

فصل چهارم

روش‌های بهبود خواص فلزات



هدف های رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می‌تواند :

- ۱- دلایل بهبود بخشیدن خواص فلزات را بیان کند.
- ۲- مهم‌ترین روش‌های بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرد.
- ۳- روش بهبود بخشیدن خواص فلزات به وسیله عملیات حرارتی را توضیح

دهد.

۴- روش بهبود بخشی خواص فلزات به وسیله کار مکانیکی را توضیح دهد.

۵- روش بهبود بخشی خواص فلزات به وسیله آلیاژسازی را شرح دهد.

۱-۴- مقدمه

در فصل سوم دیدیم که خواص مواد، از جمله فلزات علاوه بر ترکیب شیمیایی (نوع اتم‌های تشکیل دهنده) به نوع پیوند بین اتم‌ها، نحوه آرایش یا قرار گرفتن اتم‌ها در کنار یکدیگر (ساختار شبکه کریستالی) و ریزساختار آن بستگی دارد به طوری که ممکن است با تغییر هر کدام از عوامل مذکور خواص فیزیکی، مکانیکی و تکنولوژیکی فلز مثل: سختی، استحکام، شکل پذیری، هدایت الکتریسیته، ماشین کاری 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 به صورت مختصر و فشرده سه روش متداول و پرکاربرد جهت تغییر و بهبود در خواص قطعات فلزی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۴- عملیات حرارتی

در حالت کلی گرم کردن و سرد کردن زمان بندی شده فلزات و آلیاژهای آن‌ها (در حالت جامد) را به منظور به دست آوردن خواص فیزیکی و مکانیکی مطلوب عملیات حرارتی می‌گویند. لازم به ذکر است عملیات حرارتی برای مواد غیرفلزی مثل سرامیک‌ها نیز به کار می‌رود.

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

۱- سرعت گرم کردن قطعه

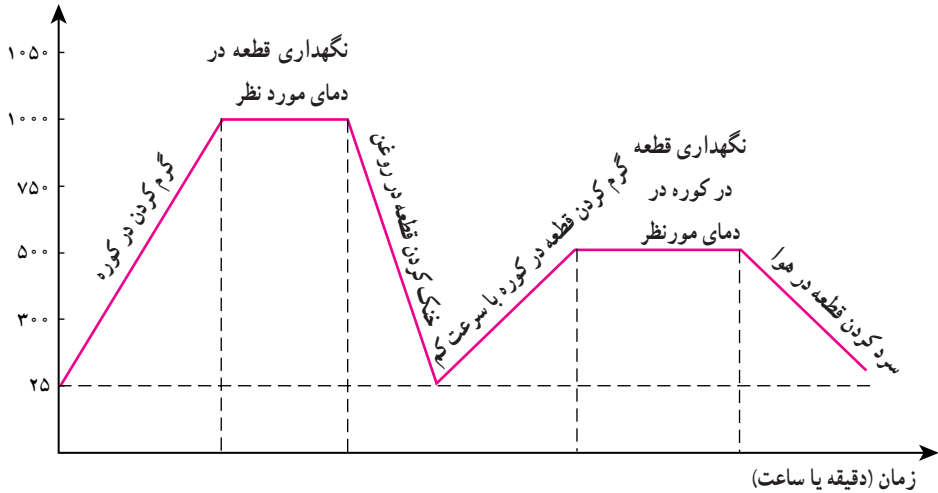
۲- دمای عملیات حرارتی

۳- زمان توقف یا نگهداری قطعه در دمای فوق

۴- سرعت سرد کردن

نمودار (۱-۴) نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی را نشان می‌دهد. همان طور 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 زمان بندی متفاوتی گرم و سرد شود.

دما (سانتی‌گراد)



نمودار ۱-۴- نمودار عملیات حرارتی یک قطعه فلزی که از دو سیکل تشکیل شده است.

۱-۲-۴ اهداف عملیات حرارتی: به طور معمول عملیات حرارتی به منظور افزایش

سختی و استحکام قطعات فلزی و آلیاژهای آنها صورت می‌گیرد ولی گاهی به دلایل دیگر مثل: کاهش سختی، افزایش قابلیت شکل پذیری، بهبود خواص هدایت الکتریکی و حرارتی یا بهبود خواص مغناطیسی از عملیات حرارتی استفاده می‌شود.

به طور کلی هدف‌های مورد نظر از انجام عملیات حرارتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱- افزایش سختی و استحکام

۲- نرم شدن و افزایش قابلیت شکل پذیری

۳- برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعه (حذف تغییرات ایجاد شده در ساختار قطعه فلزی

حین عملیات ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین کاری و غیره)

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

مثال ۱- تنش زدایی (حذف تنش‌های ایجاد شده و باقیمانده در ساختار سازه فلزی):

همان‌طور که در شکل (۲-۴) می‌بینید در طی فرآیند ساخت سازه‌های فلزی در اثر عملیاتی نظیر: نورد، خم کاری، جوشکاری، ماشین کاری و غیره بخشی از تنش‌ها با نیروهای اعمال شده به قطعه در ساختار داخلی آن باقی می‌مانند که به طور کلی تنش‌های باقیمانده نامیده می‌شوند.



شکل ۱-۴- فرآیند جوشکاری و شکل دادن

این تنش‌ها در صورتی که 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 (۲-۴) 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 درمائی از پیش تعیین شده قرار می‌دهند و سپس آن را به آرامی سرد می‌کنند.



شکل ۲-۴- کوره عملیاتی حرارتی

مثال ۲- افزایش سختی و استحکام : چنانچه آلیاژی از فولاد با ترکیب ۴٪ درصد کربن، ۸٪ درصد منگنز، ۱ درصد کروم، 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) به منظور 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 (۳-۴) 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.

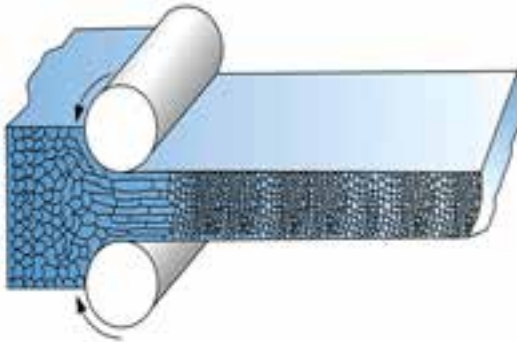


شکل ۳-۴- عملیات حرارتی سخت‌کاری سطح چرخ‌دنده بزرگ فولادی

مثال ۳- 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 - 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.

۳-۴- کار مکانیکی



شکل ۴-۴- 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. هنگامی که در دمای محیط بر روی یک فلز کار مکانیکی انجام شود مطابق آنچه که در شکل (۴-۴) به صورت

شماره‌تیک 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 (۴-۵) بخشی از خط نورد شرکت فولاد مبارکه اصفهان مشاهده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید قبل از شروع نورد قطعات فولادی که تختال نامیده می‌شوند به منظور نرم شدن و افزایش قابلیت شکل‌پذیری و سرعت نورد در کوره‌های مخصوصی گرم می‌شوند و به صورت 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 (۴-۶) دیده می‌شود در اصطلاح نورد سرد می‌گویند. در هر صورت عملیات نورد چه به صورت گرم انجام شود و چه به صورت سرد صورت پذیرد به دلیل 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 ۴-۵



شکل ۴-۶

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 کارایی و طول عمر آنها افزایش می‌یابد.

۴-۴- 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 ۷-۴). 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.

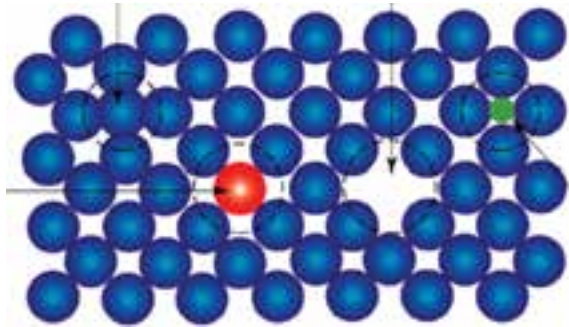


شکل ۷-۴- اضافه کردن عناصر آلیاژ به کوره فولادسازی

۱-۴-۴- 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؛

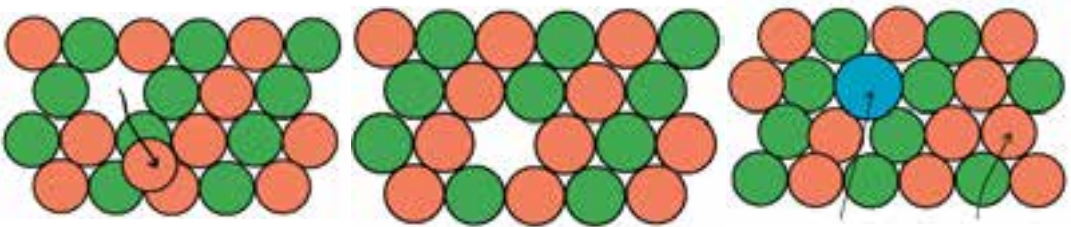
۱- در صورتی که مقدار عنصر آلیاژی کم باشد (بستگی به حلالیت فلز پایه دارد) و اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی کوچک باشد. (مثل اتم‌های کربن در داخل شبکه آهن) در این صورت مطابق شکل (۸-۴) اتم‌های اضافه شده در فضاهای خالی بین اتم‌های فلز پایه قرار می‌گیرند (حالت بین‌نش).



شکل ۸-۴

۲- چنانچه مقدار عنصر آلیاژی کم باشد ولی اندازه اتم‌های عنصر آلیاژی بزرگ باشند و سایر

شرایط را نیز دارا باشند. مطابق شکل (۹-۴) به جای بعضی از اتم‌های فلز پایه در شبکه کریستالی قرار می‌گیرند. نظیر اتم‌های روی در شبکه کریستالی فلز مس (حالت جانشین).



شکل ۹-۴

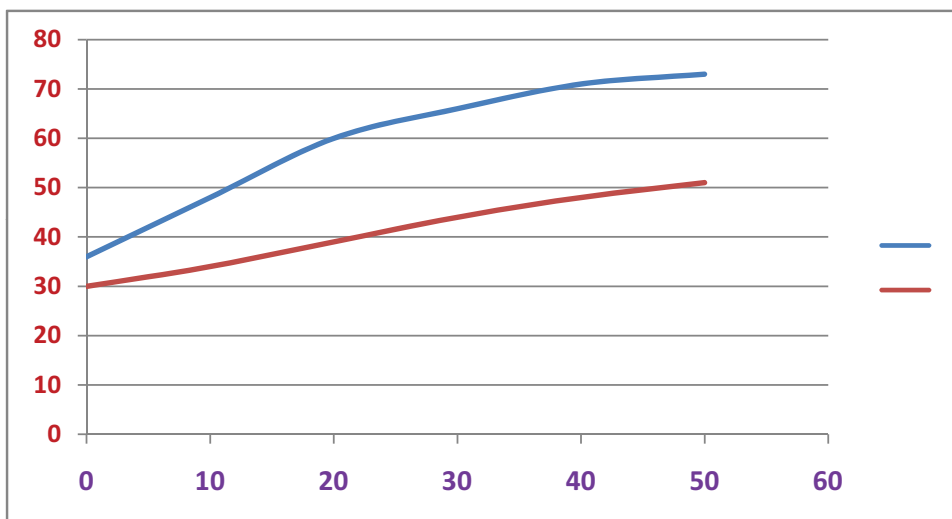
۳- درحالتی که مقدار عنصر آلیاژی بیش از حد حلالیت در فلز پایه باشد منجر به تشکیل ترکیبات فلزی جدید می‌شود که نوع این ترکیبات، مقدار آنها و چگونگی توزیع آنها در داخل فلز پایه بستگی به نوع عناصر آلیاژی و واکنش‌پذیری آنها با اتم‌های فلز پایه دارد (ایجاد ترکیبات فلزی جدید).

بدین ترتیب در هر سه حالت به دلیل حضور و قرار گرفتن عناصر دیگر و یا ترکیبات جدید در داخل شبکه اتمی فلز پایه آرایش اتمی فلز پایه و ساختار آن دچار تغییر می‌شود و در نتیجه حرکت اتم‌های فلز پایه در اثر اعمال نیروی خارجی مشکل‌تر می‌گردد. به عبارت دیگر اتم‌های اضافه شده و یا ترکیبات فلزی جدید به صورت 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 به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد:

- ۱- استحکام و سختی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بیشتر است.
 - ۲- انعطاف‌پذیری یا شکل‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.
 - ۳- جوش‌پذیری آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.
 - ۴- هدایت الکتریکی و حرارتی آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص بسیار کمتر است.
 - ۵- نقطه ذوب آلیاژها نسبت به فلز پایه در حالت خالص کمتر است.
- به مثال زیر توجه کنید:

مثال ۴- همان‌گونه که در نمودار (۲-۴) مشاهده می‌شود، هر قدر مقدار نیکل در آلیاژ مس-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 ۲-۴- تغییرات خواص آلیاژ مس- نیکل بر حسب مقادیر مختلف نیکل

آزمون پایانی

- ۱- هدف از بهبود بخشیدن خواص فلزات چیست؟
- ۲- سه روش بهبود بخشیدن خواص فلزات را نام ببرید.
- ۳- منظور از عملیات حرارتی چیست؟
- ۴- موارد استفاده عملیات حرارتی در صنعت چیست؟
- ۵- کار مکانیکی و موارد استفاده آن را در بهبود بخشیدن به خواص فلزات توضیح دهید.
- ۶- آلیاژسازی به چه منظور انجام می‌گیرد و موارد استفاده آن چیست؟

فصل پنجم

فلزات آهنی

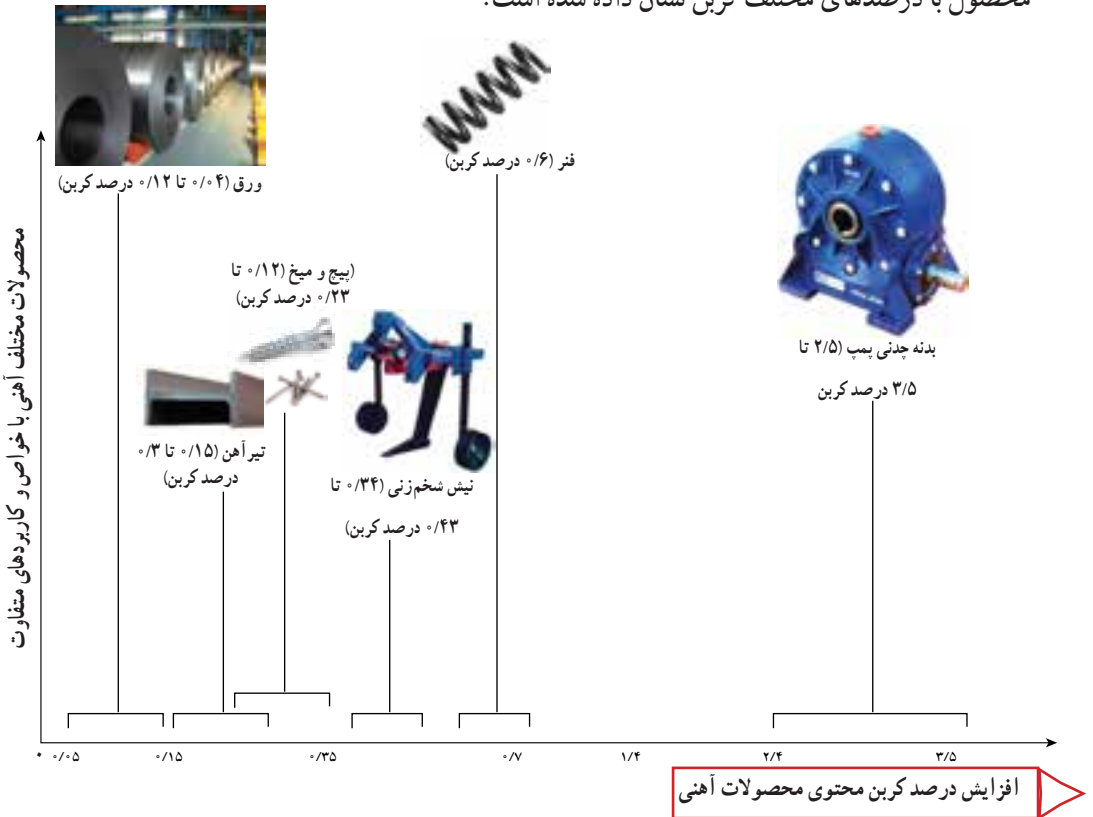


هدف رفتاری : با یادگیری این فصل هنرجو می تواند :

- ۱- آلیاژهای آهنی را دسته بندی نماید.
- ۲- طبقه بندی فولادها را توضیح دهد.
- ۳- کاربردهای فولادها را شرح دهد.
- ۴- انواع چدن و موارد کاربرد آنها را بیان کند.

پربکارترین ماده مورد استفاده در صنعت کدام است؟

پربکارترین مواد صنعتی، آلیاژهای آهن می‌باشند که به دلیل پایین بودن خواص مکانیکی مثل: سختی و استحکام، آهن خالص کاربرد چندانی ندارد. 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 (۱-۵) چند محصول با درصدهای مختلف کربن نشان داده شده است.



شکل ۱-۵- نیم ساخته‌ها و محصولات آهنی با کاربردهای مختلف

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

۵-۲- دسته بندی فلزات پایه آهنی

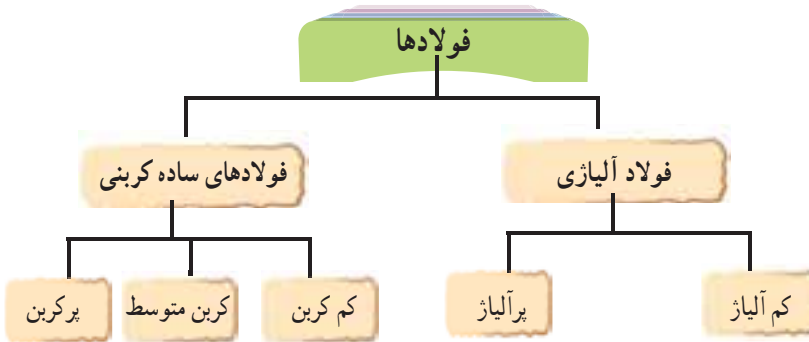
کربن و دیگر عناصر آلیاژی در ترکیب با آهن طیف گسترده‌ای از خواص را در فلزات آهنی ایجاد می‌کنند که می‌توان با شناخت این خواص از آنها در صنایع مختلف استفاده نمود. فلزات پایه آهنی بر اساس میزان کربن به دو دسته کلی تقسیم بندی می‌شوند (نمودار ۵-۱).

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

نمودار ۵-۱- دسته بندی فلزات پایه آهنی بر حسب مقدار کربن

۵-۳- فولاد

به طور کلی می‌توان فولادها را مطابق نمودار (۵-۲) تقسیم بندی کرد.



نمودار ۵-۲- تقسیم بندی فولادها

۵-۳-۱- فولادهای ساده کربنی^۱: فولادهای ساده کربنی به آن دسته از فولادها اطلاق

می‌شود که کربن اصلی ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی آن می‌باشد و با افزایش میزان کربن استحکام فولاد افزایش پیدا می‌کند. فولادهای ساده کربنی مطابق نمودار (۵-۳) به سه گروه تقسیم می‌شوند.

کم کربن

میزان کربن در حد کمتر از ۰.۲۵٪ است

کربن متوسط

میزان کربن حدود ۰.۲۵٪ تا ۰.۶۵٪ می باشد

پرکربن

میزان کربن به طور معمول بیشتر از ۰.۶۵٪ می باشد

نمودار ۳-۵- تقسیم بندی انواع فولادهای ساده کربنی

الف) فولاد ساده کم کربن: این نوع فولاد که برای عموم قطعات مهندسی، سازه ها و پل ها، صنایع کشتی سازی و بدنه واگن ها و ... بکار می روند، از خواص شکل پذیری، ماشین کاری، جوشکاری و مغناطیسی خوبی برخوردار می باشند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- کاربرد فولادهای ساده کم کربن

ب) فولادهای ساده کربن متوسط : در صنایع حمل و نقل به خصوص راه آهن (چرخ و محور واگن‌ها)، قطعات خودرو و ماشین آلات صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این فولادها علاوه بر داشتن خواص ماشین کاری و جوشکاری مناسب از قابلیت سختی پذیری بالایی برخوردار هستند (شکل ۳-۵).



ب) سازه‌های مربوط به فرآوری مواد معدنی



الف) اکسل عقب و دیفرانسیل اتومبیل

شکل ۳-۵- کاربرد فولادهای ساده کربن متوسط

ج) فولادهای ساده پرکربن : در مواردی که به سختی بالایی نیاز باشد از فولادهای ساده پرکربن استفاده می‌شود مانند تیغ‌های برش، غلتک نورد و ... که در شکل (۴-۵) دو نمونه از این قطعات صنعتی نشان داده شده است.



شکل ۴-۵- کاربرد فولادهای ساده پرکربن

تقسیم‌بندی فولادهای ساده کربنی: قدیمی‌ترین تقسیم‌بندی برای فولادهای ساده کربنی
 پرکاربرد در صنعت بر اساس استاندارد DIN ۱۷۱۰۰ کشور آلمان انجام شده است و در صنایع
 کشور ما نیز متداول می‌باشد که در جدول (۵-۱) مشاهده می‌کنید^۱.

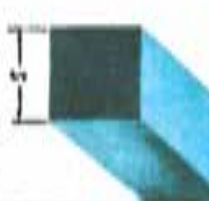
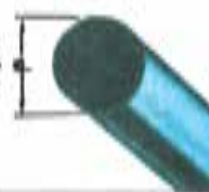

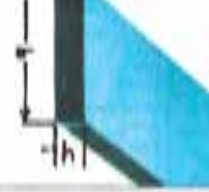
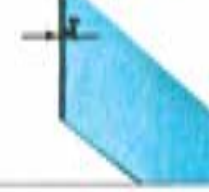


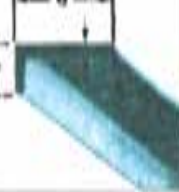
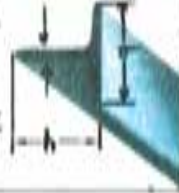


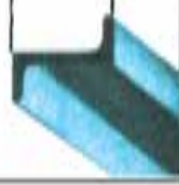
جدول ۵-۱- نمونه‌ای از فولادهای ساده کربنی بر اساس استاندارد DIN

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

همانطور که در جدول (۵-۱) مشاهده می‌شود با افزایش درصد کربن، استحکام و سختی
 فولادها افزایش می‌یابد ولی قابلیت جوشکاری و انعطاف پذیری آنها کاهش می‌یابد.
 جدول (۵-۲) انواع نیم ساخته‌های مهم فلزی به همراه علائم اختصاری آنها را بر اساس
 استاندارد DIN ۱۳۵۳ نشان می‌دهد.

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

جدول ۲-۵- نیم ساخته فلزی و علامت اختصاری آنها بر اساس استاندارد ۱۳۵۳- DIN

 <p>فولاد چهار پهلو \square 15 یا Ke 116 (فولاد چهار پهلو به ضخامت 16 سانتی)</p>	 <p>فولاد گرد \circ 8 یا Rd 8 (فولاد گرد قطر 8 میلی متر)</p>	 <p>فولاد شش پهلو \square 17 یا Ke 17 (فولاد شش پهلو عرض چهار گوش 17 سانتی)</p>	 <p>فولاد تخت (تسمه) \square 40x3 یا Ft 40 X 3 (فولاد تخت عرض 40 و ضخامت 3 میلی متر)</p>	 <p>ورق \square B1 2 ورق به ضخامت 2 میلی متر</p>	 <p>لیله \square 16x2 لوله بدون درز یا قطر خارجی 16 میلی متر و ضخامت دیواره 2 میلی متر</p>
 <p>فولاد گونای تریبه \square L 40x4</p>	 <p>فولاد گونای غیر تریبه \square L 40x20x4</p>	 <p>فولاد تریه پلند شکل T 30</p>	 <p>فولاد شکل I \square I 120</p>	 <p>فولاد شکل L \square L 100</p>	 <p>فولاد شکل Z \square Z 40</p>

فولاد گونای له گرد
 با عرض ساق 40 میلی متر و ضخامت 4 میلی متر

فولاد گونای غیر تریبه
 عرض ساقها 40 و 20 میلی متر و ضخامت 4 میلی متر

فولاد تریه پلند
 شکل T با له گرد
 بار ضلع 30 میلی متر

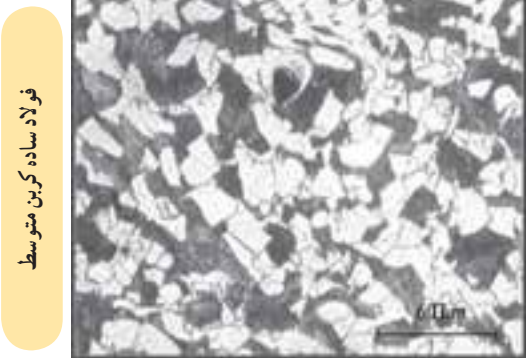
فولاد شکل I
 فولاد دوپل T
 بار ضلع 120 میلی متر

فولاد شکل L
 با له گرد 100 میلی متر

فولاد شکل Z
 به گرد بار ضلع 40 میلی متر

۲-۳-۵- 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 (۵-۵) 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 ۵-۵- ساختارهای متفاوت فولاد ساده کربنی بر اساس میزان کربن

متالوگرافی^۱

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

فرآیند متالوگرافی به سه مرحله تقسیم بندی می‌شود؛

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

۲- پولیش و اچ کردن

۳- مطالعه نمونه زیر میکروسکوپ

این اختلاف ساختار فولاد خواص مکانیکی متفاوتی را ایجاد می‌کند که در جدول (۳-۵) 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.


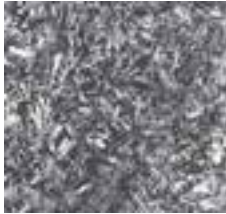

جدول ۳-۵- اختلاف در خواص مکانیکی فولاد ساده کربنی (بر حسب مقدار متفاوت کربن)

فولاد ساده پرکربن (CK۶۰)	فولاد ساده کربن متوسط (CK۴۵)	فولاد ساده کم کربن (CK۱۵)	نوع فولاد خاصیت مکانیکی
۷۸ - ۹۳	۶۵ - ۸	۵۹ - ۷۸	استحکام کششی (MPa)
۴۹	۳۶۵	۳۵۵	تنش تسلیم (MPa)

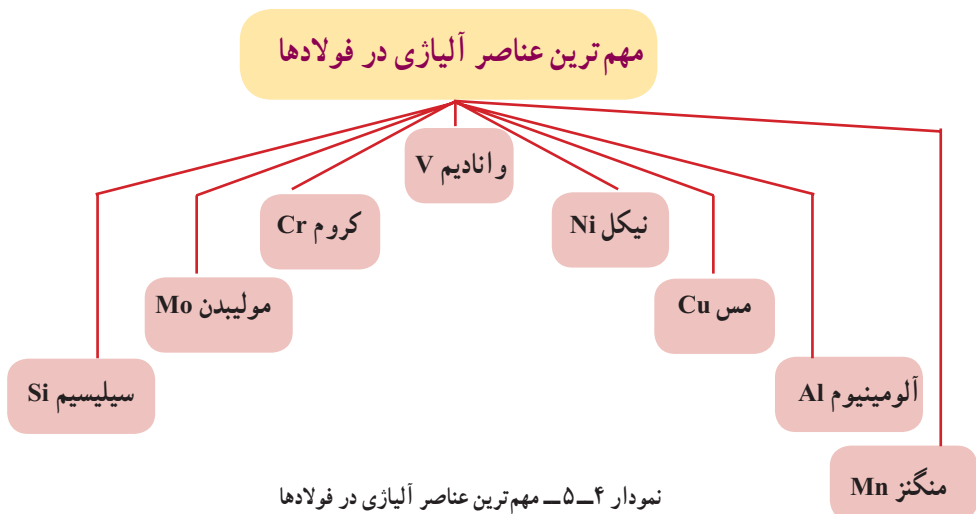
اختلاف در خواص فولاد ساده کربنی، علاوه بر مقدار کربن موجود در فولاد به دلیل دیگری نیز می‌تواند ایجاد شود و آن انجام عملیات حرارتی روی فولاد می‌باشد که در فصل چهارم توضیح داده شده است. همان‌طور که در جدول (۴-۵) مشاهده می‌کنید، چنانچه یک فولاد ساده کربنی (کربن متوسط) با سرعت متفاوت سرد شود منجر به تشکیل سه نوع ساختار با خواص مکانیکی مختلف می‌شود.

۱- Meta ugraphy

جدول ۴-۵- تأثیر سرعت سرد کردن فولاد ساده کربنی روی ساختار و خواص مکانیکی آن

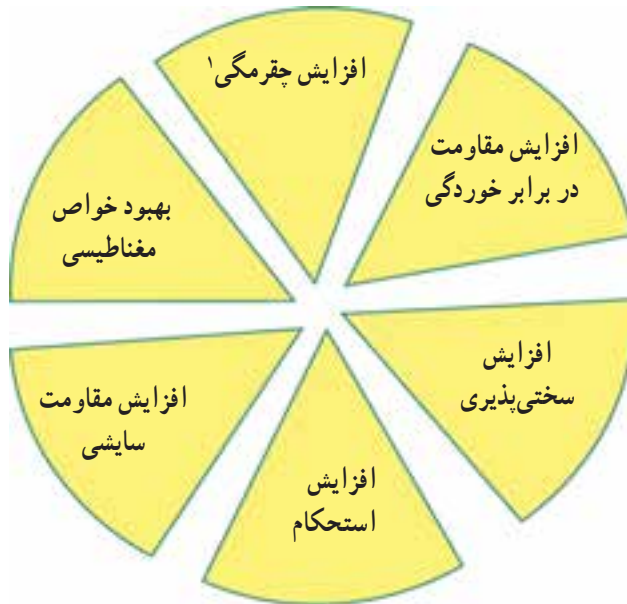
			ریز ساختار فولاد
سرعت سرد کردن بالا (سرد کردن در آب)	سرعت سرد کردن متوسط (سرد کردن در هوا)	سرعت سرد کردن پایین (سرد کردن در کوره)	خواص مکانیکی
۷۴	۶۹	۶۶	استحکام کششی (MPa)
۴۳	۳۸۴	۳۶۷	تنش تسلیم (MPa)

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





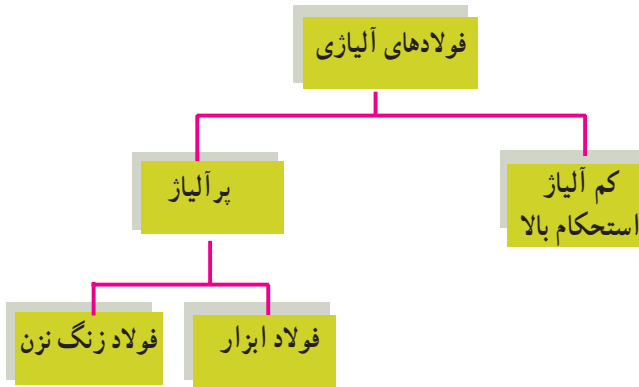
شکل ۵-۶- افزودن عناصر آلیاژی به مذاب فولاد در کارخانه فولادسازی



نمودار ۵-۵- دلایل افزودن عناصر آلیاژی به فولاد

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

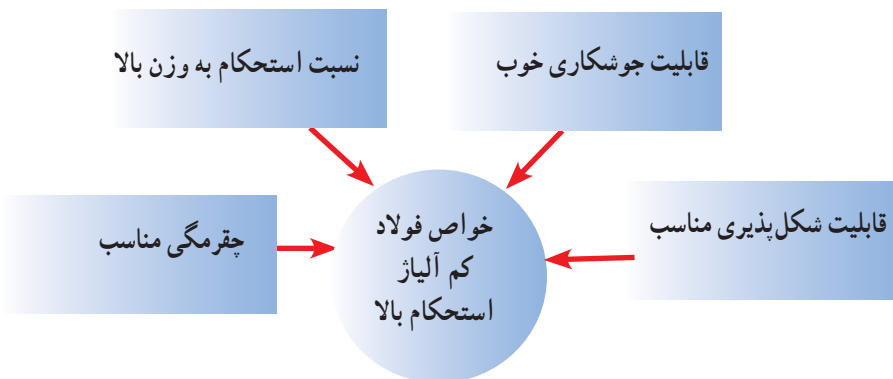
فولادهای آلیاژی را می‌توان مطابق نمودار (۵-۶) تقسیم‌بندی کرد.



نمودار ۵-۶- دسته‌بندی فولادهای آلیاژی

الف) فولاد کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA): 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 (۵-۷) نمایش داده می‌شود.



نمودار ۵-۷- خواص منحصر به فرد فولاد کم آلیاژ استحکام بالا

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 به همراه 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، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری را دارا می‌باشد.

ب) فولادهای ابزار^۱: فولادهای ابزار گروهی از فولادها هستند که در ساخت ابزار مانند تیغه اره، تیغه قیچی، سوهان، شکل (۷-۵) قلم تراش، سوزن خط‌کشی و قالب‌های نورد و پرس مورد استفاده قرار می‌گیرند. سختی‌پذیری 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 ۷-۵- کاربردهای فولاد ابزار

در جدول (۵-۵) نمونه‌ای از دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس استاندارد AISI^۲ آمده است.

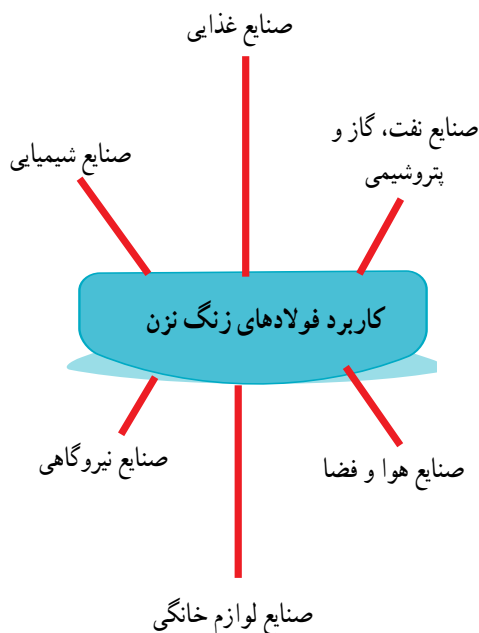
۱- Tool s Steel

۲- Amer can Iron and Steel Inst tute

جدول ۵-۵- دسته‌بندی فولادهای ابزار بر اساس 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 ۶ و در مغز HRC ۴۵ می‌باشد (دارای ۱/۴٪ کربن و مقدار کمی کروم و وانادیوم) و در صنایع چوب، نساجی و بندهزنی کاربرد دارد
۲	فولاد ابزار مقاوم به شوک	S	حاوی ۵٪ کربن است و در مواقعی که تنش‌های ضربی بکار می‌رود وجود دارد به کار می‌رود مثل تیغه برش، قالب اکستروژن و قالب برش
۳	فولاد ابزار سرد کار <ul style="list-style-type: none"> ● 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، فلانرز و منته کاربرد دارد (درصد کربن این فولادها بین ۱/۲۵٪-۱/۹٪ متغیر است)
۴	فولاد ابزار گرم کار <ul style="list-style-type: none"> ● پایه کروم ● پایه تنگستن ● پایه موبیلدن 	H	این فولادها دارای ۴٪ تا 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 <ul style="list-style-type: none"> ● پایه تنگستن ● پایه موبیلدن 	T M	این فولادها حدود ۱/۲۵٪ تا ۱/۸۵٪ کربن دارند و دارای عناصر کاربیدزا مانند وانادیوم، تنگستن و موبیلدن 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 می‌باشند این فولادها در روغن سخت کاری می‌شوند و در ساخت ابزارآلات مقاوم به سایش کاربرد دارند

ج) فولاد زنگ نزن^۱: 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 (۸-۵) آورده شده است.



نمودار ۸-۵- کاربرد فولادهای زنگ نزن

از معروف‌ترین و پرکاربردترین، فولادهای زنگ نزن ۳۰۴ و ۳۱۶ می‌باشد که ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی آن‌ها در جدول (۵-۶) مشاهده می‌شود.

جدول ۵-۶- 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	۱۸ تا ۲۰	۸ تا ۱۰/۵	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۰۱	۶۲۱	۸۲
۳۱۶	۱۶ تا ۱۸	۱ تا ۱۴	۰/۰۸	۲	۰/۷۵	۰/۰۴۵	۰/۰۱	۵۷۹	۷۹

بیشتر بدانیم

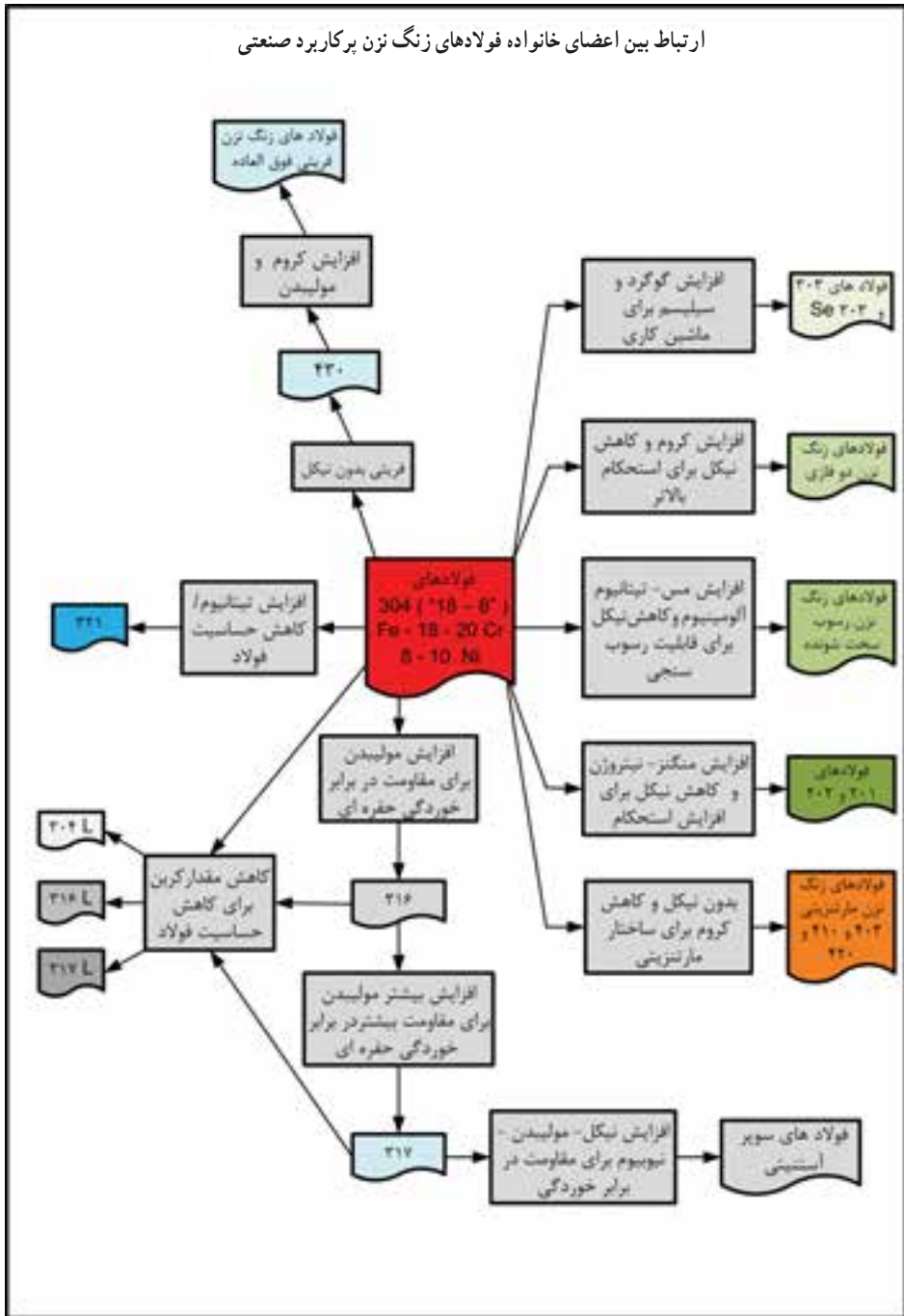
ساختار و فولاد زنگ نزن

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-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 (۵-۹) 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 به دست می‌آیند.

ارتباط بین اعضای خانواده فولادهای زنگ نزن بر کاربرد صنعتی



نمودار ۹-۵- اعضای مهم و بر کاربرد خانواده فولادهای زنگ نزن

۴-۳-۵- 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 انستیتو آهن 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 (۷-۵) در سیستم نام‌گذاری AISI برای نام‌گذاری فولادها، از یک عدد چهار رقمی استفاده 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 به صورت صدم درصد است.

جدول ۷-۵ - دسته‌بندی فولادها بر اساس استاندارد AISI

شماره فولاد	نوع فولاد	شماره فولاد	نوع فولاد
۱ xx	کربنی ساده	۴۳xx	نیکل - کروم - مولیبدن دار
۱۱xx	سولفیدی	۴۶xx	نیکل - مولیبدن دار
۱۳xx	منگنزدار	۵xxx	کروم دار
۲xxx	نیکل دار	۶xxx	کروم - وانادیوم دار
۳xxx	نیکل - کروم دار	۸xxx	کروم - مولیبدن - کم نیکل
۴ xx	مولیبدن دار	۹xxx	نیکل - کروم - کم مولیبدن
۴۱xx	کروم - مولیبدن دار		

برای درک بهتر به مثال‌های زیر توجه کنید :

شماره فولاد

1040

میزان کربن 0.4% درصد

عنصر آلیاژی ندارد

فولاد ساده کربنی

شماره فولاد

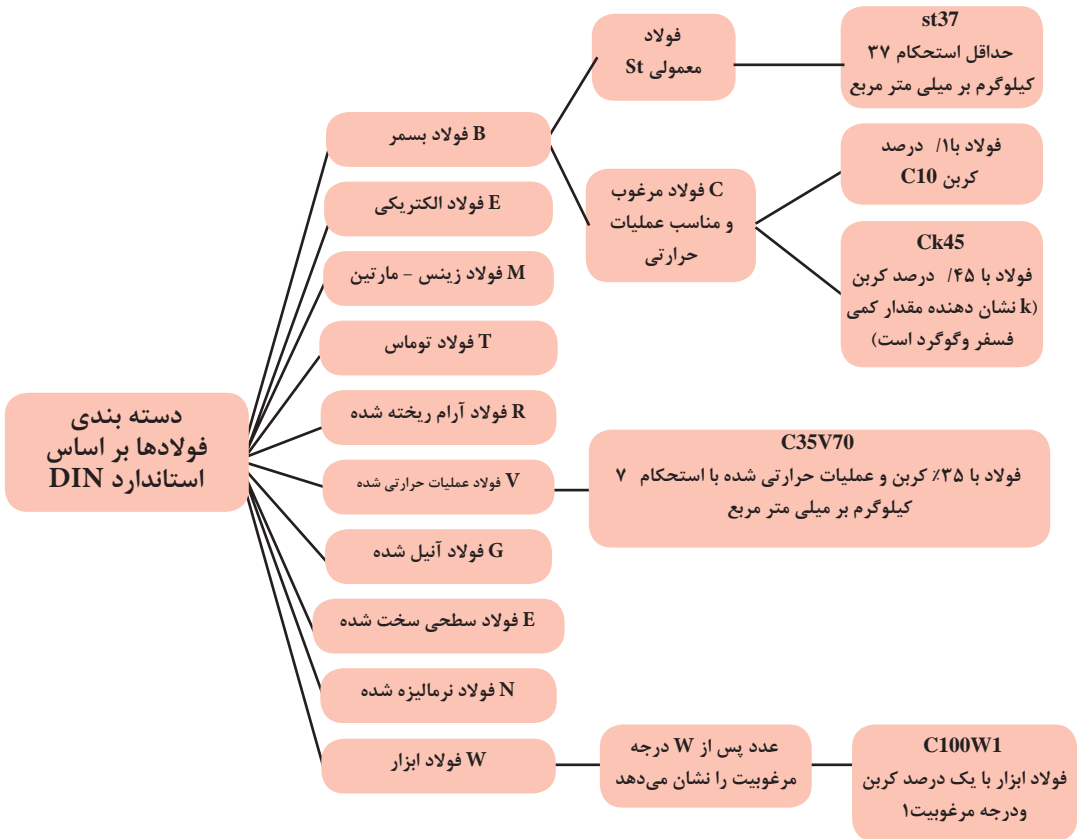
4140

میزان کربن 0.4% درصد

حدود یک درصد کروم دارد

فولاد کروم - مولیبدن دار

(ب) نام‌گذاری بر اساس 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 ۱-۵). در مرحله بعد فولادهای ساده کربنی را با حروف اختصاری C و St مشخص می‌کنند که در نمودار (۱-۵) برای هر کدام مثال ذکر شده است.



نمودار ۱-۵- نام گذاری فولادها بر اساس استاندارد DIN

ولی در مورد نام گذاری فولادهای آلیاژی بر اساس استاندارد DIN دو حالت در نظر گرفته

می شود؛

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

مثال: $۳۵ \text{ Ni Mn Cr } ۷۳۱$: مثال بالا را در نظر بگیرید. اولین عدد از سمت چپ نشان

دهنده میزان کربن می باشد، یعنی عدد ۳۵ که در ضریب $۱/۱۰^{\circ}$ ضرب می شود. بنابراین مقدار کربن برابر با $۳۵/۱۰^{\circ}$ درصد می باشد. سپس هر یک از عناصر آلیاژی به ترتیب میزان آن از بیشتر به کمتر نوشته می شود و در انتها اعدادی که به ترتیب مربوط به عناصر آلیاژی مذکور می باشد، آورده می شود. برای پیدا کردن درصد این عنصر آلیاژی باید عدد مربوطه را بر ضریب هر عنصر که در جدول (۸-۵) آمده

است تقسیم کرد.

جدول ۸-۵ - ضرایب عناصر آلیاژی برای نام‌گذاری فولادهای کم آلیاژ (براساس استاندارد DIN)

عناصر آلیاژی	ضریب
Cr,Co,Mn,Ni,Si,W	۴
Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V,Zr	۱
Ce,N,P,S	۱
B	۱

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

$$\text{Ni: } 1/75 \% (7/4)$$

$$\text{Mn: } 0/75 \% (3/4)$$

$$\text{Cr: } 0/25 \% (1/4)$$

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 (به جز کربن که بر ۱۰۰ تقسیم می‌شود) قرار می‌گیرد.

مثال: X۵ Cr Ni Mo ۱۸ ۱۰۳

$$\text{C: } 0/05 \% (5/100)$$

$$\text{Cr: } 18 \%$$

$$\text{Ni: } 10 \%$$

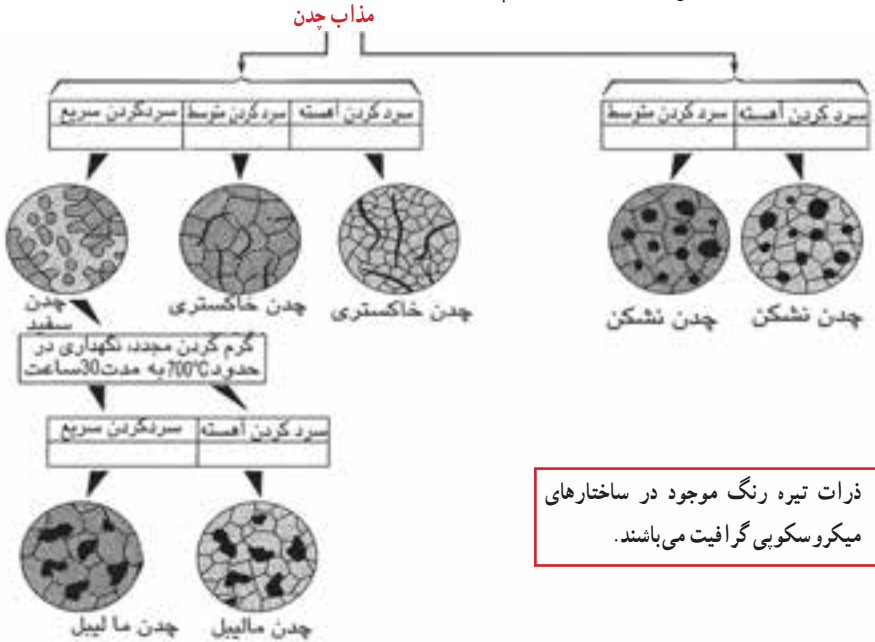
$$\text{Mo: } 3 \%$$

۴-۵-۵ 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 1150° الی 1300° 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.

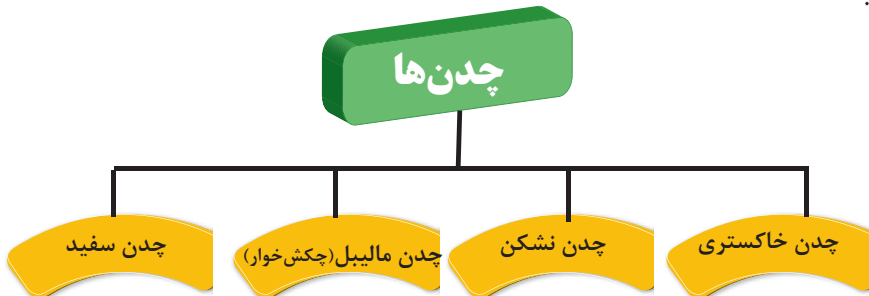
۱-۴-۵- دسته‌بندی چدن‌ها: یک روش ساده و متداول برای دسته‌بندی چدن‌ها، شکل ذرات گرافیت در ساختار چدن و رنگ ظاهر سطح مقطع شکست آنها می‌باشد، در شکل (۸-۵) فرم‌های مختلف ذرات گرافیت در ساختار چدن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸-۵- ساختار چدن‌ها و شکل ذرات گرافیت آزاد

بر اساس توضیحات ذکر شده چدن‌ها را مطابق نمودار (۱۱-۵) می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود.

نمود.



نمودار ۱۱-۵- تقسیم‌بندی چدن‌ها

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

ب) چدن خاکستری: سطح مقطع شکست آلیاژ خاکستری رنگ است چون بخشی از کربن موجود در آلیاژ به صورت گرافیت ورقه ای یا رشته ای 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 دستگاه های تراش و فرز کاربرد دارد.

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

د) چدن مالمیل یا چکش خوار: چنانچه چدن سفید برای مدت نسبتاً طولانی در دمای حدود 700 یا 800 درجه سانتیگراد قرار گیرد کاربید آهن (Fe_3C) موجود در ساختار چدن تجزیه شده و ذرات گرافیت خوشه ای شکل تشکیل می شود. این چدن ها از استحکام و انعطاف پذیری یا چکش خواری مناسبی برخوردار می باشند و در مواردی مثل شاتون، چرخ دنده های انتقال نیرو، تجهیزات راه آهن و به طور کلی در قطعات مهندسی تحت شرایط سخت کاری کاربرد دارند.

در جدول (۹-۵) اطلاعات بیشتری در خصوص ترکیب، خواص مکانیکی و موارد متداول کاربرد چدن ها در صنعت آورده شده است.

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

خواص مکانیکی

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

جدول ۱۰-۵- کاربرد انواع چدن در صنایع گوناگون

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

آزمون پایانی

- ۱- عنصر اصلی آلیاژی در فولادهای ساده کربنی کدام است؟
(الف) کروم (ب) کربن (ج) وانادیوم (د) تنگستن
- ۲- چه قطعاتی از فولاد پرکربن ساخته می‌شوند؟ (سه مورد)
- ۳- با افزایش کربن در فولاد ساده کربنی کاهش یافته و افزایش می‌یابد.

- (الف) قابلیت جوشکاری - سختی (ب) انعطاف پذیری - قابلیت جوشکاری
(ج) قابلیت سوهان کاری - انعطاف پذیری (د) سختی - قابلیت جوشکاری
- ۴- برای مقاوم کردن فولاد در مقابل خوردگی آن را با کدام عنصر آلیاژ می‌کنند؟
(الف) وانادیوم (ب) کروم (ج) آروم (د) منگنز
- ۵- فولادهای میکرو آلیاژ چه نوع فولادهایی هستند؟
(الف) فولادهای ساده کربنی
(ب) فولادهایی که مقدار کمی عناصر آلیاژی مثل مولیبدن و وانادیوم و تیتانیوم دارند.

- (ج) فولاد آلیاژی کروم دار
(د) فولاد زنگ زن
- ۶- فولاد ابزار علاوه بر کربن چه عناصر آلیاژی دیگری دارد؟
- ۷- با توجه به استاندارد AISI فولاد ۴۱۴۰ دارای چه مقدار کربن است؟
(الف) ۰.۴٪ (ب) ۰.۰۴٪ (ج) ۰.۰۴٪ (د) ۰.۴٪
- ۸- علاوه بر آهن و کربن کدام عنصر از اجزاء اصلی تشکیل دهنده چدن‌ها می‌باشد؟

- (الف) سیلیس (ب) گوگرد (ج) فسفر (د) منگنز
- ۹- بارزترین خاصیت چدن‌ها چیست؟
(الف) جوش پذیری (ب) انعطاف پذیری
(ج) ریخته‌گری (د) هدایت الکتریکی و حرارتی