Company Logo

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

طراحی و انتخاب مواد مهندسی

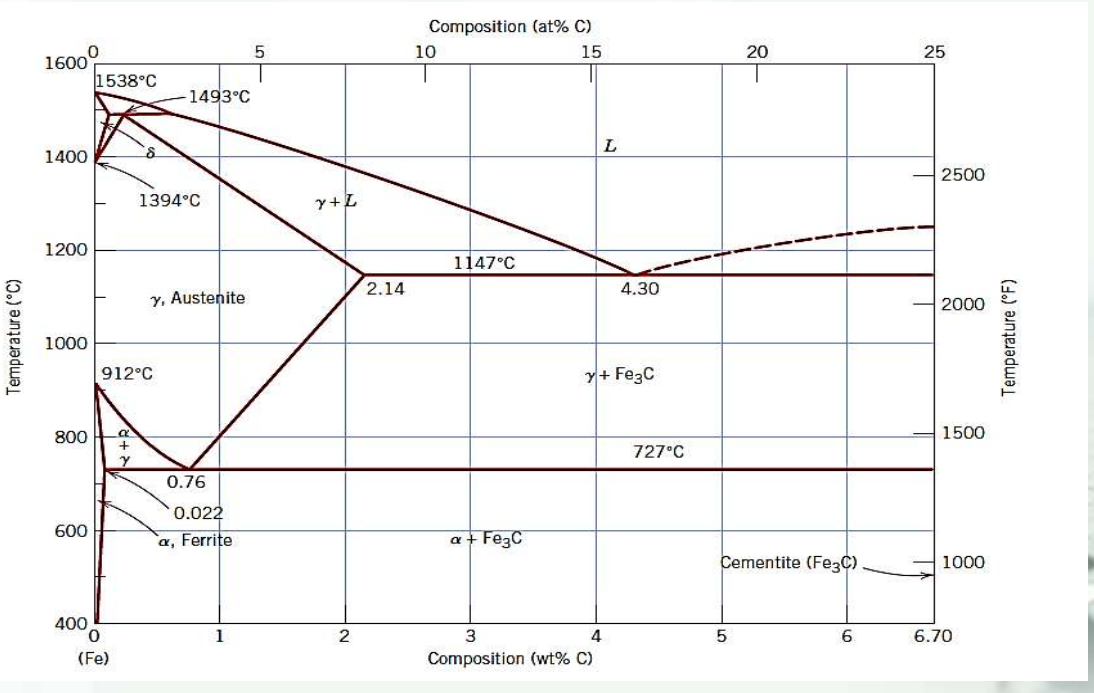
جلسه نهم
(فولادهای کربنی)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

فولادهای ساده کربنی

مقدمه

- ✓ فولاد به مجموعه ای از آلیاژهای آهن-کربن اطلاق می شود که میزان کربن آنها تا حدود ۲٪ متغیر است. این مقدار، بیشینه حلالیت کربن در فاز آستنیت است



فولادهای ساده کربنی

مقدمه

فازهای موجود در دیاگرام آهن- کربن

نام فاز	مشخصات
فریت دلتا	این فاز یک محلول جامد بین‌نشین کربن در آهن دلتا است. حداکثر مقدار حلالیت کربن موجود در این فاز در حالت جامد برابر با ۰/۱ درصد است.
آستنیت	این فاز یک محلول جامد بین‌نشین کربن در آهن گاما است. حداکثر مقدار حلالیت کربن موجود در این فاز در حالت جامد تقریباً دو درصد است. این فاز غیرمغناطیسی و نرم بوده و دارای شکل‌پذیری مناسبی است.
فریت	این فاز یک محلول جامد بین‌نشین کربن در آهن آلفا است. حداکثر مقدار حلالیت کربن موجود در این فاز در حالت جامد ۰/۰۲۵ درصد در دمای یوتکتوئید و ۰/۰۰۸ درصد در دمای اتاق است. فریت نرم‌ترین فاز است و تا دمای ۷۶۸°C مغناطیس و در بالاتر از آن دما غیرمغناطیس است.
سمنتیت	این فاز یک ترکیب بین‌فلزی بوده که دارای ساختار کریستالی ارتورومبیک است. نسبت تعداد اتم‌های آهن به کربن در این فاز ۳ به ۱ بوده و دارای ۶/۶۷ درصد کربن می‌باشد. سمنتیت سخت‌ترین فاز آهن بوده که بسیار ترد و شکننده است. با وجود این، سمنتیت مهمترین فازی است که باعث ایجاد استحکام و سختی فولاد می‌شود.
پرلیت	پرلیت نامی است که به مخلوط فازی یوتکتوئید که دارای ساختار لایه‌ای فریت و سمنتیت است داده شده است. فریت و سمنتیت به صورت صفحات متناوب در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. پرلیت دارای استحکام و سختی بهتری نسبت به فریت و آستنیت است.
لدبوریت	این فاز مخلوط یوتکتیکی از آستنیت و سمنتیت است که دارای ۴/۳ درصد کربن می‌باشد. تقریباً ۵۲ درصد این فاز را آستنیت و در حدود ۴۸ درصد آن را سمنتیت تشکیل می‌دهد.

فولادهای ساده کربنی

مقدمه

دماها و ترکیبات مهم سیستم دوتایی آهن- کربن

دماها (°C) و ترکیبات (wt%C)	اهمیت و مفهوم دما و ترکیب
دماها	
۱۵۳۹	نقطه ذوب آهن
۱۴۹۵	دمای بحرانی که در آن واکنش پریتکتیک اتفاق می‌افتد؛ یعنی در این دما و به هنگام سردکردن مخلوط مایع و فریت دلتا به آستنیت تبدیل شده و بر عکس آن در حین گرم‌کردن اتفاق می‌افتد.
۱۴۰۱ (معمولاً به‌عنوان دمای A_4 شناخته می‌شود)	دمایی که در آن دما آهن گاما به آهن دلتا در حین گرم‌کردن یا آهن دلتا به آهن گاما در حین سردشدن تبدیل می‌شود.
۱۱۴۷	دمای بحرانی که در آن واکنش یوتکتیک اتفاق می‌افتد؛ یعنی مایع در این دما به دو فاز جامد آستنیت و سمنتیت در حین سردکردن تبدیل شده و بر عکس آن در حین گرم‌کردن اتفاق می‌افتد.
۹۱۰ (معمولاً به‌عنوان دمای A_3 نامیده می‌شود)	دمایی که در آن آهن آلفا به آهن گاما در حین گرم‌کردن و یا آهن گاما به آهن آلفا در حین سردکردن تبدیل می‌شود.
۷۱۰ (معمولاً به‌عنوان دمای A_1 نامیده می‌شود)	دمای بحرانی که در آن واکنش یوتکتوئید اتفاق می‌افتد؛ یعنی در حین سردکردن جامد آستنیت به مخلوط دو فاز جامد (فریت و سمنتیت) که پرلیت نام دارد تبدیل می‌شود. عکس این تحول در اثر گرم‌کردن اتفاق می‌افتد.
ترکیب	
۰/۱	حداکثر انحلال‌پذیری کربن در حالت جامد در آهن دلتا
۰/۱۵	مقدار کربن در نقطه پریتکتیک
۲	حداکثر انحلال‌پذیری کربن در حالت جامد در آهن گاما (در دمای یوتکتیک)
۴/۳۰	مقدار کربن در نقطه یوتکتیک
۰/۰۲۵	حداکثر انحلال‌پذیری کربن در حالت جامد در آهن آلفا (در دمای یوتکتوئید)
۰/۸	مقدار کربن در نقطه یوتکتوئید
۰/۰۰۸	حداکثر انحلال‌پذیری کربن در حالت جامد در آهن آلفا (در دمای اتاق)
۶/۶۷	مقدار کربن موجود در سمنتیت

فولادهای ساده کربنی

مقدمه

- ✓ فولادها بجز آهن و کربن دارای عناصر دیگری نیز هستند. سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد از این جمله هستند.
- ✓ عناصر گازی اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن نیز در این آلیاژها یافت می شوند. کنترل این عناصر گازی توسط کنترل عملیات ذوب در شرایط خاص صورت می پذیرد.
- ✓ بعضی دیگر از عناصر آلیاژی نیز برای حصول برخی خواص ویژه به فولادها اضافه می شوند.

فولادهای ساده کربنی

مقدمه

✓ عناصر آلیاژی فولادها به سه دسته تقسیم بندی می شوند:

۱- عناصر نامطلوب و یا اتفاقی که باید میزان آنها به دقت کنترل شود شامل گوگرد، فسفر، اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن

۲- عناصر اتفاقی ولی مفید شامل سیلیسیم و منگنز

۳- عناصر مفید و خواسته مانند نیکل، کروم، مولیبدن، وانادیم و ...

فولادهای ساده کربنی

مقدمه

- ✓ فولادها معمولاً به دو دسته اصلی تقسیم می شوند:

۱- فولادهای ساده کربنی که خواص این رده تا حدود بسیار زیادی بستگی به میزان کربن آنها دارد.

۲- فولادهای آلیاژی که خواص آنها علاوه بر اهمیت کربن، بطور عمده ناشی از نوع و میزان عناصر آلیاژی دیگر در آنهاست.

فولادهای ساده کربنی

فولادهای ساده کربنی

- ✓ این فولادها با کاربردی وسیع، نزدیک به ۹۰٪ از کل فولاد تولیدی را به خود اختصاص داده اند.
- ✓ مهمترین خواص این رده عبارتند از قیمت پایین، کارپذیری خوب و قابلیت ریخته گری و ماشینکاری مناسب.
- ✓ خواص این فولادها به کمک عملیات مکانیکی، حرارتی و سطحی قابل تغییر هستند.
- ✓ در اشکال مختلفی مانند سیم، لوله، ورق، مقاطع و محصولات ریختگی و فورج تولید می شوند.

فولادهای ساده کربنی

طبق تعریف انجمن آهن و فولاد آمریکا (American Iron & Steel Institute=AISI)،
تعریف فولادهای کربنی ساده عبارتست از:

الف: هیچ حداقلی برای عناصر آلومینیم، کروم، کبالت، نایوبیم، مولیبدن، نیکل، تیتانیم، تنگستن، وانادیم، زیرکونیم و دیگر عناصر آلیاژی مشخص نشده است.

ب: مس نباید کمتر از ۰.۰٤٪ باشد

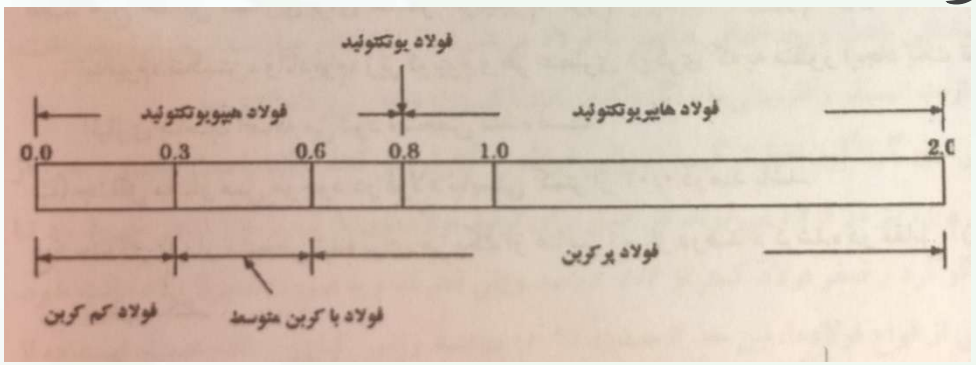
ج: حداکثر مقدار منگنز ۱/٦٥٪، سیلیسیم ۰/٦٪ و مس ۰/٦٪ است.

فولادهای ساده کربنی

دسته بندی فولادهای ساده کربنی

✓ دسته بندی فولادهای ساده کربنی براساس مواردی از قبیل مقدار کربن، کاربرد و روش تولید انجام می پذیرد که دسته بندی براساس مقدار کربن بسیار رایج است.

- فولادهای کم کربن (کربن کمتر از ۰/۳٪)
- فولادهای با کربن متوسط (کربن بین ۰/۳٪ تا ۰/۶٪)
- فولادهای پر کربن (کربن بیشتر از ۰/۶٪)
- فولادهای هیپویوتکتوئید (کربن کمتر از ۰/۸٪)
- فولادهای یوتکتوئید (کربن برابر با ۰/۸٪)
- فولادهای هایپر یوتکتوئید (کربن بیشتر از ۰/۸٪)



فولادهای ساده کربنی

دسته بندی فولادهای ساده کربنی

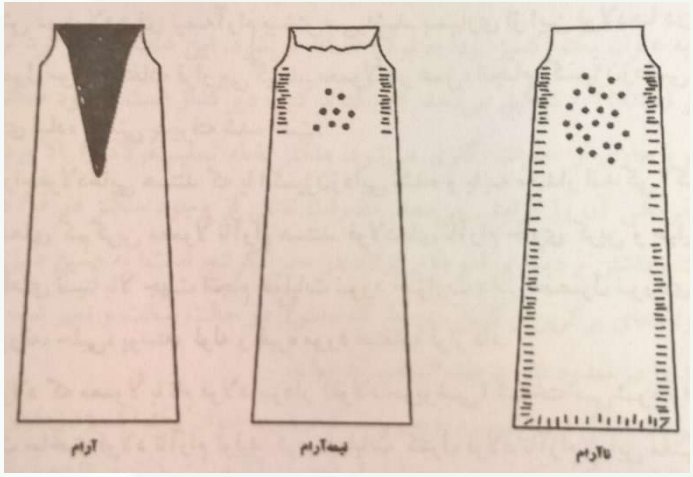
- ✓ دسته بندی فولادهای ساده کربنی براساس کاربرد شامل فولادهای ساختمانی، ابزار و ... می باشد.
- ✓ همچنین تقسیم بندی ریزتر براساس کاربرد نیز امکان پذیر است مانند فولادهای ریل، فنر، لوله های دیگ بخار، ورق، کله زنی سرد و ....
- ✓ با توجه به اهمیت روش تولید فولاد در کیفیت آن، از حرف E برای مشخص شدن فولادهای ذوب الکتریکی شده استفاده می شود. البته بدلیل پیشرفت تکنولوژی، این دسته بندی چندان رایج نیست.

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها

✓ فولادها با توجه به میزان اکسیژن زدایی و روش ساخت به انواع مختلفی تقسیم می شوند:

الف- فولاد آرام، نیمه آرام و نا آرام: به دلیل ایجاد واکنش بین آهن و کربن در حین ساخت، خارج کردن اکسیژن به منظور جلوگیری از تشکیل حفرات گازی ضروری است.



ب- فولادهای کارشده و ریختگی

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها- آرام، نیمه آرام و نا آرام

- ✓ اکسید عناصر سیلیسیم، منگنز و آلومینیم و سولفید عناصر منگنز و آهن به صورت سرباره خارج می شوند، اما ممکن است مقادیری در مذاب باقی مانده و در حین انجماد میان شاخه های دندریتی محبوس شوند. وجود این مناطق مطلوب نبوده و بسیار مضر است.
- ✓ توزیع آخال ها در فولاد به عواملی چون فرآیند ساخت، نحوه بار ریزی و درجه اکسیژن زدایی بستگی دارد.

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها – آرام

- ✓ فولاد آرام، فولادی است که بطور کامل اکسیژن زدایی شده و هیچ حفره گازی ندارد.
- ✓ فولادهای با کربن بیشتر از ۰/۲۵٪ بوسیله سیلیسیم یا آلومینیم اکسیژن زدایی می شوند.
- ✓ تشکیل حفره انقباضی در بالای شمش، مشکل عمومی این فولادها است که با استفادئه از تغذیه تا حدودی قابل رفع است.

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها – نیمه آرام

- ✓ درجه اکسیژن زدایی این رده نسبت به فولادهای آرام کمتر است.
- ✓ احتمال وجود جدایش در این فولاد ها بیشتر است.
- ✓ عمده مصرف این فولادها در کاربردهای ساختمانی معمول می باشد.
- ✓ اکسیژن زدایی کمتر از این میزان، امروزه برای تولید فولادهای ساده کربنی به ندرت انجام می پذیرد.

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها – ناآرام

- ✓ این فولادها یا اکسیژن زدایی نشده اند، یا اکسیژن زدایی بسیار اندکی در آنها انجام گرفته است.
- ✓ فولادهای کم کربن معمولا نا آرام هستند.
- ✓ این فولادها را که دارای کربن و سیلیسیم کمی هستند می توان جهت انجام نورد تا دماهای بالایی حرارت داد.
- ✓ محصول نوردی آنها برای تولید ورقه، حلبی، لوله و ... مورد استفاده قرار می گیرد.
- ✓ نوع دیگری از این فولاد با نام سردار (سرپوشی) با کنترل عملیات ساخت قابل تولید است. این فولاد برای کار سرد کاربرد دارد.

فولادهای ساده کربنی

انواع فولادها- فولادهای کارشده و ریختگی

انواع کار شده بوسیله کار مکانیکی شکل می گیرند. فولادهایی که بوسیله ریخته گری شکل می گیرند نیز تحت عنوان ریختگی شناخته می شوند. اغلب فولادها می توانند توسط هر دو فرآیند شکل گرفته باشند. در حقیقت هر فولاد کار شده در ابتدا حداقل یک مرحله ریخته گری شده است. برتری محصولات ریختگی در هزینه تولید پایین تر و قابلیت تولید اشکال پیچیده است.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ منگنز: به عنوان اکسیژن زدا و تشکیل دهنده ترکیب با گوگرد استفاده دارد. وجود منگنز باعث تولید فولادی عاری از حفرات گازی می شود. این عنصر باعث افزایش نقطه تسلیم و استحکام کششی و همچنین افزایش چقرمگی فولاد می شود. اما وجود منگنز باعث تمایل به ترک برداشتن و همچنین اعوجاج حین کوئنچ فولاد می شود. در فولادهای پر کربن و کربن متوسط که در حالت کوئنچ و تمپر مورد استفاده قرار می گیرند، مقدار این عنصر در حدود ۰/۵٪ انتخاب می شود.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ سیلیسیم: بصورت فروسیلیسیم و به عنوان اکسیژن زدا مورد استفاده قرار می گیرد. مقدار کم آن تأثیری بر خواص مکانیکی فولاد ندارد. وجود آن نشان دهنده اکسیژن زدایی مناسب است. این عنصر با انحلال در فریت باعث استحکام بخشی از طریق مکانیزم تشکیل محلول جامد می شود. همچنین در اثر جلوگیری از تشکیل حفرات گازی، باعث تولید قطعات ریختگی سالم تر می شود.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ گوگرد: در فولاد بصورت سولفید آهن یا منگنز وجود دارد. بدلیل غیر قابل حل بودن سولفید آهن و اجتماع ان در مرز دانه ها، باعث افت فاحش خواص مکانیکی فولاد می گردد. در بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد که برای فرآیندهای شکل دهی نورد یا فورج متداول است، ذوب موضعی شده و باعث ترک خوردن میشود که به آن پارگی گرم یا سرخ شکنندگی می گویند. مضرات سولفید منگنز به مرتب از سولفید آهن کمتر است چرا که در مرز دانه ها تجمع نمی کند.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ فسفر: این عنصر نیز مشابه گوگرد نامطلوب است. باعث ایجاد پارگی سرد در حین عملیات مکانیکی می شود. در اثر وجود فسفر و به دنبال آن تشکیل فسفید آهن، ترک های سطحی در حین کار مکانیکی ایجاد می شوند. حلالیت این عنصر در فریت بیشتر از آستنیت است، به همین دلیل سخت کننده قوی برای فریت بشمار می رود. بطور محسوسی باعث افزایش استحکام تسلیم نهایی می شود و انعطاف پذیری فولاد را به مقدار قابل توجهی کاهش می دهد.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ مس و قلع: عموماً در فولاد وجود دارند و از طریق ذوب مجدد قراضه ها وارد می شوند. قلع برای فولادهای فورج که نیاز به کیفیت بالایی دارند، مضر است. مس تا حدود ۰/۰٤٪ تأثیر محسوسی بر خواص مکانیکی ندارد. این عنصر مقاومت در برابر خوردگی اتمسفری را بهبود می بخشد. مس در حدود ۰/۰۵٪ به دلیل زبر نمودن سطح فولاد، قابلیت کارگرم را تضعیف می نماید.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ عناصر گازی (اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن): در میان عناصر گازی، هیدروژن بالاترین قابلیت نفوذ را دارد و باعث ایجاد ترک های ورقه ای یا مویی می شود. تأثیر مخرب هیدروژن را می توان توسط سرد کردن بسیار آرام بعد از عملیات کارگرم یا با آنیل کردن فولاد در دمای ۶۵۰-۶۰۰ درجه سانتی گراد به حداقل رساند.

نیتروژن از اتمسفر وارد می شود. پس برای کنترل آن باید اتمسفر حین ریخته گری را کنترل نمود. مهمترین اثر نیتروژن تشکیل باندهای لودرز در حین تسلیم فولادهای کم کربن است.

فولادهای ساده کربنی

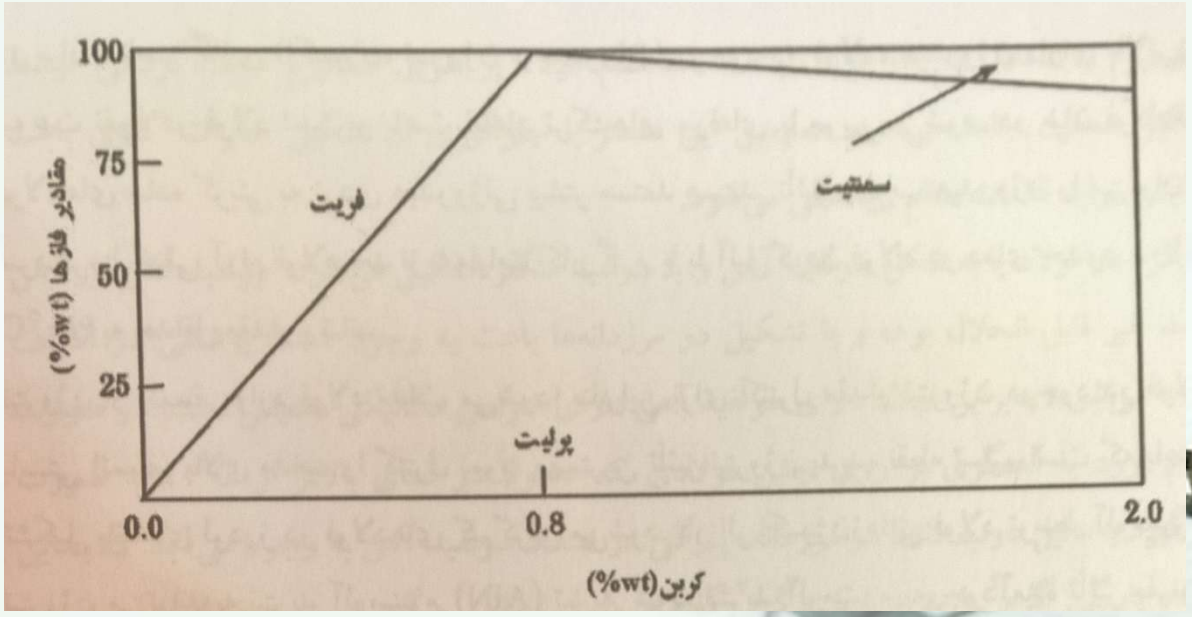
تأثیر مقادیر کم عناصر آلیاژی

- ✓ عناصر گازی (اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن): اکسیژن بوسیله اکسیژن زدایی، گاز زدایی در خلاء و ذوب مجدد در خلاء قابل کنترل است. این عنصر دمای انتقال را بالا برده و باعث کاهش انعطاف پذیری و چقرمگی فولاد می شود. تأثیر کمی روی استحکام کششی و تسلیم و سختی دارد. قابلیت ترکیب با آهن، منگنز، سیلیسیم و آلومینیم را داشته و آخال های غیرفلزی آنها را ایجاد می نماید. این آخال ها ضمن از بین بردن پیوستگی ساختار، خواص جهت دار در فولاد را موجب می شوند.

فولادهای ساده کربنی

تأثیر کربن

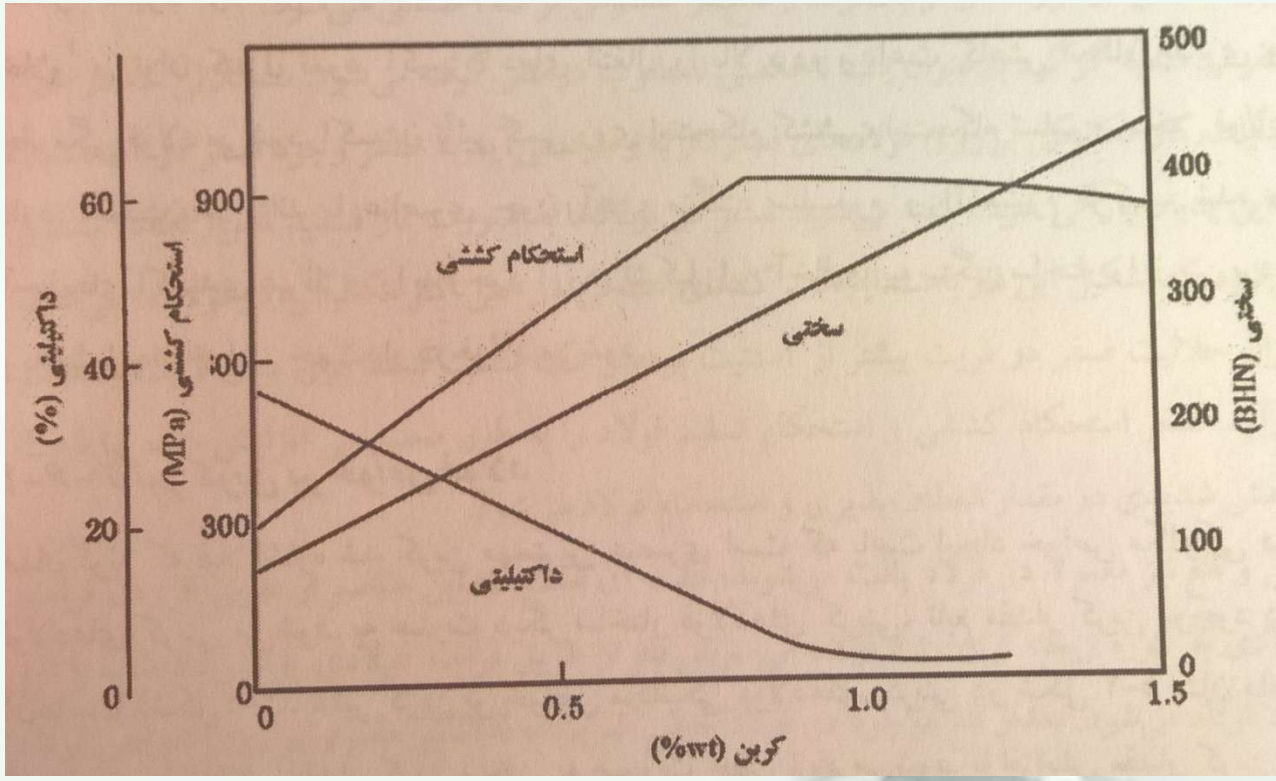
- ✓ کربن مهمترین عنصر ایجاد کننده خواص مکانیکی مناسب فولادهای ساده کربنی است.
- ✓ ساختار این فولادها تابع میزان کربن موجود در آنهاست.



فولادهای ساده کربنی

تأثیر کربن

✓ تأثیر میزان کربن بر خواص مکانیکی در شکل مشخص شده است.



فولادهای ساده کربنی

تأثیر کربن

- ✓ افزایش کربن تا قبل از نقطه یوتکتوئید باعث افزایش خطی نقطه تسلیم می شود.
- ✓ با افزایش کربن، سختی نیز به صورت خطی افزایش می یابد.
- ✓ میزان انعطاف پذیری با افزایش میزان کربن بسرعت کاهش می یابد.
- ✓ افزایش کربن بیشتر از کربن نقطه یوتکتوئید تأثیری در استحکام ضربه فولاد ندارد.