

به نام خدا



مرکز دانلود رایگان  
مهندسی متالورژی و مواد

[www.Iran-mavad.com](http://www.Iran-mavad.com)



ۛ

# فرآیند تولید فولاد

## *Steel Making Process*

### اهداف آموزشی:

- ۱- روشهای تولید فولاد تشریح شود
- ۲- ویژگیهای فولاد های با استحکام زیاد و کم آلیاژ توضیح داده شود

### ۳- طبقه بندی فولاد از نظر کربن تشریح شود

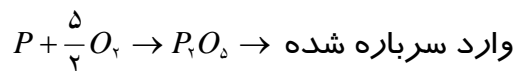
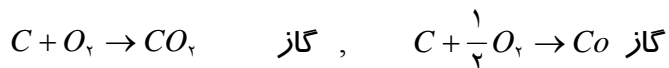
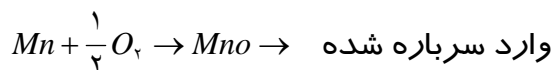
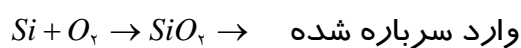
#### ۲-۱: تولید فولاد در کوره‌ها:

ساخت و تولید فولاد در کوره‌های قوس الکتریکی و کوره‌ها از نوع دمش اکسیژن از بالا بنام BOS (Basic Oxygen Process) یا روش L.D و یا از نوع القائی (Induction Furnace) انجام

پذیر است. جهت بهبود بخشیدن به کیفیت فولادها معمولاً این نوع فولادها در کوره‌های مخصوص بنام VOD (Vacuum Oxygen Degassing) انجام شده که در این نوع فولادهای تولیدی ناخالصی وجود ندارد. در زیر هر کدام از این فرایندها بطور اختصار شرح داده میشود.

## ۲-۱-۱: فرایند تولید فولاد در کوره L.D

در این روش ئیدروژن و اکسیژن و نیتروژن موجود در فولاد حداقل مقدار خود میرسد. معمولاً فولادهای تولیدی از نوع فولادهای ساختمان (Steel Structures) و فولادهای ابزار در این نوع کوره تولید میشود. یعنی مواد شارژی این کوره از نوع چدن مذاب کوره بلند و قراضه و آهک میباشد. در اثر دمش اکسیژن از بالا یا دهانه کوره امری لازم جهت ذوب بوسیله اکسیداسیون عناصری مانند کربن و منگنز و سیلیسیم و فسفر و گوگرد انجام میشود ذوبی که بدین وسیله تولید میشود، فولادی است که درصد مقدار موادی مانند سیلیسیم به مقدار حدود ۰,۰۷ درصد و منگنز به نصف مقدار خود رسیده و کربن نیز در اثر ترکیب با اکسیژن بصورت گاز  $CO_2$  و  $CO$  یعنی ۹۰ درصد گاز  $CO_2$  و ۱۰ درصد بصورت گاز  $CO$  درآمده و فعل و انفعالات در اثر دمش اکسیژن و سوخت عناصر بصورت زیر در می‌آید که گاز  $CO_2$  همراه با گاز  $SO_2$  از دهانه بطرف بالا حرکت نموده و بوسیله دودکش خارج شده و گاز  $CO$  چون ارزش حرارتی زیادی دارد جهت گرم کردن دیگ‌های بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد. فعل و انفعالات داخل کوره بصورت مقابل انجام میشود:



تمام این فعل و انفعالات حرارت زا یا اگزوترمیک میباشد که باعث افزایش درجه حرارت مذاب کوره ذوب خواهند شد. در این حالت قراضه شارژ شده باعث پائین آمدن درجه حرارت مذاب کوره L.D خواهد بود. در این حالت چون  $P_2O_5$  و  $SiO_2$  و گوگرد یعنی S بنیانهای اسیدی میباشند و باعث خوردگی آسترکنورتر (Convertor) خواهند شد. برای خنثی نمودن خاصیت اسیدی آنها از آهک استفاده نموده و آهک بداخل کنورتر اضافه میشود. برای جلوگیری از

خوردگی نسوزهای کوره استغاه می‌نمایند. گاز  $CO_2$  و  $SO_2$  به طرف بالای کوره حرکت نموده و هوای بالای کوره را پس زده و از ورود هوا بداخل کوره ممانعت می‌نماید. در این حالت نمونه‌های اکسپرس یا سریع از نظر دریافت درصد مقدار کربن موجود در کوره و درصد مقدار فسفر و سیلیسیم به آزمایشگاه ارسال می‌نمایند پس از دریافت جواب صحیح از وضعیت مذاب داخل کوره با کج نمودن کوره L.D مذاب به داخل پاتیل (Ladle) کشیده شده و در این زمان شروع به افزایش مواد اکسیژن زدا بنام فرومگنز و فروسیلیس و آلومینیم نموده سطح درصد مقدار اکسیژن داخل پاتیل مذاب را بحداقل مقدار اکسیژن موجود میرسانند این نوع فولاد را فولاد آرام یا Al Killed Carbon Steel نامیده که فولاد آن پس از انجماد دارای کریستال یا دانه‌های ریز میباشد می‌نامند. چنانچه در این حالت از Al (آلومینیم) استفاده نکنند فولاد بدست آمده بنام فولاد آرام از نوع Si-Killed Carbon steel خواهد بود. فولاد ریز دانه از نوع فولاد آرام شده بوسیله آلومینیم در زیر صفر درجه سانتی‌گراد مورد استفاده خواهد بود و فولاد آرام شده بوسیله سیلیسیم پس از ساخت و تولید در ریخته‌گری مداوم جهت استفاده این فولادها در درجه حرارت محیط و درجه حرارت بالا یعنی تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. مذاب‌های تهیه شده بوسیله همان پاتیل از آن قسمت به ریخته‌گری مداوم (Continuous Casting) انتقال داده و از طریق پاتیل میانی (Tundish) در داخل قالب‌ها بنام کریستالیزاتور ریخته شده و فولاد ریخته شده در اثر انجماد تبدیل به فولاد چهارگوش با مقطع‌های  $250 \times 360$  و  $200 \times 200$  میلی‌متر که در حقیقت چهارگوش بنام Bloom بوده جهت تبدیل به لوله‌های بدون درز و یا سایر مقاطع در نورد Rolling Mill خواهد شد. اگر مقطع فولادهای تولیدی عرضش نسبت به ضخامت بیشتر باشد. این تولید بنام تختال یا اسلب (Slab) خواهد بود. تختال یا اسلب جهت تولید ورق (Sheet) و یا پلیت (Plate) جهت ساخت مخازن ذخیره یا مخازن تحت فشار خواهد بود. یا چهارگوش در اثر عملیات آهنگری (Forging) تبدیل به اتصالات و یا فلنج خواهد شد که شرح آنها در فصل آینده خواهد آمد. لازم به توضیح است که فولاد آرام فولادی است درصد مقدار سیلیسیم آن از ۰٫۳۵-۰٫۱۵ میباشد. عموماً محصولات تولیدی فولادها از نوع فولادهای آرام میباشد.

## ۲-۱-۲: کوره الکتریکی Electric Arc Furnace

مواد شارژی این کوره جهت تولید فولاد (Steel Production) بیشتر قراضه آهن (Scrap Steel) و یا مخلوطی از قراضه (Scrap) و آهن اسفنجی میباشد. آهن اسفنجی آهنی

است که در کوره‌های احیاء مستقیم بوسیله استفاده از گاز طبیعی (Direct Reduction Iron) تولید شده و درصد مقدار آهن در آهن اسفنجی (Spongy Iron) برابر ۸۶ درصد و ۱۴ درصد آن  $\text{CaO} + \text{اکسید آهن (Feo)}$  یعنی در حقیقت با استفاده از گاز طبیعی مستقیماً سنگ آهن را تبدیل به آهن اسفنجی می‌نمایند. روش تولید فولاد در سیستم کوره‌های (Basic Oxygen Furnace) L.D که بنام روش BOS نیز است و تولید فولادهای مورد استفاده در صورت دستورالعمل‌های تولیدی از روی استاندارد ASTM و یا استاندارد BS یا DIN میباشد. در اکثر موارد ذوب در کوره‌های قوس الکتریکی فقط مختص ذوب قراضه آهن بوده و در حقیقت مواد شارژی قراضه آهن میباشد. چون مواد ذوب شده در کوره قوس الکتریکی از جنس آهن قراضه بوده و قراضه شامل مواد آلی و رنگ و زنگ و لاستیک و غیره است مذاب حاصله ناخالصی زیادی را داشته بنابراین پس از ذوب جهت از بین بردن این مواد دوبار سرباره گیری بوسیله استفاده از کک و آهک (Cao) انجام میشود. بدانجهت مذاب حاصله گوگرد کمتری را دارا میباشد. انرژی در این نوع فرآیند انرژی الکتریکی است و جهت ایجاد قوس الکتریکی سه نوع الکترود گرافیتی جهت برقراری قوس استفاده میشود. سقف و قسمت بالای کوره الکتریکی بوسیله چرخش آب خنک میشود. در قسمت ذوب جنس آجرهای نسوز از نوع نسوز دولومیتی (Cao. Mgo) می باشد. مذاب فلزی نیز بوسیله آزمایش سریع یا اکسپرس مورد آنالیز قرار گرفته و پس از اطمینان از مقدار کربن مورد لزوم و تعیین سیلیسیم مذاب به کوره دوم جهت عملیات بعدی یعنی افزایش موادی مانند فرومنگنز و فروسیلیس بداخل کوره بنام (Ladle Furnace) انتقال داده میشود. قبل از انتقال اکسیژن نیز جهت تمیزکاری ذوب بداخل مذاب دمیده میشود سپس مذاب بعمل آورده شده بداخل پاتیل میانی ریخته شده و از طریق پاتیل میانی تبدیل به شمش‌هایی بنام اینگات (Ingot) شده و اینگات از داخل قالب‌ها درآمده و در انبار جمع میشود. پس از آن دوباره شمش‌ها طبق استاندارد ۰۱,۰۱ ASTM در داخل کوره‌های عملیات حرارتی تا ۱۲۵۰ درجه سانتی‌گراد گرم شده و شمش‌ها (اینگات = Ingot) بوسیله روش‌های آهنگری تبدیل به فلنج یا فتینگ طبق استاندارد ۰۱,۰۱ ASTM میشود. شمش‌های چهارگوش نیز جهت تولید تیر آهن و سایر مقاطع ساختمانی و یا لوله‌ها طبق دستورالعمل‌های استانداردهای ASTM تولید خواهد شد. جهت کنترل کیفیت تولیدی محصولات از این نوع نمونه‌های کشش و خمش به آزمایشگاه‌های متالورژیکی ارسال میشود. در آزمایشگاهها آزمایشات مکانیکی نظیر کشش و خمش و در صورت نیاز نمونه‌های سختی و ضربه

و نمونه‌های متالوگرافی تهیه شده و مطابق استاندارد ASTM ، A۳۷۰ قسمت مکانیکی و آنالیز شیمیائی مطابق همین استاندارد در قسمت کوانتومتری انجام خواهد شد. نتایج حاصله در فرم‌هایی به نورد که تولید کننده محصولات فلزی است ارسال شده و در صورت داشتن کیفیت خوب جهت آنها پاسپورت تهیه خواهد شد.

## ۲-۱-۳: فولادهای با استحکام زیاد و کم آلیاژ (High strength low Alloy)

این فولادها با علامت اختصاری HSLA نشان داده میشوند. در حالتی که فولاد بداخل (Ladle Furnace) L.F کشیده میشود موادی مانند فرومنگنز و آلومی نیوم و فرو کرم و فرو مولیبدن طوری اضافه می‌نمایند که درصد کرم آنها  $Cr=1\%$  و  $Mo=0.5$  باشد که درصد کرم و مولیبدن آنها پس از ریخته‌گری بوسیله آنالیز تعیین میشود. این فولاد بعنوان فولاد با استحکام بالا و کم آلیاژ خواهد بود. یک نوع آن فولادی که بداخل پاتیل ذوب (L,F) موادی مانند مس و فرو کرم و نیکل و مولیبدن طوری اضافه می‌نمایند که درصد کرم  $0.7$  درصد و درصد نیکل  $0.79$  و درصد مس در شمش  $Cu=0.5$  درصد باشد. این نوع فولاد تولیدی در مقابل خوردگی جوی مقاوم بوده و استحکام آن افزایش خواهد یافت. در صورتیکه به مذاب فولادی موادی مانند فروتیتانیوم و فرو وانادیوم طوری اضافه شوند که پس از اکسیژن زدائی و فسفر زدائی و گوگرد زدائی درصد مقدار آنها یعنی  $Ti=0.04\%$  و  $V=0.04\%$  پس از ریخته‌گری باشد این فولادها نیز جزو فولادهای کم آلیاژ و پر استحکام خواهد بود. این فولادها بهترین نوع فولاد کم آلیاژ است که در مقابل خوردگی جوی نیز بسیار مقاوم میباشند.

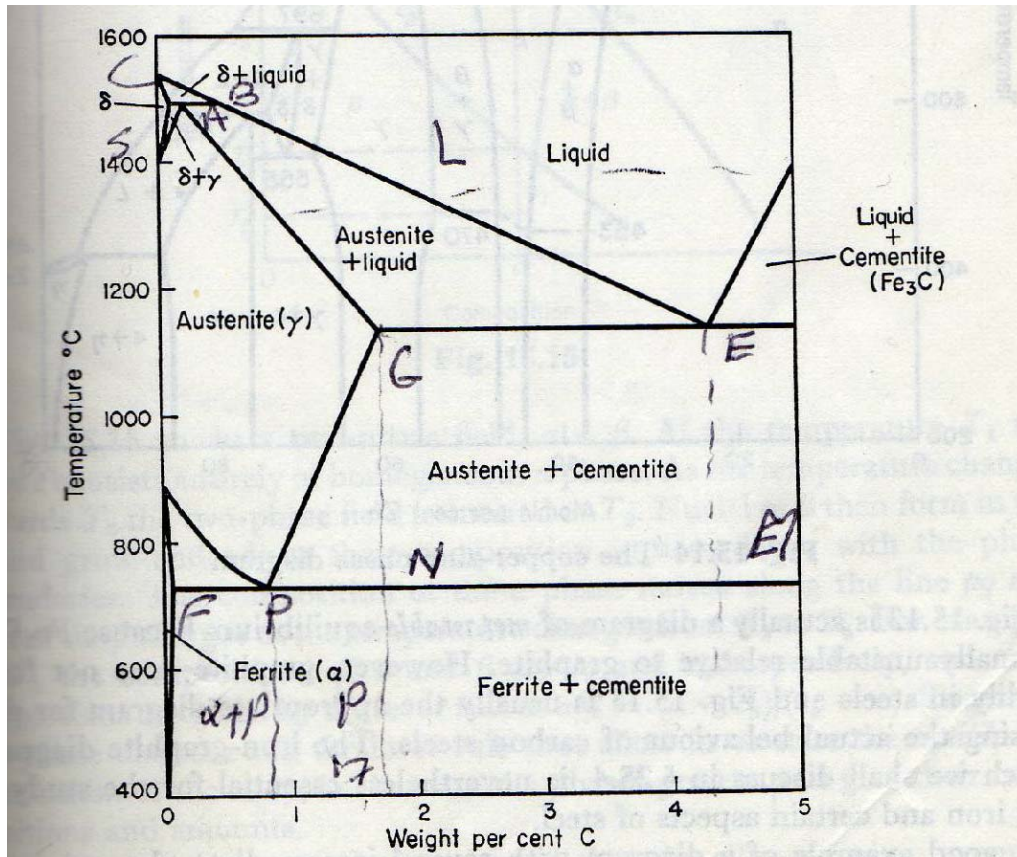
لازم به یادآوری است که فرو وانادیوم و فرو تیتانیوم پس از افزایش فرومنگنز و آلومی نیوم خواهد بود. یعنی به فولادهائیکه درصد سیلیسیم آن  $0.07$  تا  $0.1$  درصد باشد یعنی در حقیقت فولاد از نوع فولاد نیمه آرام (Semi Killed Carbon Steel) است اضافه میشوند. در این حالت استحکام فولاد زیاد بوده زیرا اکسیژن باقی مانده در فولاد نیمه آرام بوسیله فروتیتانیوم و فرو وانادیوم از بین خواهد رفت یعنی در حقیقت بوسیله مواد تبدیل به اکسیدهای فلزی شده و اکسیژن بدین ترتیب زایل خواهد شد. این نوع فولادها پس از تولید مطابق استانداردهای (American Iron & Steel Institute) AISI و انجمن مهندسی اتومبیل آمریکا (Society Automotive Engineering) کلاسه‌بندی خواهند شد. چنانچه فولاد تولیدی مطابق استانداردهای انگلیسی و آلمانی کلاسه‌بندی شوند طبق همان استانداردها شماره گذاری خواهند شد. تمام فولادها پس از ریخته‌گری مداوم گریدبندی یا کلاسه‌بندی میشوند معمولاً کلاسه‌بندی

فولادها طبق خواص مکانیکی انجام خواهد گرفت مانند فولاد St۳۷ یا St۵۲ که این فولادها طبق استاندارد دین آلمان و یا مطابق استانداردهای اروپائی طبقه‌بندی میشوند که در حقیقت استحکام نهائی فولاد برابر ۳۷ کیلوگرم نیرو بر میلی‌متر مربع و یا ۵۲ کیلوگرم نیرو بر میلی‌متر مربع ( $\text{kgf/mm}^2$ ) خواهد بود. و در استاندارد ASTM جهت لوله‌ها کلاسه بندی آنها مطابق ASTM ۰۱-۰۱ مشخصات کامل لوله‌های تولیدی در این استاندارد قید خواهد گردید. این مشخصات شامل خواص مکانیکی و آنالیز شیمیائی و سختی و تست فشار خواهد بود که بعنوان مثال A۵۳ بعنوان لوله‌های درزدار و بدون درز و A۱۰۶ با گرید A و B با استحکام نهائی  $\delta B$  از ۴۸۰۰۰ تا ۶۰۰۰۰ پوند بر اینچ مربع بوده و یا سایر لوله‌های تولید A۱۳۱ و A۳۳۳ و A۳۳۴ و غیره خواهد بود. در اصل استحکام نهائی و تسلیمی و درصد ازدیاد نسبی طول آنها در این استاندارد قید شده است.

## ۲-۲: فولادهای کربنی: Plain Carbon Steels

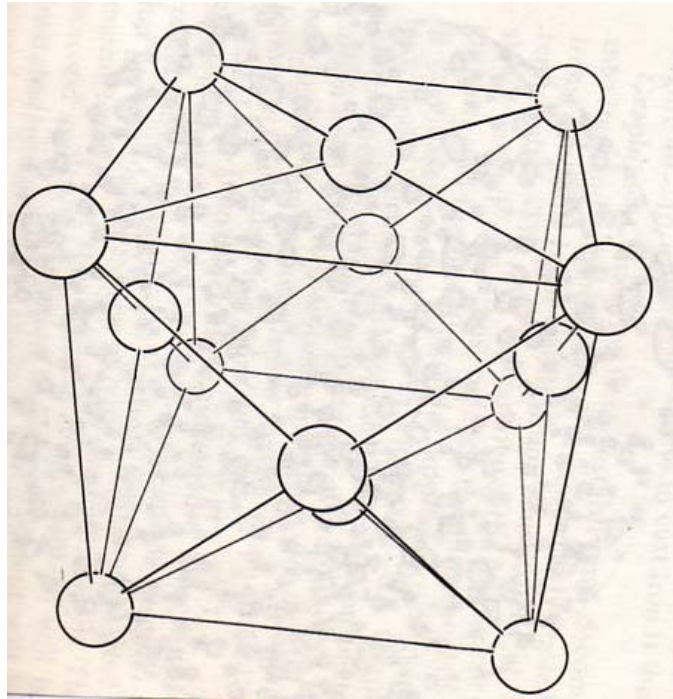
قبل از بررسی فولاد کربنی به بررسی دیاگرام آهن و کربن پرداخته شده و سپس فولاد را که آلیاژی از کربن و آهن است از نظر درصد مقدار کربن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. فولاد آلیاژی است از کربن و آهن بطوریکه درصد کربن آن از ۰,۰۷ درصد تا ۱,۷ درصد باشد. دیاگرام آهن و کربن با توجه به شکل زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد.



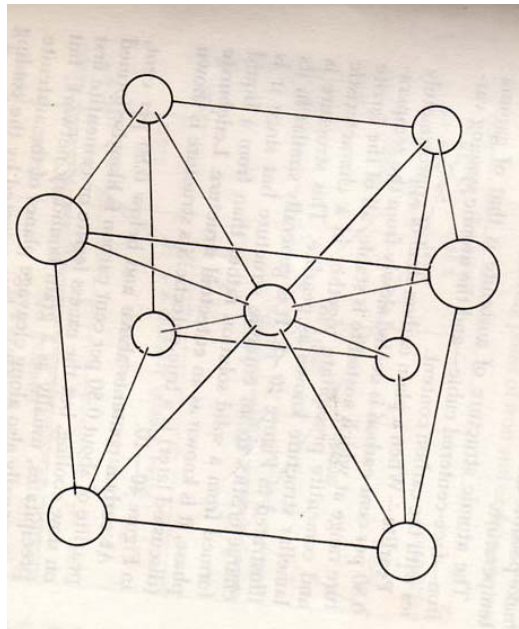


شکل ۲-۱: نمودار آهن و کربن ۱,۷

با توجه به نمودار آهن و کربن آهن در درجه حرارت  $1535^{\circ}\text{C}$  ذوب میشود در حقیقت این نقطه بعنوان نقطه انجماد نیز میباشد. بالاتر از این نقطه آهن مذاب خواهد بود. در هنگام انجماد از حالت مذاب تبدیل به جامد (Solid) خواهد شد. خط BE بعنوان خط جامد و مایع (Liquidus) میباشد. مثلث CDA منطقه مایع  $\delta$  بوده و مثلث CDS بعنوان منطقه آهن  $\delta$  (Iron) میباشد که ساختار کریستالی آن از نوع B.C.C (Body Centered Cubic) میباشد. مقدار کربن در نقطه A برابر ۰,۱۶ درصد میباشد پس از آن در اثر انجماد چند ضلعی SA GPR حاصل میشود که این منطقه را منطقه آهن گاما ( $\gamma$  - Iron) است که بنام اوستنیت نیز میباشد. در این حالت آهن را آهن ربا جذب نمی نماید. ساختار کریستالی در این حالت FCC یعنی Face Centered Cubic می باشد. که شکل FCC و BCC در شکل های شماره ۲-۲ و ۳-۲ بترتیب نشان داده شده است.



شکل ۲-۲ نشان دهنده ساختار کریستالی F.C.C

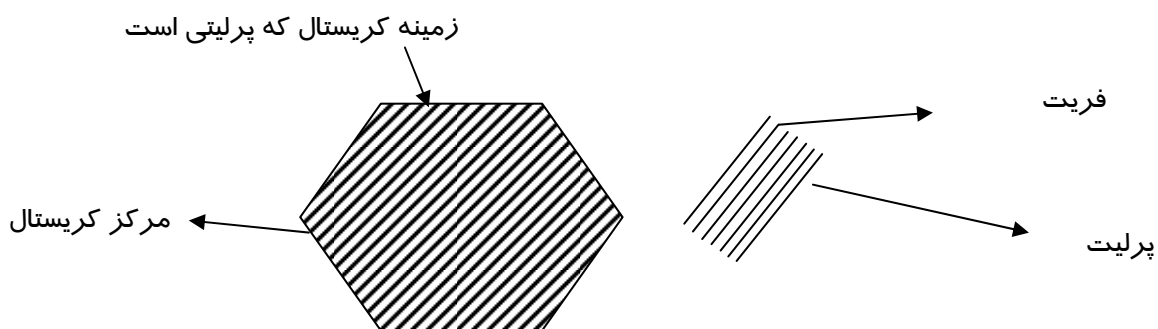


شکل ۲-۳: نشان دهنده ساختار کریستالی B.C.C

در ساختار کریستالی BCC، ۸ اتم در رأس و ۱ اتم در مرکز و در ساختار کریستالی FCC شش اتم در وجه‌های مکعب و ۸ اتم در رئوس آن قرار گرفته‌اند.

آهن  $\gamma$  حداکثر دارای ۱,۷ درصد کربن می‌باشد که تمام این مقدار کربن در چند ضلعی SABGPR حل شده و این منطقه برای گرم کردن فولاد جهت عملیات حرارتی و همچنین جهت نورد و آهنگری بسیار اهمیت دارد. مثلث RPF را منطقه  $\alpha + \gamma$  می‌نامند. پس از آن منطقه ROF است که در اینجا درصد مقدار کربن ۰,۰۰۶ تا ۰,۰۳ می‌باشد که آهن آلفا بوده و آهن آلفا بسیار نرم می‌باشد و دارای ساختار کریستالی B.C.C است که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.

نقطه P را نقطه یوتکتوئید می‌نامند که درصد کربن آن ۰,۸ درصد است و فولادهائی که کربنی برابر ۰/۸ درصد داشته باشند بنام فولادهای پرلیتی معروفند. پرلیت یعنی یک در میان فریت و گرافیت می‌باشد مطابق شکل ۲-۴ می‌باشد.



شکل ۲-۴ نشان دهنده پرلیت از نظر ساختار میکروسکوپی

فریت نیز در زیر میکروسکوپ سفید دیده می‌شود و در شکل بالا داخل شش ضلعی ساختار کریستالی پرلیتی و اضلاع آن را مرزدانه (grain boundary) و از نوع آهن  $\alpha$  است. چون پرلیت دارای ۰,۸ درصد کربن است در نتیجه استحکام آن زیاد می‌باشد یعنی کربن باعث بالا رفتن استحکام و سختی شده و جوشکاری را مشکل می‌نماید. فولادهائی که این نوع ساختار میکروسکوپی را داشته باشند قابلیت جوشکاری ضعیفی را دارند.

مثلث GNP که در نقطه G حداکثر کربن را دارد فاز سمنتیت +  $\gamma$  می‌باشد. سمنتیت یعنی کاربید آهن بفرمول  $Fe_3C$  است.

در سمنتیت درصد مقدار گرافیت ۶,۶۷ درصد می‌باشد. نقطه E را نقطه یوتکتیک می‌نامند که در این نقطه مقدار درصد کربن برابر ۴,۲ و این نقطه را در متالورژی لددوریت نامیده لددوریت چدنی است که درصد مقدار کربن آن برابر ۴,۲ درصد می‌باشد. چدن فلزی است که درصد کربن آن از ۲ تا ۴,۲ درصد می‌باشد. خط FM را خط انتقال یا خط تبدیل فازها خط بحرانی

می‌نامند که در این درجه حرارت اوستنیت تبدیل به فریت و پرلیت میشود یعنی از این درجه حرارت پائین کاملاً ساختار فولاد تغییر می‌یابد. این خط را خط بحرانی نیز نامیده که به انگلیسی Transformation line بیان شده و درجه حرارت نیز در این نقطه برابر ۷۲۳ درجه سانتیگراد میباشد. اگر مجدداً فولاد را گرم نمایند دوباره فولاد از درجه حرارت محیط (۲۵°C) تا ۹۱۰ درجه سانتیگراد دارای ساختار کریستالی B.C.C میباشد. از ۹۱۰ درجه سانتی‌گراد تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد فولاد از ساختار B.C.C تبدیل به ساختار FCC میشود که آهن ربا این نوع فولاد در این ناحیه جذب نمی‌نماید بدانجهت فولادهائی که آهن را جذب ننمایند به آنها فولاد اوستنیتی می‌نامند. از ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تا ۱۵۳۵ درجه سانتی‌گراد فولاد دارای ساختار کریستالی از نوع باز B.C.C را دارا میباشد. با توجه به شرح فوق الذکر فولاد هنگام گرم شدن ساختارهای کریستالی که دارد هنگام سرد شدن نیز همان ساختار را دارد. این نوع مواد را مواد آلتروپ می‌نامند پس آهن خاصیت آلتروپیک دارد و از خاصیت آلتروپ جهت ریزدانه شدن فولاد استفاده می‌نمایند. این نمودار جهت سخت کردن و نرمالیزه شدن فولاد و آنیله شدن آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جوشکاری نیز فولادهائی که پس از جوشکاری نیاز به تنش‌زدائی داشته باشند تنش‌زدائی آنها زیر ۷۲۳ درجه سانتی‌گراد انجام میشود.

## ۲-۲-۱: طبقه بندی فولاد:

فولاد (Steel) از نظر مقدار کربن به سه گروه تقسیم میشود که سه گروه مزبور بشرح زیر میباشد.

### ۲-۲-۱-۱: فولاد کم کربن (Low Carbon Steel)

فولادهای کم کربن به فولادهائی اطلاق میشوند که درصد کربن آنها از ۰,۰۷ تا ۰,۲۵ درصد میباشد. این فولادها دارای خاصیت انعطاف پذیری Ductility خوبی را دارا میباشند و خاصیت جوش‌پذیری یا قابلیت جوشکاری (Weld ability) خوبی را نیز دارا هستند.

### ۲-۲-۱-۲: فولادهای با کربن متوسط (Medium Carbon Steels)

فولادها با کربن متوسط فولادهائی هستند که درصد کربن آنها از ۰,۲۵ تا ۰,۷ درصد بوده و خاصیت جوش‌پذیری آنها ضعیف بوده و تحت شرایط کارگاهی با مراقبت‌های مورد لزوم جوشکاری می‌شوند از این نوع فولاد ابزار و پیچ و بولت و شافت تولید می‌نمایند و جنس فولادهای سیم‌بکسل و قلابهای جرثقیل و ریل راه‌آهن از نوع فولادهای با کربن متوسط میباشد.

**۲-۱-۲-۳: فولادی پر کربن (high Carbon Steel)**

کربن این نوع فولادها از ۰,۷ تا ۱,۱۴ درصد میباشد. از این نوع فولاد در ساختن ابزار و وسایل برشی استفاده می‌نمایند.

**۳-۲: فولادهای آلیاژی: (Alloy Steels)**

فولادهای آلیاژی سه نوع فولاد تولیدی میباشد که فولادهای کم آلیاژ (Low Alloy Steels) که درصد عناصر آلیاژی آنها مانند کرم در حدود ۱ درصد و درصد مولیبدن آن ۰,۵ و یا کرم به میزان ۰,۷ و نیکل نیز برابر ۰,۷۹ درصد میباشد. عناصر با فولاد نرم یعنی Mild Steel آلیاژ شده و در فاز آلفا حل میشوند و باعث بالا رفتن استحکام فولاد میگردد. جوش پذیری آنها خیلی خوب بوده و جهت جوشکاری آنها از الکترودهای فولاد کم آلیاژ استفاده می‌نمایند. فولادهاییکه درصد کرم و نیکل آنها از ۱ درصد بیشتر باشد بعنوان فولادهای با آلیاژ متوسط میباشد مانند فولاد A۳۳۳ که درصد نیکل آن حدود ۳ درصد میباشد. از این نوع فولادها لوله تولید شده که جهت سیالهای کمتر از صفر درجه حرارت سانتی گراد مورد استفاده میباشد. فولادهای با درصد کرم ۲,۵ و مولیبدن ۰,۵ درصد که جزو فولادها با آلیاژ متوسط میباشد جهت استفاده در نیروگاهها حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا این فولادها در مقابل درجه حرارت مقاوم و مقاومت به خزش آنها نیز خوب میباشد و بنام فولادهای کرم مولی معروف میشوند.

فولادهای پر آلیاژ که درصد کرم و نیکل آنها زیاد میباشد. اگر درصد کرم فولادها از ۱۱ تا ۲۷ درصد باشد و کربن  $C \leq ۰.۱$  بنام فولاد فریتی بوده و ساختار کریستالی آن از نوع B.C.C میباشد. اگر درصد کرم فولاد از ۱۲ تا ۱۳,۵ درصد و کربن آن از ۰,۱ تا ۰,۱۵ درصد باشد. این نوع فولاد از نوع فولاد مارتنزیتی بوده و ساختار کریستالی آن BCC میباشد. در صورتیکه فولاد دارای ساختار کریستالی FCC باشد از نوع فولادهای اوستنیتی میباشد. درصد کرم در این نوع فولاد حداقل ۱۷,۵ درصد و حداکثر ۲۵ درصد و درصد نیکل آن حداقل ۷,۵ درصد و حداکثر ۲۰ درصد میباشد برحسب مقدار کرم و نیکل موجود کلاسه‌بندی میشود و کلاسه بندی آنها در مورد لوله‌های A۳۱۲ با تیپ‌های مختلف مانند A۳۱۲TP۳۰۴ یا A۳۱۲TP۳۰۸ و A۳۱۲TP۳۱۶ و A۳۱۲TP۳۰۹ و ورق و پلیت از A۲۴۰ با تیپ‌های مختلف تولید میشود که بصورت A۲۴۰TP۳۰۸ و A۲۴۰TP۳۰۴ و غیر میباشد. این فولاد با علامت تجارتي  $\frac{1}{8}$  نیز نشان داده میشوند. این لوله‌های مطابق استاندارد ASTM تولید میشوند که علامت A حرف اول استاندارد

ASTM میباشد. در صورتیکه از این فولاد ورق یا پلیت تهیه شود پلیت نیز از تیپ A۲۴۰ با تیپ‌های ۳۰۴ و ۳۰۸ و ۳۰۹ و ۳۱۰ و ۳۱۶ و A۳۱۶L و A۳۲۱ و A۳۴۷ خواهد و طبق استاندارد ASME-SecIIpartA بصورت SA۳۱۲ با تیپ‌های ۳۰۴ و ۳۰۸ و ۳۰۹ و ۳۱۰ و ۳۱۶ و غیره بوده و ورق و پلیت در این استاندارد SA۲۴۰ با تیپ‌های ۳۰۴ و ۳۰۸ و ۳۱۰ و ۳۱۶ و غیره خواهد بود.

**سوالات فصل دوم:**

۱. مزایا و معایب فولاد های با استحکام زیاد و کم آلیاژ را ذکر کنید
۲. طرز کار کوره الکتریکی را برای تولید فولاد توضیح دهید
۳. طبقه بندی فولاد را بنویسید
۴. ویژگی های فولاد های آلیاژی را ذکر کنید