

## ریخته گری فولاد و تاریخچه آن :

در فولاد ریزی دو روش عمده ریخته گری داریم:

(۱) روش شمش ریزی: که ریخته گری جهت تولید آلیاژ انجام می شود.

(۲) شکل ریزی: که ریخته گری جهت تولید قطعه انجام می شود.

### تاریخچه فولاد سازی :

فولاد نوعی آهن است که بیشتر ناخالصی های آن جدا شده است . آهن عنصری ، فلزی مستحکم، سخت ، سنگین و به رنگ خاکستری است. این ماده در شهاب سنگ ها یافت می گردد. همچنین آهن در ترکیب با بسیاری از کانی ها در پوسته زمین پیدا می شود. آهن به آسانی زنگ می زند و می توان آن را مغناطیسی ساخت و به شدت جذب آهنربا نمود. از این ماده جهت ساختن بسیاری از سازه ها استفاده می گردد . فولاد (آهن ذوب شده) با گرمای شدید و آمیختن آن با کربن (آلیاژ) درست می شود . از فولاد برای ساختن ماشین آلات ، اتومبیل ، ابزار آلات و دیگر مصنوعات استفاده می گردد.

تاریخ ذوب آهن و آهن کاری به درازای خود تاریخ است . باستان شناسان در مصر ابزارهایی آهنی یافتند که تاریخ ساخت آنها به ۳۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح بر می گردد، و زیور آلات آهنی حتی پیش از این تاریخ نیز به کار می رفت . اسلحه های آهنین ساخته شده به وسیله تیمار گرمایی برای یونانیان در ۱۰۰۰ سال پیش از میلاد امری شناخته شده بود.

### آهن ورزیده (چکش خوار):

وسایل آهنی اولیه و آنهایی که تا سده ی چهاردهم ساخته می شد تحت عنوان آهن ورزیده رده بندی می گردد. آنها را با گرما دادن توده های سنگ معدن آهن و زغال چوب در کوره ی آهنگری یا کوره های آهن دارای تهویه مصنوعی تولید می کردند. تحت این تیمار ، سنگ معدن احیا و اسفنجی از آهن فلز و لجنی (سر باره ای ) حاوی ناخالصی های فلزی و خاکستر چوب تبدیل می شد . این اسفنج آهنی را از کوره بیرون می آورند در حالی که هنوز گداخته و ملتهب بود و آن را با پتک های سنگین می کوبیدند تا سرباره و جوش از آن خارج شود و به آهن جامد تبدیل شود.

آهنی که تحت این شرایط تولید می شد حاوی ۳ درصد ذرات سرباره و ۰/۱ درصد دیگر ناخالصی ها بود . گاه این تکنیک آهن سازی بر حسب تصادف به جای آهن چکش خوار فولاد واقعی به دست می داد . آهنگران آموخته اند که با گرما دادن آهن چکش خوار و ذغال چوب در بوته های سفالین به مدت چندین روز فولاد به دست آورنده طی این فرایند آهن کربن کافی جذب می کرد تا به فولاد واقعی تبدیل گردد. آهن لخته (خام یا شمش).

پس از سده چهاردهم اندازه کوره هایی که برای ذوب آهن به کار می رفت افزایش یافت ، و از کشش اضافی برای با فشار وارد کردن گازهای حاصل از احتراق به درون ((بار)) کوره حاوی آمیزه ی مواد خام استفاده می

شد. در این کوره های وسیع تر، سنگ آهن در بخش بالایی کوره نخست به آهن فلزی تبدیل می شد و سپس به علت گازهایی که با فشار وارد آن می شد با کربن بیشتری آمیخته می گردید. ابزارهای اولیه آهنی که تا سده ی چهاردهم ساخته می شد تحت نام آهن چکش خوار دسته بندی می گردد. فراورده های این کوره ها آهن لخته بود، آلیاژی که در دمای پایین تری نسبت به آهن چکش خوار ذوب می شود. آهن لخته (چدن خام) (بدان علت به این اسم نامگذاری شده که معمولا آن را در شمش های کوتاه وپهن که تحت عنوان قالب فلزی یا بلوک نامیده می شود می ساختند) و سپس تصفیه ی بیشتری روی آن انجام می شد تا به فولاد تبدیل شود.

دم و کوره های الکتریکی :

امروزه برای ذوب آهن از کوره های دم دار استفاده می شود که در واقع نوع بهبود یافته کوره هایی است که آهنگران قدیم برای تهیه ی آهن به کار می بردند. فرایند تصفیه آهن گداخته به کمک جریان هوا به وسیله مخترعی انگلیسی به نام سر هنری بسمر تکمیل گردید که کوره بسمر یا کونورتور (کوره مخصوص تولید فولاد) را در سال ۱۸۵۵ اختراع کرد.

چگونه فولاد می سازیم :

کارخانه های فولاد از چهار واحد اولیه ی یکپارچه درست شده است شامل:

❖ احیای مستقیم

❖ کوره ی قوس الکتریکی

❖ ریخته گری پیوسته (متوالی)

❖ کارخانه نورد

هر یک از واحد ها واحد بعدی را تغذیه می کند. کارخانه احیای مستقیم با استفاده از ساچمه های سنگ معدن آهن جامد تولید می کنند. اولی گاز طبیعی را به هیدروژن و مونوکسید کربن تبدیل می کند. این گازها اکسیژن را از سنگ معدن گرم شده در کوره می زدایند و سنگ آهن را به آهن فلزی تبدیل می کنند. گاز / آب خنک کننده در بخش پایین کوره جریان می یابد و آهن را سرد می کند. طی این فرایند چیزی تولید می شود که آهن مستقیما احیا شده نام دارد (DRI) و این ماده به درون کوره قوس الکتریکی تغذیه می گردد.

کوره قوس الکتریکی (EAF) :

EAF برای ساختن فولاد گداخته از DRI به کار می رود. کوره، همراه با سقف آن به یک سو چرخانده می شود، و با قراضه بار گیری می شود. قوس جریان الکتریکی توانمندی بین الکترودها و بار کوره به جهش در می آید. این عمل گرمای شدیدی پدید می آورد که بار را ذوب و باعث پیشرفت آن دسته از واکنش های شیمیایی می شود که به تولید فولاد می انجامد.

در پایان فرایند تصفیه، کارگران جریان برق کوره الکتریکی را قطع می کنند. سپس کوره را کج می کنند، کوره ای که بر روی اهرم های نوسان کننده ای نصب شده، تا سرباره بیرون ریزد. پس از بیرون ریختن سرباره، کوره ی الکتریکی به سوی دیگر خم می شود. فولاد مایع از دهانه بارگیری خارج می شود و در پاتیل یا کفچه گرد آوری می گردد.

### ریخته گری پیوسته (CC):

فولاد گداخته ی تولید شده در کوره الکتریکی به درون واحد قالب گیری (ریخته گری) وارد می گردد، که آهن گداخته (گدازه) را به شکل شمش در می آورد. فولاد از درون قالبی با شکل ویژه جاری می شود آب سرد به سرعت فولاد را سرد می کند، و باعث می شود که به هنگام عبور از میان غلتک های مخصوص سخت شود. فولاد گداخته تولید شده در کوره ی الکتریکی به درون واحد ریخته گری پیوسته سرازیر می شود که فولاد گداخته را به شمش تبدیل می نماید.

### دستگاه نورد:

این واحد دیگری است که فولاد گداخته را شکل می دهد. تولید مفتول های فولادی در دستگاه نوردی انجام می گیرد. دستگاه نورد غلتک هایی دارد که طوری شیار یافته اند که بتوانند شمش داغ را به اشکال مقطع گرد، بیضی، مربع یا شش گوشه در آورند

### خواص مکانیکی فولادها:

- ۱) استحکام مناسب که بین ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ مگاپاسکال می باشد
- ۲) قابلیت شکل پذیری بالا
- ۳) مقاومت خستگی مناسب
- ۴) مقاومت در درجه حرارت پایین مقاومت در درجه حرارت بالا
- ۵) قابلیت جوشکاری

### دسته بندی فولادها:

معمولا به سه دسته فولاد های ساده کربنی فولاد های پر آلیاژی فولاد های کم آلیاژی انواع فولادهای ساده کربنی:

فولادهای کم کربن - کربن متوسط و پر کربن:

فولاد های کم کربن: که در این فولاد ها مقدار کربن کمتر از ۰,۲٪ می باشد لذا قابلیت شکل پذیری و فرم دهی بالا دارد که در صنعت بیشتر در مواردی به کار می رود که استحکام پایین همراه با قابلیت انعطاف بالا در نظر باشد.

فولاد های کربن متوسط: که در این فولاد ها مقدار کربن بین ۰,۲ تا ۰,۵٪ می باشد که در مقایسه با فولاد کربنی استحکام و سختی بالاتری دارند ولی انعطاف پذیری پایین تری دارند که عموما در صنایع راهسازی و

ماشین سازی از این گروه استفاده می شود فولاد های پرکربن : که در این فولاد ها مقدار کربن پس از ۰,۵٪ می باشد که افزایش درصد باعث افزایش سختی و کاهش انعطاف پذیری می شود در مواردی استفاده می شود که نیاز به سختی و مقاومت به سایش بالا باشد

فولاد های کم آلیاژی : در این فولاد ها میزان عناصر آلیاژی کمتر از ۸٪ می باشد . وجود عناصر آلیاژی باعث افزایش خواص مکانیکی فولاد می شود وجود عناصر آلیاژی باعث جلوگیری از تغییر فرم - تابیدگی و ترک خوردن آلیاژ در حین عملیات حرارتی می شود که عمدتاً در ساخت قطعات و قالبهای خاص صنعتی ساخته می شود

فولاد های پرآلیاژی : میزان عناصر آلیاژی در این نوع فولادها بیش از ۸٪ می باشد و در مواردی مصرف می شود که خواص خاصی را در نظر داشته باشیم به عنوان مثال مقاومت به خوردگی بالا و مقاومت به سایش بالا و با توجه به اینکه قیمت عناصر بالا می باشد و همچنین تکنولوژی اضافه کردن این عناصر نیز بالاتر می باشد لذا فولاد های آلیاژی از نظر قیمت بالاتر می باشد.

#### انواع کوره های ذوب در فولاد ریزی :

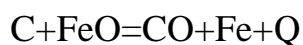
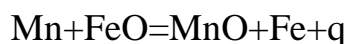
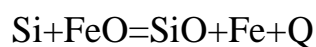
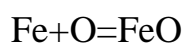
کوره هایی که در ذوب فولاد استفاده می شود شامل کوره های زیمنس مارتین کوره های القایی و قوس کوره های کوپل و کنوتر دوپله کردن کوپل و کنوتر می باشد.

مراحل دوپله کردن کوپل و کنوتر:

۱ -تهیه مذاب در کوره کوپل

۲ -انتقال به پاتیل با جداره بازی و گوگرد زدائی

۳ -تخلیه مذاب در کنوتر به روش اکسیژن و هوا که با دمش هوا کربن سوخته می شود و واکنش های زیر را به وجود می آورد



که کربن لحظه به لحظه می سوزد و مذاب به مذاب فولاد تبدیل می شود و جوشش کربن صورت می گیرد لحظه ای که درصد کربن به ۰,۵٪ در مذاب می رسد فرآیند جوشش کربن به حدی می رسد که فرآیند حرارت را در مذاب نداریم که برای افزایش راندمان به جای هوا اکسیژن تزریق می کنند در روش های جدید برای کنترل بیشتر مذاب مذاب به کوره های القایی منتقل می شود و ترکیب شیمیایی آن کنترل می شود عملیات کیفی در تهیه قطعات فولادی : شامل اکسیژن زدایی سرباره گیری ریخته گری قطعات تمیزکاری و جوشکاری می باشد.

جهت اکسیژن زدایی در مراحل اولیه از فروسیلیس - سیلیکم منگنز و فرومنگنز استفاده می شود در صورتی که بخواهیم میزان اکسیژن به زیر ۰,۱٪ برسد از Al و Ti در آخرین مرحله استفاده می شود.

تمیزکاری: معمولا از طریق شات بلاست و سند بلاست انجام می شود

جوشکاری : که بر خلاف چدن در قطعات فولادی به علت قابلیت جوشکاری بالا انجام می شود که شامل پر کردن اثرات انقباضی گازی و نیامد در کردن در طی فرآیند ریخته گری می باشد مراحل جوشکاری : انتخاب نوع الکتروود و اندازه الکتروود عملیات پیش گرم کردن قطعات قبل از جوشکاری عملیات تنش زدایی بعد از جوشکاری تمیز کاری

تست های غیر مخرب : نظیر ماوراء بنفش التراسیتیگ ایکسرید

تاثیر عناصر جزئی بر فولاد ها ساده کربنی :

منگنز : جزء عناصر موجود در فولاد های ساده کربنی مقدار آن ۰,۶ تا ۰,۸۵ درصد که پیش از این مقدار به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد ها می باشد باعث افزایش سختی استحکام و مقاومت به ضربه فولاد می شود می تواند به عنوان اکسیژن زدا در فولاد ها استفاده شود.

Si سیلیس : به عنوان اکسیژن زدا استفاده می شود مانع از پایداری سمنتیت می شود مقدار آن ۰,۰۶٪ می باشد و بیشتر از این مقدار به عنوان عنصر آلیاژی می شود Ni و Cu تا حدود ۰,۵ باعث افزایش سختی پذیری و خواص مکانیکی می شود که پایدار کننده ی آستینیت می باشد بیشتر از این مقدار به عنوان عنصر آلیاژی محسوب می شود.

سایر عناصر آلیاژی نظیر کرم مولیبدن وانادیم و تنگستن تا حدود ۰,۰۵٪ در فولاد های ساده کربنی وجود دارد که باعث افزایش خواص مکانیکی می شود

Al&Ti : به عنوان اکسیژن زدا در مراحل تولید استفاده می شود. ازت : مقدار آن بین ۰,۰۰۵ تا ۰,۱۲ درصد می باشد تا این مقادیر باعث افزایش خواص مکانیکی می شود بیش از این مقدار به علت تشکیل مک و حفره گازی در قطعات تولیدی باعث کاهش خواص مکانیکی می شود

گوگرد : از عناصر مضر در فولاد می باشد به علت تشکیل فاز FeS تا سولفید آهن که فازی با نقطه ذوب پایین و ترد می باشد و در مراحل انتهایی انجماد در مرز دانه رسوب می کند باعث کاهش شدید خواص مکانیکی می شود همچنین به هنگام عملیات حرارتی به علت ذوب موضعی در مرز دانه باعث ایجاد ترک موسوم به ترک سرخ می شود وجود منگنز تشکیل فاز MnS یا سولفید منگنز را می دهد این فاز نرم بوده و تاثیر سوء کمتری نسبت به FeS دارد MnS در داخل دانه پخش می شود.

فسفر : تمایل به جدایش بیشتری دارد لذا در محل هایی که آخرین انجماد را دارند جمع می شوند تشکیل فاز فسفید آهن یا Fe<sub>2</sub>P را می دهد این فاز تشکیل یوتکتیک سه تایی می دهد که نقطه ذوب پایین دارد

که در مرز دانه ها رسوب کرده و باعث شکست دانه ها می شود میزان فسفر و گوگرد کمتر از ۰,۰۵ درصد می باشد

### سیستم راهگاهی در فولاد ریزی :

شامل حوضچه بارریز - راهگاہ بارریز حوضچه پای راهگاہ اصلی آشغالگیر کانال های فرعی و اصلی می باشد

عموما نوع سیستم راهگاهی فشاری بوده  $s > r > g$  نکاتی که در طراحی سیستم راهگاهی در فولاد ریزی باید در نظر بگیریم :

بین راهگاہ بارریز و حوضچه بارریز شیب زیادی وجود داشته باشد وجود این شیب از نفوذ آخال و هوا به داخل سیستم راهگاهی می شود.

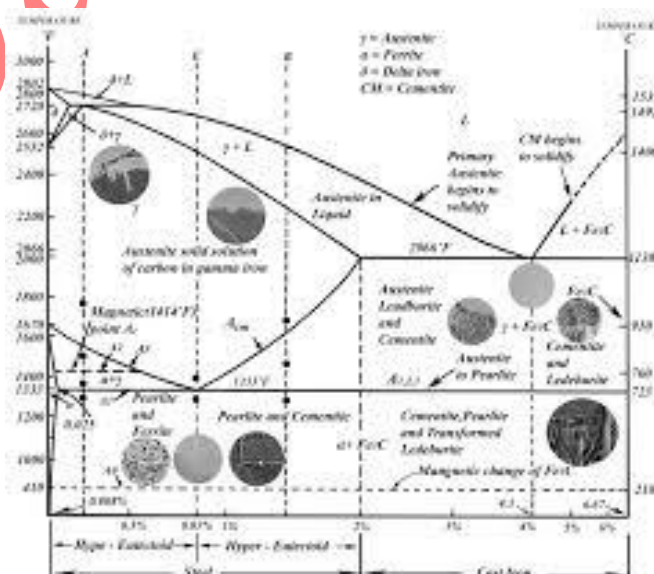
راهگاہ بارریز مخروطی می باشد گوشه های راهگاہ اصلی و فرعی گرد می شود

انتهای راهگاہ اصلی بعد از آخرین راهگاہ فرعی ادامه پیدا می کند تا ناخالصی ها وارد سیستم راهگاهی نشود در انتهای راهگاہ بارریز حوضچه پای راهگاہ را در نظر می گیرند مقطع راهگاہ اصلی به طرف راهگاہ فرعی کم می شود حداقل امکان از راهگاہ اصلی و فرعی عریض استفاده نشود انجماد جهت دار به طرف تغذیه جنس راهگاہ اصلی در مورد قطعات بزرگ از مواد دیرگداز با نقطه زینتر بالا باشد تقسیم بندی سیستم راهگاهی بر اساس ابعاد قطعات : عموما چهار نوع راهگاہ در فولاد ریزی وجود دارند

(۱) راهگاہ از بالا برای قطعات با ارتفاع کم

(۲) راهگاہ از بغل برای قطعات با ارتفاع متوسط و ابعاد بزرگ

(۳) راهگاہ از پایین برای قطعات با ارتفاع بلند در حالت باید فوق ذوب زیاد در نظر گرفته شود تا از انجماد زود رس در سطح مذاب جلوگیری شود.



شاید بارها نام فازهای مختلف دیاگرام آهن- کربن را شنیده اید و دوست داشته اید بدانید منشا این نامها چیست. در ادامه مطلب در این مورد بحث شده است.

سمانتیت (*Cementite*): حدس زدن این مورد شاید آسان باشد. این لغت برگرفته از کلمه *Cement* در زبان انگلیسی به معنای ماده ای است که مواد مختلف را به هم می چسباند، می باشد.

در سال ۱۸۵۵ *Osmond* و *Werth* تئوری سلولی را ارائه دادند که در آن نه تنها وجود گونه های آلوتروپیک آهن (که امروزه به نام آستنیت و فریت معروف هستند) را پیشنهاد دادند، بلکه در این تئوری نگاه تازه ای به تشکیل کاربیدها شده بود. تحقیقات آنها در خصوص فولادهای پرکربن نشان داد که مخلوطی شامل سلولهای و دانه های آهن وجود دارد که توسط لایه ای از کاربید آهن محصور شده است. در حین انجماد ابتدا گلبولها یا سلولهای آهن تشکیل شده و رشد می کنند و باقیمانده مذاب به صورت کاربید آهن منجمد می شود. بدین ترتیب کاربید تشکیل شده با قرار گرفتن در اطراف سلولهای قبلی شکل گرفته، آنها را به هم می چسباند. از این شرح می توان دریافت چرا *Osmond* کاربید تشکیل شده را از لغت فرانسوی *Ciment* نامگذاری کرد.

این فاز در زبان آلمانی با *Zementit* و در انگلیسی با *Cementite* نشان داده می شود.

فریت (*Ferrite*): *Ferrum* ریشه لاتین برای بیشتر لغات جدید ساخته شده در خصوص آهن و ترکیبات آن می باشد که احتمالاً ریشه سامی دارد.

آستنیت (*Austenite*): این فاز به یادبود *Sir William Chandler Roberts-Austen* متالورژیست انگلیسی تبار (۱۸۴۳-۱۹۰۲) نامگذاری شده است.

*Robert-Austen* اولین کسی بود که دیاگرام اولیه آهن - کربن را در سال ۱۸۹۷ (شکل زیر) و فرم نهایی آن را در سال ۱۸۹۹ منتشر کرد.

او همچنین اولین دانشمندی است که اندازه گیری کمی (*Quantitative*) نفوذ در حالت جامد (طلا در مس) را با توجه به قوانین نفوذ فیک انجام داد

پرلیت (*Pearlite*): برگرفته از ظاهر درخشانده مروارید شکل (*Pearl*) و رنگین کمانی این فاز می باشد. علت اینکه ساختار این فاز به صورت مروارید این است که تیغه های تشکیل شده با داشتن خاصیت انعکاس نور متفاوت به علت جهت گیری مختلف، تشکیل کریستال های متفاوت نوری می دهند.

لدبوریت (*Ledeburite*): نامگذاری شده به افتخار (۱۸۳۷-۱۹۱۶) *Adolf Ledebur*.

*Ledebur* اولین پروفیسوری بود که در سال ۱۸۸۲ مخلوط کریستالی آهن کربن را کشف نمود.

مارتنزیت (*Martensite*): به افتخار (۱۸۵۰-۱۹۱۴) *Adolf Martens* نامگذاری شده است.

وی کارش را در آزمایشگاه مکانیکی رویال در برلین به عنوان مهندس شروع نمود. امروزه یک جایزه مشهور به نام او اهدا می شود.



بینیت (*bainite*): این فاز به یادبود E.C. Bain شیمیدان آمریکایی نامگذاری شده است تاریخچه آستمپرینگ به سال ۱۹۳۰ بر می گردد، زمانی که Grossman و Bain در آزمایشگاه های فولاد ایالات متحده بر روی ارزیابی پاسخ متالورژیکی فولادهای سرد شده با سرعت زیاد از دمای ۱۴۵۰ درجه فارنهایت (۷۸۸ درجه سانتیگراد) به دماهای متناوبا بالا و نگهداری در این دماها به مدت زمانهای مختلف های در حال کار بودند.

نتیجه تحقیقات آنها چیزی است که ما امروزه به عنوان دیاگرامهای استتاله همدمای ( Isothermal Transformation Diagram ) می شناسیم.

Grossman و Bain با ساختارهای معمول متالورژیکی فریت، پرلیت و مارتنزیت آشنا بودند. چیزی که آنها کشف کردند ساختار دیگری بود که در بالاتر از دمای آغاز تشکیل مارتنزیت ( $M_s$ ) و پایین تر از دمای تشکیل پرلیت بود.

در فولادها این ساختار شکل ساختارهای سوزنی (بشقابی) با ظاهری پر مانند را داراست. تحقیقات X ray نشان داد که بینیت شامل فریت و کاربید فلزی است.

فولادهای آلیاژی از آهن و کربن هستند که میزان کربن در آنها کمتر از ۲ درصد می باشد، همچنین عناصری مانند Si و Mn در مقادیر کمتر از ۱ درصد و گوگرد و فسفر در مقادیر جزئی به عنوان ناخالصی در فولادها یافت می شوند. البته فولادهای آلیاژی حاوی مقادیر زیادی عنصر آلیاژی می باشند. مشخصات اصلی فولادها: استحکام و قابلیت چکش خواری خوب، مقاومت در برابر اعمال تنش های متغیر ، قابلیت جوشکاری ( که این یک برتری فولاد نسبت به چدنها می باشد) قابل کاربرد در درجه حرارت های بالا که این مشخصه به وسیله استفاده از عناصر آلیاژی نظیر نیکل، کبالت و مولیبدن به دست می آید. استفاده از قطعات فولادی در درجه حرارت های زیر صفر امکان پذیر است. در کنار مزایای جالبی که برای فولادها ذکر شد، ریخته گری فولادها محدودیت هایی نیز دارد ، از قبیل: پایین بودن میزان سیالیت، بالا بودن نقطه ذوب و بالا بودن انقباض حین انجماد و در نتیجه نیاز به تغذیه های بزرگ. پایین بودن میزان سیالیت و بالا بودن نقطه ذوب ایجاب می نماید که نکاتی را در رابطه با نوع سیستم راهگامی، جنس قالب، نوع پوشش مصرفی برای قالب و انتخاب کوره های مناسب مراعات نماییم .

**به طور کلی قطعات ریختگی فولادی به دو دسته اساسی تقسیم می شوند :**

خصوصیات فولاد توسط ترکیب شیمیایی خصوصا کربن کنترل می شود. اگر میزان کربن موجود در فولاد کم باشد فولاد کاملا نرم می باشد و استحکام آن نیز پایین خواهد بود و هر چه درصد کربن بالا رود استحکام افزایش و قابلیت انعطاف کاهش خواهد یافت. عملیات حرارتی نیز تاثیر اساسی بر خواص مکانیکی فولادها دارد. هر چه درجه حرارت تمپر بالا می رود از یک طرف قابلیت انعطاف و درصد کاهش سطح مقطع افزایش می یابد و از طرف دیگر سختی، استحکام نهایی و نقطه تسلیم افت می کند .



## تقسیم‌بندی فولادهای ریختگی از نظر ترکیب شیمیایی :

- ۱- فولادهای کم کربن: فولادهایی هستند که درصد کربن آنها کمتر از ۰/۲ می‌باشد .
- ۲- فولادهای میان کربن: فولادهایی هستند که درصد کربن آنها بین ۰/۲ تا ۰/۵ می‌باشد .
- ۳- فولادهای پر کربن: فولادهایی هستند که درصد کربن آنها بالاتر از ۰/۵ درصد می‌باشد .

## اثر کربن روی اجزا آهن :

از نظر مهندسی و صنعت آهن خالص علاوه بر آلوتروپیک بودن فلزی بی‌مصرف است. کربن عنصر آلیاژی اصلی برای آهن است که به پدیده آلوتروپیک بودن آن اهمیت می‌بخشد و آن را به ماده‌ای به نام فولاد تبدیل می‌کند که در دنیای صنعت نمونه و منحصر است. حتی در فولادهای زنگ‌نزن پر آلیاژ این کربن است که در مقادیر ناچیز خواص مهندسی آلیاژ را کنترل می‌کند. به طور کلی برای سهولت فرایندهای تولید، کربن در مقدار قابل ملاحظه‌ای در فولاد و چدن وجود دارد، مگر این که با روشهایی مقدار آن را کاهش دهیم .

کربن در آهن الفه تقریباً نامحلول ولی کاملاً در آهن کاملاً حل می‌شود. مکانهای بین نشینی در شبکه FCC نسبت به شبکه BCC برای بین نشینی اتمهای کربن مناسبتر است، این برتری که به بزرگ بودن جاهای خالی در شبکه FCC مربوط می‌شود برای پیوند الکترونی و تعادل نیروی جاذبه و دافعه نیز مطرح است که خود زمینه‌ای برای پدیده آلوتروپی است.

## چرا فولاد را فلزی «شگفت‌انگیز می‌نامیم :

بدون مشخص کردن عوامل ارزیابی منطقی نیست که ما فلزی را نسبت به فلز دیگر برتر بدانیم. برای مثال اگر از آلیاژهای تیتانیوم و آلومینیم استفاده نکنیم امکان ساخت هواپیما و سفینه‌های فضایی ممکن نخواهد بود. فولاد به دلایل مشخص مصرف و کاربرد وسیعی در صنعت و زندگی بشر دارد. مردم عامه دلایل برتری و مصرف زیاد فولاد را معمولاً در فراوانی سنگ معدن آهن و یا سهولت تهیه آن از سنگ معدن مربوطه می‌دانند. هیچ کدام از دلایل ذکر شده منطقی و صحیح نمی‌باشد. چون اولاً آهن عنصری نیست که به وفور در طبیعت یافت شود، ثانیاً تصفیه سنگ معدن آهن و تولید فولاد آسان نیست . در حالی که بعضی فلزات مانند مس حتی به صورت خالص در طبیعت یافت می‌شوند .

فولاد را فلز شگفت‌انگیز می‌نامیم، چرا که اولاً قابلیت شکل پذیری دارد. بدین معنا که می‌توان آن را باروشهای مکانیکی به شکل‌های دلخواهی تبدیل کرد. ثانیاً می‌توان با عملیات حرارتی خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن را تغییر داد .

## کربن در فولاد :

اگر چه همه فولادها کربن دارند، اصطلاح‌های فولاد کربنی ساده برای تشخیص فولادی به کار می‌روند که کربن، بیش از هر سازنده دیگر، خواص آن را مشخص می‌کند و نشان دهنده این است که میزان آلیاژی

ویژه‌ای نظیر نیکل، کروم یا مولیبدن در آن قابل توجه نیست. مقدار کربن فولاد ممکن است از چند صدم درصد تا نزدیک ۲٪ کربن تغییر کند. در درصد‌های پایین تر فولادها در ردیف آهن خالص تجارتي قرار می گیرند. و خواص فولادهای بسیار کم کربن از خود نشان می دهند، تقریباً نظیر خاص آهن خالص هستند. حد بالاتر کربن به وسیله عمل تعیین شده‌اند و این حد به وسیله دو نتیجه بسیار واضح کنترل می شود :

(۱) کاهش پلاستیسته و شکنندگی حاصل درصد‌های بالاتر کربن.

(۲) خطر تجزیه و سمنتیت به کربن گرافیتی و فریت.

اگر مقدار کربن از ۰.۱٪ تجاوز کند، فولاد سخت و شکننده می شود و خواص آن به طرف خواص چدن میل خواهد کرد. هدف از افزایش کربن افزایش سختی فولاد است، تحت این شرایط محیط، اگر کربن از سمنتیت به گرافیت تبدیل شود، هدف افزایش مقدار کربن به دست نخواهد آمد. کربن گرافیتی یک فرم نرم و شکننده کربن است. و به عنوان عامل نرم کننده، کاهش دهنده سختی و استقامت آهن عمل می کند.

تمایل سمنتیت به گرافیتی شدن با افزایش مقدار کربن یا سمنتیت زیاد می شود. با این وجود، فولادهای کربن دار ساده پر کربن از فولادهای کم کربن نسبت به عمل گرافیتی شدن بیشتر مستعد هستند. با این حال، تحت شرایط معمولی گرم کردن و سرد کردن، فولادهای محتوی کمتر از ۰.۱٪ ممکن است به طور سالم و بدون تشکیل هیچگونه کربن گرافیتی به کار روند.

کربن عامل اصلی کنترل ساختمان و خواص فولادهای کربن دار است. تاثیری که کربن در مقاومت و سخت کردن فولاد دارد به مقدار کربن موجود و ساختمان میکروسکوپی آن وابسته است. فولادهای آهسته سرد شده یک ساختمان میکروسکوپی پرلیتی نسبتاً شکننده و نرم دارند در صورتی که فولادهای کربنی سریع سرد شده دارای ساختمان میکروسکوپی مارتنزیتی مقاوم، سخت و شکننده دارند.

### نقش کربن در فولادهای سخت شده :

کربن نقش اساسی در سخت کردن فولادها دارد. در واقع مقدار کربن فولاد، سختی پذیری آن را مشخص می کند. منطقی به نظر می رسد تامادامی که کربن به ۰.۷۷٪ نرسیده باشد، تغییرات سختی به صورت خط راست نشود ولی بعد از این که درصد کربن از ۰.۶۰٪ تجاوز کرد تغییر در سختی به وجود نمی آید. برای مثال اگر مقدار کربن فولادی مامعلوم باشد و وسیله آنالیز مهیا نگردد می توان قسمت کوچکی از آن را به صورت ورقه نازک بریده و بعد از عملیات کوئچ در آب خواص مکانیکی و از جمله سختی آن را تعیین کرد. برای سختی ۵۰ HRC مقدار کربن ۰.۲۰٪ است. یا برای سختی ۶۰ HRC مقدار کربن ۰.۴۰٪ است. نکته مهم این است که این روش برای سختیهای بیشتر از ۶۰ HRC معتبر نیست، زیرا در این محدوده تغییرات سختی به صورت خط مستقیم است.

برای فولاد مشخصی مهمترین عاملی که روی حداکثر سختی ممکنه اثر می گذرد جرم و قطر فلز است. در مورد سطح کوچک حرارت سریع‌ات انتقال می یابد و به این ترتیب سرعت بحرانی سرد شدن کاهش پیدا می

کند. در حالی که برای سطوح بزرگتر مسئله برعکس می باشد یعنی سرعت انتقال حرارت کم شده و در نتیجه سرعت سرد شدن فلز از سرعت بحرانی کمتر خواهد شد. مثالی از این حالت در شکل آمده است. چنانچه مشهود است برای قطر کوچک تا ۰,۵ اینچ سختی ۳۶ HRC به دست می آید ولی برای قطرهای بزرگتر سرعت سرد شدن فلز کاهش یافته و در نتیجه سختی کمتری به دست می آید.

کربن نقش اساسی در فولادها دارد و آب گیری آنها را ممکن می سازد. کربن یک اکسید زداست که ضمناً به کشش و حد الاستیک را بالا برده و درصد افزایش طول و مقاومت به ضربه را کم می کند. فولادی که کمتر از ۲ درصد کربن داشته باشد عملاً آب نمی گیرد. بیش از این تا حدود ۱۲ درصد سختی فولاد پس از آبدهی به سرعت زیاد می شود از این حد به، بعد سختی فولاد افزایش نیافته بلکه خصوصیات خود را برای چکش کاری از دست می دهد. با این حال، آلیاژی دیگری وجود دارند که مثلاً دارای ۱۳ تا ۱۰ درصد کرم بوده و مقدار کربن آنها به ۱/۸ تا ۳/۲ درصد می رسد و کربورهی کرم بسیار مقاوم به وجود می آورند. وقتی که مقدار کربن بیش از ۰,۲۵ درصد باشد در اطراف مرز دانه های فریت یک قشر سمانتیت تشکیل می شود که به مقدار زیادی پلاستیسیته و قابلیت چکش خواری آلیاژ را کاهش می دهد. حتی مقدار خیلی کم کربن روی خواص مکانیکی و فیزیکی فولاد اثر قابل توجهی دارد.

#### فولادهای کربنی :

این نوع فولادها متشکل از کربن - منگنز - سیلیسیم - فسفر و گوگرد می باشند. همان طور که اشاره شد با افزایش مقدار کربن استحکام نهایی - سختی و تنش تسلیم قطعات افزایش یافته و در مقابل درصد ازدیاد طول نسبی، درصد کاهش سطح مقطع و مقاومت در برابر ضربه کاهش می یابد .

گوگرد از سیالیت مذاب فولاد کاسته و تمایل به ایجاد ترک های گرم را افزایش می دهد و به دلیل ایجاد  $FeS$  باعث شکنندگی قطعه می گردند، لذا مقدار گوگرد در این نوع فولادها باید کمتر از ۰/۰۵ درصد باشد (البته در فولادهای خوش تراش به منظور سهولت تراش فولاد مقدار گوگرد حدود ۱ درصد در نظر گرفته می شود ) فسفر باعث کاهش مقاومت در برابر ضربه می گردد، لذا مقدار آن باید کمتر از ۰/۰۵ درصد باشد. منگنز تاثیر مضر گوگرد را خنثی نموده و  $MnS$  ایجاد می نماید. بنابراین مقدار منگنز باید بیش از ۱/۷ برابر گوگرد در نظر گرفته شود. همچنین منگنز در فولادها به عنوان عنصر اکسیژن زدا می باشد و به منظور کنترل گازهای موجود در مذاب مورد استفاده قرار می گیرد و مقدار آن معمولاً بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد می باشد. سیلیسیم در فولاد به صورت محلول بوده بنابراین در زیر میکروسکوپ قابل مشاهده نیست  $MnS$  به صورت فاز خاکستری رنگ رویت می شود. فسفر در فولادها به صورت محلول بوده و قابل رویت نیست.

#### فولادهای کم کربن :

این نوع فولادها محتوی ۰/۱۲ تا ۰/۲ درصد کربن ، ۰/۳۵ تا ۰/۷۰ درصد منگنز، ۰/۲۵ تا ۱۵/۰ درصد سیلیسیم ، حدود ۰/۰۵ درصد فسفر و ۰/۰۵ درصد گوگرد هستند. سیالیت کم و تمایل به ایجاد ترک های

گرم از مشخصات فولادهای کم کربن می‌باشد. استحکام کششی این نوع فولادهای در حالت نرمال شده حدود ۴۰ تا ۴۲ کیلوگرم بر میلیمتر مربع و ازدیاد طول نسبی آن حدود ۲۵ درصد می‌باشد. مصرف اصلی این نوع فولادها در صنایع الکتریکی و صنایع ماشین‌سازی و موارد مشابه می‌باشد. به دلیل این که این فولادها از نرمی خاصی برخوردارند بدون عملیات حرارتی مورد مصرف قرار می‌گیرند. سطح این فولادها را می‌توان از طریق کربوره کردن سخت نمود.

### کاربرد فولادهای کربنی ساده :

فولاد کربنی ساده را در سه گروه کم کربن، کربن متوسط و پر کربن مورد بررسی قرار می‌دهیم. گروه اول که فولادهای ساده کم کربن قرار دارند برای عموم قطعات مهندسی، ساختمان کشتی‌ها راه آهن به کار می‌روند. همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و در مواردی که قطعاً تحت عملیات سختی سطحی قرار می‌گیرند، کاربرد خوبی دارند.

### محدودیت‌های فولادهای ساده کربنی :

اگر چه فولادهای ساده کربنی می‌تواند در گسترده وسیعی از استحکام و نسبتاً ارزان تولید شود، اما خواص این فولادها همیشه جوابگوی تمام کاربردهای مهندسی نیست. به طور کلی فولادهای ساده کربنی محدودیت‌های زیر را دارند :

- ۱- استحکام این فولادها را بدون کاهش چشمگیر در چقرمگی و شکل پذیری نمی‌توان به بیش از  $\psi$  ۱۰۰۰۰۰ رساند.
- ۲- سطح مقطعی بزرگ با ساختار مارتنزیتی نمی‌توان به دست آورد، و این فولادها قابلیت سخت شدن عمقی را ندارند.
- ۳- برای ایجاد ساختار مارتنزیتی در فولادهای ساده کربنی و کربن متوسط آهن‌گهای سریع آبدهی لازم است. این آبدهی سریع منجر به اعوجاج و ترک خوردن فولاد آبدیده می‌شود.
- ۴- مقاومت به ضربه فولادهای ساده کربنی در دماهای پایین ضعیف است.
- ۵- در بیشتر محیط‌های صنعتی مقاومت به خوردگی فولادهای ساده کربنی ضعیف است.
- ۶- فولادهای ساده کربنی در دماهای بالا به آسانی اکسید می‌شوند.

با در نظر گرفتن دلایل فوق و دلایل دیگر، تولید فولادهای آلیاژی توسعه یافت. این فولادها اگر چه از نظر قیمت از فولادهای ساده کربنی گرانتر ولی در بیشتر موارد کاربرد آنها اقتصادیتر است. در بعضی از موارد کاربردی، فولادهای آلیاژی موادی‌اند که قادر به جوابگویی به تمام خواسته‌های مهندسی می‌باشند. عناصر آلیاژی که در تولید فولادهای آلیاژی به کار می‌روند، عبارت‌اند از: نیکل، کرم، مولیبدن، منگنز، سیلیسیم و وانادیم. برخی عناصر دیگر از جمله کبالت، مس و سرب گاهی افزوده می‌شوند.

## فولاد کم کربن :

آلیاژی که بیش از این کربن دارند به عنوان چدن شناخته می شوند. بر اساس تعریف موسسه آهن و فولاد آمریکا، American Iron and Steel Institute، فولادهای کربنی آلیاژی از آهن و کربن هستند که معمولاً در آنها مقدار کربن بیشتر از ۱ درصد، مقدار منگنز بیشتر از ۱/۶۵ درصد و مقدار مس و سیلیکون بیشتر از ۰/۰۶ درصد نیست. عناصر آلیاژی دیگر معمولاً مقادیر قابل توجهی نیستند. خواص و قابلیت جوش پذیری این فولادها بستگی به مقدار کربن آنها دارد، عناصر دیگر دارای تاثیر محدود هستند. فولادهای کربنی بصورت کلاسه بندی شده بر اساس مقوله اکسیژن، به صورت زیر طبقه بندی می شوند :

۱- فولادهای نا آرام: یک نوع فولاد کم کربن اکسیژن زدایی نشده است.

۲- فولاد ریختگی شبه فولاد نیمه آرام.

۳- فولاد نیمه آرام: به این فولاد اکسیژن زدایی از قبیل سیلیسیم به میزان کم در حدود ۰/۱ درصد اضافه می شود.

۴- فولاد آرام: فولادی که اکسیژن آن به طور کامل توسط منگنز و سیلیسیم و یا آلومینیوم قبل از ریختن، زدوده شود. عملیات اکسیژن زدایی و پروسه های ساخت فولاد بر روی مشخصات و خواص فولاد تاثیر می گذارد.

تغییرات اکسیژن زدایی و پروسه های ساخت فولاد بر روی خواص فولاد تاثیر می گذارد. تغییرات مقدار کربن بیشترین تاثیر را بر روی خواص مکانیکی دارد. با افزایش مقدار کربن، سختی و استحکام فولاد افزایش می یابد.

فولادهای ساده کربنی به چهار دسته تقسیم بندی می شوند که عبارتند از

۱- فولادهای کم کربن، Low Carbon Steel، با حداکثر ۰/۱۵ درصد کربن

۲- فولادهای با کربن جزئی (معمولی)، Mild Steel، با ۰/۱۵-۰/۳۰ درصد کربن

۳- فولادهای با کربن متوسط، Medium carbon steel، با ۰/۳۰-۰/۵۰ درصد کربن

۴- فولادهای با کربن بالا (پرکربن)، High carbon steel، با ۰/۵۰-۱ درصد کربن

## ۱- فولادهای کم کربن :

درصد کربن این فولادها حداکثر ۰/۱۵٪ می باشد، در صنعت گاهی به فولادهای کششی نیز معروف می باشند، به علت اینکه تغییر طول نسبی بالایی دارند اکثراً به صورت ورقه های نازک تولید می شوند و گاهی هم به صورت سیم و یا مفتول به کار می روند، همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و از قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و مشکل خاصی در جوشکاری ندارند. در مواردی که قطعات تحت عملیات حرارتی سختکاری سطحی قرار می گیرند کاربرد خوبی دارند. هر فلزی که جوش پذیری بهتری داشته باشد و به سادگی بتوان با آن به جوشی که خواص فلز جوش، منطقه HAZ و فلز پایه یکسان

دست یافت، جوشکاری ساده تری دارد. اگر فلزی جوش پذیری خوبی داشته باشد، با کمترین دانش فنی، می توان آن را به خوبی جوش داد.

در فولادها معمولاً جوش پذیری را با کربن معادل ارتباط می دهند، اکثراً هر چه کربن معادل بالاتر باشد جوش پذیری کمتر می شود، چرا که هر چه کربن معادل بیشتر باشد، سختی پذیری بیشتر می شود. بنابراین احتمال ایجاد فاز مارتنزیت و ایجاد تردی در فولادها بیشتر می شود، بنابراین جوش پذیری کاهش می یابد. به عبارت دیگر اتصال این فولادها با کمتر از ۰/۱۵٪ کربن که به عنوان فولادهای کم کربن شناخته می شوند، با روشهای جوشکاری و لحیم کاری به سهولت انجام می شود. این فولادها دارای سختی پذیری پایینی هستند. یک فولاد حاوی ۰/۱۵٪ کربن وقتی با سرعت بالا سرد شود قابلیت سخت شوندگی ۳۰-۴۰ HRC را دارد.

## ۲- فولاد با کربن جزئی:

درصد کربن در این فولادها ۰/۳۰٪ - ۰/۱۵٪ می باشد و آنها را فولادهای نرم می نامند. این فولادها دارای جوش پذیری خوبی هستند. تغییر طول نسبی کمتری نسبت به فولاد کم کربن دارند، اما این فولادها استحکام کششی بهتری دارند. معمولاً به صورت Plate دیده می شوند و گاهی اوقات به صورت نبشی و میلگرد نیز تولید می شوند. معروفترین فولاد از این دسته از فولادها، ST۳۷ می باشد. فولادهای کم کربن و کربن جزئی را به عنوان فولادهای ساختمانی می شناسند و در صنعت به آنها آهن آلات گفته می شود. جوشکاری با الکتروود دستی معمول ترین روش جوشکاری فولادهای کم کربن و کربن جزئی می باشد، همچنین جوشکاری با قوس زیر پودری نیز دیگر روش معمول برای جوشکاری این دو نوع فولاد می باشد.

## ۳- فولادهای کربن متوسط:

درصد کربن در این فولادها ۰/۵۰٪ - ۰/۳۰٪ می باشد و تغییر چشم گیری در قابلیت جوش پذیری نسبت به دو گروه قبل دارند. فولادهای کربن متوسط به صورت گسترده ای در فولادهای ابزار مورد استفاده قرار می گیرند. بسیاری از این فولادها به دلیل مقاومت به سایش بالایی که دارند انتخاب می شوند و جهت حصول خواص مطلوب بر روی آنها عملیات حرارتی آنها انجام می گیرد، جوشکاری ممکن است قبل از عملیات حرارتی نهایی صورت گیرد.

فولادهای حاوی حدوداً ۰/۳۰٪ کربن و مقادیر نسبتاً پایین منگنز دارای قابلیت جوشکاری خوبی می باشند. اگر فولاد دارای ۰/۵۰٪ کربن باشد و رویه های جوشکاری فولاد های نرم برای آن استفاده شود، بی شک در اثر جوشکاری ترک ایجاد می شود. همچنین هر گاه درصد کربن در فولاد افزایش یابد بایستی رویه های جوشکاری جهت جلوگیری از شکل گیری مقادیر بالای مارتنزیت در منطقه متاثر از حرارت طراحی شود.

#### ۴- فولادهای با کربن بالا :

فولادهای با درصد کربن بالاتر از ۰/۵۰٪ فولاد های پرکربن هستند که قابلیت جوش پذیری خیلی ضعیف دارند. فولادهای کربن بالا معمولاً برای کاربردهایی که سختی و مقاومت به سایش بالایی نیاز است بکار می رود، این خواص با عملیات حرارتی حاصل می شوند.

#### فولادهای کربنی :

فولادهای کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق میشود که کربن اصلی ترین عنصر آلیاژی آن باشد و عناصری نظیر منگنز، سیلیسیم و آلومینیم بمیزان کم در آن حضور داشته و فقط بمنظور عملیات کیفی (اکسیژن زدایی، تلقیح و ...) به آن افزوده می گردند.

کربن نقش اساسی را در افزایش استحکام فولادها ایفا میکند و این استحکام تا حد زیادی بمیزان کربن موجود در آلیاژ بستگی دارد

فولادهای کربنی را به سه دسته تقسیم میکنند

(۱) میزان کربن پایین تر از ۰,۲٪

(۲) میزان کربن بین ۰,۵ - ۰,۲٪

(۳) میزان کربن بالاتر از ۰,۵٪

فولادهای کربنی کاربرد وسیعی در صنعت داشته و معمولاً در حالت آنیل و یا نرمالیزه بکار می روند ولی در موارد خاص در حالت سختکاری و تمپر شده نیز مورد استفاده قرار میگیرند.

همچنین فولادهای کم کربن بدلیل خواص هدایت مغناطیسی کاربرد زیادی در صنعت برق دارند.

در فولادهایی که بمنظور دستیابی به سختی سطحی، تحت عملیات سمانتاسیون قرار میگیرند بعلت ایجاد گرادیان غلظتی از فولادهای کم کربن استفاده میشود.

#### تاثیر عناصر آلیاژی :

##### ➤ کربن :

در فولادهای کربنی میزان کربن ممکن است از چند صدم درصد تا نزدیک به ۲٪ تغییر کند. افزایش میزان کربن باعث بالا رفتن خواص سختی و استحکام فولاد میگردد و مقدار پرلیت را در ساختار میکروسکوپی افزایش میدهد تا اینکه در ۰,۸٪ کربن ساختار زمینه کاملاً پرلیتی خواهد شد. کربن نقش اساسی را در فولادها داراست و آبکاری آنها را ممکن می سازد. فولاد کمتر از ۰,۲٪ کربن عملاً آبکاری نمیشود. بیش از این مقدار تا حدود ۱,۲٪ سختی فولاد پس از آبکاری به سرعت زیاد می شود. از این حد به بعد، سختی فولاد افزایش نیافته و خصوصیات چکش خواری خود را از دست میدهد.



### ➤ منگنز :

این عنصر خاصیت اکسیژن زدایی خوبی دارد. اصولاً میزان منگنز در فولادهای کربنی بین ۰,۵ و ۰,۸٪ میباشد. این عنصر با آسانی با گوگرد موجود در مذاب ترکیب شده و سولفید منگنز تشکیل میدهد و از ترکیب گوگرد با آهن جلوگیری میکند. بطور کلی بالا بودن مقدار منگنز باعث درشت شدن دانه های فولاد میشود. در حضور منگنز عملیات آهنگری راحت تر انجام می پذیرد. منگنز مقاومت و سختی را بالا برده و فولاد را جهت آبکاری آماده تر می نماید، منگنز اضافی فولاد را شکننده می کند.

### ➤ گوگرد :

گوگرد در فولاد بعنوان یک ناخالصی مضر محسوب میشود. این عنصر با آهن یک ترکیب یوتکتیکی با نقطه ذوب پایین بنام سولفید آهن میدهد. از آنجا که دارای نقطه ذوب پایینی است در آخرین مراحل انجماد و در مرز دانه ها منجمد شده م باعث تردی و شکنندگی فولاد میشود. همچنین این ترکیب با توجه به نقطه ذوب پایینی که دارد در حین عملیات حرارتی، ذوب شده و باعث گسیختگی و ترک میگردد.

وجود منگنز در فولاد بعزت میل ترکیبی بیشتر آن با گوگرد نسبت به آهن باعث ترکیب  $MnS$  میگردد.  $MnS$  دارای نقطه ذوب بالاتری نسبت به  $FeS$  میباشد (۱۶۱۰) و به همین دلیل در اثر حضور منگنز، مسئله گسیختگی و ترک به حداقل می رسد.

عناصری نظیر  $Be, Zr, Cr, Ti$  اثرات مخرب گوگرد را کاهش داده و یا از بین می برند و در مقابل عناصری نظیر  $Ni, Co, Mo$  اثر مضر گوگرد را تشدید میکنند. آخالهای گوگرد اثرات بسیار مضر داشته و قابلیت جوشکاری و مقاومت خوردگی را نیز کاهش میدهند.

به همین دلیل مقدار گوگرد در فولاد باید بسیار محدود باشد. درصد گوگرد در فولاد بسته به نوع فولاد از ۰,۰۴ تا ۰,۰۶٪ بوده و در فرآیند جوشکاری تا حد ۰,۰۲٪ تقلیل می یابد.

کاهش مقدار گوگرد سبب افزایش مقاومت به ضربه ی فولاد می شود.

### ➤ فسفر :

فسفر در آهن الفا (فریت) و آهن گاما (آستینیت) حل شده و تشکیل فسفید آهن  $Fe_3P$  و فاز  $Fe_2P$  را میدهد، فسفر در آهن بشدت حد الاستیک و حد گسیختگی را بالا برده و در حالیکه قابلیت پلاستیسیته را بطور قابل توجهی کاهش میدهد.

کاهش شکل پذیری در فولاد در اثر وجود فسفر خود به مقدار کربن موجود در فولاد بستگی داشته و هرچه مقدار آن بیشتر باشد اثر فسفر بر روی کاهش خاصیت پلاستیسیته بیشتر است برای اکثر فولادها، فسفر یک ناخالصی محسوب می گردد و مقدار درصو آن بسته به مرغوبیت فولاد، نباید از ۰,۰۰۲۵ تا ۰,۰۵٪ تجاوز کند .

## کاربرد فولادهای کربنی ساده :

در این بخش، کاربرد فولادهای کربنی ساده را در سه گروه کم کربن، کربن متوسط و پر کربن مورد بررسی قرار می‌دهیم.

گروه اول که فولادهای ساده کم کربن قار دارند برای عموم قسعات مهندسی، ساختمان کشتی ها، راه آهن بکار میروند. همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و در مواردی که قطعات تحت عملیات سختی سطحی قزاز میگیرند، کاربرد خوبی دارند. برای فولادهای کربن متوسط میتوان به صنایع حمل و نقل، راه آهن، ماشین آلات و دستگاه های نورد اشاره کرد و همچنین وقتی که سایش در حدی متوسط مدنظر باشد، مورد استفاده قرار میگیرند.

در مواردی که قطعات ریخته شده میبایستی تز سختی بالایی برخوردار باشند، فولادهای ساده پر کربن کاربرد بسیار خوبی داشته و همچنین در ساخت غلطکها، ابزار آلات ماشینهای صنعتی، طعات مقاوم به سایش نیز بکار می روند.

اصولا در فولادهای کربنی ساده و عاری از هرگونه عنصر آلیاژی، با ازدیاد در صد کربن خواسی از قبیل چقرمگی و قابلیت جوشکاری کاهش پیدا کرده و در مقابل استحکام آن افزایش می یابد.

## ساختار میکروسکپی :

اگر یک فولاد ساده کربنی (کربن کمتر از ۰.۵٪) را به آهستگی داخل یک قالب سرد کنیم، فاز دلتا اولین فاز جامدی است که جوانه میزند، در صورتی که سیکل سرد کردن این فولاد را ادامه دهیم، فاز آستنیت از فاز (مذاب + دلتا) جوانه زده و با کاهش بیشتر درجه حرارت، آستنیت به فاز فریت بصورت ساختار ویدمن اشتاتن (widman eshtaten) تبدیل می گردد. در دمای یونکتوئید، آستنیت باقیمانده به پرلیت تحول شافته که نتیجتاً پس از سر شده، ساختار نهایی قطعه فریتی ویدمن اشتاتن (مناطق روشن) که در مرزخانه های آستنیت رسوب کرده و لایه های تیره رنگ فریت و سمنتیت (پرلیت) خواهد بود. بطور کلی این فولاد در شرایط ریختگی از خواص پایینی برخوردار است به همین دلیل برای دستیابی به خواص مطلوب آنرا داخل کوره تا دمای آستنیت حرارت می دهند که میزان دمای کوره به درسو کربن فولاد بسگی دارد، و سپس بسته به خواص مورد نیاز آنرا با سرعت های متفاوت سرد میکنند. در اثر این عمل استحکام فولاد افزایش می یابد.

## خواص مکانیکی فولادهای کربنی :

همانطور که میدانید، میتوان فولادهای کربنی با خواص استحکامی متنوعی از طریق عملیات حرارتی تولید کرد. با انتخاب ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب مجموعه ای از خواص نظیر استحکام، سختی، انعطاف پذیری، مقاومت به خستگی و استحکام ضربه ای، قابل دسترس میباشد. دلی رابطه بین این خواص از نکات مهم و قابل توجه می باشد. مثلاً سختی بالا، کاهش چقرمگی را به همراه دارد و

بالعکس. در فولادهای کربنی با توجه به ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب به استحکام کششی بالاتر از (۹۸۰ نیوتون بر میلیمتر مربع) نیز میتوان دست یافت! استحکام کششی و سختی فولادهای کربنی رابطه مستقیمی با انعطاف پذیری آنها دارد

فولاد کم‌آلیاژ پراستحکام که گاه «ریزآلیاژ» نیز نامیده می‌شود، نوعی فولاد آلیاژی است که با افزودن مقدار اندکی از عناصر آلیاژی مانند وانادیم، کلمبیم و تیتانیم تهیه می‌شود و برتری‌هایی بر فولاد کربنی معمولی دارد.

به سبب استحکام زیاد ریزآلیاژها، این‌گونه فلزات را می‌توان در ساخت قطعات باریک به کار برد. در صنایعی که کاهش وزن در درجه اول توجه قرار دارد (مانند صنایع خودرو) استفاده از ریزآلیاژها رونق بیشتری دارد. استحکام محصولی که با این مواد ساخته می‌شود بدون عملیات حرارتی از ۴۱۵ تا ۸۲۵ مگاپاسکال تغییر می‌کند.

با توجه به اینکه ریزآلیاژ در قطعه‌های فلزی باریک‌تر به کار می‌رود، خوردگی باعث کاهش چشمگیر استحکام در این‌گونه فلزات می‌شود. اما، می‌توان با افزودن فلزاتی همچون مس، سیلیکون، نیکل، کروم و فسفر بر مقاومت قطعه در برابر خوردگی جوی افزود که این امر خود مستلزم صرف هزینه‌است. گالوانیزه کردن، پوشش با روی و آبکاری‌های ضدزنگ دیگر می‌تواند ریزآلیاژها را در برابر خوردگی محافظت نماید.

ریزآلیاژها معمولاً محتوی ۰٫۱۵ تا ۰٫۵۵ درصد کربن، ۰٫۶ تا ۱٫۶۵ درصد منگنز، ۰٫۱۵ تا ۰٫۶۵ درصد سیلیکون و مقادیر اندکی از وانادیم، کلمبیم (نیوبیم)، تیتانیم یا نیکل و مولیبدن هستند. وانادیم، کلمبیم و تیتانیم کاربرد و/یا نیتريدی تولید می‌کنند که در اکثر دماهای فورجینگ در محلول جامد باقی می‌مانند، اما در فرایند سرد کردن که در سرعت‌های کنترل شده انجام می‌شود رسوب می‌شوند. پدیده رسوب سبب افزایش قدرت این فلزات پس از عملیات فورجینگ و سرد کردن کنترل شده می‌شود.

گروه‌هایی از ریزآلیاژها با نام «شکل پذیری بهبود یافته» (تولید شده با ASTM A ۷۱۵ و ASTM ۶۵۶A) (استحکامی معادل با ۸۰،۰۰۰ psi دارند، در حالیکه تنها با صرف ۲۴٪ هزینه بیشتر از فولاد کربنی غیرآلیاژی که استحکامی برابر ۳۴،۰۰۰ psi دارد به این نیرو دست می‌یابیم. چون ریزآلیاژها باید با فلزات دیگر سازه‌ای مانند AISI ۱۰۱۰ و آلومینیم رقابت کنند، باید تا حد امکان ارزان باشند. اما ساختن چنین محصولی تا حد زیادی رؤیایی است. در محصول نهایی با افزایش و کاهش‌های متعددی روبرو می‌شویم که با توجه به نیاز خود باید مورد مناسب را استفاده کنیم. برای مثال، افزایش قدرت از ۳۵،۰۰۰ تا ۸۰،۰۰۰ به کاهش ۳۰ تا ۴۰ درصدی شکل‌پذیری می‌انجامد.

ریزآلیاژهای عنوان شده در بالا اصولاً برای استفاده در صنعت خودرو و به خصوص در قسمت‌هایی ساخته شده‌اند که کاهش وزن بدون از دست دادن قدرت اهمیت دارد. مثلاً قطعات شاسی، سیستم هدایت کننده و تعلیق، سپر و لاستیک نمونه‌هایی از استفاده اینگونه ریزآلیاژها در اتومبیل‌های سواری است.

در دستگاه‌هایی همچون جرثقیل، مخلوط‌کن بتن، ماشین‌های کشاورزی، کامیون‌ها، تریلرها، برج‌های انتقال قدرت، میل‌های ریزآلیاژی با حداقل قدرت ۵۰,۰۰۰ تا ۷۰,۰۰۰ استفاده می‌شوند. شکل دادن، کنده‌کاری، اره کردن و انجام ماشینکاری‌های دیگر بر روی ریزآلیاژها ۲۵ تا ۳۰ درصد بیشتر از فولادها انرژی می‌برد.

ریزآلیاژها بر خلاف اکثر فولادهای کربنی در مقابل خوردگی مقاومت زیادی دارند. برای مثال «فرشته شمال» در انگلستان (که به طور عمده از آلیاژی با نام COR-TEN که از مقدار اندکی مس تشکیل شده است، ساخته شده) نمونه بارزی از ریزآلیاژهای بی‌رنگ است. چگالی ریزآلیاژها معمولاً ۷۸۰۰  $\text{kg/m}^3$  است.

#### فولاد های کربنی :

فولاد های کربنی بیشترین تناژ تولید قطعات ریختگی فولادی را به خود اختصاص می دهد. این نوع فولاد ها متشکل از :کربن، منگنز، سیلیسیم، فسفر و گوگرد می باشند. کربن بیشترین تاثیر را در خواص مکانیکی قطعات تولیدی بر عهده داشته ،فسفر و گوگرد عناصر نامطلوب (به استثنا فولاد های خوش تراش که درصد گوگرد در آن را به منظور سهولت تراش فولاد، حدود ۱ درصد در نظر می گیرند) می باشند. گوگرد از سیالیت مذاب فولاد کاسته و تمایل به ایجاد ترکهای حرارتی گرم را (که در جریان انجماد قطعه پیش می آید) افزایش می دهد. فسفر نیز موجب تنزل مقاومت قطعات ریختگی در مقابل ضربه شده و با افزایش مقدار آن در فولاد مقاومت قطعات در برابر ضربه شدیداً (به خصوص در درجات حرارتی پایین) کاهش می یابد. به دلایل فوق مجموع فسفر و گوگرد در فولاد نبایستی از مرز ۰/۱ درصد تجاوز نماید.

با افزایش مقدار کربن در فولاد، استحکام نهایی، سختی و تنش تسلیم قطعات افزایش یافته و در مقابل از درصد ازدیاد طول نسبی، درصد کاهش سطح مقطع کششی و مقاومت در مقابل ضربه آنها کاسته می شود. منگنز در فولاد عنصر اکسیژن زدا بوده و نقش مهم دیگر آن (نظیر حالت چدن‌ها) خنثی نمودن تاثیر مضر گوگرد جلوگیری از پیدایش FeS و کمک به ایجاد MnS است. به این منظور مقدار منگنز را بایستی بیش از مقدار Mn ۷۱ / ۱ S در نظر گرفت. مقدار منگنز در این نوع فولاد ها معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۸ درصد است. سیلیسیم نیز نظیر منگنز عنصری اکسیژن زدا بوده و به منظور کنترل گاز های محتوی مذاب مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار سیلیسیم در این نوع فولاد ها بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد

است.

منگنز و سیلیسیم در فولاد به صورت محلول بوده لذا در زیر میکروسکوپ قابل رویت نیستند. هر دو این عناصر قابلیت سختی پذیری قطعات ریختگی را (در جریان عملیات حرارتی و سرد کردن) افزایش می دهد. سولفور منگنز به صورت فازی خاکستری رنگ در ساختار میکروسکوپی قطعات فولادی دیده می شود. فسفر برخلاف حالت چدن ها که به صورت فاز استدییت در ساختار میکروسکوپی قطعات قابل رویت است در قطعات فولادی به علت محلول بودن آن در فولاد قابل مشاهده نیست.

بسته به شرایط مصرف و ویژگی های فولاد های کربنی قطعات ریختگی را می توان در سه گروه زیر تقسیم بندی نمود:

گروه اول فولاد های ریختگی برای مقاصد عمومی نظیر پایه ها و اجزای غیر حساس ماشین آلات. گروه دوم برای مقاصد اختصاصی و تولید قطعات صنعتی و مهندسی نظیر شیر ها و اتصالات چرخ دنده ها ... و گروه سوم قطعات برای مقاصد ویژه هستند. کار این گونه قطعات در تحت شرایط حساس بوده و رعایت اصول ایمنی و اطمینان از سلامت کار آنها ضروری است. نظیر چرخ قطار، اکسلها، سیستم های تعلیقی نظیر سگ دست خودرو ها و ..

تفاوت گروههای فوق در میزان فسفر و گوگرد محتوی فولاد می باشد.

حداکثر مقدار مجاز گوگرد و فسفر در گروههای سه گانه فوق به قرار زیر است:

گروه اول : ۰/۰۵ - ۰/۰۷ درصد گوگرد و ۰/۰۵ تا ۰/۰۸ درصد فسفر.

گروه دوم: ۰/۰۴۵ - ۰/۰۶ درصد گوگرد و ۰/۰۴ تا ۰/۰۷ درصد فسفر.

گروه سوم : ۰/۰۴۵ - ۰/۰۵ درصد گوگرد و ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ درصد فسفر.

مقدار کربن، منگنز و سیلیسیم فولاد ها در سه گروه فوق یکسان بوده و خواص مکانیکی قطعات تولیدی نیز مشابه خواهد بود. ترکیب شیمیایی فولاد های ساده کربنی در محدوده زیر قرار می گیرند.

منگنز ۰/۵ - ۱/۰

سیلیسیم ۰/۲ - ۰/۸

فسفر حداکثر ۰/۰۵

گوگرد حداکثر ۰/۰۶

**فولاد های کم کربن :**

این فولاد ها معمولا محتوی ۰/۱۲ تا ۰/۲ درصد کربن، ۰/۳۵ تا ۰/۶۵ درصد منگنز، ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ درصد سیلیسیم، حدود ۰/۰۶ درصد فسفر و نزدیک ۰/۰۵ درصد گوگرد هستند. این نوع فولاد ها دارای سیالیت کم و تمایل به ایجاد ترک های گرم در قطعات ریختگی می باشند. استحکام کششی این نوع فولاد ها در حالت نرماله شده حدود ۴۰ تا ۴۲ کیلوگرم بر میلیمتر مربع (۳۹۴ تا ۴۱۰ نیوتن بر میلیمتر

مربع (و ازدیاد طول نسبی حدود ۲۵ درصد می باشند. مصرف اصلی این نوع فولاد ها در صنایع الکتریکی و صنایع ماشین سازی نظیر ریل راه آهن، بدنه پاتیلها و قاب بدنه موتور ها می باشد. این نوع فولاد ها به دلیل نرمی آن بدون عملیات حرارتی مورد مصرف قرار می گیرند. سطح این نوع فولاد ها را می توان از طریق کربوره کردن سخت نمود.

### فولاد های میان کربن :

محتوی ۰/۲ تا ۵/۰ درصد کربن، ۰/۳۵ تا ۰/۸ درصد منگنز، ۰/۲ تا ۰/۴۵ درصد سیلیسیم، ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ درصد فسفر و ۰/۰۳ تا ۰/۰۵ درصد گوگرد می باشند این نوع فولاد ها دارای مشخصه ریخته گری بهتری از فولاد های کم کربن بوده، سیال تر و تمایل کمتری به ایجاد ترک های گرم در قطعات ریخته گری دارند. استحکام کششی آنها بین ۴۲ تا ۵۵ کیلوگرم بر میلیمتر مربع (۴۱۰ تا ۵۴۰ نیوتن بر میلیمتر مربع) و ازدیاد طول نسبی ۱۲ تا ۲۳ درصد می باشند. مصرف اصلی این نوع فولاد ها در صنعت ماشین سازی و در تولید قطعات ریخته گری کوچک، متوسط و بزرگ، صنایع حمل و نقل، دستگاههای نورد و ماشین های راهسازی و ساختمانی است. در میان انواع فولاد های ساده کربنی این نوع فولاد ها بیشترین مقدار مصرف را دارا می باشند.

### فولاد های پر کربن :

این نوع فولاد ها محتوی ۰/۵ تا ۶/۱ درصد کربن، ۰/۵ تا ۰/۸ درصد منگنز، ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ درصد فسفر و ۰/۰۴ تا ۰/۰۵ درصد گوگرد هستند. این فولاد ها دارای سیالیت بالا و عدم تمایل به ترک های حرارتی گرم است. مصرف عمده این نوع فولاد ها در تولید قطعاتی نظیر غلتک های نورد گرم، چرخ دنده ها، قالبهای اکستروژن قطعات مقاوم در مقابل سایش است.

### فولادهای کربنی :

فولادهای کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق می گردد که کربن اصلی ترین عنصر آلیاژی آن باشد و عناصری نظیر منگنز، سیلیسیم و آلومینیوم به میزان کم در آن حضور داشته و فقط به منظور اکسیژن زدایی به آن اضافه می گردند .

کربن نقش اساسی را در افزایش استحکام فولادها ایفا می کند و این استحکام تا حد زیادی به میزان کربن موجود در آلیاژ بستگی دارد .

### فولادهای کربنی را به سه دسته تقسیم می کنند :

- ۱- میزان کربن پایین تر از ۰,۲ %
- ۲- میزان کربن بین ۰,۲ - ۰,۵ %
- ۳- میزان کربن بالاتر از ۰,۵ %

فولادهای کربنی کاربرد وسیعی در صنعت داشته و معمولاً در حالت آنیل و یا نرمالیزه به کار می‌روند ولی در موارد خاص در حالت سختکاری و تمپر شده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین فولادهای کم کربن به دلیل خواص هدایت مغناطیسی کاربرد زیادی در صنعت برق دارند. در فولادهایی که به منظور دستیابی به سختی سطحی، تحت عملیات سمانتاسیون قرار می‌گیرند به‌علت ایجادگردایان غلظتی از فولادهای کم کربن استفاده می‌شود.

### تأثیر عناصر آلیاژی :

#### ➤ کربن :

در فولادهای کربنی میزان کربن ممکن است از چند صدم درصد تا نزدیک به ۲٪ تقلیل می‌یابد و از این مدوده نباید تجاوز کند . کاهش مقدار گوگرد باعث افزایش مقاومت به ضربه فولاد می‌گردد .

#### ➤ فسفر :

فسفر در آهن  $\alpha$  و  $\gamma$  حل شده و تشکیل فسفید آهن  $Fe_3P$  و فاز  $Fe_2P$  را می‌دهد، فسفر در آهن به شدت حد الاستیک و حد گسیختگی را بالا برده در حالی که قابلیت پلاستیسیته را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد .

کاهش شکل‌پذیری در فولاد در اثر وجود فسفر خود به مقدار کربن موجود در فولاد بستگی داشته و هر چه مقدار آن بیشتر باشد فسفر بر روی کاهش خاصیت پلاستیسیته بیشتر است برای اکثر فولادها، فسفر یک ناخالصی محسوب می‌گردد و مقدار درصد آن بسته به مرغوبیت فولاد، نباید از ۰,۰۰۲۵ - ۰,۰۰۵٪ تجاوز کند .

### کاربرد فولادهای کربنی ساده :

در این بخش، کاربرد فولادهای کربنی ساده را در سه گروه کم کربن، کربن متوسط و پر کربن مورد بررسی قرار می‌دهیم. گروه اول که فولادهای ساده کم کربن قرار دارند برای عموم قطعات مهندسی، ساختمان کشتی‌ها، راه‌آهن به کار می‌روند. همچنین این فولادها از خواص مغناطیسی بالا و قابلیت جوشکاری خوبی برخوردار بوده و در مواردی که قطعات تحت عملیات سختی سطحی قرار می‌گیرند، کاربرد خوبی دارند .

برای فولادهای کربن متوسط می‌توان به صنایع حمل و نقل راه آهن، ماشین‌آلات و دستگاه‌های مورد اشاره کرد و همچنین وقتی که سایش در حد متوسط مد نظر باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواردی که قطعات ریخته شده می‌بایستی از سختی بالایی برخوردار باشند، فولادهای ساده پر کربن کاربرد بسیار خوبی داشته همچنین در ساخت غلطکها، ابزار و آلات ماشینهای صنعتی، قطعات مقاوم به سایش نیز به کار می‌روند .



اصولا در فولادهای کربنی ساده و عاری از هر گونه عنصر آلیاژی، با ازدیاد درصد کربن خواصی از قبیل چقرمگی و قابلیت جوشکاری کاهش پیدا کرده و در مقابل، استحکام آن افزایش می‌یابد .

### ساختار میکروسکوپی و خواص مکانیکی فولادهای کربنی :

#### ساختار میکروسکوپی :

اگر یک فولاد کربنی را به آهستگی داخل یک قالب سرد کنیم، فاز دلتا اولین فاز جامدی است که به وجود می‌آید، در صورتی که سیکل سرد کردن این فولاد را ادامه دهیم، فاز آستنیت از فاز جوانه زده و با کاهش بیشتر درجه حرارت آستنیت به فاز فریت به صورت ساختار صفحه‌ای ویدمن اشتاین تبدیل می‌گردد. در دمای پوتکتوئیدی آستنیت باقیمانده (Retained Austenite) به پرلیت تحول یافته که نتیجتاً پس از انجماد، ساختار نهایی به صورت فاز فریتی ویدمن اشتاین ( مناطق روشن) که در مرز دانه‌های آستنیت رسوب کرده و لایه‌های تیره رنگ فریت و سمنتیت خواهد بود .

به طور کلی این فولاد در شرایط ریختگی از خواص پایینی برخوردار می‌باشد که جهت دستیابی به خواص بهتر آنرا داخل کوره تا دمای آستنیت حرارت می‌دهند که میزان دمای کوره به درصد کربن فولاد بستگی دارد. برای دسترسی به خواص و ساختار مورد نظر، آنها را با سرعت مناسبی سرد می‌کنند. با افزایش درصد کربن به میزان پرلیت افزوده شده، در نتیجه استحکام فولاد افزایش می‌یابد .

#### خواص مکانیکی فولادهای کربنی :

همان طوری که می‌دانیم، می‌توان فولادهای کربنی با خواص استحکامی متنوعی تولید ؟ با انتخاب ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی مناسب، مجموعه‌ای از خواص نظیر استحکام، سختی، انعطاف‌پذیری، مقاومت به خستگی و استحکام ضربه‌ای قابل دسترس می‌باشد. ولی رابطه بین این خواص از نکات مهم و قابل توجه می‌باشد، مثلاً سختی بالا، اهش چقرمگی را به همراه دارد و قابلیت انعطاف‌پذیری کم با استحکام بالا همراه است .

### فولادهای پر آلیاژ

فولادهای پر آلیاژ ریخته‌گری شده به طور گسترده به دلیل مقاومت به خوردگی در محیط‌های آبی در دمای محیط و یا نزدیک به این دما و یا کار در اتمسفر با گاز داغ و یا دماهای بالا (بیش از ۶۵ یا ۱۲۰۰) یا مورد استفاده قرار می‌گیرند. فولادهای ریخته‌گری پر آلیاژ به طور معمولی بر اساس ترکیبشان و طبق استاندارد انجمن ریخته‌گران آمریکا طبقه بندی می‌شوند. این طبقه بندی با MSTM نیز تطابق داده شده است (مثال از این نحوه نامگذاری CF-/M است).

اولین حرف نشان دهنده این است که آیا بر این محیط خورنده آبی مناسب است © و یا برای محیطی با دمای بالا (H) حرف دوم نشان دهنده ترکیب میانگین کروم و نیکل آلیاژ طبق شکل ۱ می باشد. هر مقدار که درصد نیکل افزایش یابد حروف نیز از ATHLON به سمت Z تغییر می یابند. حرف یا حروف بعدی سپس از دو حرف اول نشان دهنده ماکزیمم میزان کربن می باشند. (درصد، ضرب درصد شده اند). در نهایت نیز چنانچه عناصر دیگری موجود باشند. بوسیله حروفی که بعد از خط تیره نوشته می شوند. (sullix) نشان داده می شوند. بنابراین CF-۸M نشان دهنده آلیاژ C که دارای مقاومت خوردگی (C) و ۱۹٪ کروم و ۱۹٪ نیکل می باشد و دارای ماکزیمم کربن ۰٫۰۸٪ و دارای مولیبدن برخی از فولادهای بر آلیاژ ریختن گری شده دارای بسیاری از خواص مشابه ریخته گری فولادهای فولادی کم آلیاژ می باشند (به مقاله ای تحت عنوان فولادهای کم آلیاژ در این جلد مراجعه شود).

برخی از خواص مکانیکی این گروه از فولادها (برای مثال سختی و استحکام تسلیم) می توانند بوسیله عملیات حرارتی مناسب تغییر یابند. با این حال فولادهای ریخته گری پر آلیاژی که دارای بیش از ۲۰ الی ۳۰ درصد کروم Ni+ می باشند، تغییرات فازی مشابه فولادهای کربنی ساده و کم آلیاژ در حین حرارت دهی پایین دمای اتاق و دمای اتاق و دمای ذوب از خود نشان نمی دهند. این مواد بنابراین غیر قابل سخت کردن می باشند و خواصشان وابسته به ترکیب است و نه عملیات حرارتی بنابراین توجه ویژه ای می بایت داشت برای هر گروه از فولادهای پر آلیاژ با توجه به حرارتی ریخته گری، ذوب و عملیات حرارتی جایگزین (اگر موجود باشد).

### فولادهای پر آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی :

فولادهای پر آلیاژ ریخته گری مقاوم در برابر خوردگی، که به طور معمول به فولادهای ضد زنگ ریخته گری شناخته می شوند دارای رشد قابل توجهی در طی ۴۰ سال اخیر از لحاظ تکنولوژیکی و اهمیت اقتصادی داشته اند کاربرد های اساسی این فولادها در مواد بکار گرفته شده در کارخانجات تولید مواد شیمیایی و نیروگاههای انرژی که نیازمند به محیط آبی و مقاوم به خوردگی در دماهایی به طور معمول کمتر از ۳۱۵ می باشد. این آلیاژها نیز گاهی برای مقاصد ویژه و در دماهای سرویس دهی تا ۶۵ نیز بکار می روند.

یک تعریف درست از فولادهای ریخته گری ضد زنگ های تعریفی است که در سال ۱۹۱۰ ارائه شد که فولادهای را شامل می شوند که حداقل ۱۲ درصد کروم برای مقاومت به خوردگی داشته باشند اگر چه بسیاری از فولاد های ریخته گیری ضد زنگ دارای ترکیبات بسیار پیچیده تر از آن چه که در تعریف ماده فوق ذکر شده می باشند. فولاد های ضد زنگ به طور معمول شامل یک یا چند عنصر آلیاژ ساز علاوه بر کروم (برای مثال، نیکل، مولیبدن، مس، نیولبیوم و نیتروژن) به منظور ایجاد ساختاری مورد نظر و مقاوم به خوردگی و یا ایجاد خواص مکانیکی ویژه جهت کاربردی خاص می باشند.

فولادهای پر آلیاژ مقاوم در برابر خوردگی به طور معمول بر اساس ترکیب و یا ساختارشان دسته بندی می شوند. باید به این نکته توجه شود که طبقه بندی بر اساس ترکیب و یا ساختار همیشه مستقل از یکدیگر نیستند و گاهی طبقه بندی بر اساس ترکیبی از این دو انجام می شود. در جدول ۱ ترکیبی آلیاژهای تجاری ریخته گری مقاوم در برابر خوردگی آورده شده است. این آلیاژها بر اساس فولادهای کروم دار، فولادهای کروم-نیکل دار که در آن ها کروم عنصر آلیاژی غالبی و فولادهای نیکل-کروم دار که در آن ها نیکل عنصر آلیاژ غالب می باشد طبقه بندی می شوند. قابلیت سرویس دهی فولادهای مقاوم در برابر خوردگی ریخته گرم شده و به طور وسیعی به نبود کربن و بویژه رسوبات کاربیدی در ریز ساختار آلیاژ بستگی دارد. بنابراین فولادهای مقاوم خوردگی ریخته گری به طور معمول کم کربن می باشد  $< 0,08\% >$  معمولاً. همانگونه که در جدول ۱ دیده می شود، فولادهای ریختگی هر آلیاژی را می توان بر اساس میکروساختاری نیز طبقه بندی کرد. ساختارها می تواند آستنیتی، فریتی، مارتنزیتی، یا ترکیب دو تایی آنها باشد. ساختاری با یک نوع ویژه اساساً با ترکیب شیمایی یشان مشخص می شوند به ویژه مقادیر کروم، نیکل، و کربن در این در این خصوص (در این مقاله به بخش مزیت در فولاد زنگ نزن ریختگی مراجعه کنید).

عموماً فولادهای ریختگی هر آلیاژی نوع کروم دار ساده یا مارتنزیتی مستند یا مزینی نوع کروم نیکل یا دو فاز مستند یا آستنیتی، فولاد های نیکل-کروم کاملاً آستنیتی هستند.

انواع مارت؟ شامل آلیاژهای CA-۱۵, CA-۴۰, CA-۱۵m-CA-۴۰, CA-۶NM, CA-۱۵ می باشند. آلیاژ CA-۱۵ شامل مقدار حداقلی از کروم می باشد که اصولاً برای ضد زنگ ساختن آن ضروری می باشد. آن مقاومت خوبی به خوردگی اتمفری بعلاوه، به بسیاری از محیط های آلی در سرویس دهی های نسبتاً فرم دارد. آلیاژ های CA-۱۵, CA-۴۰ که با کربن بیشتری اصلاح شده اند تا سطوح بالاتری از استحکام و سختی عملیات حرارتی پیدا کنند. آلیاژ CA-۱۵m یک آلیاژ CA-۱۵ اصلاح شده با مولیبدنیم می باشد که استحکام را در دمای بالا بهبود می بخشد آلیاژ CA-۶NM یک آلیاژ آهن - کروم - نیکل - مولیبدنیم با مقدار کمی کربن می باشد. انواع آستنیتی شامل CH-۲۰, CK-۲۰, CN-۷M می باشد. آلیاژهای CH-۲۰, CK-۲۰ پر کروم، پر کربن می باشد که کاملاً ترکیب آستنیتی دارد که در آن مقدار کروم بیشتر از نیکل می باشد. آلیاژ CN-۷M پر آلیاژی در بسیاری از محیط ها مقاومت به خوردگی عالی دارند و اغلب در سرویس دهی اسید سولفوریکی مورد استفاده قرار می گیرد.

از انواع فریتی آلیاژهای CB-۳C کاربرد Feritet و CC-۵۰ معرفی شده اند. آلیاژ CB-۳C به ویژه با عملیات حرارتی قابل سختاری نیست. همینکه این آلیاژ به طور معمول ساخته می شود، (تعادل میان عناصر در ترکیب معتبر در ساختار کاملاً فریتی می شود) مشابه فولاد زنگ نزن؟ نوردی نوع AISI ۴۴۲ آلیاژ CC-۵۰ اساساً نسبت به آلیاژ CB-۳۰ کروم بیشتری دارد و به خوردگی موضعی در بسیاری از محیط ها نسبتاً مقاومت بیشتری دارند.

آلیاژ های آستنینی - فریتی شامل  $CG-AM$ ,  $CF-8A$ ,  $CF-8$ ,  $CF-3A$ ,  $CF-3$ ,  $Ce-3C$  می باشد. میکرو ساختارهای این آلیاژ ها معمولا شامل ۵ تا ۴۰٪ فریت دارد که بستگی به طبقه مشخص (ویژه) و تعادل میان عناصر فریت زا و آستنیت زا در ترکیب شیمیایی دارد (در این مقاله به بخش فریت در فولادهای زنگ نزن مراجعه کنید)

آلیاژ های دو تایی دو فازی دو آلیاژ دو تایی  $CD-4MCU$  و فرو آلیوم اخیرا مورد توجه قرار گرفته اند. آلیاژ  $CD-4MCU$  آلیاژ دو تایی می باشد که بیشتر آلیاژی شده است. فروآلیوم توسط شرکت  $Langley Alloy$  توسعه یافته است و اساسا  $CD-4MCU$  می باشد که به آن حدود  $N+0.15\%$  توسعه یافته است و اساس  $CD-4MCU$  می باشد که به آن حدود  $N+0.15\%$  اضافه شده است. آلیاژ های دو تایی که سطوح بالایی او فریت (حدود ۴۰ تا ۵۰٪) می باشند نیکل پایینی دارند نسبت به آلیاژ  $CF-3M$  به ترک نقش - خوردگی  $scc$  مقاومت بهتری دارند. آلیاژ  $CD-4MCU$  که بدون نیتروژن م باشد و نسبتا مقدار کمی مولیبدنیوم دارد، فقط به طور جزئی به خوردگی موضعی نسبت به  $CF-3M$  مقاومت بهتری دارد. فرد آلیوم، که دارای نیتروژن می باشد، نسبت به  $CD-4MCU$  مولیبدنیوم بالا تری دارد، نسبت به  $CD-4mcn$ ,  $CF-3m$  مقاومت به خوردگی موضعی بهتری نشان می دهند پیشرفت و بهبودی در فرآیند تولید فولاد زنگ نزن (برای مثال، ریز دانه ک؟ با پرتو الکترونی،؟ بوده کرون با آرگن-اکسیژن، و ذوب خلا و القایی) یک تولید ثانوی برای تولید فولادهای زنگ نزن دو تایی ایجاد کرده است. این فولاد ها اغلب مقاومت عالی به خوردگی حفره ای و خوردگی شکافی، به ویژه به  $scc$  کربیدی نسبت به فولاد های زنگ نزن آستنیتی مقاومت بهتری دارند، تافنس خوب و استحکام تسلیم دو تا سه برابر بیشتر نسبت به فولاد های زنگ نزن ۳۰۴ یا ۳۱۶ دارند.

فولادهای زنگ نزن دو تایی تولید اولیه، برای مثال  $AISI$  نوع ۳۹۹ و  $CD-4MCU$  برای مدت زیادی مورد استفاده بوده است. نیاز به بهبودی در قابلیت جوشکاری و مقاومت به خوردگی این آلیاژها منجر به آلیاژ های تولید ثانویه شد که با افزون نیتروژن بهعنوان یک عنصر آلیاژی مشخص می شود. فولاد های زنگ نزن تولید ثانوی دو تایی معمولا دارای حدود یک ترکیب ۵۰-۵۰ فریت و آستنیت می باشد. آلیاژهای دو تایی جدید ایمنی بیشتری به  $scc$  کربیدی انواع فریتی را با نارس و سهولت ساخت آستنیتی را به همراه دارد. از میان آلیاژهای دو تایی تولید ثانوی، آلیاژ ۲۲۰۵ به نظر می رسد که زنگ نزن عام المنظور، (حرف عمومی) شده است. جدول ۲ ترکیب شیمیایی آلیاژ های دو تایی تولید ثانویه را نشان می دهد.

انواع رسوب سختی آلیاژ های این گروه عبارتند از  $CB-7CU$  و  $CD-4MCU$  آلیاژ  $CB-7CU$  یک آلیاژ مارتنزیتی کم کربن می باشد که ممکن است شامل مقادیر اندکی از فریت یا آستنیت باقی مانده باشد. وقتی که آلیاژ تا شرایط سختی (س؟ عملیات حرارتی می شود مس رد مارتنزیت رسوب می کند.

فولادهای آلیاژی مقاوم به حرارت نوع H:

قطعات ریختگی فولاد هر آلیاژی مقاوم بر حرارت به طور گسترده برای کار بردهایی که شامل دماهای سرویس دهی بیش از  $650^{\circ}\text{C}$  می باشد مورد استفاده قرار می گیرد. استحکام در این دماهای بالا تنها عیار می باشد. که به کمک آن مواد انتخاب می شوند. زیرا کاربردها اغلب شامل محیط های خورنده می باشد که بایستی فولاد بر آن مقاوم باشد. اتمسفرهایی که عموماً با آن مواجه می شویم. هوا، گازهای سوخت یا گازهای فرآیند می باشد. چنین اتمسفرهایی یا اکسیدی هستند یا احیایی و ما اگر گوگرد و کربن موجود باشد سولفیدی یا کربور، می شوند.

فولادهای کربن دار یا کم آلیاژی بندرت استحکام و مقاومت به خوردگی کافیف در دماهای بالا در محیط هایی که برای فولادهای ریختگی مقاوم بر حرارت به طور معمول انتخاب می شوند، دارند فقط فولادهای مقاوم بر حرارت خواص مکانیکی و مقاومت به خوردگی لازم را در مدت زمانهای طولانی بدون فروپاشی مفرط بیش از حد) و غیر قابل پیش بینی نشان می دهند. افزون بر استحکام مقاومت بر خوردگی طولانی مدت، بعضی از فولادهای مقاوم بر حرارت ریختگی مقاومت ویژه ای به اثرات دماهای سیکلی و تغییرات در طبیعت محیط عمل کننده نشان می دهند.

تعدادی از انواع فولادهای هر آلیاژی ریختگی توسعه یافته اند و برای انواع نیازهای سرویس دهی به طور موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته اند اینها سه گروه اصلی هستند و بر اساس ترکیب شیمیایی می باشند.

آلیاژهای آهن - کروم

آلیاژهای آهن - کروم - نیکل

آلیاژ آهن - نیکل - کروم

این آلیاژی درصد کربن خیلی پایین دارند که باعث می شود ساختاری فریتی باشد اما بعضی از آنها مقادیر کربن بالاتر هم دارند.

این نوع آلیاژها مشابه فولادهای هر آلیاژی مقاوم به خوردگی می باشند به استثنای آنهایی که مقادیر کربن بالاتری دارند، که استحکام بیشتر در دمای بالا را فراهم می کنند. مقدار کربن بالاتر و به مقدار کربن محدود، ترکیب شیمیایی آلیاژ انواع فولادهای مقاوم بر حرارت ریختگی را از؟ نوردی آنها متمایز می سازد. جدول ۳ ترکیب شیمیایی انواع مقاوم به حرارت ریختگی استاندارد را به طور خلاصه نشان می دهد.

آلیاژهای آهن - کروم شامل ۸ تا ۳۰٪ Cr و مقدار نیکل یا بدون نیکل می باشند. ساختار آنها فریتی است و در داکتیلیته کمتری را در دماهای محیط نشان می دهند. آلیاژهای آهن ۰ کروم نخست در جایی استفاده می شد که مقاومت به خوردگی گذاری مورد ملاحظه اصلی (غالب) بود زیرا آنها در دماهای بالا استحکام نسبتاً پایینی دارند. مثالهایی از چنین آلیاژها انواع HP, HC, HA ریختگی می باشد که در جدول ۳ فهرست شده است.

آلیاژ های آهن- کروم - نیکل شامل بیش از ۱۸٪ کروم و بیش از ۸٪ N با مقداری کرومی که همیشه از مقداری نیکل بیشتر است آنها دارای زمینه آستنیتی می باشند. هر چند که چند گروهی دارای تعدادی فریت نیز می باشد. این آلیاژ ها استحکام و داکتلیته بیشتری در دماهای بالا نسبت به گروه آهن کروم نشان می دهند.

و در سیکل های دمایی متوسط مقاوم هستند. مثال هایی از این آلیاژ ها انواع HL, Hk, HT, HH, HF, HE می باشند که در جدول ۳ فهرست شده اند. اگر چه نیکل در انواع HX, HW عنصر اصلی می باشد، این نوع آلیاژ ها معمولا به عنوان فولادهای هر آلیاژی رجوع می شوند تا آلیاژهای ؟ (در این جلد، عنوان نیکل و آلیای نیکل را ببینید).

### فریت در فولادهای زنگ نزد ریختگی :

آلیاژ های CF شامل بخش قابل توجهی از تولید ریختگی مقاوم به خوردگی می باشند که از لحاظ تکنولوژیکی مهم هستند و بالاترین ؟ را در بر می گیرند. این آلیاژهای ۹N-۱۹Cr ؟ ریختگی فولادهای زنگ نزن ؟ سری ۳۰۰-AISI می باشند (جدول ۱) معمولا آلیاژ های ریختگی و نوردی دارای مقاومت کافی به محیط خورنده می باشند. و آنها اغلب با همدیگر بکار می روند.

با این حال اختلافات قابل توجهی بین آلیاژ های ریختگی CF ؟ نوردی AISI آنها وجود دارد. از جمله مهمترین آنها اختلافات در میکروساختار در شرایط کاربرد نهایی (کاری) می باشد. آلیاژ های ریختگی نوع CF دارای ساختار دو تایی می باشد. (جدول ۱) و معمولا شامل ۵ تا ۴۰٪ فریت می باشند که بستگی به نوع آلیاژ دارد. همتای نوری آنها کاملا آستنیتی هستند. مزیت در زنگ نزن ریختگی با ساختارهای دو تایی مغناطیسی می باشد. (یک نقطه ای که اغلب وقتی فولادهای زنگ نزن ریختگی با همتاهای نوری آنها با تست (بررسی) کردن جاذبه آنها به یک آهنربا مقایسه می شوند، گیج کننده می باشد) این اختلاف در میکروساختارها به این واقعیت مربوط می شود که ترکیبات شیمیایی آلیاژهای ریختگی و نوری عملا یکسان نیست اند. اختلافات در ترکیب شیمیایی قبلا در این بخش بحث شد.

اهمیت فریت فریت عمدا به سه دلیل در فولادهای زنگ نزن نوع CF ریختگی موجود است. برای فراهم کردن استحکام بهبود قابلیت جوشکاری و برای زیاد کردن مقاومت به خوردگی در محیط های ویژه استحکام بخشی در آلیاژ های نوع CF ریختگی اساسا تا جایی محدود می شود که در آنجا استحکام مورد نظر با فرار گرفتن فریت در داخل فاز زمینه آستنیتی حاصل می شود. این آلیاژها نه با عملیات حرارتی مشابه آلیاژ های فاز ؟ یا فریتی ریختگی مستحکم نمی شوند، دلیل نامشخصی و نه با کار گرم و سرد مشابه آلیاژهای نوردی آستنیتی. استحکام بخشی با رسوب کاربرد نیز به دلیل اثر زبان آور کاربیدها بر روی مقاومت به خوردگی در محیط های آبی، غیر عملی و غیر ممکن می باشد. بنابراین، آلیاژها با متعادل کردن ترکیب شیمیایی آلیاژ برای تولید مرکوساختار یا دو گانه و فازی که شامل فریت (بیش از ۴۰ حجمی) توزیع



شده در یک زمینه آستنیتی به طور موثر مستحکم می شود. نشان داده شده است که با وارد کردن فریت فولادهای ریختگی ۹N-CF ۱۹ استحکام تسلیم و کششی بدون افت داکتلیته یا تافنس یا حفر گلی ضربه ای در دماهای زیر ۴۲۵C (۸۰۰ f) مقدار اثر این استحکام بخشی برای آلیاژهای CF-۸, CF-۸M در دمای اتاق در شکل ۲ نشان داده شده است.

فولادهای زنگ نزن کاملاً آستنیتی به مشکلات قابلیت جوشکاری که تحت عنوان ترک داغ یال ترک های مویی شناخته می شوند، حساس هستند. ترک درون دامنه ای در منطقه رسوب جوش و یا در منطقه متأثر از جوش رخ می دهد و این مساله وقتی قابل اجتناب است که ترکیب شیمیایی فلز پر کننده کنترل شود تا حدود ۰.۴٪ فریت در رطوب جوش آستنیتی تولید شود. قطعات ریختگی آلیاژ نوع CF دو فازی به این مساله ایمن است.

حضور مزیت در آلیاژهای CF دو فازی، مقاومت به SCC و به طور کلی به ترک درون دامنه ای را بهبود می بخشد. اگر چه عیوب قطعات ریختگی هر آلیاژی به دلیل این دو نوع خوردگی رایج نیست، SCC و ترک دان دانه ای مورد توجه است زیرا آنها به طور غیر منتظره اتفاق می افتد. به ویژه در قطعات ریختگی که با جوشکاری در میدانی که در آنجا عملیات حرارتی پیش جوشکاری برای اصلاح (تقویت) مقاوم به خوردگی غیر عملی یا غیر ممکن است، حساس شده اند. در مورد SCC به نظر می رسد که حضور مذاب های فریتی در زمینه آستنیت، توزیع ترک ها را متوقف می کند یا بسیار مشکل می سازد. در مورد خوردگی درون دانه ای، فریت در قطعات ریختگی حساس، مفید خواهد بود زیرا رسوب مقدمه کاربیدها در فاز فریت را نسبت به مرز دانه های آستنیت ترفیع می بخشد، چون در مرز دامنه های آستنیت کاربیدها آنها حساسیت به ترک درون دانه ای را افزایش می دهند. حضور فریت همچنین مرز دانه های اضافی را در زمینه آستنیتی قرار می دهد، و شواهدی در دسترس است که ترک درون دانه ای در مرز دانه های فریت-آستنیت متوقف می شوند. جامع ترین بررسی در مورد اثر فریت بر روی مقاومت به خوردگی فولادهای زنگ نزن ریختگی بیانگر این است که فریت:

مقاومت آلیاژهای CF را به SCC کلریدی بهبود می بخشد.

مقاومت این آلیاژها را به ترک درون دامنه ای بهبود می بخشد.

ایمنی کاربری بیشتری را برای آلیاژهای CF نسبت به هر دو نوع حمله در مقادیر فریت بیش از ۱۰٪ فراهم می کند.

این نکته قابل توجه است که همه بررسی ها نشان نداده اند که فیت به طور مطلق (بدون قید و شرط) به مقاومت به خوردگی کلی فولاد های زنگی نزن ریختگی مفید است.

مقاومت به خوردگی خواه توسط فریت بهبود یابد یا بدون آن بهبود یابد و تا حدود بستگی به ترکیب شیمیایی ویژه آلیاژ و عملیات حرارتی و شرایط کاربری (حالت محیط و تنش) دارد.



## کنترل فریت:

از بحث پیشین، مشخص می شود که مقادیر فریت کنترل شده، عمدتاً در فولادهای ریختگی آستنینی کروم-نیکل، آلیاژهای CF، خواص ویژه ای را فراهم می کند که مقدار فریت موجود نخست بستگی خواهد داشت به تعادل ترکیب شیمیایی آلیاژ (دلایل اساسی در مورد وابستگی مقدار فریت به ترکیب شیمیایی در تعادل فازی برای سیستم آهن - کرم - نیکل مشخص شده این تعادل فازی به طور جامع مستند شده است و به فولادهای زنگ نزن تجاری مربوط می شود.

اجرای عنصری اصلی فولادهای زنگ نزن ریختگی دو فولاد عناصر هستند که پایداری فریت و آستنیت را بهبود می بخشد. در بهبودی فازهای آستینیتی با فریتی (آستنیت زایی یا فریت زایی) در میکروساختار آلیاژ در رقابت هستند. کروم، سیلیسیم، مولیبدنیم، و نیوبیوم، حضور فیت را در میکروساختاری آلیاژ بهبود می بخشد. نیکل، کربن، نیتروژن، و منگنز حضور آستنیت را بهبود می بخشد. با متعادل کردن مقادیر عناصر شتکیل دهنده فریت و آستنیت در یک محدوده خاص برای عناصر یک آلیاژ معین، کنترل کردن مقدار فریت موجود در زمینه آستینیتی ممکن می شود آلیاژ معمولاً کاملاً آستینیتی ساخته می شود با مقادیر فریت بالای ۳۰٪ یا بیشتر در زمینه آستنیت.

ارتباط بین ترکیب شیمیایی و میکرو ساختار در فولادهای زنگ نزن ریختگی به ریخته گر (شخص ریختگر) اجازه می دهد تا مقدار فریت یک آلیاژ بعلاوه خواص منتهجه آن با تنظیم ترکیب شیمیایی آلیاژ پیش بینی و کنترل کند.

## تاثیرات پیر سختی:

فولادهای پر آلیاژ مقاوم به خوردگی ریخته گری شده بطور گسترده مورد استفاده هستند در دماهای متوسط بالا تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد یا ۱۲۰۰ درجه فارنهایت خصوصیات افزایش دما مهم هستند در انتخاب استاندارد برای این کاربردهایشان همچنین خصوصیات دمای اتاق بعد از کارکرد در دماهای بالا هستند زیرا در معرض این دماها بودن ممکن است تاثیرات پیر سختی داشته باشد.

بطو مثال آلیاژهای BA-۱۵, CE۳۰A, CF-۸M, CF-۸C ریخته گری امروز مورد استفاد هستند از شارهای بالا و محیط های اسید سولفوریک با دماهایی تا ۵۴۰ درجه سانتی گراد یا ۱۰۰۰ درجه فارنهایت در صنایع پیتوشیمی موارد دیگر استفاده آنها در صنایع تولید نیرو در دماهایی تا ۵۶۵ درجه سانتی گراد یا ۱۰۵۰ درجه فارنهایت است.

خصوصیات پیر سختی در دمای اتاق ممکن است از پیر سختی که با قرار گرفتن در دمای بالا و عملیات حرارتی ایجاد می شود عملیات طبیعی؟ باشد.

خصوصیات دمای اتاق در شرایط قبلی که هست بعد از قرار گرفتن در معرض دماهای بالا متفاوت باشد از شرایط عملکرد آن در حرکت زیرا میکروساختار ممکن است تغییر کند با قرار گرفتن در دما میکروساختار آلیاژهای آهن نیکل کروم تغییر می کند. و ممکن شامل شکل هایی از کاربید و همچنین فازهای همچون  $X_6, 1$  باشد. اندازه و وسعت این فازها بستگی دارد به کیفیت ترکیب و زمان افزایش دما.

آلیاژهای مارتنریت  $CA-15$ ,  $CA-6NM$  هستند در معرض تغییر کمتری هستند در خواص مکانیکی و مقاومت SCC در محیط های نمکی و اسید آلی قرار گرفتن در مدت زمان ۳۰۰۰ ساعت در دمایی بالاتر از ۵۶۵ درجه سانتی گراد یا SO ۱۰ درجه فارنهایت در فولاد نیکل کرم نوع CF تنها تغییرات ناچیزی در مقدار فرمیت در خلال ۱۰۰۰ ساعت در معرض دمای ۴۰۰ درجه سانتی گراد و یا ۷۵۰ درجه فارنهایت و یا در حین ۳۰۰۰ ساعت در برابر های CO ۴ درجه سانتی گراد ۸۰۰ درجه فارنهایت قرار گرفتن اتفاق می افتد.

با این حال در این دما رسوب کاربید اتفاق می افتد و کاهش محسوس انرژی شاربی گزارش شده است. این تاثیرات برای فولاد مقاوم به خوردگی ریخته گری شده CF-۸ در نمودارهای ۵ و ۶ بیان شده است درما زیادتر شده است در بالاتر از ۴۲۵ درجه سانتی گراد یا ۸۰۰ درجه فارنهایت تغییر در میکروساختار آلیاژهای نیکل کرم و دارای مولیبدن با سرعت کمتری روی می دهد در ۶۵۰ درجه سانتی گراد (۱۲۰۰ f) کاربیدها و فاز عامل شکنندگی دوباره با مصرف فریت تشکیل می شوند. (نموار ۷).

در شرایط زیر گفته شده) چکش خواری کشش و انرژی ضربه آزمایش؟ کاهش پیدا کردن هستند. (کم خواهند شد) تغییرات دانسیته و انقباض حاصله به عنوان نتایج قرار گرفتن در معرض این های بالا گزارش شده اند.

### ویژگی های آلیاژهای مقاوم به حرارت - افزایش ها در خواص کششی :

آزمایش افزایش دما؟ نهان کوتاه که در آزمایش تست نیروی فشاری کششی استاندارد و حرارت دادن در دمای یکنواخت و تعیین شده و آنگاه تغییر فرم شکست در یک سرعت استاندارد، indentifics تنش به واسطه بار بیش از حد در مدت زمان کوتاه که باعث شکست در باگزاری تک محوری خواهد شد.

این طرز رفتار که ارزشیابی می شود با استحکام کششی و تغییر چکش خواری با افزایش دما نشان داده شده در نمودار ۸ برای آلیاژ HP-sow.

خواص کششی بیان شده در دماهای بین ۱۰۹۵ تا ۶۵۰ در جدول برای چندین گروه از فولاد آلیاژی مقاوم حرارت نشان داده شده است.

خواص خزش و شیب شکست:

خزش شرح داده می شود (تعریف می شود) به عنوان؟ زمان که تحت بار کم روی می دهد در دمای بالا. خزش عامل هست در بسیاری از بکار بردن ریخته گری پر آلیاژ مقاوم حرارت در دماهای کاری نرمال (معمولی).

بالاخره خزش ممکن است منتهی شود به تغییر فرم بیش از حد و حتی شکست در تنشهایی که بطور قابل توجه ای کمتر از میزان شکل‌هایی محاسبه شده در دمای اتاق و دمای بالا در آزمایش کشش و فشار هستند شود.

طراح باید به قابلیت سازه در یک محیط را با محاسبه سرعت و درجه؟ نرم آن تعیین کند. طراح باید همیشه توانایی کارکرد سازه در موضوع مورد بحث را محاسبه کند که بوسیله سرعت یا درجه تغییر فرم (شکل) محدود شده است. (یعنی باید میزان خزش سازه در محیط مورد استفاده در نظر گیرد). زمانی که سرعت و درجه تغییر فرم فاکتور محدود کننده است. طراحی شش بنیادی است در کمتر شدن سرعت خزش و طراحی عمر بعد از خزش گذاری مجاز و اولیه.

تنش که ایجاد می کند کمترین سرعت خزش مشخص را در یک آلیاژ و یا میزان تغییر فرم خزش مشخص در مدت زمان داده شده (برای مثال مجموعاً ۱٪ خزش در ۱۰۰۰۰۰ ساعت) اشاره کننده هست به عنوان محدوده استحکام خزش و یا محدوده تنش.

این رفتار که کمترین سرعت خزش بستگی دارد و به تنش بکار برده شده بیان شده در نمودار ۹ به وسیله داد هایی آلیاژی HP-SOWZ زمانی که شکست یک فاکتور محدود کننده است ارزیابی تنش شکستگی می تواند در طراحی مفید باشد.

مقایسه کردن تنش و شکست می تواند با کمترین سرعت خزش ادغام شود همانگونه که در نمودار ۱۱ نشان داده شده است.

نمودار ۱۱ باید شخص کمتر مدت طولانی خزش و تنش شکست را که اغلب نتیجه آزمایش های کوتاه مدت است.

نتیجه این خواص ارزیابی شده کاملاً قطعی است که قطعاتی که در دماهای بالا کار می کنند پایداری کمی دارند.

بنابراین این خواص ارزیابی شده نتیجه یا کاملاً قطعی - اغلب پایداری کمی داشتن کاربرد روزمره قسمت‌های با دمای بالا بنابراین این خواص ارزیابی شده نتیجه کاملاً قطعی می دهد که اغلب قسمت‌هایی که با دماهای بالا روزانه سرو کار دارند پایداری کمی دارد. از نظر طول عمر اغلب پیش بینی دقیقی رفتار واقعی مواد شکل است زیرا تنش‌های کاری ترکیبی از تنش‌های به نسبت ایده آل هستند در شرایط باز گذاری تک محوری در آزمایشات استاندارد و فاکتورهای کاهش دهنده همچون بارگذاری تناوبی نوسانات حرارتی اتلاف؟ به دلیل خوردگی وجود دارند.

طراح باید تاثیرات هماهنگ این متغیرها را پیش بینی کند. طراحی اجزائی که در معرض سیکل دمایی قابل توجه ای قرار دارند باید همچنین شامل بررسی دقیق خستگی حرارتی باشد. این کاملاً درست است اگر تغییرات دما پی در پی یا سریع و غیر یکنواخت درون پایین عملیات ریخته گری می باشد و خستگی حالتی که نتایج ضعیفی دارد از به کاربردن بارگذاری متناوب در مدت زمان کم و یا تنشهایی کم تر از حد پیش بینی شده در خواص بازگذاری ثابت است خستگی حرارتی حاکی از شرایطی است که تنشها عمدتاً به وجود می آیند ک از انبساط انقباض حرارتی جلوگیری می شود. طراحی خوب کمک می کند به کاهش موانع بیروین برای انبساط و انقباض گرم کربن سرد کربن سریع ممکن است که وارد کند شیب دمایی در یک قسمت و باعث شود انت (جزء هایی) از ترکیب تا اندازه ای سرد و مانع اجزاء گرم است.

آنالیز کامپیوتری جزء محدود نشان می دهد که در بعضی از کاربردهای صنعتی این نشتیهای حرارتی به وجود آمده است ممکن است از حد نتایج باز گذارهای مکانیکی هم تجاوزند. در گروه های شامل نیکل و اثبات کارایی خوب بعضی از ترکیبات نوع HH. مقاومت به شوک حرارتی :

شوک حرارتی ممکن است رخ دهد به عنوان یک نتیجه تنها، تغییر سریع دما یا به عنوان نتیجه تغییرات سریع سیکل دمایی، که به وجود می آورد تنهاشیبی که به اندازه کافی قوی هستن تا باعث نقصان و عیب شوند.

#### مقاومت به خوردگی گازهای داغ:

خوردگی آلیاژهای مقاوم به حرارت، که؟ مورد حمله هستند به وسیله محیطی در دماهای بالا، تغییر قابل ملاحظه نوع آلیاژ، سرعت فعل و انفعال و ماهیت دقیق محیطی در معرض آن قرار دارد. جدول شماره ۶ نشان می دهد که یک طبقه بندی از آلیاژ های مقاوم به حرارت استاندارد ریخته گری شده در محیط های گوناگون.

#### عملیات قالب گیری (ریخته گری) :

عملیات ریخته (قالب گیری) برای تولید فولاد های پر آلیاژ اساساً شبیه روش ریخته گری مورد استفاده برای فولاد های ساده کربنی است.

جزئیات عمل ذوب، رفتار فلز و عملیات قالب گیری شامل *cleaning of casting , risering , gating* در مقاله تحت عنوان فولادهای کربن ساده در این جلد در دسترس هستند.

#### قابلیت جوش کاری:

#### فولاد های پر کربن مقاوم به خوردگی :

بسیاری از فولادهای ضد زنگ ریخته گری شد مقاوم به خوردگی همچون CF-۸ یا CF-۸M هستند قابل جوشکاری مخصوصاً اگر زیر ساختار آنها شامل درصدهای کمی از فاز ۸ باشد. این دو آلیاژ ضد زنگ می

تواند بسیار حساس شود و مقاومت به خوردگی شان کاهش یابد. اگر در معرض دماهای بالاتر از ۴۲۵ C یا F۸۰۰ قرار بگیرند. در حین جوشکاری باید دقت زیادی شود تا مطمئن شویم که اجزاء تولیدی یا ریخته گری شده بیش از حد گرم نشده اند. به همین دلیل فولاد های ضد زنگ هیچگاه پیش گرم نمی شوند. در موارد زیادی محل جوش سرد می شود با پاشیدن قطرات آب (پاشش) حین حرکت و جوش دادن برای کاهش دما تا ۱۵۰ C یا پایین تر از آن.

بعضی از جوشکاری انجام شده روی گروه هایی از مقاوم به خوردگی تاثیر می گذارد روی مقاومت به خوردگی آلیاژهای ریخته گری شده دما برای بسیاری از نوع های دیگر ریخته گری شده در شرایط جوشکاری شده رضایت بخش بوده است. مقاومت به خوردگی آنها تغییر نکرده) به دلیل اینکه در محل جوش کربن آزاد شده و کاربیدهای کرم تشکیل شده و درصد کرم در آنجا پایین می آید. جایی که شرایط به شدت خورنده (خوردگی بالا) یا جایی که SCC ممکن است یک شکل باشد عملیات حرارت دوباره بصورت کامل ممکن است مورد نیاز باشد بعد از جوشکاری.

حرارت دادن قطعه ریخته گری شده بالاتر از ۱۰۶۵ درجه سانتی گراد یا ۱۹۵۰ فارنهایت و سرد کردن سریع آن کاربیدهای رسوب کرده در حین جوشکاری را دوباره حل کرده و باعث می شود که مقاومت به خوردگی برگردد.

جایی که بیشترین مقاومت به خوردگی مورد نیاز است و عملیات حرارتی منطقه جوش خورده (آنیل محلولی) نمی تواند انجام شود. عناصر آلیاژی مشخصی را می تواند به صورت کاربیدهای پایدار اضافه شوند. هر چند؟ بیوم و تیتانیوم هری دو، شکل کاربیدهای پایدار هستند، تیتانیوم در حین عملیات ریخته گری به سرعت اکسید می شود و بنابراین بندرت استفاده می شود.

آلیاژ CF-۸C پایدار شده بانتوبیوم مورد استفاده زیادی دارد در ریخته گری این گروه آلیاژی استحکام کاربیدهای نئوبیوم از تشکیل کاربیدهای کروم می شود و در نتیجه آن کاهش کروم از فلز پایه است بنابراین این گروه آلیاژی می تواند جوشکاری و بدون عملیات حرارتی بعد از جوشکاری.

### فولاد های ابزار گرم کار (نوع H) :

فولادهای ابزار برای ساخت قالبهای گرم کار، بر سه گروه تقسیم می شوند.

۱- فولادهایی که عنصر آلیاژهای اصلی آنها کرم است.

۲- فولادهایی که عنصر آلیاژی اصلی آنها تنگستن می باشد.

۳- فولاد هایی که عنصر آلیاژهایی اصلی آنها مولیبدن می باشد.

فولادهای ابزار گرم کار از خواص فیزیکی خاص برخوردار هستند که فولادهای سرد کار یا برشی فاقد آنها هستند. انتخاب یک فولاد گرم کار بستگی به شرایط کاربردی داشتند و بخصوص یک فولاد ابزار گرم کار، نمی تواند برای شرایط مختلف کاربردی مناسب باشد. شرایط کاربردی نظیر حداکثر دمایی که قالب هنگام

کار کردن به آن می رسد، نحوه بارگذاری و نحوه خنک کردن قالب نوع فولادها را تعیین می کند، انتخاب صحیح نوع فولاد و عملیات حرارتی مناسب، موجب افزایش عمر و کارکردن یک قالب می باشد. چقرگی قالبها، یکی از مهمترین خواص کارکرد یک قاب بوده و به همین دلیل بعد از سخت کرای این فولادها را بیشتر از یک بار تمیز می کنند، زیرا تکراری عمل تمپر کردن موجب کاهش بسیار زیاد آسنیت باقیمانده و مارتنزیت تمیز شده می گردد. خنک کاری مناسب باعث جلوگیری از گرم شدن موضعی قالب شده و قالب ها می توانند در دمای پایین تر و یکنواختی کار کنند قالبهای ریخته گری مداوم، با گردش آب در داخل قالب و قالبهای آهنگری با پاشیدن آب یا هوای فشرده خنک می شوند.

نگهداری قالبها زمانیکه کار نمی کنند باید بگونه ای باشند تا نقاط زنگ زده روی قالب تشکیل نشود. زیرا نقاط زنگ زده می توانند محل شروع تخریب قالب باشند.

فولادهای کار گرم حاوی کرم (H19-H10) عنصر آلیاژهای اصلی این فولادها کرم بوده و بعضی از موارد تنگستنی، مولیبدن و وانادیم نیز افزوده می شوند. میزان کربن این فولادها نسبتا پایین (۰,۳۵-۰,۴۰٪) می باشد این عنصر چقرگی آنها در سختی H۶۰۰-۴۰۰ بهبود می بخشد. میزان بالای کرم سبب هوا سخت شدن این فولادها می باشد. حضور تنگستن و مولیبدن در فولادها H۴, H۱۰, موجب حفظ استحکام و سختی در دمای بالا شده ولی تعدادی از چقرگی را کاهش می دهد. در این گروه، فولادهای H۱۲, H۱۳, HH بیشترین کاربرد را دارند از مزایای این فولادها می توان به حفظ استحکام و سختی تا دماهای ۵۰۰C با انعطاف پذیری خوب اشاره کرد.

#### فولادهای ابزار گرم کار حاوی تنگستن (H۲۱-H۲۶):

فولادهای این گروه شامل ۹-۱۸٪W, ۲-۴٪ Cr, و کربن (به میزان کم) میباشند که در بعضی از این فولادهای عناصری نظیر مولیبدن نیکل و وانادیم نیز افزوده می شوند. در میان فولادهای کرم کارف فولادها این گروه بیشترین استحکام در دماهای بالا را داشتند ولی چقرگی این فولادها کمتر از فولادهای گرم کار حاوی کرم می باشند و مقاومت فولادهای این گروه در برابر شوکهای حرارتی کم بوده و به همین دلیل قالبهای از فولادهای این گروه نمی توانند با گردش آب در داخل قالب خنک شوند. کاربرد این فولادها در ساخت قالبهایی که نیاز به حداکثر سختی در دمای بالا را دارند می باشند و در ساخت قالبهای اکستروود برنج و فولادها استفاده می شوند.

#### فولادهای گرم کار حاوی مولیبدن (H۴۱-H۴۳)

بخاطر آلیاژی اصلی این فولاد ها مولیبدن، گرم و وانادیم با مقادیر مختلف کربن می باشد خواص این فولادها شبیه فولادهای گرم حاوی تنگستنی بوده و مزیت اصلی این فولاد ها بسیار محدود بوده و به ندرت برای ساخت قالبهای گرم کاب ه کار برده می شوند.

### عملیات حرارتی:

آنیل کردن اصولاً؟ مناسب جهت آنیل کردن این فولادها  $900^{\circ}\text{C} - 815$  می باشد. گرم و سرد کردن هنگام آنیل کردن باید آهسته و به طور یکنواخت باشد میزان سرد کردن در این فولادها تا دمای  $400^{\circ}\text{C}$ ؟ بیشتر از  $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$  باشد و جهت حفظ کیفیت سطح کار، استفاده از اتمسفر خنثی در ک؟ پیشنهاد می گردد.

سخت کاری: قبل از سخت کاری این آلیاژها آنها را نش گیری می کنند کدهای تنش گیری پیش از سخت کاری  $730^{\circ}\text{C} - 650^{\circ}\text{C}$  می باشد.

تمامی سخت کاری این فولادهای نسبتاً بالا و حدود  $1100$  می باشد. بنابراین به منظور جلوگیری از پوسته پوسته بودن استفاده اتمسفر خنثی یا نکى در کوره توصیه می گردد هنگامی ک؟ به  $1100^{\circ}\text{C}$  می رسد، کاربیده‌های از نوع  $\text{M}_{23}\text{C}_6$  موجود در این فولادها حل می شود. حلالیت این نوع کاربید از آن جهت حائز اهمیت می باشد. که موجب حل شدن کربن در آلیاژ؟ شده که پس از از سخت کاری موجب تشکل ساختار مارتزیت پر کربن با حداکثر سختی می گردد. حق سختی پذیری فولادهای گرم کار بسیار بالا بوده و هوا سختی برای تشکل ساختار مارتزیتی کافی است.

### تمپر کردن:

اکثر فولادهای گرم کار هنگام تمپر تحت فرآیند سخت کاری ثانویه قرار گرفته و بنابراین دمای تمپر کردن این فولادهای حدود  $500^{\circ}\text{C}$  می باشد رسوب کاربیده‌هایی از نوع  $\text{M}_6\text{C}$ ,  $\text{M}_3\text{C}$ , این تمپر موجب افزایش سختی با سختکاری ثانویه می گردد. حضور عناصری نظیر مولیبدن، تنگستن و وانادیم و میزان کافی بودن کربن، موجب تسریع سختی ثانویه می شود. این فولادهای به منظور به حداقل رساندن آستنیت باقیمانده و مارتزیت تمیز شده و کسب افزایش و چقرگی این فولادها می شود بیشتر از یکبار تمپر می شوند.

### فولادهای زنگ نزن آستنیتی:

فولادهای زنگ نزن را برای استفاده در محیط های اتمسفری آب دریا و انواع مختلف محیط های شیمیایی انتخاب می کنند. اما، بستگی به نوع محیط، باید فولاد با ترکیب شیمیایی مناسب انتخاب می شود. بجز مقاومت در برابر محیط های خورنده خاص فولادهای زنگ نزن آستنیتی دارای خواص متالوژیکی زیر نیز هستند. تبدیل آستنیت به مارتزیت در اثر کار مکانیکی سرد، کاهش کربن و عنصر آلیاژهای کرم برای حذف امکان تشکل کاربید کرم و جلوگیری از خوردگی؟ دانه ای. آلیاژهای کردن با مولبدن برای افزایش مقاومت در برابر خوردگی؟ و استفاده از درصدهای بالای عناصر آلیاژهای کرم و نیکل برای افزایش استحکام درهای بالا و مقاومت در برابر پوسته شدن. فولادهای زنگ نزن آستنیتی اغلب در دماهای بالا آنیل می شوند تا عمل



تبلور مجدد و انحلال کاربیدها انجام شود همان گونه در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد، برای جلوگیری از تشکیل کاربید، پس از آنیل این نوع فولادها اگر آب سریع سد می کنند حداق خواص معمولی فولادهای زنگ نزن آستنیتی در شرایط آنیل شده عبارتند از: استحکام تسلیم ۳۰۵ mpa استحکام نهایی کشش ۵۱۵ mpa و ازدیاد طول ۴۰٪ فولادهای زنگ نزن آستنین نوردی خوب تک فازی بوده و عاری از کاربید فریت و یا فازهای دیگراند در این فولادهای، تمام عناصر آلیاژی به صورت محلول جامد در شبکه بلوری آن وجود دارند. در این شرایط فولاد بهترین مقاومت به خوردگی را دارند.

گروه ماتنزیتی شامل آلیاژهای CA-۱۵, CA-۶۰, CA-۱۵H, CA-۹NM, CA-۱۵ آلیاژ CA-۱۵ دارای کمتری مقدار کرم مورد نیاز برای اینکه این آلیاژ ضد زنگ شود.

این آلیاژها دارای مقاومت خوردگی خوب در اتمسفر وهمچنین در بسیاری از محیط های آلی نسبتا آرام (ضعیف) می باشند. CA-۴۰ آلیاژ پر کربن بهینه شده (اصلاح شده) آلیاژ CA-۱۵ است که برای دستیابی به استحکام بالاتر و سختی بیشتر می تواند تحت عملیات حرارتی قرار گیرد. آلیاژ CA-۱۵m آلیاژ بهینه شده CA-۱۵ است که حاوی مولیبدن  $M_o$  می باشد. این آلیاژ دارای استحکام خوب در دماهای بالا می باشد حضور نیکل اثر فریته شده (به مزیت تبدیل شدن) رادر مقایسه کربن پایین متوازن می کنند طوری که خواص استحکامی و سختی آن قابل مقایسه با CA-۱۵ و استحکام ضربه آن بهبود می یابد. افزون مولی بدن  $M_o$  باعث افزایش مقاومت به محیط خورنده آب دریا می شود. محدوده وسیعی از خواص مکانیکی می تواند در گروههای آلیاژی با ساختار ماتنزیتی حاصل شود. با اعمال عملیات حرارتی می توان استحکام کششی از ۶۲۰ تا ۱۵۲۰ mpa و سختی بیش از ۵۰۰ HB به دست آورد. در صورت استفاده از تکنولوژی مناسب این آلیاژها دارای قابلیت جوشکاری و ماشین کاری خوب می باشند.

CA-۴۰ به عنوان ضعیف ترین و CA-۶NM به عنوان بهترین آلیاژ در این رابطه می باشند آلیاژهای ماتنزیتی در پمپ هاف کمپ سورها، شیر آلات، توربین های هیدرولیکی، استفاده می شوند.

### گرایدهای آستنیتی:

گرایدهای آستنیتی شامل CH-۲۰, CK-۲۰, CN-۷M. می باشد، آلیاژهای CH-۲۰, CK-۲۰ آلیاژهای پر کرم و پر کربن با ترکیب کاملا آستنیتی هستند که مقدار کرم از میزان نیکل بیشتر است این آلیاژها در مقایسه با CF-۶ دارای مقاومت خوبی در برابر اسید سولفوریک رقیق و استحکام خوبی در دماهای بالا می باشند. این آلیاژها برابر کاربردهای ویژه ای در فرآیند های شیمیایی و در صنایع کاغذ و خمیر کاغذ برای جابه جایی کیلویی خمیر و اسید تیتریک استفاده می شوند.

گرایدهای CN-۷M آلیاژی با مقدار نیکل بالا و حاوی مولیبدن و مس است که به طور گسترده در تجهیزات انتقال اسید سولفوریک داغ استفاده می شود این آلیاژ هم چنین مقاومت خوبی در برابر اسید هیدروکلریک

رقیق و محلولات کلریدی داغ دارد. از این آلیاژ در صنایع فولاد سازی و کانتینر های نگهدارنده محلولهای نیتریک- هیدروفلوریک و صنایع که آلیاژ پر کرم نوع CF در دسترس نباشد، استفاده می شود.

### گرید های فریت:

این گرید ها شامل CB-۳۰, CC-۵۰ است. به طور کلی آلیاژ CB-۳۰ توسط عملیات حرارتی قابلیت سخت کاری ندارد. در صورت ساخت معمولی این آلیاژ تعادل بین عناصر موجود در ترکیب ساختار کاملا فریتی شبیه فولاد ضد زنگ نوع ۴۴۲ دارد.

عناصر موجود در ترکیب وجود دارد که ساختاری کاملا فریت شبیه فولاد زنگ نزن کار شده ۴۴۲ به وجود می آید. با ایجاد تعادل در ترکیب به طرف حد پایین کرم و حد بالایی نیکل و محدوده کربن مقداری مارتنزیت در حین عملیات حرارتی ایجاد می شود و خواص آلیاژ به خواص فولاد کار شده سختی پذیر ۴۳۱ می رسد. آلیاژ CB-۳۰ در مقایسه با فولادهای CA مقاومت به خوردگی عالی دارد برای بدنه شیر آلات (سوپاپها) و صنایع شیمیایی و غذایی استفاده می شود (در بسیاری از کاربردها بخاطر استحکام به ضربه پایین CB-۳۰، فولادهای آستنیتی با نیکل بالانوع CF جایگزین آن شده است آلیاژ پر کرم CC-۵۰ بخاطر مقاومت خوبی که در برابر خوردگی اکسیدی، مخلوط اسیدنیتریک و سولفوریک و لیکورهای قلیایی) دارد. در قطعیت که در تماس با آبهای اسیدی و صنایع تولید نیتروسولوز استفاده می شوند برای دستیابی به استحکام ضربه بالا آلیاژی با نیکل بیشتر از ۲٪ و نیتروژن ۱۵٪ ساخته می شود.

### گریدهای آستنیتی - فریتی :

این گرید شامل CF-۱۶F, CF-۸C, CF-۸M, CF-۸A, CF-۸, CF-۳A, CF-۳, CE-۳۰, CF-۲۰, CG-۸M و ۳MA می باشد. ساختار این آلیاژها معمولا شامل ۴۰-۵۰ فریبت بسته به نوع گرید، تعادل بین عناصر آستنیت زا و فریت زا در ترکیب می باشد. این مقدار فریت قابلیت جوش کاری آلیاژها را بهبود، استحکام مکانیکی و مقاومت به SCC را افزایش می دهد. میزان فریت در یک قطعه ریختگی مقاوم به خوردگی می تواند از روی ترکیب آلیاژ و با استفاده از دیاگرام شوfer (شکل ۳) تخمین زده می شود. همچنین با استفاده از عکس العمل آنها نسبت به تجهیزات اندازه گیری مغناطیسی تخمین زده می شود. آلیاژ پر کرم و پر کربن CE-۳۰ دارای مقاومت خوبی در برابر اکسید سولفوریک دارد و می تواند در شرایط پس از ریخته گری as-cast استفاده شود. این آلیاژ بطور گسترده برای قطعات ریختگی مجموعه های جوش کاری شده که نمی توانند به طور موثر تحت عملیات حرارتی قرار گیرد استفاده می شود. آلیاژ CE-۳۰A گرید فریتی کنترل شده بخاطر استحکام بالا و مقاومت SCC در اسید پلی تیونیک در صنایع نفت استفاده می شود.

آلیاژهای CF گروه اصلی تولیدات ریختگی مقاوم به خوردگی را تشکیل می دهند در صورتی که این آلیاژها به طور مناسب تحت عملیات حرارتی قرار گیرند مقاومت به خوردگی آن ها بهبود می یابد و به عنوان

بهترین گرید شناخته می شود. آنها دارای قابلیت ریخته گری، ماشین کاری، و جوشکاری خوب و همچنین استحکام و چقرگی بالا در دماهای زیر ۲۲۵C- می باشد.

آلیاژ CF-۸ معادل فولاد زنگ نزن ۳۰۴ می باشد و به عنوان آلیاژ اصلی پایه شناخته می شود و بقیه آلیاژها به عنوان آلیاژها به عنوان آلیاژ فرعی از این نوع آلیاژ به شمار می روند آلیاژ CF-۸ دارای مقاومت عالی در برابر اسید نیتریک و محیط های اکسیدی قوی می باشند. گرید پر کربن CF-۲۰ در مقایسه با CF-۸ در محیط های با قدرت خوردگی کمتر استفاده می شود و آلیاژ کم کربن CF-۳ برای کاربردهای که قطعات ریختگی بدون عملیات حرارتی بعدی به هم جوش داده می شوند استفاده می شود. آلیاژهای CF-۳M و CF-۸M حاوی مولیبدن به منظور بهبود مقاومت به احیاء شیمیایی، انتقال اسید سولفوریک رقیق، اسید استیک، کیلور صنایع کاغذ سازی استفاده می شود.

آلیاژ CF-۸M همواره به عنوان گریدی برای استفاده از پمپها و شیر آلات مقاوم به خوردگی استفاده می شود. CF-۳M بخاطر مقدار کربن پایین می تواند بدون عملیات حرارتی پس از جوشکاری استفاده شود. آلیاژ پایدار شده با فیویوم CF-۸C، آلیاژ CF-۸ یکسان می باشد.

بنابراین قطعات ریخته گری از این آلیاژ که استفاده می شود مقاومت به محیط های خوردنده مشابه به CF-۸ دارند اما ناحیه که جوش می خورد یا در دماهای گاز ۶۵ درجه کاری می کند مورد بحث است.

گرید های CF-۳A, CF-۸A, CF-۳MA در مقایسه با آلیاژهای CF-۳, CF-۸, CF-۳M دارای خواص مکانیکی بالا می باشد این موضوع بخاطر بالانس ترکیب برای ایجاد فریت کنترل شده است که اطمینان از استحکام کافی را حاصل می کند از این گرید در صنایع هسته ای استفاده می شود گروه CF-۱۶F دارای مقدار اضافی سلینیوم برای تقویت ماشین کاری، قطعات ریختگی، که نیازمند مته کاری و حدیده کاری و امثال آنها است می باشد. این گرید در کاربردهای شبیه کاربردهای CF-۲۰ مورد استفاده قرار می گیرد.

آلیاژ CG-۸M در مقایسه با CF-۸m دارای مولی بدن بیشتری می باشد و در کاربردهایی که نیازمند به مقاومت بالاتری در برابر محلول های اسید سولفوریک و سولفور باشد ترجیح داده می شود. اما بر خلاف CF-۸M برای کاربردهای که با اسید نیتروکی یا دیگر محیط های اکسایشی قوی در تماس دارد مناسب نیست.

### آلیاژهای دوبلکس (دوگانه) :

این آلیاژها در مقایسه با آلیاژ های آستنیتی دارای استحکام تسلیم کششی بالاتری می باشد. این امر باعث تفاوت در عمر اقتصادی (مفید) به عنوان مثال در صنایع شیمیایی، فرآیند های با آهنگ جریان و فشار بالا می شود. در صورتیکه استحکام بالا اجازه کاهش ضخامت دیواره، لوله ها، تیرهای مبدل حرارتی تانک ها، ستونها، تجهیزات دهد. صرفه جوئی در هزینه می تواند به حد واقعی برسد. برای تجهیزات چرخشی نظیر سانتریفوژ، جرم تجهیزات با استفاده از فولادهای دوبلکس می تواند کاهش پیدا کند. در موتورها و چرخ دنده

ها بخاطر بار اعمالی کوچک صرفه جویی بیشتر حاصل می شود. بعضی از اوقات در ساخت پمپها و شیر آلات مستحکم از فولادهای دابلکس استفاده می شود که اجازه وارد شدن فشار بالاتر و کاهش هزینه با استفاده از دیواره های نازک داده می شود. زیرا با استفاده از این فولادها چرم را می توان با کاهش مقاومت دیواره ها کم کرد که همان صرفه جویی اقتصادی است.

### آلیاژهای رسوب سختی :

این آلیاژ شامل  $CD-4MCU$ ,  $CB-VCU$  می باشد، آلیاژ  $CB-VCU$  یک آلیاژ مارتنزیتی کم کربن می باشد که ممکن است شامل تعداد جزئی از فریت یا آستنیتی باقیمانده باشد مقاومت، به خوردگی  $CB-VCU$  حد فاصل بین گرید  $CA$  و آلیاژ سختی ناپذیر  $CF$  می باشد در نتیجه این آلیاژ زمانیکه ترکیبی از استحکام و مقاومت به خوردگی بالا نیاز باشد مورد استفاده قرار می گیرد. قطعات ریخته شده از  $CB-VCU$  در شرایط حل سازی شده ماشین کاری می شوند و توسط عملیات پیر سازی در دما پایین ( $595^{\circ}C$ ) تا  $480^{\circ}C$  سخت کاری می شود به خاطر این قابلیت گرید  $CB-VCU$  در کاربردهایی نظیر صنایع هواپیمایی و فرآیند های غذایی که تحت تنش بالا قرار دارند استفاده می شود. گروه  $CD-4MCU$  یک آلیاژ دو فازی با ساختار فریت و آستنیت می باشد که به خاطر تعداد بالای کرم و کربن پایین ساختار مارتنزیتی در حین عملیات حرارتی حاصل شده است.

آلیاژ  $CD-4MCU$  شبیه گروه  $CB-VCU$  می تواند توسط عملیات پیر سازی در دما پایین سخت شود. اما این آلیاژ معمولا در شرایط تابکاری و حل سازی استفاده می شود در این شرایط استحکام آن ها دو برابر گروه  $CF$  است. و مقاومت به خوردگی آنها بهینه می باشد. مقاومت به خوردگی این آلیاژ در مقایسه با انواع  $CF$  بهتر یا یکسان است و همچنین دارای مقاومت عالی به  $SCC$  در محیط های کلریدی و مقاومت در برابر اسید نیتریک و سولفوریک می باشد. این گروه در ساخت پمپها، شیرآلات، قطعات تحت تنش، تجهیزات دریایی، شیمیایی صنایع کاغذ که در این صنایع به ترکیبی از مقاومت خوردگی بالا و استحکام بالا نیاز است مورد استفاده قرار می گیرد.

### کاربردهای آلیاژهای نوع H :

آلیاژهای آهن - کرم شامل گریدهای  $HA$  -  $HC$  -  $HD$  می باشد آلیاژ  $HA$  دارای کاربرد دمای پایین می باشد بخاطر استحکام پایین و مقاومت ضعیف در برابر خوردگی گازی در دمای بالا این آلیاژ در شیر آلات و فلانژها جایگزین تنش پایین وارد می شود استفاده می شود.

آلیاژهای  $HD$  -  $HC$  می توانند برای انتقال بار تا دماهای بالای  $650^{\circ}C$  در مورد بارهای کم تا بالای  $104^{\circ}C$  مورد استفاده قرار گیرد این گرید با تشکیل فاز ۶ در محدوده دمایی  $650^{\circ}C$  الی دچار تردی می شود.  $HD$ ,  $HC$  از نظر مقاومت به خوردگی شبیه هم هستند در حالیکه گرید  $HD$  استحکام بالاتری دارد. هر

گروه در کوره های تشویه مواد معدنی و در کاربردهای با مقدار سولفور بالا جائیکه به استحکام بالا نیاز نیست استفاده می شود.

### آلیاژهای نیکل کرم- آهن :

این گروه شامل HL, HI, Hk, HH, HF, HE می باشد ساختار این گرید غالباً یا کاملاً آستنیتی می باشد و در مقایسه با گرید آهن کرم دارای استحکام و داکتیلیته بهتری می باشند آلیاژ HE دارای مقاومت به خوردگی عالی و استحکام کای در دماهای بالا می باشد این ترکیب از مقاومت به خوردگی و استحکام آلیاژ HE را برای کاربردهای تا دمای  $1095^{\circ}C$  مفید می سازد گروه HE در کاربردهایی با مقدار سولفور بالا نظیر کوره های تشویه و کوره های فولاد سازی استفاده می شود این آلیاژ مستعد به تشکیل فاز در دمای  $650$  الی  $870$  می باشد. اما در آلیاژ HF فاز تشکیل نمی شود. و می تواند تا دمای  $870^{\circ}C$  استفاده می شود. این آلیاژ استفاده می شود لوله های تامین کننده و میله های هیترهای تصفیه روغن و کوره های عملیات حرارتی، کوره های سیمان گرید HH دارای استحکام بالا

### قابلیت ماشین کاری:

فولادهای منگنز دار آستنیتی، ماشین کاری آنها عمدتاً مشکل است. زیرا آنها در زیر و جلوی ابزار کار (براده بردار، سوراخ کن) سخت می شوند. حتی مقدار خیلی کمی شل بودن ابزار که سختی خیلی زیاد هم دارد منجر کند شدن و حتی نازک شدن ابزار می شود.

برای ماشین کاری آنها باید از ابزارهای از جنس کاربیدهای شما؟ یا فولادهای حاوی کبالت استفاده کرد همچنین ابزار باید تیز باشد زیرا در غیر اینصورت کار؟ زیادتر می شود. و نیز ماشین باید صلب و در محل کاملاً مستقر باشد تا حرکت نکند، سرعت ماشین کاری کم بوده تا عمر ابزار کاهش نیابد. در صورت امکان سوراخ ها را در هنگام ریخته گیری و با استفاده از ماهیچه ایجاد کرد و حتی الامکان ماشین کاری برای ایجاد سوراخ انجام نشود و استفاده از روغن کاری های حاوی گوگرد ماشین کاری آن نیز توصیه می شود.

انجام شود اگر مطلوب باشد به طور معمول با؟ ماشین لایه روبی، پیاله ها و بوش ها نیز از فولاد های آستنیتی منگنز دار به طور وسیع در این کاربرد ها مورد استفاده قرار می گیرد. کاربردهای دیگر شامل صفحه فولادی جرثقیل چرخ ها و زنجیره ها... می باشد.

در بعضی تاسیسات افزایش در مقاومت سا؟ و کاهش داکتیلیته می تواند منجر به شکست زود رس در شرایط کاری سخت شود. شکل ۱۲ انعطاف پذیری کششی (درصد ازدیاد طول کششی) در فولاد کرم - منگنز با ضخامت  $150\text{ mm}$  را نشان می دهد که در مقایسه با گرید استاندارد  $30$  الی  $40$  درصد کاهش را نشان می دهد. مقایسه خواص ضربه ای نیز کاهش (صدمه) معینی نشان می دهد.

سنگین، تجهیزات صلب، آهسته، تغذیه پایدار و برشها عمیق)

یک کارگاه ماشین مجهز که از تکنیک های سایشی استفاده می کند می تواند تمام اعمال ماشین های ابزار اصلی را انجام دهد.

عملیات مشابه , keyway catting , planning

### قابلیت جوش کاری:

تعمیر جوش، ساخت مجدد و عملیات مونتاژ مرتبا انجام می شود سیم های جوش فولادهای منگنز دار آلیاژی شده با کرم - نیکل و مولی بدن والکترودها به سهولت در دسترس می باشد با احتیاط قابل قبول همه عملیات معمول جوش کاری می تواند انجام پذیر. فلز کار سختی شده باید قبل از جوش کاری توسط سنگ زنی برداشته شود استفاده از فولادهای ۱٪ مولی بدن در ریخته گری موجب بهبود در مقاومت در برابر ؟ می شود.

### کاربردها:

فولادهای آستنیتی منگنز دار بطور گسترده در کاربردهای سایشی (سنگ زنی) و آسیابها و سنگ شکن ها استفاده می شود.

پوشش اولیه و ثانویه سنگ شکن ها و آسیابها می تواند از نظر وزنی ۴ تا ۲۵ تن تغییر کند. (جزء بالایی و پایینی برای کاهش وزن کلی استفاده می شود)

وزن گلوله سنگ شکن ها و آسیاب ها (crusher) گوه ای تولید شده به روش ریخته گری از ۱۸۰ تا ۳۴۰۰ کیلوگرم می باشد همواره در گلوله های crusher، فک های سنگ شکن صفحات سایشی چکش ها، میله های کوبه و رینگها از فولادهای آستنیتی منگنز دار استفاده می شود. بیل های قوی با ضعیف ۱۹m با استفاده از تکنیک های مونتاژ ریخته گری - جوش کاری ساخته می شوند وزن CROSS ها می تواند ۵۰ تن در حالی که وزن بیل های بزرگ ۲۷۲۰ kg می رسد. در چرخ دنده های میانی، دندانه های چرخ زنجیر sheaves و صفحه دنده نیز بطور گسترده استفاده می شود. جدار (روکش) و پمپها بزرگ با وزن ۲۲۷۰ الی ۹۰۷۰ kg نیز به طور گسترده با استفاده از ریخته گری تولید می شوند قطعات ؟ دیگر شامل Impeller و موتورها و صفحات دو طرف می باشد ساخت مجدد با جوش می تواند.