

## فصل ۴

عملیات حرارتی آنیل و نرماله

## جلسه بیست و دوم: آنیل فولادها - آنیل کامل - آنیل هم‌دما

### واحد یادگیری: عملیات حرارتی آنیل

#### مقدمه:

جهت تدریس این بخش ابتدا هنرجویان را به کلاس تئوری برده و توضیحاتی در رابطه با انواع روش‌های عملیات حرارتی به آنها بدهید. سپس از آنها بپرسید که آیا می‌توان انواع روش‌های عملیات حرارتی را تقسیم‌بندی کرد؟ اگر می‌توان تقسیم‌بندی کرد به نظر شما چگونه می‌توان تقسیم‌بندی کرد؟

پس از شنیدن پاسخ هنرجویان خودتان به‌طور کامل به سؤال مطرح شده پاسخ داده و توضیحات لازم را بدهید.

سپس در رابطه با عملیات حرارتی آنیل، انواع آن، دلایل انجام آن، وسایل و تجهیزات مورد نیاز برای انجام این عملیات توضیحات لازم و کافی را داده و از هنرجویان بخواهید با مراجعه به کتاب درسی چند نمونه از قطعاتی که روی آنها عملیات آنیل انجام می‌شود را به شما معرفی کنند.

#### دانش افزایی

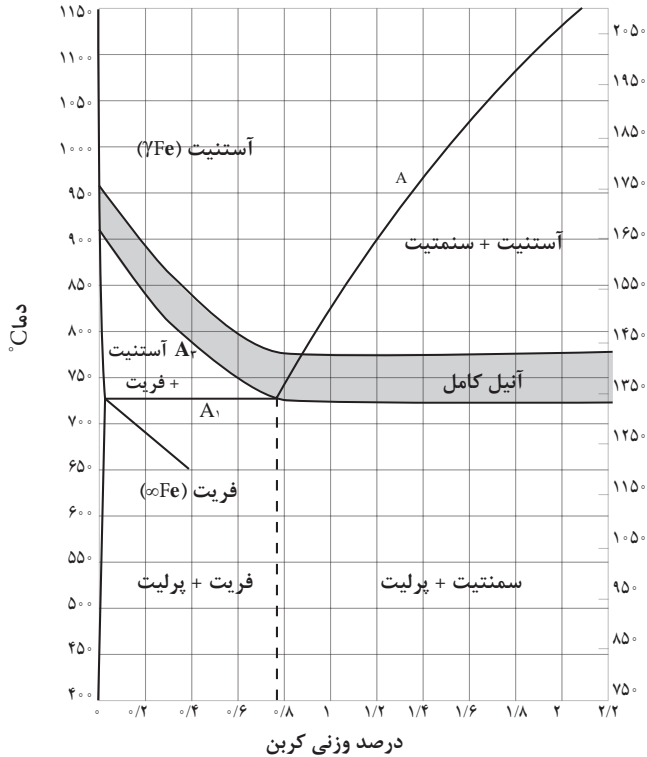
#### آنیل کردن:

در برخی از پروسه‌های عملیات حرارتی فولادها هدف به‌دست آوردن میکروساختاری تماماً شامل فریت و سمنتیت (ولی با توزیع‌های متفاوت) است. این میکرو ساختارها اکثراً به کمک حرارت دادن فولاد در دماهای نسبتاً بالا و یا برای مدت زمان طولانی و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق به‌دست می‌آیند. از جمله خواص مورد نظر در این عملیات عبارت‌اند از: بهبود انعطاف‌پذیری، کاهش تنش‌های داخلی و باقیمانده از عملیات قبلی، بهبود قابلیت ماشین و ایجاد یکنواختی در میکروساختار.

#### آنیل کامل:

آنیل کامل عبارت است از حرارت دادن فولاد در گستره دمایی نشان داده شده در شکل ۱ و سپس سرد کردن آهسته معمولاً در کوره است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود گستره دمایی تابع درصد کربن فولاد است. به‌طور کلی در عملیات آنیل کامل، فولادهای هیپوپوتکتوئید در ناحیه تک‌فازی آستنیت و فولادهای هیپریوتکتوئید را در ناحیه دو فازی آستنیت - سمنتیت حرارت

می‌دهند. هدف از آستنیت‌کردن فولادهای هیپر یوتکتوئید در ناحیه دو فازی آستنیت - سمنتیت عبارت است از شکستن شبکه پیوسته سمنتیت مرز دانه‌ای و تبدیل آن به ذرات ریز کرووی شکل و مجزا از یکدیگر است.



شکل ۱- گستره دمایی مربوط به آنیل کامل در دیاگرام آهن - کربن

سرد کردن آهسته که معادل سرد کردن در کوره است باعث می‌شود که در ضمن عبور از خطوط  $A_1$  و  $A_3$  ابتدا فریت و سپس پرلیت از آستنیت به وجود آید. به علت آهسته سرد شدن، فریت تشکیل شده دارای دانه‌های درشت و هم محور بوده و پرلیت دارای فاصله بین لایه‌ای نسبتاً زیاد (پرلیت خشن یا درشت) است. اثر آنیل کامل بر خواص مکانیکی فولاد، کاهش سختی و استحکام و افزایش انعطاف پذیری فولاد است.



### آنیل کامل

جهت انجام این فعالیت ابتدا هنرجویان را به کارگاه عملیات حرارتی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست‌محیطی، نحوه استفاده از وسایل و تجهیزات مورد نیاز و مراحل انجام آزمایش را به‌طور کامل برای آنها شرح داده و سپس آنها را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار مربوطه فعالیت را مطابق مراحل آورده شده در کتاب درسی انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ‌های تحلیلی به بحث گروهی گذاشته و به‌صورت گزارش کار به هنرآموز خود ارائه نمایند.



هنرآموز محترم توجه داشته باشید که هنرجویان در حین انجام آزمایش تمامی نکات ایمنی و زیست‌محیطی آورده در کتاب درسی را رعایت نمایند.

**آنیل هم‌دما:** جهت تدریس این بخش هنرجویان را به کلاس تئوری برده و در رابطه با آنیل هم‌دما توضیحاتی را ارائه کرده، سپس از هنرجویان سؤالاتی در رابطه با کاربردها و تفاوت‌های آنیل هم‌دما با آنیل کامل پرسیده و پس از شنیدن پاسخ آنها خودتان توضیحات تکمیلی را داده و سپس در رابطه با وسایل و تجهیزات مورد نیاز و نحوه اجرای آن توضیحات کامل را به هنرجویان ارائه کنید.

### دانش‌افزایی

عملیات آنیل هم‌دما شامل حرارت دادن فولاد در دو دمای مختلف است، ابتدا آستنیت‌ه کردن که در همان گستره دمایی مربوط به آنیل کامل انجام می‌شود و سپس سرد کردن سریع تا دمای دگرگونی (زیر خط  $A_1$ ) و نگه‌داشتن به مدت زمان کافی جهت انجام دگرگونی. پس از پایان دگرگونی، می‌توان فولاد را با هر آهنگ سرد شدن دلخواهی سرد کرد. زمان لازم برای آنیل هم‌دما در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است، در حالی که سختی نهایی کمی بیشتر خواهد بود. همانند آنیل کامل، میکروساختار حاصل از آنیل هم‌دما در فولادهای هیپوئوتکتوئید، یوتکتوئید و هیپرئوتکتوئید به ترتیب عبارت است از فریت - پرلیت، پرلیت و پرلیت - سمنتیت است ولی پرلیت حاصل نسبتاً ظریف تر و درصد فریت و سمنتیت پروئوتکتوئید تا حدودی کمتر است. از جمله موارد کاربرد آنیل هم‌دما در رابطه با فولادهای آلیاژی است که دارای سختی پذیری بالایی هستند.

فعالیت  
کارگاهی ۲



### آشنایی با آنیل هم دما

جهت اجرای این فعالیت هنرجویان را به کارگاه عملیات حرارتی برده و همانند فعالیت آنیل کامل پس از توضیحات لازم و کافی در رابطه با نکات ایمنی و زیست محیطی و نحوه انجام فعالیت هنرجویان را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز و یا استادکار مربوطه فعالیت را مطابق مراحل آورده شده در کتاب انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ‌های تحلیلی به بحث گروهی به صورت گزارش کار به هنرآموز خود ارائه نمایند.

نکته



هنرآموز محترم توجه داشته باشید که هنرجویان در حین انجام آزمایش تمامی نکات ایمنی و زیست محیطی آورده در کتاب درسی را رعایت نمایند.

## جلسه بیست و سوم: آنیل کروی سازی – آنیل تنش زدایی – آنیل چدن

### واحد یادگیری: عملیات حرارتی آنیل

#### مقدمه:

جهت تدریس این بخش ابتدا هنرجویان را به کلاس تئوری برده و در رابطه با کاربردهای آنیل کروی، آنیل تنش زدایی و آنیل چدن‌ها توضیحات لازم و کافی را داده سپس نحوه انجام هر کدام از این عملیات‌ها را به همراه نمایش فیلم به هنرجویان آموزش دهید.

#### دانش افزایی

**آنیل کروی سازی:** انعطاف‌پذیرترین و نرم‌ترین شرایط در هر فولاد مربوط به میکروساختاری شامل سمنتیت کروی توزیع شده به‌طور یکنواخت در زمینه فریتی می‌شود. سمنتیت کروی پایدارترین میکروساختار موجود در فولادها است که با حرارت دادن فولاد در مدت زمان مناسب در گستره دمایی نشان داده شده در شکل ۴ کتاب درسی به دست می‌آید. از آنجایی که کروی کردن سمنتیت مستلزم نفوذ است، دما و زمان عملیات باید طوری انتخاب شوند که نفوذ به بهترین وجه انجام گرفته و در نتیجه در کوتاه‌ترین مدت بیشترین درصد سمنتیت کروی شود. آهنگ کروی شدن سمنتیت، بستگی به میکروساختار اولیه فولاد و همچنین نحوه

عملیات حرارتی کرووی کردن دارد. از نظر میکروساختاری، پرلیت بیشترین زمان را برای کرووی شدن نیاز دارد و در بین میکروساختارهای مختلف پرلیتی، زمان لازم برای کرووی شدن به ترتیب از پرلیت خشن به پرلیت متوسط و سپس پرلیت ظریف کاهش می‌یابد. اگر کاربیدهای اولیه به شکل ذرات ریز و مجزا از یکدیگر (بینیت) باشند، کرووی شدن بسیار سریع‌تر خواهد بود. اگر ساختار اولیه مارتنزیت باشد کرووی شدن حتی سریع‌تر خواهد شد. لازم به ذکر است که چون عناصر آلیاژی باعث کاهش آهنگ نفوذ کربن در فاز آستنیت می‌شوند لذا وجود آنها در ترکیب آستنیت باعث کاهش آهنگ کرووی شدن می‌گردد. به‌طور کلی روش‌های متفاوتی برای فرایند کرووی کردن به کار می‌رود که مهم‌ترین آنها در کتاب درسی آورده شده است.

### آنیل کرووی‌سازی

این فعالیت را نیز همانند فعالیت‌های قبلی پس از گروه بندی، هنرجویان زیر نظر هنرآموز یا استادکار مربوطه مطابق با مراحل آورده شده در کتاب درسی انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ‌های تحلیلی به فعالیت به صورت گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهند.

فعالیت  
کارگاهی ۳



نکته



هنرآموز محترم توجه داشته باشید که هنرجویان در حین انجام آزمایش تمامی نکات ایمنی و زیست محیطی آورده در کتاب درسی را رعایت نمایند.

**آنیل تنش زدایی:** با توجه به اینکه برای این قسمت فعالیت عملی در نظر گرفته نشده است لذا پیشنهاد می‌شود که هنرآموزان محترم جهت تدریس این بخش هنرجویان را به کلاس تئوری برده و در رابطه با علل ایجاد تنش در قطعات صنعتی و نحوه تنش‌گیری آنها توضیحاتی را به صورت تئوری به همراه نمایش فیلم به هنرجویان ارائه دهند.

### دانش افزایی

برخی از عملیات حرارتی و یا مکانیکی، در قطعات ایجاد تنش‌های داخلی می‌کند که می‌تواند مخرب بوده و بر عملکرد قطعات مزبور تأثیر نامطلوب گذارد. 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، از جمله منابع تنش‌های داخلی عبارت‌اند از:

الف) غیریکنواخت سرد شدن نقاط مختلف در ضمن کاهش دما از منطقه آستنیت.  
ب) ماشین کاری و کار سرد

ج) جوش کاری

برای حذف یا کاهش تنش‌های باقیمانده از عملیات قبلی، قطعات مورد نظر را برای زمان مشخص در دمایی زیر درجه حرارت بحرانی  $A_1$  حرارت می‌دهند. زمان حرارت دادن بستگی به ابعاد قطعه و درجه حرارت تنش‌گیری دارد. هرچه درجه حرارت تنش‌گیری بالاتر انتخاب شود زمان لازم برای انجام کامل عملیات کمتر است. معمولاً حرارت دادن یا سرد کردن برای رفع تنش باید خیلی آهسته انجام گیرد.

**آنیل چدن:** جهت تدریس این بخش پیشنهاد می‌شود هنجویان را به کلاس تئوری برده و جهت یادآوری انواع چدن‌ها را برای آنها به‌طور مختصر شرح داده و سپس سؤالاتی در رابطه با عملیات حرارتی چدن‌ها از آنها بدین صورت بپرسید:

■ آیا چدن‌ها را نیز مانند فولادها می‌توان عملیات حرارتی کرد؟

■ چه عملیات حرارتی را می‌توان بر روی چدن‌ها انجام داد؟

■ چه تفاوت‌هایی بین عملیات حرارتی چدن‌ها و فولادها می‌تواند وجود داشته باشد؟ پس از شنیدن پاسخ هنجویان خودتان توضیحات تکمیلی را در رابطه با سؤالات فوق به هنجویان داده و چند نمونه از قطعات چدنی را که تحت عملیات حرارتی مختلف قرار می‌گیرند را برای آنها نام ببرید.

## دانش افزایی

هدف از آنیل کردن چدن‌ها عبارت است از حرارت دادن قطعه در دمایی بالاتر از درجه حرارت بحرانی ( $A_1$ ) و سپس آهسته سرد کردن (معمولاً در کوره) به منظور کاهش سختی و استحکام و افزایش انعطاف‌پذیری آن. تفاوت عمده‌ای که بین نتایج حاصل از آنیل کردن فولادها و آنیل کردن چدن‌ها وجود دارد عبارت است از: تجزیه سمنتیت در چدن‌ها، به نحوی که ساختمان میکروسکوپی آنیل شده آنها می‌تواند شامل فریت و گرافیت باشد. روش‌های مختلفی برای آنیل کردن چدن‌ها وجود دارد که برخی از آنها در کتاب درسی به تفصیل آورده شده است.

### فعالیت کارگاهی ۴



### آنیل فریتی

هنرجویان این فعالیت را نیز همانند فعالیت‌های قبلی پس از گروه‌بندی، زیر نظر هنرآموز یا استادکار مربوطه مطابق با مراحل آورده شده در کتاب درسی انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ‌های تحلیلی به فعالیت به‌صورت گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهند.



- ۱ هنرآموزان محترم توجه داشته باشید که برای نتیجه‌گیری بهتر حتماً از نمونه‌های چدن خاکستری پرلیتی برای انجام فعالیت استفاده نمایید.
- ۲ هنرآموزان محترم توجه داشته باشید که هنرجویان در حین انجام آزمایش تمامی نکات ایمنی و زیست محیطی آورده شده در کتاب درسی را رعایت نمایند.



## جلسه بیست و چهارم: نرماله کردن فولاد

### واحد یادگیری: عملیات حرارتی نرماله

#### مقدمه:

جهت تدریس این بخش پیشنهاد می‌شود ابتدا هنرجویان را به کلاس تئوری برده و در رابطه با عملیات حرارتی نرماله، کاربردهای آن و لزوم انجام آن بر روی قطعات صنعتی توضیحاتی را داده و سپس از هنرجویان بخواهید که در رابطه با تفاوت‌های عملیات حرارتی آنیل و نرماله به صورت گروهی بحث کرده و نتیجه را به شما ارائه دهند. پس از دریافت جواب هنرجویان خودتان توضیحات تکمیلی را در رابطه با عملیات نرماله، وسایل و تجهیزات مورد نیاز و نحوه اجرای آن به همراه نمایش فیلم به هنرجویان توضیح دهید.

#### دانش افزایی

نرماله کردن یکی دیگر از انواع روش‌های عملیات حرارتی است که میکروساختار حاصل همانند آنیل کردن شامل پرلیت، مخلوطی از پرلیت - فریت و یا مخلوطی از پرلیت و سمنتیت (بستگی به ترکیب شیمیایی فولاد) است. در نرماله کردن، دمای آستنیت‌ه کردن برای فولادهای هیپوپوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است، در حالی که برای فولادهای هیپریپوتکتوئید از گستره دمایی حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای خط Ac<sub>m</sub> استفاده می‌شود. (شکل ۸ کتاب درسی). برخلاف آنیل کامل که قطعات در کوره سرد می‌شوند، در عملیات نرماله کردن قطعات پس از آستنیت‌ه شدن در هوا سرد می‌شوند. یکی دیگر از اهداف مهم نرماله کردن عبارت‌است از ریز کردن دانه‌های درشتی که اغلب به هنگام کار گرم در دمای بالا و یا در ضمن ریخته‌گری و انجماد به وجود آمده‌اند. بنابراین در عملیات نرماله کردن فولادهای هیپوپوتکتوئید، ابتدا آستنیتی با ساختار همگن و دانه‌های ریز به وجود می‌آید و سپس در اثر سرد شدن در هوا

به فریت و پرلیت تبدیل می‌شود. با توجه به اینکه در نرماله کردن فریت و پرلیت در دمایی کمتر و با آهنگی بیشتر از آنیل کردن تشکیل می‌شوند، اندازه دانه‌های فریت و سمنتیت و فاصله بین لایه‌ای پرلیت هر دو کاهش می‌یابند. بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرایند آنیل، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف‌پذیری تا حدودی کاهش می‌یابد. هرچه درصد کربن بیشتر باشد (تا حد یوکتوئید) پرلیت بیشتری تشکیل شده و در نتیجه استحکام و سختی فولاد زیادت‌ر و انعطاف‌پذیری آن کمتر می‌شود.

#### فعالیت کارگاهی ۵



#### نرماله کردن فولاد

جهت انجام این فعالیت ابتدا هنرجویان را به کارگاه عملیات حرارتی برده و پس از ذکر نکات ایمنی و زیست محیطی، نحوه استفاده از وسایل و تجهیزات مورد نیاز و مراحل انجام آزمایش نرماله را به‌طور کامل برای آنها شرح داده و سپس آنها را گروه‌بندی کنید تا با نظارت هنرآموز یا استادکار مربوطه فعالیت را مطابق مراحل آورده شده در کتاب درسی انجام داده و نتیجه را به همراه پاسخ‌های تحلیلی به بحث گروهی به‌صورت گزارش کار به هنرآموز خود ارائه نمایند.

#### نکته



هنرآموز محترم توجه داشته باشید که هنرجویان در حین انجام آزمایش تمامی نکات ایمنی و زیست محیطی آورده شده در کتاب درسی را رعایت نمایند.