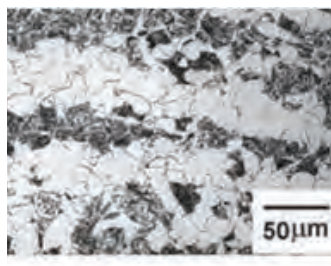
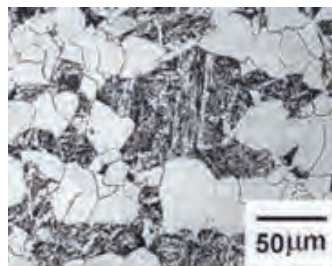




پودمان چهارم

عملیات حرارتی آنیل و نرماله



واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی آنیل

عملیات حرارت آنیل عموماً برای کاهش سختی فلزات و آلیاژها انجام می‌گیرد و در نتیجه آن خواصی مانند قابلیت ماشین‌کاری، خواص الکتریکی، قابلیت کار سرد و پایداری ابعادی و ساختار آلیاژ تغییر قابل توجهی می‌کند. عملیات آنیل باعث حذف تنش‌های داخلی شده و ساختمان داخلی قطعه را تغییر می‌دهد. همچنین این امر باعث بهبود قابلیت ماشین‌کاری قطعات می‌گردد.

استاندارد عملکرد کار

انجام عملیات حرارتی آنیل بر روی انواع فولادها و چدن‌ها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

پیش‌نیاز

آشنایی با انواع فولادها و چدن‌ها، دیاگرام آهن - کربن، متالوگرافی



برای افزایش قابلیت ماشین کاری قطعات چه راهکاری پیشنهاد می‌کنید؟

اهداف عملیات آنیل	شکل	نوع محصولات
افزایش قابلیت شکل‌پذیری برای مراحل بعدی کار سرد		ورق‌های فولادی
کاهش تنش‌های داخلی و جلوگیری از انهدام و ترک خوردن منطقه جوش		قطعات جوشکاری شده
افزایش قابلیت ماشین‌کاری و تراشکاری		پروانه پمپ آب (چدنی)
گرافیت‌زایی و تبدیل چدن سفید به چدن مالیل		زانویی (چدن مالیل)
قابلیت انعطاف و شکل‌پذیری		مفتول فولادی

هنگامی که اپراتور دستگاه تراش یا دریل از نوع براده‌برداری راضی نیست و اعلام می‌کند که براده برداری بسیار مشکل و سایش ابزار بسیار بالا است یکی از راه حل‌ها، انجام عملیات حرارتی آنیل روی قطعات است. با انجام این فرایند قطعات نرم شده و براده‌برداری بسیار آسان می‌شود و یا هنگامی که می‌خواهیم قطعات فولادی را تحت شکل‌دهی نورد و خم قرار دهیم جهت بهبود شرایط شکل‌دهی نیازمند فرایند آنیل هستیم. در واقع به هر گونه عملیات حرارتی که باعث تشکیل ساختارهای تعادلی با سختی کم و انعطاف‌پذیری زیاد شود آنیل گفته می‌شود.

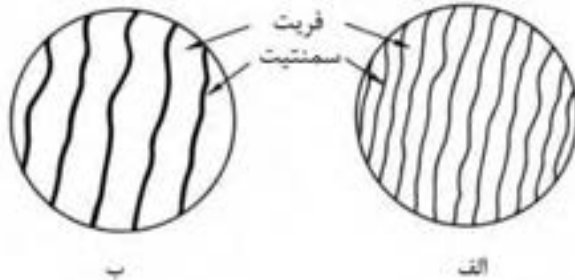
آنیل فولادها

عبارت است از حرارت دادن فولاد در یک درجه حرارت مناسب و سپس سرد کردن کنترل شده که معمولاً آهسته و در کوره انجام می‌شود. هدف از انجام این پروسه در فولادها کاهش سختی، بهبود قابلیت ماشین‌کاری، حذف تنش‌های داخلی، سهولت کار سرد، بهبود چقرمگی، افزایش پایداری ابعادی، بازگشت فولاد به حالت قبل از کار سرد و تغییر خواص الکتریکی و مغناطیسی فولاد است. عملیات آنیل فولادها به یک سری فرایندهای مشخص و دقیق براساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

که هر کدام از فرایندها توضیح داده خواهد شد.

- آنیل کامل
- آنیل هم دما (ایزوترم)
- آنیل تنش زدایی
- آنیل کروی سازی

آنیل کامل: چطور می توان با عملیات حرارتی، ریز ساختار شکل الف (پرلیت ریز) را به ریز ساختار شکل ب (پرلیت خشن) تغییر داد.



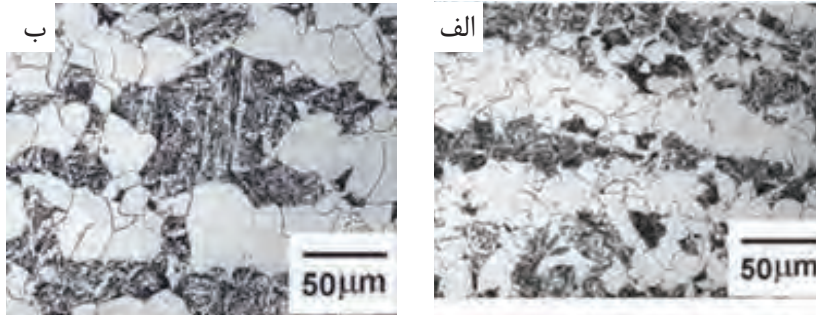
آنیل کامل عبارت است از حرارت دادن فولاد در دامنه حرارتی آستنیت، نگهداری به مدت زمان لازم (یک ساعت به ازای هر اینچ ضخامت) در این دما و سپس سرد کردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می شود تا آستنیت به طور کامل تجزیه شود. دامنه حرارتی آستنیت کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن است به این صورت که برای فولادهای هیپو یوتکتوئید، حدود 50°C بالای خط A_3 و برای فولادهای هایپر یوتکتوئید حدود 50°C بالای خط A_1 است. در شکل (۱) محدوده دمایی آنیل کامل برای فولادها نشان داده شده است. در نظر داشته باشید که یک منطقه محدوده از دیگرام آهن - کربن آورده شده است که در این شکل درصد کربن حدود ۲ درصد و دما تا دمای 1000 درجه سلسیوس است که منطقه خاکستری رنگ مربوط به منطقه آنیل کامل است.



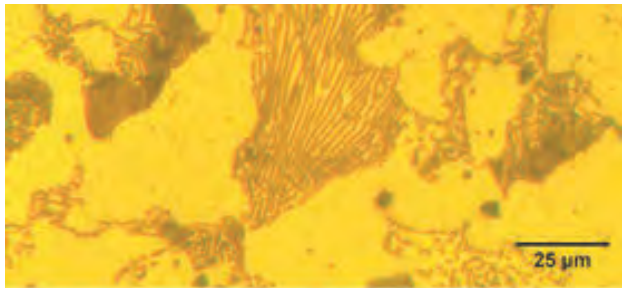
شکل ۱- محدوده دمایی آنیل کامل در فولادها (منطقه خاکستری رنگ)

ولی با توجه به اینکه عناصر آلیاژی روی دمای آنیل کامل تأثیر می گذارند بهتر است برای انتخاب دمای آنیل از جدول های سازنده فولاد با ترکیب شیمیایی معین استفاده شود. هدف از انجام این فرایند بهبود قابلیت ماشین کاری و مقاومت به ضربه فولاد با ایجاد یک زمینه یکنواخت فریتی به همراه پرلیت ضخیم است. در واقع در فرایند آنیل کامل پرلیت ریز به پرلیت خشن یا درشت تغییر پیدا می کند و میزان فریت افزایش می یابد. در شکل (۲) تصاویری از ریزساختار فولاد کربن متوسط (1.04%) قبل و بعد از عملیات آنیل کامل نشان داده شده است.

آنیل کامل عموماً بر روی قطعات با ابعاد بزرگ و آهنگری شده صورت می‌گیرد. با انجام این فرایند به حداکثر نرمی و همچنین کاهش سختی و استحکام می‌رسیم.



شکل ۲- تصویر (الف) ریزساختار فولاد کربن متوسط (۱۰۴۰) قبل از آنیل کردن، (ب) بعد از آنیل کردن



شکل ۳- تصویری از ریزساختار فولاد تحت عملیات حرارتی آنیل کامل

شکل (۳) تصویری از ریزساختار فولاد Ck۴۵ که تحت عملیات حرارتی آنیل کامل قرار گرفته است را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به اینکه سرعت سرد شدن نمونه بسیار آهسته بوده، پرلیت درشت و خشن به‌دست آمده است.

آنیل کامل

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش
نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

- ابتدا هنجرویان در گروه‌های پنج نفری تقسیم شده، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده نمایید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری نمایید. یک نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.
- سختی نمونه شاهد را با استفاده از سختی‌سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول صفحه بعد رسم کنید.
- نکات ایمنی: قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.
 - هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.
 - از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.
 - حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.



- ۲ کوره را روشن کرده و در دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.
- ۳ پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر نمونه‌ها را در داخل کوره قرار داده و یک ساعت در این دما حرارت دهید.
- ۴ کوره را خاموش کنید و اجازه دهید نمونه‌ها داخل کوره به آرامی سرد شوند.
- ۵ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کرده و به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در کوره
سختی		
شکل ریز ساختار		

- ۱ چه تفاوتی بین سختی نمونه شاهد و نمونه عملیات حرارتی شده وجود دارد؟
- ۲ چه تغییری در ریز ساختار حاصل از نمونه‌های عملیات حرارتی شده با نمونه شاهد مشاهده می‌کنید.

پرسش



آنیل هم‌دما (Isothermal): در این فرایند، ابتدا آستنیت‌کردن فولاد در همان دامنه حرارتی مربوط به آنیل کامل انجام می‌شود. سپس فولاد را سریعاً به زیر خط A_1 می‌رسانند تا تجزیه کامل آستنیت اتفاق بیفتد و به مدت زمان لازم (یک ساعت به ازای هر اینچ ضخامت) در این دما نگهداری می‌کنند و سپس فولاد را با سرعت دلخواه سرد می‌کنند. زمان لازم برای آنیل هم‌دما در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است ولی سختی نهایی بیشتر می‌باشد. از طرفی پرلایت حاصل ریزتر می‌باشد. از جمله اهداف کاربرد آنیل هم‌دما در رابطه با فولادهای آلیاژی برای به‌دست آوردن ساختار پرلیتی است.

آشنایی با آنیل هم‌دما

وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی (۲ عدد) ۲ انبر ۳ سختی سنج ۴ نمونه‌های مورد آزمایش
- نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)
- مراحل انجام آزمایش:

ابتدا هنرجویان در گروه‌های پنج نفری تقسیم شده و هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کنید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری کنید. یک

فعالیت
کارگاهی ۲



نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

۱ سختی نمونه شاهد را با استفاده از دستگاه سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کنید.

● **نکات ایمنی:** قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

● حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.

۲ دو کوره را روشن کرده یکی را به دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس و دیگری را به دمای ۷۱۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۳ پس از رسیدن کوره به دمای ۸۵۰ درجه سلسیوس نمونه‌ها را در داخل کوره قرار داده و یک ساعت در این دما حرارت دهید.

۴ سپس کوره را باز کرده و نمونه‌ها را با سرعت به کوره با دمای ۷۱۰ درجه سلسیوس منتقل کنید و به مدت زمان دو ساعت در این دما نگهداری کرده و سپس نمونه‌ها را در هوا سرد کنید.

۵ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کرده به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

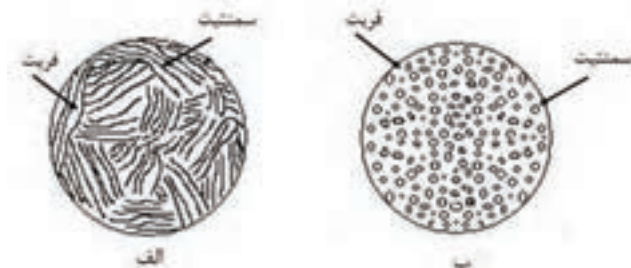
نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در هوا
سختی		
شکل ریز ساختار		

بحث گروهی



- چه تفاوتی بین سختی یک نمونه قبل و بعد از عملیات حرارتی شده وجود دارد؟
- چه تغییری در ریز ساختار و سختی حاصل از آنیل کامل و آنیل هم‌دما مشاهده می‌نمایید.
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

آنیل کروی کردن: به شکل زیر نگاه کنید با چه روشی می‌توان ریز ساختار شکل الف را به شکل ب تبدیل کرد؟

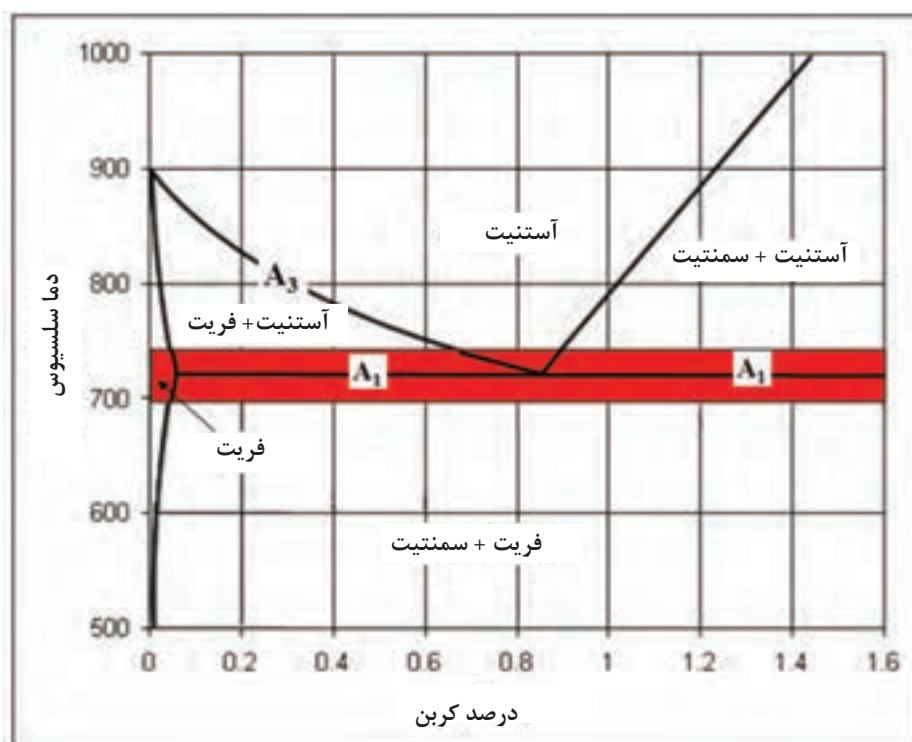


روش‌های متفاوتی برای فرایند کرووی کردن به کار برده شده است که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

الف) حرارت دادن فولاد تا زیر دمای A_1 ، نگه داشتن به مدت زمان کافی (۲۴-۵ ساعت) جهت کرووی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط. (شکل ۴)

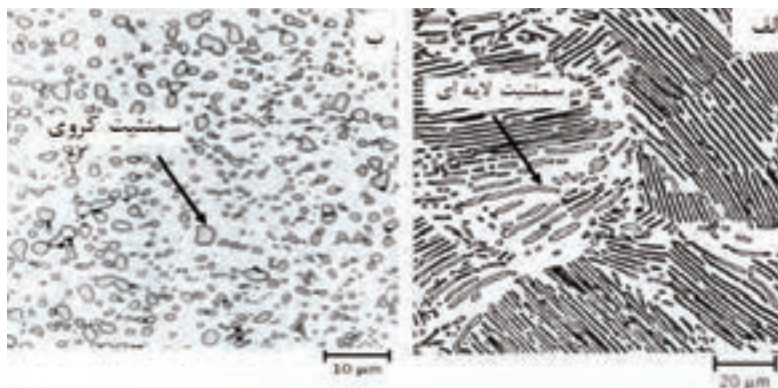
ب) حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فازی بین A_3-A_1 برای فولادهای هیپو یوتکتوئید و یا بین $A_{cm}-A_1$ برای فولادهای هایپریوتکتوئید به منظور آستنیت‌کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای A_1 ، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کرووی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط.

انعطاف‌پذیرترین و نرم‌ترین شرایط در هر فولاد، میکرو ساختاری شامل سمنتیت کرووی توزیع شده به‌طور یکنواخت در زمینه فریتی است. در حقیقت هدف از فرایند کرووی کردن، دستیابی به ساختاری تشکیل شده از سمنتیت کرووی در زمینه فریتی است. به‌طور کلی با انجام فرایند آنیل کرووی کردن، فولاد دارای بیشترین انعطاف و شکل‌پذیری و کمترین سختی و استحکام خواهد بود. جهت کرووی شدن کامل ساختار نیاز به زمان‌های زیادی می‌باشد. هر چه ساختار غیر تعادلی‌تر باشد عملاً فرایند کرووی کردن راحت‌تر خواهد بود. هدف از انجام این عملیات، بهبود قابلیت ماشین‌کاری و شکل‌پذیری سرد در فولادها می‌باشد.



شکل ۴- محدوده عملیات حرارتی آنیل کرووی کردن

شکل (۵) تصاویر ریزساختار فولاد یوکتوئیدی را قبل و بعد از آنیل کرووی نشان می‌دهد که سمنتیت لایه‌ای به سمنتیت کرووی تغییر کرده است.



شکل ۵- ریزساختار فولاد یوکتوئیدی
الف) قبل از آنیل کرووی، ب) بعد از آنیل کرووی سازی در دمای 700°C به مدت زمان ۲۱ ساعت



آنیل کرووی سازی

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش
نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۵ نفری، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کنید. سپس برای سرعت در عملیات کرووی‌سازی دو نمونه فولاد کربن متوسط را مطابق سیکل عملیات سخت کاری در دمای 850°C درجه سلسیوس در آب سریع سرد کنید. یکی از نمونه‌های سخت کاری شده را به‌عنوان شاهد نگه داشته و بقیه آزمایش را به‌صورت زیر انجام دهید:

۱ سختی نمونه شاهد و نمونه سرد شده در آب را توسط سختی‌سنج راکول اندازه گرفته و در جدول صفحه بعد یادداشت کرده و ریز ساختار آنها را در جدول رسم کنید.

● نکات ایمنی: قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

● حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.

۲ کوره را روشن کرده و به دمای 700°C درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۳ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر نمونه‌ها را در کوره قرار دهید.

۴ نمونه‌ها را به مدت زمان ۱۱ ساعت در کوره نگهداری کنید.

۵ پس از نگهداری در مدت زمان ذکر شده نمونه‌ها را با انبر از کوره خارج کرده و در هوا سرد کنید.

۶ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی‌سنج اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کرده و به همراه پاسخ تحلیلی برای پرسش‌ها در گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.



نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در آب	نمونه آنیل شده
سختی			
ریز ساختار			

- چه تفاوتی بین سختی نمونه شاهد سریع سرد شده در آب و نمونه آنیل شده وجود دارد؟
- چه تغییری در ریز ساختار حاصل از نمونه‌های عملیات حرارتی شده با نمونه شاهد مشاهده می‌کنید.
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

در مورد چدن‌ها بررسی‌ها نشان داده‌اند که هرچه ساختار زمینه از فریت به سمت پرلیت می‌رود عمر ابزار کاهش و توان مصرفی برای ماشین کاری افزایش می‌یابد به نحوی که زمینه فریتی بالاترین و زمینه پرلیتی ظریف یا دارای کاربرد آزاد کمترین قابلیت ماشین کاری را دارد. قابلیت ماشین کاری به سختی و استحکام بسیار وابسته است به طوری که هر چه سختی و استحکام بالاتر باشد توانایی ماشین کاری پایین‌تر است. آنیل کردن چدن‌ها عبارت است از حرارت دادن قطعه در دمایی بالاتر از دمای بحرانی A_1 و سپس سرد کردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می‌گیرد. در چدن‌ها فرایند آنیل برای از بین بردن تنش داخلی و به دست آوردن خواص ماشین کاری استفاده می‌گردد. روش‌های مختلفی برای آنیل کردن چدن‌ها وجود دارد.

آنیل کردن در درجه حرارت بالا

(آنیل کامل - گرافیت‌زایی): در این فرایند قطعات را در درجه حرارتی بین ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سلسیوس حرارت داده و سپس به مدت زمان لازم (۱ تا ۳ ساعت به علاوه یک ساعت برای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت) در کوره در آن دما نگه داشته و سپس قطعات به آهستگی

آنیل تنش‌زدایی: برخی از عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات، باعث ایجاد تنش‌های داخلی می‌شود که این تنش‌ها مخرب بوده و بر عملکرد قطعات تأثیر نامطلوب می‌گذارد. تنش‌های داخلی حاصل، ممکن است منجر به تاب برداشتن، ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنش‌هایی به مراتب کمتر از سطح تنش طراحی شده برای آنها شود.

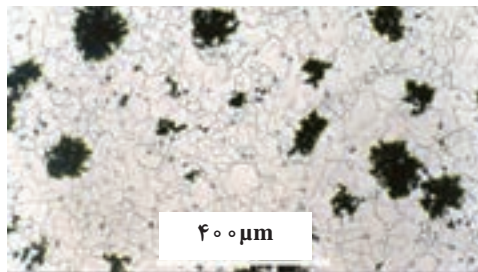
در واقع هدف از انجام تنش‌زدایی حذف یا کاهش تنش‌های باقیمانده از عملیات قبلی است. در این روش قطعات مورد نظر زیر دمای بحرانی A_1 حرارت داده می‌شوند و سپس به مدت زمان لازم (به ازای هر اینچ یک ساعت) در این دما نگهداری می‌شوند و سپس با سرعت خیلی آهسته تا دمای محیط سرد می‌شوند. زمان حرارت دادن بستگی به ابعاد قطعه و درجه حرارت تنش‌گیری دارد که معمولاً با افزایش دمای تنش‌گیری مدت زمان لازم جهت عملیات کاهش می‌یابد.

آنیل چدن

از آنجا که قطعات چدنی عمدتاً به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند پس از انجماد نیاز به فرایندهایی نظیر تمیزکاری سطح، عملیات حرارتی و ماشین کاری دارند

چدن به وجود می‌آید. گرافیت در چدن مالیبیل با عناوین گرافیت برفکی، تمپر شده، گره از هم پاشیده و یا شبه کرووی یاد می‌شود. زمینه چدن مالیبیل می‌تواند فریتی یا پرلیتی باشد. در شکل (۶) تصویری از ریزساختار چدن مالیبیل یا چدن با گرافیت تمپر شده در زمینه فریتی مشاهده می‌شود.

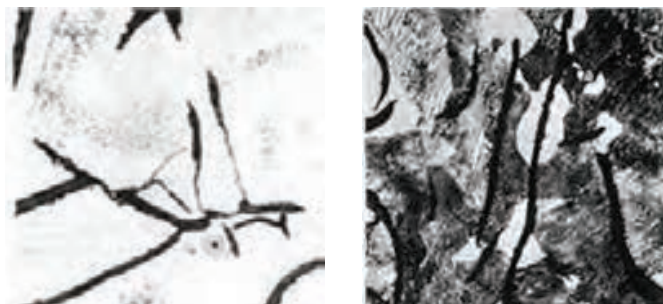
(در کوره) تا دمای محیط سرد می‌شود. هدف از انجام این عملیات تهیه چدن چکش خوار از چدن سفید است. این نوع از چدن به وسیله عملیات حرارتی چدن سفید به دست می‌آید. چدن سفید سخت و شکننده است و تنها چدنی است که گرافیت آزاد ندارد. با اعمال عملیات حرارتی سمنتیت تجزیه شده و کربن به شکل گرافیت برفکی در ساختار



شکل ۶- ریزساختار چدن مالیبیل

آنیل کردن در درجه حرارت متوسط (آنیل کامل): در این روش قطعات چدنی را تا درجه حرارت ۸۲۰-۹۰۰ درجه سلسیوس حرارت می‌دهند و به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مقطع یک ساعت در این دما نگهداری می‌کنند و سپس به آهستگی سرد می‌کنند. این عملیات برای فریتی کردن کامل زمینه در چدن‌های غیر آلیاژی استفاده می‌شود.

آنیل در درجه حرارت پایین (فریتی کردن): در این روش قطعات چدنی را تا درجه حرارت ۷۳۰ تا ۷۹۰ درجه سلسیوس حرارت می‌دهند و سپس به آرامی سرد می‌کنند. در این روش زمینه پرلیتی در اثر نفوذ تدریجی، به مجموعه‌ای از فریت و گرافیت تبدیل می‌شود. شکل ۷ نمونه‌ای از چدن خاکستری غیر آلیاژی را قبل و بعد از عملیات آنیل فریتی نشان می‌دهد.



شکل ۷- ریز ساختار چدن
الف
ب

در شکل ۷ تبدیل ریز ساختار چدن خاکستری غیر آلیاژی با زمینه پرلیتی به زمینه فریتی را قبل و بعد از عملیات آنیل نشان می‌دهد. الف) قبل از عملیات حرارتی با زمینه پرلیتی، ب) بعد از عملیات حرارتی در دمای ۷۶۰ درجه سلسیوس به مدت زمان یک ساعت



آنیل فریتی

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش نمونه مورد آزمایش: چدن خاکستری با زمینه پرلیتی

مراحل انجام آزمایش:

ابتدا هنرجویان در گروه‌های پنج نفری تقسیم شده سپس توسط هر گروه یک نمونه از چدن خاکستری با زمینه پرلیتی و ضخامت ۲۵ میلی‌متر آماده شود. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری کنید. یک نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

۱ سختی نمونه شاهد را توسط سختی سنج برینل اندازه گرفته و در جدول زیر یادداشت کرده و ریز ساختار آنها را در جدول رسم کنید.

● نکات ایمنی: قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده کوره استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

● حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.

۲ کوره را روشن کرده و روی دمای ۷۸۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۳ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر نمونه‌ها را در کوره قرار دهید.

۴ نمونه‌ها را به مدت زمان ۹۰ دقیقه در کوره در این دما نگهداری کنید.

۵ پس از نگهداری در مدت زمان ذکر شده کوره را خاموش کنید تا نمونه‌ها به آرامی در کوره سرد شوند.

۶ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدولی رسم کرده و به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

نمونه	شاهد	آنیل شده
سختی		
شکل ریز ساختار		



● چه تفاوتی بین سختی نمونه شاهد و نمونه آنیل شده وجود دارد؟

● چه تغییری در ریز ساختار حاصل از نمونه عملیات حرارتی شده با نمونه شاهد مشاهده می‌کنید.

● پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

واحد یادگیری ۲: عملیات حرارتی نرماله

نرماله کردن یکی دیگر از انواع روش‌های عملیات حرارتی است که ریز ساختار حاصل از آن همانند فرایند عملیات حرارتی آنیل است. یکی از اهداف مهم نرماله کردن ریز کردن دانه‌های درشتی است که اغلب هنگام کار گرم در درجه حرارت بالا و یا هنگام ریخته‌گری و انجماد به وجود آمده است.

استاندارد عملکرد کار

انجام عملیات حرارتی نرماله بر روی انواع فولادها و چدن‌ها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه.

پیش‌نیاز

آشنایی با انواع فولادها و چدن‌ها، دیاگرام آهن - کربن، متالوگرافی

نرماله

نرماله کردن یکی دیگر از انواع روش‌های عملیات حرارتی است که با این فرایند می‌توان تمام تغییراتی که در نتیجه عملیات قبلی بر روی فولاد در ساختار دانه‌ای و در خواص معین ظاهر گشته را برطرف کرد. همچنین این عملیات برای انجام عملیات حرارتی بعدی است. به منظور اهداف زیر در فولادها فرایند نرماله انجام می‌گیرد.

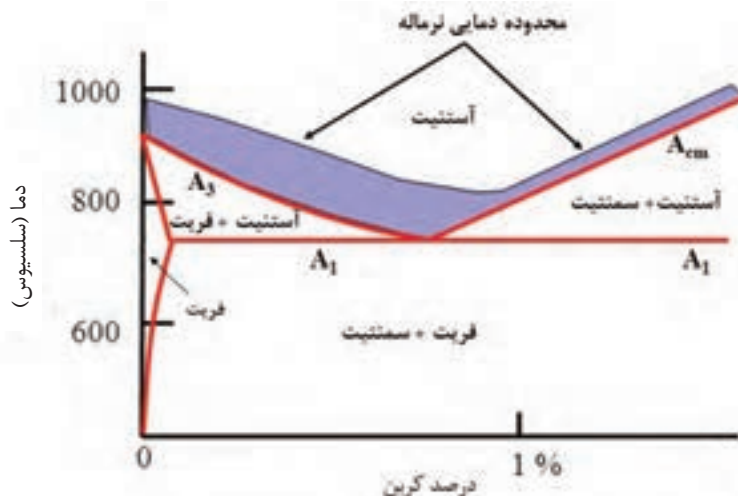
- ۱ تولید فولادی با استحکام و سختی بالاتر نسبت به فرایند آنیل؛
- ۲ بهبود قابلیت ماشین کاری؛
- ۳ ریز کردن دانه‌ها؛
- ۴ بهبود میزان انعطاف پذیری؛
- ۵ یکنواخت کردن ریز ساختار؛
- ۶ عملیات حرارتی اولیه برای ایجاد ساختار دانه ریز برای عملیات سخت کاری.

مراحل عملیات حرارتی نرماله

برای انجام عملیات حرارتی نرماله مراحل زیر طی می‌شود:

- ۱ مشخص کردن درصد کربن فولاد و محاسبه دمای آستنیت‌دهی فولاد براساس نمودار یا جدول‌های استاندارد؛
- ۲ محاسبه زمان نگهداری قطعه در کوره؛
- ۳ سرد کردن در هوا؛

مراحل آستنیت‌دهی در فرایند نرماله برای فولادهای هیپوپوتکتوئید در منطقه دمایی حدود 100°C بالای خط A_3 و برای فولادهای هیپر یوتکتوئید حدود 50°C بالای خط A_{cm} می‌باشد که در شکل (۸) محدوده دمایی نرماله کردن در فولادها بر روی قسمتی از منحنی آهن - کربن نشان داده شده است. و همچنین از جدول‌های استاندارد نیز برای محاسبه دمای آستنیت‌دهی استفاده می‌شود. جدول ۱ دمای آستنیت‌دهی فولادهای کربنی برای فرایند نرماله را نشان می‌دهد.



شکل ۸- محدوده نرماله کردن فولادها بر روی منحنی آهن - کربن که با رنگ آبی مشخص شده است.

جدول ۱- دمای آستنیت‌کردن فولادهای کربنی

دما		نوع فولاد کربنی
فاز نهایت	سلسیوس	
۱۰۱۵	۹۱۵	۱۰۱۵
۱۶۵۰	۹۰۰	۱۰۲۵
۱۵۸۰	۸۶۰	۱۰۴۰
۱۵۲۵	۸۳۰	۱۰۶۰
۱۵۲۵	۸۳۰	۱۰۸۰



شکل ۹- خارج کردن قطعات از کوره و سرد شدن در هوای ساکن

پس از تعیین دمای آستنیت‌کردن، قطعات داخل کوره قرار داده شده و به مدت زمان لازم جهت آستنیت‌کردن در کوره نگهداری می‌شوند که زمان نگهداری در کوره برای فرایند نرماله یک ساعت به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت می‌باشد و همچنین می‌توان به صورت تقریبی از رابطه زیر زمان نگهداری در کوره را به دست آورد.

$$t = 60 + D$$

که t زمان نگهداری بر حسب دقیقه است و D بیشترین قطر یا ضخامت قطعه است.

پس از نگهداری به مدت زمان تعیین شده قطعات از کوره خارج شده و مطابق شکل ۹ در هوای آرام تا دمای محیط خنک می‌شوند.

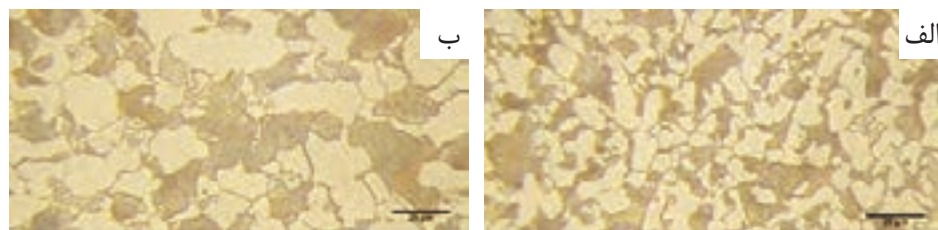
و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار است. ۴- با توجه به اینکه در نرماله کردن، قطعات در هوا سرد می‌شوند ریز ساختارهای حاصل نسبت به آنیل ریزتر هستند بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرایند آنیل کردن، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف‌پذیری تا حدودی کاهش می‌یابد. در جدول صفحه بعد سختی فولادهای کربنی را در سه حالت نورد گرم، آنیل و نرماله نشان می‌دهد. همان‌طور که ذکر شد سختی در فرایند آنیل کمتر از فرایند نرماله است.

چند تفاوت عمده بین نرماله کردن و آنیل کردن وجود دارد ۱- در نرماله کردن دمای آستنیت‌کردن برای فولادهای هیپوئوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است. در حالی که برای فولادهای هیپر یوتکتوئید از گستره دمایی حدود ۵۰ درجه سلسیوس بالای A_{cm} استفاده شده است. ۲- در عملیات نرماله کردن قطعات پس از آستنیت شدن در هوا سرد می‌شوند. ۳- از آنجایی که در نرماله کردن فولادهای هیپو یوتکتوئید گستره دمایی آستنیت‌کردن بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل است، ساختار آستنیت

جدول ۲- سختی فولادهای کربنی در سه فرایند، الف) نورد گرم، ب) نرمالیزه، ج) آنیل

نوع فولاد	نوع عملیات	سختی (برینل)
۱۰۲۰	نورد شده	۱۴۳
	نرمالیزه در دمای 870°C	۱۳۱
	آنیل در دمای 870°C	۱۱۱
۱۰۳۰	نورد شده	۱۷۹
	نرمالیزه در دمای 925°C	۱۴۹
	آنیل در دمای 845°C	۱۲۶
۱۰۵۰	نورد شده	۲۲۹
	نرمالیزه در دمای 900°C	۲۱۷
	آنیل در دمای 790°C	۱۸۷

شکل (۱۰) تصاویری از ریز ساختار فولاد میان کربن CK۴۵ بعد از عملیات حرارتی آنیل و نرماله را نشان می‌دهد که دو نمونه در دمای 850°C درجه سلسیوس و به مدت ۱ ساعت نگهداری شده و سپس یک نمونه در کوره و نمونه دیگر در هوا خنک گردیده است. نمونه آنیل که در کوره سرد شده دارای دانه‌های درشت تر و پرلیت خشن تری است.



شکل ۱۰- تصاویری از فولاد CK۴۵ تحت عملیات (الف) نرماله (ب) آنیل



نرماله کردن فولاد

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی سنج ۴ نمونه‌های مورد آزمایش
نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

پس از تشکیل گروه‌های ۵ نفری با راهنمایی هنرآموز، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کنید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده‌زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری کنید یک نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

۱ سختی نمونه شاهد را با استفاده از سختی سنج اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کنید.

● نکات ایمنی: قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

● حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.

۲ کوره را روشن کرده به دمای ۹۰۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید.

۳ پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر، نمونه‌ها را در داخل کوره قرار داده و یک ساعت در این دما حرارت دهید.

۴ نمونه‌ها را از کوره خارج کرده و اجازه دهید نمونه‌ها به آرامی در هوا سرد شوند.

۵ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریزساختار آن را در جدولی رسم کرده و به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.



- چه تفاوتی بین سختی و ریز ساختار نمونه شاهد و نمونه عملیات حرارتی شده وجود دارد؟
- چه تغییری در ریز ساختار حاصل از نمونه عملیات حرارتی نرماله با آنیل شده مشاهده می‌کنید؟
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

ارزشیابی پایانی آنیل

نقشه کار: انجام عملیات حرارتی آنیل

شاخص عملکرد: ۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات داخل کوره ۳- زمان نگهداری قطعات داخل کوره ۴- خارج کردن قطعات از کوره در دمای مناسب

شرایط انجام کار:

۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۲۳ دقیقه

مواد مصرفی:

ابزار و تجهیزات:

کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سید فلزی نسوز - گاری - جرثقیل

نمونه و نقشه کار:

- ۱- راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی آنیل فلز و آلیاژ موردنظر طبق دستورالعمل
- ۲- وارد کردن قطعات داخلی کوره مطابق برنامه زمان بندی سیکل عملیات حرارتی آنیل و چیدمان صحیح قطعات داخل کوره
- ۳- نگهداری قطعات در کوره جهت عملیات آنیل در زمان مشخص شده سیکل عملیات حرارتی طبق دستورالعمل
- ۴- خارج کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی آنیل در دمای مناسب طبق دستورالعمل

معیار شایستگی:

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	وارد کردن قطعات به داخل کوره	۱	
۳	کنترل کردن دمای کوره	۲	
۴	نگهداری قطعات در کوره خاموش تا دمای مناسب	۲	
۵	خارج کردن قطعات از کوره	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		
	۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲- مسئولیت پذیری ۳- مدیریت مواد و تجهیزات ۴- استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵- تمیز کردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.

ارزشیابی پایانی نرماله

نقشه کار: انجام عملیات حرارتی نرماله
شاخص عملکرد: ۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات داخل کوره ۳- زمان نگهداری قطعات داخل کوره ۴- خارج کردن قطعات از کوره در دمای مناسب

شرایط انجام کار:

۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۱۰ دقیقه

مواد مصرفی:

ابزار و تجهیزات: کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سبد فلزی نسوز - گاری - جرثقیل
نمونه و نقشه کار:

- ۱- راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی نرماله فلز و آلیاژ مورد نظر طبق دستورالعمل
- ۲- وارد کردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان بندی سیکل عملیات حرارتی نرماله و چیدمان صحیح قطعات در داخل کوره
- ۳- نگهداری قطعات در کوره جهت عملیات نرماله کردن در زمان مشخص شده سیکل حرارتی طبق دستورالعمل
- ۴- خارج کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی نرماله کردن در دمای مناسب طبق دستورالعمل

معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	وارد کردن قطعات به داخل کوره	۱	
۳	کنترل کردن دمای کوره	۲	
۴	خارج کردن قطعات از کوره	۱	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:	۲	
	۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲- مسئولیت پذیری ۳- مدیریت مواد و تجهیزات ۴- استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵- تمیز کردن وسایل و محیط کار		
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.