

فصل ۳

آلیاژسازی چدن

گروه‌بندی آلیاژهای آهنی

نکته



این قسمت بهتر است به‌طور کامل در کلاس درس اجرا شود تا هنرجویان در قسمت‌های بعد، قبل از ورود به کارگاه آمادگی لازم داشته باشند.

در این قسمت تفاوت آلیاژهای آهنی را با آلیاژهای غیرآهنی برای هنرجویان برشمارید. این تفاوت‌ها می‌تواند شامل موارد زیادی باشد که تفاوت در نحوه استخراج فلزات غیرآهنی با فلز آهن، مقایسه در میزان نیاز جامعه جهانی به فلزات غیرآهنی و آلیاژهای آهنی و همچنین تفاوت در میزان خواص مکانیکی انواع آلیاژهای آهنی و غیرآهنی، از مهم‌ترین آنهاست. در گام بعدی مقدمات لازم برای تقسیم‌بندی آلیاژهای آهنی را انجام دهید. این مقدمات می‌تواند شامل نکات زیر باشد:

1 تقسیم‌بندی آلیاژهای آهنی بر اساس میزان کربن و عناصر دیگر صورت می‌گیرد به همین دلیل بهتر است هنرجویان با بعضی از نمادهای شیمیایی عناصر ضروری در چدن‌ها آشنا شوند. جدولی مطابق زیر تهیه کنید و از هنرجویان بخواهید نمادهای شیمیایی هر عنصر را بنویسند.

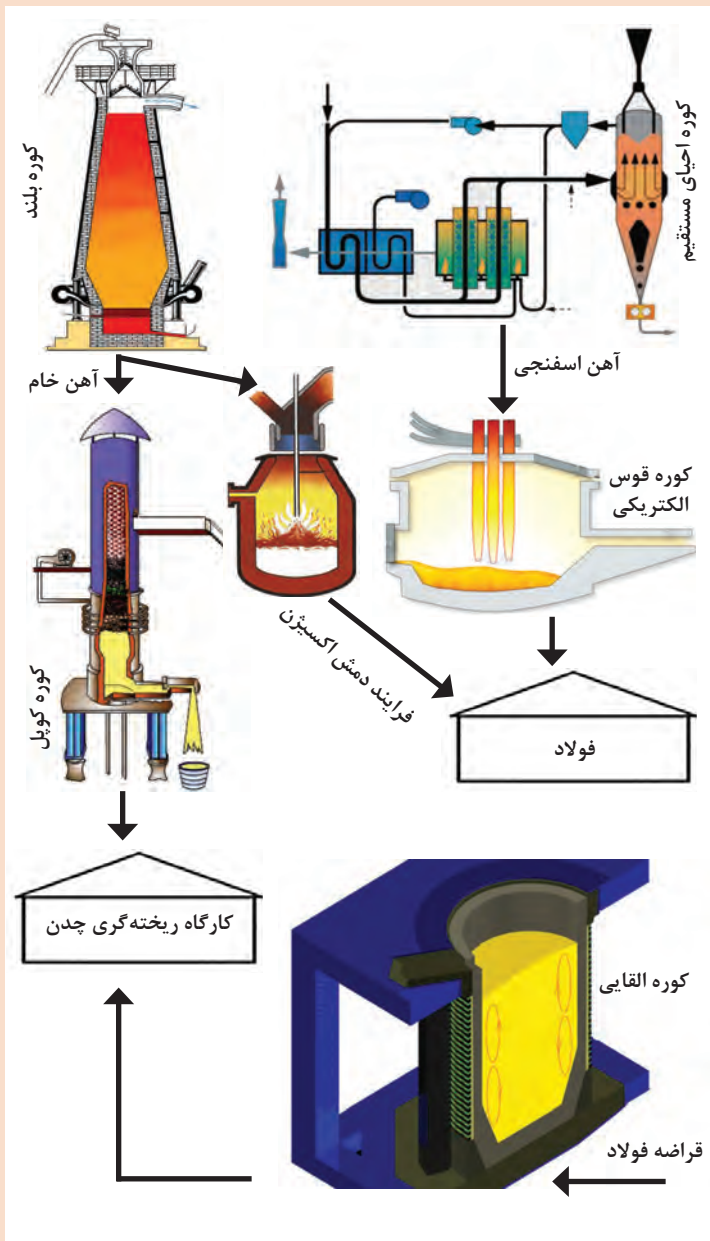
آهن	کربن	سیلیسیم	منگنز	فسفر	گوگرد	منیزیم

2 استخراج از سنگ معدن آهن به‌طور کامل برای هنرجو توضیح داده شود (معرفی انواع سنگ معدن‌های آهن، مروری بر روش‌های احیای مستقیم و غیرمستقیم) این مرحله باید با پخش فیلم از کارخانجات تولید آهن همراه باشد تا هنرجویان مروری بر پودمان اول کتاب دانش فنی تخصصی نیز داشته باشند. سپس در این مرحله آلیاژهای آهنی را برای هنرجویان تقسیم‌بندی کنید. تفاوت‌های چدن و فولادها را از آنها بپرسید و در انتها مراحل تولید شمش چدن را توضیح دهید.

چدن‌ها همانند فولادها دسته‌ای بزرگ از خانواده آلیاژهای آهنی هستند. آلیاژی سه‌تایی متشکل از آهن، کربن و سیلیسیم، که در آن عناصری همانند منگنز، فسفر و گوگرد نیز وجود دارد. علاوه بر این عناصر، فلزاتی همانند کرم، نیکل، مولیبدن، مس، منیزیم در مقادیر کم یا زیاد نیز می‌توانند در چدن‌ها وجود باشند. برخلاف فولادها که مقدار درصد وزنی کربن زیر ۲ درصد است در چدن‌ها معمولاً این میزان بین ۲ تا ۴ درصد متغیر است و همین تفاوت درصد کربن و اضافه شدن سیلیسیم به عنوان عنصر سوم در چدن‌ها، باعث می‌شود خواص متفاوتی با فولادها از خود نشان دهند. در اولین مراحل تکامل کوره‌های بلند، مستقیماً از مذاب کوره که به آهن خام معروف است برای تولید قطعات چدنی استفاده می‌کردند، با گذشت زمان چدن‌های تولید شده در کوره‌های کوپل جایگزین آهن خام حاصل از کوره بلند گردید. در روش اخیر شمش چدن تهیه شده در کوره بلند را در این نوع کوره‌ها ذوب کرده و از مذاب چدن به دست آمده، اقدام به ریخته‌گری قطعات می‌نمایند و بنابراین ریخته‌گران با در اختیار داشتن شمش چدن و کوره‌هایی به مراتب کوچک‌تر از کوره بلند قادر به تولید قطعات چدنی مورد نیاز خود گردیدند. با رشد تکنولوژی و تولید آهن اسفنجی و ورود کوره‌های الکتریکی به خصوص کوره‌های القایی، تهیه مذاب چدن از طریق این کوره‌ها وارد مرحله تازه‌ای شد. موقعیت کشور ایران و وجود ذخایر عظیم گاز طبیعی تولید فولاد را به سمت تولید آهن اسفنجی و فرایند احیای مستقیم سوق داده است به طوری که فقط کمتر از ۲۰ درصد از کارخانه‌های فولاد از طریق کوره بلند تغذیه می‌شوند. با این روند کارگاه‌های ریخته‌گری ایران بیشتر، از کوره‌های القایی برای تولید شمش چدن استفاده می‌کنند. شارژ اصلی این کوره‌ها معمولاً قراضه‌ها و برگشتی‌های فولادی و چدنی است. حذف آهن خام و استفاده از قراضه‌های فولادی در کوره‌های القایی برای تولید شمش چدن، نیازمند فرایند کربن‌دهی است که جهت بالا بردن مقدار درصد کربن شارژ، از گرافیت مصنوعی، گرانول و حتی زغال سنگ استفاده می‌شود.

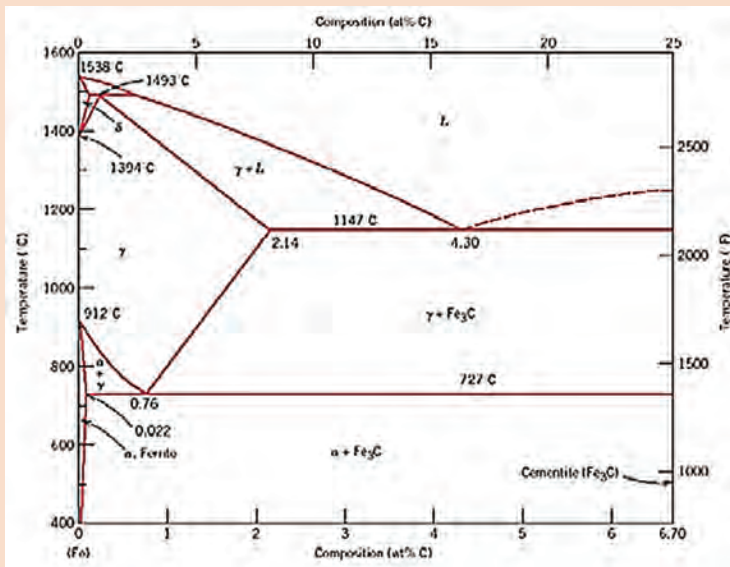
سیلیسیم (۱ تا ۳ درصد وزنی)	آهن	کربن (۲ تا ۴ درصد وزنی)	عناصر اصلی چدن
گوگرد	فسفر	منگنز	
کرم	نیکل	مولیبدن	فلزاتی که در مقادیر کم و زیاد برای اصلاح خواص و ساختار به چدن اضافه می‌شوند
منیزیم	وانادیوم	سدیم	
و دیگر فلزات			

عناصر تشکیل دهنده چدن



مراحل مختلف تولید شمش چدن

در این قسمت هنرجو باید دیاگرام آهن - کربن را مورد بازبینی قرار دهد. با فازها و ترکیبات مختلف موجود در این دیاگرام بهتر آشنا شود. اصطلاحات زیر، از هنرجویان پرسیده شود تا آنها با اطلاع و آشنایی از واژه‌های زیر وارد بحث ساختارهای چدن شوند.
 فریت، آستنیت، سمنتیت، پرلیت، لدبوریت، نقطه یوتکتیک، نقطه یوتکتوئید



نکته



در پودمان دوم از کتاب تغییر خواص متالورژیکی به‌طور کامل درباره دیاگرام آهن - کربن و واژه‌های مربوطه اطلاعات کافی ارائه شده است.

ساختار چدن‌ها

پس از آشنایی هنجریان با دیاگرام آهن - کربن و درک تمایز فولاد با چدن، نوبت به شناخت انواع چدن می‌رسد. پیشنهاد می‌شود برای ورود به بحث از هنجریان سؤالات زیر را بپرسید:

- تفاوت کربن ترکیبی و کربن آزاد چیست؟
 - در فولادها و چدن‌ها کدام نوع کربن (ترکیبی یا آزاد) وجود دارد؟
 - کربن معادل چیست و چه نقشی در چدن‌ها دارد؟
- پس از دریافت جواب‌ها به‌طور کامل واژه‌های کربن ترکیبی، کربن آزاد و کربن معادل را برای هنجریان تشریح کنید. سپس تقسیم‌بندی چدن‌ها را انجام دهید. بهتر است این نوع تقسیم‌بندی با نشان دادن اسلایدهایی از نوع و شکل گرافیت، نوع زمینه، ویژگی‌ها و کاربرد آنها همراه باشد. پس از بحث ساختار چدن‌ها، هنجریان را برای کار عملی به کارگاه ببرید.

دانش‌افزایی

ساختار نهایی چدن‌ها تحت تأثیر عنصر کربن، ترکیبی از زمینه فلزی، کاربرد آهن و گرافیت است. گرافیت همان کربن آزاد است که به شکل‌های متفاوتی (ورقه‌ای، کروی و...) در هنگام انجماد چدن مذاب ظاهر می‌شود. در کاربرد آهن، کربن با فلز آهن به‌صورت ترکیب در می‌آید این فاز که سمنتیت نامیده می‌شود، سخت و شکننده است. بنابراین کربن در چدن‌ها به دو شکل وجود دارد:

۱ کربن آزاد یا گرافیت

۲ کربن ترکیبی.

خواص چدن‌ها به شدت وابسته به این موضوع است که چه مقدار کربن به‌صورت آزاد و چه مقدار به‌صورت ترکیبی در ساختار آنها یافت می‌شود. حتی نوع شکل گرافیت و زمینه چدن نیز روی ویژگی‌های آنها تأثیرگذار است. بر همین اساس می‌توان انواع چدن را در گروه‌های زیر طبقه‌بندی کرد:

۱ چدن خاکستری ۴ چدن مالیبیل

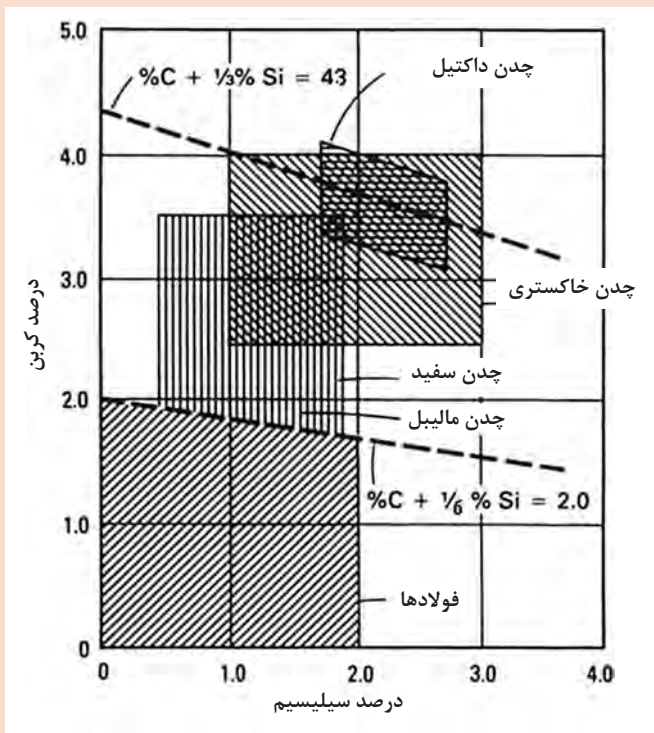
۲ چدن سفید ۵ چدن با گرافیت فشرده

۳ چدن داکتیل ۶ چدن آلیاژی

چدن‌های آلیاژی در واقع نوعی از چدن‌های خاکستری و سفید می‌باشند که در مقایسه با اکثر فولادهای آلیاژی به لحاظ قیمت کمتر، ریخته‌گری آسانتر و خواص متنوع‌تر به ویژه مقاومت سایشی بهتر جایگاه مهمی را در صنعت به خود اختصاص داده‌اند.

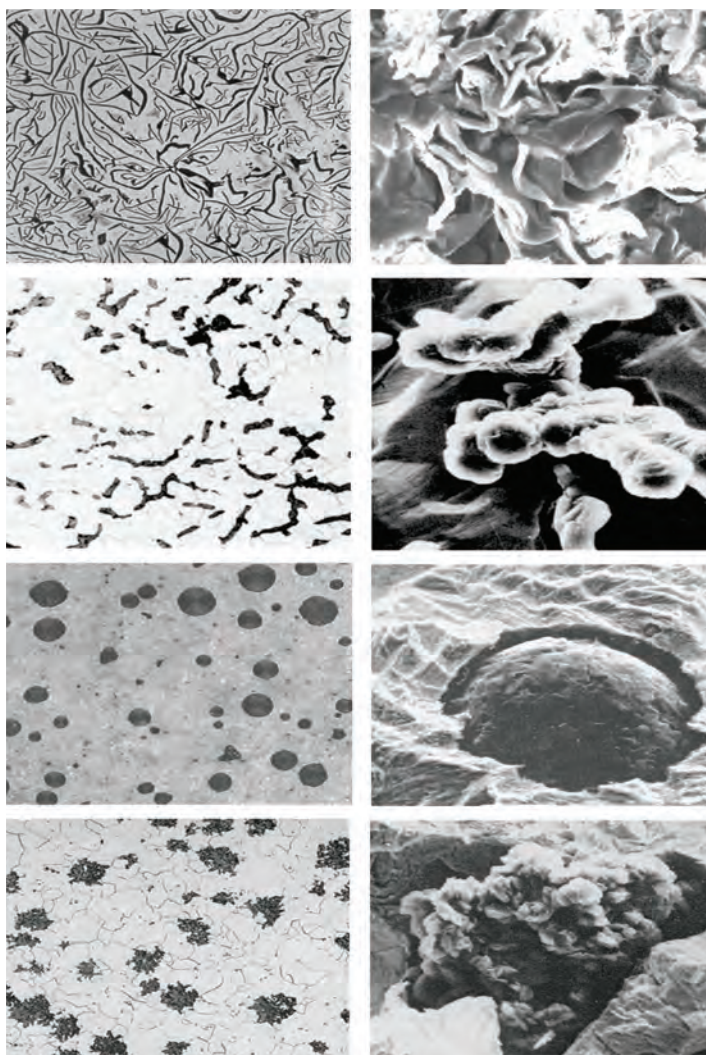
نکته





مقدار تقریبی کربن و سیلیسیم در آلیاژهای آهنی

نام چدن	شکل کربن در چدن	انواع زمینه فلزی موجود در چدن	رنگ مقطع شکست چدن در حالت ماکروسکوپی	ویژگی چدن
چدن خاکستری	گرافیت ورقه‌ای	فریت، پرلیت، پرلیت + فریت	خاکستری	قابلیت ماشین کاری - انتقال حرارتی خوب - جذب ارتعاش و صدا
چدن سفید	به صورت ترکیبی (کاربید آهن)	پرلیت، سمنتیت	سفید	مقاومت به سایش
چدن داکتیل	گرافیت کروی	فریت، پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	استحکام بالا - قابلیت انعطاف عالی
چدن مالیبیل	گرافیت برفکی	پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	چکش خواری و چقرمگی بالا
چدن با گرافیت فشرده	گرافیت کرمی	پرلیت، فریت	خاکستری - نقره‌ای	مابین خواص چدن خاکستری و داکتیل
چدن آلیژی	به صورت ترکیبی یا گرافیت ورقه‌ای	پرلیت، مارتنزیت، آستنیت	خاکستری - نقره‌ای یا سفید	مقاومت به سایش عالی - مقاومت به خوردگی عالی



تصاویر میکروسکوپی چدن‌های به ترتیب چدن‌های خاکستری - فشرده - داکتیل - مالیل

(سمت چپ تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی کم ($\times 250$) سمت راست تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ الکترونی با بزرگ‌نمایی بالا ($\times 850$))



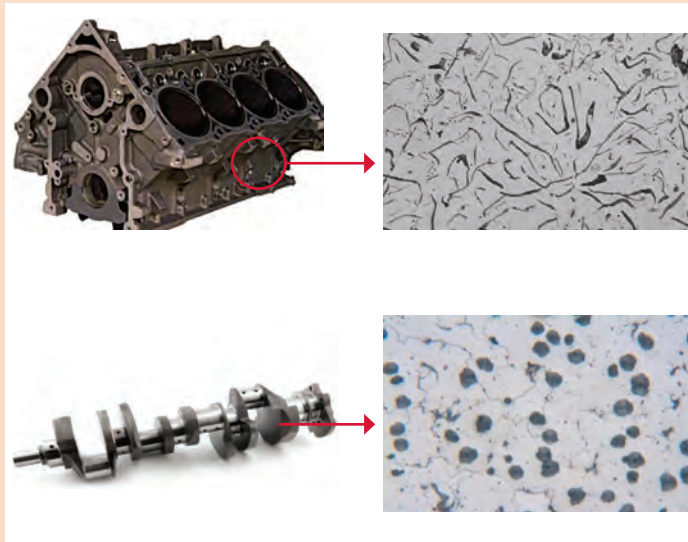
متالوگرافی چدن‌ها و مشاهده گرافیت‌ها

هنرجویان را در گروه‌های دو نفری تقسیم‌بندی کنید. به گروه‌ها نمونه‌های متفاوتی از قطعات کاربردی در صنعت نظیر بلوک سیلندر خودرو، میل لنگ، پوسته و یا پروانه پمپ‌های مقاوم در برابر سایش تحویل دهید. دقت داشته باشید گروه‌ها از جنس نمونه‌ای که قرار است متالوگرافی کنند اطلاع نداشته باشند و نمونه برای آنها مجهول باشد.

گروه‌ها موظف‌اند برای متالوگرافی نمونه‌ها، ابتدا عمل سنباده کاری با استفاده از سنباده‌های زبر (۸۰) تا نرم (۲۰۰۰) انجام دهند. پس از این مرحله، نوبت به پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 می‌رسد. پس از عمل پولیش، نمونه‌ها را با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ مشاهده کرده و نوع چدن نمونه را اعلام کنند.

نکته: به منظور دیدن گرافیت‌ها برای نمونه‌های چدنی، باید عمل پولیش آرام صورت گیرد.

- بلوک سیلندر خودرو گرافیت کشیده نوع A
- میل لنگ گرافیت کروی
- پوسته پروانه پمپ ضدسایش زمینه‌ای کاملاً سفید رنگ، زیرا گرافیت نداشته و کاربیدها بدون اچ کردن قابل رؤیت نمی‌باشد.

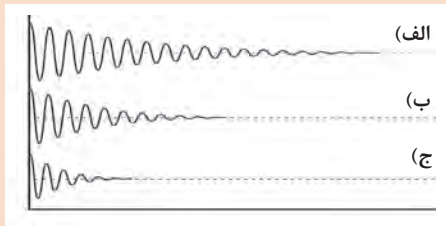




تمایز فولاد با چدن از طریق اعمال ضربه

یادآوری: گرافیت ورقه‌ای بیشترین کاربرد را در چدن‌ها به خود اختصاص داده است به طوری که اکثر پوسته‌ها، پایه‌ها و بدنه ماشین‌آلات صنعتی به دلیل تحمل فشار بالا و خاصیت جذب صدا و ارتعاش از چدن با این نوع گرافیت تولید می‌شوند. چنانچه پس از پرداخت کامل، سطح نمونه توسط میکروسکوپ بررسی شود گرافیت‌های ورقه‌ای قابل رویت می‌شوند. راه دیگر تشخیص این نوع چدن از سایر آلیاژهای آهنی به این صورت است که چنانچه با میله و یا چکش فلزی ضربه به آن وارد گردد صدای بم شنیده می‌شود.

قطعاتی از فولاد، چدن داکتیل و چدن خاکستری آماده کنید. به هنرجویان توضیح دهید که با ضربه زدن به فولاد و چدن داکتیل صدای زنگ شنیده می‌شود در حالی که چدن خاکستری صدای خفه دارد. از هنرجویان بخواهید با ضربه زدن و شنیدن ضربه، نوع آلیاژ را تشخیص دهند.



تابع ارتعاش برحسب زمان برای سه نوع آلیاژ
(الف) فولاد (ب) چدن داکتیل (ج) چدن خاکستری

ساختار چدن‌های خاکستری و سفید – آلیاژسازی

بیشترین کاربرد چدن‌ها در صنعت بر پایه چدن‌های خاکستری بنا شده است. بهتر است ابتدا تفاوت ترکیبی چدن سفید با خاکستری را برای هنرجویان برشمارید و عواملی که باعث می‌شود که چدن سفید به وجود بیاید را ذکر کنید. تست گوه نیز که بعداً به صورت عملی انجام می‌گیرد در راستای این توضیحات است.

پس از این مرحله برای هنرجویان انواع گرافیت‌های چدن‌های خاکستری را تشریح کنید. این تشریح حتماً باید با نشان دادن عکس‌ها و اسلایدهایی از شکل گرافیت‌ها همراه باشد. درباره تأثیر ضخامت بر شکل، مقدار و اندازه گرافیت‌ها صحبت شود تا هنرجویان برای فعالیت یک پیش زمینه داشته باشند.

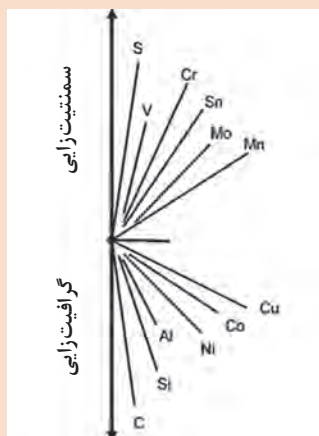
در انتهای بحث کلاس توضیحاتی از آلیاژسازی به خصوص آلیاژسازی چدن‌ها برای هنرجویان داده شود.

تأثیر نرخ سردکردن و عناصر آلیاژی بر روی چدن

شکل کربن در چدن‌ها تحت تأثیر عناصر آلیاژی، چگونگی سرعت سرد شدن در هنگام انجماد و نوع عملیات حرارتی است. بعضی از عناصر آلیاژی پایدارکننده گرافیت هستند (گرافیت‌زا) و برخی دیگر نرخ شکل‌گیری سمنتیت را افزایش می‌دهند (کاربید‌زا). از بین عناصر آلیاژی علاوه بر کربن، سیلیسیم قوی‌ترین گرافیت‌زا است بنابراین بیشترین تأثیر را در چدن‌های خاکستری دارد. بنابراین باید انتظار داشت که در چدن سفید نسبت به چدن خاکستری مقادیر سیلیسیم کمتری وجود داشته باشد.

ترکیب شیمیایی چدن سفید در مقایسه با چدن خاکستری

گوگرد	فسفر	منگنز	سیلیسیم	کربن	
۰/۰۵ - ۱	۰/۰۲ - ۰/۲۵	۰/۲۵ - ۱	۳ - ۱	۲/۵ - ۴	چدن خاکستری
۰/۰۶ - ۰/۱۸	۰/۰۶ - ۰/۲	۰/۲۵ - ۰/۸	۰/۱ - ۵/۹	۱/۸ - ۳/۶	چدن سفید



تأثیر عناصر آلیاژی بر میکرو ساختارهای چدن

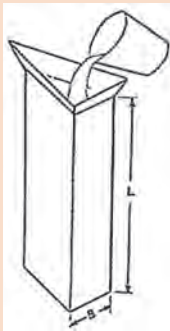
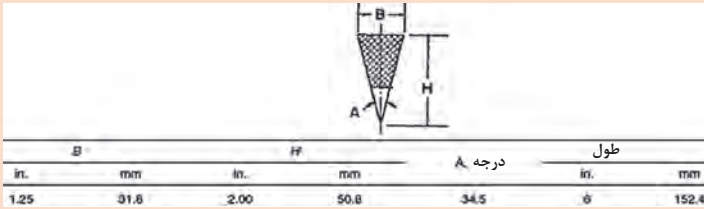
برای تولید چدن سفید دو راه وجود دارد:

- ترکیب شیمیایی برای ضخامت معینی از قطعه در محدوده مشخص باشد. (جدول بالا)
 - سریع سردکردن مذاب چدن در قالب در حالی که ممکن است ترکیب در محدوده چدن سفید نباشد.
- در نتیجه در ریخته‌گری چدن‌ها در ضخامت‌های کم، وجود چدن سفید دور از انتظار نیست.



تست گوه

مدل گوه‌ای را با کمک هنرجویان با ابعاد زیر آماده کنید. مدل‌های فلزی برای این فعالیت مناسب‌ترند. این ابعاد براساس استاندارد ASTM است. نوک گوه تا ۰/۵ میلی‌متر گرد شود.



صرف نظر از نوع قالب‌گیری، مدل با ماسه نرم قالب‌گیری شود و معمولاً ماسه ۰ AFSY را در نظر می‌گیرند. قالب باید کاملاً عاری از هرگونه رطوبت باشد. قالب‌گیری مدل را می‌توان به صورت روباز نیز انجام داد. بهتر است که قالب‌گیری مطابق شکل به صورت عمودی انجام گیرد. هنرجویان حداقل دو قالب تهیه کنند. از هر گونه کوره که قادر به ذوب چدن خاکستری باشد می‌توان استفاده کرد. مقدار شارژ بسته به اندازهٔ بوته و تعداد قالب می‌تواند متغیر باشد.

نکته: چنانچه از قراضه فولادی برای شارژ کوره القایی استفاده می‌کنید به همراه شارژ از گرانول در ابتدا و از فرو سیلیسیم در انتهای ذوب استفاده نمایید. مقدار گرانول و فروسیلیسیم بسته به ترکیب شیمیایی قراضه دارد.

بعد از آماده شدن ذوب عملیات کیفی مذاب را انجام دهید. این عملیات شامل گاززدایی با استفاده از فروتیوپ (به ازای هر ۲۵ کیلوگرم یک فروتیوپ کافی است) و سرباره‌گیری با استفاده از سلاکس است. (مقدار سلاکس حدود ۰/۵ درصد وزنی شارژ است). یک قالب بدون عمل جوانه‌زا و دیگری با عملیات تلقیح، ریخته‌گری کنید. تلقیح با فرو سیلیسیم انجام گیرد. حدود ۰/۳ درصد وزنی مذاب، فروسیلیسیم ۷۵ درصد اضافه شود. قطر فروسیلیسیم‌ها ۲ تا ۳ میلی‌متر باشد.

پس از اینکه قطعات جامد شدند آنها را از قالب جدا کرده و با انبر در آب سرد فرو کنید. زمانی که قطعات به اندازه کافی سرد شدند از آب خارج کنید. درجه حرارت گوه باید چنان باشد هنگامی که از آب خارج می‌شود سطح خیس را بتواند خشک کند.

گوه‌ها را از وسط طول با چکش بشکنید. مناطق سفید شده در نمونه‌ها را که در مجاورت رأس قرار گرفته است، مشاهده و مرز بین منطقه خاکستری و سفید را برای هر دو نمونه پیدا کنید و طول این مرز را که موازی با قاعده گوه است را اندازه بگیرید. هنرجویان نتایج را به صورت کامل در قالب یک گزارش کاری ارائه دهند.

فصل سوم: آلیاژسازی چدن

نکته



معمولاً بین ناحیه خاکستری و سفید ناحیه‌ای از چدن خالدار وجود دارد که در این مورد مرز به‌طور استاندارد در وسط منطقه واسطه تعریف می‌شود.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام شارژ ذوب، بارریزی، قالب‌گیری، تخلیه قالب و جابه‌جایی لازم است. همچنین استفاده از لباس نسوز، کلاه مجهز به نقاب، دستکش و ماسک الزامی است.

دانش افزایی

در چدن‌های گرافیت‌دار وقتی آلیاژ در زیر نقطه یوتکتیک سرد شود گرافیت ابتدا از طریق جدا شدن از ترکیب آستنیت رسوب کرده و سپس در دمای یوتکتوئید انتقال کامل انجام می‌گیرد. البته محصول واقعی علاوه بر ترکیب ساختار آستنیت متأثر از سرعت سرد شدن نیز است. در شرایط عادی معمولاً استحاله شبکه آستنیتی به فریت و گرافیت را می‌توان با شرایط زیر به دست آورد:

(الف) سرعت سرد شدن آهسته، به طوری که سبب جدایش کربن از شبکه آستنیتی شود.

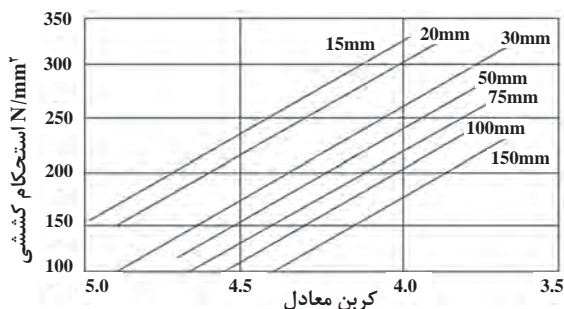
(ب) درصد بالای سیلیس در آلیاژ که موجب تشکیل گرافیت به جای فاز سمنتیت می‌شود.

(ج) مقادیر بالای کربن معادل در آلیاژ

(د) وجود گرافیت ریز دانه سرد شده (از نوع D) در ساختار.

در حالی که آلیاژ، کربن معادل نسبتاً پایین داشته یا سرعت سرد شدن به نسبت زیاد باشد استحاله بیشتر به سمت پرلیت هدایت می‌شود. در برخی موارد ساختار آلیاژ شامل هر سه جزء فریت، پرلیت و گرافیت خواهد بود.

منحنی زیر نشان می‌دهد که اختلاف ضخامت و در نتیجه اختلاف سرد شدن در استحکام کششی اثر داشته و می‌تواند مثل تغییرات در ترکیب شیمیایی مؤثر باشد.



رابطه بین استحکام کششی و کربن معادل برای میل‌گردهایی با قطرهای متفاوت

اختلاف در استحکام ناشی از ترکیب شیمیایی ارتباط به نحوه انجماد، ساختار دندریتهای آستنیت و یوتکتیک دارد و اختلاف استحکام ناشی از اختلاف ضخامت ارتباط به اختلاف در اندازههای یوتکتیک و گرافیت دارد. افزایش استحکام در اثر افزایش در سرعت سرد شدن که ناشی از کاهش ضخامت می باشد به علل زیر است:

- ۱ تعداد هسته های یوتکتیک تشکیل شده در طول انجماد افزایش پیدا می کند.
- ۲ سرعت بیشتر در انجماد یوتکتیک باعث ظرافت گرافیت ورقه ای می شود.
- ۳ سرعت بیشتر در قالب باعث ظرافت بیشتر در پرلیت و کاهش مقدار فریت (به جز گرافیت نوع D) می شود.

گرافیت های ورقه ای تشکیل شده از هسته یوتکتیک کوچک، دارای استحکام بیشتری است از گرافیت های ورقه ای که از هسته یوتکتیک بزرگ تر تشکیل شده و در نتیجه چدن های با هسته یوتکتیک کوچک تر یا تعداد هسته های یوتکتیک بیشتر، مقاوم ترند.

فعالیت عملی



تأثیر ضخامت بر اندازه های گرافیت در چدن های خاکستری

هنرجویان را به گروه های چند نفری تقسیم بندی کنید. نمونه های استوانه ای با قطر متفاوت از ۱۵ میلی متر تا ۴۵ میلی متر که طول هر استوانه حدود ۲۰ سانتی متر باشد به گروه ها تحویل دهید. بهتر است قطر استوانه ها ۵ میلی متر ۵ میلی متر اضافه گردد (یعنی ۱۵، ۲۰، ۲۵، ...، ۴۵). گروه ها استوانه ها را قالب گیری کنند. انتخاب نوع ماسه قالب گیری بر عهده هنرآموز است. گروه ها بعد از آماده کردن چدن مذاب و انجام عملیات کیفی آن، مذاب ریزی را انجام دهند. پس از خنک شدن نمونه ها، آنها را از وسط بریده و برای رؤیت گرافیت ها متالوگرافی کنند. در انتها سختی نمونه ها را اندازه گیری کنند.

تأثیر ضخامت بر اندازه گرافیت و همچنین تأثیر کربن ترکیبی بر سختی از اهداف این فعالیت است که هنرجویان باید در قالب گزارش کاری تحویل دهند.

نکته ایمنی



رعایت کلیه نکات ایمنی و بهداشتی هنگام شارژ ذوب، بارریزی، قالب گیری، تخلیه قالب و جابه جایی لازم است همچنین استفاده از لباس نسوز، کلاه مجهز به نقاب، دستکش و ماسک الزامی است.

دانش افزایی

برای تولید ۲۰۰ کیلوگرم مذاب با ۳/۵ درصد کربن، ۲/۴ درصد سیلیسیم، در صورتی که شارژ اصلی قراضه فولاد با کربن و سیلیسیم پایین باشد چه مقدار از مواد زیر بایستی به مذاب اضافه گردد؟

۱) فروسیلیس با عیار ۷۵ درصد سیلیسیم

۲) گرانول با عیار ۹۹ درصد کربن

شارژ	کربن	کربن	گرانول
۱۰۰	۳/۵	۹۹	۱۰۰
۲۰۰	$x \Rightarrow x=7 \text{ kg}$, ۷	$x \Rightarrow x = \frac{700}{99} = 7.07 \text{ kg}$
شارژ	سیلیسیم	سیلیسیم	فروسیلیس
۱۰۰	۲/۴	۷۵	۱۰۰
۲۰۰	$x \Rightarrow x=4/8 \text{ kg}$, ۴/۸	$x \Rightarrow x = \frac{480}{75} = 6.4 \text{ kg}$

طراحی سیستم‌های راهگاهی و تغذیه برای چدن ریزی

وظیفه یک سیستم راهگاهی در تولید قطعات ریختگی آهنی تأمین شرایط زیر است:

- ۱) تولید قطعه ریختگی کامل بدون معایب سطحی نظیر نرسیدن بار.
- ۲) انتقال مذاب تمیز از راهگاه به محفظه قالب و در نتیجه تولید قطعه تمیز.
- ۳) تولید قطعه ریختگی سالم، عاری از حفره‌ها و معایب انقباضی.
- ۴) امکان جدا کردن راهگاه‌ها و تغذیه از قطعه با هزینه کم و آسان‌تر.

بنابراین با توجه به اهمیت زیاد سیستم راهگاهی بهتر است که این قسمت به طور کامل به بحث تعبیه سیستم راهگاهی و تغذیه‌گذاری اختصاص داده شود. هنرآموزان باید در ابتدای تدریس اهمیت سیستم راهگاهی را برای تولید یک قطعه سالم برای هنرجویان تشریح کنند. سپس با توضیح سیستم‌های فشاری، مرحله به مرحله با ذکر مثال‌های از قطعات متفاوت اندازه‌های کانال‌های فرعی، کانال‌های اصلی و قطر لوله راهگاه را برای هنرجویان محاسبه کنند.

در گام بعدی، از نقش تغذیه‌گذاری در ریخته‌گری صحبت شود. انواع روش‌های رایج در تغذیه‌گذاری برای چدن‌ریزی را نام برده و توضیح داده شود. سپس با حل چند نمونه، ابعاد تغذیه و ضلع گلوبی را جهت آموزش به هنرجویان به دست آورند.



محاسبه اندازه‌های سیستم راهگاهی

برای این فعالیت باید وسایل اندازه‌گیری طول و وزن همانند خط‌کش و ترازو در کارگاه مهیا باشد.

در کارگاه به هر دو نفر از هنرجویان یک قطعه متفاوت داده شود. هنرجویان با استفاده از گراف و نمودارهای موجود باید اندازه مناسب سیستم راهگاهی را به‌دست بیاورند و در عمل اجرا کنند. انتخاب نوع ماسه قالب‌گیری بر عهده هنرآموز است. پس از قالب‌گیری، با توجه به تعداد قالب، مذاب آماده گردد و چدن‌ریزی انجام شود.

هنرآموز محترم بعد از خنک‌شدن قطعات، آنها را مورد بررسی قرار دهد و نکات ضروری را به هنرجویان در جهت رفع عیب‌های احتمالی به وجود آمده از سیستم راهگاهی گوشزد کند.

با توجه به جدول زیر و در صورتی که از راهگاہ بار ریز کوتاه استفاده شده باشد حساب کنید برای قطعه‌ای به وزن ۴۰۰ کیلوگرم مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی چه میزان است؟

برای قطعه ۴۰۰ کیلوگرم چدن که در جدول نمی‌باشد به صورت زیر عمل می‌شود:

به دلیل اینکه ۴۰۰ کیلوگرم بین ۱۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم موجود در جدول بوده بنابراین دو عدد مربوطه را از هم کم می‌کنیم:

$$۵۰۰ - ۱۰۰ = ۴۰۰$$

مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی به ازای راهگاہ بار ریز کوتاه را نیز از هم کم می‌کنیم:

$$۱۰ - ۶ = ۴$$

اختلاف مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی (سانتی متر مربع) اختلاف وزن (کیلوگرم)

$$\begin{array}{r} ۴۰۰ \\ ۱۰۰ \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{r} ۴ \\ \hline \end{array} \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۴}{۴۰۰} = ۱$$

$$\Rightarrow A_c = ۱۰ - ۱ = ۹ \text{ cm}^2$$

توجه: در تناسب بالا عدد ۱۰۰ از اختلاف دو عدد ۵۰۰ و ۴۰۰ به‌دست آمده است.

مجموع سطوح مقاطع فرعی (سانتی متر مربع)		وزن قطعه ریختگی (کیلوگرم)
راهگاه بارریز کوتاه	راهگاه بارریز بلند	
۳/۲	۲/۵	۱۰
۳/۸	۳	۳۰
۴/۵	۳/۵	۵۰
۶	۴	۱۰۰
۱۰	۶	۵۰۰
۱۵	۹	۱۰۰۰

برای قطعه پرسش قبل، قطر لوله راهگاه و همچنین پهنا و ارتفاع کانال اصلی را حساب کنید.

چنانچه نسبت راهگاهی ($A_s:A_r:A_c$) به صورت (۴:۸:۳) در نظر گرفته شود داریم:
محاسبه قطر لوله راهگاه:

$$\frac{A_s}{A_c} = \frac{4}{3} \Rightarrow A_s = \frac{4}{3} A_c \Rightarrow A_s = \frac{4}{3} \times 9 \Rightarrow A_s = 12 \text{ cm}^2$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4A_s}{\pi}} \Rightarrow d_s = \sqrt{\frac{4 \times 12}{3/14}} \Rightarrow d_s = 3/91 \text{ cm}$$

محاسبه پهنا و ارتفاع کانال اصلی:

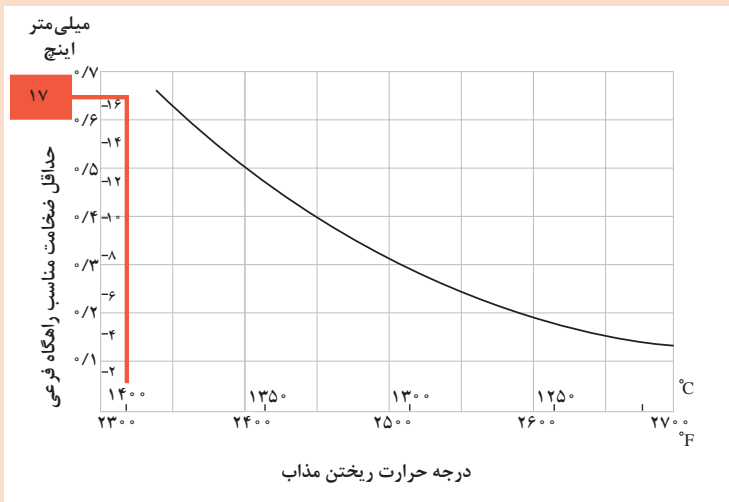
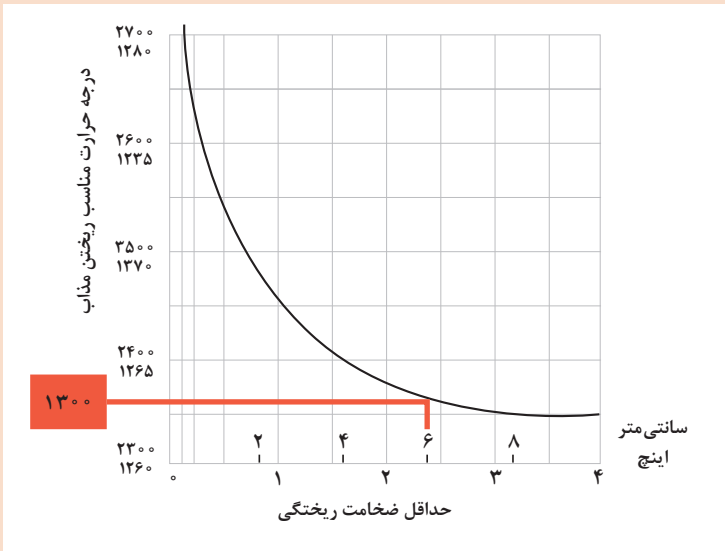
$$\frac{A_r}{A_c} = \frac{8}{3} \Rightarrow A_r = \frac{8}{3} A_c \Rightarrow A_r = \frac{8}{3} \times 9 \Rightarrow A_r = 24 \text{ cm}^2$$

$$A_r = w_1 \times h_1, h_1 = 2w_1 \Rightarrow A_r = 2w_1^2 \Rightarrow w_1 = \sqrt{\frac{A_r}{2}}$$

$$\Rightarrow w_1 = \sqrt{12} \text{ cm} \Rightarrow h_1 = 2\sqrt{12} \text{ cm}$$

برای قطعه پرسش قبل، در صورتی که حداقل ضخامت آن ۶ سانتی متر باشد ابعاد و همچنین تعداد کانال‌های فرعی را حساب کنید.

از منحنی دمای مذاب ریزی تقریباً 130° درجه سلسیوس شده سپس از منحنی دوم حداقل ضخامت مناسب راهگاه فرعی h_p تقریباً ۱۷ میلی متر می شود.



برای محاسبه پهنای کانال فرعی (w_p) از جدول زیر استفاده می‌شود و چون ۴۰۰ کیلوگرم بین ۵۰ و ۵۰۰ کیلوگرم است.

جرم قطعه ریختگی کیلوگرم	حداکثر عرض راهگاه فرعی متر	حداقل فاصله بین دو راهگاه فرعی مجاور متر
۵	۰/۰۱۹	۰/۰۳۷
۵۰	۰/۰۳۲	۰/۰۶۲
۵۰۰	۰/۰۵	۰/۰۷۵
۵۰۰۰	۰/۰۷۵	۰/۱۲۵
۵۰۰۰۰	۰/۱۲۵	۰/۲۰

$$۵۰۰ - ۵۰ = ۴۵۰$$

اختلاف وزن

$$۰/۰۵ - ۰/۰۳۲ = ۰/۰۱۸$$

اختلاف پهنای کانال فرعی بر حسب متر

$$۵۰۰ - ۴۰۰ = ۱۰۰$$

اختلاف وزن (کیلوگرم)

اختلاف پهنای (متر)

$$۴۵۰$$

$$۰/۰۱۸$$

$$۱۰۰$$

$$x \Rightarrow x = \frac{۱۰۰ \times ۰/۰۱۸}{۴۵۰} = ۰/۰۰۴ \text{ m}$$

در نتیجه پهنای هر کانال فرعی برای قطعه ۴۰۰ کیلوگرمی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$۰/۰۵ - ۰/۰۰۴ = ۰/۰۴۶ \text{ m} \Rightarrow ۰/۰۴۶ \times ۱۰۰۰ = ۴۶ \text{ mm}$$

$$n_1 = \frac{A_c}{w_p \times h_p} \Rightarrow n_1 = \frac{۹ \times ۱۰۰}{۴۶ \times ۱۷} \Rightarrow n_1 = ۱/۱۵ \Rightarrow n_p = ۲$$

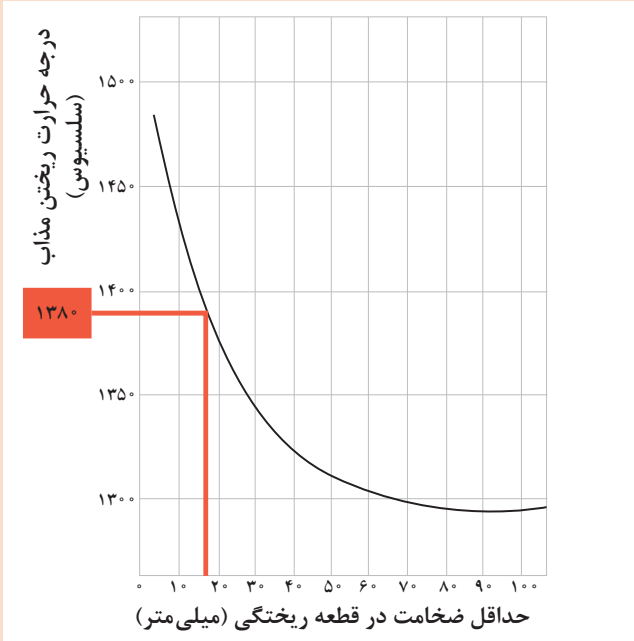
$$n_p = \frac{A_c}{w_p \times h_p} \Rightarrow w_p = \frac{۹۰۰}{۲ \times ۱۷} \Rightarrow w_p \approx ۲۶/۵ \text{ mm}$$

برای قطعه‌ای با حداقل ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر و وزن ۷۰ کیلوگرم با استفاده از نمودارها میزان حجم تغذیه لازم را به دست آورید.

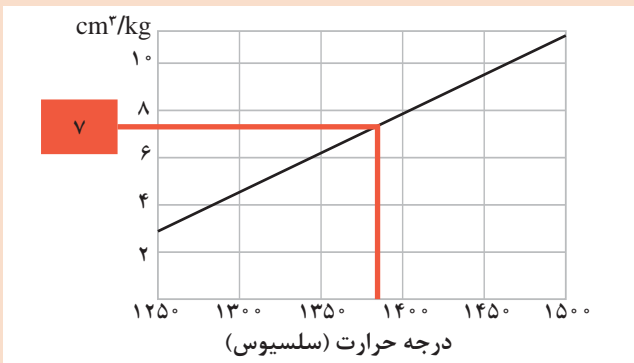
وزن قطعه ۱۰٪ + وزن قطعه = وزن مذاب

$$m = ۷۰ + \frac{۱۰}{۱۰۰} \times ۷۰ \Rightarrow m = ۷۷ \text{ kg}$$

از منحنی زیر با توجه به ضخامت ۱/۵ سانتی متر، دمای مذاب ریزی ۱۳۸۰ درجه سلسیوس تعیین می شود.



و از منحنی دوم نیز حجم فلز لازم برای تغذیه به ازای هر کیلوگرم، ۷ سانتی متر مکعب به دست می آید.



در نتیجه حجم تغذیه به دست می آید.

$$V_r = 77 \times 7 \Rightarrow V_r = 539 \text{ cm}^3$$

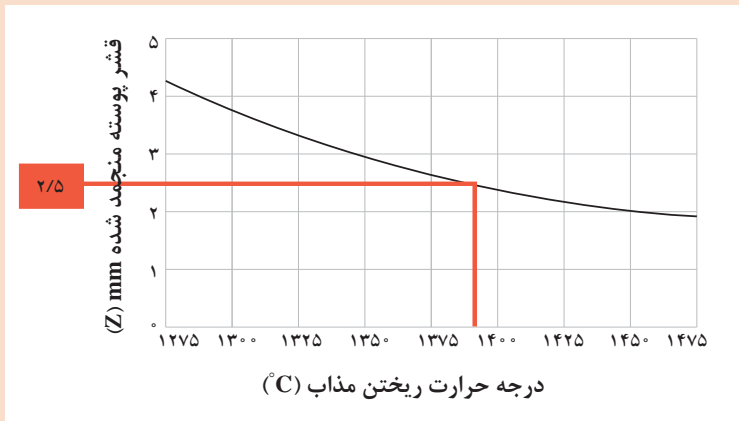
برای قطعه پرسش قبل و با توجه به اینکه از تغذیه‌ای با نسبت $\frac{H_r}{D_r} = 1$ استفاده شده، قطر و ارتفاع تغذیه را حساب کنید.

$$V_r = \frac{D_r^2 \times \pi}{4} \times H_r \Rightarrow V_r = \frac{D_r^2 \times \pi}{4} \times D_r \Rightarrow D_r = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_r}{\pi}} \Rightarrow$$

$$D_r = \sqrt[3]{\frac{4 \times 539}{3/14}} \Rightarrow D_r = \sqrt[3]{686/6} \Rightarrow D_r = 8/8 \text{ cm}$$

از منحنی زیر براساس دمای مذاب ریزی قشر پوسته منجمد شده پس از دو دقیقه را مشخص می‌نماییم، که با توجه به دمای 1380° درجه سلسیوس تقریباً $2/5$ میلی‌متر می‌شود بنابراین قطر تغذیه نهایی به صورت زیر می‌باشد:

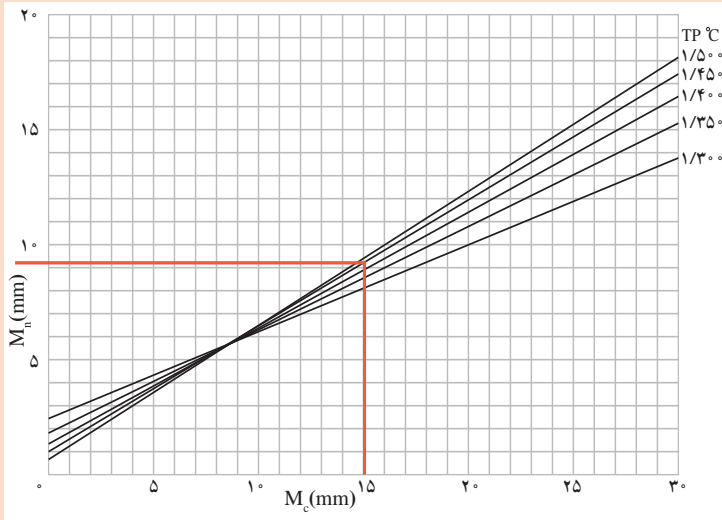
$$D_r = 88 + 2 \times 2/5 \Rightarrow D_r = 93 \text{ mm}, H_r = D_r = 93 \text{ mm}$$



برای قطعه پرسش قبل و در صورتی که مدول نازک‌ترین قسمت $1/5$ سانتی‌متر باشد ابعاد گلوبی را محاسبه کنید.

برای به دست آوردن مدول گلوبی و طول ضلع آن، چون مدول نازک‌ترین قسمت قطعه $1/5$ سانتی‌متر است توسط منحنی مدول گلوبی مشخص می‌شود و با توجه به اینکه دمای مذاب ریزی 1380° درجه سلسیوس است.

$$M_n = 9 \text{ mm}, M_n = \frac{a}{4} \Rightarrow a = 4M_n \Rightarrow a = 4 \times 9 = 36 \text{ mm}$$



با استفاده از منحنی و برای قطعه‌ای که مدول ضخیم‌ترین قسمت آن ۲/۵ سانتی‌متر است و همچنین ضلع گلوبی را محاسبه نمایید.

از منحنی و با توجه به اینکه مدول قسمت ضخیم قطعه ۲/۵ سانتی‌متر است تا حدود وسط منطقه هاشور خورده ادامه داده و مدول تغذیه تقریباً مساوی می‌شود.

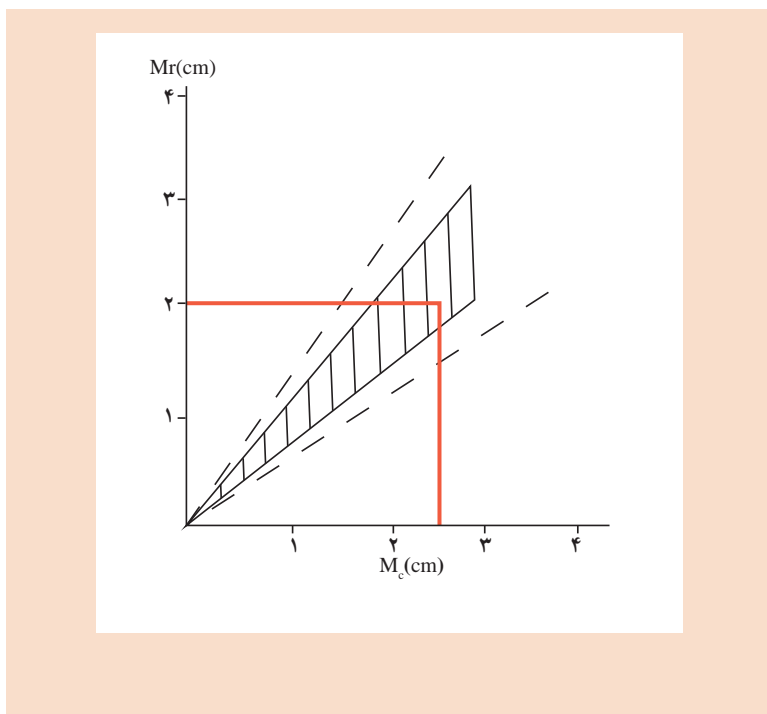
$$M_r = 2 \text{ cm}, \frac{H_r}{D_r} = 1 \Rightarrow H_r = D_r$$

$$M_r = \frac{V_r}{A_r} \Rightarrow M_r = \frac{\frac{D_r^2 \pi}{4} \times H_r}{\frac{2D_r^2 \times \pi}{4} + \pi D_r \times H_r} \Rightarrow$$

$$M_r = \frac{\frac{D_r^2 \pi}{4} \times D_r}{\frac{2D_r^2 \times \pi}{4} + \pi D_r \times D_r} \Rightarrow M_r = \frac{D_r}{6} \Rightarrow D_r = 6M_r$$

$$D_r = 6 \times 2 = 12 \text{ cm} \Rightarrow H_r = 12 \text{ cm}, M_n = 0.6 \times 2 \Rightarrow$$

$$M_n = 1.2 \text{ cm}, a = 4M_n \Rightarrow a = 4 \times 1.2 = 4.8 \text{ cm}$$



تولید چدن با گرافیت کروی و چدن‌های ضدسایش

هنرآموز پس از این قسمت را با پرسش از هنرجویان آغاز کند:

۱ شکل گرافیت کروی چه خاصیتی به چدن می‌دهد؟

۲ چه عاملی باعث می‌شود شکل گرافیت کروی شود؟

۳ کاربرد این نوع چدن بیشتر در چه قطعاتی است؟

هنرآموز پس از طرح این مسائل و پرسش‌های مشابه و دریافت جواب‌ها، به پرسش‌های داده شده توضیح کامل بدهد. سپس از نقش چدن نشکن در صنعت و همچنین، تأثیر اندازه گرافیت‌ها و نحوه توزیع آنها در ویژگی‌های مکانیکی سخن به میان بیاورد. مهم‌ترین قسمت این بخش روش‌های داکتیل‌سازی است که باید به طور کامل درباره آن توضیح ارائه شود و نکات ضروری و همچنین ایمنی در هنگام این عمل به هنرجویان گوشزد کند. در انتها، هنرجویان فعالیت داکتیل‌سازی را در کارگاه انجام دهند.

از چدن داکتیل به عنوان یکی از بزرگ‌ترین دستاوردهای محققان متالورژی در قرن بیستم نام می‌برند. این چدن که به نام چدن نشکن نیز معروف است ترکیبی مشابه با چدن خاکستری دارد اما در هنگام انجماد، گرافیت‌ها به شکل کروی تجمع می‌کنند. این کروی بودن گرافیت‌ها، تمرکز تنش در قطعه را به حداقل می‌رساند و به همین علت چدن‌های داکتیل در مقایسه با چدن‌های خاکستری دارای استحکام و چقرمگی بالاتری می‌باشند.

ترکیب شیمیایی چدن نشکن در مقایسه با چدن خاکستری

گوگرد	فسفر	منگنز	سیلیسیم	کربن	
۰/۰۵-۱	۰/۰۲-۰/۲۵	۰/۲۵-۱	۱-۳	۲/۵-۴	چدن خاکستری
۰/۱Max	۰/۰۳Max	۰/۱-۱	۱/۸-۲/۸	۳-۴	چدن نشکن

این خصوصیات خوب باعث استفاده گسترده این نوع چدن در صنعت حمل‌ونقل شده است. نمونه بارز آن استفاده آنها در ساخت میل‌لنگ‌ها به دلیل ماشین‌کاری خوب، استحکام خستگی و مدول کشسان بالاتر است. در سال ۱۹۴۸ میلادی شرکت بین‌المللی نیکل ((International Nickel Company (INCO) و انجمن تحقیقات چدن BCIRA به‌طور مستقل پی بردند که با کاهش گوگرد و فسفر و اضافه کردن یک عنصر کلیدی شکل گرافیت‌ها در چدن خاکستری از ورقه‌ای به کروی تغییر پیدا می‌کند. این عناصر کلیدی منیزیم و سدیم بودند. باید خاطر نشان کرد منیزیم و سریم تنها عناصری نیستند که نقش کروی‌کننده گرافیت‌ها را بر عهده دارند اما از لحاظ جنبه‌های اقتصادی از منیزیم استفاده بیشتری می‌شود.

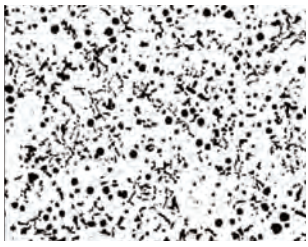
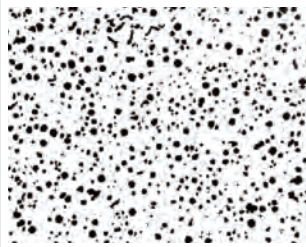
منیزیم با حذف عناصری همچون گوگرد و اکسیژن شکل گرافیت‌ها را به سمت کروی شدن سوق می‌دهد. برای تولید چدن نشکن هرچه مقادیر عناصری مانند گوگرد در چدن زیاد باشد مصرف منیزیم نیز بیشتر می‌شود و از طرفی به ازای اضافه کردن مقادیر یکسان از منیزیم، هر چه مقادیر گوگرد بیشتر باشد درصد کروی شدن گرافیت‌ها نیز کمتر می‌باشد.

عناصر بازدارنده و ترغیب کننده گرافیت کروی

بازدارنده گرافیت کروی	ترغیب کننده گرافیت کروی
گوگرد	منیزیم
اکسیژن	سرب
هیدروژن	لانتانیم
ازت	کلسیم
سرب	پتاسیم
تیتانیم	برلیوم
آرسنیک	تیریم

به علت فشار بالای بخار منیزیم و چگالی پایین این فلز، کمتر از منیزیم خالص برای افزودن به مذاب استفاده می‌کنند. از میان آلیاژهای منیزیم‌دار برای داکتیل‌سازی در ایران، فروسیلیسیم منیزیم (MgFeSi) با حدود ۷-۵ درصد منیزیم (فروسیلیکومنیزیم) و نیکل منیزیم از مقبولیت بیشتری برخوردار است.

تأثیر مقدار گوگرد اولیه در شارژ بر عملکرد فرو سیلیکو منیزیم

گوگرد اولیه در شارژ: ۰/۰۱۸٪	گوگرد اولیه در شارژ: ۰/۰۱٪
مقدار اضافه فرو سیلیکو منیزیم: ۱٪	مقدار اضافه فرو سیلیکو منیزیم: ۱٪
گوگرد نهایی در محصول: ۰/۰۱۶٪	گوگرد نهایی در محصول: ۰/۰۰۸٪
کروی شدن گرافیت‌ها: ۵۰٪	کروی شدن گرافیت‌ها: ۸۰٪
	

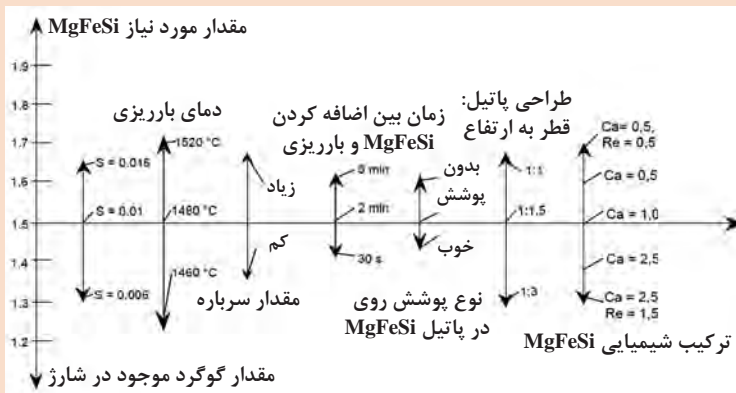
افزودن منیزیم (تلفیح) به مذاب چدن به روش‌های مختلف انجام می‌گیرد که متداول‌ترین آنها عبارت‌اند از:

■ روش ساندویچی

■ روش فرو بردن

■ روش افزودن منیزیم در راهگاه

هر چند بازیابی هر یک از این روش‌ها با یکدیگر فرق می‌کنند اما فاکتورهای زیادی در میزان اضافه کردن منیزیم دخالت دارند. فاکتورهایی نظیر مقدار گوگرد که قبلاً ذکر شد، دمای بارریزی، فاصله بین اضافه کردن منیزیم و زمان بارریزی.



تأثیر فاکتورهای مختلف بر میزان فروسیلیکو منیزیم جهت داکتیل سازی

برای تولید چدن نشکن از طریق روش ساندویچی با توجه به نوع کوره و ابعاد بوته، مواد شارژ مناسب انتخاب کنید. چنانچه از کوره زمینی استفاده می‌کنید بسیار مهم است نوع چدنی که به عنوان شارژ استفاده می‌شود همانند چدن سورل از نوع کم گوگرد باشد و برای کوره القایی صرف‌نظر از اینکه چدن یا قراضه فولاد به عنوان شارژ به کار گرفته می‌شود شرایط کم بودن گوگرد نیز برقرار باشد. قابل ذکر است اگر از مواد کربن ده همانند گرانول و فروسیلیسیم برای ترکیب شمش استفاده می‌کنید از گرانول در ابتدا و از فروسیلیسیم در آخرین مرحله ذوب به شارژ اضافه کنید.

نکته:

۱ در بازار گرانول‌های متفاوتی با درصدهای متفاوتی از گوگرد وجود دارد. دقت شود برای داکتیل سازی از گرانول کم سولفور استفاده شود.

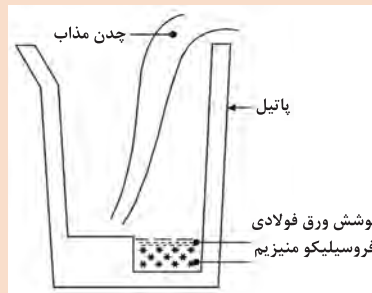
فعالیت عملی



۲ سیلیسیم از دو راه وارد مذاب می‌شود ۱- فروسیلیسیم ۲- فروسیلیکومنیزیم. بنابراین برای به دست آوردن چدنی با ترکیب سیلیسیم مشخص در مقدار فروسیلیسیم دقت شود.

مدلی را قالب‌گیری کنید. توجه داشته باشید که به علت فشار مذاب وارد، احتمال بالا آمدن درجه قالب‌روی وجود دارد. پس وزنه‌گذاری مناسب با توجه به نوع مدل و قالب انجام دهید. به عنوان تمرین محاسبه وزنه‌گذاری را با استفاده از فرمول $F_W = 1/5(F_N + F_A - W_K) - F_C$ انجام دهید.

پاتیلی مطابق شکل زیر آماده کنید. نسبت ارتفاع به قطر پاتیل باید بیشتر از ۲ باشد. هر چه این نسبت بیشتر باشد بازبایی منیزیم نیز بیشتر می‌شود. مقدار ۲ درصد وزنی مذاب، فروسیلیسیم منیزیم وزن کرده و پس از خرد کردن در ابعاد حدود ۱ سانتی‌متری در مکان نشان داده شده در انتهای پاتیل قرار دهید. ورق فولادی به ضخامت حدود ۳ میلی‌متر را به عنوان پوشش در ته پاتیل روی فروسیلیکومنیزیم قرار دهید. اطراف ورق فولادی به وسیله ماسه چراغی پوشانده شود تا در هنگام بارریزی از مکان خود جابه‌جا نشود.



پاتیل را به وسیله مشعل پیش گرم کنید. هنگامی که مذاب آماده و به دمایی حدود ۱۵۰۰ درجه سلسیوس رسید کوره را خاموش کنید. عملیات کیفی مذاب را با فرو تیوپ و سلاکس انجام دهید. پس از آن مذاب را به درون پاتیل تخلیه کنید.

نکته ایمنی: در هنگام اضافه کردن

منیزیم به مذاب در اثر واکنش سریع با مذاب و تولید بخار امکان پاشیدن مذاب به اطراف وجود دارد. لذا در صورت رعایت نکردن نکات ایمنی ممکن است آسیب جدی به فرد برساند.

محتوای پاتیل را به درون قالب، ریخته‌گری کنید. پس از آنکه قطعه‌ها درون قالب به آهستگی سرد شدند، قالب را تخلیه نمایید. نمونه چدن نشکن به دست آمده را متالوگرافی کنید تا ساختار آن را مشاهده و نتیجه را گزارش دهید.

قطعات زیادی از جمله بدنه آسیاب‌ها و سنگ شکن‌ها، گلوله‌های خردکننده، پره‌ها و پوسته‌های پمپ که تحت سایش شدید ناشی از استخراج و فرآوری مواد معدنی سخت می‌باشند. بهترین گزینه برای این منظور انتخاب چدن‌های ضدسایش برای ساخت آنها می‌باشد. زیرا اولاً چدن‌ها به دلیل داشتن کربن بالا و ثانیاً به دلیل تأثیر شدید عناصر آلیاژی بر نوع زمینه و تشکیل کاربیدهای سخت که در اثر ترکیب کربن با عناصر آلیاژی در زمینه شکل می‌گیرند می‌توانند مقاومت سایشی مطلوب را به وجود آورند. لازم به ذکر است که چدن‌های سفید معمولی با وجود اینکه سخت هستند ولی به واسطه دارا بودن دو عیب در اکثر موارد نمی‌توانند مناسب باشند. زیرا نوع زمینه به دلیل دارا بودن سمیتیت پیوسته از مقاومت به ضربه پایینی برخوردار است و به علاوه سختی سمیتیت در مقایسه با فاز مارتنزیت که در زمینه‌های چدن‌های آلیاژی ضدسایش به وجود می‌آید کمتر بوده و نمی‌تواند جوابگو باشد. مهم‌ترین عنصری که به عنوان آلیاژ در این چدن‌ها کاربرد دارد کرم است. کرم به دلیل به وجود آوردن کاربیدهای ریز و سخت که به صورت پراکنده در زمینه مارتنزیتی شکل می‌گیرند در مجموع مناسب‌ترین حالت مقاومت در برابر سایش را به وجود می‌آورد. لازم به ذکر است میزان کرم در این چدن‌ها بین ۱۱ تا ۳۰ درصد می‌تواند متغیر باشد. چنانچه درصد کرم پایین‌تر از این مقدار باشد افت شدیدی در میزان مقاومت به ضربه به وجود می‌آید.

- ۱) فروکرم موجود در بازار معمولاً دارای عیار ۶۰ الی ۶۷ درصد کرم هستند بنابراین در هنگام خریداری باید عیار آن از فروشنده درخواست گردد.
- ۲) فروکرم‌های موجود در بازار به دو گروه پرکربن با کربن حدود ۷ درصد و کم کربن با کربن حدود ماکزیمم ۰/۱ درصد کربن تقسیم می‌گردند برای استفاده از آنها مخصوصاً در مورد چدن‌ها با میزان کرم بالا می‌بایست دقت کرد که کربن بیش از حد بالا نرود و بعضی مواقع نیاز می‌باشد مخلوطی از فرو کرم پرکربن با کم کربن به مذاب اضافه گردد.
- ۳) همان‌طور که قبلاً توضیح داده شد سیلیسیم نیز باید درصد پایینی داشته باشد بعضی اوقات سیلیسیم اضافی می‌تواند توسط فروکرم افزودنی به مذاب در صورت عدم آشنایی به میزان سیلیسیم وارد گردد از این بابت باید کنترل شود معمولاً میزان سیلیسیم فروکرم پرکربن حدود ۲ درصد و کم کربن حدود ۱ درصد است.

۴ باید دقت کرد تا اکی والان (C_E) در محدوده نقطه یوتکتیک قرار گیرد به طوری که بالاتر یا خیلی پایین تر این حد نباشد میزان آن توسط رابطه زیر مشخص می گردد:

$$C_E = \%C + \frac{\%P + \%Si}{3}$$

۵ برای قالب گیری تا جایی که ممکن است از سیستم راهگامی چندگانه (چند کانال فرعی) به منظور توزیع حرارت در هنگام ورود مذاب به قالب استفاده شود و در مورد تغذیه گذاری معمولاً نکته خاصی وجود ندارد.

۶ از آنجایی که این چدن ها تقریباً غیرقابل براده برداری می باشند بنابراین اگر چنانچه در محلی نیاز به سوراخ کاری و یا رزوه کاری می باشد در این محل ها و درون قالب قطعاتی فلزی معمولاً از جنس فولاد ضدزنگ قرار داده تا در هنگام مذاب ریزی با مذاب یکپارچه گردند.

۷ چون مذاب درون کوره با لایه ای غلیظ تر از قسمت های داخلی و پایین تر پوشانده شده نباید تصور کرد که مذاب از سیالیت کافی برخوردار نیست. و همواره مذاب با درصد کرم بالا از سیالیت خوبی برخوردار است بنابراین محدوده دمای مذاب ریزی در مورد قطعات با ضخامت مختلف بین ۱۳۵۰ الی ۱۴۳۰ درجه سلسیوس است.

۸ پس از ریختن مذاب درون قالب و پایان عمل انجماد باید زمان کافی به منظور سرد شدن به قطعه داده شود و هیچ زمانی قطعه به صورت داغ از قالب خارج نشود. زیرا ترک خوردگی به وجود می آید. قطعاتی که از ضخامت های غیر یکنواخت تشکیل شده اند بایستی پس از سرد شدن کامل تخلیه گردند. پس از ساخت قطعات در مورد اکثر آنها و به منظور ضربه پذیری بهتر و سختی مطلوب تر عملیات حرارتی بر روی آنها انجام می شود در این مورد لازم است که پس از قرار دادن قطعات درون کوره، افزایش دما به کندی صورت گیرد و در مورد عمل سخت کاری محدوده ۹۵۰ الی ۱۰۲۰ درجه سلسیوس مناسب است. همچنین از هوا به منظور خنک کاری استفاده گردد که می تواند به صورت معمولی و یا هوای فشرده و با سرعت زیاد باشد. برخی مواقع و برای اینکه عملیات براده برداری را انجام دهیم از عمل آنیلینگ استفاده می شود به همین منظور قطعات را در کوره قرار داده تا دمای حدود ۱۰۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده و به مدت طولانی بین ۱۰ الی

۱۸ ساعت در این دما نگهداری کرده و بسیار آهسته سرد می‌کنند. نوع دیگری از چدن‌های ضد سایش چدن‌های نای‌هارد (نیکل سخت) می‌باشند که کاربرد بسیار زیادی دارند و اکثراً کاربرد آنها مشابه چدن‌های پرکرم می‌باشد. براساس میزان کرم و نیکل به شاخه‌های مختلفی تقسیم‌بندی شده و علاوه بر کرم و نیکل همواره حاوی مقادیر منگنز نیز هستند. حداکثر کرم در آنها حدود ۹ درصد و مقدار نیکل ۵ درصد است. برای بالا بردن میزان سختی در آنها از عملیات حرارتی خاص استفاده می‌گردد به عنوان مثال برای چدنی با ترکیب ۸ درصد کرم و ۵ درصد نیکل چنانچه به مدت ۷ ساعت در دمای ۸۰۰ درجهٔ سلسیوس نگهداری و سپس در هوا خنک شود سختی از حدود ۴۰ راکول سی به ۶۳ راکول سی می‌رسد. عنصر آلیاژی مولیبدن تأثیر بسیار زیادی در سختی‌پذیری دارد و میزان آن می‌تواند حدود ۱/۵ درصد باشد.