مفاهیم سایر حوزه‌های دانشی جهت مطالعه در مورد آینده ظهور یافتند. آینده‌نگاری یکی از دانش‌های جدید در این زمینه می‌باشد. آینده‌نگاری تلاش می‌کند که آینده‌های ممکن را بدست آورد، سپس آینده مطلوب را شناخته و پس از آن به چگونگی رسیدن به آن توجه نماید. البته هر کدام از مقوله‌های پیش‌بینی و آینده‌نگاری کاربرد خاص خود را داشته و ظهور آینده‌نگاری به معنای پایان پیش‌بینی نیست. واژه آینده‌نگاری بیانگر طیف وسیعی از رویکردهایی است که منجر به بهبود فرایند تصمیم‌گیری

کیفیت محصولات تولیدی، استفاده از راهکارهای کاهش مصرف انرژی در صنعت فولاد، مسائل مربوط به آب، جدید کردن تکنولوژی‌های فرسوده و قدیمی و قدم نهادن در راه‌های موفق تجربه شده توسط کشورهای دیگر از جمله مواردی است که بایستی به‌طور جامع در تدوین آینده مطلوب صنعت فولاد کشور به آن‌ها پرداخته شود. ترسیم افزایش میزان تولید فولاد به‌طور سالانه بر مبنای افزایش تعداد کارخانه‌های فولادسازی و افزایش تعداد واحدهای میدرکس و سایر واحدهای مرتبط با تولید آهن و فولاد دیدگاهی چندان فاعلانه نیست. می‌توان این سؤال را مطرح نمود که آیا به زنجیره ارزش فولاد در کشور به اندازه اهمیت آن توجه شده است؟



شکل ۷. خاستگاه آینده‌نگاری.

- برنامه‌ریزی استراتژیک^۱
 - آینده‌اندیشی^۲
 - شبکه‌سازی^۳
- خاستگاه آینده‌نگاری به‌صورت شماتیک در شکل ۷ نشان داده شده است.

می‌شود. رویکردهایی که تفکر در مورد آینده بلندمدت را به همراه داشته و به همان میزان هم به فرایند تصمیم‌گیری استراتژیک و برآوردهای هوشمندانه توجه دارند. این فرایند در عین حال به شبکه‌سازی هم می‌پردازد. آینده‌نگاری حاصل تلاقی سه دسته از مفاهیم و یا حوزه‌های مختلف است که عبارتند از:



- 1- Intelligence Anticipatory
- 2- Strategic planning
- 3- Futurist
- 4- Networking

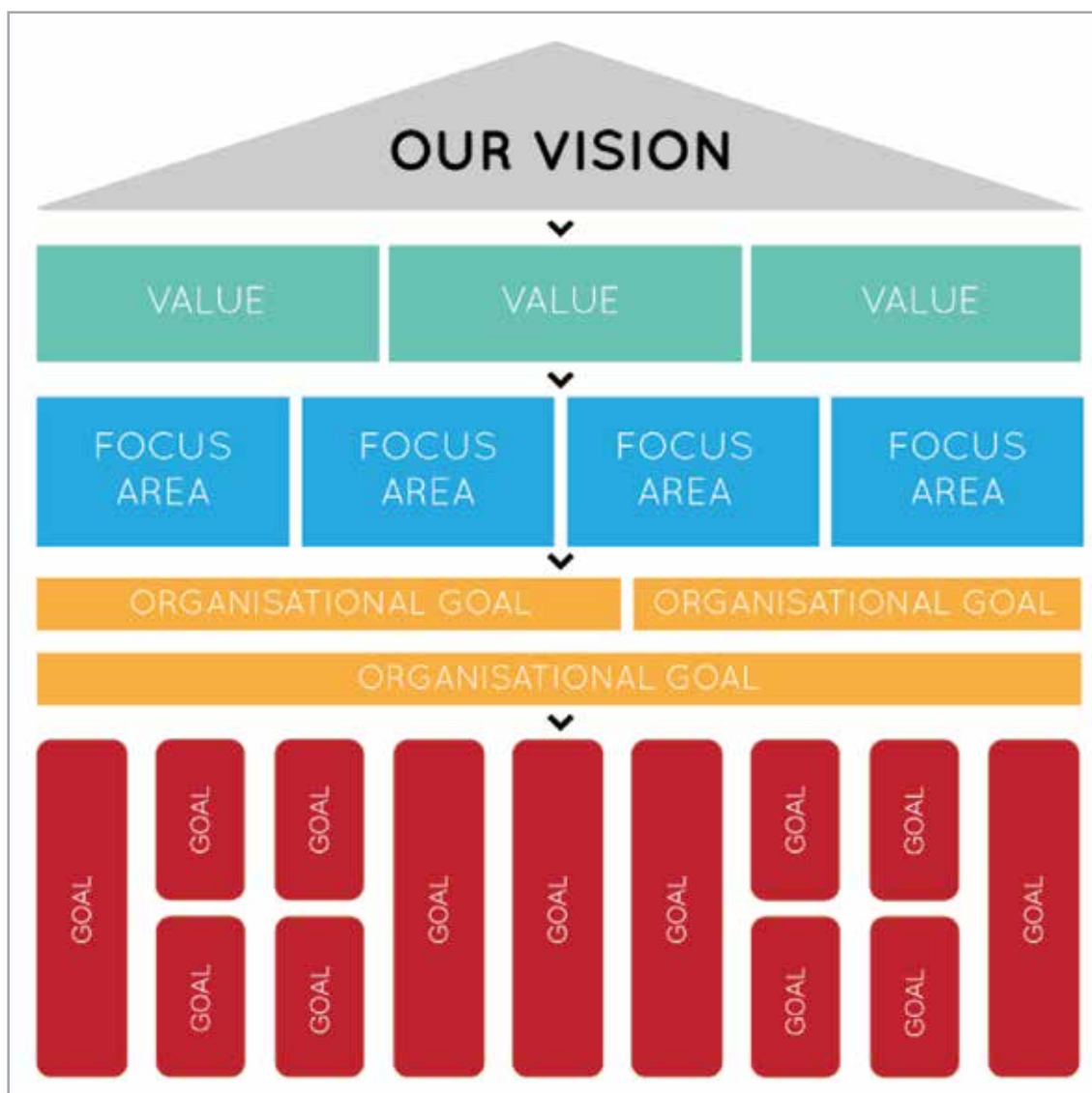


۳-۱- برنامه‌ریزی استراتژیک

داشته و معمولاً تمایلی به ایجاد تغییر در بخش‌های گوناگون صنعتی وجود ندارد. به‌طور مثال در صورتی که فشارهایی از طرف سازمان محیط‌زیست به صنعت فولاد جهت کاهش انتشارات گازهای گلخانه‌ای یا آلوده کردن آب توسط فاضلاب صنعت فولاد وارد نشود، تمایلی به ایجاد تغییر در پروسه تولید وجود ندارد. همچنین حضور تکنولوژی‌های فرسوده با عمر بالاتر از ۵۰ سال مؤید عدم تمایل به تغییر و برهم زدن تعادل می‌باشد.

در ادامه با تغییر رویکرد عقلایی به رویکرد تکاملی^۱، تفکر استراتژیک^۲ به‌جای برنامه‌ریزی استراتژیک پدید آمد. تفکر استراتژیک در مورد ساختن آینده است. تفکر استراتژیک معمولاً مبتکرانه، تجربی و ساختارشکن بوده و از خلاقیت و ابتکار برای تدوین یک چشم‌انداز یکپارچه^۳ استفاده می‌کند. در این حالت از تفکر منطقی

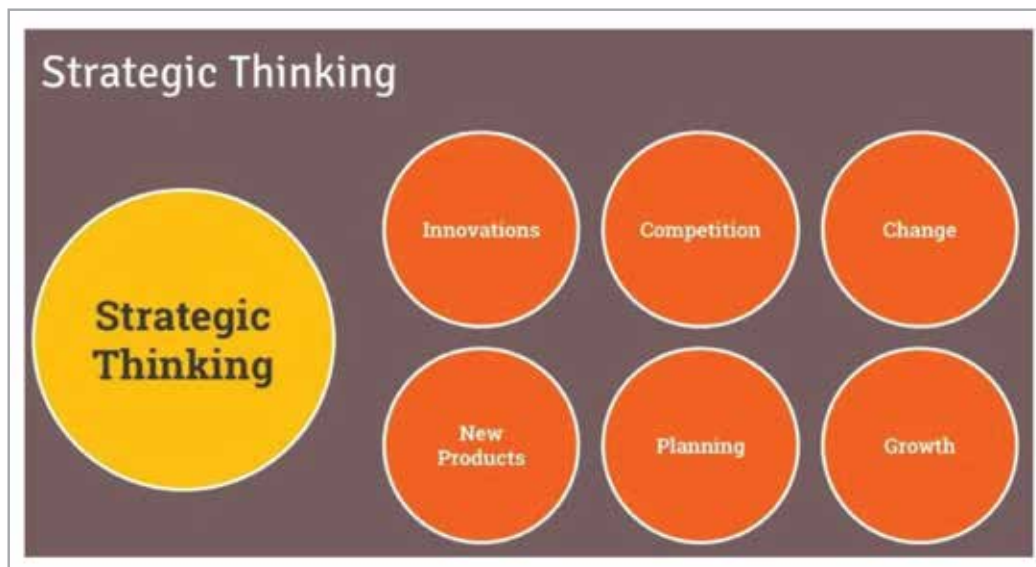
در برنامه‌ریزی استراتژیک یک هدف به مجموعه‌ای از اهداف و مراحل کوچک‌تر تقسیم‌بندی شده و این مراحل کوچک‌تر به گونه‌ای تدوین و چارچوب‌بندی می‌شوند که قابلیت اجرا یابند. در گذشته اصلی‌ترین راه پرداختن به آینده برای دولت‌ها استفاده از برنامه‌ریزی استراتژیک بود. این برنامه‌ریزی افق زمانی کوتاه مدتی را پوشش داده و معمولاً ۳-۵ ساله در نظر گرفته می‌شوند. رویکرد برنامه‌ریزی استراتژیک رویکردی عقلایی^۱ بوده و رسیدن به حالت پایدار سیستم و پایداری آن به عنوان حالت مطلوب در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه در این رویکرد تغییرات حداقل بوده و تغییر، امری پذیرفته شده نیست. تغییر تنها زمانی اتفاق می‌افتد که سیستم در نقطه تعادل خود نیست. این دیدگاه در صنایع ایران هنوز تداوم



شکل ۸. چارچوب کلی برنامه‌ریزی استراتژیک و تقسیم هدف به اهداف کوچک‌تر و تمرکز بر روی هر کدام.

- 1- Rational Approach
- 2- Evolutionary Approach
- 3- Strategic Thinking
- 4- Integrated Vision





شکل ۹. تفکر استراتژیک.

کشف گزینه‌ها دارد و به مراحل و گام‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی و دستیابی به آن گزینه‌ها نمی‌پردازد. به عبارت دیگر به برنامه‌ریزی استراتژیک نمی‌پردازد. از این منظر آینده‌نگاری و نتایج آن به عنوان عناصر ورودی برای تدوین استراتژی^۱ و سیاست‌گذاری نگریسته می‌شود که سعی دارد با تفکر استراتژیک به برنامه‌ریزی استراتژیک و برنامه‌های اجرایی جهت‌دهی کند.

و عقلایی فراتر رفته و به صورت ترکیبی و سازنده^۱ و استقرایی عمل می‌کند که جایگزین تحلیل‌ها و استنتاج‌های قیاسی می‌شود. زیرا اطلاعات در مورد آینده بالقوه همواره ناکامل می‌باشد. به عبارت دیگر آمادگی برای مواجهه با آینده یا آینده‌های متفاوت بر شناخت کامل و دقیق آینده ارجحیت دارد. آینده‌نگاری به عنوان جنبه‌ای از تفکر استراتژیک بر اساس اطلاعات محدود امروزی است و سعی بر



شکل ۱۰. سه لایه تدوین استراتژی شامل آینده‌نگاری، تفکر و برنامه‌ریزی استراتژیک.

1- Synthetically
2- Strategy Making



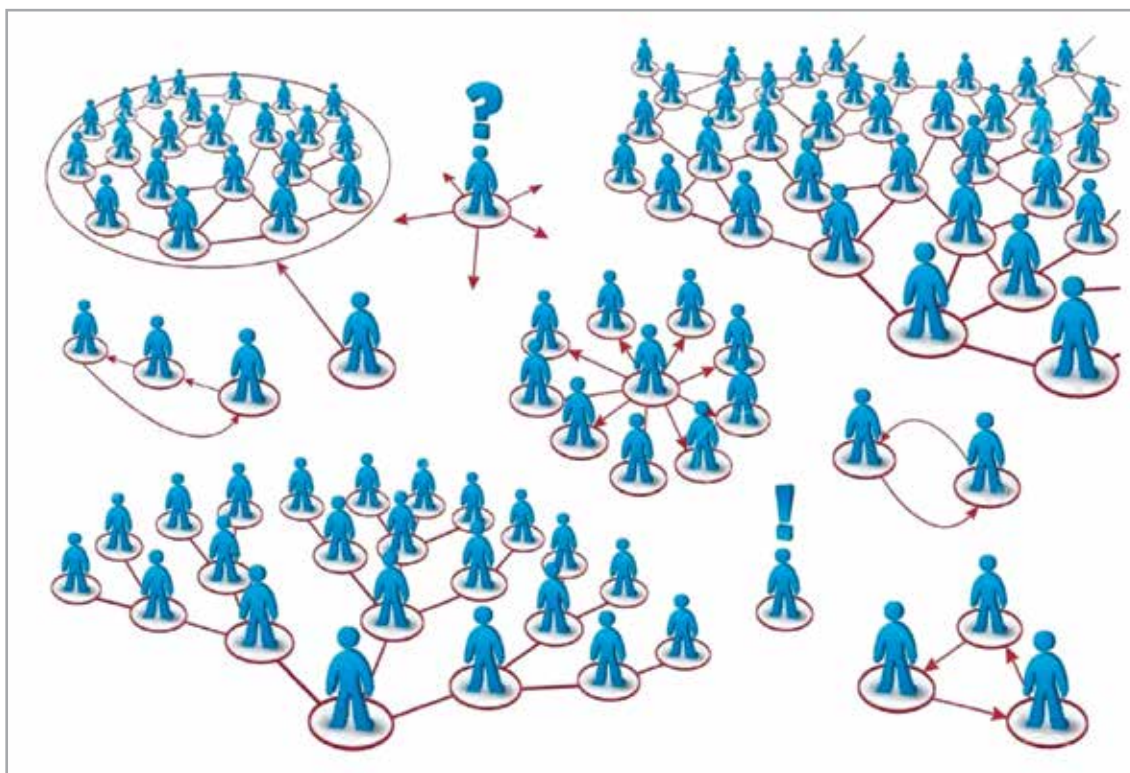
۳-۲- آینده‌اندیشی

هرچند شباهت‌هایی میان روش‌های مورد استفاده برای آینده‌نگاری و آینده‌اندیشی وجود دارد ولیکن تفاوت‌های بارزی میان رویکرد جدید آینده‌نگاری با سایر رویکردهای سابق در حوزه آینده‌اندیشی نظیر پیش‌بینی، آینده‌شناسی و پیش‌گویی وجود دارد. آینده‌نگاری زیرمجموعه‌ای از آینده‌اندیشی نیست و اصولاً نمی‌توان آینده‌اندیشی را به عنوان تنها خاستگاه و زادگاه آینده‌نگاری دانست. با این وجود پیش‌بینی و آینده‌شناسی دقیق و جامع یکی از الزامات برای آینده‌نگاری اصولی می‌باشد. آینده‌اندیشی در صنعت فولاد کشور نیز جهت تدوین برنامه آینده نگارانه و اجرای دقیق و کامل آن از اهمیت بالایی برخوردار است. این آینده‌اندیشی می‌تواند در حوزه‌های مختلف نظیر مشکلات پیش‌رو، بازار جهانی، مصرف انرژی، استفاده از تکنولوژی‌های نو و همچنین تولید محصولات ویژه باشد.

۳-۳- شبکه‌سازی و توسعه سیاست

توسعه سیاست در حقیقت توسعه فرایند سیاست^۱ است. چگونگی دستیابی به یک سیاست از اهمیتی بالا و حتی بیشتر از خود سیاست برخوردار است. پس طراحی فرایند سیاست در حد خود سیاست مهم است. آینده‌نگاری با درگیر نمودن حوزه‌های علاقه‌مند در

فرایند سیاست‌گذاری به شبکه‌سازی می‌پردازد. تقویت شبکه‌های موجود و همچنین ایجاد و نهادینه نمودن شبکه‌های جدیدی از هویت‌های علاقه‌مند به حضور در فرایند سیاست، از جمله ویژگی‌های فرایند آینده‌نگاری است. از این منظر، آینده‌نگاری بیش از هر چیزی فرایندی است که می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها و مشروعیت تصمیمات و سیاست‌ها، دانش‌های مورد نیاز برای تدوین سیاست‌ها، ساختار بندی و نظم در فرایند سیاست را حفظ کند. بنابراین توسعه فرایند سیاست و شبکه‌سازی قدرتمند به عنوان یکی از خاستگاه‌های آینده‌نگاری در صنعت فولاد بسیار مهم می‌باشد. در این زمینه می‌توان دو گام موازی را پیش برد. اولین گام تعیین سیاست‌های صنعت فولاد و در نتیجه تشکیل شبکه‌ای کامل برای صنعت فولاد می‌باشد. گام دوم بررسی و توسعه فرایند سیاست صنعت فولاد و در نتیجه ایجاد شبکه‌های جدید بر اساس مدل توسعه سیاست می‌باشد. در این حالت، اعمال تحریم بر صنعت فولاد تأثیر چندانی نداشته و روز به روز با گسترش فعالیت شبکه‌ها نیاز صنعت به عوامل خارجی کمتر می‌شود. توسعه شبکه کامل صنعت فولاد در راستای بومی‌سازی این صنعت یکی از گام‌های اساسی و اولیه می‌باشد. با تشکیل یک شبکه گسترده فولادی به راحتی می‌توان نیازهای صنعت را به مراکز مربوطه ارجاع داد.



شکل ۱۱. شماتیکی از شبکه‌سازی.

نوظهور صنعت فولاد باشد. فعالیت در صنعت فولاد کشور بایستی به سمت تکنولوژی های نوین مورد استفاده در جهان باشد. با افزایش شدید سرعت پیشرفت تکنولوژی و به منظور حضور مستمر در بازار رقابتی، انواع صنایع مختلف فولادی جهان در حال استفاده از انواع تکنولوژی ها و تولید محصولات نوین هستند. بنابراین استفاده از تکنولوژی های نوین نظیر استفاده از زغال سنگ های کک نشو، ذخیره سازی و جذب CO₂، کاهش مصرف انرژی در صنعت فولاد و استفاده از فناوری های نو نظیر واقعیت مجازی برای صنعت فولاد کشور نیز می تواند حضور پر رنگ آن ها در بازارهای جهانی در سال های آینده را تضمین نماید.

• توجه به منافع اجتماعی و عدم تمرکز صرف به ایجاد ثروت نیز بایستی مد نظر قرار گرفته شود. امروزه کشورهای صاحب صنایع به دنبال کاهش آلودگی های زیست محیطی از جمله در صنعت فولاد می باشند. تشکیل و فعالیت کنسرسیوم های مختلف نظیر ULCOS و برنامه های تدوین شده در کشورهای مختلف نظیر COURSE50 نمونه ای از این موارد می باشد. تدوین چنین برنامه های برای صنعت فولاد ایران نیز لزومی می باشد.

• فعالیت آینده نگاری بایستی یک فرایند باشد. به این ترتیب که طراحی مناسب فعالیت، حضور بازیگران فعال و کلیدی صنعت فولاد از گروه های ذینفع جامعه مانند متخصصین صنعت فولاد و صنایع وابسته، دولت، صنعت، سازمان های غیردولتی و گروه های مصرف کننده می تواند در جهت ایجاد جامعه مطلوب آینده فولاد مؤثر باشد. خوشبختانه صنعت فولاد ایران از جامعه بزرگی برخوردار بوده ولیکن ارتباط درون این جامعه به خوبی برقرار نشده است. ترغیب به شرکت مستمر در فعالیت آینده نگاری از صنایع بالادستی تا صنایع کوچک از جمله مسائل مهم در اجرای برنامه آینده نگاری می باشد.

۴-۱- عناصر اساسی در آینده نگاری

آینده نگاری، آشکارسازی و برآورد ساختار بندی بوده که به توسعه و نیازهای اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژیکی بلند مدت می پردازد. بنابراین توجه به ساختار مند بودن برنامه آینده نگارانه صنعت فولاد و بررسی انواع نیازهای اجتماعی، اقتصادی و تکنولوژیکی بسیار مهم می باشد. برنامه ساختار مند و هوشمندانه و آشکارساز مربوط به مباحث آلودگی، مصرف انرژی و آب، قیمت تمام شده محصولات، رقابت در بازار، ارتقاء تکنولوژی های تولید در قسمت های مختلف، خوداتکایی به دانش و امکانات داخلی در تمام قسمت ها، توجه به

وجود هر سه بخش برنامه ریزی استراتژیک، آینده اندیشی و توسعه سیاست به عنوان زیربناهای آینده نگاری برای انجام طرح آینده نگاری صنعت فولاد کشور الزامی می باشد. تجربیات آینده نگاری مختلف نیز بر این موضوع تأکید داشته اند؛ هر چند ممکن است یک جنبه بیشتر از سایرین مورد توجه قرار گرفته باشد. برای انجام دقیق و مؤثر پروژه آینده نگاری در صنعت فولاد کشور، رصد فعالیت بزرگان این صنعت در سرتاسر جهان امری لازم و ضروری می باشد. آنچه بدیهی است، صنایع قدرتمند فولاد نظیر POSCO و ArcelorMittal دارای برنامه های آینده نگاری جامعی بوده و مطالعه برنامه های آن ها می تواند در تدوین و اجرای دقیق برنامه آینده نگاری صنعت فولاد ایران راهگشا باشد.

۴- مفهوم آینده نگاری

آینده نگاری، شناخت آینده به صورت ساختار مند، سازماندهی شده و فعالیت مستمر و دوره ای می باشد. آینده نگاری فرایندی سیستماتیک، مشارکتی و گردآورنده ادراکات آینده^۱ است که چشم اندازی میان مدت تا بلند مدت را با هدف اتخاذ تصمیمات روزآمد^۲ و بسیج اقدامات مشترک بنا می سازد. فعالیت آینده نگاری به بازسازی و ساخت شبکه ای از بازیگرانی اقدام می نماید که در دستیابی به اهداف مؤثرند و باعث ایجاد ارتباطات ما بین آنان می گردد. با توجه به مطالب بیان شده و مفهوم آینده نگاری، برای تعریف آینده نگاری در صنعت فولاد توجه به ۶ نکته لزومی می باشد:

• تلاش برای نگاه به آینده صنعت فولاد کشور بایستی تلاشی سیستماتیک باشد. آینده نگاری با سناریوهایی که روزانه و یا سالیانه برای برنامه ریزی صنعت فولاد ساخته می شود، متفاوت است.

• فعالیت آینده نگاری صنعت فولاد بایستی با نگاه بلند مدت و فراتر از افق های برنامه ریزی معمولی باشد. این افق زمانی می تواند ۱۰ تا ۳۰ ساله باشد. البته برنامه های بلند مدتی نیز برای صنعت تدوین شده است ولیکن همیشه این سؤال مطرح است که آیا برنامه های تدوین شده با شناخت دقیق آینده و بر اساس نگاه فاعلانه به این صنعت بوده و یا بر اساس پیش بینی ها بوده است.

• در فعالیت آینده نگاری صنعت فولاد بایستی توجه خاصی به تعادل میان "فشار علم/تکنولوژی" با "کشش تقاضا" شود. بدین معنی که بایستی نوآوری تنها محدود به فشار تکنولوژی باشد و به نقش نیازهای برآمده از عوامل اقتصادی-اجتماعی نیز بایستی پرداخته شود.

• تمرکز فعالیت آینده نگاری بایستی بر تکنولوژی های

1- Future Intelligence
2- Present-day



بر وجه اکتشافی در مورد آینده توجه دارد. هدف نهایی چنین فعالیتی دستیابی به یک پیش‌گویی دقیق از آینده است. این نوع از فعالیت‌ها توسط گروه کوچکی از خبرگان در حوزه‌های تکنولوژی و آینده‌شناسی^۱ انجام شده و نیازی به حضور بازیگران و گروه‌های ذینفع نیست.

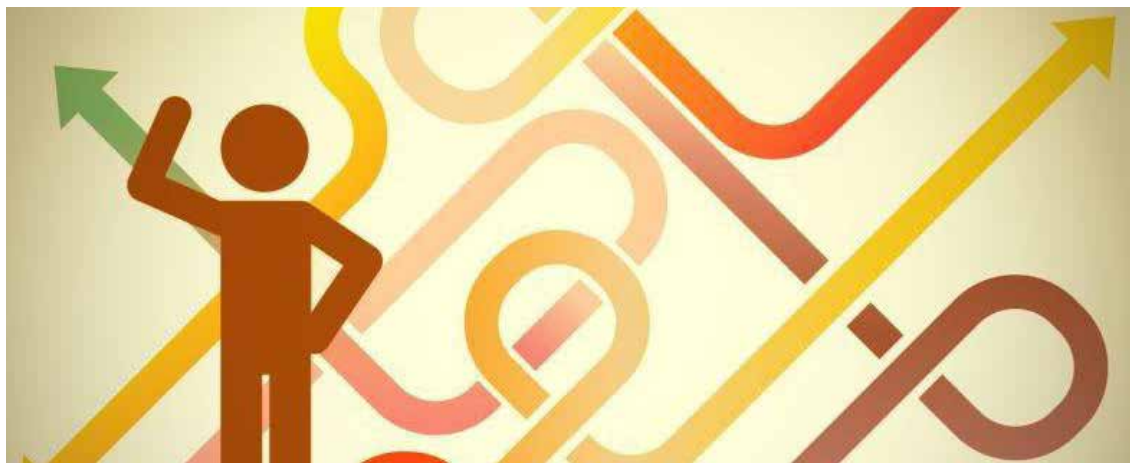
نسل دوم: در این نسل از فعالیت‌ها، توجه اصلی بر همکاری میان بخش پژوهشی و بخش صنعتی می‌باشد. در این برنامه‌ها گروه‌های مختلف خبرگان دانشگاهی و پژوهشی از یک‌سو و خبرگان فعال در صنعت و بازار از سوی دیگر درگیر می‌شوند. هدف اصلی این دسته از آینده‌نگاری‌ها، بهبود وضعیت رقابتی با تکیه و توجه بر همکاری این دو بخش است. در این زمینه فعالیت‌های زیادی در چند سال اخیر در کشور ما صورت گرفته است. حضور شرکت‌های واسطه میان بخش علمی و بخش صنعتی برای پاسخ‌گویی صنعت نمونه‌های از فعالیت‌های انجام شده در این بخش است. همچنین تشکیل دفاتر ارتباط با صنعت یا ارتباط با دانشگاه نیز نمونه‌های علی‌رقم بازدهی کم آن نمونه‌های این موارد است. در برنامه آینده‌نگاری صنعت فولاد بایستی توجه خاصی به ارتباط قوی‌تر و مؤثرتر با مراکز دانشگاهی شود. تعریف پروژه‌های دانشجویی بر مبنای نیاز صنعت اولین اقدام در این زمینه است. امید است که اعتماد صنعت به دانشگاه روز به روز افزایش یافته و همچنین سیاست دانشگاه تنها تدوین و چاپ مقالات بین‌المللی نباشد.

نسل سوم: در این نسل از آینده‌نگاری‌ها، دامنه فعالیت چه در نوع هدف‌گذاری‌ها برای آینده‌نگاری و اهداف مورد انتظار در آن و چه در میزان بازیگران و مشارکت‌کنندگان گسترده‌تر می‌شود. توجه به چالش‌های اقتصادی-اجتماعی باعث می‌شود که گروه‌های ذی‌نفع اجتماعی، دولتی، اقتصادی و پژوهشی درگیر شوند. به همین دلیل حضور صنایع وابسته نظیر صنعت اتومبیل و یا سازمان‌های وابسته نظیر سازمان

منابع اولیه و سیکل بازیافت قراضه‌ها از جمله مواردی است که بایستی به دقت تدوین و اجرا شود. مباحثات، تحلیل‌ها و پژوهش‌ها در مورد توسعه و نیازهای ذکر شده در بالا، از روش تعاملی و مشارکتی بهره می‌گیرد. به همین دلیل گستره متنوعی از بازیگران فعال در صنعت فولاد را درگیر می‌سازد. استفاده از رویکرد تعاملی منجر به ایجاد شبکه‌های گسترده می‌شود. تشکیل چنین شبکه‌های گسترده و فعالیت بین شبکه‌ای برای رسیدن به آینده ترسیم شده برای صنعت فولاد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. متأسفانه با وجود فعالیت حدود ۵۰ ساله صنعت فولاد در کشور، شبکه‌سازی کامل و منعطف برای این صنعت صورت نگرفته است. یکی از گام‌های اساسی در این زمینه تشکیل شبکه گسترده از بازیگران صنعت فولاد و تعیین نوع ارتباطات درون شبکه‌ای می‌باشد. نتیجه آینده‌نگاری بسیار فراتر از تهیه سناریو و آمادگی برای اجرای برنامه‌ها است. بسط و تکامل چشم‌اندازهای استراتژیک^۱ و ایجاد احساس تعهد مشترک برای رسیدن به آینده مطلوب در صنعت فولاد از حیاتی‌ترین مواردی است که بایستی به آن توجه شود. چشم‌انداز تعیین شده برای صنعت فولاد بایستی هم مطلوب بوده و هم رسیدن به آن امکان‌سنجی شده باشد. این چشم‌انداز، به تشخیص و تبیین صریحی در اقدامات و تصمیمات روزآمد جهت پیاده‌سازی آن چشم‌انداز می‌انجامد. یکی از سؤالاتی که می‌توان برای پاسخ به آن تا سال ۱۴۰۴ سال صبر کرد این است که آیا میزان تولید پیش‌بینی شده برای صنعت فولاد کشور بر اساس امکان‌سنجی و تهیه نقشه راه بوده است یا خیر.

۲-۴- نسل‌های آینده‌نگاری و رویکردهای کلی در آینده‌نگاری

نسل اول: نسل اول آینده‌نگاری همانند پیش‌بینی‌های تکنولوژیکی کلاسیک است که بیشتر



1- Strategic Visions
2- Futurology

رویکرد فاکتورهای اجتماعی به‌طور کامل مورد توجه قرار می‌گیرد و رابطه دو سویه بین تکنولوژی و اجتماع لحاظ می‌گردد. در این رویکرد، هم تأثیر نیازهای اجتماعی و اقتصادی بر تکنولوژی و هم تأثیر تکنولوژی در چالش‌های اجتماعی بررسی می‌شود.

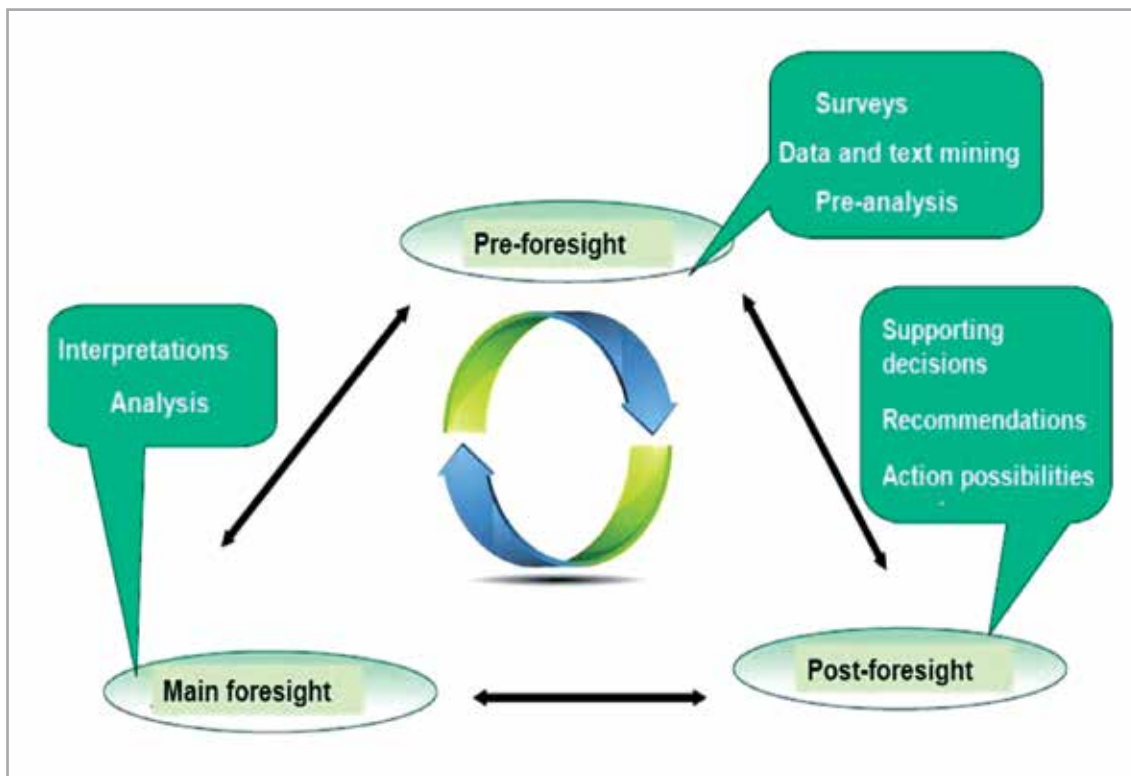
۵- مراحل آینده‌نگاری

برای اجرای فعالیت آینده‌نگاری بایستی سه مرحله اصلی را مد نظر قرار داد. در هر یک از مراحل، بخشی از فرایند صورت می‌پذیرد. در مرحله اول یا مرحله پیش آینده‌نگاری^۱، فعالیت‌های آماده‌سازی نظیر تعیین اهداف، توسعه مفاهیم آینده‌نگاری در میان شرکت‌کنندگان، تهیه منابع و مواد لازم صورت می‌گیرد. در مرحله دوم که مرحله اصلی آینده‌نگاری^۲ می‌باشد، یکی از روش‌های اصلی آینده‌نگاری پیاده‌سازی می‌شود. البته فعالیت‌های آینده‌نگاری امروزه به‌صورت ترکیبی از چند روش انجام شده و استفاده از یک روش منحصربه‌فرد توصیه نمی‌شود. در مورد روش‌های آینده‌نگاری در ادامه توضیح داده می‌شود. در مرحله آخر یا مرحله پس‌آینده‌نگاری^۳، فعالیت‌های مربوط به انتشار نتایج، اشاعه نتایج در بین سیاست‌گذاران و حتی پیاده‌سازی نتایج انجام می‌پذیرد. شماتیکی از مراحل سه‌گانه آینده‌نگاری در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

محیط‌زیست برای تدوین برنامه آینده‌نگاری صنعت فولاد الزامی است.

تقسیم‌بندی مذکور، بیشتر یک تقسیم‌بندی ایده‌آل و ذهنی است، اما در عالم واقعیت، برنامه‌های آینده‌نگاری ترکیبی از نسل‌های متفاوت است و ویژگی‌های نسل‌های مختلف، کم یا زیاد در برنامه‌ها مشاهده می‌شود. به همین دلیل در مطالعات آینده‌نگاری صنعت فولاد نیز نباید روی یک نسل خاص تمرکز کرد.

چهار رویکرد را می‌توان در برنامه‌های آینده‌نگاری صنعت فولاد مورد توجه قرار داد. در رویکرد اول می‌توان صرفاً به وضعیت تکنولوژی صنعت فولاد بدون توجه به نتایج و تأثیرات اجتماعی و اقتصادی آن پرداخت. افق زمانی این برنامه‌ها کوتاه مدت و بین ۳-۵ سال است. در رویکرد دوم بیشتر بر جنبه‌های فنی و تکنولوژی تأکید می‌شود. در این حالت، نیازهای اجتماعی و اقتصادی بر شکل بخشیدن و توسعه تکنولوژی اثرگذار هستند. بنابراین توجه به مسائل زیست‌محیطی در این رویکرد از اهمیت برخوردار است. افق زمانی مطالعه در این آینده‌نگاری معمولاً ۲۰ تا ۲۵ ساله است. رویکرد سوم منطبق با نسل دوم آینده‌نگاری بوده و حوزه‌های وسیع‌تری را مورد پژوهش قرار می‌دهد. در این رویکرد توجه ویژه‌ای بر فاکتورهای اقتصادی می‌شود و افق زمانی آن ۱۰ تا ۱۵ ساله است. رویکرد چهارم مطابق با نسل سوم آینده‌نگاری بوده و در این



شکل ۱۲. مراحل سه‌گانه مربوط به فرایند آینده‌نگاری.



۶- روش‌های آینده‌نگاری

فرایند گرا یا نتیجه گرا) می‌باشد. البته همان‌طور که گفته شد برای انجام پروژه آینده‌نگاری در صنعت فولاد کشور بایستی از ترکیب روش‌های گوناگون استفاده نمود. روش‌های انتخابی بایستی همدیگر را پشتیبانی نموده و از لحاظ روش‌شناختی^۲ نیز مناسب باشد. بنابراین بایستی به ایده مطرح شده توسط گروه خاصی که تنها راه‌حل‌های روش‌شناختی یکسانی را به طیف وسیعی از مشتریان ارائه می‌دهند، بسنده نمود. زیرا اغلب دست‌اندرکاران پروژه‌های آینده‌نگاری، تجربه زیادی روی یک روش خاص داشته و در مورد سایر رویکردها تجربه اندکی دارند. دسته‌بندی‌های مختلفی از روش‌های آینده‌نگاری ارائه شده است که برخی از آن‌ها در جدول ۱ اشاره می‌شود. روش‌های اکتشافی از زمان حال شروع شده و رو

روش‌های متنوعی برای آینده‌نگاری معرفی شده که هر کدام اهداف متفاوتی دارند. روش‌های رسمی^۱ آینده‌نگاری روش‌هایی کاملاً برجسته بوده و بیشتر به صورت ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از روش‌های رسمی منجر به سیستماتیک‌تر نمودن فرایندهای پروژه آینده‌نگاری می‌شود. با تشکیل میزگردهایی متشکل از افراد گوناگون^۳ به منظور تعامل و ارتباط بازیگران حوزه‌ها و سیستم‌های مختلف می‌توان با استفاده از روش‌های رسمی آینده‌نگاری به ترسیم آینده مطلوب یا ممکن کمک نمود. انتخاب روش مناسب آینده‌نگاری، وابسته به معیارهایی نظیر منابع به ویژه پول و زمان، وسعت و میزان مشارکت مطلوب متخصصان و ذینفعان و نوع خروجی مورد انتظار

جدول ۱: برخی از دسته‌بندی‌های موجود برای روش‌های آینده‌نگاری.

دسته‌بندی	توضیح مختصر
روش‌های اکتشافی ^۴ روش‌های هنجاری ^۵	در پی کشف آینده‌اند. در پی بررسی چگونگی تحقق یک موقعیت مطلوب در آینده‌اند.
روش‌های کمی ^۶ روش‌های کیفی ^۷	مبتنی بر اعداد و ارقام‌اند. مبتنی بر نظرها و قضاوت‌های کیفی هستند.
روش‌های مبتنی بر فرض (داده) ^۸ روش‌های مبتنی بر نظرات متخصصان ^۹	مبتنی بر داده‌ها و مفروضات و دانش احصاء شده‌اند. به دنبال استخراج دانش‌های متخصصان و خبرگان هستند.
روش‌های معطوف به شناسایی موضوع‌ها روش‌های معطوف به برون‌یابی روش‌های معطوف به خلاقیت روش‌های معطوف به اولویت‌بندی	در پی شناسایی موضوعات و حوزه‌های تحت پوشش آینده‌نگاری در پی برون‌یابی و تعمیم روندهای گذشته به آینده‌اند. به دنبال وارد نمودن خلاقیت در فرایند آینده‌نگاری هستند. در جهت تعیین اولویت‌ها به کار می‌آیند.



1- Formal methods

2- Hybrid Forums

3- Methodological Competence

4- Exploratory

5- Normative

6- Quantitative

7- Qualitative

8- Data (Assumption)-based

9- Expert-based

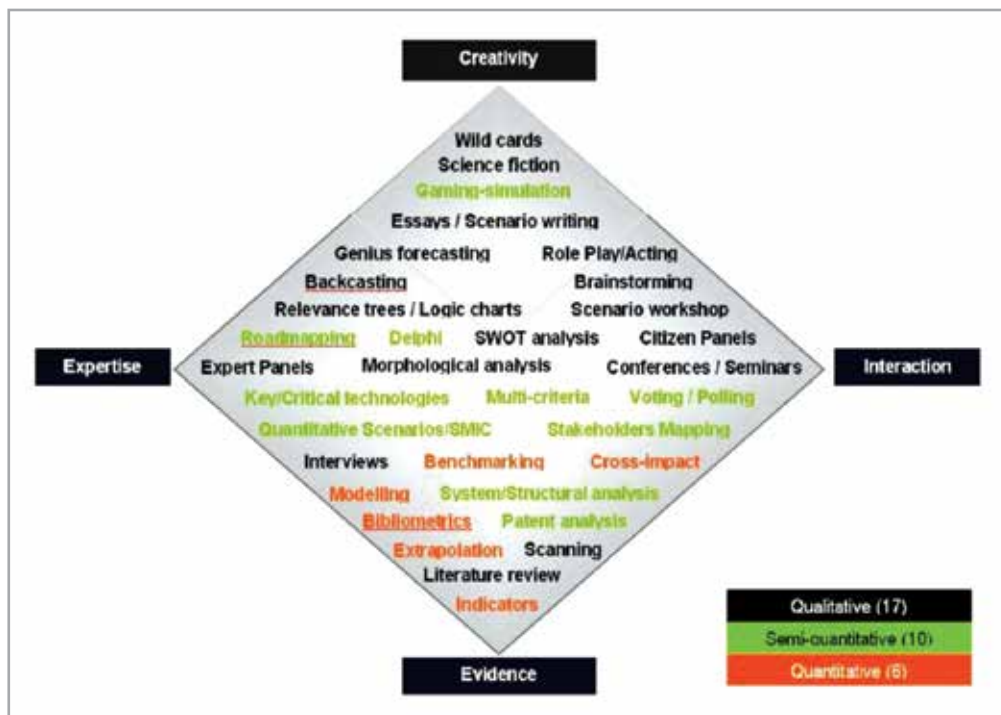
جدول ۲. طبقه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری.

دسته‌بندی	توضیح مختصر
رویکرد شناسایی موضوع‌ها	پویش محیطی ^۱ تحلیل SWOT ^۲ پیمایش موضوع‌ها ^۳
رویکرد برون‌یابانه	برون‌یابی روند مدل شبیه‌سازی ^۵ پیش‌بینی نوع آمیز دلفی ^۷
رویکرد خلاقانه	طوفان فکری ^۸ پانل‌های متخصصان ^۹ تحلیل اثرات متقابل سناریوها ^{۱۱}
رویکرد اولویت‌بندی	تکنولوژی‌های حیاتی (و کلیدی) ^{۱۲} ترسیم مسیر تکنولوژی ^{۱۳}

به سوی آینده دارند و به اصطلاح رو به بیرون‌اند و تلاش می‌کنند که تحت شرایط مختلف، کشف کنند که کدام آینده رخ می‌دهد. روش‌های هنجاری رو به درون هستند و از یک موقعیت مطلوب در زمان آینده شروع کرده و به زمان حال می‌رسند و چگونگی تحقق آن موقعیت مطلوب را بررسی می‌کنند. روش‌های کمی مبتنی بر آمار و ارقام بوده و پیشرفت‌ها و توسعه‌های آتی را در قالب کمی ارائه می‌دهند. روش‌های کیفی نیز مبتنی بر نظرات و قضاوت‌های کیفی هستند. روش‌های مبتنی بر داده روش‌هایی هستند که بر داده، مفروضات و دانش‌های موجود بدون مبتنی هستند و روش‌های مبتنی بر نظر متخصصان، آن‌هایی هستند که به دنبال استخراج و دستیابی به دانش نهان نزد متخصصان و خبرگان هستند. توضیحات مربوط به گروه چهارم در جدول به کافی واضح بوده و از توضیحات بیشتر صرف‌نظر می‌شود. روش‌های مربوط به ۴ روش ارائه شده در گروه چهارم در جدول ۲ بیان شده است.

عنوان الماس آینده‌نگاری گردآوری شده‌اند که در شکل ۱۳ نشان داده شده است. در این لوزی ۳۳ روش متداول به دسته‌های کمی، نیمه کمی و کیفی دسته‌بندی شده‌اند. همچنین لوزی در امتداد دو محور خلاقیت^{۱۸} در برابر روش‌های مبتنی بر شواهد^{۱۹} و تخصص^{۲۰} در مقابل روش‌های مبتنی بر تعامل^{۲۱} دسته‌بندی شده است.

برخی دیگر از روش‌های آینده‌نگاری نیز وجود داشته که در دسته‌بندی بالا جا نمی‌گیرند ولی در پروژه‌های آینده‌نگاری به کار می‌روند. این روش‌ها عبارتند از درخت ارتباطات^{۱۴}، تحلیل ریخت شناسانه^{۱۵}، نگاشت ذهن^{۱۶}، کارگاه و داستان‌های علمی-تخیلی^{۱۷}. در برخی از منابع انواع روش‌های آینده‌نگاری در یک لوزی و تحت



شکل ۱۳. الماس آینده‌نگاری: روش‌های مورد استفاده در پروژه‌های آینده‌نگاری و طبقه‌بندی آن‌ها بر اساس کمی و کیفی.

- | | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1- Environmental Scanning | 7- Delphi | 13- Technology Road mapping | 19- Evidence |
| 2- Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats analysis | 8- Brainstorming | 14- Relevance Tree | 20- Expertise |
| 3- Issue Survey | 9- Expert Panels | 15- Morphological Analysis | 21- Interaction |
| 4- Trend Extrapolation | 10- Cross- Impact Analysis | 16- Workshop | |
| 5- Simulation Modelling | 11- Scenarios | 17- Science Fictions | |
| 6- Genius Forecasting | 12- Critical (and key) Technologies | 18- Creativity | |



در صنعت فولاد فراهم شود.

* تشویق به تفکر استراتژیک بلند مدت و ایجاد فرهنگ تفکر در مورد آینده در گستره‌ای وسیع از بازیگران صنعت فولاد مبتنی بر ارزیابی ضعفها، قوتها، فرصتها و تهدیدها و ایجاد هوش آینده‌نگر^۱ که منجر به ایجاد یک هوشمندی استراتژیک برای پاسخ‌های انعطاف‌پذیر به تغییرات در این صنعت می‌شود. به همین دلیل نیاز است که به عنوان یک گام اساسی، جهت آشنایی تمامی بازیگران صنعت فولاد با آینده‌نگاری و همچنین ایجاد هوش آینده‌نگر در آنها فعالیت مدون و مستمری صورت گیرد.

* تشویق و توسعه بهتر نظام نوآوری از طریق بهبود همکاری‌ها، تقویت روابط و توسعه شبکه‌های تجاری، علمی و سازمان‌های دولتی که از طریق 5C^۲ (ارتباطات، تمرکز بر بلند مدت، هماهنگی، اجماع و تعهد) محقق می‌شود.

* ساخت چشم‌انداز، شناسایی اولویت‌ها و شناسایی تکنولوژی‌های نوظهور با رویکرد تکنولوژیک-اقتصادی/اجتماعی-اقتصادی

* شبکه‌سازی گسترده، منعطف و کامل برای صنعت مادر فولاد

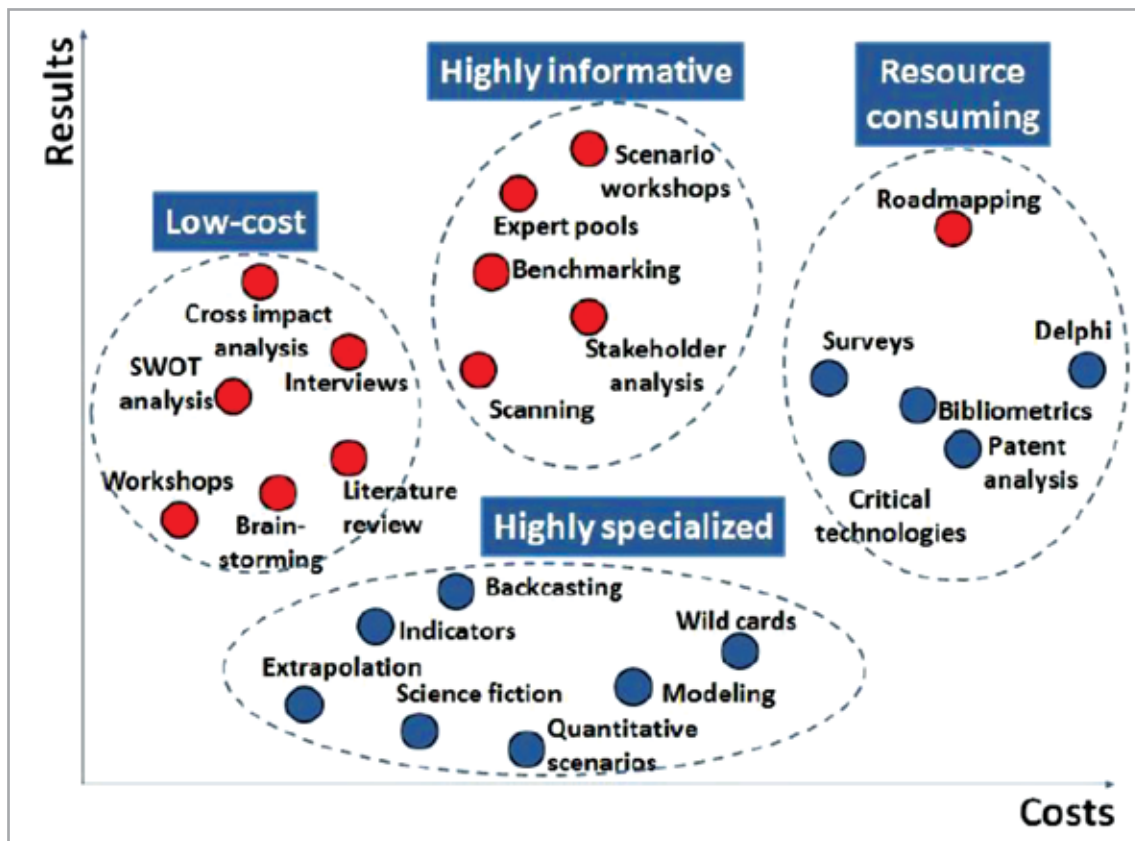
* فراهم نمودن یک پیش‌آگاهی نسبت به مشکلات بالقوه و با مشکلاتی که معمولاً قابل برآورد نیستند

همچنین در یک تقسیم‌بندی دیگر روش‌های آینده‌نگاری بر اساس نتایج بدست آمده و هزینه‌های مربوط به آن تقسیم‌بندی شده است که در شکل ۱۴ نمایش داده شده‌اند. این تقسیم‌بندی در ۴ دسته کم‌هزینه، حاوی اطلاعات بسیار ارزنده، بسیار تخصصی و منابع مصرفی صورت گرفته است.

۷- اهداف آینده‌نگاری

همان‌طور که در بخش‌های قبلی بیان شد، از آینده‌نگاری به عنوان ابزاری جهت مشارکت، شبکه‌سازی، تهیه چشم‌انداز و سیاست‌گذاری‌ها استفاده می‌شود. در هر برنامه آینده‌نگاری سعی می‌شود تا با ترکیب اهداف مطلوب و محدودیت‌های موجود، اهداف و روش‌های مناسبی به دست آیند که بتوانند بهترین نقطه بینابینی را به وجود آورند. با مطالعه منابع مختلف می‌توان اهداف زیر را برای آینده‌نگاری در صنعت فولاد بیان نمود:

* اطلاع‌رسانی در خصوص برنامه‌ریزی‌ها و تدوین سیاست‌های ملی علم، تکنولوژی و نوآوری در صنعت فولاد که منجر به توصیه‌ها و راهنمایی‌های عملی مورد استفاده در اولویت‌گذاری می‌شود. پیشرفت صنعت فولاد در کشور بایستی مطابق با پیشرفت‌های روز دنیا بوده و امکان بهره‌گیری از تکنولوژی‌های نوین



شکل ۱۴. طبقه‌بندی روش‌های آینده‌نگاری بر اساس میزان هزینه و بازدهی نتایج آن.

1- Anticipatory Intelligence

2- Communication, Concentration on the Longer-Term, Co-ordination, Consensus, Commitment



جدول ۳. تقسیم‌بندی اهداف فعالیت‌های آینده‌نگاری.

اهداف خاص	اهداف عام
اولویت‌گذاری	شبکه‌سازی و تقویت ارتباطات
شناسایی تکنولوژی‌های کلیدی	ایجاد تفکر رو به جلو
شناسایی تکنولوژی‌های عام نوظهور	آموزش
تعیین جایگاه ملی؛ شناسایی ضعف‌ها و قوت‌ها	اطلاع‌رسانی به بنگاه‌های اقتصادی
شناسایی تهدیدها و فرصت‌ها	ایجاد اجماع
شناسایی پتانسیل‌ها	ساخت چشم‌انداز
پیش‌بینی ظهور و وقوع تکنولوژی‌ها	اطلاع‌رسانی به تصمیم‌گیران
شناسایی نیازهای اقتصادی-اجتماعی	ایجاد همکاری میان بخش‌های پژوهش و صنعت
پروژه‌های خاص	

نیاز دارد. ممکن است پس از گذشتن مدت زمانی از انجام پروژه آینده‌نگاری، گزارش‌های منتج از پروژه، قدیمی شده و اهمیتشان را جهت تصمیم‌گیری‌های بعدی از دست بدهند. همچنین پیوندها و ارتباطات شخصی که درون شبکه‌ها و بین افراد مختلف ایجاد شده، به دلیل رفتن افراد به مکان‌ها و سازمان‌های دیگر کمرنگ شوند. علاوه بر این احتمال بروز موضوعات دیگری وجود داشته که بهره‌گیری بلند مدت تر و انجام پروژه‌های آینده‌نگاری جدید را ضروری می‌سازد. با توجه به مطالب بیان شده، واضح است پروژه‌های آینده‌نگاری بایستی به‌صورت مستمر راه‌اندازی شود و ارزش آن‌ها محدود به یک دامنه زمانی خاص نبوده و به‌صورت یک فرایند باز در طی زمان ادامه داشته باشد. یک پروژه‌ی آینده‌نگاری به‌ندرت می‌تواند برای مدت زمانی طولانی برقرار باشد، اما اگر یک برنامه

* فراهم آوردن یک پیش‌هشدار به فرصت‌های جدید بالقوه
 * اکتشاف غیرمحمتمل‌هایی که در صورت تحقق، مشکلات جدی و معناداری را برای توسعه ایجاد می‌کنند. (شگفتی سازها)^۱
 در مجموع می‌توان اهداف یک فعالیت آینده‌نگاری را به دو دسته اهداف عام و اهداف خاص تقسیم‌بندی نمود. این اهداف به‌صورت دسته‌بندی در جدول ۳ ارائه شده است.

۸- تبدیل آینده‌نگاری به یک فعالیت مستمر

یک پروژه آینده‌نگاری، اطلاعاتی را برای تصمیم‌گیری در یک دوره زمانی فراهم می‌کند. راه‌اندازی یک چنین پروژه‌ای نه تنها نیازمند سیاست‌های خاص می‌باشد، بلکه یک سری اقدامات و فعالیت‌های پسینی^۲ را نیز



1- Wild Cards
 2- Subsequent Activities



در این تحقیق، به‌طور خلاصه به معرفی فعالیت آینده‌نگاری و اهمیت آن در صنعت فولاد کشور پرداخته شد. یکی از اهداف عمده برای آینده‌نگاری، ایجاد هوش آینده‌نگر برای افراد می‌باشد. تحقیقات زیادی جهت جایگزینی مواد نو به جای فولاد در حال انجام می‌باشد. به همین دلیل و جهت حضور مستمر در صنعت جهانی بایستی بر اساس برنامه‌های دقیق پیش رفت. امروزه صنایع پیشرفته فولادی دنیا در مسیری هوشمندانه قدم بر می‌دارند و هدف آن‌ها حضور در خط مقدم صنعت جهان می‌باشد. صنعت فولاد ایران نیز جهت ادامه روند رو به رشد خود نیاز به تدوین برنامه جامع آینده‌نگاری دارد. امید است مطالعه این مقاله تلنگری برای فعالان صنعت فولاد کشور جهت ورود هوشیارانه به مباحث آینده‌نگاری در این صنعت باشد.

دوره‌ای برای آینده‌نگاری وجود داشته باشد که هدف آن پوشش دادن بخش‌ها و مسائل در زمان‌های متفاوت باشید، نیز مناسب است. چنین پروژه‌ای می‌تواند هر سه تا پنج سال و یا حتی با تناوب کمتر انجام پذیرد.

نتیجه‌گیری:

فعالیت آینده‌نگاری با نگاه فاعلانه به آینده به جای نگاه مفعولانه و به عنوان علم و هنر کشف آینده و شکل بخشیدن به آینده مطلوب به دنبال تغییر در آینده و بر پایی هوشمندانه و تا حدی دلخواه برای آینده می‌باشد. آینده‌نگاری فرایندی مبتنی بر گفتمان اجتماعی معطوف به آینده با گروه‌های کثیری از خبرگان و ذینفعان بوده که به دنبال خلق چشم‌اندازهای همه‌جانبه می‌باشد. نتایج آینده‌نگاری می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی استراتژیک قرار بگیرد.

منابع:

- [1] B. De Finetti, Foresight: Its logical laws, its subjective sources, Studies in subjective probability, 1964 (1964) 94-158.
- [2] L. Fahey, R.M. Randall, Learning from the future: competitive foresight scenarios, John Wiley & Sons, 1998.
- [3] B. Butland, S. Jebb, P. Kopelman, K. McPherson, S. Thomas, J. Mardell, V. Parry, Foresight. Tackling obesities: future choices. Project report, Foresight. Tackling obesities: future choices. Project report., (2007).
- [4] R. Popper, Foresight methodology, The handbook of technology foresight, (2008) 44-88.
- [5] D. Mietzner, G. Reger, Advantages and disadvantages of scenario approaches for strategic foresight, International Journal Technology Intelligence and Planning, 1 (2005) 220-239.
- [6] A. Hines, P.J. Bishop, Thinking about the future: Guidelines for strategic foresight, Social Technologies Washington, DC, 2006.
- [7] J. Coates, P. Durance, M. Godet, Strategic foresight issue: introduction, Technological Forecasting and Social Change, 77 (2010) 1423-1425.
- [8] R.A. Slaughter, Developing and applying strategic foresight, ABN Report, 5 (1997) 13-27.
- [9] B.R. Martin, Foresight in science and technology, Technology analysis & strategic management, 7 (1995) 139-168.
- [10] C.N. Cook, S. Inayatullah, M.A. Burgman, W.J. Sutherland, B.A. Wintle, Strategic foresight: how planning for the unpredictable can improve environmental decision-making, Trends in ecology & evolution, 29 (2014) 531-541.
- [11] M. Amer, T.U. Daim, A. Jetter, A review of scenario planning, Futures, 46 (2013) 23-40.

[12] آینده‌نگاری از مفهوم تا اجرا، امیر ناظمی اشنی، روح اله قدیری، نشر فراندیش

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دو ماهنامه آهن و فولاد

اهداف فصلنامه:

- ✓ انتقال تجارب علمی و کمک به نشر دانش
- ✓ فراهم کردن زمینه های ارتباط علمی بین صنایع و دانشگاهها
- ✓ انتشارات مفاهیم تجربه شده در میدان عمل
- ✓ معرفی فعالیت های علمی و اجرایی فولاد مبارکه
- ✓ انتشار اخبار مهم فولاد در جهان، ایران و اخبار داخلی شرکت فولاد مبارکه اصفهان

شرایط پذیرش مقالات:

- مقاله باید در یکی از موضوعات زیر باشد:
- ✓ محصولات فولادی
- ✓ تکنولوژی تولید فولاد
- ✓ فنی و مهندسی
- ✓ مدیریت
- ✓ ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- ✓ کاهش هزینه
- دارای جنبه های علمی و پژوهشی قوی باشد.
- حاوی ایده های جدید، نکات کاربردی، عملی، جدید و نو باشد.
- اصول و قواعد نگارش مورد نظر این مجله رعایت گردد.
- مسئولیت صحت مطالب مندرج در مقاله به عهده نویسنده یا نویسندگان می باشد.

شرایط تدوین مقالات:

- مقاله در محیط نرم افزاری WORD و دارای حاشیه از بالا و پا بین ۳ سانتیمتر و چپ و راست ۲.۵ سانتیمتر و فاصله خطوط ۰.۸ سانتیمتر به زبان فارسی تایپ و از طریق سامانه <http://ironandsteel.msc.ir> بارگذاری گردد.
- مقاله دارای چکیده حداکثر ۱۵۰ کلمه و حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه باشد و واژگان کلیدی حداقل ۴ و حداکثر ۸ کلمه.
- مقاله های ارسالی باید دارای بخش های زیر باشد:
 - عنوان کامل مقاله، نام نویسنده یا نویسندگان، رشته علمی و مسئولیت نویسنده یا نویسندگان، نام مؤسسه یا دانشگاه، محل کار، نشانی کامل (آدرس، تلفن، پست الکترونیک و)...
 - بیان مسأله، اهمیت مسأله، اهداف پژوهش، ادبیات موضوع، چهارچوب نظری، فرضیه های پژوهش، روش تحقیق، فنون تجزیه و تحلیل، نتیجه گیری و ذکر منابع (مقالات پژوهشی)
 - برای مقاله های مروری چکیده، مقدمه، متن مقاله، ارائه چارچوب ادراکی، جمع بندی و ذکر منابع لازم است.
- ارجاعات در متن و پایان مقاله به روش های زیر باشد:

فرم اشتراک

نام: نام خانوادگی: نام پدر: تاریخ تولد:

قسمت یا واحد فعالیت: تحصیلات: شغل:

نشانی: تلفن تماس:

کد پستی:

- الف - مرجع نویسی داخل متن باید در داخل پرانتز و به صورت نام خانوادگی نویسنده، تاریخ انتشار و شماره صفحه باشد.
- ب - مرجع نویسی پایان مقاله بایستی براساس نمونه های زیر به ترتیب الفبایی نام خانوادگی نویسنده مرتب شود.
- ج - در مورد مقالات، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، شماره صفحه
- د - در مورد کتاب، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان کتاب، محل انتشار، ناشر
- عنوان، توضیحات و شماره جداول، الگوها و اشکال، در بالای آن ذکر شود.
- مجله در ویرایش مقاله ها، بدون تغییر در اصل و محتوا آزاد است.
- مقاله های رسیده برگشت داده نمی شود.
- به پیوست یک قطعه عکس با dpi ۳۰۰ از نویسنده یا نویسندگان به همراه ایمیل و شماره تلفن همراه دریافت می شود.

دستورالعمل داوری مقالات مجله آهن و فولاد

اهداف:

- داوری علمی مقالات واصل شده
- حرکت در جهت علمی تر شدن محتوای فصلنامه
- استفاده از نظرات صاحب نظران در غنی کردن فصلنامه

مراحل:

- مقالات واصله که در راستای موضوعات فصلنامه می باشند استخراج و مقوله بندی می شوند.
- مقالات بر حسب تخصص علمی برای دو نفر از اعضاء داوران علمی جهت داوری ارسال می گردد.
- حداکثر دو هفته به داوران فرصت داده می شود که نظرات و نتیجه داوری خود را مطابق فرم پیوست ارائه نمایند.
- در صورتی که دو نفر داور در مورد قابل چاپ بودن مقالات در مجله نظر مثبت داشته باشند، مقالات به صورت مقدماتی پذیرش می شوند.
- مقالاتی که معدل نمرات دو نفر داور بر اساس فرم داوری بین ۳۹ - ۵۰ باشد به صورت چاپ برای فصلنامه انتخاب می گردند (در صورت زیاد بودن مقالات، مقالات دارای رتبه بالاتر در الویت چاپ هستند)
- جهت اشتراک دو ماهنامه آهن و فولاد فرم زیر را به نشانی پستی زیر ارسال فرمائید:
- استان اصفهان، شهر مبارکه، صندوق پستی ۱۶۱-۸۴۸۱۵ واحد اطلاعات و انتشارات روابط عمومی - دو ماهنامه آهن و فولاد.



صنعت فولاد
پیشران اقتصاد غیر نفتی

www.msc.ir