فصل چهارم

روش‌های بهبود خواص فلزات

هدف های رفتاری : بایادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ دلایل بهبود بخشیدن خواص فلزات را بیان کند.

۲ــ مهم‌ترین روش‌های بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرد.

۳ــ روش بهبود بخشیدن خواص فلزات به‌وسیله عملیات حرارتی را توضیح دهد.

۴ــ روش بهبود بخشی خواص فلزات به‌وسیله کارمکانیکی را توضیح دهد.

۵ــ روش بهبود بخشی خواص فلزات به‌وسیله آلیاژسازی را شرح دهد.

۱ــ۴ــ مقدمه

در فصل سوم دیدیم که خواص مواد، از جمله فلزات علاوه بر ترکیب شیمیایی (نوع اتم‌های تشکیل‌دهنده) به نوع پیوند بین اتم‌ها، نحوه آرایش یا قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر (ساختار شبکه کریستالی) و ریزساختار آن بستگی دارد به‌طوری‌که ممکن است با تغییر هر کدام از عوامل مذکور خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی فلز مثل : سختی، استحکام، شکل‌پذیری، هدایت الکتریسیته، ماشین‌کاری و جوشکاری تغییر نماید. بنابراین مهم و ضروری است برای رسیدن به فلزاتی با خواص برتر و کارایی بهتر با روش‌های مختلف ایجاد تغییر در خواص فلزات آشنا شویم. در این فصل به‌صورت مختصر و فشرده سه روش متداول و پرکاربرد جهت تغییر و بهبود در خواص قطعات فلزی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲ــ۴ــ عملیات حرارتی

در حالت کلی گرم کردن و سرد کردن زمان‌بندی شده فلزات و آلیاژهای آن‌ها (در حالت جامد) را به‌منظور به‌دست آوردن خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب عملیات حرارتی می‌گویند. لازم به ذکر است عملیات حرارتی برای مواد غیرفلزی مثل سرامیک‌ها نیز به‌کار می‌رود.

براساس تعریف فوق پارامترها یا فاکتورهای مهم در اجرای عملیات حرارتی عبارتند از :

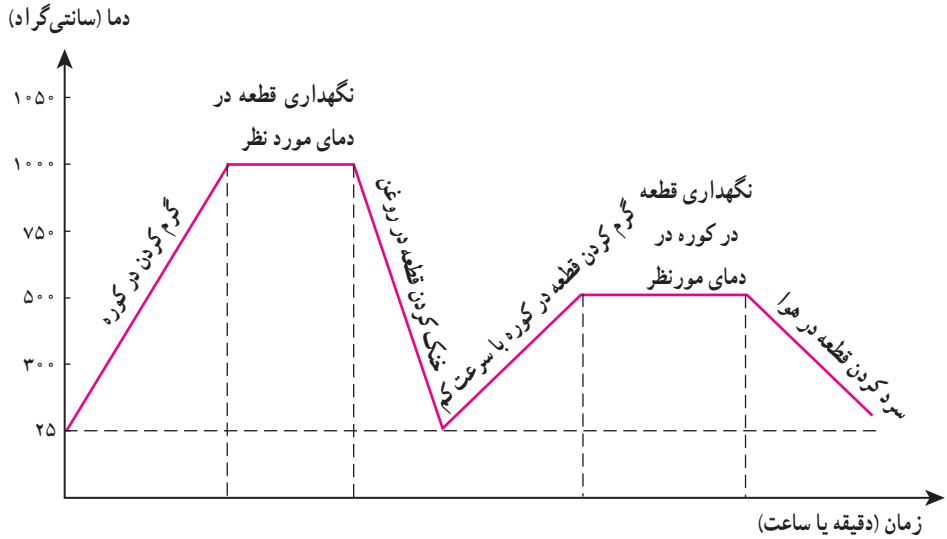
۱ــ سرعت گرم کردن قطعه

۲ــ دمای عملیات حرارتی

۳ــ زمان توقف یا نگهداری قطعه در دمای فوق

۴ــ سرعت سرد کردن

نمودار (۱ــ۴) نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید برای رسیدن به خواص مورد نظر در قطعه ممکن است لازم باشد اجرای عملیات حرارتی در چند سیکل مختلف صورت پذیرد یعنی قطعه در چند مرحله با شرایط و برنامه زمان‌بندی متفاوتی گرم و سرد شود.



نمودار ۱ــ۴ــ نمودارعملیات حرارتی یک قطعه فلزی که از دو سیکل تشکیل شده است.

۱ــ۲ــ۴ــ اهداف عملیات حرارتی : به‌طور معمول عملیات حرارتی به‌منظور افزایش سختی و استحکام قطعات فلزی و آلیاژهای آنها صورت می‌گیرد ولی گاهی به‌دلایل دیگر مثل : کاهش سختی، افزایش قابلیت شکل‌پذیری، بهبود خواص هدایت الکتریکی و حرارتی یا بهبود خواص مغناطیسی از عملیات حرارتی استفاده می‌شود.

به‌طور کلی هدف‌های مورد نظر از انجام عملیات حرارتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد؛

۱ــ افزایش سختی و استحکام

۲ــ نرم شدن و افزایش قابلیت شکل‌پذیری

۳ــ برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعه (حذف تغییرات ایجاد شده در ساختار قطعه فلزی حین عملیات ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری و غیره)

برای درک بهتر اثرات عملیات حرارتی به مثال‌های زیر توجه نمایید :

مثال ۱ــ تنش‌زدایی (حذف تنش‌های ایجاد شده و باقیمانده در ساختار سازه فلزی) : همان‌طور که در شکل (۲ــ۴) می‌بینید در طی فرآیند ساخت سازه‌های فلزی در اثر عملیاتی نظیر : نورد، خم‌کاری، جوشکاری، ماشین‌کاری و غیره بخشی از تنش‌ها با نیروهای اعمال شده به قطعه در ساختار داخلی آن باقی می‌مانند که به‌طور کلی تنش‌های باقیمانده نامیده می‌شوند.

شکل ۱ــ۴ــ فرآیند جوشکاری و شکل دادن

این تنش‌ها در صورتی‌که حذف یا کاهش پیدا نکنند باعث کاهش استحکام و طول عمر سازه فلزی می‌شوند. مقدار و نوع این تنش‌ها علاوه بر جهش قطعه به نوع و مقدار عملیاتی بستگی دارد که روی آن صورت می‌گیرد بنابراین همان‌طور که در شکل (۲ــ۴) ملاحظه می‌شود در انتهای فرآیند ساخت قطعات و سازه‌های فلزی جهت حذف یا کاهش مقدار تنش‌های باقیمانده و ایجاد ساختار یکنواخت، سازه فلزی را برای مدت معینی در درمای از پیش تعیین شده قرار می‌دهند و سپس آن‌را به آرامی سرد می‌کنند.

شکل ۲ــ۴ــ کوره عملیاتی حرارتی

مثال۲ــ افزایش سختی و استحکام : چنانچه آلیاژی از فولاد با ترکیب ۰/۴ درصد کربن، ۰/۸ درصد منگنز، ۱ درصد کروم، ۰/۲ درصد مولیبدن را اگر به مدت کافی تا ۸۴۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم و سپس آن را به سرعت در روغن سرد کنیم، سختی آن حدود ۵ برابر افزایش می‌یابد.

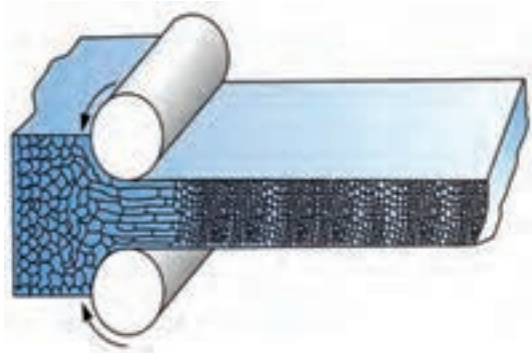
چرخ‌دنده‌ها قطعاتی هستند که در شرایط کاری به شدت تحت سایش، ضربه و خوردگی قرار می‌گیرند بنابراین مطلوب است سطح آنها به شدت سخت باشد تا کمتر دچار سایش و خوردگی شوند از طرف دیگر دوست داریم قسمت‌های داخلی آن (مغز قطعه) به‌منظور تحمل ضربات مکانیکی نرم‌تر باشد. همچنین در حین فرآیند ساخت و ماشین‌کاری هرچه قطعه نرم‌تر باشد سرعت و هزینه‌های ماشین‌کاری کاهش می‌یابد. بنابراین به‌طور معمول جنس چنین قطعاتی طوری انتخاب می‌شود که قابلیت سختی‌پذیری در اثر عملیات حرارتی را داشته باشند لذا قطعه را در شرایطی که از ساختار به نسبت نرمی برخوردار است ماشین‌کاری نموده و می‌سازند سپس با انجام عملیات حرارتی تحت شرایط معین و از پیش برنامه‌ریزی شده مطابق شکل (۳ــ۴) اقدام به سخت‌کاری سطح آن می‌نمایند لازم به ذکر است در این نوع عملیات حرارتی سرعت سرد کردن نهایی قطعه سریع صورت می‌گیرد و برای این منظور به‌طور معمول از آب، آب نمک یا روغن استفاده می‌شود.

شکل ۳ــ۴ــ عملیات حرارتی سخت کاری سطح چرخ دنده بزرگ فولادی

مثال ۳ــ افزایش سختی و استحکام از طریق اعمال عملیات حرارتی خاص فولادها نیست بلکه سختی و استحکام بعضی از آلیاژهای غیرآهنی را نیز با انجام عملیات حرارتی می‌توان بهبود بخشید؛ به عنوان مثال، آلیاژ آلومینیم ــ مس با ترکیب ۹۶ درصد آلومینیم و ۴ درصد مس چنانچه به مدت کافی در دمای ۵۵۰ درجه سانتیگراد نگه داریم و سپس به سرعت آن را در آب سرد فرو کنیم،

سختی آن حدود ۶۴ برینل می‌شود. اکنون، اگر دوباره آلیاژ را به مدت کافی در دمای ۱۳۰ درجه سانتیگراد حرارت دهیم، سختی آن به ۱۲۰ برینل می‌رسد.

۳ــ۴ــ کار مکانیکی



شکل ۴ــ۴ــ ساختار قطعه فلزی در اثر نورد فشرده می‌شود.

همان‌گونه که پیش از این گفته شد، یکی از ویژگی‌های فلزات قابلیت کار مکانیکی بر روی آنهاست؛ یعنی، فلزات را می‌توان بر اثر اعمال نیرو تغییر شکل داد و آنها را به ورق، مفتول یا شکل‌های دیگر تبدیل کرد. هنگامی‌که در دمای محیط بر روی یک فلز کار مکانیکی انجام شود مطابق آنچه که در شکل (۴ــ۴) به‌صورت شماتیک نشان داده شده است، به دلیل تغییر شکل و فشرده شدن دانه‌های فلز و باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده در ساختار داخلی ماده استحکام و سختی فلز افزایش می‌یابد و از قابلیت شکل‌پذیری آن کاسته می‌شود؛ انجام این کار در مورد فلزات غیرآهنی هم صدق می‌کند.

در شکل (۵ــ۴) بخشی از خط نورد شرکت فولاد مبارکه اصفهان مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قبل از شروع نورد قطعات فولادی که تختال نامیده می‌شوند به‌منظور نرم شدن و افزایش قابلیت شکل‌پذیری و سرعت نورد در کوره‌های مخصوصی گرم می‌شوند و به‌صورت گداخته وارد خط نورد می‌شوند و محصول نهایی که ورقه‌هایی با ضخامت‌های متفاوت می‌باشد تولید می‌شوند. به این فرآیند در اصطلاح نورد گرم گفته می‌شود، چنانچه عملیات نورد در دمای محیط صورت پذیرد مطابق آنچه شکل (۶ــ۴) دیده می‌شود در اصطلاح نورد سرد می‌گویند. در هر صورت عملیات نورد چه به‌صورت گرم انجام شود و چه به‌صورت سرد صورت پذیرد به‌دلیل اعمال نیرو و فشرده شدن ساختار کریستالی فلز یا آلیاژ و نیز باقی ماندن بخشی از تنش اعمال شده محصول از درجه سختی بیشتری برخوردار می‌شود.

همان‌طور که پیشتر نیز گفته شده میزان افزایش سختی یا استحکام در اثر کار مکانیکی علاوه بر جنس فلز یا آلیاژ به مقدار کار مکانیکی صورت گرفته و دمای انجام آن بستگی دارد. همچنین لازم

شکل ۵ــ۴

شکل ۶ــ۴

به ذکر است منظور از کار مکانیکی شیوه‌های مختلف اعمال نیرو و ایجاد تنش در ساختار داخلی فلز با آلیاژ می‌باشد.

به‌عنوان مثال در دستگاه‌هایی که برای خرد کردن سنگ‌ها (سنگ شکن‌ها) ساخته می‌شوند و یا در بیل‌های مکانیکی که برای عملیات حفاری و خاک‌برداری استفاده می‌شوند، چون در شرایط کاری به‌شدت تحت سایش و ضربه قرار دارند لذا، جنس چنین وسایلی را از ترکیب فولادی مخصوصی می‌سازند که در حین کار و وارد شدن ضربه یا نیرو قابلیت سخت شدن سطحی دارد و از این طریق کارآیی و طول عمر آنها افزایش می‌یابد.

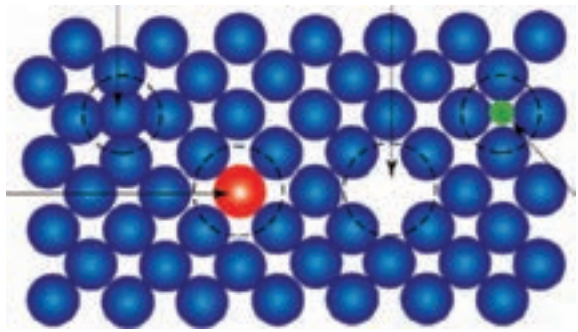
۴ــ۴ــ آلیاژسازی

به‌طور کلی فلزات در حالت خالص از درجه سختی و استحکام کمتری برخوردار می‌باشند لذا یکی از راهکارهای متداول و معمول برای افزایش خواص مکانیکی فلزات با آلیاژها اضافه کردن عناصر آلیاژی دیگر به ساختار آنها می‌باشد (شکل ۷ــ۴). به‌عنوان مثال، از طریق اضافه کردن عناصر آلیاژی مختلف به ساختار آهن امروزه هزاران ترکیب مختلف فولادی با خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی متفاوت در بازار وجود دارد.

شکل ۷ــ۴ــ اضافه کردن عناصر آلیاژ به کوره فولادسازی

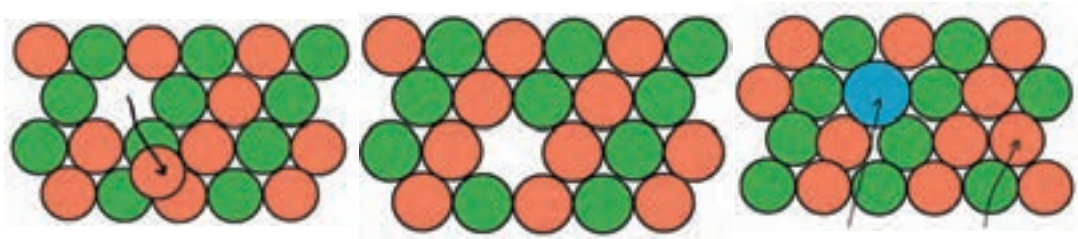
۱ــ۴ــ۴ــ مکانیزم استحکام بخشی توسط عناصر آلیاژی : همان‌طور که در فصل گذشته گفته شد فلزات در حالت جامد دارای ساختارهای بلوری می‌باشند و اکثر فلزات صنعتی پرکاربرد دارای سه نوع شبکه کریستالی (BCC یا مکعبی مرکز پر، FCC یا مکعبی با وجوه مرکز پر و HCP یا منشور شش وجهی فشرده) می‌باشند. بنابراین طی فرآیند استحکام بخشی از طریق اضافه کردن یک یا چند عنصر به شبکه اتمی فلز مورد نظر در حالت کلی، سه حالت اتفاق می‌افتد؛

۱ــ در صورتی‌که مقدار عنصر آلیاژی کم باشد (بستگی به حلالیت فلز پایه دارد) و اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی کوچک باشد. (مثل اتم‌های کربن در داخل شبکه آهن) در این صورت مطابق شکل (۸ــ۴) اتم‌های اضافه شده در فضاهای خالی بین اتم‌های فلز پایه قرار می‌گیرند (حالت بین نبش).



شکل ۸ــ۴

۲ــ چنانچه مقدار عنصر آلیاژی کم باشد ولی اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی بزرگ باشند و سایر شرایط را نیز دارا باشند. مطابق شکل (۹ــ۴) به‌جای بعضی از اتم‌های فلز پایه در شبکه کریستالی قرار می‌گیرند. نظیر اتم‌های روی در شبکه کریستالی فلز مس (حالت جانشین).



شکل ۹ــ۴

۳ــ درحالتی‌که مقدار عنصر آلیاژی بیش از حد حلالیت در فلز پایه باشد منجر به تشکیل ترکیبات فلزی جدید می‌شود که نوع این ترکیبات، مقدار آنها و چگونگی توزیع آنها در داخل فلز پایه بستگی به نوع عناصر آلیاژی و واکنش‌پذیری آنها با اتم‌های فلز پایه دارد (ایجاد ترکیبات فلزی جدید).

بدین ترتیب در هر سه حالت به‌دلیل حضور و قرار گرفتن عناصر دیگر و یا ترکیبات جدید در داخل شبکه اتمی‌فلز پایه آرایش اتمی‌فلز پایه و ساختار آن دچار تغییر می‌شود و در نتیجه حرکت اتم‌های فلز پایه در اثر اعمال نیروی خارجی مشکل‌تر می‌گردد. به‌عبارت دیگر اتم‌های اضافه شده و یا ترکیبات فلزی جدید به‌صورت مانعی در سر راه حرکت اتم‌های فلز پایه عمل می‌نمایند و بدین ترتیب مقدار نیروی لازم برای جابه‌جایی اتم‌ها در شبکه فلز پایه و یا تغییر شکل آن بالا می‌رود و به اصطلاح گفته می‌شود؛ استحکام یا سختی آلیاژ افزایش یافته است.

بنابراین در حالت کلی نتیجه این مکانیزم استحکام بخشی را روی خواص فلزات به‌صورت زیر می‌توان خلاصه کرد :

۱ــ استحکام و سختی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بیشتر است.

۲ــ انعطاف‌پذیری یا شکل‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

۳ــ جوش‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

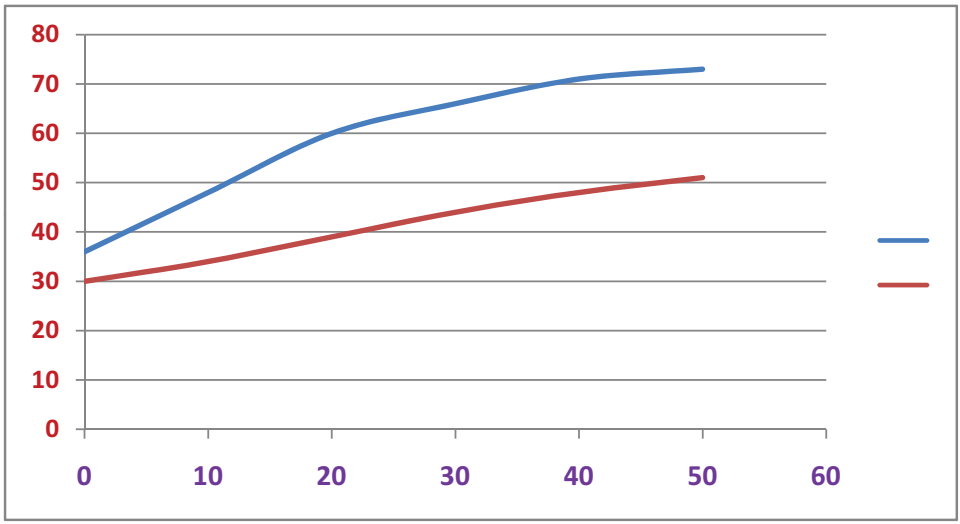
۴ــ هدایت الکتریکی و حرارتی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بسیار کمتر است.

۵ــ نقطه ذوب آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.

به مثال زیر توجه کنید :

مثال ۴ــ همان‌گونه که در نمودار (۲ــ۴) مشاهده می‌شود، هرقدر مقدار نیکل در آلیاژ مس ــ نیکل افزایش یابد، سختی و استحکام آلیاژ به دست آمده افزایش پیدا می‌کند.

ملاحظه می‌شود، با افزایش حدود ۴۰ درصد نیکل به مس سختی آن از ۳۶ به ۷۳ برینل می‌رسد؛ یعنی سختی آن دو برابر و استحکام آن نیز بیش از ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. همانگونه که گفته شد، آلیاژسازی تنها برای افزایش یا بهبود استحکام فلز صورت نمی‌گیرد بلکه برای بهبود دیگر ویژگی‌های آن نیز ممکن است، انجام شود.



نمودار ۲ــ۴ــ تغییرات خواص آلیاژ مس ــ نیکل بر حسب مقادیر مختلف نیکل

آزمون پایانی

۱ــ هدف از بهبود بخشیدن خواص فلزات چیست؟

۲ــ سه روش بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرید.

۳ــ منظور از عملیات حرارتی چیست؟

۴ــ موارد استفاده عملیات حرارتی در صنعت چیست؟

۵ــ کار مکانیکی و موارد استفاده آن را در بهبود بخشیدن به خواص فلزات توضیح دهید.

۶ــ آلیاژسازی به چه منظور انجام می‌گیرد و موارد استفاده آن چیست؟

فصل پنجم

فلزات آهنی

هدف رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

۱ــ آلیاژهای آهنی را دسته‌بندی نماید.

۲ــ طبقه‌بندی فولادها را توضیح دهد.

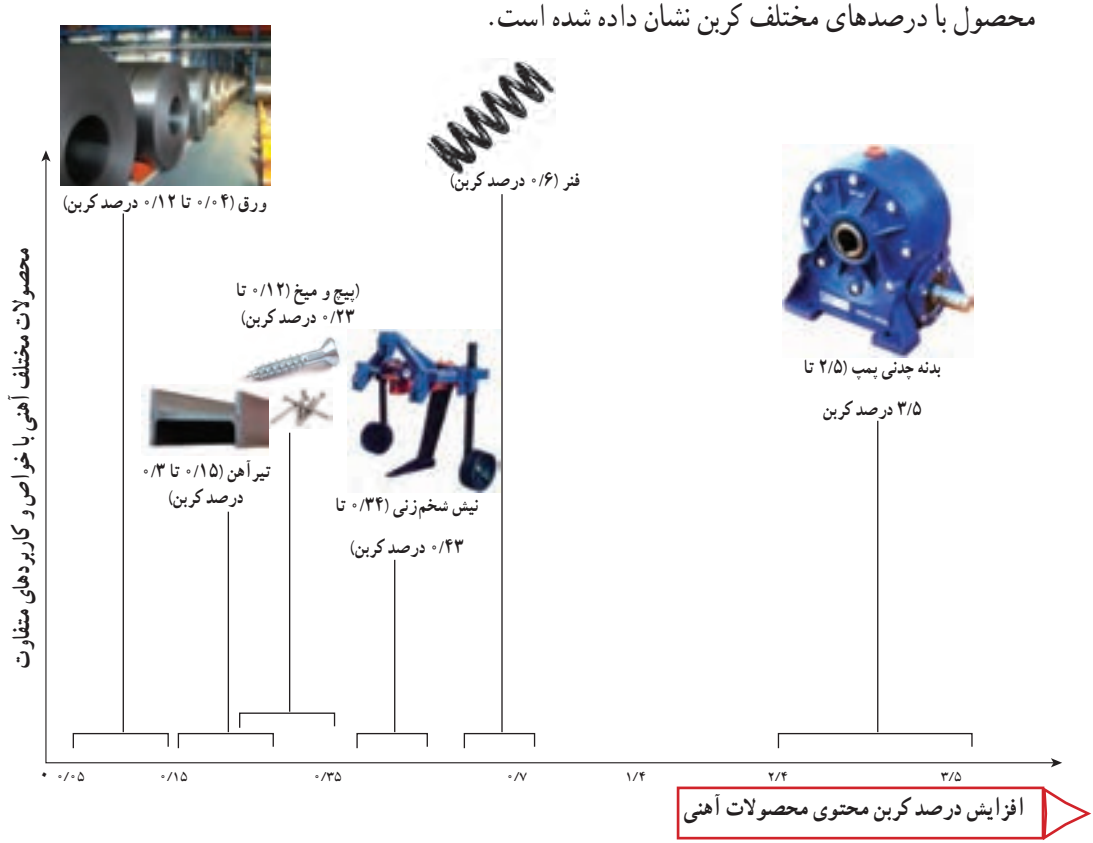
۳ــ کاربردهای فولادها را شرح دهد.

۴ــ انواع چدن و موارد کاربرد آنها را بیان کند.

۱ــ۵ــ مقدمه

پرکاربردترین ماده مورد استفاده در صنعت کدام است؟

پرکاربردترین مواد صنعتی، آلیاژهای آهن می‌باشند که به دلیل پایین بودن خواص مکانیکی مثل : سختی و استحکام، آهن خالص کاربرد چندانی ندارد[1]. بنابراین آنچه ما در اطراف خود از وسایل آهنی می‌بینیم مثل : میز، صندلی، در و پنجره، دوچرخه، موتورسیکلت، ماشین و غیره در حقیقت از فولاد (آلیاژهای آهن) ساخته شده‌اند. آلیاژهای آهن در صنعت به دو صورت فولادها و چدن‌ها (آلیاژ آهن، کربن و سیلیسیم همراه با عناصر دیگر هستند)، مورد استفاده قرار می‌گیرند که در شکل (۱ــ۵) چند محصول با درصدهای مختلف کربن نشان داده شده است.



شکل ۱ــ۵ــ نیم‌ساخته‌ها و محصولات آهنی با کاربردهای مختلف

۱ــ **آلیاژ فلزی** : محلول جامدی است که حداقل یکی از اجزاء آن فلز باشد و ترکیب نهایی خواص فلزی داشته باشد.

۲ــ۵ــ دسته بندی فلزات پایه آهنی

کربن و دیگر عناصر آلیاژی در ترکیب با آهن طیف گسترده‌ای از خواص را در فلزات آهنی ایجاد می‌کنند که می‌توان با شناخت این خواص از آنها در صنایع مختلف استفاده نمود.

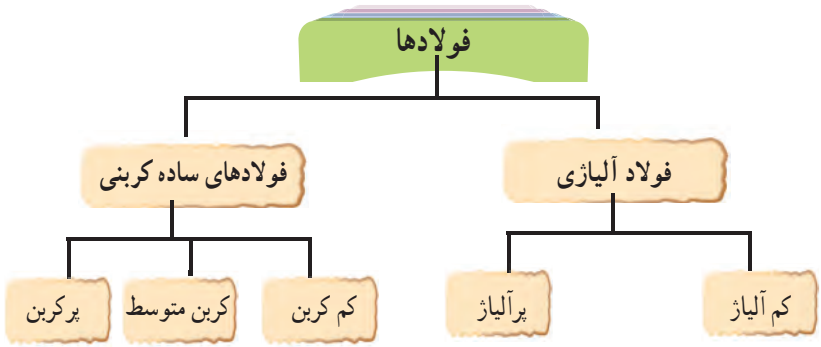
فلزات پایه آهنی بر اساس میزان کربن به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند (نمودار ۱ــ۵).

فولادها	به‌طور معمول کمتر از ۲ درصد کربن دارند
چدن‌ها	بیش از ۲ درصد تا حدود ۶ درصد کربن دارند

نمودار ۱ــ۵ــ دسته‌بندی فلزات پایه آهنی بر حسب مقدار کربن

۳ــ۵ــ فولاد

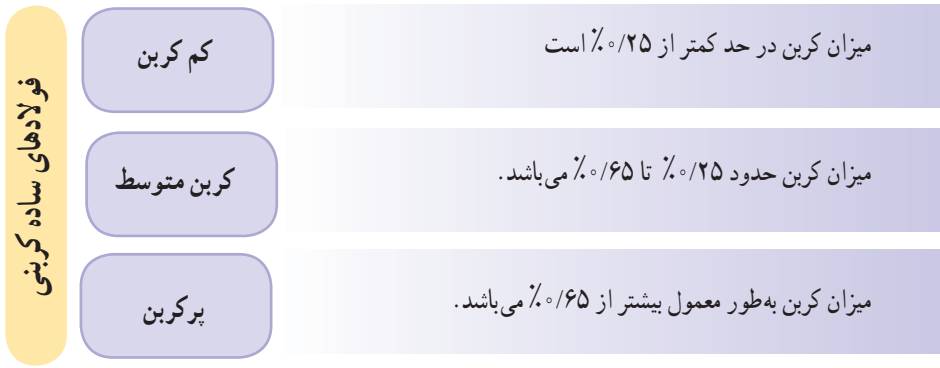
به‌طور کلی می‌توان فولادها را مطابق نمودار (۲ــ۵) تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۲ــ۵ــ تقسیم‌بندی فولادها

۱ــ۳ــ۵ــ فولادهای ساده کربنی[1]: فولادهای ساده کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق می‌شود که کربن اصلی‌ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی آن می‌باشد و با افزایش میزان کربن استحکام فولاد افزایش پیدا می‌کند. فولادهای ساده کربنی مطابق نمودار (۳ــ۵) به سه گروه تقسیم می‌شوند.

۱ــPlain Carbon Steel



نمودار ۳ــ۵ــ تقسیم‌بندی انواع فولادهای ساده کربنی

الف) فولاد ساده کم کربن : این نوع فولاد که برای عموم قطعات مهندسی، سازه‌ها و پل‌ها، صنایع کشتی‌سازی و بدنه واگن‌ها و ... بکار می‌روند، از خواص شکل‌پذیری، ماشین‌کاری، جوشکاری و مغناطیسی خوبی برخوردار می‌باشند (شکل ۲ــ۵).

شکل ۲ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده کم کربن

ب) فولادهای ساده کربن متوسط : در صنایع حمل و نقل به‌خصوص راه آهن (چرخ و محور واگن‌ها)، قطعات خودرو و ماشین آلات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها علاوه بر داشتن خواص ماشین‌کاری و جوشکاری مناسب از قابلیت سختی‌پذیری بالایی برخوردار هستند (شکل ۳ــ۵).

الف) اکسل عقب و دیفرانسیل اتومبیل

ب) سازه‌های مربوط به فرآوری مواد معدنی

شکل ۳ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده کربن متوسط

ج) فولادهای ساده پرکربن : در مواردی که به سختی بالایی نیاز باشد از فولادهای ساده پرکربن استفاده می‌شود مانند تیغ های برش، غلتک نورد و ... که در شکل (۴ــ۵) دو نمونه از این قطعات صنعتی نشان داده شده است.

شکل ۴ــ۵ــ کاربرد فولادهای ساده پرکربن

تقسیم‌بندی فولادهای ساده کربنی: قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی برای فولادهای ساده کربنی پرکاربرد در صنعت بر اساس استاندارد DIN ــ۱۷۱۰۰ کشور آلمان انجام شده است و در صنایع کشور ما نیز متداول می‌باشد که در جدول (۱ــ۵) مشاهده می‌کنید[۱].

جدول ۱ــ۵ــ نمونه‌ای از فولادهای ساده کربنی بر اساس استاندارد DIN

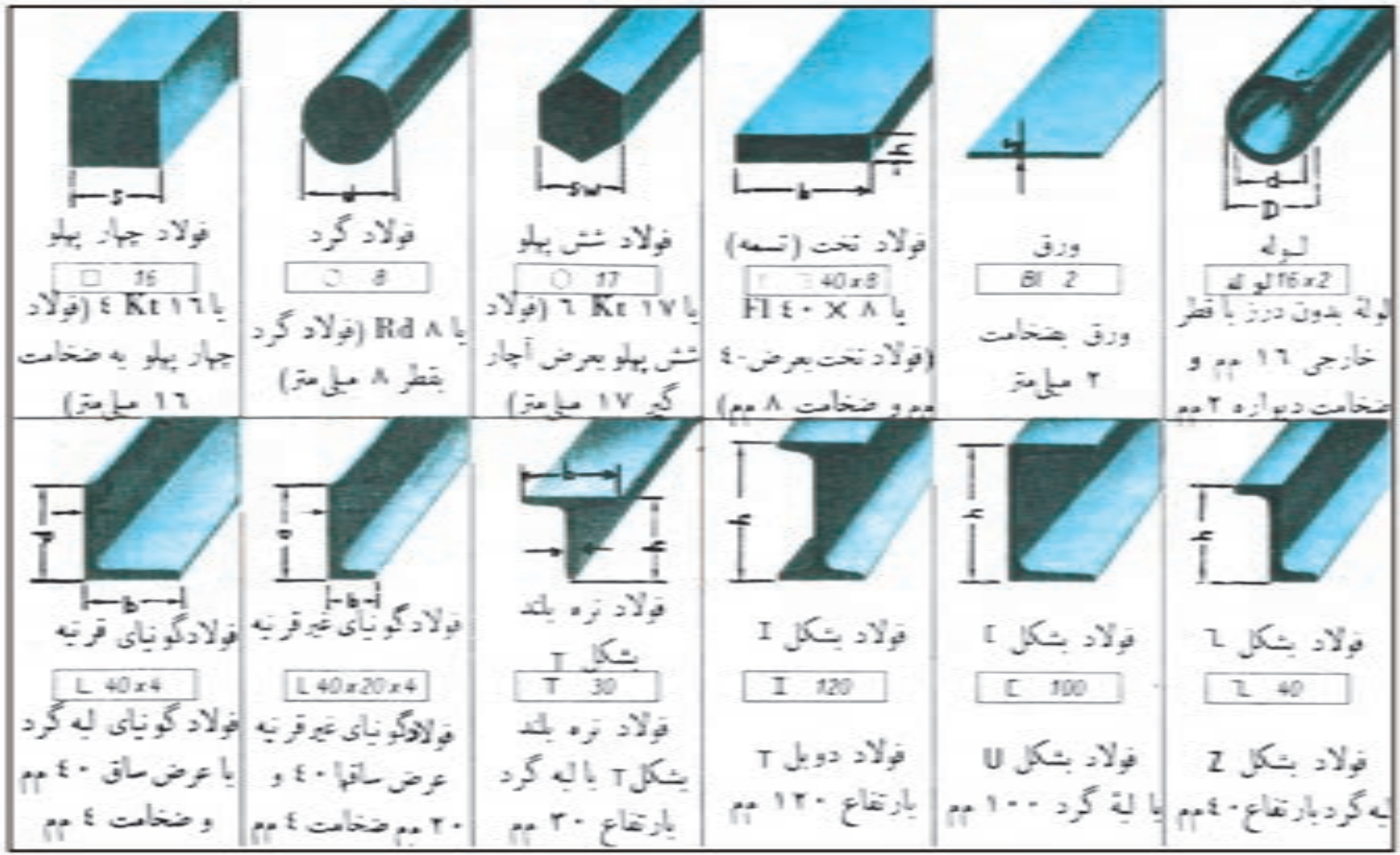
فولاد با درجه کیفیت متفاوت			علامات مشخصه کارخانه					
۱ برای خواص عادی	۲ برای‌خواص عالی	۳ برای‌خواص مخصوص	نیمه‌ساخت	آهن فرم‌دار و پرفیل	ورق ضخیم	ورق متوسط	استحکام (کیلوگرم بر میلی مترمربع)	مقدار کربن برحسب ٪
St ۳۳	ــ	ــ	St ۰۰ ــ ۱۱	St ۰۰ ــ ۱۲	St ۰۰ ــ ۲۱	St ۰۰ ــ ۲۲	۳۳ تا ۵۰	تعیین نشده است
St ۳۴	St ۳۴ ــ ۲	St ۳۴ ــ ۳	St ۳۴ ــ ۱۱	St ۳۴ ــ ۱۲	ــ	ــ	۳۴ تا ۴۲	۰/۱۷
St ۳۷	St ۳۷ ــ ۲	St ۳۷ ــ ۳	St ۳۷ ــ ۱۱	St ۳۷ ــ ۱۲	St ۳۷ ــ ۲۱	St ۳۷ ــ ۲۲	۳۷ تا ۴۵	۰/۲۰
St ۴۲	St ۴۲ ــ ۲	St ۴۲ ــ ۳	St ۴۲ ــ ۱۱	St ۴۲ ــ ۱۲	St ۴۲ ــ ۲۱	St ۴۲ تا ۲۲	۴۲ تا ۵۰	۰/۲۵
St ۵۰	St ۵۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۵۰ تا ۲۲	۵۰ تا ۶۰	۰/۳۰
ــ	ــ	St ۵۲ ــ ۳	ــ	ــ	ــ	ــ	۵۲ تا ۶۲	۰/۲۰
St ۶۰	St ۶۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۶۰ تا ۲۲	۶۰ تا ۷۲	۰/۴۰
ــ	St ۷۰ ــ ۲	ــ	ــ	ــ	ــ	St ۷۰ تا ۲۲	۷۰ تا ۸۵	۰/۵۰

همانطور که در جدول (۱ــ۵) مشاهده می‌شود با افزایش درصد کربن، استحکام و سختی فولادها افزایش می‌یابد ولی قابلیت جوشکاری و انعطاف پذیری آن‌ها کاهش می‌یابد.

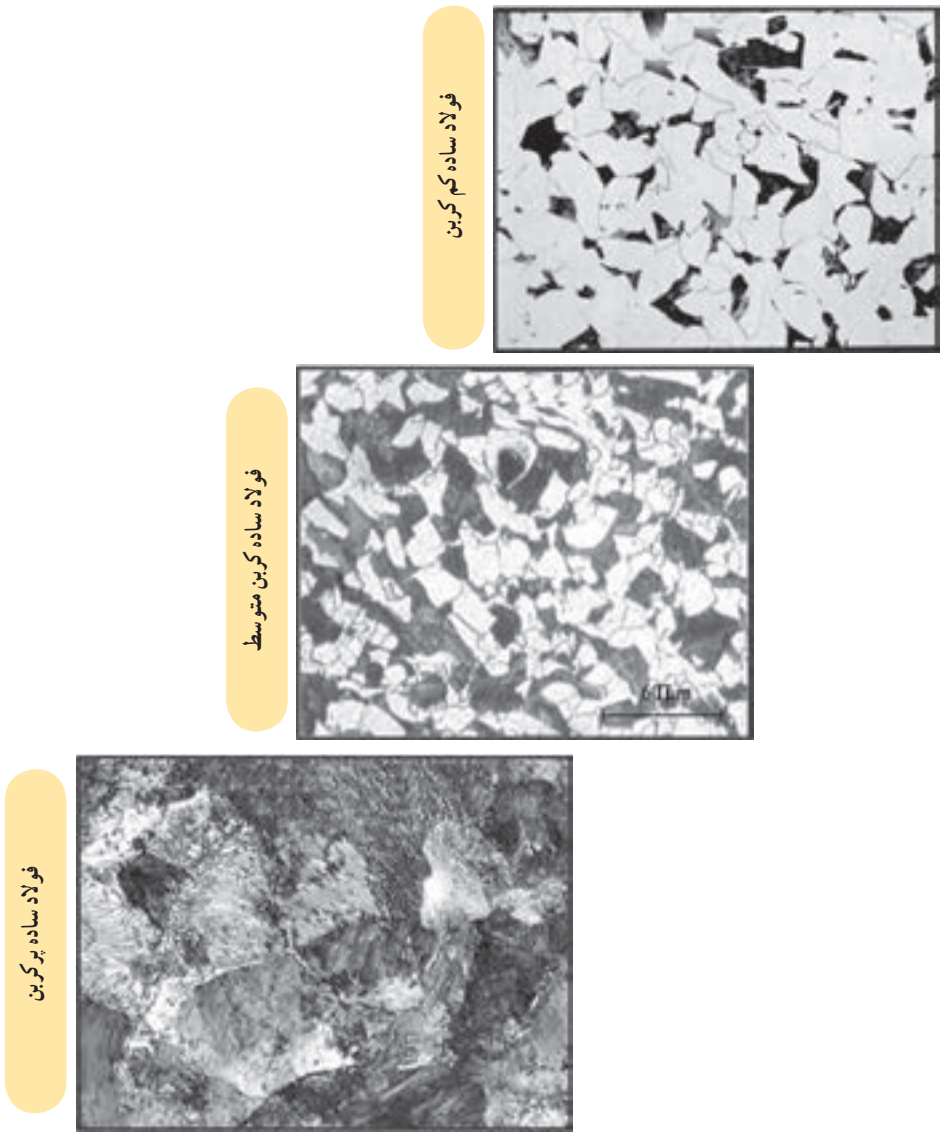
جدول (۲ــ۵) انواع نیم ساخته های مهم فلزی به همراه علائم اختصاری آن‌ها را بر اساس استاندارد DIN ــ۱۳۵۳ نشان می‌دهد.

۱ــ ویژگی برخی از فولادهای پر کاربرد در قسمت ضمیمه کتاب آمده است.

جدول ۲ــ۵ــ نیم‌ساخته فلزی و علامت اختصاری آنها بر اساس استاندارد ۱۳۵۳ــ DIN



۲ــ۳ــ۵ ــ ارتباط ساختار میکروسکوپی با خواص مکانیکی : وقتی که مذاب فولاد داخل قالب ریخته‌گری سرد می‌شود، بسته به میزان کربن موجود در فولاد ساختار نهایی فولاد متفاوت است. در شکل (۵ــ۵) تفاوت ساختار میکروسکوپی بین سه فولاد ساده کربنی (کم کربن، کربن متوسط و پرکربن) که به آهستگی در دمای محیط سرد شده‌اند از نظر شکل ساختار مشاهده می‌شود.



شکل ۵ــ۵ــ ساختارهای متفاوت فولاد ساده کربنی بر اساس میزان کربن

بیشتر بدانیم

متالوگرافی[1]

به علم و هنر آماده‌سازی نمونه‌های فلزی و بررسی ریز ساختار میکروسکوپی آنها متالوگرافی گفته می‌شود. با این‌کار اطلاعات ارزشمندی در زمینهٔ ریز ساختار کریستالی، کار مکانیکی و عملیات حرارتی احتمالی صورت گرفته بر روی فلز و تا حدودی ترکیب شیمیایی آن را می‌توان به‌دست آورد.

فرآیند متالوگرافی به سه مرحله تقسیم‌بندی می‌شود؛

۱ــ آماده‌سازی نمونه (شامل برش، بافت و سنباده‌زنی)

۲ــ پولیش واچ کردن

۳ــ مطالعه نمونه زیر میکروسکوپ

این اختلاف ساختار فولاد خواص مکانیکی متفاوتی را ایجاد می‌کند که در جدول (۳ــ۵) این اختلاف در خواص مکانیکی برای سه نوع فولاد ساده کربنی نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با افزایش درصد کربن استحکام تنش تسلیم فولاد کربنی افزایش پیدا می‌کند.

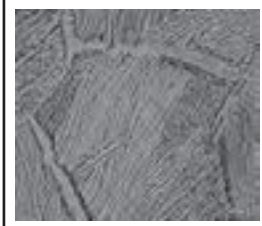
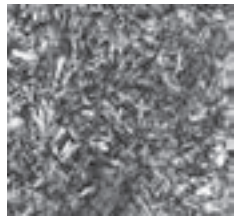
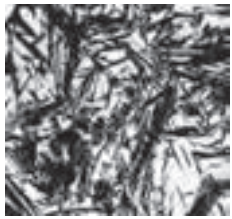
جدول ۳ــ۵ــ اختلاف در خواص مکانیکی فولاد ساده کربنی (بر حسب مقدار متفاوت کربن)

نوع فولاد / خاصیت مکانیکی	فولاد ساده کم کربن (CK۱۵)	فولاد ساده کربن متوسط (CK۴۵)	فولاد ساده پرکربن (CK۶۰)
استحکام کششی (MPa)	۵۹۰ــ۷۸۰	۶۵۰ــ۸۰۰	۷۸۰ــ۹۳۰
تنش تسلیم (MPa)	۳۵۵	۳۶۵	۴۹۰

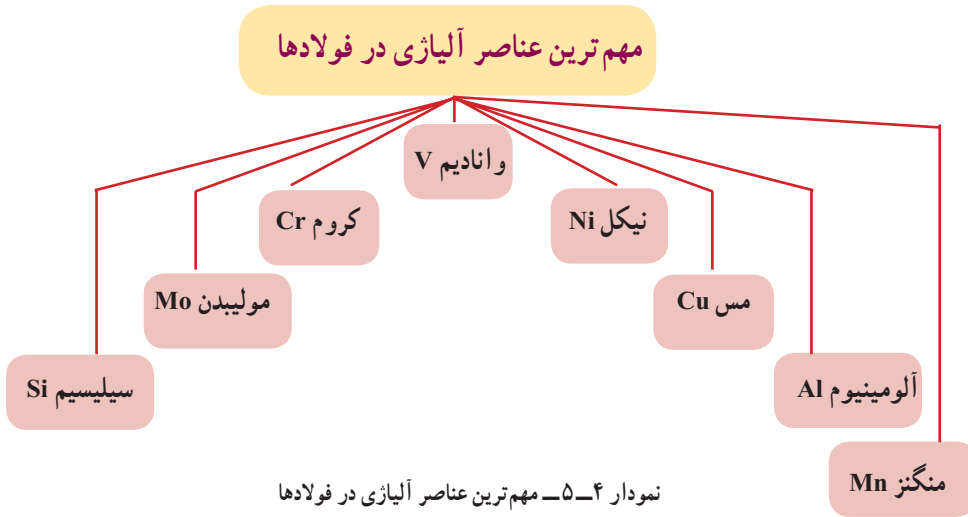
اختلاف در خواص فولاد ساده کربنی، علاوه بر مقدار کربن موجود در فولاد به‌دلیل دیگری نیز می‌تواند ایجاد شود و آن انجام عملیات حرارتی روی فولاد می‌باشد که در فصل چهارم توضیح داده شده است. همان‌طور که در جدول (۴ــ۵) مشاهده می‌کنید، چنانچه یک فولاد ساده کربنی (کربن متوسط) با سرعت متفاوت سرد شود منجر به تشکیل سه نوع ساختار با خواص مکانیکی مختلف می‌شود.

۱ــ Metalugraphy

جدول ۴ــ۵ــ تأثیر سرعت سرد کردن فولاد ساده کربنی روی ساختار و خواص مکانیکی آن

ریز ساختار فولاد / خواص مکانیکی	سرعت سرد کردن پایین (سرد کردن در کوره)	سرعت سرد کردن متوسط (سرد کردن در هوا)	سرعت سرد کردن بالا (سرد کردن در آب)
			
استحکام کششی (MPa)	۶۶۰	۶۹۰	۷۴۰
تنش تسلیم (MPa)	۳۶۷	۳۸۴	۴۰۳

۳ــ۳ــ۵ــ فولادهای آلیاژی : برای بهبود خواص فولادها که در نمودار (۵ــ۵) به دلایل اصلی آن اشاره شده است، عناصری آلیاژی به آن افزوده می‌شود که مهم‌ترین عناصر آلیاژی در نمودار(۴ــ۵)مشاهده می‌شوند.



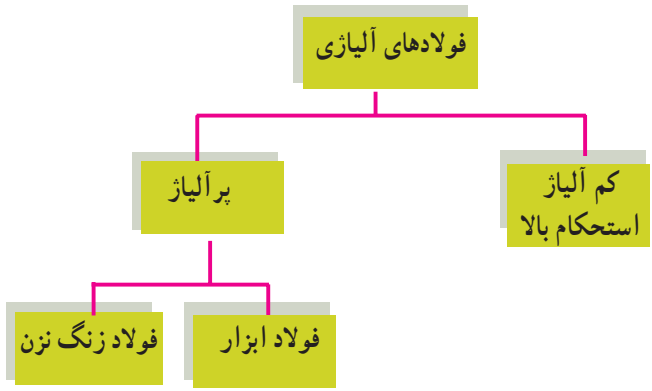
نمودار ۴ــ۵ــ مهم‌ترین عناصر آلیاژی در فولادها

شکل ۶ــ۵ــ افزودن عناصر آلیاژی به مذاب فولاد در کارخانه فولادسازی

نمودار ۵ــ۵ــ دلایل افزودن عناصر آلیاژی به فولاد

۱ــ چقرمگی یا تافنس (Toughness) : در علم متالوژی و مواد به مقاومت ماده در برابر شکست در اثر اعمال تنش گفته می‌شود و به‌صورت میزان انرژی جذب شده قبل از شکست در واحد حجم تعریف می‌شود. این کمیت را می‌توان از طریق محاسبه سطح زیر منحنی تنش ــ کرنش محاسبه کرد. بنابراین هرچه چقرمگی ماده‌ای بیشتر باشد انرژی لازم برای شکست آن بیشتر است.

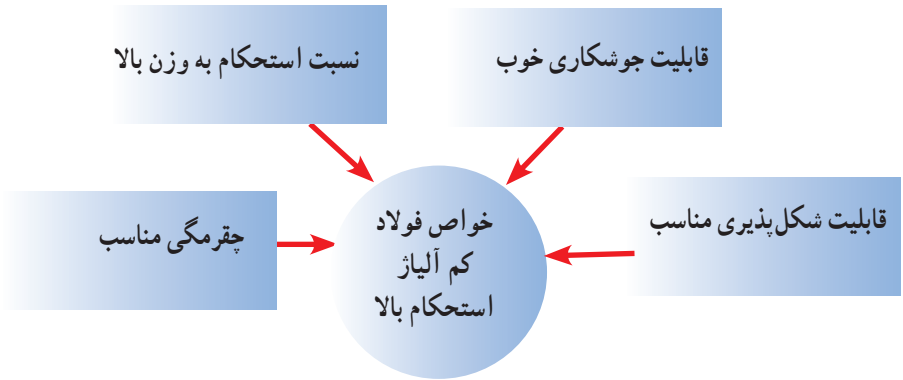
فولادهای آلیاژی را می‌توان مطابق نمودار (۶ــ۵) تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۶ــ۵ــ دسته‌بندی فولادهای آلیاژی

الف) فولاد کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA) [1]: این نوع فولاد که فولاد میکرو آلیاژی نیز نامیده می‌شود، نوعی فولاد آلیاژی است که با افزودن مقدار اندکی از عناصر آلیاژی نظیر مولیبدن، وانادیوم و تیتانیوم تهیه می‌شود (مجموع عناصر آلیاژی در این دسته از فولادها کمتر از ۵ درصد است).

فولادهای میکروآلیاژی نسبت به دیگر فولادها دارای خواص منحصر بفردی می‌باشند، که در نمودار (۷ــ۵) نمایش داده می‌شود.



نمودار ۷ــ۵ــ خواص منحصر به‌فرد فولاد کم آلیاژ استحکام بالا

۱ــ High Strength Low Alloy

مهم‌ترین ویژگی این فولادها بالا بودن نسبت استحکام به وزن و چقرمگی مناسب می‌باشد. بنابراین در صنایعی که کاهش وزن مورد توجه است، استفاده از میکرو آلیاژها مرسوم می‌باشد. به عنوان مثال در صنایع خودروسازی برای انتخاب ورق بدنه خودرو معیار اصلی دارا بودن استحکام بالا به‌همراه وزن کم می‌باشد که از ورق‌های HSLA با ضخامت کم استفاده می‌شود.

فولادهای میکرو آلیاژی بدون شک یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های متالورژیکی نیم قرن اخیر بوده است. این فولادها یک ترکیب عالی از خواص مختلف از جمله استحکام، انعطاف‌پذیری، چقرمگی، شکل پذیری و جوش پذیری را دارا می‌باشد.

ب) فولادهای ابزار[1] : فولادهای ابزار گروهی از فولادها هستند که در ساخت ابزار مانند تیغه اره، تیغه قیچی، سوهان، شکل (۷ــ۵) قلم تراش، سوزن خط کشی و قالب‌های نورد و پرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی پذیری بالا، مقاومت سایشی مناسب، پایداری ابعادی خوب (انقباض و انبساط کم) و قابلیت عملیات حرارتی از جمله خواص مهم فولاد ابزار می‌باشد.

میزان کربن این نوع فولادها از حدود ۰/۳۵ درصد تا حدود ۱/۲۵ درصد متغیر است و بسته به نوع فولاد ابزار ممکن است دارای عناصر آلیاژی خاص مثل : تنگستن، کروم، وانادیوم و مولیبدن نیز باشند.

شکل ۷ــ۵ــ کاربردهای فولاد ابزار

در جدول (۵ــ۵) نمونه‌ای از دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس استاندارد AISI [2] آمده است.

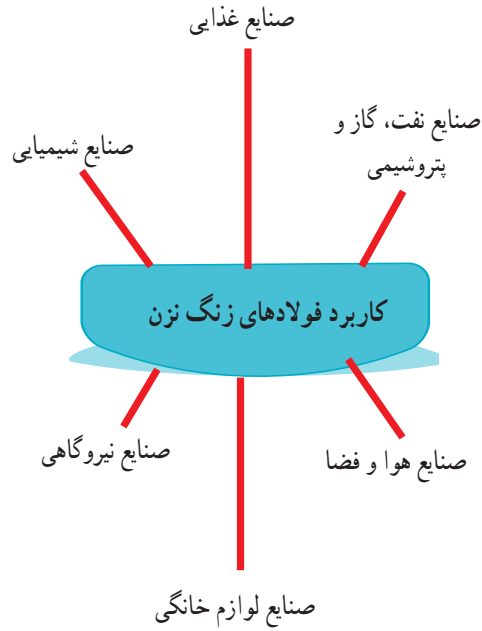
۱ــ Tools Steel

۲ــ American Iron and Steel Institute

جدول ۵ــ۵ــ دسته‌بندی فولادهای ابزار براساس استاندارد AISI

ردیف	نوع فولاد ابزار	علامت اختصاری	ویژگی‌ها و کاربردهای صنعتی
۱	فولاد ابزار آب سخت شونده	W	سختی این فولادها در سطح HRC ۶۰ و در مغز HRC ۴۵ می‌باشد (دارای ۱/۴٪ کربن و مقدار کمی کروم و وانادیوم) و در صنایع چوب، نساجی و پنبه‌زنی کاربرد دارد
۲	فولاد ابزار مقاوم به شوک	S	حاوی ۰/۵٪ کربن است و در مواقعی که تنش‌های ضربه‌ای تکراری وجود دارد به‌کار می‌رود مثل تیغه برش، قالب اکستروژن و قالب برش
۳	فولاد ابزار سردکار ● روغن سخت شونده ● هوا سخت شونده ● پر کربن – پر کروم	 O A D	دارای مقاومت به سایش و چقرمگی مناسب می‌باشد و در انواع قالب‌های پلاستیک، لوازم کشاورزی، قلاویز و مته کاربرد دارد. (درصد کربن این فولادها بین ۱/۲۵٪ــ۰/۹٪ متغیر است.)
۴	فولاد ابزار گرم کار ● پایه کروم ● پایه تنگستن ● پایه مولیبدن	H	این فولادها دارای ۰/۴٪ تا ۰/۳۵٪ کربن می‌باشند مقاوم به تغییر شکل کربن در دمای بالا و مقاومت نسبی به شوک گرمایی و مکانیکی دارند. همچنین در ساخت قالب اکستروژن، ریخته‌گری تحت فشار، فورج و نورد گرم کاربرد دارند.
۵	فولاد ابزار تند بر ● پایه تنگستن ● پایه مولیبدن	 T M	این فولادها حدود ۱/۲۵٪ تا ۰/۷۵٪ کربن دارند و دارای عناصر کاربیدزا مانند وانادیوم، تنگستن و مولیبدن می‌باشند که در ساخت انواع ابزار تراش و فرز به کار می‌روند.
۶	فولاد ابزار کم آلیاژی خاص	L	عناصر اصلی این فولادها کروم و منگنز می‌باشد. این فولادها در روغن سخت‌کاری می‌شوند و در ساخت ابزارآلات مقاوم به سایش کاربرد دارند.

ج) فولاد زنگ نزن[1] : فولادهای زنگ نزن از جمله فولادهای آلیاژی می‌باشند که مقاومت بالایی در برابر خوردگی دارند. فولادهای زنگ نزن حاوی حداقل ۱۰ درصد کروم هستند که عامل اصلی مقاومت در برابر خوردگی است. همچنین عناصر دیگری مانند نیکل و مولیبدن نیز به آن افزوده می‌شود. نمونه‌هایی از کاربرد فولادهای زنگ نزن در نمودار (۸ــ۵) آورده شده است.



نمودار ۸ــ۵ــ کاربرد فولادهای زنگ نزن

۱ــ Stainless Steel

از معروف‌ترین و پرکاربردترین، فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ می‌باشد که ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آن‌ها در جدول (۶ــ۵) مشاهده می‌شود.

جدول ۶ــ۵ــ ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶

نام (AISI)	Cr (درصد)	Ni (درصد)	C (درصد)	Mn (درصد)	Si (درصد)	P (درصد)	N (درصد)	استحکام نهایی MPa	سختی (HRB)
۳۰۴	۱۸تا۲۰	۸ تا ۱۰/۵۰	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۶۲۱	۸۲
۳۱۶	۱۶تا۱۸	۱۰تا۱۴	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۱	۵۷۹	۷۹

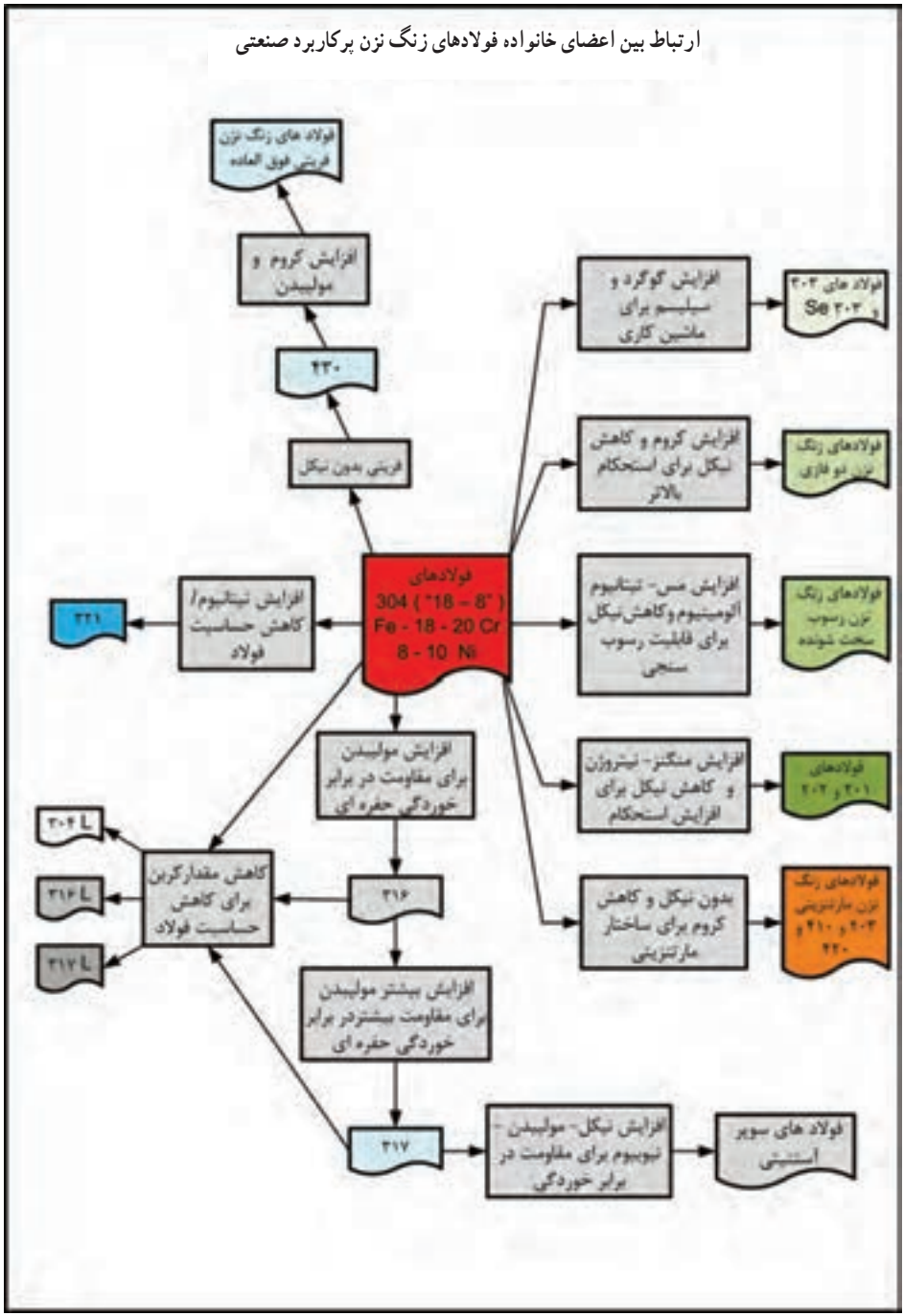
بیشتر بدانیم

ساختار و فولاد زنگ نزن

فولادهای زنگ نزن از نظر ساختاری به فریتی، آستنیتی، مارتنزیتی و دوفازی تقسیم می‌شوند، که فولادهای با ساختار مارتنزیتی و فریتی خاصیت مغناطیسی دارند و به فولادهای بگیر معروف هستند، مانند : فولاد ۴۳۰.

فولادهای کروم ــ نیکل دار که نیکل آنها بیش از ۶ درصد باشد، ساختار آستنیتی دارند و جذب آهن ربا نمی‌شوند که به فولادهای نگیر معروفند مانند : فولاد زنگ نزن (۳۰۴ و ۳۱۶).

در نمودار (۹ــ۵) اعضاء مهم و پرکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن معرفی شده‌اند. همانطور که مشاهده می‌کنید فولاد زنگ نزن ۳۰۴ در مرکز قرار دارد و با افزایش یا کاهش عناصر آلیاژی انواع دیگر فولادهای زنگ نزن به‌دست می‌آیند.



نمودار ۹ــ۵ــ اعضاء مهم و پرکاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن

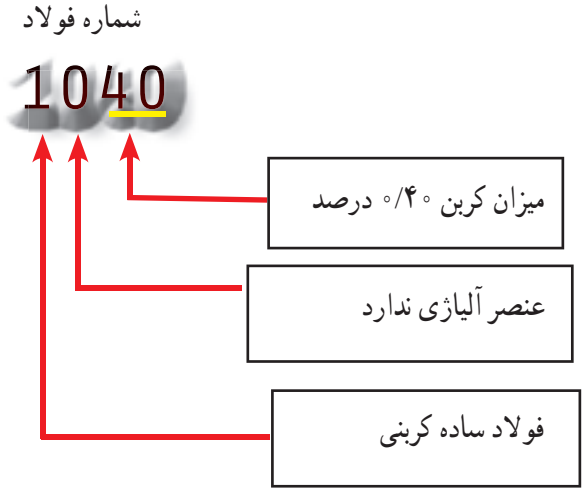
۴ــ۳ــ۵ــ نام‌گذاری فولادها : با توجه به تنوع و گستردگی فولادها نیاز به یک زبان مشترک برای نام‌گذاری آنها ضروری است تا تمامی خریداران، فروشندگان، سازندگان و طراحان در اقصی نقاط دنیا بتوانند فولاد مورد نظر خود را انتخاب کنند. بدین منظور استانداردهای مختلفی تدوین شده است که سیستم نام‌گذاری توسط انستیتوآهن و فولاد آمریکا (AISI) و استاندارد ملی آلمان (DIN) در ایران متداول‌تر می‌باشد، لذا به توضیح مختصر این دو استاندارد نام‌گذاری می‌پردازیم.

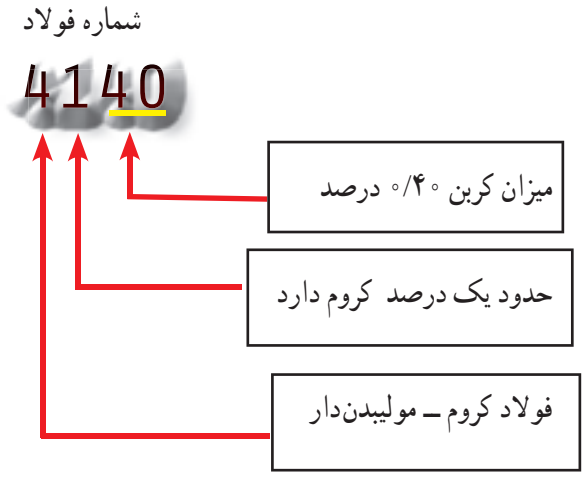
الف) نام‌گذاری فولادها براساس استاندارد AISI : مطابق جدول (۷ــ۵) در سیستم نام‌گذاری AISI برای نام‌گذاری فولادها، از یک عدد چهار رقمی‌استفاده می‌شود که اولین رقم از سمت چپ نشان دهنده نوع فولاد است، مثلاً عدد ۱ نشان‌دهنده فولاد ساده کربنی و اعداد بالاتر از ۲ نشان‌دهنده فولاد آلیاژی است، دومین رقم نشان دهنده مقدار تقریبی عنصر آلیاژی اصلی است و رقم‌های سوم و چهارم نشان دهنده میزان کربن به‌صورت صدم درصد است.

جدول۷ــ۵ ــ دسته‌بندی فولادها بر اساس استانداردAISI

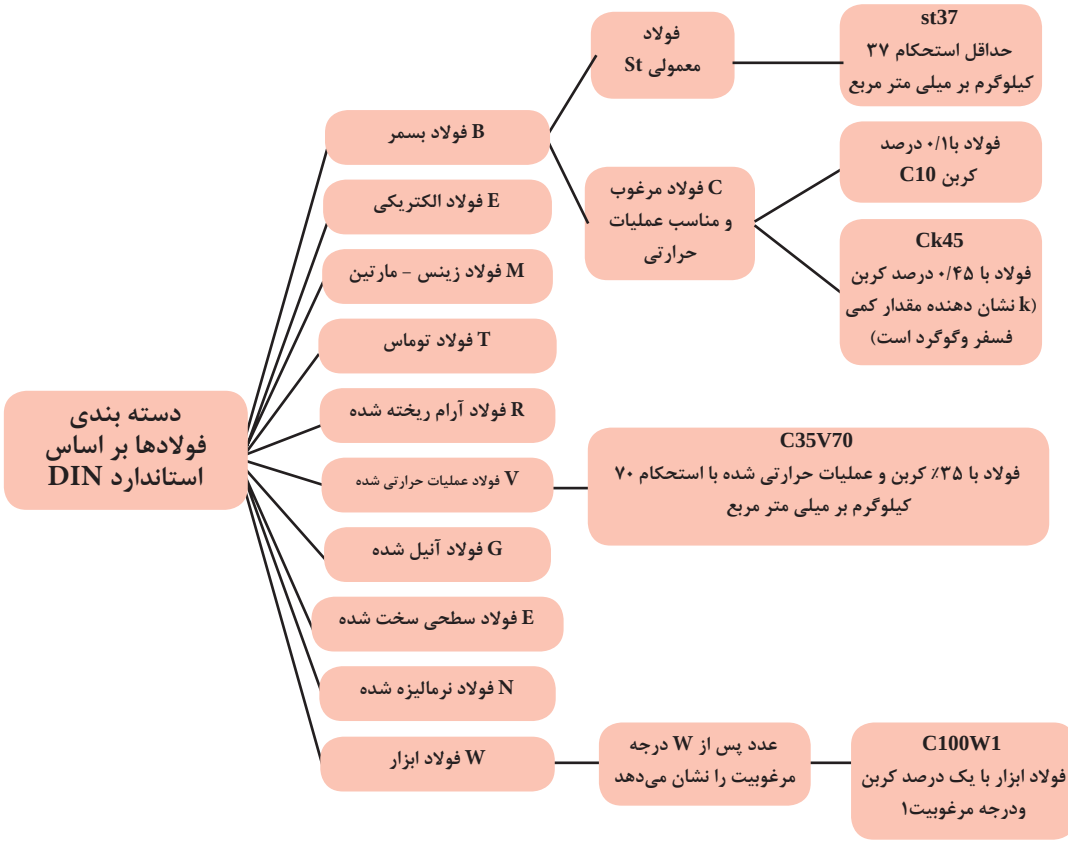
شماره فولاد	نوع فولاد	شماره فولاد	نوع فولاد
۱۰xx	کربنی ساده	۴۳xx	نیکل ــ کروم ــ مولیبدن دار
۱۱xx	سولفیدی	۴۶xx	نیکل ــ مولیبدن دار
۱۳xx	منگنزدار	۵xxx	کروم دار
۲xxx	نیکل‌دار	۶xxx	کروم ــ وانادیوم دار
۳xxx	نیکل ــ کروم‌دار	۸xxx	کروم ــ مولیبدن ــ کم نیکل
۴۰xx	مولیبدن‌دار	۹xxx	نیکل ــ کروم ــ کم مولیبدن
۴۱xx	کروم ــ مولیبدن‌دار		

برای درک بهتر به مثال‌های زیرتوجه کنید :





ب) نام‌گذاری براساس استاندارد DIN : در استاندارد DIN ابتدا فولادها بر حسب روش تولید و عملیات صورت گرفته روی آنها تقسیم‌بندی می‌شوند که به هر دسته یک حرف لاتین اختصاص داده می‌شود(نمودار ۱۰ــ۵). در مرحله بعد فولادهای ساده کربنی را با حروف اختصاری C و St مشخص می‌کنند که در نمودار (۱۰ــ۵) برای هرکدام مثال ذکر شده است.



نمودار ۱۰ــ۵ــ نام‌گذاری فولادها براساس استاندارد DIN

ولی در مورد نام‌گذاری فولادهای آلیاژی براساس استاندارد DIN دو حالت در نظر گرفته می‌شود؛

۱ــ اگر مجموع عناصر آلیاژی کمتر از ۵ درصد باشد.

مثال : ۳۵ Ni Mn Cr ۷ ۳ ۱ : مثال بالا را در نظر بگیرید. اولین عدد از سمت چپ نشان دهنده میزان کربن می‌باشد، یعنی عدد ۳۵ که در ضریب ۱/۱۰۰ ضرب می‌شود. بنابراین مقدار کربن برابر با ۰/۳۵ درصد می‌باشد. سپس هریک از عناصر آلیاژی به ترتیب میزان آن از بیشتر به کمتر نوشته می‌شود و در انتها اعدادی که به ترتیب مربوط به عناصر آلیاژی مذکور می‌باشد، آورده می‌شود. برای پیدا کردن درصد این عنصر آلیاژی باید عدد مربوطه را بر ضریب هر عنصر که در جدول (۸ــ۵) آمده

است تقسیم کرد.

جدول ۸ــ۵ ــ ضرایب عناصر آلیاژی برای نام‌گذاری فولادهای کم آلیاژ (براساس استاندارد DIN)

ضریب	عنصر آلیاژی
۴	Cr,Co,Mn,Ni,Si,W
۱۰	Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V, Zr
۱۰۰	Ce,N,P,S
۱۰۰۰	B

بنابراین در مثال بالا مقدار هریک از عناصر آلیاژی به قرار زیر است :

Ni: ۱/۷۵ ٪ (۷/۴)

Mn: ۰/۷۵ ٪ (۳/۴)

Cr: ۰/۲۵ ٪ (۱/۴)

ب) اگر مجموع عناصر آلیاژی بیشتر از ۵ درصد باشد : در فولادهای پرآلیاژ (بیش از ۵ درصد عنصر آلیاژی دارند) همانند روش (الف) عمل می‌شود با این تفاوت که حرف X به اول آن افزوده می‌شود، سپس عناصر آلیاژی به ترتیب از مقدار بیشتر به کمتر می‌آید و بعد از آن مقدار عناصر آلیاژی بدون ضریب (به‌جز کربن که بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود) قرار می‌گیرد.

مثال : X۵ Cr Ni Mo ۱۸ ۱۰۳

C: ۰/۰۵ ٪ (۵/۱۰۰)

Cr: ۱۸ ٪

Ni: ۱۰ ٪

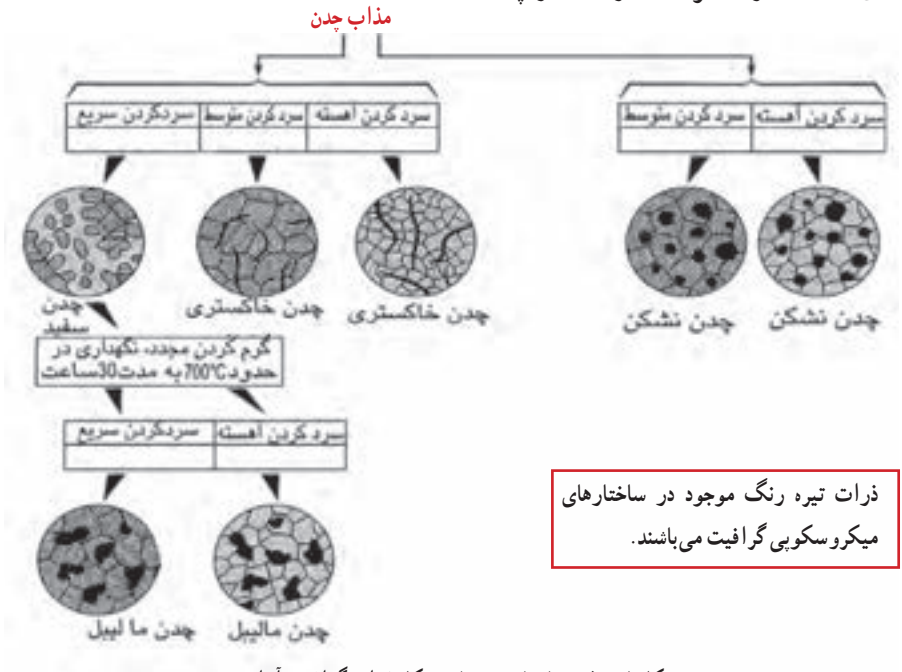
Mo: ۳ ٪

۴ــ۵ــ چدن

چدن‌ها دسته‌ای از آلیاژهای آهنی محتوی کربن و سیلیسیم هستند که مقدار کربن در آن‌ها بیشتر از ۲/۱۴ درصد است (به‌طور معمول بین ۳ تا ۴/۵ درصد کربن دارند). هم‌چنین ممکن است برحسب کاربرد دارای عناصر دیگری مثل کرم، منگنز و غیره به ترکیب چدن‌ها اضافه شود.

نقطه ذوب چدن‌ها نسبت به فولادها به مراتب کمتر است (حدود ۱۱۵۰ الی ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد). بنابراین به راحتی ذوب و ریخته‌گری می‌شوند، اما چدن‌ها ترد و شکننده‌اند. از این رو ساده‌ترین روش ساخت و تولید قطعات چدنی ریخته‌گری است.

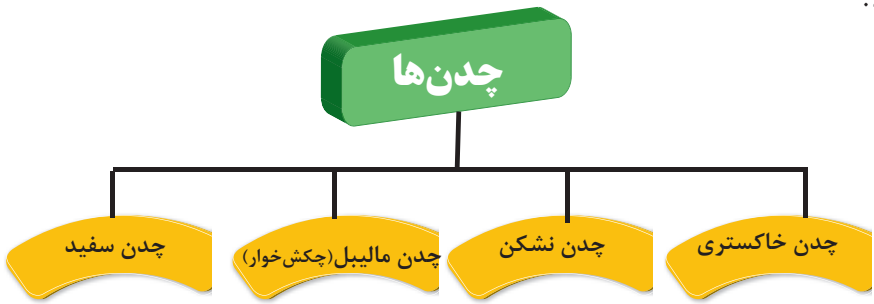
۱ــ۴ــ۵ــ دسته‌بندی چدن‌ها : یک روش ساده و متداول برای دسته‌بندی چدن‌ها، شکل ذرات گرافیت در ساختار چدن و رنگ ظاهر سطح مقطع شکست آنها می‌باشد، درشکل(۸ــ۵) فرم‌های مختلف ذرات گرافیت در ساختار چدن‌ها نشان داده شده است.



ذرات تیره رنگ موجود در ساختارهای میکروسکوپی گرافیت می‌باشند.

شکل ۸ــ۵ــ ساختار چدن‌ها و شکل ذرات گرافیت آزاد

بر اساس توضیحات ذکر شده چدن‌ها را مطابق نمودار (۱۱ــ۵) می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.



نمودار ۱۱ــ۵ ــ تقسیم‌بندی چدن‌ها

الف) چدن سفید : سطح مقطع شکست آلیاژ سفید رنگ است و تمام کربن موجود در آلیاژ به‌صورت ترکیب با آهن (Fe_3C) می‌باشد. چدن سفید بسیار ترد و شکننده است و در مواردی که هدف مقاومت در برابر سایش و سختی مد نظر می‌باشد مثل غلطک‌های دستگاه نورد کاربرد دارد.

ب) چدن خاکستری : سطح مقطع شکست آلیاژ خاکستری رنگ است چون بخشی از کربن موجود در آلیاژ به صورت گرافیت ورقه‌ای یا رشته‌ای شکل درآمده است. چدن خاکستری قابلیت بالایی در جذب ارتعاشات دارد و از استحکام و سختی مناسبی نیز برخوردار است. لذا در مواردی مثل بدنه دستگاه‌های تراش و فرز کاربرد دارد.

ج) چدن نشکن یا گرافیت کروی : چنانچه به ترکیب مذاب چدن خاکستری قبل از ریخته‌گری مقدار اندکی منیزیم یا سدیم اضافه شود باعث می‌شود شکل ذرات گرافیت تغییر کند. در این نوع چدن ذرات گرافیت به صورت کروی شکل یا شبیه کره می‌باشند. استحکام و انعطاف‌پذیری چدن نشکن نسبت به چدن خاکستری بیشتر است لذا کاربرد گسترده این چدن‌ها در مواردی مثل شیرآلات، پمپ، میل لنگ، چرخ دنده و ماشین آلات صنعتی مشابه است.

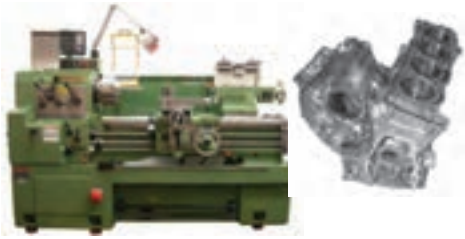
د) چدن مالیبل یا چکش‌خوار : چنان‌چه چدن سفید برای مدت نسبتاً طولانی در دمای حدود ۷۰۰ یا ۸۰۰ درجه سانتیگراد قرار گیرد کاربید آهن (Fe_3C) موجود در ساختار چدن تجزیه شده و ذرات گرافیت خوشه‌ای شکل تشکیل می‌شود. این چدن‌ها از استحکام و انعطاف‌پذیری یا چکش‌خواری مناسبی برخوردار می‌باشند و در مواردی مثل شاتون، چرخ دنده‌های انتقال نیرو، تجهیزات راه آهن و به‌طورکلی در قطعات مهندسی تحت شرایط سخت‌کاری کاربرد دارند.

در جدول (۹ــ۵) اطلاعات بیشتری در خصوص ترکیب، خواص مکانیکی و موارد متداول کاربرد چدن‌ها در صنعت آورده شده است.

جدول ۹ــ ۵ ــ نام‌گذاری، ترکیب تقریبی، حداقل خواص فیزیکی و نمونه کاربرد چدن‌های خاکستری، نشکن و مالیبل

نمونه کاربرد	ترکیب (wt%)[a]	خواص مکانیکی: انعطاف‌پذیری [%EL in 50 mm (2 in.)]	خواص مکانیکی: استحکام تسلیم [MPa (kat)]	خواص مکانیکی: استحکام کششی [MPa (kat)]
چدن خاکستری				
قطعات ریختگی که در آنها استحکام زیاد مورد توجه نیست	3.40–3.7 C, 2.55 Si, 0.7 Mn	–	–	124 (18)
بلوک‌های استوانه‌ای کوچک، کلگی‌های استوانه‌ای، پیستون‌ها، صفحه ترمز، قطعات انتقال نیرو	3.2–3.5 C, 2.20 Si, 0.8 Mn	–	–	173 (25)
قطعات ریختگی موتور دیزل، سیلندر و پیستون	3.0–3.3 C, 2.0 Si, 0.8 Mn	–	–	276 (40)
چدن نشکن (کروی)				
قطعات مخازن تحت فشار مانند شیرآلات و بدنه پمپ	3.5–3.8 C, 2.0 – 2.8 Si,	18	276 (40)	414 (60)
دنده‌های استحکام بالا و اجزاء ماشین‌آلات پیستون‌ها، دنده‌ها، غلتک	0.05 Mg, <0.20 Ni, <0.10 Mo	3 2	483 (70) 621 (90)	689 (100) 827 (120)
چدن مالیبل				
کاربرد مهندسی عمومی در دماهای معمولی و بالا	2.3–2.7 C, 1.0 – 1.75 Si,<0.55Mn	10	224 (32)	345 (50)
	2.4–2.7C, 1.25–1.55 Si, < 0.55 Mn	6	310 (45)	448 (65)

جدول ۱۰ــ۵ــ کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون

نوع چدن	تصویر نمونه کاربردی
چدن چکش‌خوار (مالیبل)	
چدن خاکستری	
چدن سفید	
چدن نشکن (گرافیت کروی)	

آزمون پایانی

۱ــ عنصر اصلی آلیاژی در فولادهای ساده کربنی کدام است؟

الف) کروم ب) کربن ج) وانادیوم د) تنگستن

۲ــ چه قطعاتی از فولاد پرکربن ساخته می‌شوند؟ (سه مورد)

۳ــ با افزایش کربن در فولاد ساده کربنی ..... کاهش یافته و ..... افزایش می‌یابد.

الف) قابلیت جوشکاری ــ سختی ب) انعطاف‌پذیری ــ قابلیت جوشکاری

ج) قابلیت سوهان‌کاری ــ انعطاف‌پذیری د) سختی ــ قابلیت جوشکاری

۴ــ برای مقاوم کردن فولاد در مقابل خوردگی آن‌را با کدام عنصر آلیاژ می‌کنند؟

الف) وانادیوم ب)کروم ج)روی د)منگنز

۵ــ فولادهای میکرو آلیاژ چه نوع فولادهایی هستند؟

الف) فولادهای ساده کربنی

ب) فولادهایی که مقدار کمی‌عناصر آلیاژی مثل مولیبدن وانادیوم و تیتانیوم دارند.

ج) فولاد آلیاژی کروم‌دار

د) فولاد زنگ نزن

۶ــ فولاد ابزار علاوه بر کربن چه عناصر آلیاژی دیگری دارد؟

۷ــ با توجه به استاندارد AISI فولاد ۴۱۴۰ دارای چه مقدار کربن است؟

الف) ۴۰٪ ب) ۰/۰۴٪ ج) ۰/۴٪ د) ۴٪

۸ــ علاوه بر آهن و کربن کدام عنصر از اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده چدن‌ها می‌باشد؟

الف) سیلیس ب) گوگرد ج) فسفر د) منگنز

۹ــ بارزترین خاصیت چدن‌ها چیست؟

الف) جوش‌پذیری ب) انعطاف‌پذیری

ج) ریخته‌گری د) هدایت الکتریکی و حرارتی