فصل ۳

سخت‌کاری

جلسه پانزدهم: عملیات حرارتی کوره‌های عملیات حرارتی راه اندازی کوره الکتریکی

واحد یادگیری : سخت‌کاری حجمی

مقدمه

برای شروع تدریس ابتدا با سؤالات انگیزشی (مانند عملیات حرارتی چیست و چرا انجام می‌گیرد؟) ذهن هنرجویان را متمرکز کنید و از آنها بخواهید برداشتشان را از عملیات حرارتی بیان کنند و سپس با توضیحات خود تعریفی از عملیات حرارتی و اهداف آن ارائه دهید. و سپس چند مورد از کاربرد عملیات حرارتی در صنایع مختلف (خودروسازی، ریخته‌گری، ماشین‌سازی، جوشکاری) برای تولید قطعات را نام ببرید. سپس می‌توانید با یک پرسش که به نظر شما حالا عملیات حرارتی بر روی کدام فلزات انجام می‌گیرد هنرجویان را به چالش بکشید و ذهن آنها را به خواص فولاد و اهداف کتاب که بیشتر بر روی عملیات حرارتی فولاد متمرکز شده به‌کار بگیرید.

روش‌های عملیات حرارتی:

در این بخش می‌توانید از هنرجویان بپرسید به نظر شما آیا می‌توان عملیات حرارتی را در سطح و حجم دلخواه انجام داد؟ سپس با نشان دادن چند تصویر از عملیات حرارتی سطحی و حجمی عملیات حرارتی را به روش‌های سطحی و حجمی تقسیم‌بندی نمایید و به‌طور خلاصه زیرمجموعه‌های عملیات حرارتی سطحی و حجمی را به هنرجویان شرح دهید و به آنها متذکر شوید که تا پایان این فصل تمامی بخش‌های عملیات حرارتی سطحی و حجمی تدریس خواهند شد.

ابزار و تجهیزات مورد نیاز عملیات حرارتی:

برای تدریس این مبحث بهتر است هنرجویان را به کارگاه برده و توضیحات مربوطه را برای هنرجویان به‌صورت عینی همراه با نمایش عملکرد ارائه نمایید. در شروع تدریس از هنرجویان بپرسید چه تجهیزاتی برای عملیات حرارتی نیاز است. سپس به معرفی تمامی ابزار و تجهیزات مورد نیاز بپردازید. (۱ـ کوره‌ها ۲ـ تجهیزات حمل مواد ۳ـ محیط‌های سرد کننده ۴ـ سختی سنج‌ها)

۱ **کوره‌ها:** در معرفی کوره‌ها از هنرجویان بپرسید تا کنون چه کوره‌هایی مشاهده نموده‌اند و یک کوره از چه قسمت‌هایی تشکیل می‌شود. سپس با ارائه فیلم یا اسلاید شروع به معرفی انواع کوره‌های عملیات حرارتی نموده و تفاوت انواع

کوره‌ها را شرح دهید. و سپس در کارگاه قسمت‌های مختلف کوره حمام نمک (مکان المنت‌ها، ترموکوپل، نشانگر دیجیتالی، بوته فولادی، نسوز سرامیکی) و کوره الکتریکی مقاومتی (دمای کاری، اتمسفر کوره، سیستم گرم‌کننده، سیستم کنترل دما) را کاملاً برای هنرجویان شرح دهید.

دانش‌افزایی:

انواع گازهای محافظ در کوره‌های عملیات حرارتی عبارت‌اند از:

۱ **گاز خنثی:** گازهای خنثی تحت هیچ شرایطی با سطح فلز واکنش نمی‌دهند. گازهای محافظ مورد استفاده عبارت‌اند از: هیدروژن، هلیوم، آرگون و نیتروژن. البته متداول‌ترین گاز خنثای مورد استفاده نیتروژن می‌باشد.گاز هیدروژن خطر انفجار دارد زیرا مخلوط هیدروژن و هوا قابلیت انفجار دارد از طرفی دو گاز هلیوم و آرگون نسبتاً گران قیمت هستند. بنابراین شاید یکی از بهترین گازهای مورد استفاده به عنوان اتمسفر محافظ گاز نیتروژن باشد.

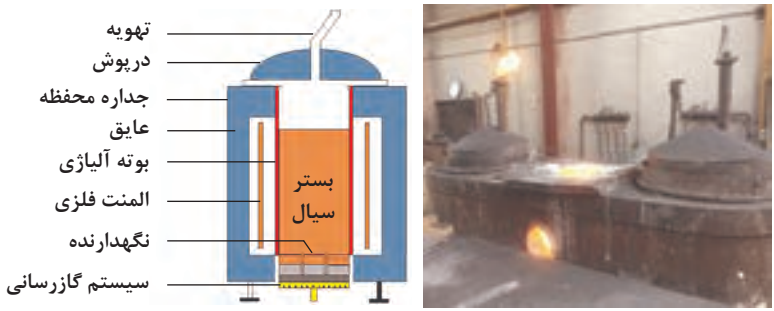
۲ **گاز اگزوترمیک (گرمازا):** با توجه به پایین بودن هزینه تولید، این گاز به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترکیب این گاز قابل تغییر است.این گاز با احتراق ناقص یک گاز قابل احتراق مانند گاز طبیعی یا پروپان با هوا به دست می‌آید. بدین صورت که مخلوط هوا و گاز در دمای $980^{\circ}C$ به مدت زمانی که محصولات احتراق به تعادل برسند در محفظه احتراق سوزانده می‌شود، در اثر این واکنش مقدار زیادی حرارت ایجاد می‌شود؛ به همین دلیل آن را گاز گرمازا می‌گویند.

۳ **گاز اندومتریک(گرماگیر):** محصول احتراق یک گاز طبیعی مانند متان یا پروپان با هوا در دمای بالاتر از ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به صورت گرماگیر یک گاز به نام گاز اندومتریک می‌باشد. اجزای این گاز Co، CO_2، H_2، H_2O، N_2 می‌باشد. شاید مهم‌ترین گاز مورد استفاده در حال حاضر گاز اندومتریک باشد.جهت تولید این گاز معمولاً در کنار کوره یک ژنراتور تولید گاز قرار می‌دهند. به عبارت ساده‌تر در هنگام فروش این‌گونه کوره‌ها حتماً یک ژنراتور گاز نیز به همراه آنها موجود می‌باشد. جهت تهیه گاز اندومتریک مخلوط فشرده‌ای از هوا و گاز طبیعی با نسبت تقریبی ۳ به ۱ را در محدوده دمایی ۱۰۴۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد گرم کرده و از روی بستری از نیکل به عنوان کاتالیزور عبور می‌دهند و گاز اندومتریک به وجود می‌آید.

دانش افزایی:

کوره با بستر سیال: اگر گازی (هوا، آمونیاک، نیتروژن) با سرعت مناسب از پایین به داخل محفظه حاوی ذرات ریز و خشک (مانند اکسید آلومینیم) از طریق یک صفحه توزیع‌کننده جریان یابد، ذرات به‌صورت میکروسکوپی از یکدیگر جدا شده

و در بستر سیال گازی معلق می‌شوند و رفتار یک مایع جوشان را پیدا می‌کنند که به این پدیده بستر سیال می‌گویند. سرعت انتقال حرارت در این روش سریع بوده و ذرات نیز به هم نمی‌چسبند در نتیجه مشکلات تمیزکاری قطعات بعد از عملیات حرارتی وجود ندارد. در شکل زیر نمونه‌ای از این کوره‌ها نشان داده شده است.



شکل الف) شماتیک کوره با بستر سیال، ب) کوره با بستر سیال

فعالیت کارگاهی ۱

راه‌اندازی کوره الکتریکی مقاومتی

کوره را طبق دستورالعمل سازنده راه‌اندازی کرده و به هنرجویان توضیح دهید. سپس هنرجویان را در گروه‌های چهارنفری گروه‌بندی نمایید و کوره را به دماهای مختلف (۵۰۰ـ ۷۰۰ـ ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد) تنظیم نمایید. نکات ایمنی و بهداشتی زیر را برای هنرجویان بازگو نمایید.

۱ـ قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره رو کنترل کنید. ۲ـ از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل نمایید.۳ـ حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضدآتش استفاده نمایید. ۴ـ از برخورد قطعات یا تجهیزات با المنت داخل کوره خودداری شود.

محیط‌های سردکننده:

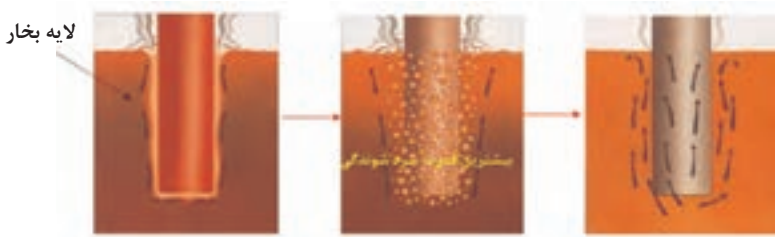
در تدریس این قسمت از هنرجویان بپرسید چه محیط‌هایی می‌توانند به عنوان محیط سردکننده برای کوئنچ قطعات به‌کار برده شوند. سپس شروع به شرح محیط‌های کوئنچ بپردازید و آنها را به ترتیب قدرت سردکنندگی رتبه‌بندی نمایید.

آب نمک ــ آب روغن ــ هوا ــ حمام نمک

سپس از هنرجویان بپرسید چه عواملی می‌توانند روی شدت سردکنندگی یک محیط سردکننده تأثیر بگذارد و نظرات آنها را بدانید سپس عوامل تأثیرگذار روی قدرت سردکنندگی محیط مانند شدت تلاطم محیط سرد کننده، دمای محیط سردکننده، منابع آلودگی محیط سردکننده، افزودنی‌ها را شرح دهید و کاربرد رایج محیط‌های سردکننده را برای فولادهای معین مشخص نمایید.

دانش افزایی:

مراحل سرد شدن قطعه در وان کوئنچ:



مرحله الف) مرحله سرد شدن توسط لایه بخار می‌باشد. این مرحله شامل یک لایه بخار پایدار در اطراف قطعه و در نتیجه جدا کردن آن از محیط سرد اطراف است. در این مرحله لایه بخار به عنوان عایق عمل کرده در نتیجه این مرحله سردشدن آهسته است

مرحله ب) این مرحله بیشترین آهنگ انتقال حرارت را در بین مراحل مختلف دارد و هنگامی شروع می‌شود که دمای سطح فلز آن‌قدر کاهش می‌یابد که سبب ناپایداری لایه بخار شود.

مرحله ج) آهنگ سرد شدن در این مرحله از مراحل الف و ب کمتر می‌باشدو مرحله ج زمانی شروع می‌شود که دمای سطح فلز تا زیر نقطه جوش مایع سردکنندگی کاهش یابد.

نکته

در واقع دلیل افزایش قدرت سردکنندگی آب نمک نسبت به آب کاهش قشر لایه بخار یا مرحله الف می‌باشد.

خودارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خودارزیابی	**بلی**	**خیر**
معنای عملیات حرارتی و اهداف آن را می‌دانم.		
فلزات رایج مورد استفاده در عملیات حرارتی را می‌شناسم.		
روش‌های عملیات حرارتی (حجمی و سطحی) را می‌دانم.		
ابزار و تجهیزات رایج در عملیات حرارتی را می‌شناسم.		
قسمت‌های مختلف کوره حمام نمک را می‌شناسم.		
قسمت‌های مختلف کوره الکتریکی را می‌دانم.		
راه‌اندازی کوره الکتریکی را انجام می‌دهم.		
راه‌اندازی کوره حمام نمک را انجام می‌دهم.		
محیط‌های سردکننده را می‌شناسم.		
ابزار و تجهیزات حمل مواد را می‌شناسم.		
در حفاظت از ابزار جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	**نمره دریافتی**
معنای عملیات حرارتی و اهداف آن را می‌داند.	
فلزات رایج مورد استفاده در عملیات حرارتی را می‌شناسد.	
روش‌های عملیات حرارتی (حجمی و سطحی) را می‌داند.	
ابزار و تجهیزات رایج در عملیات حرارتی را می‌شناسد.	
قسمت‌های مختلف کوره حمام نمک را می‌شناسد.	
قسمت‌های مختلف کوره الکتریکی را می‌داند.	
راه‌اندازی کوره الکتریکی را انجام می‌دهد.	
راه‌اندازی کوره حمام نمک را انجام می‌دهد.	
محیط‌های سردکننده را می‌شناسد.	
ابزار و تجهیزات حمل مواد را می‌شناسد.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خودارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کارگروهی	
نمره خودارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه شانزدهم: سختی سنجی ــ روش راکول ــ برینل و ویکرز

واحد یادگیری: سخت کاری حجمی

سختی‌سنجی:

برای تدریس این قسمت ابتدا از هنرجویان بپرسید سختی چیست و سختی اجسام را چگونه اندازه‌گیری می‌نمایند. پس از شنیدن نظرات هنرجویان سختی را شرح داده و روش اندازه‌گیری سختی را به چهار روش موهس، برینل، راکول و ویکرز تقسیم‌بندی نموده و سپس با استفاده از جدول ۲ (مدون شده در کتاب) به ترتیب شکل و جنس فرورونده، میزان بار اعمالی و کاربرد هر یک، شروع به تشریح هر کدام از روش‌ها نمایید.

دانش افزایی

ساده‌ترین روش تعیین سختی با خراش می‌باشد که با مراجعه به جدول زیر می‌توان سختی اجسام را تعیین کرد.

جسم	فرمول شیمیایی	سختی
الماس	C	۱۰
کروندم	Al_2O_3	۹
توپاز	$Al_2SiO_4F_2$	۸
کوارتز	SiO_2	۷
ارتوکلاز	$KAlSi_3O_8$	۶
آپاتیت	$Ca_5(PO_4)_3F$	۵
فلوریت	CaF_2	۴
کلسیت	$CaCO_3$	۳
گچ	$CaSO_4,2H_2O$	۲
تالک	$Mg_3SiO_{10}(OH)_2$	۱

در این روش الماس سخت‌ترین جسم نمره ۱۰ و پودر تالک دارای نمره ۱ می‌باشد. با استفاده از این جدول و مقایسه سختی اجسام با سختی مواد دیگر، سختی کاربید تنگستن ۹/۵، کاربید سیلیسیم ۹، فولاد بین ۵ تا ۸/۵، سرب ۱/۵ و گرافیت حدود ۱ می‌باشد.

اندازه‌گیری سختی به روش راکول: قبل از اندازه‌گیری سختی به روش راکول یک فیلم کامل از نحوه اندازه‌گیری سختی به روش راکول تهیه کرده و به هنرجویان نشان دهید و در حین نمایش فیلم مراحل را شرح دهید.

فعالیت کارگاهی ۲

تعیین میزان سختی با استفاده از دستگاه راکول

پس از تشریح اندازه‌گیری سختی به روش راکول و روش‌های آن (شکل و جنس فرورونده و نیروی اعمالی) هنرجویان را به کارگاه برده و نمونه‌های مختلفی از جنس فولاد سخت شده سطحی، آلیاژ آلومینیم، فولاد معمولی را انتخاب نموده برای اندازه‌گیری سختی‌سنجی آماده نمایید. پس از تهیه نمونه‌ها در کارگاه هنرجویان را به آزمایشگاه برده و سختی فولاد سخت‌شده سطحی را با روش راکول A، آلیاژ آلومینیم را با روش راکول B و فولاد معمولی را با روش راکول C طبق مراحل و نکات مهم مدون شده در کتاب (فعالیت کارگاهی ۲) به ترتیب روی دستگاه سختی‌سنج راکول اجرا نموده و روش به‌دست آوردن عدد سختی را آموزش دهید.

پس از تشریح عملی دستگاه سختی سنج راکول هنرجویان را به گروه‌های چهارنفره تقسیم کرده و از آنها بخواهید سختی انواع مختلفی از فولادها را به روش راکول اندازه‌گیری نموده و در قالب گزارش کار تحویل دهند.

نکته

۱ توجه داشته باشید هنگام برش، نمونه‌ها کاملاً عمودی برش داده شوند و دو سطح بالا و پایین نمونه‌ها کاملاً موازی باشد.

۲ سندان مناسب با شکل قطعه انتخاب شود تا نمونه به‌طور صاف و محکم بر روی سندان قرار گیرد. به عنوان مثال برای نمونه‌های گرد از سندان v شکل استفاده نمایید.

اندازه‌گیری سختی به روش برینل: قبل از اندازه‌گیری سختی به روش برینل یک فیلم کامل از نحوه اندازه‌گیری سختی به روش برینل تهیه به هنرجویان نشان دهید و در حین نمایش فیلم مراحل را شرح دهید.

دانش افزایی

در روش برینل یک ساچمه با نیروی P به قطر D روی جسمی به مدت ثابتی (۱۰ ثانیه) توسط دستگاه فشار ایجاد می‌کند. از تقسیم نیروی وارده بر سطح ایجاد شده (سطح عرقچین کروی) عدد سختی به‌دست می‌آید. عدد سختی برینل را به اختصار با BHN نمایش می‌دهند.

$$BHN = \frac{P}{A}$$

که در آن P نیروی وارد به ساچمه و A سطح عرقچین کروی ایجاد شده روی فلز یا آلیاژ مورد آزمایش است. از طرفی سطح عرقچین کروی با توجه به شکل آن چنین است.

$$A = \pi Dt \quad \text{و} \quad t = \frac{۱}{۲}(D - \sqrt{D^۲ - d^۲})$$

در این روابط t عبارت است از عمق فرو رفتگی(نفوذ ساچمه در آلیاژ) و d قطر دایره اثر است. به این ترتیب می‌توان سختی برینل را از رابطهٔ زیر محاسبه و تعیین کرد.

$$BHN = \frac{P}{A} = \frac{P}{\pi Dt} = \frac{۲P}{\pi D(D - \sqrt{D^۲ - d^۲}}$$

چون سختی برینل عبارت است از نیرو تقسیم بر سطح، لذا واحد آن بر حسب

$\frac{Kgf}{mm^۲}$ یا $\frac{N}{m^۲}$ (پاسگال) بیان می‌شود.

روش دیگری که در روش سختی برینل استفاده می‌شود و نیازی به اندازه‌گیری قطر اثر ساچمه نمی‌باشد. استفاده از دستگاه راکول به کمک صفحات مدرج و مخصوص برای اندازه‌گیری سختی به روش برینل می‌باشد به‌طوری که با انتخاب مناسب صفحه مدرج (که قطر ساچمه و نیروی متناسب با آن درج شده است) و نصب کردن آن بر روی صفحه مدرج دستگاه، عمل سختی‌سنجی مانند روش

راکول انجام می‌شود و عدد سختی مستقیماً از روی صفحه مدرج انتخاب شده، به‌دست می‌آید.

فعالیت کارگاهی ۳

اندازه‌گیری سختی به روش برینل

پس از تشریح اندازه‌گیری سختی به روش برینل هنرجویان را به کارگاه برده و نمونه‌های مختلفی از جنس مس، چدن و آلومینیم را انتخاب نموده و برای اندازه‌گیری سختی‌سنجی آماده نمایید. پس از تهیه نمونه‌ها در کارگاه هنرجویان را به آزمایشگاه برده و مراحل اندازه‌گیری سختی را برای هر یک از نمونه‌ها طبق فعالیت کارگاهی ۳ مدون شده در کتاب اجرا نمایید و پس از اندازه‌گیری قطر اثر ساچمه توسط میکروسکوپ میکرومتردار، عدد سختی را با استفاده از جداول موجود در راهنمای هنرجو به‌دست آورید.

هنرجویان را در گروه‌های چهارنفری گروه‌بندی نموده و از گروه‌ها بخواهید به ترتیب سختی فلزات انتخاب شده را به روش برینل (با استفاده از صفحه مدرج یا اندازه‌گیری اثر ساچمه) اندازه‌گیری کرده و در قالب گزارش کار به شما ارائه نمایند.

اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز:

قبل از اندازه‌گیری سختی به روش برینل یک فیلم کامل از نحوه اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز تهیه و به هنرجویان نشان دهید و در حین نمایش فیلم مراحل را شرح دهید.

فعالیت کارگاهی ۴

اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز

پس از تشریح اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز نمونه‌های مختلفی از جنس فولاد، چدن و آلومینیم را انتخاب نموده و برای اندازه‌گیری سختی‌سنجی آماده نمایید. پس از تهیه نمونه‌ها، در آزمایشگاه مراحل اندازه‌گیری سختی را برای هر یک از نمونه‌ها طبق فعالیت کارگاهی ۴ مدون شده در کتاب اجرا نمایید و پس از اندازه‌گیری قطر اثر لوزی توسط میکروسکوپ میکرومتردار عدد سختی را با استفاده از جداول موجود در راهنمای هنرجو به‌دست آورید. هنرجویان را در گروه‌های چهارنفری گروه‌بندی نموده و از آنها بخواهید به ترتیب سختی فلزات انتخاب شده را به روش ویکرز اندازه‌گیری کرده و در قالب گزارش کار به شما ارائه نمایند.

خود ارزیابی توسط هنرجو کل نمره: ۲ نمره		
مؤلفه‌های خود ارزیابی	بلی	خیر
معنای سختی و روش‌های اندازه‌گیری آن را می‌دانم.		
جنس و شکل فرورونده‌ها، میزان بار اعمالی را در انواع روش سختی سنجی را می‌دانم.		
اندازه‌گیری سختی به روش راکول را انجام می‌دهم.		
اندازه‌گیری سختی به روش برینل را انجام می‌دهم.		
اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز را انجام می‌دهم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه سختی‌سنج جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	نمره دریافتی
معنای سختی و روش‌های اندازه‌گیری آن را می‌داند.	
جنس و شکل فرورونده‌ها، میزان بار اعمالی را در انواع روش سختی سنجی را می‌داند.	
توانایی اندازه‌گیری سختی به روش راکول را دارد.	
توانایی اندازه‌گیری سختی به روش برینل را دارد.	
توانایی اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز را دارد.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خودارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خودارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه هفدهم: سخت‌کاری نحوه وارد کردن و چیدمان قطعات داخل کوره ــ بررسی تأثیر محیط خنک‌کننده بر روی فولادهای ساده کربنی

واحد یادگیری: سخت‌کاری حجمی

در ابتدای تدریس این بخش از هنرجویان بپرسید که چرا قطعات را سخت‌کاری می‌کنند و اهداف سخت‌کاری چیست. سپس چند قطعه صنعتی مانند موارد زیر را نام برده و اهداف عملیات سخت‌کاری را که در هر قطعه متفاوت است را برای هنرجویان شرح دهید.

قالب دایکاست: افزایش استحکام سایشی قالب تیغه گیوتین: افزایش استحکام برشی
قلاویز: افزایش سختی و استحکام پیچشی فنر تخت اتومبیل: تحمل بارگذاری‌های سنگین

پس از شرح اهداف عملیات سخت‌کاری از هنرجویان بپرسید به نظر شما دلایل سخت شدن فولاد بعد از عملیات سخت‌کاری چیست و پس از گوش دادن به نظرات هنرجویان دیاگرام آهن ـ کربن را به ریز ساختارهای تعادلی و غیرتعادلی تقسیم‌بندی نمایید. فازهای تعادلی در پودمان ۲ تدریس شده و فازهای غیرتعادلی (مارتنزیت و بینیت) را نام برده و شروع به شرح دادن نمایید و دلایل سخت شدن را به تشکیل فازهای غیرتعادلی مرتبط سازید.

دانش‌افزایی

مارتنزیت:
در صورتی که از دامنه حرارتی مربوط به آستنیت، سرعت سرد کردن فولادهای کربنی را افزایش دهیم، اتم‌های کربن فرصت خارج شدن از شبکه آستنیت را نداشته و به دام می‌افتند، در نتیجه شبکه کریستالی دچار اعوجاج شده و شبکه مارتنزیت به‌وجود می‌آید. در واقع مارتنزیت در دمایی به مراتب پایین‌تر از دمای تشکیل پرلیت انجام می‌شود. ماتنزیت سخت‌ترین ساختار میکروسکوپی است که می‌تواند در فولادهای ساده کربنی به وجود آید.

بینیت: ساختار بینیتی در سرعتی بین تعادلی و غیرتعادلی به وجود می‌آید. به عبارتی بینیت در دمایی بین پایین‌ترین درجه حرارتی که در آن تشکیل پرلیت متوقف می‌شود و بالاترین دمایی که در آن مارتنزیت به وجود می‌آید تشکیل می‌شود.
از جمله مشخصه‌های عمده استحاله بینیتی که مطالعه آن را مشکل نموده است،

عبارتست از طبیعت دوگانه آن؛ بدین صورت که استحالهٔ بینیتی از بعضی جهات شبیه دگرگونی پرلیتی و از برخی جنبه‌ها نشانهٔ استحاله مارتنزیتی می‌باشد. بینیت یک فاز نیست بلکه مخلوطی از دو فاز فریت و سمانتیت می‌باشد.

مراحل سخت‌کاری:

برای تدریس این قسمت ابتدا تمامی مراحل سخت‌کاری (۱ـ گرم کردن تا ناحیه آستنیت ۲ـ نگهداری در ناحیه آستنیت ۳ـ سریع سرد کردن) را برای هنرجویان نام برده و سپس شروع به شرح هر کدام نمایید.

الف) گرم کردن تا ناحیه آستنیت: برای تدریس این بخش ابتدا از هنرجویان بپرسید برای عملیات سخت‌کاری که اولین مرحله گرم کردن فولاد است به نظر شما تا چه دمایی فولاد را گرم کنیم و یا دمای آستنیته کردن را بر اساس چه معیاری انتخاب می‌کنند و همچنین بپرسید که اگر دماهای بالا و پایین از معیار ایده‌آل در نظر بگیریم چه اتفاقی می‌افتد. سپس شروع به شرح انتخاب دمای آستنیته کردن بهینه (استفاده از جداول سازنده فولاد و یا انتخاب از روی دیاگرام آهن ـ کربن) نمایید و مزایا و محدودیت آن را بازگو نمایید.

نحوه تنظیم‌کردن دمای کوره جهت آستنیته کردن قطعه: برای تدریس این قسمت ابتدا به هنرجویان شرح دهید که برای آستنیته‌کردن قطعات، دو محیط وجود دارد. ۱ـ محیط خشک (کوره با اتمسفر معمولی یا کنترل شده) ۲ـ محیط‌تر یا مایع (کوره‌های حمام نمک) سپس شرح دهید در کوره‌های حمام نمک بعد از ذوب شدن نمک و رسیدن دمای کوره حمام نمک به دمای آستنیته قطعه، قطعات داخل کوره قرار داده می‌شوند و در کوره‌های خشک یا کوره‌های الکتریکی به دو صورت می‌توان قطعات را آستنیته کرد. در روش اول این نمونه در کوره قرار داده می‌شود و سپس کوره روشن شده و به دمای موردنظر می‌رسد و در روش دوم کوره روشن می‌شود به دمای موردنظر می‌رسد سپس درب کوره باز می‌شود و قطعات داخل کوره قرار داده می‌شود. در روش اول نمونه و کوره با هم به دما می‌رسند ولی در روش دوم کوره در دمای مورد نظر می‌باشد و پس از آن نمونه در کوره قرار داده می‌شود. در این حالت نیاز به همرنگ شدن داریم که در حین عملیات مرتباً از چشمی کوره نمونه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و هنگامی که نمونه در کوره محو شد عملاً دمای نمونه و کوره یکسان می‌باشد.پس از این زمان، زمان قرارگیری در ناحیه آستنیت شروع می‌شود. و همچنین در کوره‌ها حمام نمک نیز نیاز به هم دما کردن یا همرنگ‌سازی داریم و همچنین به هنرجویان شرح دهید که برای همگن‌سازی درجه حرارت در داخل کوره (جداره، سقف کوره، کف کوره) در صنعت از یک فن فولادی در سقف کوره استفاده می‌کنند.

نحوه وارد کردن و چیدمان قطعات داخل کوره:
برای تشریح این قسمت نحوه چیدمان قطعات، نحوه قرارگیری قطعات در سبد یا فیکسچر، نحوه وارد شدن قطعات به کوره‌ها و همچنین نحوه کنترل اتمسفر کوره، را در دو نوع کوره‌ها با اتمسفر گازی و کوره‌ها با حمام نمک با استفاده از تصویر مدون شده در کتاب را شرح دهید و همچنین توضیح دهید که اگر قطعات به شکل نادرست چیده شوند ممکن است چه مشکلاتی (تاب برداشتن، سختی غیریکنواخت) در مراحل بعدی به‌وجود بیاید.

دانش‌افزایی

نحوهٔ چیدمان قطعات در داخل کوره‌ها با محیط گازی (هوا، اتمسفر کنترل شده):

۱ **قرارگیری قطعات در سبد:** قطعاتی که می‌خواهند عملیات حرارتی شوند در سبد یا روی صفحه با یک چیدمان خاص به‌طوری که قطعات به هم برخورد نکرده و فاصلهٔ مشخصی نسبت به هم داشته باشند قرار می‌گیرند. تا جریان اتمسفر کوره و تشعشع حرارتی آن دچار اختلال نگردد؛ به همین جهت فیکسچرها متناسب با شکل قطعه موردنظر تهیه می‌گردد و قطعات داخل آن چیده می‌شوند. چیدمان باید طوری صورت گیرد که در حین عملیات و وارد کردن قطعات در محیط سردکننده قطعات تاب بر ندارند و همچنین قطعات باید به گونه‌ای در سبد قرار گیرند که بزرگ‌ترین قطعه از نظر ابعادی در محلی قرار گیرد که در مرحله عملیات بتوان آن را با چشمی کوره به‌راحتی مشاهده کرد. البته در یک عملیات مشابه باید قطعات از نظر ضخامت در یک محدوده قرار گیرند تا همرنگی در یک زمان اتفاق بیفتد و زمان قرارگیری در آستنیت نیز یکسان باشد. ولی در عمل قطعات تا حدودی از نظر ضخامت با یکدیگر متفاوت هستند. ولی سعی شود که این تفاوت چشمگیر نباشد. شکل ۲۲ کتاب نمونه‌هایی از چیدمان قطعات را در سبدها را نشان می‌دهد. پس از چیدن قطعات در سبدها، سبدها توسط جرثقیل روی ترن قرار می‌گیرد.

۲ **قرارگیری سبد قطعات در مقابل درب کوره:** ترن حامل سبد قطعات به سمت کوره آمده و در مقابل کوره قرار می‌گیرد. جهت قرارگیری دقیق سبد در مقابل کوره از یک میکروسویچ که روی ریل نصب شده است کمک می‌گیرند. هنگامی که سبد کاملاً در مقابل درب کوره قرار گرفت چرخ‌های ترن به این میکروسوئیچ برخورد کرده و حرکت ترن برای یک لحظه قطع می‌شود. در این لحظه سبد قطعات دقیقاً در مقابل درب کوره قرار گرفته است. شکل ۲۳ کتاب قرار گرفتن سبد حاوی قطعات را در جلوی درب کوره را نشان می‌دهد.

۳ باز کردن درب اصلی کوره و ورود سبد حامل قطعات به داخل محفظه اولیه و بسته شدن درب کوره: درب کوره معمولاً به صورت عمودی به سمت بالا حرکت می‌کند. این سیستم می‌تواند به صورت هیدرولیک و یا مکانیکی باشد و در کوره‌های تحت اتمسفر کنترل شده در هنگام باز شدن درب کوره به‌طور اتوماتیک مشعلی در ورودی روشن می‌شود که پس از باز شدن درب کل منطقه ورودی توسط شعله محافظت شود. با این کار اجازه ورود اتمسفر بیرون کوره به داخل داده نمی شود که در شکل ۲۴ کتاب این موضوع نشان داده شده است. و سپس سبد قطعات توسط ریل به داخل کوره هدایت شده و پس از آن ترن به عقب حرکت کرده تا درب کوره بسته شود.

۴ باز شدن درب میانی و ورود سبد به داخل محفظه اصلی: پس از ورود سبد به داخل کوره و بسته شدن درب کوره چند لحظه صبر می‌کنیم تا هوای احتمالی محفظه اصلی از خروجی کوره خارج شود و در ادامه درب میانی (درب محفظه گرم‌کننده) باز شده و سبد قطعات به داخل محفظه اصلی هدایت می‌شود. پس از ورود سبد، درب میانی نیز بسته می‌شود. سیستم باز و بسته شدن درب میانی معمولاً به صورت کشویی و دو طرفه است. (این مرحله در کوره‌ها با اتمسفر کنترل شده می‌باشد.)

۵ ارائه برنامه مورد نظر: در کوره‌ها با اتمسفر معمولی، دمای عملیات، به کوره داده می‌شود و زمان توسط اپراتور کوره گرفته می‌شود و فرایند شروع می‌شود. ولی در کوره‌ها با اتمسفرکنترل شده دمای عملیات، دمای روغن کوئنچ، پتانسیل کربن کوره و همچنین مقدار و نوع گازهای ورودی (گرمازا، گرماگیر و....)،به کوره داده شده و فرآیند شروع می‌شود. لازم به ذکر است در این کوره‌ها جهت جلوگیری از کربوره یا دکربوره شدن سطح فولاد پتانسیل کربن کوره کنترل می‌شود.جهت کنترل‌کردن پتانسیل کربن کوره معمولاً در این کوره‌ها دو سیستم اتوماتیک و دستی وجود دارد. در سیستم اتوماتیک پتانسیل کربن کوره توسط یک آنالیزکننده گاز کوره اندازه‌گیری می‌شود. در سیستم اتوماتیک یک نوار مخصوص از یک فولاد بسیار کم کربن که روی تجهیزات کوره موجود می‌باشد را در ابتدا وزن کرده و آن را یادداشت می‌کنیم. سپس این نوار به یک هدایت‌شونده متصل شده و توسط یک سوراخ که معمولاً در پشت کوره قرار دارد وارد محفظه گرم‌کننده می‌شود و به مدت زمان حدود چند دقیقه در محفظه باقی می‌ماند تا کربن به داخل سطح نفوذ کند. زمان نگهداری در مشخصات فنی کوره ذکر شده است. پس از بیرون آوردن نوار فولادی از کوره دوباره وزن کرده و از اختلاف وزن نوار به درصد کربن کوره پی می‌برند. لازم به ذکر است که برخی از کوره‌ها زمان را به صورت اتوماتیک و برنامه‌ریزی شده مد نظر قرار می‌دهند، ولی در بعضی کوره‌ها زمان توسط اپراتور گرفته می‌شود.

ب) نگهداری در ناحیه آستنیت:

برای تدریس این بخش بهتر است ابتدا از هنرجویان سؤال کنید که بعد از اینکه قطعات تا دمای آستنیته در کوره گرم شده قطعه مورد نظر تا چه مدت زمانی باید در کوره بماند یا زمان آستنیته کردن چه مدت می‌باشد و سپس بر اساس موارد مدون شده در کتاب و تصاویر موجود شرح دهید که معیار زمان آستنیته کردن فولاد (ترکیب شیمیایی، ضخامت) چه مواردی می‌باشند و اگر این زمان کمتر یا بیشتر از مقدار بهینه انتخاب شود چه تغییری در خواص فولاد رخ می‌دهد.

ج) سریع سرد کردن (کوئنچ کردن):

برای تدریس این قسمت ابتدا با استفاده از تصاویر مدون شده از کتاب نحوه خارج‌کردن قطعات از کوره و انتقال قطعات به محیط کوئنچ را شرح دهید و همچنین عیوبی (تاب برداشتن) که در موقع انتقال قطعات به محیط کوئنچ ممکن است رخ دهد را شرح دهید.

پرسش

از هنرجویان بپرسید به نظر شما عدم آگاهی از نحوه وارد کردن قطعات در محیط سردکننده چه مشکلاتی را در بر خواهد داشت؟ و سپس با استفاده از تصاویر زیر و مطالب مدون شده در کتاب و در مورد نحوه وارد کردن قطعات زیر به وان کوئنچ بحث و گفتگو نمایید.

دیسک — تیغهٔ فرز — مته — رینگ — فنر — قلاویز

فعالیت کارگاهی ۵

بررسی تأثیر محیط خنک‌کننده بر روی فولادهای ساده کربنی

برای تدریس این فعالیت ابتدا بهتر است از هنرجویان بپرسید قدرت سردکنندگی محیط کوئنچ چه تأثیری بر روی سختی و ریز ساختار فولاد خواهد داشت و بعد مطالب تدریس شده در مورد محیط‌های سردکننده را یادآور شوید و قدرت سرد کنندگی هر یک از محیط‌ها را ذکر نمایید. هنر جویان را به کارگاه برده و در گروه‌های پنج نفره تقسیم کرده و هرگروه یک نمونه از فولاد CK۴۵ را آماده کرده و سپس مراحل تدوین شده (فعالیت کارگاهی ۵) در کتاب را به ترتیب اجرا نموده و سپس در آزمایشگاه سختی نمونه شاهد و نمونه‌های سرد شده در آب، آب نمک، هوا و روغن اندازه‌گیری

نموده و از هنرجویان بخواهید به پرسش‌های پایانی هر فعالیت کارگاهی پاسخ دهند. و دلایل اختلاف سختی بین نمونهٔ شاهد و نمونه‌های آزمایشی را شرح دهند و سپس می‌توانید پس از اندازه‌گیری سختی نمونه‌ها هنرجویان را به آزمایشگاه متالوگرافی برده و پس از آماده‌سازی سطح نمونه زیر میکروسکوپ ریز ساختار نمونه شاهد و نمونه‌های دیگر را مشاهده و سپس بررسی کنید.

خودارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خود ارزیابی	**بلی**	**خیر**
دلایل سخت‌کاری حجمی قطعات را می‌دانم.		
فازهای غیرتعادلی بینیت و مارتنزیت را در فولاد می‌دانم.		
مراحل سخت‌کاری قطعات فولادی را می‌دانم.		
دمای آستنیته‌کردن فولادها و زمان آستنیته‌کردن آنها را استخراج می‌کنم.		
نحوه چیدمان قطعات داخل کوره حمام نمک و کوره با اتمسفر گازی را می‌دانم.		
نحوه خارج‌کردن قطعات از کوره و نحوه واردکردن قطعات داخل محیط سردکننده را می‌دانم.		
ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای سخت‌کاری را می‌شناسم.		
تأثیر محیط سردکننده بر روی ریز ساختار و سختی فولاد با ترکیب شیمیایی یکسان را می‌دانم.		
قدرت سردکنندگی محیط کوئنچ (روغن، هوا، آب) را می‌دانم.		
سخت‌کاری حجمی را انجام می‌دهم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه سختی‌سنج جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	**نمره دریافتی**
دلایل سخت‌کاری حجمی قطعات را می‌داند.	
فازهای غیر تعادلی بینیت و مارتنزیت را در فولاد می‌داند.	
مراحل سخت‌کاری قطعات فولادی را می‌داند.	
دمای آستنیته‌کردن فولادها و زمان آستنیته‌کردن آنها را استخراج می‌کند.	
نحوه چیدمان قطعات داخل کوره حمام نمک و کوره با اتمسفر گازی را می‌داند.	
نحوه خارج‌کردن قطعات از کوره و نحوه واردکردن قطعات داخل محیط سردکننده را می‌داند.	
ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای سخت‌کاری را می‌شناسد.	
تأثیر محیط سردکننده بر روی ریز ساختار و سختی فولاد با ترکیب شیمیایی یکسان را می‌داند.	
قدرت سردکنندگی محیط کوئنچ (روغن، هوا، آب) را می‌داند.	
عملیات سخت‌کاری فولاد را انجام می‌دهد.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خودارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خودارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه هجدهم: آشنایی با نحوه سخت کاری قطعات در حمام نمک ـ بررسی اثر ترکیب شیمیایی فولاد بر روی میزان سختی در محیط کوئنچ یکسان

واحد یادگیری: سخت‌کاری حجمی

فعالیت کارگاهی ۶

آشنایی با نحوه سخت‌کاری قطعات در حمام نمک

برای تدریس این بخش ابتدا بهتر است مطالب جلسه گذشته در مورد مراحل سخت‌کاری، دمای آستنیته‌کردن و زمان آستنیته‌کردن را یادآوری کنید و از هنرجویان بپرسید به نظر شما چه تفاوتی بین سخت‌کاری قطعات درکوره‌های حمام نمک (مزایای کوره‌های حمام نمک) و کوره‌های الکتریکی وجود دارد. سپس هنرجویان را به کارگاه برده و کوره حمام نمک را راه اندازی کنید و دمای آن را به ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید تا حمام نمک ذوب شود سپس هنرجویان را در گروه‌های پنج نفری تقسیم بندی نموده و به هر گروه یک نمونه از فولاد CK۴۵ تحویل نمایید تا آماده نمایند. سپس با توجه به شکل نمونه، نمونه‌های آماده شده را توسط سیم فلزی سیم‌بندی نمایید و یا در داخل سبد فلزی که برای کوره حمام نمک طراحی شده قرار دهید و توسط مشعل تا دمای حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد پیش گرم نمایید تا هنگام وارد کردن قطعات به داخل حمام نمک مذاب خطر پاشش وجود نداشته باشد. پس از ذوب شدن حمام نمک و رسیدن دما به دمای مورد نظر سبد فلزی یا قطعات سیم بندی شده را با رعایت اصول ایمنی داخل حمام نمک آویزان نموده و زمان آستنیته کردن را اعمال نمایید. پس از سپری شدن زمان آستنیته نمونه‌ها را از داخل سبد فلزی خارج نموده و در محیط‌های سردکننده مورد نظر قرار دهید. پس از سرد شدن نمونه‌ها در محیط کوئنچ نمونه‌ها را از مخزن خارج کرده و نمونه‌های حاوی نمک را شستشو دهید و یک طرف نمونه‌ها را سنباده زده و برای اندازه‌گیری سختی و متالوگرافی آماده نمایید. پس از انجام مراحل فوق هنرجویان را به آزمایشگاه برده و سختی نمونه شاهد و نمونه‌های سرد شده در محیط‌های مختلف را توسط سختی‌سنج راکول اندازه‌گیری نموده و از هنرجویان بخواهید دلایل اختلاف سختی را در قالب یک گزارش کار به شما تحویل نمایند و به پرسش‌های کتاب پاسخ دهند.

فعالیت کارگاهی ۷

بررسی اثر ترکیب شیمیایی فولاد بر روی میزان سختی در محیط کوئنچ یکسان

برای انجام این فعالیت ابتدا از هنرجویان بپرسید ترکیب شیمیایی فولاد چه تأثیری در ریزساختار و سختی آنها دارد. سپس تأثیر درصد کربن و عناصر آلیاژی را به‌طور مختصر بر سختی و ریز ساختار فولاد شرح دهید. با توجه به فعالیت کتاب از هنرجویان بخواهید ترکیب شیمیایی فولادهای CK۴۵، SPK و St۳۷ را از کتاب همراه هنرجو استخراج کرده و یادداشت نمایند. هنرجویان را به کارگاه برده و به گروه‌های پنج نفره تقسیم کرده و هر گروه سه نمونه از فولادهای ذکر شده تهیه نمایند و بقیه مراحل را مطابق مراحل مدون شده در کتاب اجرا نمایید و در آخر از هنرجویان بخواهید نتایج سختی هریک از فولادها را در جدول کتاب یادداشت نموده و با توجه به نتایج سختی و ترکیب شیمیایی به پرسش‌های آخر فعالیت کارگاهی پاسخ دهند.

دانش‌افزایی

تأثیر عناصر آلیاژی بر فولاد

کربن: کربن مهم‌ترین و مؤثرترین عنصر آلیاژی در فولادها می‌باشد و بالاترین تأثیر را در ساختار آن دارد. هر فولاد آلیاژ شده علاوه بر کربن عناصر آلیاژی دیگری نظیر سیلیسیم، منگنز، فسفر و گوگرد را به همراه خواهد داشت به‌طوری که این عناصر به شکلی ناخواسته به هنگام فرایند تولید در فولاد باقی خواهند ماند. اضافه‌کردن عناصر آلیاژی برای به‌دست آوردن نتایج مشخص و منحصر به فرد و افزایش کنترل شده منگنز و سیلیسیم در فولاد، فولاد آلیاژی را به‌وجود خواهد آورد. با افزایش میزان کربن، استحکام و سختی‌پذیری فولاد بیشتر می‌شود اما چکش‌خواری و قابلیت جوشکاری و ماشین‌کاری (با استفاده از ماشین‌های برش) کاهش می‌یابد.

سیلیسیم: سیلیسم استحکام فولاد را افزایش می‌دهد و سختی‌پذیری را زیاد می‌کند. همچنین مقاومت سایشی را افزایش می‌دهد. به علت افزایش استحکام تسلیم، عنصر اصلی در فولادهای فنر است. در مقادیر بالای سیلیس، سختی‌پذیری و استحکام فولاد افزایش می‌یابد ولی این افزایش همراه با کاهش شکل‌پذیری و انرژی ضربه است.

کرم: وجود عنصر فوق باعث سختی پذیری فولاد در هوا و روغن می‌باشد. کرم با کاهش سرعت خنک‌سازی بحرانی، به وسیله شکل دادن ساختار مارتنزیتی، قابلیت سخت‌کاری را افزایش می‌دهد. بنابراین سبب بهبود حساسیت‌های سخت‌کاری و بازپخت می‌شود. اما در هر صورت چقرمگی کاهش می‌یابد و از انعطاف‌پذیری یا

شکل‌پذیری فولاد به مقدار کمی کاسته می‌گردد. با اضافه نمودن هر واحد ۱٪ کرم به عنوان یک عنصر کاربیدساز استحکام کششی فولاد به میزان ۱۰۰ـ۸۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع افزایش می‌یابد. کرم به‌عنوان یک عنصر کاربیدساز به‌کار برده می‌شود. کاربیدهای این عنصر کیفیت نگهداری لبه‌ها و مقاومت سایشی را افزایش می‌دهد. کرم موجب مقاومت فولاد در دماهای بالا می‌شود. با افزایش کرم مقاومت در برابر پوسته شدن فولادها نیز بهبود می‌یابد.به طور تقریب حداقل ۱۳٪ کرم مورد نیاز است تا مقاومت خوردگی فولادها نیز بهبود یابد.

خود ارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خودارزیابی	**بلی**	**خیر**
تجهیزات مورد نیاز برای سخت‌کاری در کوره حمام نمک را می‌شناسم.		
سیم‌بندی نمونه‌ها جهت قرار دادن داخل کوره را انجام می‌دهم.		
مزایای سخت‌کاری در کوره حمام نمک را می‌دانم.		
تأثیر درصد کربن بر روی سختی فولاد را می‌دانم.		
چیدن نمونه‌ها در داخل سبد فلزی و پیش‌گرم کردن آنها را انجام می‌دهم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه سختی‌سنج و کوره‌ها جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی و بهداشتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	**نمره دریافتی**
تجهیزات مورد نیاز برای سخت‌کاری در کوره حمام نمک را می‌شناسد.	
سیم‌بندی نمونه‌ها جهت قرار دادن داخل کوره را انجام می‌دهد.	
مزایای سخت‌کاری در کوره حمام نمک را می‌داند.	
تأثیر درصد کربن بر روی سختی فولاد را می‌داند.	
چیدن نمونه‌ها در داخل سبد فلزی و پیش‌گرم‌کردن آنها را انجام می‌دهد.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خودارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خودارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه نوزدهم: تمپر کردن (برگشت)ـ تمپرکردن قطعات سخت کاری شده ـ اثر دمای تمپر در سختی فولادهای سخت کاری شده

واحد یاد گیری : سخت کاری حجمی

برای تدریس این قسمت ابتدا مطالب جلسه گذشته در مورد سخت‌کاری و تشکیل فازهای غیرتعادلی را شرح دهید و سپس توضیح دهید که به علت تنش‌های داخلی ایجاد شده در ضمن سریع سرد شدن (کوئنچ کردن در آب) تقریباً تمامی قطعات سخت شده نسبتاً ترد و شکننده می‌باشند. از این رو فولادها پس از سریع سرد شدن در شرایط سخت شده به‌ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرند. چرا که مارتنزیت تشکیل شده در اثر سریع سرد کردن بسیار سخت و ترد است.

دانش افزایی

به طور کلی انقباض‌ها و انبساط‌هایی که در ضمن عملیات حرارتی در یک قطعه به‌وجود می‌آید، به دو دسته تقسیم می‌شوند. یکی انقباض‌ها و انبساط‌های ناشی از تغییر شبکه بلوری و یا تجزیه یک فاز و تشکیل فاز جدید با حجم ویژه متفاوت (تنش‌های استحاله‌ای)؛ مثلاً تجزیه آستنیت با شبکه بلوری فشرده FCC به فریت ـ سمنتیت یا مارتنزیت که از تراکم کمتری برخوردارند و دیگری انقباض‌ها و انبساط‌های ناشی از سرد و گرم کردن قطعات با ساختاری متشکل از یک یا چند فاز (تنش‌های حرارتی) مثلاً در ضمن سریع سرد شدن قطعات، همواره سطح در مقایسه با نقاط داخلی با آهنگ بیشتری سرد می‌شود. این مسئله، موجب به‌وجود آوردن یک شیب حرارتی بین سطح و مرکز قطعه خواهد شد و بدین ترتیب تنش ایجاد می‌شود. مهم‌ترین اثر تغییرات ابعاد در ضمن عملیات حرارتی ایجاد تنش در قطعه است. در صورتی که تنش حاصل به اندازه کافی زیاد باشد (بیشتر از تنش تسلیم قطعه) می‌تواند موجب تغییر شکل دایمی یا ترک برداشتن آن در ضمن عملیات حرارتی شود.

پس از تشریح مختصر دلایل ایجاد تنش در قطعه از هنرجویان بپرسید چگونه می‌توان مشکل زیر را برطرف کرد و شروع به نحوهٔ برگشت دادن فولاد، مشخصات کوره برگشت، نحوه چیدمان قطعات در داخل سبد و همچنین محدوده دمایی آن را روی دیاگرام آهن ـ کربن نشان دهید و پارامترهای مؤثر بر برگشت (دما و زمان) را توضیح دهید.

زمانی که یک فولاد کوئنچ می‌شود ریزساختار شامل مارتنزیت ناپایدار است. دلایل این ناپایداری عبارت است از :

۱ وجود کربن به صورت فوق اشباع در شبکه کریستالی bct مارتنزیت
۲ انرژی تنشی ناشی از وجود نابجایی‌ها و دوقلویی‌های بسیار زیاد
۳ وجود آستنیت باقیمانده

تغییرات ریزساختار طی عملیات تمپر کردن (برگشت):

سه مرحله جداگانه در طی فرایند **تمپر** رخ می‌دهد که عبارت‌اند از :

۱ تشکیل **کاربیدهای انتقالی** مانند کاربید اپسیلن ε یا کاربید اتا η و کاهش درصد کربن در زمینه ماتنزیتی
۲ تبدیل آستنیت باقی مانده به فریت و سمنتیت
۳ جایگزینی کاربیدهای انتقالی و مارتنزیت کم کربن توسط فریت و سمنتیت

فعالیت کارگاهی ۸

تمپرکردن قطعات سخت کاری شده

در ابتدای انجام فعالیت از هنرجویان سختی قطعات سخت‌کاری شده جلسه قبل و همچنین ریز ساختار آنها را بپرسید و سپس ابزار و تجهیزات مورد نظر برای تمپر کردن نمونه‌های سخت‌کاری شده را مطابق مطالب مدون شده در کتاب فراهم نموده و بقیه مراحل تمپر کردن را مطابق کتاب اجرا نمایید. در پایان پس از سختی سنج نمونه‌های مورد آزمایش از هنرجویان بخواهید اعداد سختی به‌دست آمده را در جدول درج نموده و به پرسش‌های پایانی پاسخ دهند. و برداشتشان را از فعالیت را در قالب گزارش کار تحویل نمایند. در پایان شروع به تجزیه و تحلیل فعالیت کارگاهی پرداخته و دلایل تغییرات سختی و ریزساختاری را برای هنرجویان شرح دهید.

فعالیت کارگاهی ۹

اثر دمای تمپر در سختی فولادهای سخت‌کاری شده

برای انجام این فعالیت ابتدا از هنرجویان بپرسید دمای تمپر کردن فولاد پس از سخت‌کاری بر اساس چه معیاری صورت می‌گیرد. و اگر دمای مورد نظر بیشتر یا کمتر از مقدار بهینه انتخاب شود چه تغییری در خواص فولاد (ریزساختار و سختی) مورد نظر می‌افتد. سپس بر اساس یک اسلاید آموزشی تغییرات ریز ساختاری و سختی را شرح و نشان دهید. سپس هنرجویان را به کارگاه برده و مطالب مدون شده در کتاب را به ترتیب شماره اجرا نمایید و پس از تمپر کردن در دماهای مختلف و اندازه‌گیری سختی آنها از هنرجویان بخواهید جدول موجود در کتاب را پر و به پرسش‌های پایانی پاسخ دهند. و تجزیه و تحلیل خود را در قالب یک گزارش کار به شما ارائه دهند. و در آخر با توجه به نتایج سختی شروع به تشریح نتایج نمایید.

خود ارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خود ارزیابی	بلی	خیر
دلایل برگشت دادن قطعات فولادی را بعد از سخت‌کاری می‌دانم.		
محدوده دمایی تمپر کردن در دیاگرام آهن کربن را می‌دانم.		
عوامل مؤثر بر دما و زمان تمپر را می‌شناسم.		
ابزار و تجهیزات لازم برای تمپر کردن قطعات را می‌شناسم.		
تمپر کردن قطعات سخت‌کاری شده را انجام می‌دهم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی و بهداشتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	نمره دریافتی
دلایل برگشت دادن قطعات فولادی را بعد از سخت‌کاری می‌داند.	
محدوده دمایی تمپر کردن در دیاگرام آهن کربن را می‌داند.	
عوامل مؤثر بر دما و زمان تمپر را می‌شناسد.	
ابزار و تجهیزات لازم برای تمپرکردن قطعات را می‌شناسد.	
تمپر کردن قطعات سخت‌کاری شده را انجام می‌دهد.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خود ارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خود ارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه بیستم: سخت کاری سطحی ــ سخت کردن سطحی فولاد به روش کربن‌دهی جامد

واحد یادگیری: سخت‌کاری سطحی

برای شروع تدریس ابتدا از هنرجویان بپرسید آیا می‌توان سطح قطعات را سخت کرد به‌طوری که مغز قطعه همچنان نرم و چقرمه باقی بماند؟ پس از شنیدن نظرات هنرجویان روش سخت‌کاری سطحی را شرح دهید. و سپس دوباره از هنرجویان بپرسید تفاوت سخت‌کاری سطحی و حجمی چیست و چرا قطعات را سخت‌کاری سطحی می‌کنند.بعد چند مورد از قطعات صنعتی که به روش سخت‌کاری سطحی عملیات حرارتی می‌شوند را در قالب اسلاید به هنرجویان نشان دهید. سپس به هنرجویان توضیح دهید که روش‌های مختلفی برای سخت‌کاری سطحی قطعات وجود دارد و به دو روش تقسیم‌بندی می‌شوند که در روش اول ترکیب شیمیایی سطح قطعه تغییر می‌کند و در روش دوم تغییری در ترکیب شیمیایی قطعه رخ نمی دهد. سپس خود این روش را مطابق کتاب تقسیم‌بندی نمایید و هر کدام از روش‌ها را شرح دهید.

دانش افزایی

فرایندهای تغییر در ترکیب شیمیایی:

کربوره کردن:

برای تدریس این قسمت ابتدا برای هنرجویان شرح دهید که برای ساخت قطعه‌ای با مغز نرم و سطح سخت از این قانون که فولادهای دارای کمتر از ۰/۳ درصد کربن در موقع سخت‌کاری سختی نمی‌گیرند استفاده می‌کنند. بدین منظور ابتدا قطعه مورد نظر را از جنس فولاد کم کربن (CK۱۵) انتخاب می‌کنند تا مغز قطعه نرم باقی بماند و سپس برای سخت کردن قسمت سطح آن فولاد مورد نظر را در دمای بالا در یک محیط کربن ده قرار می‌دهند تا کربن به سطح فولاد نفوذ کند و غلظت کربن در سطح افزایش یابد (ناگفته نماند که به هنرجویان شرح دهید که نفوذ کربن تابع زمان و دما می‌باشد و بیشترین عمق نفوذ ۱/۵ میلیمتر می‌باشد تا هنرجو فکر نکند کربن به کل قطعه نفوذ می‌کند). حال اگر قطعه مزبور را سخت کنیم در سطح مارتنزیت تشکیل شده و بنابراین از سختی زیاد برخوردار خواهد بود. در حالی که مغز آن که همان درصد کم کربن اولیه (۰/۱۵ درصد) را دارا است از تافنس خوبی برخوردار خواهد بود (قبلاً توضیح داده شده که اگر درصد

کربن فولاد کمتر از ۰/۳ درصد باشد سختی نمی گیرد و به همین دلیل هنگام سخت‌کاری چون میزان کربن در سطح به ۱/۲ می‌رسد مارتنزیت تشکیل می‌شود و سطح سخت می‌شود ولی مغز قطعه چون داری ۰/۱۵ درصد کربن می‌باشد سخت نمی شود). به این ترتیب قطعه‌ای ساخته می‌شود که مغز آن را فولاد کم کربن و سطح آن را فولاد پرکربن تشکیل می‌دهد. حال برای هنرجویان شرح دهید که سه روش برای کربن دهی به سطح فولاد کم کربن وجود دارد۱ـ کربن دهی جامد ۲ـ کربن‌دهی مایع ۳ـ کربن‌دهی گازی

فعالیت کلاسی

فولاد مناسب برای کربن‌دهی

از هنرجویان بخواهید ترکیب شیمیایی فولاد سمانته ۷۱۳۱ و ۱۱۴۱ را از کتاب همراه هنرجو استخراج کرده و درباره آن بحث و گفتگو نمایند.

کربوره کردن جامد: برای تدریس این بخش ابتدا به هنرجویان شرح دهید که مواد کربن ده در این روش جامد می‌باشد و سپس مخلوط مواد کربن ده که در جدول شماره ۵ کتاب آورده شده را شرح دهید و توضیح دهید که مواد انرژی‌زا به چه منظور به ترکیب زغال افزوده می‌شود. و همچنین در مورد اندازه پودر زغال و همچنین مواد انرژی‌زا بحث نمایید و شرح دهید که از اندازه ذرات چه تأثیری در روند کربن‌دهی خواهند داشت. سپس از هنرجویان بپرسید به نظر شما قطعات فولادی را چگونه داخل مواد کربن ده قرار دهیم و پس از شنیدن نظرات هنرجویان نحوه چیدمان قطعات در داخل جعبه سمانتاسیون و فاصلهٔ قطعات نسبت به یکدیگر در داخل جعبه سمانته را توضیح دهید و بگویید اگر این فاصله کم یا زیاد باشد چه مشکلاتی خواهند داشت و همچنین از هنرجویان بپرسید قطعاتی که در مرکز جعبه سمانته قرار دارند با قطعاتی که در کناره‌های جعبه سمانته دارند چه تفاوتی خواهند داشت و شکل جعبه سمانته را بر چه اساسی انتخاب می‌نمایند.

مکانیزم کربوراسیون جامد: در این قسمت ابتدا از هنرجویان بپرسید کربن چگونه به سطح قطعه نفوذ می‌کند و در هر ساعت کربن چند میلی‌متر به سطح قطعه نفوذ می‌کند و آیا افزایش دما و زمان عملیات کربن‌دهی تأثیری در روند نفوذ کربن خواهند داشت و پس از شنیدن نظرات هنرجویان به ترتیب به سؤال‌ها پاسخ دهید.

تأثیر دما در کربن‌دهی: سرعت نفوذ کربن با بالا رفتن درجه حرارت شدیداً افزایش می‌یابد. سرعت نفوذ کربن در دمای ۹۲۵ درجه سانتی‌گراد حدود ۴ درصد بیشتر از دمای ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد؛ یعنی در دمای ۸۷۰ درجه عمق نفوذ کربن ۰/۶۴ میلی‌متر است در صورتی که برای همان زمان در دمای ۹۲۵

درجه سانتی‌گراد عمق نفوذ ۰/۸۳ میلی‌متر به‌دست می‌آید.

تأثیر زمان در کربن‌دهی: تغییرات عمق نفوذ برحسب زمان به‌صورت خط راست نیست بلکه شبیه تابع درجه ۲ است. یعنی سرعت نفوذ کربن با طولانی شدن زمان عملیات کند می‌شود. برای مثال برای اینکه عمق نفوذ نسبت به زمان t دو برابر شود باید زمان عملیات تقریباً ۴ برابر افزایش یابد.

فعالیت کارگاهی ۱۰

سخت‌کردن سطحی فولاد به روش کربن‌دهی جامد

برای انجام این عملیات ابتدا به هنرجویان شرح دهید که سرعت کربن‌دهی در این روش معمولاً پایین است و همچنین به دلیل اینکه قطعات به آرامی داخل جعبه سمانتاسیون خنک می‌شوند برای سخت‌کاری، قطعات مجدداً باید گرم شوند یک روش زمان‌بر می‌باشد و درصنعت به ندرت استفاده می‌گردد و معمولاً در قطعات با عمق نفوذ بالا از این روش استفاده می‌کنند و همچنین یکی از محدودیت‌های این روش عدم کنترل دقیق عمق نفوذ کربن می‌باشد. پس از توضیح موارد فوق هنرجویان را به کارگاه برده ابتدا ترکیب مواد کربن‌ده را مطابق جدول کتاب توزین کرده و مخلوط نمایید و سپس به هنرجویان نحوه قرارِ دادن نمونه‌ها را در جدول سمانته و کوبش مواد کربن ده را شرح دهید و حتماً اشاره کنید که اگر مقدار کوبش کم باشد کربن به‌خوبی به سطح قطعه نفوذ نمی‌کند. همچنین فاصله بین نمونه‌ها رعایت شود تا سختی غیر یکنواخت به‌دست نیاید و در آخر باید تمامی درزهای جعبه با خاک رس بسته شوند تا گازهای کربن ده خارج نشوند. کوره را روشن نموده به دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید و جعبه سمانته را داخل کوره قرار دهید و به هنرجویان توضیح دهید که در این روش به ازای یک ساعت معمولاً ۰/۱ میلی‌متر نفوذ کربن را داریم. در این روش اگر قطعات به‌طور مستقیم بعد از انجام نفوذ کربن از دمای بالاکوئنچ شوند امکان شکسته شدن آنها در ضمن سرد شدن (افزایش اندازه دانه‌های آستنیت) یا کاهش سختی بسیار زیاد است. به همین دلیل قطعات به آرامی داخل جعبه سرد می‌شوند. و پس از سرد شدن نمونه‌ها بقیه مراحل را مطابق کتاب اجرا نموده و سختی سطح و مغز را اندازه‌گیری نمایید. و به هنرجویان بفرمایید که جداول موجود در کتاب را کامل و به پرسش‌های پایانی پاسخ دهند. و همچنین می‌توانید هنرجویان را به آزمایشگاه متالوگرافی برده و پس از آماده‌سازی سطح زیر میکروسکوپ عمق نفوذ کربن را اندازه‌گیری نمایید.

خود ارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خودارزیابی	بلی	خیر
تفاوت سخت‌کاری حجمی و سطحی را می‌شناسم.		
دلایل سخت‌کاری سطحی قطعات را می‌دانم.		
روش‌های سخت‌کاری سطحی را می‌دانم.		
فولادهای مناسب جهت کربوره کردن را می‌شناسم.		
نحوه قرار دادن قطعات در جعبه سمانته و کوبش مواد کربن ده را انجام می‌دهم.		
کربن‌دهی به روش جامد را در جعبه سمانته انجام می‌دهم.		
مزایا و محدودیت کربن‌دهی به روش جامد را می‌دانم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی و بهداشتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	**نمره دریافتی**
تفاوت سخت‌کاری حجمی و سطحی را می‌شناسد.	
دلایل سخت‌کاری سطحی قطعات را می‌داند.	
روش‌های سخت‌کاری سطحی را می‌داند.	
فولادهای مناسب جهت کربوره کردن را می‌شناسد.	
نحوه قرار دادن قطعات در جعبه سمانته و کوبش مواد کربن ده را انجام می‌دهد.	
کربن‌دهی به روش جامد را در جعبه سمانته انجام می‌دهد.	
مزایا و محدودیت کربن‌دهی به روش جامد را می‌داند.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خودارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خودارزیابی هنرجو	
جمع	

جلسه بیست و یکم: کربوره کردن مایع سخت‌کاری سطحی به کمک عملیات حرارتی موضعی ـ سخت کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

واحد یادگیری: سخت‌کاری سطحی

برای تدریس این قسمت ابتدا مطالب جلسات گذشته را یادآور شده و محدودیت روش کربن‌دهی جامد را به هنرجویان شرح دهید. سپس مزایای کوره‌های حمام نمک و ترکیب حمام نمک و اینکه سیانید سدیم عامل کربن زا می‌باشد را طبق مطالب مدون شده در کتاب توضیح دهید.

دانش افزایی

مزایا و محدودیت روش کربن‌دهی به روش مایع:

دو مزیت اصلی این نوع کربن دهی مشهود است: ۱ـ کربن‌دهی موضعی بدون توقف روند عملیات است. برای مثال با استفاده از فیکسچر مناسبی می‌توان قسمت انتهایی شفت یا قطعه را در نمک فروبرده و بعد از انجام کربن‌دهی آن را سریع سرد کرد. این حالت در روش‌های دیگر امکان‌پذیر نیست. ۲ـ کربن‌دهی قطعات مختلف به‌طور هم‌زمان امکان‌پذیر است. در این روش می‌توان قطعاتی با شکل و اندازه‌های مختلف و عمق نفوذ متفاوت را عملیات نمود. یکی از معایب کربن‌دهی مایع ضرورت شستشوی بعد از کوئنچ است. دیگر اینکه نمک چسبیده به قطعات گرم موجب آلودگی حمام کوئنچ می‌شود. برای قطعاتی که دارای سوراخ‌های کوچک و سطوح شیاردار هستند به دلیل مشکلاتی که در تمیزکردن آنها وجود دارد، این روش توصیه نمی‌شود.

فعالیت کارگاهی ۱۱

کربوره کردن مایع در کوره حمام نمک

برای تدریس این بخش ابتدا تجهیزات و ابزار موردنیاز ذکر شده در کتاب را آماده نمایید و سپس فعالیت را طبق مراحل گفته شده در کتاب به ترتیب اجرا نمایید. و در حین انجام فعالیت نکات ایمنی و فنی را برای هنرجویان متذکر شوید.پس از پایان انجام فعالیت از هنرجویان بخواهید جداول درج شده کتاب را کامل و به پرسش‌های پایانی پاسخ دهند.

کربن‌دهی گازی:

در این قسمت بهتر است فیلمی در مورد کربن‌دهی قطعات فولادی به روش گازی را تهیه کنید و برای هنرجویان به نمایش بگذارید. سپس مزایا و محدودیت دو

روش قبلی کربن‌دهی مایع و کربن‌دهی گازی را برای هنرجویان شرح دهید و سپس توضیح دهید که اکنون کوره‌های کربن‌دهی گازی بیشترین کاربرد را در صنعت کنونی دارد و این روش به عنوان اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است و در این روش می‌توان کنترل دقیقی روی عمق نفوذ کربن داشت. سپس گازهای مورد استفاده در این کوره‌ها را طبق مطالب مدون شده در کتاب شرح دهید.

سخت‌کردن شعله‌ای: قبل از تدریس سخت‌کردن شعله‌ای ابتدا مطالب جلسات گذشته (روش‌های سخت‌کردن سطحی) را به هنرجویان یادآوری کنید و سپس از هنرجویان بپرسید اگر بخواهیم بدون تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد یا بدون کربن‌دهی، قسمتی از سطح فولاد را سخت کنیم چگونه می‌توان این کار را انجام داد و چه فولادهایی برای این کار مناسب هستند و همچنین بپرسید اگر بخواهیم قسمتی از سطح را به‌طور موضعی سخت کنیم چه روشی را پیشنهاد می‌کنید و سپس شروع به تشریح عملیات حرارتی موضعی نمایید و روش‌های آن را شرح دهید و ابزار و قطعاتی مانند میل لنگ، میل بادامک و پیچ گوشتی را که توسط این روش سخت‌کاری می‌شوند برای هنرجویان نام ببرید.

دانش‌افزایی

سخت‌کاری سطحی به کمک عملیات حرارتی موضعی: در این روش مغز و سطح قطعه دارای ترکیب شیمیایی یکسان بوده و تنها عملیات حرارتی سخت کردن است که در سطح متمرکز می‌شود. از آنجایی که سطح باید به اندازهٔ کافی کربن جهت سخت شدن داشته باشد این عملیات معمولاً بر روی فولادهای کربنی که ۰/۵ تا ۰/۳۵ درصد کربن داشته باشند، اعمال می‌شود. همچنین فولادهای کم آلیاژ را که دارای حداکثر ۱ درصد کرم و در حدود ۰/۲۵ درصد مولیبدن و ۰/۵ درصد نیکل باشند، از این طریق سخت‌کاری سطحی می‌کنند. در این روش تنش‌های فشاری حاصل از مارتنزیت شدن لایهٔ سطحی استحکام خستگی قطعه را افزایش می‌دهد. برای به‌دست آوردن ساختمان و خواص مکانیکی مناسب در مغز قطعاتی که باید به روش عملیات حرارتی موضعی سخت شوند، ابتدا آنها را کوئنچ و تمپر کرده و یا نرماله می‌کنند. سپس با حرارت دادن موضعی سطح قطعات را آستنیته و بلافاصله کوئنچ می‌کنند. بنابراین در حالی که درصد کربن قطعه در تمام نقاط ثابت و در حدود ۰/۴ درصد است مغز قطعه مارتنزیت تمپرشده و یا مخلوطی از فریت و پرلیت با تافنس ضربه خوب بوده و سطح آن مارتنزیت با سختی نسبتاً

بالا می‌باشد. سطح و مغز در قطعات فوق معمولاً توسط یک لایه بینیتی از یکدیگر جدا شده و به این ترتیب احتمال پوسته شدن را به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد. عملیات سخت کردن سطح به کمک حرارت دادن موضعی به دو روش امکان‌پذیر است: یکی سخت کردن شعله‌ای و دیگری سخت‌کردن القایی.

فعالیت کارگاهی ۱۲

سخت‌کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

پس از تشریح سخت کاری شعله‌ای مطابق مطالب تدوین شده درکتاب هنرجویان را به کارگاه برده و یک میله فولادی را انتخاب نموده و طبق فعالیت بقیه مراحل را به ترتیب انجام دهید.

سخت کردن القایی: قبل از توضیح این قسمت بهتر است یک فیلم از روش اینداکشن تهیه نموده و به هنرجویان نشان دهید و سپس به هنرجویان شرح دهید که کویل‌های القایی با توجه به شکل قطعه مورد نظر انتخاب می‌شوند. و در حال حاضر این روش بیشترین کاربرد را در سخت‌کاری موضعی در صنعت دارد.

خود ارزیابی توسط هنرجو		
مؤلفه‌های خود ارزیابی	بلی	خیر
مزایا و محدودیت روش کربن دهی به روش مایع را می‌دانم.		
ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای کربن دهی مایع را می‌شناسم.		
کربن‌دهی به روش مایع را انجام می‌دهم.		
روش‌های سخت‌کاری موضعی را می‌شناسم.		
مزایای کربن‌دهی به روش گازی را می‌دانم.		
سخت‌کاری سطحی به روش شعله‌ای را انجام می‌دهم.		
نحوه سخت‌کاری به روش اینداکشن را می‌دانم.		
در حفاظت از ابزار و دستگاه جدیت دارم.		
نکات ایمنی حفاظتی و بهداشتی را انجام می‌دهم.		
تعداد جواب‌های بلی		

ارزشیابی توسط هنرآموز	
مؤلفه‌های ارزشیابی	**نمره دریافتی**
مزایا و محدودیت روش کربن‌دهی به روش مایع را می‌داند.	
ابزار و تجهیزات مورد نیاز برای کربن‌دهی مایع را می‌شناسد.	
کربن‌دهی به روش مایع را انجام می‌دهد.	
روش‌های سخت‌کاری موضعی را می‌شناسد.	
مزایای کربن‌دهی به روش گازی را می‌داند.	
سخت‌کاری سطحی به روش شعله‌ای را انجام می‌دهد.	
نحوه سخت‌کاری به روش اینداکشن را می‌داند.	
در حفاظت از ابزار جدیت دارد.	
نکات ایمنی حفاظتی را انجام می‌دهد.	
به اخلاق حرفه‌ای آگاهی دارد.	
صحت خود ارزیابی هنرجو	
میزان مؤثر بودن در کار گروهی	
نمره خود ارزیابی هنرجو	
جمع	