پودمان سوم

سخت‌کاری

واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی سخت‌کاری حجمی

یکی از روش‌های عملیات حرارتی، سخت‌کاری می‌باشد. با این عملیات سختی و استحکام سایشی و خستگی مواد افزایش می‌یابد. ابزارهای براده‌برداری و ابزارهایی که نیاز به تحمل بارهای سایشی را دارند توسط این روش سخت می‌شوند.
در این واحد یادگیری، انواع روش‌های سخت‌کاری و نحوه سخت‌کاری انواع فولادها و تجهیزات مورد استفاده در عملیات حرارتی سخت‌کاری توضیح داده شده و به‌صورت عملی انجام داده خواهد شد.

استاندارد عملکرد کار

با استفاده از کوره عملیات حرارتی و دیگر تجهیزات، عملیات سخت‌کاری کامل براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مرتبط صورت می‌گیرد.

پیش‌نیاز

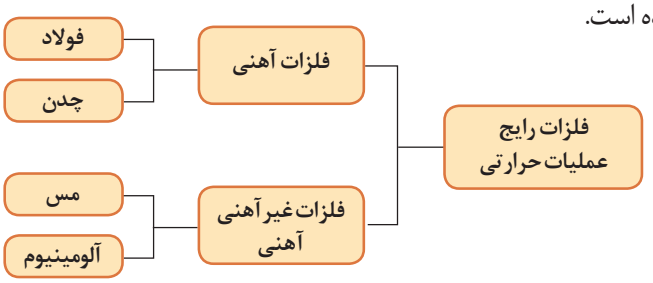
آشنایی با انواع فولادها، دیاگرام آهن ـ کربن، متالوگرافی

عملیات حرارتی

پرسش

عملیات حرارتی چیست و چگونه انجام می‌گیرد؟

در حالت کلی به گرم و سرد کردن فلزات در حالت جامد به منظور دستیابی به خواص مکانیکی مطلوب را عملیات حرارتی می‌گویند. عملیات حرارتی در تمامی صنایع خودرو سازی، ماشین‌سازی، هوا و فضا، ریخته‌گری، شکل دادن، جوشکاری، متالورژی پودر و صنایع دفاعی و نظامی کاربرد دارد. شکل ۱ فلزات رایج و مورد استفاده در عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. ولی با توجه به خواص شگفت‌انگیز فولاد و کاربرد صنعتی آن بیش از ۸۰ درصد عملیات حرارتی به فولاد اختصاص داده شده است.



شکل ۱

اهداف عملیات حرارتی:

به‌طور کلی اهداف مورد نظر از انجام عملیات حرارتی را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد:

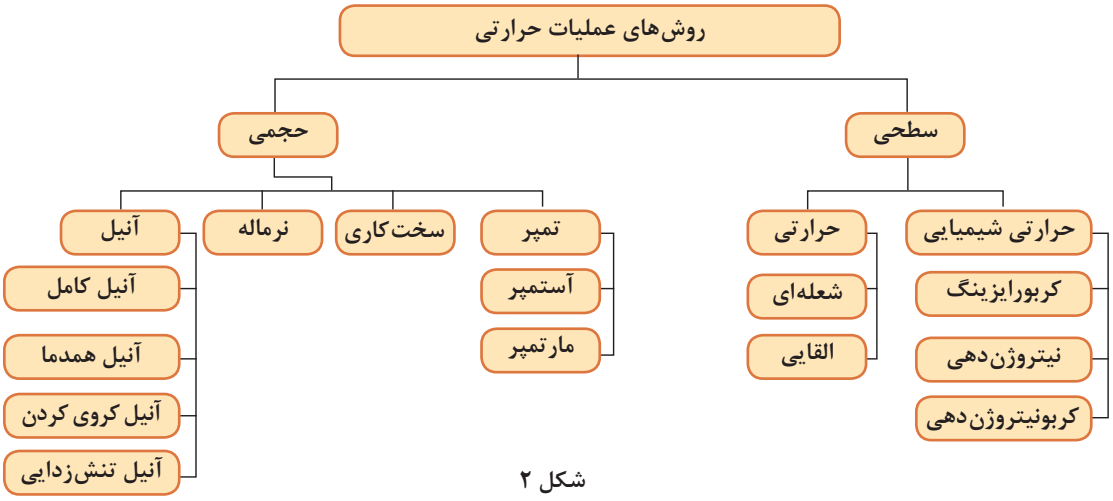
۱ افزایش سختی و استحکام

۲ نرم شدن و قابلیت شکل‌پذیری

۳ برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعات (حذف تغییرات ایجاد شده در ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین‌کاری و غیره)

روش‌های عملیات حرارتی:

روش‌های مختلفی برای عملیات حرارتی به منظور اهداف خاص صورت می‌گیرد که در شکل ۲ نشان داده شده است که همه موارد به تفصیل توضیح داده خواهد شد.



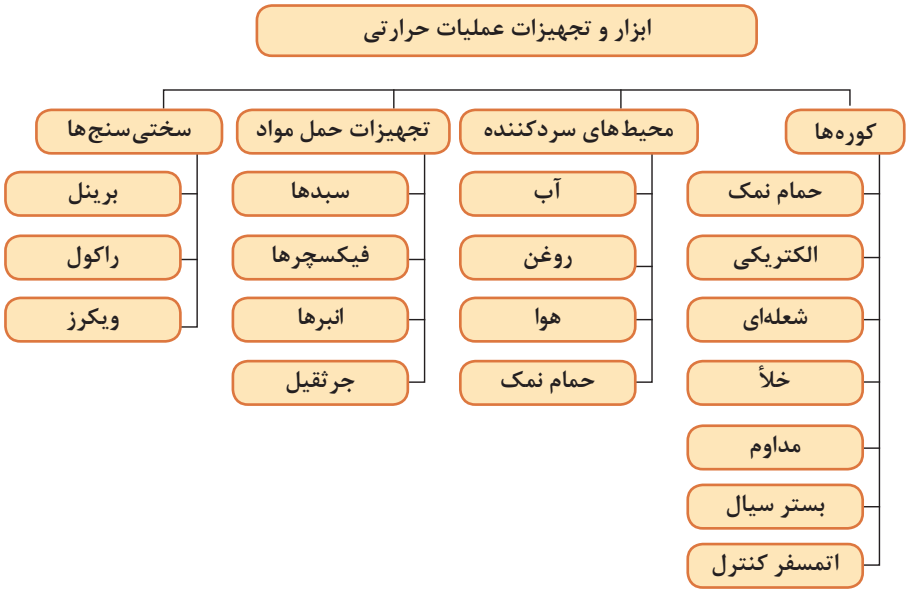
شکل ۲

ابزار و تجهیزات مورد نیاز در عملیات حرارتی

به صورت بحث گروهی نام ابزار و تجهیزات را بیان کنید و کاربرد آنها را بنویسید.

تصویر			
نام			
کاربرد			
تصویر			

شکل ۳ـ ابزار و تجهیزات مورد استفاده جهت انجام عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۳

کوره‌های عملیات حرارتی

یک کارگاه عملیات حرارتی با توجه به نیاز می‌تواند کوره‌های مختلفی داشته باشد. کوره‌ها از نظر ابعاد، اتمسفر و نوع کارآیی متفاوت می‌باشند که انتخاب هر یک از این کوره‌ها با توجه به شرایط تولیدی و نوع قطعات می‌باشد. انواع کوره‌های عملیات حرارتی عبارت‌اند از:

۱ **کوره‌های حمام نمک:** در ساده‌ترین حالت این کوره‌ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطه ذوب پایین و المنت‌های حرارتی غوطه‌ور در آن می‌باشند. این نوع حمام‌ها فقط برای محدوده حرارتی (۱۷۵ ـ ۳۴۵°C) به‌کار برده می‌شوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته‌تری لازم است. شکل ۴ـ الف نوع کوره پاتیلی گاز سوز (شعله‌ای) را نشان می‌دهد این کوره‌ها برای گرم کردن قطعات تا دمای ۹۰۰°C قابل استفاده است.برای دماهای بالاتر نیز می‌توان از این کوره‌ها استفاده کرد، ولی باید توجه داشت که در این صورت پاتیل و دیگر متعلقات به دلیل تماس مستقیم با محیط اکسیدکننده خیلی زود تخریب خواهند شد. کوره‌ای که در شکل ۴ـ ب نشان داده شده است از نوع الکتریکی (مقاومتی) بوده و به دلیل اینکه در این کوره پاتیل مستقیماً با المنت‌ها تماس دارد برای استفاده در دماهای بالا عمر کوتاهی دارند و برای قطعات ریز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

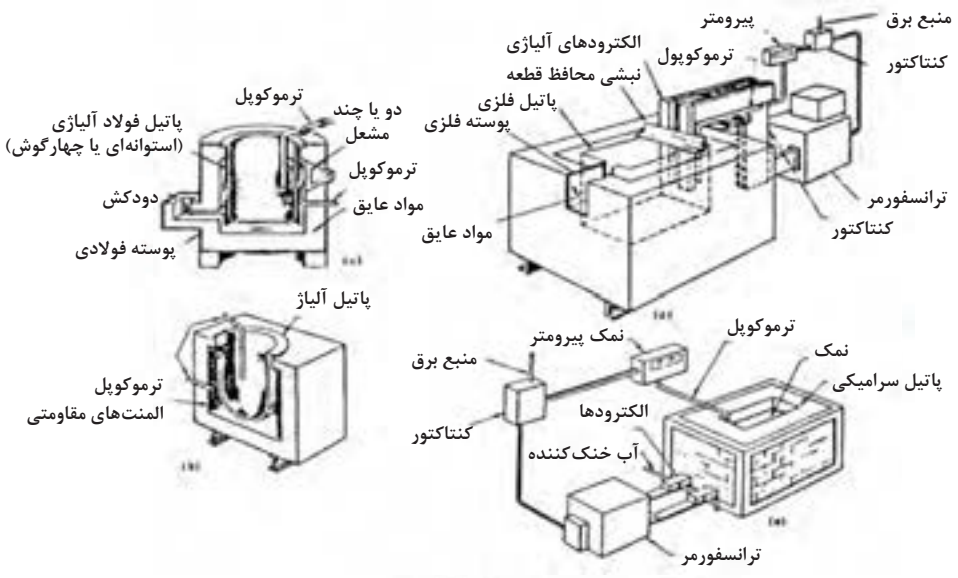
بسیاری از حمام‌های نمک که در محدوده حرارتی (۷۶۰ تا ۱۲۶۰°C) به‌کار می‌روند مشابه کوره‌های نشان داده شده در شکل‌های ۴ـ ج و ۴ـ د هستند. این کوره‌ها به ترتیب از نوع المنت غوطه‌ور و کف خوابیده می‌باشند. در هر دو نوع مقاومت نمک در برابر جریانی از یک الکترود به الکترود دیگر باعث گرم شدن آن می‌گردد. این حالت باعث به‌هم خوردن مذاب و در نتیجه یکنواختی دمای حمام می‌شود. از معایب کوره‌ها با الکترود غوطه‌ور در مذاب این است که الکترودها از قسمتی که در بالای مذاب قرار گرفته‌اند در اثر حرارت معیوب می‌شوند که این مسئله در نوع کف خوابیده وجود ندارد. از جمله خصوصیات کوره‌های حمام نمک انتقال حرارت سریع به قطعه و کاهش زمان آستنیته کردن قطعات است. همچنین به دلیل این که نمک مورد استفاده خنثی است. باعث جلوگیری از تغییر ترکیب شیمیایی قطعه می‌شود. از جمله مشخصات دیگر این کوره‌ها حفاظت سطحی قطعه و جلوگیری از پیچش و تاب برداشتن آن است. این فرایند، فرایندی سریع با انتقال حرارت یکنواخت و بازده بالا است. حمام‌های نمک در بسیاری از عملیات حرارتی از جمله، سخت کردن عمومی و تمپر کردن قطعات به‌کار می‌روند.

در انتخاب یک نمک برای شرایط کاری خاص باید به نکات زیر دقت داشت:

- بایستی محدوده دمایی کاری مناسب با توجه به دمای مورد نیاز داشته باشد.
- نقطه ذوب مناسبی داشته باشد تا مانع از طولانی شدن زمان ذوب و گرمای لازم برای ذوب گردد.
- نمک به‌کار رفته باید با سایر نمک‌ها و سوخت‌هایی که در فرایند عملیات حرارتی مورد نظر به‌کار می‌روند سازگار باشد.
- نمک مورد نظر باید قابلیت جایگزینی و تغییر را داشته باشد.
- باید به آسانی شسته شود تا بتوان لایه ایجاد شده بر روی سطح قطعه را بعد از عملیات حرارتی به راحتی با شست‌وشو از بین برد.

شکل ۴ انواع کوره‌های حمام نمک و جدول ۱ مشخصات تعدادی از نمک‌های خنثی مورد استفاده در عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.

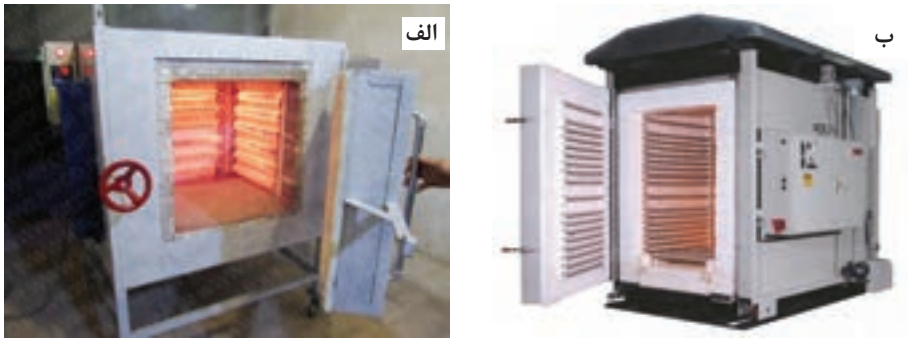
جدول ۱ ـ مشخصات نمک‌های مورد استفاده در حمام نمک					
ردیف	نوع نمک	فرمول شیمیایی	درصد وزنی	درجه حرارت ذوب °C	درجه حرارت کاری °C
۱	کلرید سدیم کربنات سدیم	$NaCl$ Na_2CO_3	۵۰ ۵۰	۵۶۵	۵۹۰ ـ ۹۰۰
۲	کلرید سدیم کلرید کلسیم	$NaCl$ $CaCl_2$	۵۰ ۵۰	۵۹۰	۶۳۰ ـ ۸۵۰
۳	کلرید سدیم کلرید باریم	$NaCl$ $BaCl_2$	۲۰ ۸۰	۶۳۵	۶۷۵ ـ ۱۰۶۰
۴	کلرید سدیم کلرید پتاسیم	$NaCl$ KCl	۴۵ ۵۵	۶۶۰	۶۷۵ ـ ۹۰۰
۵	نیترات پتاسیم نیترات سدیم	KNO_3 Na_2CO_3	۵۵ ۴۵	۱۵۳	۱۷۰ ـ ۵۰۰
۶	کربنات سدیم	Na_2CO_3	۱۰۰	۳۲۲	۳۵۰ ـ ۷۰۰
۷	کربنات پتاسیم	K_2CO_3	۱۰۰	۳۶۰	۴۰۰ ـ ۶۵۰
۸	کربنات سدیم کربنات پتاسیم	Na_2CO_3 K_2CO_3	۳۷ ۶۳	۱۵۹	۱۸۰ ـ ۳۵۰



شکل ۴ـ انواع کوره‌های حمام نمک، الف) کوره پاتیلی گاز سوز، ب) کوره با گرمایش مقاومتی، ج) کوره با الکترود غوطه ور، د) کوره با الکترود کف خوابیده.

۲ کـوره الکتریکـی: در ایـن کوره‌هـا گرمـای لازم جهـت آسـتنیته کـردن قطعـات از المنت‌هـا تأمیـن می‌شـود در بیشـتر کوره‌هـا المنت‌هـا در داخـل کـوره قـرار دارد. ولـی در بعضـی کوره‌هـا المنت‌هـا در زیـر دیرگـداز (نسـوز) کـوره قـرار دارند. اصـولا قرارگیـری المنت‌ها در زیـر دیرگداز (نسـوز) کوره باعـث افزایش کارکـرد آنهـا می‌شـود زیـرا درصورتی‌کـه المنت‌هـا در محفظـه اصلـی قـرار گیرند، امـکان برخـورد قطعات بـه ایـن المنت‌هـا وجـود دارد و ایـن باعث آسـیب رسـاندن بـه المنت‌ها می‌شـود. جهـت یکنواختی بیشـتر دمـای کـوره بهتـر اسـت در تمامـی دیواره‌هـای کـوره المنـت قرارگیـرد. کوره‌هـای الکتریکـی بـه دوگونـه مختلـف تقسـیم‌بندی می‌شـوند:

الف) کوره‌های هوا در گردش: در این کوره‌ها یک فن گردش هوا در قسمت سقف کوره قرار گرفته است حضور این فن باعث یکنواخت شدن دما در کلیه قسمت‌های کوره می‌شود.
ب) کوره‌های بدون فن: در این کوره‌ها فن گردش هوا وجود ندارد بنابراین یکنواختی دما در حد کوره‌های قبلی نمی‌باشد شکل ۵ نمونه‌هایی از کوره‌های الکتریکی عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۵ـ انواع کوره‌های الکتریکی، الف) بدون فن، ب) فن‌دار

شکل ۶ـ کوره شعله‌ای

۳ کوره‌های شعله‌ای (سوخت گاز): در این نوع کوره‌ها محفظه گرمایی و قطعاتی که باید عملیات حرارتی شوند توسط شعله گرم می‌شوند. شکل ۶ نمونه‌ای از این کوره را نشان می‌دهد.

شکل ۷ـ کوره خلأ

۴ کوره خلأ: گرم کردن قطعات در کوره‌های خلأ روش جدیدی است که در کارهای متالورژی توسعه یافته است. این کوره‌ها که هوای محفظهٔ حرارتی آنها تا حد خلأ، تخلیه می‌شود اساساً برای عملیات حرارتی پیشرفته و موارد خاص که نیاز به حفظ ترکیب شیمیایی است به‌کار می‌روند. در شکل ۷ نمونه‌ای از این نوع کوره نشان داده شده است.

۵ کوره‌ها با اتمسفر کنترل شده: برای رسیدن به بهترین خواص و حداقل آسیب به سطح قطعات نیاز به استفاده از اتمسفر محافظ در محیط کوره می‌باشد. با توجه به اینکه فولادها دردمای بالا آمادگی لازم جهت اکسیداسیون را دارد درصورتی‌که کوره دارای اتمسفر محافظ نباشد در حین عملیات حرارتی سطح قطعه به شدت پوسته کرده و سیاه می‌شود. برای جلوگیری از این مشکل از اتمسفر محافظ استفاده می‌شود. انواع گازهای محافظ عبارت‌اند از: ۱ـ گاز خنثی ۲ـ گاز گرمازا (اگزوترمیک) ۳ـ گاز گرماگیر (اندومتریک) شکل ۸ نمونه‌ای از این نوع کوره را نشان می‌دهد.

شکل ۸ــ کوره با اتمسفر کنترل شده

۶ **کوره‌هـای مـداوم:** در بسـیاری از کارخانجـات و صنایـع، کوره‌هـای عملیـات حرارتی به دو نـوع مداوم و غیـر مـداوم تقسـیم‌بندی می‌شـوند. کوره‌هـای غیـر مـداوم یـا تـک شـارژ بـه کوره‌هایـی اطلاق می‌شـود کـه بعـد از شـارژ مـواد و بسـته شـدن درب کـوره، سـیکل از پیـش تعییـن شـده عملیـات اجرا می‌گـردد. و کوره‌هـای مـداوم اساسـاً کوره‌هایـی هسـتند کـه در آنها مـواد از یک طرف شـارژ و عملیـات حرارتی صورت می‌گیـرد و از طـرف دیگـر تخلیـه می‌شـوند و اکثـراً بـرای عملیـات حرارتـی قطعات ریـز مانند پیـچ و مهره اسـتفاده می‌گـردد. بـه همیـن دلیـل این کوره برای عملیات انبوهی از قطعات مشـابه مناسـب اسـت. شـکل ۹ نمونـه‌ای از ایـن کـوره را نشـان می‌دهد.

شکل ۹ــ کوره عملیات حرارتی مداوم

کوره حمام نمک آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد؛

۲ اتمسفر کوره: معمولی؛

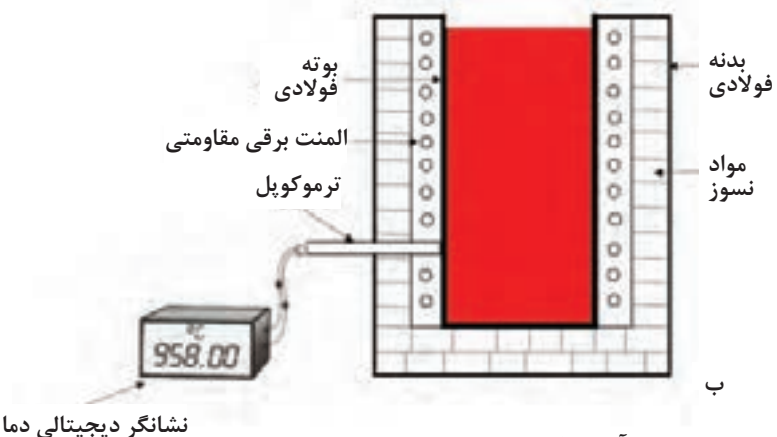
۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛

۴ سیسـتم کنتـرل دمـا: دیجیتالـی، در اکثـر کوره‌هـای عملیـات حرارتی دما توسـط ترموکوپلـی که داخل کـوره بـا یـک غلاف قرار داده شـده اسـت، اندازه‌گیری شـده و در یک صفحه دیجیتال نشـان داده می‌شـود.

۵ سیستم کنترل زمان: دستی

شکل ۱۰ یک کوره آزمایشگاهی حمام نمک را نشان می‌دهد.

الف



ب

شکل ۱۰ــ الف) کوره حمام نمک آزمایشگاهی، ب) شماتیک کوره حمام نمک

کوره الکتریکی آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد؛

۲ اتمسفر کوره: معمولی؛

۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنت‌های حرارتی در داخل یا بین دو جداره نسوز این کوره‌ها قرار گرفته‌اند؛

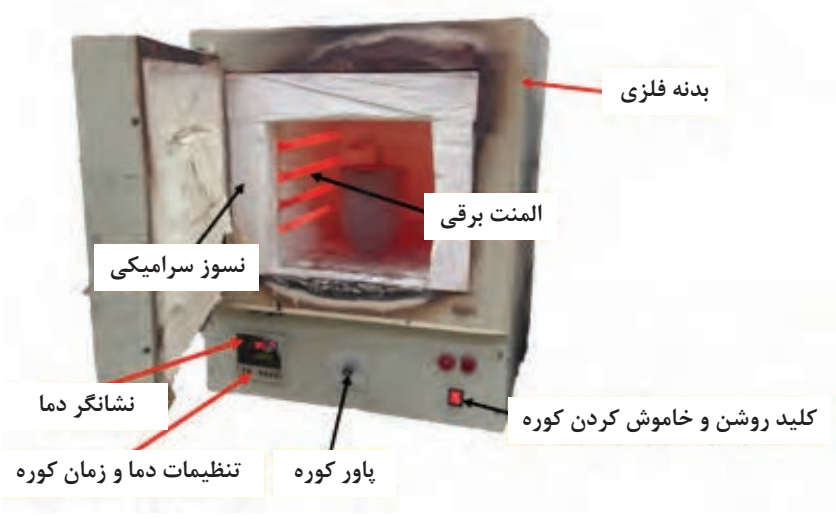
۴ سیستم گردش هوا: بدون فن؛

۵ سیستم درب: دستی؛

۶ سیستم کنترل دما: دیجیتالی؛

۷ گاز ورودی: جهت جلوگیری از اکسیداسیون سطح قطعات در حین عملیات می‌توان از گاز خنثی (آرگون) استفاده کرد.

شکل ۱۱ قسمت‌های مختلف یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱ــ کوره مقاومتی آزمایشگاهی

فعالیت کارگاهی ۱

راه اندازی کوره الکتریکی

با رعایت اصول ایمنی، کوره موجود در آزمایشگاه را روشن کرده و به دمای ۸۰۰ °C تنظیم نمایید.

نکات ایمنی

۱ قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.
۲ هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.
۳ از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل نمایید.
۴ حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضدآتش استفاده نمایید.

محیط‌های سردکننده

در عملیات حرارتی جهت سرد کردن با سرعت کنترل شده برای رسیدن به ریز ساختار غیر تعادلی، قطعات را در محیط‌های خنک‌کننده مختلف قرار می‌دهند. برای رسیدن به ریز ساختارهای غیر تعادلی حجم مخزن خنک‌کننده باید متناسب با تعداد و اندازه قطعات مورد نظر انتخاب گردد به‌طوری که هنگام وارد کردن قطعه یا قطعات داغ به داخل آن دمای مایع خنک‌کننده تغییرات زیادی نداشته باشد. مهم‌ترین محیط‌های سردکننده به ترتیب شدت خنک‌کنندگی عبارت‌اند از:

آب: یکی از متداول‌ترین محیط‌های سردکننده آب می‌باشد. بیشترین قدرت سردکنندگی آب در درجه حرارت بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. یادآوری می‌شود که با افزایش درجه حرارت تا بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد، قدرت سردکنندگی آب به شدت کاهش می‌یابد. با اضافه کردن ۱۰ درصد کلرید سدیم (نمک طعام) و یا بی کربنات دو سود (جوش شیرین) به آب قدرت سردکنندگی آب به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. و از طرفی شدت تلاطم نیز روی شدت سردکنندگی محیط مؤثر می‌باشدو باعث افزایش شدت سردکنندگی می‌شود. زیرا موجب شکستن بخار آب حاصله و دور شدن حباب‌های بخار از اطراف قطعه می‌گردد. در حالت کلی در فولادهای ساده کربنی جهت سرد کردن سریع (Quenching) و رسیدن به ساختارهای سخت می‌توان از محیط‌های آبی استفاده کرد. شکل ۱۲ مخزن آب را نشان می‌دهد.

شکل ۱۲ـ مخزن آب

روغـــن: روغـن نسـبت بـه آب محیط سـردکننده مناسـب‌تری اسـت. زیـرا سـرعت سـردکنندگی ملایم‌تری دارد. بـه همیـن دلیـل اسـتفاده از آن به عنوان محیط سـردکننده بـرای فولادهای آلیاژی تا آلیاژ متوسـط در ضخامت‌هـای کـم اسـتفاده می‌شـود. در واقـع روغن‌های عملیـات حرارتی روغن‌هـای صنعتی بـا پایه معدنی هسـتند کـه بـه عنـوان سـیال خنک‌کننـده در عملیـات سـخت‌کاری فلـزات مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد.
روغن‌هـای عملیـات حرارتـی بایـد دارای ویژگی‌های زیر باشـند:

۱ نقطه اشتعال بالا
۲ تبخیر پایین
۳ پایداری حرارتی بالا و مقاوم در مقابل اکسیداسیون
۴ خاصیت خنک کنندگی یکنواخت
۵ فاقد عوامل ایجاد خوردگی در سطح قطعه باشد
۶ ویسکوزیته مناسب.

شکل ۱۳ مخزن روغن برای سریع سرد شدن قطعات را نشان می‌دهد.

شکل ۱۳ـ مخزن روغن

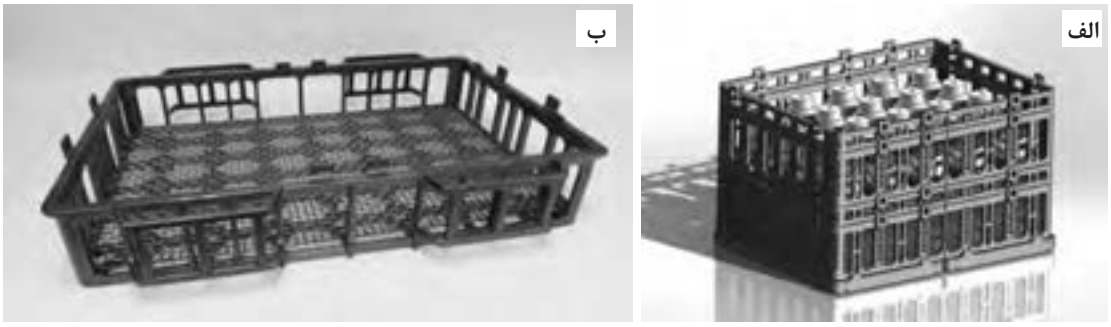
هـــوا: یکـی از مهم‌تریـن محیط‌هـای خنک‌کننـده هـوا می‌باشـد. زیرا ایـن محیـط کمترین شـوک حرارتی را بـه قطعـه وارد کـرده و تـاب برداشـتن قطعـات را بـه حداقـل می‌رسـاند. قطعات بـا ضخامت کـم از جنس فولادهـای کـم آلیـاژ و یـا قطعـات با ضخامت متوسـط از جنـس فولادهـای آلیاژی بـا سـختی‌پذیری بالا را می‌تـوان در هـوا سـخت کرد.

تجهیزات حمل مواد

انبر: جهـت قـرار دادن یـا خـارج کـردن قطعـات در داخل کـوره عملیـات حرارتی یـا محیط خنک‌کننـده از انبر اسـتفاده می‌شود.

سـبدهای فلـزی و نگهدارنده‌ها: از سـبدها و نگهدارنده‌هـا جهت چیدن قطعـات داخل آنها و قـرار دادن آنها در داخل کوره اسـتفاده می‌شـود. شـکل ۱۴ سـبد و نگهدارنده‌های مختلف را نشـان می‌دهد.

جرثقیـل: جهـت حمل سـبدها و نگهدارنده‌هـای حاوی قطعات بـه داخل کـوره و همچنین خارج کـردن آنها و انتقـال به محیـط خنک‌کننده اسـتفاده می‌گردد.



شکل ۱۴ـ الف) نگهدارنده، ب) سبد فلزی

دستگاه سختی‌سنج

پرسش

سختی اجسام را چگونه اندازه می‌گیرند؟

قبل و بعد از عملیات حرارتی سخت‌کاری باید میزان سختی قطعه مورد نظر اندازه‌گیری شود. این اندازه‌گیری با دستگاهی به‌نام سختی‌سنج انجام می‌شود. سازوکار دستگاه‌های سختی‌سنج بر اساس فرورفتن جسم سخت در سطح قطعه مورد نظر است. روش‌های سختی‌سنجی بر اساس نوع جسم فرو رونده به سه روش راکول (Rockwell)، روش برینل(brinell)، و روش ویکرز (Vickers) تقسیم می‌شود.

جدول ۲ـ انواع روش‌های سختی‌سنجی رایج

روش‌های سختی‌سنجی		نماد	شکل و جنس فرورونده		میزان بار اعمالی (کیلوگرم نیرو)	محدوده سختی قابل قبول	کاربردها
راکول	راکول A	HRA	مخروط الماسی		۶۰	۸۸ ـ ۲۰ HRA	فولاد نازک و فولادهای سخت شده سطحی، کاربیدها
	راکول B	HRB	ساچمه فولادی		۱۰۰	۱۰۰ـ۲۰ HRB	آلومینیوم و آلیاژهای آن، مس و آلیاژهای آن، فولادهای نرم و چدن مالیبل
	راکول C	HRC	مخروط الماسی		۱۵۰	۷۰ ـ ۲۰ HRC	انواع فولادها و چدن‌ها و آلیاژهای غیرآهنی سخت
برینل		HB	ساچمه	فولاد	۳۰۰۰ ـ ۱	۷۳۹ ـ ۲۰ HB	کلیه فلزات با سختی کم و متوسط (برای فلزات با سختی بالا کاربرد ندارد)
				کاربید تنگستن			
ویکرز		HV	هرم الماسی		۱۲۰ ـ ۱	۱۰۷۶ـ۸۰ HV	تمامی فلزات آهنی و غیرآهنی، ورق‌های فولادی، پوشش‌های سطحی

روش راکول: در این روش که برای تمام فلزات به‌کار می‌رود بر اساس میزان فرورفتگی یک جسم سخت (ساچمه یا مخروط الماسه) در سطح قطعه مقدار سختی اندازه‌گیری می‌شود. در این روش سختی‌سنجی با توجه به نوع فرورونده و میزان نیروی اعمال شده به سه شیوهٔ راکول A، B و C انجام می‌شود. در بین این سه روش، روش راکول C برای قطعات سخت به‌کار می‌رود. در این روش از فرورونده مخروط الماسی با زاویه راس ۱۲۰° و میزان بار ۱۵۰ کیلوگرم نیرو استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری سختی در شیوه راکول C به این صورت است که ابتدا راکول C روی دستگاه انتخاب و سپس مقدار نیرو را روی ۱۵۰ کیلوگرم تنظیم می‌شود. بعد از تنظیم شیوه و نیرو، فرورونده مخروطی که از جنس الماس است در محل خود بسته می‌شود. بعد از قراردادن قطعه روی میز دستگاه یک نیروی ۱۰ کیلوگرمی به‌طور عمود در سطح آن وارد می‌شود. سپس نیروی اصلی به مقدار ۱۴۰ کیلوگرم که جمعاً ۱۵۰ کیلوگرم می‌شود بر نمونه وارد می‌شود. بعد از اعمال نیروی مقدار سختی قطعه به‌طور مستقیم از روی عقربه‌دستگاه خوانده می‌شود. سختی‌سنجی در روش‌های دیگر راکول نیز همانند راکول C است با این تفاوت که در راکول A میزان نیروی اعمالی کمتر است و در راکول B علاوه بر اینکه میزان نیرو متفاوت است، نوع فرورونده به‌جای مخروط الماسه، ساچمه فولادی است و بیشتر برای قطعات با سختی کمتر مثل آلیاژهای مس، فولادهای نرم، آلیاژهای آلومینیوم، فولادهای چکش خوار و... از راکول B استفاده می‌شود.

بحث گروهی

اگر جنس و مقدار سختی قطعه‌ای مشخص نباشد از کدام روش برای انجام آزمایش سختی باید استفاده کرد؟ چرا؟ پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

فعالیت کارگاهی ۲

تعیین میزان سختی با استفاده از دستگاه راکول.

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی‌سنجی راکول، نمونه فولادی، اره، سوهان.

مراحل کار:

۱ انواع مختلفی از نمونه‌های فولادی را در اندازه مناسب توسط اره برش دهید.

نکات مهم:

- توجه داشته باشید هنگام برش نمونه‌ها کاملاً عمودی برش داده شوند و دو سطح بالا و پایین نمونه‌ها کاملاً موازی هم باشند؛
- ضخامت نمونه‌ها حداقل ۱۰ برابر عمق فرورونده باشد؛
- سطح نمونه عاری از هرگونه روغن و چربی و زنگ‌زدگی باشد؛

۲ سطح نمونه‌ها را توسط سوهان و سنباده کاملاً صاف و صیقلی نمایید.

۳ دستگاه را بسته به شیوه سختی‌سنجی آماده‌سازی کنید.

نکته کلیدی:

مطمئن شوید دستگاه کالیبره است برای این منظور باید دستگاه توسط بلوک‌های استاندارد خود دستگاه کنترل شود تا عدد سختی به درستی نمایش داده شود.

۴ نمونه را بر روی سندان قرار دهید.

۵ ابتدا مقدار نیروی اولیه برابر با ۱۰ کیلوگرم نیرو بر سطح نمونه وارد کنید.

۶ بعداز اعمال نیروی اولیه، نیروی نهایی را با توجه به‌دستورالعمل دستگاه، اعمال کنید.
۷ عدد سختی را از روی دستگاه بخوانید.

نکات مهم:

- در هر نمونه حداقل باید از ۳ جای نمونه سختی‌سنجی انجام شود و میانگین گرفته شود تا عدد سختی دقیق‌تر به‌دست آید.
- محل سختی‌سنجی جدید از محل قبلی سختی‌سنجی حداقل ۵ برابر قطر فرورونده فاصله داشته باشد.
- اگر در روش راکول C عدد سختی کمتر از ۲۰ HRC و یا بیشتر از ۷۰ HRC باشد عدد مناسبی به‌دست نیامده است و باید از روش‌های سختی دیگر برای آن نمونه استفاده کرد.

بحث گروهی

چه خطاهایی می‌تواند در انجام تست سختی رخ دهد؟پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

نتایج آزمایش را برای هرنمونه در جدول زیر ثبت نموده و به همراه پاسخ پرسش در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

مراحل سختی	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	میانگین عدد سختی
میزان سختی				

روش برینل: روش سختی‌سنجی برینل برای تمام فلزات آهنی و غیر آهنی به‌کار می‌رود ولی این روش برای قطعات سخت‌کاری شده کاربرد ندارد و نمی‌تواند قطعات با سختی خیلی بالا را اندازه‌گیری نمود. در روش برینل یک ساچمه از جنس فولاد سخت شده (پرکربن یا سمانته شده) و یا کاربید تنگستن به قطر ۱، ۲، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی‌متر با اعمال نیرو از ۱ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم نیرو بر سطح نمونه نفوذ می‌کند بعد از برداشتن نیرو قطر اثر ساچمه اندازه‌گیری می‌شود و سپس با مراجعه به جداول مخصوص با توجه به اندازه قطر اثر مقدار سختی از روی جدول به‌دست می‌آید. برای اندازه‌گیری دقیق‌تر، دو قطر از اثر در زاویه عمود به یکدیگر باید اندازه‌گیری شود. مقدار میانگین آنها به‌عنوان اندازه قطر اثر ساچمه به‌دست می‌آید.

در عمل معمولاً برای فولادها از یک ساچمه ۱۰ میلی‌متری با بار ۳۰۰۰ کیلوگرم نیرو انتخاب می‌شود. اگر مقدار سختی از ۶۵۰ برینل (۶۵۰ BHN) بیشتر باشد قطر ساچمه و بارِ اعمالی تغییر داده می‌شود.

انتخاب نیرو و قطر ساچمه برای آزمایش سختی برینل به نوع فلز یا آلیاژ و همچنین ضخامت نمونه مورد آزمایش بستگی دارد. در جدول ۳ نیرو و قطر ساچمه مورد نیاز برای چند نوع فلز آورده شده است.

جدول ۳ـ نیرو و قطر ساچمه‌های مورد نظر در روش برینل

نیرو بر حسب کیلوگرم نیرو برای آلیاژهای مختلف				قطر ساچمه (mm)	ضخامت قطعه مورد آزمایش (mm)
آلیاژهای سرب	آلیاژهای آلومینیوم	آلیاژهای مس	فولاد و چدن		
۲۵۰ ۶۲/۵ ۱۵/۶۲۵	۵۰۰ ۱۲۵ ۳۱/۲۵	۱۰۰۰ ۲۵۰ ۶۲/۵	۳۰۰۰ ۷۵۰ ۱۸۷/۵	۱۰ ۵ ۲/۵	> ۶ > ۳ > ۱/۲
$HBN_{۲/۵}$	$HBN_{۵}$	$HBN_{۱۰}$	$HBN_{۳۰}$	علامت اختصاری	

فعالیت کارگاهی ۳

اندازه‌گیری سختی به روش برینل

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی‌سنجی برینل، نمونه‌هایی از جنس چدن و مس و آلومینیم، اره، سوهان

مراحل کار:

۱ نمونه‌هایی از چدن، آلومینیوم و مس را انتخاب نمایید و طبق اصول کامل برای سختی‌سنجی سطوح آن را برای سختی‌سنجی آماده نمایید.

نکته مهم:

● تمامی اصول مربوط به سختی‌سنجی که در فعالیت کارگاهی ۳ گفته شد، رعایت شوند.

۲ بسته به جنس نمونه مورد آزمایش، دستگاه برینل را در نیروی مورد نظر تنظیم کرده و ساچمه با قطر مناسب را انتخاب نمایید و در جای مشخص بر روی دستگاه قرار دهید.

۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.

۴ سپس گیره متحرک دستگاه را به اندازه‌ای بچرخانید تا سندان بالا بیاید و نمونه روی آن با ساچمه تماس پیدا کند.

۵ در این هنگام الکتروموتور دستگاه را به‌کار بیندازید تا وزنه آزاد شده و نیروی لازم، توسط وزنه به‌تدریج بر روی نمونه اعمال شود.

۶ جهت حرکت الکتروموتور را عوض کنید تا نیروی وزنه قطع شود.

۷ گیره متحرک را به‌طور وارونه بچرخانید تا سندان پایین بیاید.

۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را اندازه‌گیری کنید.

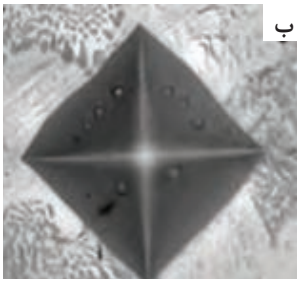
۹ بر روی دستگاه جداولی به‌صورت ضمیمه (پلاک) وجود دارد که به کمک آن و با توجه به اندازه قطر اثر نیرو، میزان سختی را از روی جدول به‌دست بیاورید.

نتایج آزمایش را برای هرنمونه در جدول زیر ثبت نموده و در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

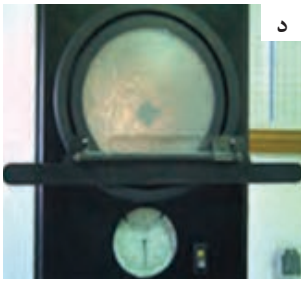
جنس نمونه	چدن	آلومینیم	مس
میانگین سختی (سختی نهایی)			

سختی‌سنجی به روش ویکرز: سختی‌سنجی به روش ویکرز کمتر کاربرد صنعتی داشته و بیشتر یک روش آزمایشگاهی محسوب می‌شود. این روش دقت بالایی دارد و هزینه دستگاه نیز زیاد است. در این روش از یک هرم الماسی با قاعده مربع با زاویه راس 136°، جهت تعیین میزان سختی مواد استفاده می‌شود. در روش ویکرز اثری که فرورونده ایجاد می‌کند به شکل لوزی متساوی‌الاضلاع بوده و توسط یک میکروسکوپ میکرومتردار قطرهای لوزی اندازه‌گیری می‌شود. و همانند روش برینل بعد از اندازه‌گیری مساحت فرورفتگی با مراجعه به جداولی که برحسب نیروی مورد استفاده تنظیم شده است، می‌توان عدد سختی ویکرز را به‌دست آورد. در شکل ۱۵ تصاویری از فرورونده مربوط به روش ویکرز، شکل اثر فرورونده، دستگاه سختی‌سنج و نیز نحوه اندازه‌گیری قطر اثر توسط صفحه مدرج، نشان داده شده است.

الف


ب

ج


د

شکل ۱۵ــ الف) فرورونده هرم الماسی مربع‌القاعده مربوط به سختی‌سنجی ویکرز، (ب) اثر فرورونده ایجاد شده بر روی سطح نمونه فولادی، (ج) دستگاه سختی‌سنجی ویکرز و برینل (د) نحوه اندازه‌گیری قطر اثر نیرو،

نکته

بسته به جنس و میزان سختی قطعهٔ مورد آزمایش روش مناسب برای انجام سختی انتخاب می‌شود. همچنین می‌توان عدد سختی به‌دست آمده از روش‌های مختلف سختی‌سنجی را با استفاده از جداول استاندارد به یکدیگر تبدیل کرد.

	مواد نرم	مواد نسبتاً سخت	مواد با سختی بالا
برینل	•	•	
ویکرز	•	•	•
راکول B	•	•	
راکول C		•	•

فعالیت کارگاهی ۴

اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی‌سنجی ویکرز، نمونه‌هایی از جنس چدن و فولاد و آلومینیوم، اره، سوهان

مراحل کار:

۱ نمونه‌هایی از چدن، آلومینیوم و فولاد را انتخاب نمایید و طبق اصول سختی‌سنجی سطوح آن را برای سختی‌سنجی آماده نمایید.

۲ دستگاه را باتوجه به جنس و ضخامت نمونه مورد آزمایش، تنظیم و آماده‌سازی کنید.
۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.
۴ سپس گیره متحرک دستگاه را به اندازه‌ای بچرخانید تا سندان بالا بیاید و نمونه روی آن با فرورونده تماس پیدا کند.
۵ در این هنگام دستگاه را روشن کنید تا نیرو لازم توسط وزنه به‌تدریج بر روی نمونه اعمال شود.
۶ جهت حرکت الکتروموتور را عوض کنید تا نیروی وزنه قطع شود.
۷ گیره متحرک را به‌طور وارونه بچرخانید تا سندان پایین بیاید.
۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را توسط میکروسکوپ میکرومتردار که بر روی دستگاه وصل می‌باشد، اندازه‌گیری نمایید.
بر روی دستگاه جداولی به‌صورت ضمیمه (پلاک) وجود دارد که به کمک آن سختی را به‌دست بیاورید. و یا اینکه می‌توانید از فرمول زیر که مربوط به سختی‌سنجی ویکرز است استفاده کنید. برای این منظور نیرو (P) و قطر اثر بر روی نمونه (d) را در فرمول زیر جاگذاری کنید تا عدد سختی به‌دست آید.

$$VHN = ۱/۸۵۴\frac{P}{d^۲}$$

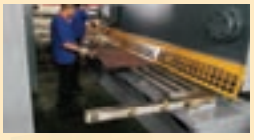
عملیات حرارتی سخت‌کاری

پرسش

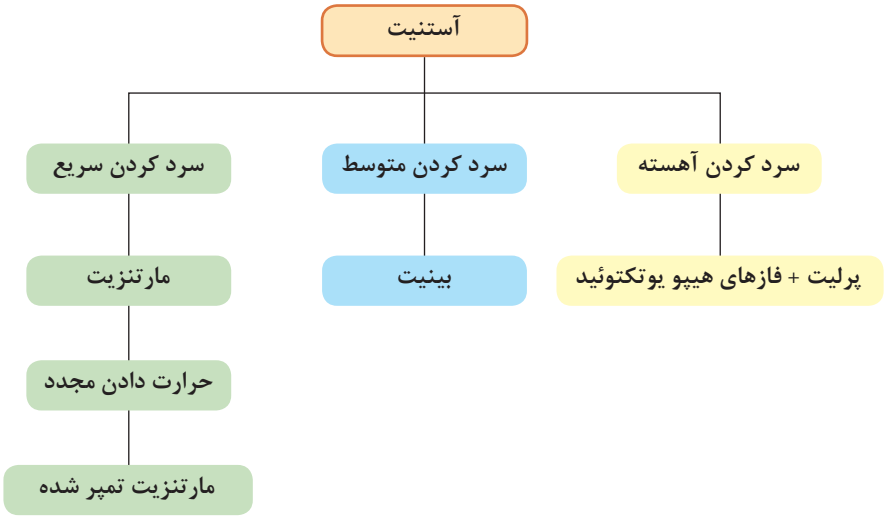
به نظر شما چرا قطعات را سخت‌کاری می‌کنند؟

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به موادی با خواص مکانیکی بالا است. جهت رسیدن به خواص مورد نیاز طراح باید قطعه را تحت یک عملیات حرارتی قرار دهد تا به خواص مکانیکی مورد نظر برسد. در این گونه موارد عملیات سخت کردن و رسیدن به ساختارهای غیرتعادلی مورد نیاز است. در شکل ۱۶ بعضی از قطعات که تحت سخت‌کاری حجمی قرار گرفته اند را نشان می‌دهد.

شکل ۱۶ــ نمونه‌ای از قطعات سخت‌کاری شده

محصولات	شکل	هدف از عملیات
قالب دایکاست		افزایش استحکام سایشی قالب برای جلوگیری از فرسایش قالب در حین تزریق مذاب و تحمل ضربات وارده.
فنر تخت اتومبیل		افزایش تحمل بارگذاری‌های سنگین.
تیغه گیوتین		افزایش استحکام برشی تیغه‌ها
قلاویز		افزایش سختی و استحکام پیچشی

در فصل آزمایشگاه متالوگرافی ساختارها و فازهای تشکیل شده بر اساس دیاگرام تعادلی آهن-کربن به تفصیل بیان شده و به این موضوع اشاره شده است که سرعت سرد کردن روی ساختار و خواص فولاد اثرگذار می‌باشد. درصورتی‌که سرعت سرد کردن از یک حدی بیشتر شود ریزساختارهایی غیرتعادلی مارتنزیت و بینیت به‌دست خواهد آمد. شکل ۱۷ این موضوع را نشان می‌دهد.

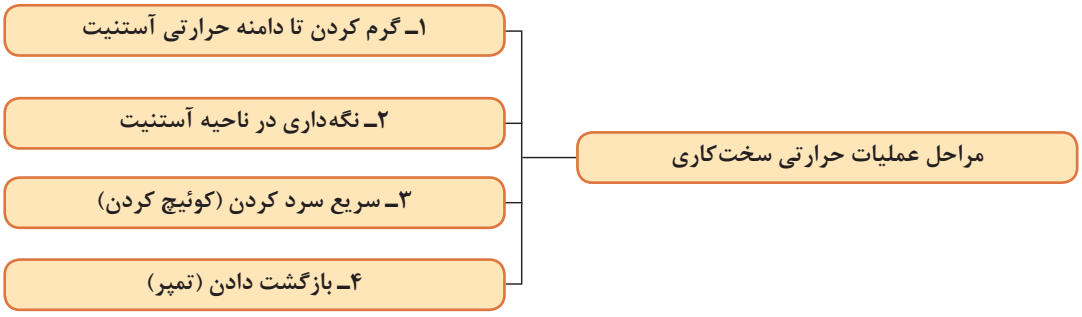


شکل ۱۷ـ تأثیر سرعت سرد کردن بر ریز ساختارهای به‌دست آمده از آستنیت

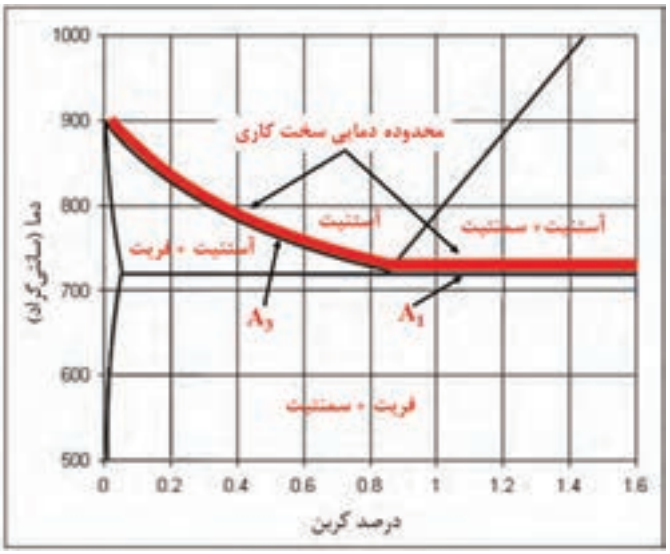
از جمله مهم ترین اهداف تشکیل مارتنزیت در فولادها عبارت است از سختی زیاد، استحکام بالا و مقاومت در مقابل سایش. عملیات حرارتی جهت تشکیل مارتنزیت معمولاً بر روی فولادهایی انجام می‌گیرد که حداقل ۰/۳ درصد کربن داشته باشند.

مراحل عملیات سخت‌کاری

در حالت کلی عملیات حرارتی سخت‌کاری شامل مراحل زیر می‌باشد:



الف) گرم کردن قطعه تا دامنه حرارتی آستنیت: دمای آستنیته کردن با توجه ترکیب شیمیایی فولاد (درصد کربن و عناصر آلیاژی) مشخص می‌شود. برای فولادهای هیپویوتکتوئید در حدود ۳۰ـ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای خط A_3 و برای فولادهای هیپریوتکتیک حدود ۵۰ ـ ۷۰ درجه سانتی‌گراد بالای خط A_1 است. در شکل ۱۸ محدوده دمایی سخت‌کاری برای فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید نشان داده شده است.



شکل ۱۸ـ محدوده دمایی سخت‌کاری فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید.

فعالیت کلاسی

دمای آستنیته کردن فولادهای زیر را با توجه به جدول موجود در کتاب هنرجو استخراج کرده و مشخص نمایید؟

الف) CK۴۵ ب) Cm۵ ج) BOZ

نحوه تنظیم کردن دمای کوره جهت آستنیته کردن: کوره‌های الکتریکی دارای سازوکاری هستند که می‌توان دمای مورد نظر برای عملیات حرارتی را انتخاب و تنظیم نمود. دما در این کوره‌ها توسط ترموکوپل کنترل می‌شود. انتخاب دمای بالاتر از دمای مورد نظر موجب کاهش سختی فولاد به دلیل اکسیداسیون سطحی و کربورزدایی و تاب برداشتن می‌شود.در کوره‌ها با محیط گازی (هوا، اتمسفر کنترل شده) در عمل نمونه‌ها به دو صورت در دامنه حرارتی آستنیت قرار می‌گیرند. اول اینکه نمونه در کوره قرار داده می‌شود و سپس کوره روشن شده و به دمای مورد نظر برسد. دراین حالت نمونه و کوره با یکدیگر به دما می‌رسند و پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر زمان آستنیته کردن شروع می‌شود. 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 سقف این کوره‌ها از فن‌های هوا گردش جهت همگنی

درجه حرارت در داخل کوره استفاده شده است که در شکل ۱۹ نشان داده شده است. در کوره‌های حاوی حمام نمک برای تنظیم کردن دمای کوره به دمای آستنیته کردن ابتدا حمام نمک ذوب می‌شود و به دمای مورد نظر می‌رسد و سپس قطعات پس از پیش‌گرم شدن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند. به منظور جلوگیری از اعوجاج و ترک گرم کردن قطعه تا رسیدن به دمای مورد نظر باید با سرعت مناسبی انجام شود. سرعت گرم کردن قطعات فولادی به پارامترهایی مانند ترکیب شیمیایی، اندازه و سطح مقطع قطعات بستگی دارد. به‌طوری‌که فولادهای آلیاژی باید سرعت کمتری نسبت به فولادهای کم آلیاژ داشته باشند.

شکل ۱۹ـ فن گردش هوا در داخل کوره

چیدمان قطعات داخل کوره: بارگیری کوره و چیدمان قطعات با توجه به شکل و اندازه قطعه مورد نظر و کوره مورد استفاده انجام می‌شود. در عملیات حرارتی سخت‌کاری چیدمان قطعات به دلایل زیر یک عمل بسیار مهم تلقی می‌شود.

۱ توزیع یکنواخت درجه حرارت بین قطعات

۲ سهولت در خارج کردن قطعات از کوره و سریع سردکردن آنها

۳ جلوگیری از تاب برداشتن قطعات.

در کارخانه‌های صنعتی چیدمان قطعات داخل کوره‌ها با توجه به نوع کوره انجام می‌شود:

چیدمان قطعات در کوره با محیط گازی (هوا، اتمسفر کنترل شده):

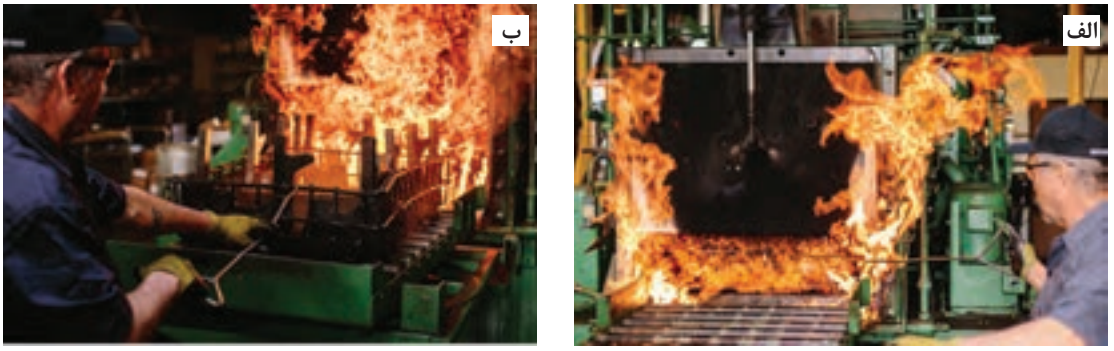
۱ قرارگیری قطعات در سبد

شکل ۲۰ـ انواع چیدمان قطعات در سبدها و روی صفحه فولادی

۲ قرارگیری سبد قطعات در مقابل درب کوره شکل ۲۱

شکل ۲۱ـ قرارگیری سبد حاوی قطعات جلوی درب کوره

۳ قرارگیری سبد داخل کوره شکل ۲۲



شکل ۲۲ـ نمونه‌ای از ورود قطعات در کوره‌ها با اتمسفر کنترل شده، الف) روشن شدن مشعل درب کوره هنگام وارد کردن قطعات، ب) بسته شدن درب کوره بعد از وارد شدن قطعات

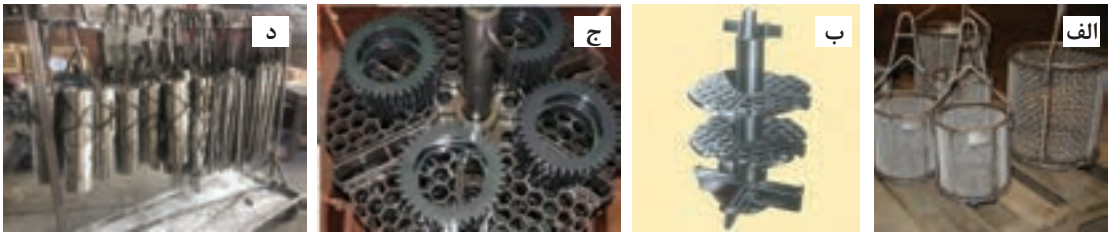
نحوه قراردادن قطعات در کوره‌های حمام نمک

۱ سیم‌بندی یا چیدن قطعات در نگهدارنده (fixture): در حمام‌های نمک به دلیل اینکه قطعات باید به‌صورت آویزان یا معلق درنمک مذاب قرار گیرند. قطعات در داخل نگهدارنده، سبد فلزی و یا سیم‌بندی‌هایی که به‌صورت دستی با سیم فولادی بافته می‌شود قرار داده می‌شوند. هنگام قرار دادن قطعات در نگهدارنده یا سیم‌بندی باید به‌گونه‌ای عمل نمود که هنگام سریع سرد کردن باعث تاب برداشتن قطعات نشوند.

در سیم‌بندی قطعات، وزن و تعداد قطعات موجود در هرسیم‌بندی باید به اندازه‌ای باشد که اولاً هنگام آویزان کردن قطعات در حمام نمک، قطعات به‌صورت معلق در حمام نمک مذاب قرار بگیرند و به انتهای بوته برخورد نکنند ثانیاً سیم‌های فولادی توانایی نگهداری وزن قطعات را داشته باشند در غیر این‌صورت سیم‌های فولادی در حین عملیات گسسته شده و قطعات فولادی به داخل بوته حمام نمک سقوط می‌کنند و قطعات تغییر شکل می‌دهند.

از روش سیم‌بندی برای قطعات با وزن کم و اشکال مختلف استفاده می‌شود. هر قطعه با توجه به شکل خود و نحوه وارد شدن در محیط خنک‌کننده توسط سیم فولادی با ضخامت قابل قبول بافته

می‌شود. مهم‌ترین محدودیت این روش زمان‌بر بودن و نیاز به مهارت فردی می‌باشد. چنانچه قطعات مشابه هم و یا وزن آنها زیاد باشد از نگهدارنده‌ها استفاده می‌گردد. نگهدارنده‌ها با توجه به شکل ظاهری قطعات و نحوه قرارگیری آن در محیط خنک‌کننده، ساخته می‌شود.
مهم‌ترین محدودیت نگهدارنده‌ها هزینه ساخت بالای آنها و همچنین تاب برداشتن آنها بعد از چند بار استفاده است. از سبدهای فلزی برای قطعات کوچک و ریز استفاده می‌شود به‌طوری‌که قطعات داخل سبد فلزی قرار داده شده و سپس وارد حمام نمک مذاب می‌گردند. شکل ۲۳ انواع روش‌های وارد کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ـ الف) سبد فلزی، ب) نگهدارنده، ج) قرار دادن قطعات روی نگهدارنده، د) سیم‌بندی قطعات

۲ پیش گرم کردن سبد یا نگهدارنده‌های حاوی قطعات: به منظور جلوگیری از ترک برداشتن، ایجاد عیوب سطحی قطعات، دوام ابزار و پاشش نمک مذاب به بیرون، قطعات و ابزار قبل از ورود به داخل نمک مذاب حتماً باید پیش‌گرم شوند. برای پیش‌گرم کردن قطعات از کوره‌های پیش گرم با دمای حدود ۴۵۰ ـ ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد استفاده می‌کنند. شکل ۲۴ یک نوع کوره پیش‌گرم قطعات را نشان می‌دهد.

شکل ۲۴ـ کوره پیش‌گرم قطعات

۳ وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک
سبدها، نگهدارنده‌ها و قطعات سیم‌بندی شده پس از پیش‌گرم شدن برای آستنیته کردن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند و مطابق شکل ۲۵ به صورت معلق در حمام مذاب قرار می‌گیرند.

شکل ۲۵ـ وارد کردن قطعات سیم‌بندی شده در حمام نمک

ب) نگهـداری در ناحیـه آسـتنیت: پس از چیـدن قطعات و قـرار دادن آنهـا داخل کوره زمانی که سـبد حـاوی قطعـات هـم رنـگ محیـط کـوره شـد یعنـی قطعـات به دمـای مـورد نظـر رسـیده‌اند. و پـس از آن می‌تـوان زمـان قرارگیـری در منطقـه آسـتنیتی را محاسـبه کـرد. شـکل ۲۶ هم‌دما شـدن قطعـات در کوره حمـام نمـک و کـوره الکتریکـی را نشـان می‌دهد.

شکل ۲۶ـ هم‌دما کردن قطعات در کوره‌ها

زمـان آسـتنیته کـردن در به‌دسـت آوردن خواص مکانیکی بسـیار مؤثر اسـت. ایـن زمان با توجـه به ترکیب شـیمیایی، شـکل و ضخامـت قطعـه انتخـاب می‌شـود. جـدول ۲ مـدت زمـان نگهـداری قطعـات در ناحیـه آسـتنیت را بـر حسـب قطر یـا ضخامت نشـان می‌دهد.

جدول ۴ـ مدت زمان نگهداری قطعات در ناحیه آستینت

قطر یا ضخامت (اینچ)	۱ ـ ۲	۲ ـ ۳	۳ ـ ۵	۵ ـ ۸
زمان نگهداری در منطقه آستنیت (دقیقه)	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰

به‌طـور کلـی می‌تـوان گفـت که بر اسـاس گـروه فولاد، زمان آسـتنیته کـردن متفاوت اسـت. ایـن زمان در گروه‌هـای مختلـف فـولاد به‌صـورت زیر بیان می‌شـود.

۱ **فولادهای ساده کربنی و کم الیاژ:** ۵ تا ۱۵ دقیقه

۲ **فولادهای آلیاژ متوسط:** ۱۵ تا ۲۵ دقیقه (بدون توجه به ابعاد قطعه)

۳ **فولادهای ابزار کم آلیاژ:** به ازای هر یک سانتی‌متر ضخامت ۵ دقیقه نگهداری شود.

۴ **فولادهای ابزار پر کربن و کرم بالا:** به ازای هر یک سانتی‌متر ضخامت ۵ تا ۸ دقیقه نگهداری شود.

به‌طـور کلـی می‌تـوان گفـت کـه زمان نگهـداری در دمای آسـتنیته تجربـی بوده و بـا توجه بـه پارامترهای حرارتـی کـوره می‌تـوان زمان‌هـای نگهـداری را تجربـه کـرد. پـس می‌تـوان نتیجه‌گیـری کـرد کـه زمـان آسـتنیته در به‌دسـت آوردن خـواص مکانیکـی بسـیار مؤثر اسـت.

ج) سریع سرد کردن

نحـوه خـارج کردن قطعـات از کوره: پس رسـیدن بـه زمان مورد نظـر در کوره‌هـای با اتمسـفر معمولی درب کـوره بـاز می‌شـود و بلافاصلـه قطعات وارد محیـط خنک‌کننده می‌شـوند. در کوره‌ها با اتمسـفرکنترل

شـده محیـط خنک‌کننـده در نزدیکـی کـوره واقـع شـده اسـت. شـکل ۲۷ انـواع روش‌هـای خـارج کـردن قطعـات از کـوره را نشـان می‌دهنـد. در هنـگام خارج کـردن کوره به‌دلیـل اینکه قطعات در دمـای بالایی در کـوره قـرار گرفتـه اند و مسـتعد تاب برداشـتن می‌باشـند. بایـد با احتیـاط از کوره خارج شـوند.

شکل ۲۷ــ روش‌های مختلف خارج کردن قطعه از کوره

نحوهٔ وارد کردن قطعات به محیط سردکننده

پرسش

عدم آگاهی از نحوه وارد کردن قطعات در محیط سردکننده چه مشکلاتی را در بر خواهد داشت؟

بعـد ازخـارج کـردن قطعـات از کـوره، بایـد بلافاصله وارد محیـط خنک‌کننده شـوند. ولی باید چنـد نکته در هنـگام وارد کـردن قطعـات بـه محیط مورد نظـر مورد توجه قـرار گیرد.

نکات کارگاهی

۱ قطعات با طول بلند مانند شافت‌ها، میله‌ها باید همیشه به‌طور عمودی وارد محیط خنک‌کننده شوند زیرا در این حالت کمترین برخورد بین قطعه و محیط خنک‌کننده به‌وجود می‌آید.
۲ قطعات با ضخامت‌های مختلف جهت سریع سرد کردن باید از طرف ضخامت بیشتر وارد محیط خنک‌کننده شوند. علت این امر این است که به‌طور کلی باید سعی شود سرعت سردکردن در نقاط مختلف قطعه کنترل شود. همان‌طور که می‌دانید قسمت‌های با ضخامت کمتر، زودتر سرد می‌شوند بنابراین باید این قسمت‌ها دیرتر وارد محیط خنک‌کننده شوند.
۳ قطعات با شکل‌های مقعر باید از طرف دیگر وارد محیط خنک‌کننده شوند زیرا امکان حبس شدن بخار در قسمت مقعر وجود دارد و این امر باعث کاهش سختی در این قسمت خواهد شد.
۴ قطعات نازک و تخت نظیر دیسک‌ها و تیغه‌های دیسکی باید همواره از طرف لبه وارد مخزن خنک‌کننده شوند.
۵ قطعات استوانه‌ای شکل باید در جهت طولی وارد محیط خنک‌کننده شوند.
۶ سرعت عمل در فرایند خنک‌کاری می‌تواند نتایج خوبی را در برداشته باشد. مخصوصاً در قطعات طویل، فاصله زمانی ورود ابتدا و انتهای قطعه به محیط خنک‌کننده باید به حداقل ممکن برسد.
۷ برخی قطعات به دلیل ضخامت بسیار کم در هنگام سریع سردکردن می‌توانند به شدت تاب بردارند در این موارد باید با طراحی نگهدارنده‌های مناسب قطعات را مهار کرد تا شکل آنها بدون تغییر بماند.

شکل ۲۸ انواع روش خارج کردن قطعات از کوره حمام نمک و کوره‌های (الکتریکی و گازی) و نحوهٔ سریع سردکردن آنها را نشان می‌دهد.

شکل ۲۸ــ وارد کردن قطعات به محیط خنک‌کننده

پس از ماندن قطعات درمحیط‌های خنک‌کننده به مدت زمان لازم، قطعات از مخزن خنک‌کننده خارج و آویزان می‌شوند تا روغن یا آب روی سطح قطعات به داخل وان خنک‌کننده تخلیه گردند.

فعالیت کارگاهی ۵

بررسی تأثیر محیط خنک‌کننده بر روی فولادهای ساده کربنی

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ وان خنک‌کننده
۴ نمونه‌های مورد آزمایش ۵ دستگاه سختی‌سنج ۶ دستکش نسوز
۷ پیش‌بندنسوز ۸ ماسک محافظ صورت ۹ کفش و کلاه ایمنی

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

۱ پس از تشکیل گروه‌های ۵ نفره، 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، از ۱ تا ۵ شماره گذاری نمایید

۲ سختی نمونه را با استفاده از دستگاه سختی‌سنج اندازه‌گیری کرده و در جدول یادداشت نمایید

۳ نمونه ۱ را به عنوان شاهد نگه داشته و سایر نمونه‌ها را در کوره به دمای آستنیته برسانید.

۴ پس از حصول اطمینان ازدما و زمان آستنیته نمونه‌ها را از کوره خارج و هریک را در محیط خنک‌کننده ذکر شده سریع سرد کنید.

نمونه ۲سرد شده در هوا ـ نمونه ۳ سرد شده در آب ـ نمونه ۴ سرد شده در آب نمک ـ نمونه ۵ سرد شده در روغن

۵ پس از سردکردن هریک از نمونه‌ها در محیط‌های مشخص شده سختی هریک را توسط دستگاه سختی‌سنج اندازه‌گیری نموده و در یک جدول ثبت نمایید.

۶ ساختار میکروسکوپی هریک از نمونه‌های ۱ تا ۵ را با استفاده از میکروسکوپ بررسی نموده و به‌صورت شماتیک رسم کنید

۷ نتایج به‌دست آمده به همراه پاسخ پرسش‌های زیر در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

پرسش

۱ بالاترین میزان سختی مربوط به کدام محیط خنک‌کننده می‌باشد؟ دلیل آن را بررسی نمایید؟
۲ عامل اصلی سخت شدن نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد چیست؟
۳ ریز ساختار نمونه‌های سریع سرد شده در محیط‌های مختلف را با ریزساختار نمونه شاهد مقایسه نمایید.

نکات کلیدی

۱ هنگام قرار دادن نمونه‌ها به داخل کوره از وارد نمودن ضربه به المنت‌ها یا ترموکوپل خودداری شود.
۲ چیدمان نمونه‌ها طوری باشد که نمونه‌ها با هم تماس پیدا نکنند و با فاصله مشخص چیده شوند.
۳ در هنگام وارد کردن نمونه‌ها به محیط‌های خنک‌کننده، مطابق شکل نمونه‌ها را به‌صورت دورانی حرکت دهید.

نکات ایمنی

- قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید و داخل کوره را از اکسیدهای فلزی تمیز نمایید.
- از سلامت سیستم دیجیتالی کنترل دما (ترموکوپل) کوره اطمینان حاصل نمایید.
- در تمامی مراحل کار با کوره از ماسک صورت، عینک ایمنی و دستکش نسوز استفاده نمایید.
- حتماً از ماسک صورت در هنگام خنک‌کننده استفاده نمایید.

فعالیت کارگاهی ۶

آشنایی با نحوه سخت‌کاری قطعات در حمام نمک

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی حمام نمک
۲ نمک خنثی عملیات سخت‌کاری
۳ سیم فولادی به ضخامت ۲ میلی‌متر
۴ پیش‌گرم کن
۵ انبر
۶ مخزن خنک‌کننده
۷ سختی‌سنجی
۸ دستکش و وسایل ایمنی
۹ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

شکل ۲۹ـ تصویر نمونه مورد آزمایش

مراحل انجام آزمایش:

۱ چهار نمونه مطابق شکل ۲۹ انتخاب نموده سپس یک عدد را به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آنها را توسط سختی‌سنج راکول اندازه‌گیری نموده و یاداشت نمایید.

۲ سه نمونه دیگر را مطابق شکل زیر با سیم مفتولی به ضخامت ۲ میلی‌متر سیم‌بندی نموده و آخر مفتول را به‌صورت قلاب در آورید.

نکات فنی:

- نمونه‌ها باید به‌صورت محکم سیم‌بندی شوند به‌طوری‌که هنگام قرار گرفتن در نمک مذاب از سیم جدا نشوند.
- از مفتول‌های فولادی با ضخامت مناسب در سیم‌بندی استفاده نمایید.
- نحوه سیم‌بندی به گونه‌ای باشد که کل قطعات به‌صورت معلق در داخل حمام نمک قرارگیرند به‌طوری که قطعه انتهایی از مذاب بیرون نبوده و قطعه اولی نیز به کف بوته برخورد نداشته باشد.
- قبل از شارژ نمونه‌ها به داخل حمام نمک با پیش گرم کردن و فرو بردن یک میله فولادی به داخل حمام نمک از ذوب کامل نمک اطمینان حاصل نمایید.

نکته‌ایمنی: هنگام سیم‌بندی نمونه‌ها از دستکش استفاده نمایید.

۳ از نمک آماده موجود در بازار برای سخت‌کاری استفاده نمایید و طبق دستورالعمل سازنده آن را درداخل بوته فولادی در کوره شارژ نمایید.

۴ کوره حمام نمک را روشن نمایید و دمای آن را بر روی دمای ۸۵۰°C تنظیم نمایید.

نکات‌ایمنی:

- نمک‌های سیانید و بخارات حاصل از مذاب آنها سمی بوده و هنگام کار کردن با آنها در تمامی مراحل حتماً از ماسک تنفسی مخصوص استفاده نمایید
- در هنگام کار سیستم تهویه برای خارج کردن بخارات نمکی از کارگاه روشن باشد.
- از تماس مستقیم قطعات بدون پیش گرم کردن به حمام نمک جدا خودداری شود زیرا خطر پاشش نمک مذاب وجود دارد.
- در تمامی مراحل کار با نمک مذاب حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و لباس ضدآتش و کفش ایمنی استفاده نمایید.

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش‌گرم نمایید.

- **نکته‌ایمنی:** قبل از استفاده از کپسول و مشعل از صحت سالم بودن و نشتی آنها و شیلنگ گاز اطمینان حاصل نمایید.

۶ پس از ذوب شدن کامل نمک و رسیدن دمای آن به ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد یک میله به‌صورت افقی روی سطح کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیم‌بندی پیش گرم شده را مطابق شکل ۳۰ به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کنید.

شکل ۳۰ـ وارد کردن نمونه‌ها در حمام نمک

۷ پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت زمان ۲۰ دقیقه در حمام مذاب، با انبر قطعات را از داخل حمام نمک خارج کرده و در داخل آب سرد نمایید.

۸ پس از سرد شدن، نمونه‌ها را از مخزن خارج کرده و از سیم‌بندی جدا کنید.

۹ قطعات جدا شده که حاوی نمک می‌باشند را شست‌وشو دهید. یک طرف همهٔ نمونه‌ها را سنباده بزنید.

۱۰ پس از اندازه‌گیری سختی قطعات، جدول زیر را کامل کنید.

قطعه	شماره ۱ (شاهد)	شماره ۲	شماره ۳	شماره ۴
سختی				
شکل ریز ساختار				

پرسش‌ها

۱ آیا سختی هر سه قطعه با هم برابر است؟

۲ آیا ساختار هر سه قطعه با هم یکی است؟

۳ سختی و ریزساختار قطعه‌ها را با نمونه شاهد مقایسه کنید

۴ نتایج را به‌صورت دقیق همراه با پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

فعالیت کارگاهی ۷

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

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ وان خنک‌کننده

۴ سختی‌سنجی ۵ دستکش و وسایل ایمنی ۶ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد کم کربن (St۳۷)، فولاد کربن متوسط (CK۴۵)، فولاد پرکربن (SPK)

مراحل انجام آزمایش

ابتدا هنرجویان در گروه‌های پنج نفره تقسیم شده و سپس زیر نظر هنرآموز، هر گروه یک نمونه از فولاد کم کربن (St۳۷)،کربن متوسط (CK۴۵) و پر کربن (SPK) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده نمایید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و آنها را شماره‌گذاری نمایید تا در نتایج اشتباهی رخ ندهد و آزمایش را به‌صورت زیر ادامه دهند.

۱ یک نمونه از هرکدام از فولادها را به عنوان شاهد برداشته و سختی آنها را با استفاده از سختی‌سنج راکول اندازه گرفته و همچنین درصد کربن آنها را در جدول زیر بنویسید.

نمونه شاهد	St۳۷	CK۴۵	SPK
درصد کربن			
سختی			

۲ کوره را روشن نمایید. دمای کوره را برای نمونه SPK روی ۹۱۰°C و برای نمونه‌های St۳۷ و CK۴۵ روی ۸۴۰°C تنظیم نمایید.

● **نکته‌ایمنی:** قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید و داخل کوره را از اکسیدهای فلزی تمیز نمایید.

۳ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر، درب کوره را باز نموده و از هرکدام از فولادها یک نمونه (کم کربن، کربن متوسط، پر کربن) را داخل کوره قرار دهید.

نکات‌فنی:

● هنگام وارد کردن نمونه به داخل کوره مواظب باشید ضربه به المنت‌ها یا ترموکوپل وارد نشود.

● چیدمان نمونه‌ها طوری باشد که نمونه‌ها با هم تماس پیدا نکنند و با فاصله مشخص چیده شوند تا هنگام خارج کردن قطعات مشکلی پیش نیاید

● از قرار دادن نمونه‌ها در نزدیکی المنت‌ها و نزدیک درب کوره پرهیز نمایید.

۴ پس از قرار دادن نمونه ها، درب کوره را بسته و زمان آستنیته کردن را اعمال نمایید و نمونه‌ها را یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

۵ درب کوره را باز کرده و سه نمونه حرارت دیده را با انبر از کوره خارج نموده و بلافاصله در روغن سریع سرد نمایید.

نکته‌فنی:

در هنگام وارد کردن نمونه به محیط‌های خنک‌کننده برای یکنواختی محیط خنک‌کننده آن را به‌صورت دورانی حرکت دهید.

● **نکته‌ایمنی:** دهانه انبر را پس از هر بار سریع سردکردن نمونه و برداشتن نمونه دیگر از کوره تمیز کنید.

۶ سطح نمونه‌های سریع سرد شده را از اکسیدهای فلزی تمیز کرده و یک طرف همهٔ نمونه‌ها را سنباده زده و سختی آنها را اندازه گرفته و در جدول زیر بنویسید.

نمونه‌ها	St۳۷	CK۴۵	SPK
سختی			

بحث گروهی

● بیشترین سختی مربوط به کدام فولاد می‌باشد؟

● درصد کربن چه تأثیری بر روی سختی فولاد دارد؟

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

برگشت دادن (Tempering)

پرسش

عملیات برگشت چیست و به چه منظوری انجام می‌شود؟

بـر اثـر سـریع سـرد شـدن در فراینـد سـخت‌کاری فـولاد تـردی آن افزایـش یافتـه و بسـیار شـکننده می‌شـود. بـه همیـن دلیـل بـه نـدرت می‌تـوان از آن در کارهـای صنعتی اسـتفاده نمود..چـرا که مارتنزیت تشـکیل شـده در اثـر سـریع سـرد کـردن بسـیار سـخت و شـکننده اسـت. بـه منظـور بهبـود خـواص مکانیکـی فـولاد پـس از سـخت‌کاری در دمایـی بین حـدود ۶۰۰ـ۲۰۰ درجـه سـانتی‌گراد حـرارت داده می‌شـود. و سـپس بـه آرامـی در هـوا یـا کـوره سـرد می‌شـود. به‌طـور کلـی می‌تـوان گفـت تمپـر کـردن عبـارت اسـت از حـرارت دادن فـولاد سـخت شـده تـا دمایـی زیـر دمـای A_1، نگـه داشـتن بـرای مـدت زمان مشـخص و سـپس سـرد کردن آهسـته تا دمای محیـط. در اثر تمپـر کردن تنش‌هـای داخلی کاهش یافتـه و یا حذف می‌شـوند. بنابراین مقاومـت در برابر ضربـه (چقرمگـی) افزایـش می‌یابـد ولـی در عـوض اسـتحکام و سـختی قطعـه کاهـش می‌یابـد.

دمـا و زمان عملیـات تمپر: دمـا و زمـان عملیات تمپـر بـه سـه عامـل ترکیـب شـیمیایی، ابعـاد قطعه وخـواص مکانیکـی مـورد نظر بسـتگی دارد.

۱ **ترکیـب شـیمیایی قطعـه:** فولادهـا بـا درصـد کربـن و عناصر آلیـاژی مختلف عکس‌العمـل متفاوتی در مقابـل عملیـات تمپـر دارنـد. زیـرا سـاختار پس از سـخت‌کاری ایـن فولادها با یکدیگر متفاوت می‌باشـد. از طرفـی بعضـی عناصـر آلیـاژی مقاومـت فـولاد بـه دمـای برگشـت دادن را افزایش داده و جهت برگشـت دادن شـدن فولاد و رسـیدن به یک خواص مشـخص، نیـاز بـه دمـای برگشـت دادن بالایی می‌باشـد.

۲ **ابعـاد یـا ضخامـت قطعه:** بـا توجه بـه اینکـه در عملیـات برگشـت دادن بایـد حـرارت بـه لایه‌هـای عمقـی نفـوذ کنـد، نیـاز بـه زمـان دارد بـا افزایـش ضخامـت قطعه زمـان عملیات برگشـت دادن افزایش می‌یابـد. اصـولاً بـه ازای هـر یـک اینـچ ضخامت یک سـاعت زمـان برگشـت دادن را در نظـر می‌گیرنـد و حداقـل زمـان جهـت انجـام ایـن عملیـات را یـک سـاعت در نظـر می‌گیرنـد. بایـد بـه ایـن نکتـه دقت کـرد کـه منظـور از زمـان عملیـات، زمـان قرارگیری قطعـات در دمـای برگشـت دادن می‌باشـد.

۳ **خـواص مکانیکی مورد نظر مشـتری:** بـا افزایش دمـا و زمـان برگشـت دادن، تنش‌هـای تسـلیم و کششـی کاهـش یافتـه و انعطـاف پذیـری افزایـش می‌یابـد. دمـای عملیـات برگشـت دادن بـا توجـه به سـختی مورد نظر مشـتری اتخـاب می‌شـود. در اکثر فولادهـا بـا افزایـش دمـای برگشـت دادن سـختی کاهـش می‌یابـد. پـس از سـخت‌کاری ما بـه حداکثر سـختی یک فولاد دسـت پیدا می‌کنیـم درصورتی‌که مشـتری از مـا حداکثـر سـختی را درخواسـت کـرد می‌تـوان از دماهـای پاییـن برگشـت دادن جهـت افزایـش چقرمگـی بـدون کاهـش سـختی اسـتفاده کـرد. در فولادهـای سـاده کربنـی و غیر آلیـاژی این دمـا در حـدود ۱۸۰ درجـه سـانتی‌گراد می‌باشـد. ولـی در فولادهـای آلیـاژی ایـن دمـا به حـدود ۲۵۰ درجـه سـانتی‌گراد می‌رسـد.

چیدمان قطعات درداخل کوره تمپر

در کنـار کوره‌هـای سـخت‌کاری حتمـاً یـک یـا دو کـوره تمپـر وجـود دارد زیـرا تمامی قطعات سـخت شـده نیـاز بـه عملیـات تمپـر دارند.

مشخصات کوره تمپر

۱ دمای کاری: حداکثر ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد؛
۲ اتمسفر کوره: خنثی یا معمولی؛
۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛
۴ سیستم گردش هوا: فن؛
۵ سیستم کنترل دما: کلاً خودکار.

مراحل انجام فرایند:

۱ قرارگیری قطعات در سبد: در تمپر کردن به دلیل اینکه دمای عملیات بالا نیست نوع قرارگیری قطعات از اهمیت چندانی برخوردار نیست ولی تا حد امکان قطعات به‌صورت ایستاده عملیات می‌شوند.
۲ قرارگیری قطعات در مقابل درب کوره؛
۳ باز کردن درب کوره و ورود سبد حامل قطعات به داخل محفظه و بسته شدن درب کوره؛
۴ ارائه برنامه مورد نظر؛
۵ سرد کردن قطعات در کوره یا هوا؛
۶ خروج قطعات از کوره.

گفتنی است عملیات تمپر در روغن و حمام‌های نمک نیز انجام می‌گیرد به صورتی که قطعات داخل سبدهای فلزی قرار داده می‌شود و پس از تنظیم دمای روغن یا کوره حمام نمک قطعات در سبد به‌صورت معلق در داخل آنها قرار داده می‌شود. شکل ۳۱ نمونه‌ای از تمپر کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.

شکل ۳۱ــ تمپر کردن قطعات

فعالیت کارگاهی ۸

تمپر کردن قطعات سخت‌کاری شده

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر، ۳ وان خنک‌کننده ۴ سختی سنجی ۵ دستکش نسوز و وسایل ایمنی ۶ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات سخت‌کاری شده در محیط‌های سردکننده متفاوت

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفره، هر گروه یک نمونه از فولادهای سخت‌کاری شده جلسه قبل که در محیط‌های هوا، آب، آب نمک و روغن سرد شده بودند را انتخاب نمایند. و آزمایش را طبق اصول ایمنی آزمایشات گذشته به‌صورت زیر ادامه دهند.

۱ کوره را روشن کرده و بر روی دمای $500^{\circ}C$ تنظیم نمایید.
۲ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر درب را باز کرده و چهار عدد از نمونه‌های سخت‌کاری شده در محیط‌های متفاوت را در داخل کوره روی صفحه مشبک قرار دهید.
۳ پس از قرار دادن نمونه‌ها داخل کوره درب کوره را بسته و زمان تمپر کردن را اعمال نمایید و تمامی نمونه‌ها

را یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

۴ نمونه‌ها را داخل کوره یا در هوا سرد نمایید.

۵ سطح نمونه‌های برگشت دادن شده را تمیز نموده و یک طرف همهٔ نمونه‌ها را سنباده‌زده و سختی آنها را توسط سختی سنج راکول اندازه‌گیری نموده و در جدول زیر بنویسید.

محیط مورد آزمایش	هوا	آب نمک	آب	روغن
سختی قبل از برگشت دادن				
سختی بعد از برگشت دادن				
ریز ساختار				

بحث گروهی

- عملیات برگشت چه تأثیری بر روی سختی نمونه‌های سخت‌کاری شده در محیط خنک‌کننده‌ها متفاوت گذاشته است؟
- در عملیات برگشت چه تغییراتی در ریز ساختار نمونه‌های سخت‌کاری شده رخ می‌دهد؟
- نتایج را در گزارش کار ثبت و به هنرآموز خود تحویل دهید.

فعالیت کارگاهی ۹

اثر دمای تمپر در سختی فولادهای سخت‌کاری شده

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی، ۲ انبر، ۳ وان خنک کننده، ۴ سختی سنجی، ۵ دستکش

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولادی پر کربن(SPK)

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفره، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (SPk) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده نمایید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره‌گذاری کنید. طبق دستورالعمل‌های عملیات سخت‌کاری تمامی نمونه‌ها را در ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده و در آب سرد نمایید. سختی نمونه‌های سخت‌کاری شده را اندازه گرفته و یک نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را مطابق زیر ادامه دهید: یک نمونه را در دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت در کوره نگهداری و سپس در هوا سرد کنید. عملیات تمپر را برای نمونه دوم در دمای $500^{\circ}C$ به مدت یک ساعت و نمونه سوم را در $700^{\circ}C$ به مدت یک ساعت مطابق روش فوق انجام دهید. سختی نمونه‌ها را پس در جدول زیر یادداشت نمایید.

نمونه	نمونه شاهد	نمونه تمپر شده در دمای $300^{\circ}C$	نمونه تمپر شده در دمای $500^{\circ}C$	نمونه تمپر شده در دمای $700^{\circ}C$
سختی				

بحث گروهی

- تمپر در دماهای مختلف چه تأثیری بر روی سختی فولادهای سخت‌کاری شده داشته است.
- با افزایش دمای تمپر چه تغییراتی در ریز ساختار نمونه‌های سخت‌کاری شده رخ می‌دهد؟
- نتایج را در گزارش کار ثبت و به هنرآموز خود تحویل دهید.

واحد یادگیری ۲: سخت‌کاری سطحی

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به قطعاتی است که درآن سطح قطعات سخت شده و در مقابل سایش مقاوم باشند و در عین حال مغز آنها همچنان نرم و از تافنس ضربه‌ای خوبی برخوردار باشند.
در این واحد یادگیری، انواع روش‌های سخت‌کاری سطحی و نحوهٔ سخت‌کاری سطحی فولادها توضیح داده شده و به‌صورت عملی انجام داده خواهد شد.

استاندارد عملکرد کار:

سخت‌کاری سطحی انواع فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه.

پیش‌نیاز

آشنایی با سخت‌کاری حجمی، انواع فولادها، دیاگرام آهن ـ کربن، متالوگرافی

سخت‌کاری سطحی

پرسش

آیا می‌توان سطح قطعات را سخت کرد به‌طوری‌که مغز قطعه همچنان نرم و چقرمه باقی بماند؟

برخی از قطعات در هنگام کار بر اثر وجود اصطکاک دچار سایش سطحی می‌شوند. این قطعات به‌گونه‌ای هستند که اگر سخت‌کاری عمقی هم شوند ممکن است که در هنگام کار در اثر نیروهای پیچشی دچار شکست شوند. برای این قطعات باید عملیات سخت‌کاری طوری انجام شود که سطح قطعه سخت و مغز آن نرم باشد. شکل ۳۲ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت‌کاری سطحی قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.

شکل ۳۲ـ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت‌کاری سطحی قرار می‌گیرند.

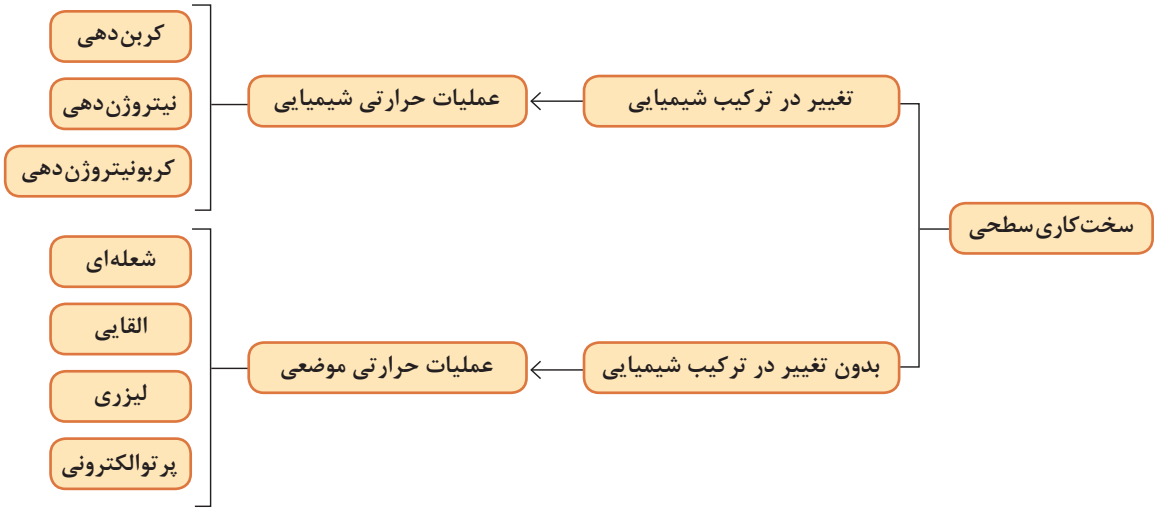
روش‌های مختلف عملیات حرارتی که به کمک آنها می‌توان سطح قطعات را سخت کرد عمدتاً به دو دسته تقسیم می‌شوند که در شکل ۳۳ نشان داده شده است. دستهٔ اول، عملیاتی که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد می‌شوند و به عملیات حرارتی شیمیایی مرسوم‌اند مانند کربوره‌کردن، نیتروره کردن و.... دسته دوم روش‌هایی که بدون تغییر در ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی که در لایه سطحی متمرکز شده است. باعث سخت‌شدن سطح می‌شوند و به عملیات حرارتی موضعی مرسوم‌اند. نظیر سخت کردن شعله‌ای و سخت‌کردن القایی و....

فرایندهای تغییر در ترکیب شیمیایی

کربوره‌کردن : در صورتی که یک قطعه فولاد کم کربن (مثلاً ۰/۱۵ درصد) را دریک اتمسفر مناسب کربن‌زا قرار داده و در درجه حرارت بالایی نظیر $^{\circ}C$ ۹۲۵ حرارت دهیم. کربن آزاد شده از محیط توسط سطح فولاد ابتدا جذب سطحی شده و سپس به داخل آن نفوذ می‌کند. اگر چه‌این عملیات نیاز به زمان دارد ولی در مدت چند ساعت سطح قطعه مقدار قابل ملاحظه‌ای کربن (تا ۱/۲ درصد) جذب خواهد کرد. به‌این ترتیب قطعه‌ای ساخته می‌شود که مغز آن را فولاد کم کربن و سطح آن را فولاد پرکربن تشکیل می‌دهد. 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 چقرمگی خوبی برخوردار خواهد بود. معمولاً عمق سطح سخت‌کاری شده توسط مشتری

مـورد نظـر تعییـن می‌گـردد و ماکزیمـم عمـق نفـوذ کربـن در سـطح در صنعـت ۱/۵ میلی‌متـر می‌باشـد. فراینـد کربوره‌کردن در سـه محیط جامـد، مایع و گاز انجـام می‌گیرد.

فولادهای مناسب کربن‌دهی و سخت‌کاری سطحی: فولادهـای مناسـب کربن‌دهی تحت عنـوان فولادهای سـمانته شـناخته می‌شـوند و دارای کربـن پاییـنی هسـتند. بـرای تهیـه قطعـات کوچـک که در شـرایط سایشـی کار می‌کننـد و احتیـاج بـه مقاومـت زیاد در مغـز نیسـت (بوش‌هـا) از فولادهـای سـاده کربنـی با کربن ۰/۰۷ـ ۰/۲ اسـتفاده می‌شـود. و بـرای قطعاتی کـه تحـت بار بـالا (ضربـه‌ای) کار می‌کننـد مخصوصاً بـرای قطعات بزرگی که در قسـمت مرکزی شـان باید دارای حـد الاسـتیک عالـی بـوده از فولادهـای آلیاژی کـم کربـن اسـتفاده می‌گردد.



شکل ۳۳

فعالیت کلاسی

ترکیب شیمیایی فولاد سمانته ۷۱۳۱ و ۱۱۴۱ را از جدول راهنمای هنرجو استخراج نموده و بنویسید.

کربـوره کـردن جامـد: در روش کربوره‌کـردن جامـد از یک محیـط جامد شـامل مخلوطی از زغـال و یک عامـل انـرژی‌زا اسـتفاده می‌شـود. عامل کربن‌زا (زغـال چوب) و در حـدود ۲۰ ـ۶ درصد مواد انرژی‌زا اسـت. کـه در جـدول۵ آورده شـده اسـت. نمک‌های کربناتـی نظیر کربنات باریم، کربنات سـدیم (سـودا) و کربنات پتاسـیم (پتاس) از عوامل انرژی‌زا هسـتند.

در ایـن روش از مـواد کربـن ده (زغـال چوب) آسـیاب شـده به قطـر ۳/۵ تا ۱۰ میلی‌متر اسـتفاده می‌شـود. در واقـع هـر چقـدر زغال چوب ریزتر باشـد سـطح قطعـه را خوب می‌پوشـاند و نفوذ کربن به‌طـور یکنواخت صـورت می‌گیـرد. سـپس مـواد انـرژی‌زا را کـه به‌صورت نمک بـوده با زغـال چوب مخلـوط می‌کنند.

نـا گفتـه نمانـد نمک‌هـای مـورد اسـتفاده (انـرژی‌زا) نیـز بایـد ریـز باشـند تـا باعـث خوردگی سـطح قطعه نگـردد مـواد انـرژی‌زا در شـرایطی بیشـترین اثـر را دارنـد کـه بـا زغـال چـوب به خوبـی مخلوط شـده و در داخـل جعبـه سمانتاسـیون به‌طـور یکنواخـت توزیـع گردنـد تـا مؤثـر واقع شـوند.

جدول ۵ـ ترکیب مواد کربوره‌کننده در سمانتاسیون جامد

ردیف	زغال چوب	کربنات باریم	کربنات کلسیم	سود خشک	کک	کربنات سدیم
۱	۸۷	-	۳	۱۰	-	-
۲	۹۰ـ۸۵	-	-	۱۵ـ۱۰	-	-
۳	۹۰	۱۰	-	-	-	-
۴	۶۰	۴۰	-	-	-	-
۵	۴۵	۱۲	-	-	۴۳	-
۶	۵۵	۱۲ـ۱۰	-	-	۳۰	۵ـ۳
۷	۸۷	۱۰	۲	-	-	۱

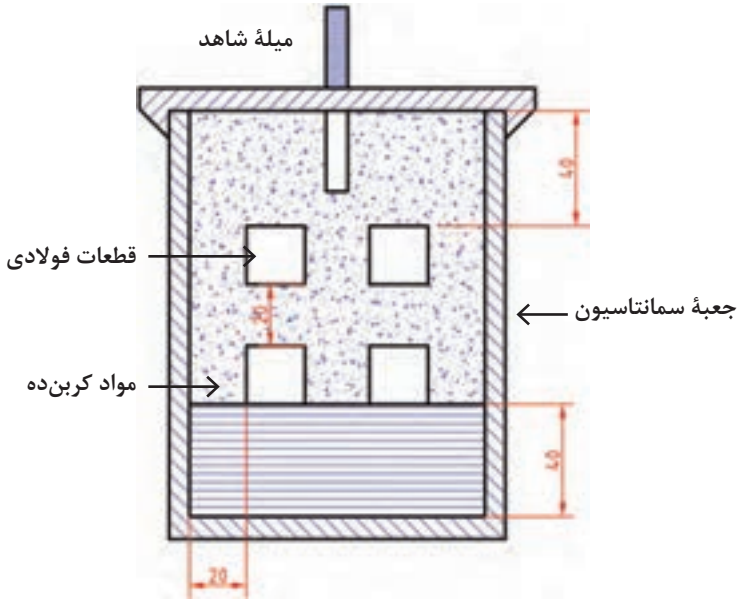
نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

ابتدا مقداری از مخلوط مواد کربن ده وانرژی‌زا را مطابق شکل ۳۷ داخل جعبه‌ای به نام جعبه سمانتاسیون از جنس فولاد کم کربن و یا فولاد نسوز حاوی ۲۵٪ کرم و ۲۰٪ نیکل ریخته و تحت کوبش قرار می‌دهند و آن را متراکم می‌کنند تا ارتفاع آن به ۴۰ میلی‌متر برسد. سپس قطعات فولادی داخل جعبه سمانته با فواصلی در حدود ۲۰ میلی‌متر از یکدیگر و ۲۰ میلی‌متر از دیواره قرار می‌دهند و دوباره عمل کوبش صورت می‌گیرد تا مواد کربن ده سطح قطعات را پوشانده و به اندازه ۲۰ میلی‌متر از قطعات پایینی فاصله داشته باشد و کار به همین ترتیب انجام می‌شود و در آخرین مرحله کوبش باید قطعات به اندازه ی ۴۰ میلی‌متر با لبه جعبه سمانته فاصله داشته باشد.

سپس درب جعبه سمانته گذاشته می‌شود به کمک مواد نسوز (نظیر خاک رس) درب جعبه را مسدود می‌کنند به نحوی که تبادل هوا یا گاز بین داخل جعبه و محیط اطراف انجام نگیرد تا عمل کربن‌دهی به نحو مطلوب انجام شده و امکان اکسید کردن قطعات نیز کاهش یابد.

شکل جعبه حتی الامکان باید طوری باشد که به‌عنوان یک دستگاه کربن‌دهنده عمل نماید جعبه‌های سمانتاسیون به شکل مکعب مستطیل و استوانه‌ای ساخته می‌شوند. عرض جعبه نباید از ۲۵ سانتی‌متر تجاوز نماید تا انتقال سریع حرارت به‌داخل جعبه و همچنین برداشتن سریع جعبه از داخل کوره را امکان‌پذیر سازد.

کار میله شاهد در شکل ۳۴ در جعبه سمانتاسیون تعیین عمق نفوذ کربن می‌باشد. قطر میله شاهد بین ۶ تا ۱۰ میلی‌متر است و جنس آن می‌تواند از همان فولادی باشد که قرار است کربن‌دهی گردد. در غیر این‌صورت می‌توان از فولادهای ساختمانی کربنی استفاده نمود. بعد از پایان زمان مقرر کربوراسیون، میله شاهد خارجی را از جعبه سمانتاسیون خارج کرده و سپس آن را سخت می‌کنند و عمق نفوذ کربن را به‌دست می‌آورند.



شکل ۳۴ـ جعبه سمانتاسیون

مکانیزم کربوراسیون جامد

گرچه در این روش قطعه کار در مواد کربوره‌کننده جامد حرارت داده می‌شود ولی عامل اصلی کربوره‌کننده گاز منواکسید کربن (CO) است که کربن اتمی را به سطح قطعه حمل می‌کند.

$$2CO \xrightarrow{\text{در سطح فولاد}} CO_2 + C_{\text{اتمی}}$$

در دمای بالا کربن اتمی جذب سطحی فولاد شده و سپس به داخل آن نفوذ می‌کند. گاز CO_2 حاصل از واکنش اتمی مجدداً براساس واکنش با زغال ترکیب شده و تولید CO می‌کند و عملیات کربن‌دهی طبق واکنش زیر ادامه می‌یابد.

$$CO_2 + \text{زغال} \longrightarrow 2CO$$

در صورت استفاده تنها از زغال، سرعت کربن‌دهی کم بوده و بدون استفاده از مواد انرژی‌زا مقرون به صرفه نیست. معمولی‌ترین ماده انرژی‌زا کربنات باریم است که در ضمن گرم‌شدن براساس واکنش زیر تجزیه می‌شود.

گاز CO۲ حاصل

$$BaCO_3 \xrightarrow{\text{حرارت}} BaO + CO_2$$

از تجزیه کربنات باریم با زغال ترکیب و CO فعال تولید می‌کند که باعث تسریع عمل کربن‌دهی می‌شود.

نتایج نشان داده قطعات برای هر ساعت ۰/۱ میلی‌متر نفوذ می‌پذیرند. با افزایش درجه حرارت و یا زمان کربوره‌کردن، ضخامت لایهٔ کربوره شده نیز افزایش می‌یابد. اگر نیاز باشد که قسمت‌هایی از سطح قطعه کربوره نشوند. نواحی فوق را می‌توان توسط یک لایه مسی به ضخامت ۰/۱ تا ۰/۷۵ میلی‌متر یا توسط خمیری از مخلوط گل رس و آزبست پوشانید، در این صورت مناطق پوشش داده شده کربوره نخواهند شد.

زمانی از کربوره‌کردن جامد استفاده می‌شود که به عمق نفوذ بالایی نیاز داشته باشیم. و یکی از معایب این روش عدم کنترل دقیق عمق نفوذ کربن می‌باشد. و همچنین قطعاتی که در مرکز جعبه سمانته قرار گرفته‌اند از عمق نفوذ کربن کمتری نسبت به قطعات کناری برخوردار هستند.

فعالیت کارگاهی ۱۰

سخت‌کردن سطحی فولاد به روش کربن‌دهی جامد

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی، ۲ انبر، ۳ وان خنک‌کننده، ۴ سختی سنجی ۵ زغال چوب ۶ـ نمونه‌های مورد آزمایش، ۷ گل نسوز(خاک رس) ۸ جعبه سمانتاسیون ۹ مواد انرژی‌زا (کربنات کلسیم و سود خشک)

نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)

مراحل انجام آزمایش:

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفره، زیر نظر هنرآموز، هر گروه یک نمونه فولاد سمانته CK۱۵ را به قطر ۱ و ارتفاع ۲cm آماده کرده و دو سطح نمونه‌ها را سنباده‌زده و آنها را شماره‌گذاری نمایید و یک نمونه به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آن را یادداشت نمایید و آزمایش را به‌صورت زیر ادامه دهید.

۱ مواد کربوره‌کننده مطابق جدول زیر تهیه کرده و آزمایش را به‌صورت زیر ادامه دهید.

ترکیب	زغال چوب	کربنات کلسیم	سود خشک
مقدار	۸۷	۳	۱۰

۲ زغال چوب‌های مورد نیاز را با توجه به حجم جعبه سمانتاسیون توزین نموده خرد کرده و به اندازه ۳ـ۵ میلی‌متر برسانید.

● **نکته‌ایمنی:** در هنگام کار با زغال چوب و نمک‌ها حتماً از دستکش و ماسک صورت استفاده نمایید.

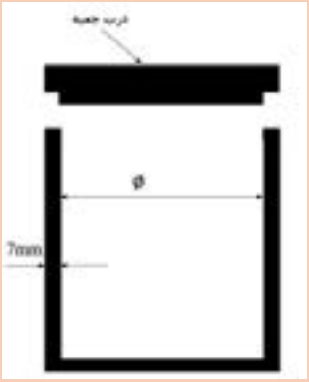
۳ مواد انرژی‌زا را که به‌صورت نمک بوده با توجه به جدول وزن کرده و آنها را خرد نموده و به‌صورت پودر در آورید.

۴ زغال چوب و مواد انرژی‌زا وزن شده را با هم مخلوط کنید و خوب به‌هم بزنید تا مواد انرژی‌زا به‌صورت همگن توزیع شوند.

۵ جعبه سمانتاسیون به مطابق شکل ۳۵ به شکل استوانه‌ای (لوله) از جنس فولاد کم کربن (St۳۷) را با توجه به ابعاد کوره موجود در آزمایشگاه تهیه نمایید.

۶ مقداری از ترکیب مواد کربن ده را داخل جعبه سمانته ریخته و به ارتفاع ۲Cm از کف جعبه تحت کوبش قرار دهید.

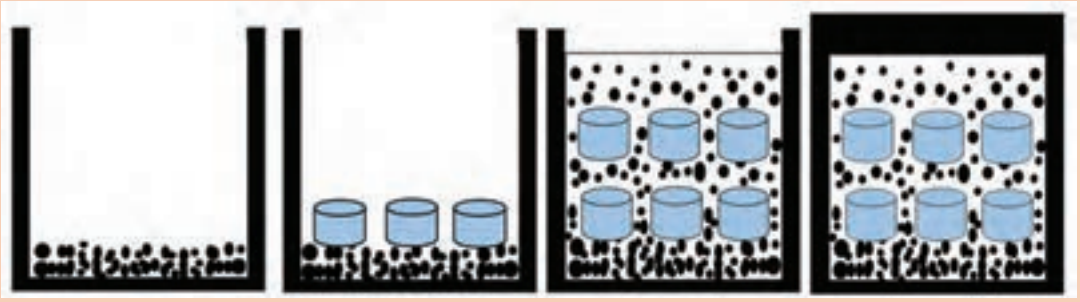
۷ نمونه‌های مورد نظر را در سطح متراکم شده داخل جعبه به فاصله حدود ۲cm ازیکدیگر و ۲Cm از دیواره جعبه قرار داده و دوباره عمل کوبش را انجام دهید و در آخرین مرحله کوبش قطعات با لبه جعبه ۲cm فاصله در نظر بگیرید. و سپس درب جعبه را گذاشته



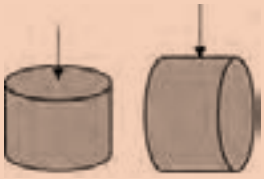
شکل ۳۵ـ تصویر جعبه سمانتاسیون

محکم ببندید و با خاک رس آب‌بندی کنید تا گازهایی که تولید می‌شوند نتوانند خارج شوند. (مطابق شکل زیر)

۸ کوره را روشن نموده و جعبه را در داخل کوره قرار دهید. جعبه‌ها را به مدت ۶ساعت در دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دهید.



۹ پس از نگهداری در دمای ذکر شده کوره را خاموش کنید و اجازه دهید که نمونه‌ها در جعبه سمانته سرد شوند.



● **نکته:** به دلیل این که قطعاتی که کربن‌دهی جامد می‌شوند عمل خنک‌شدن به کندی صورت می‌گیرد. ادامه فعالیت را در جلسه بعد به‌صورت زیر ادامه دهید.

۱۰ نمونه‌ها را از جعبه خارج کرده یک طرف تمام نمونه‌ها را در حدود ۲mm سوهان‌کاری نمایید. یکی از نمونه‌ها را شاهد نگه داشته و آزمایش را به‌صورت زیر انجام دهید.

۱۱ نمونه‌های دیگر را در ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت در کوره حرارت دهید. و سپس در آب، هوا، روغن سرد نمایید.

۱۲ سختی نمونه‌ها را درسطح و عمق اندازه‌گیری نمایید.

۱۳ جدول زیر را تکمیل کنید. و نتایج را در گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

نمونه	شاهد اولیه	شاهد کربوره شده و سریع سرد شده در جعبه(هوا)			نمونه کربوره شده و سریع سرد شده در روغن		نمونه کربوره شده و سریع سرد شده در آب	
سختی	مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح

بحث گروهی

چه تفاوتی در میزان‌سنجی فقر و سطح نمونه‌ها وجود دارد. بیشترین مقدار سختی در سطح مربوط به کدام نمونه است؟ چرا پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

کربوره‌کـردن مایـع: کربوره‌کردن مایع در مذاب مخلوط‌هـای نمک‌هـای سیانید سدیم (۲۰ تـا ۵۰ درصـد)، کربنـات سـدیم (۴۰ درصـد) و مقادیر متنابهـی از کلریـد سـدیم و یـا کلریـد باریـم انجـام می‌گیـرد. مخلـوط مـورد نظـر را در بوته‌هایـی از جنـس فـولاد ریختـه و ذوب می‌کننـد و در دمایـی بیـن ۸۷۰°C تـا ۹۵۰°C عملیـات کربن‌دهی صورت می‌گیـرد.

در ایـن حمـام عامـل کربـن‌زا نمک سـیانید سـدیم می‌باشـد. و از نمک‌هـای خنثـی (کلریـد سـدیم و کربنـات سـدیم) به‌منظـور به‌دسـت آوردن ترکیـب شـیمیایی مناسـب، تنظیـم غلظـت سـیانور، کنترل دمای ذوب و سـیالیت حمام نمک اسـتفاده می‌شود.

قطعـات مـورد نظـر را در سـبدهای فلـزی ریختـه و یـا توسـط سـیم‌های فلـزی به‌طـور معلـق در مذاب بـرای مـدت زمـان معینـی کربـوره می‌کننـد. زمـان کربوره‌کـردن بـه عمـق نفـوذ مـورد نظـر بسـتگی دارد. پـس از پایـان عملیـات سـبد حـاوی قطعـات کربـوره شـده را در آب یـا روغـن فـرو می‌برنـد.

کربوره‌کـردن مایـع را معمـولاً برای قطعـات کوچک کـه نیـاز بـه ضخامـت کربـوره شـده کمـی داشـته باشـند بـه کار می‌برنـد.

چـون ظرفیـت حرارتـی نمـک مـذاب بـالا بـوده و انتقـال حـرارت از مایـع بـه قطعـه سـریع می‌باشـد ایـن روش نسـبت بـه کربوره‌کردن جامد سـریع‌تر و اقتصادی‌تـر اسـت.

نکته

نمک‌هـای سـیانید و بخـارات حاصـل از مـذاب آنهـا بسـیار سـمی بـوده و هنـگام کار کـردن با آنهـا باید کلیـهٔ نـکات ایمنـی مربـوط بـه‌کار گرفتـه شـوند. شـکل ۳۶ نمونـه‌ای از کربوره‌کـردن قطعـات در حمام نمـک را نشـان می‌دهـد.

شکل ۳۶ـ کربوره‌کردن مایع در حمام نمک

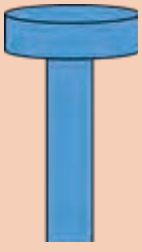
فعالیت کارگاهی ۱۱

کربوره‌کردن مایع در کوره حمام نمک

وسایل مورد نیاز:

۱ کوره عملیات حرارتی ۲ حمام نمک کربوراسیون ۳ سیم فولادی به ضخامت ۲میلی‌متر ۴ پیش گرم‌کن ۵ انبر ۶ وان خنک‌کننده ۷ سختی سنجی ۸ قلاب

نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)



روش انجام آزمایش:

۱ سه عدد از نمونه‌ها را مطابق شکل زیر انتخاب کرده و یکی را به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی

نمونهٔ شاهد را با استفاده از سختی سنج راکول اندازه‌گیری نموده و یادداشت نمایید. و بقیه آزمایش را به‌صورت زیر ادامه دهید.

۲ دو نمونهٔ دیگر را مطابق شکل زیر با سیمی به ضخامت ۲ میلی‌متر سیم‌بندی نموده و آخر آن را به‌صورت قلاب در آورید.

● **نکات فنی:** نمونه‌ها باید به‌صورت سفت سیم‌بندی شوند تا در داخل حمام نمک نیفتند.

● از ضخامت مناسب سیم‌های فولادی و ذکر شده در سیم‌بندی استفاده کنید.

● اندازه سیم‌بندی طوری باشد که قطعات به‌صورت معلق در حمام نمک باشند تا از خارج ماندن قطعه از حمام نمک یا برخورد نمونه با کف بوته خودداری شود.

● **نکته ایمنی:** هنگام سیم‌بندی نمونه حتماً از دستکش استفاده نمایید.

۳ از نمک آماده موجود در بازار برای کربن‌دهی استفاده نمایید وطبق دستورالعمل سازنده آن را درداخل بوته فولادی در کوره شارژ نمایید.

۴ کوره حمام نمک را روشن نمایید و دمای آن را بر روی دمای $^{\circ}C$ ۸۵۰ تنظیم نمایید.

● **نکته ایمنی:** نمک‌های سیانید و بخارات حاصل از مذاب آنها سمی بوده و هنگام کار کردن با آنها در تمامی مراحل حتماً از ماسک استفاده نمایید و از تهویه مناسب برای خارج‌کردن بخارات استفاده کنید.

● از تماس مستقیم تمام مواد بدون پیش گرم‌کردن آنها به حمام نمک جداً خودداری شود زیرا خطر پاشیدن نمک مذاب وجود دارد.

● در تمامی مراحل کار با حمام نمک مذاب حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و لباس ضد آتش و کفش ایمنی استفاده نمایید.

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد پیش گرم نمایید.

● **نکته ایمنی:** قبل از استفاده از کپسول و مشعل از صحت سالم بودن و نشتی آنها و شیلنگ گاز اطمینان حاصل نمایید.

۶ پس از ذوب شدن کامل حمام نمک و رسیدن دمای آن به ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد یک میله به‌صورت افقی روی کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیم‌بندی پیش گرم شده را به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کرده و به‌صورت معلق از میله فولادی آویزان کنید.

● **نکات فنی:** حتماً دقت نمایید تا نمونه‌ها به‌طور کامل در داخل حمام نمک قرار داشته باشند.

● از معلق بودن قطعات در حمام نمک مطمئن شوید و از برخورد نمونه به کف بوته خودداری نمایید.

۷ پس از مدت زمان ۴ ساعت با انبر دو نمونه را از داخل حمام نمک خارج کرده و در داخل روغن و آب سرد نمایید.

● **نکته ایمنی:** هنگام وارد کردن نمونه‌ها به داخل محیط خنک‌کننده از ماسک صورت استفاده نمایید.

۸ پس از سرد شدن قطعات در حمام نمک قطعات را از کوره خارج کرده و قطعات را از سیم‌بندی‌ها جدا کنید.

۹ قطعات جدا شده حاوی نمک را شست‌وشو دهید. و سختی آنها را اندازه‌گیری نمایید و در جدول زیر یادداشت کنید.

نمونه	شاهد	سرد شده در آب	سرد شده در روغن
سختی			

بحث گروهی

● در مورد سختی نمونه شاهد و نمونه سخت‌کاری شده در روغن و آب بحث و گفت‌وگو نمایید.
● در مورد دلایل اختلاف سختی سطح و مغز قطعه بحث و گفت‌وگو نمایید.
● پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

کربن‌دهی گازی: کربوره‌کردن گازی که نسبت به روش‌های جامد و مایع از قدمت کمتری برخوردار می‌باشد به عنوان اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است. در کربوره‌کردن گازی قطعات کار را در $^{\circ}C$ ۹۰۰ برای مدت ۳ الی ۴ ساعت، در اتمسفری که شامل گاز یا گازهایی باشد که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و تولید کربن اتمی کند، حرارت می‌دهند. معمولی‌ترین منبع کربن متان است و در صورتی که به تنهایی استفاده شود بر روی سطح قطعات دوده تشکیل می‌شود. از این رو گاز طبیعی را با گاز حامل که قابلیت کربن‌دهی بسیار کمی دارد مخلوط و استفاده می‌کنند. گاز حامل مخلوط گازی از نوع گرماگیر یا اندوترمیک (مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن، و منو اکسید کربن) است که با متان مخلوط می‌شود. مخلوط فشرده از هوا و گاز طبیعی با نسبت سه حجم هوا و یک حجم گاز طبیعی را

شکل ۳۷ـ کوره کربورایزینگ گازی

در محـدوده ۱۲۰۰ـ۱۰۴۰ درجـه سـانتی‌گراد گـرم کرده سـپس از روی بسـتری از نیکل به عنـوان کاتالیزور عبـور می‌دهنـد. اتمسـفر فـوق معمـولاً از هیدروکربن‌ها نظیر گاز طبیعـی متان (CH_4) و یـا پروپان (C_3H_8) تشـکیل شـده کـه به‌طـور جزئـی در کـوره سـوخته و یا اینکـه با یـک گاز رقیق‌کننده موسـوم بـه گاز حامل مخلوط شـده باشـد.

سـوختن ناقـص و یـا اسـتفاده از گاز حامـل به‌منظـور به‌دسـت آوردن پتانسـیل‌کردن کربـن مـورد نظـر در سـطح فـولاد می‌باشـد. گازهـای حامـل معمـولاً شـامل مخلوطـی از نیتـروژن، هیـدروژن و منواکسـیدکربن می‌باشـند. بنابرایـن هماننـد روش‌هـای جامد و مایـع در این روش نیز عامل فعال منواکسـیدکربن می‌باشـد. شـکل ۳۷ کـوره کربورایزینـگ گازی را نشـان می‌دهد.

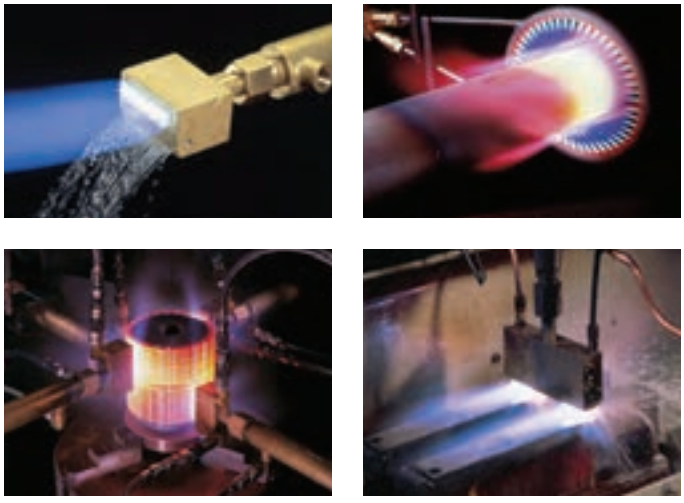
نیتریده‌کـردن: نیتریده‌کـردن عبـارت اسـت از وارد کردن نیتـروژن اتمی در لایه سـطحی فـولاد. بنابراین سـختی سـطح در ایـن روش بسـتگی به نیترید فلزی تشـکیل شـده دارد. قطعات فولادی را کـه به‌این روش می‌تـوان سـخت کـرد دارای عناصـر آلیاژی نظیـر آلومینیوم، کـرم، مولیبدن و یا وانادیم باشـد.

عناصـر فـوق بـه محـض تمـاس پیدا کردن بـا نیتـروژن اتمی در سـطح قطعه، با آن ترکیب شـده و تشـکیل نیتریدهـای پایـدار و سـخت می‌دهنـد. همچنین نیتـروژن با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شـده و تشـکیل نیتریـد آلیـاژی می‌دهـد. ماننـد نیتریدهای کـرم، نیتریدهـای تیتانیـوم (TiN) و.... در حقیقت سـختی زیاد لایـهٔ سـطحی فولادهـای نیترید شـده، ناشـی از وجود همین ذرات بسـیار ریـز و پراکندهٔ نیتریدهـای آلیاژی می‌باشـد. نیتریـده کـردن در دمـای ۵۵۰°C تـا ۶۵۰°C انجـام می‌گیـرد و پـس از نیتریده‌کـردن نیـازی به سـریع سـرد کـرد نقطعه نیسـت و معمـولاً قطعـات را در هوا سـرد می‌کنند.

سخت‌کردن شعله‌ای

در ایـن روش سـطح قطعـه بـه کمـک یـک شـعلهٔ گازی حـرارت داده شـده و پـس از آستنیته‌شـدن بلافاصله سـریع سـرد می‌شـود. شـعلهٔ مـورد نیاز در ایـن روش را می‌تـوان از طریـق مشـعل اکسـیژن و یـک گاز قابـل احتـراق نظیـر اسـتیلن، پروپـان و یـا گاز طبیعـی تهیـه نمود. قطعات کوچـک و یا مناطق موضعـی نظیـر لبـه ابزارهـای بـرش و یـا انتهـای آچارهـا را می‌تـوان بـه کمک شـعلهٔ دسـتی حرارت داد و سـپس تمام قطعه را در آب سـریع سـرد کرد. بـرای سـخت‌کردن قطعـات بـزرگ و یا سـطوح زیاد می‌تـوان از دسـتگاه‌های خـودکار کـه در آنها شـعله و یـک فـوارهٔ آب تعبیـه شـده‌اند اسـتفاده کـرد.

در ایـن روش مشـعل بـا سـرعت مناسـب بـر روی سـطح قطعـه بـه نحـوی حرکـت می‌کنـد کـه تـا عمـق مشـخصی از آن را آسـتنیته کـرده و به همراه آن فـوارهٔ آب منطقهٔ آسـتنیته شـده را سـریع سـرد می‌کننـد. قطعـات بـا شـکل‌های متقـارن ماننـد میله‌هـای اسـتوانه‌ای شـکل را می‌تـوان در داخـل یـک مشـعل حلقـه‌ای شـکل بـا حرکـت دورانـی و انتقـال ابتـدا آسـتنیته و سـپس توسـط فـوارهٔ آبـی کـه بـه دنبال مشـعل و در فاصلـهٔ نزدیکـی از آن در حال حرکت اسـت سـریع سـرد کردن کـرد. ازجمله معایـب عمـده سـخت‌کردن شـعله‌ای، اکسـیده و یا دی کربوره شـدن سـطح قطعه اسـت. با اسـتفاده از شـعله‌های اکسـیدکننده ضعیـف و یـا احیـا کننـده عیـب مزبـور را تـا حـدودی می‌توان کاهـش داد و یا حـذف کرد. مقدارکربن توصیه شـده و مناسـب برای فولادهایـی کـه قـرار اسـت بـه روش سـخت‌کردن شـعله‌ای سـخت شـوند در حدود۰/۴ تـا ۰/۵ درصد می‌باشـد. معمولاً ضخامت پوسـته‌های سـخت شـده بیـن ۳ تـا ۱۲ میلی‌متـر متغیـر اسـت. شـکل ۳۸



شکل ۳۸ـ سخت‌کاری سطحی

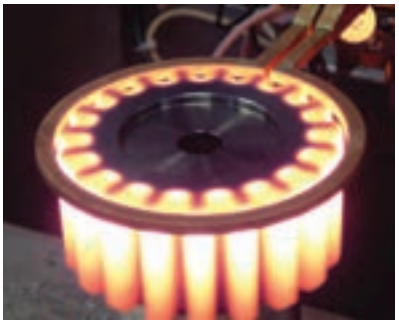
فعالیت کارگاهی ۱۲

سخت‌کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

یک میله فولادی یا یکی از ابزارهای دستی موجود در کارگاه مانند پیچ‌گوشتی را انتخاب نموده سختی آن را اندازه بگیرید و سپس مشعل جوشکاری (اکسیژن با استیلن) را به شعله خنثی تنظیم نمایید تا از اکسیداسیون سطحی قطعه جلوگیری شود و سپس قسمت انتهای آن را تا دمای مناسبی (۸۵۰ °C) حرارت داده و در آب سریع سرد نمایید و مجدداً سختی آن را اندازه بگیرید و نتیجه را به‌صورت گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

سخت‌کردن القایی

اصول این روش شبیه به سخت‌کردن شعله‌ای است، به این صورت که فقط سطح قطعه آستنیته شده و سپس سریع سرد می‌شود منتهی در این روش حرارت دادن سطح به کمک سیم‌پیچ هادی که از آن جریان متناوب با فرکانس زیاد (در محدوده ۲ تا ۵۰ کیلوهرتز) عبور می‌کند انجام می‌گیرد. ضخامت سخت شده بستگی به فرکانس جریان دارد. هر چه فرکانس جریان بیشتر باشد عمق نفوذ جریان و بنابراین ضخامت لایهٔ سخت شده کمتر خواهد بود. در این روش قطعه در مجاورت سیم پیچ حامل جریان قرار گرفته و پس از چند ثانیه به درجه حرارت آستنیته می‌رسد و بلافاصله سریع سرد می‌شود. در این روش می‌توان سختی HRC ۶۰ را در برخی از فولادها تا عمق ۳ میلی‌متر تولید کرد و به دلیل زمان کوتاهی که قطعه در درجه حرارت بحرانی بالایی قرار می‌گیرد، اکسیده‌شدن، دی کربوره شدن و یا رشد دانه‌ها ناچیز می‌باشد. مدت زمان حرارت دادن توسط جریان‌های القایی با فرکانس بالا بسیار کوتاه و اغلب در حدود چند ثانیه می‌باشد. شکل ۳۹ نحوه گرم کردن چرخ دنده‌ها توسط کویل به وسیله القا را نشان می‌دهد.



شکل ۳۹ـ سخت‌کردن چرخ دنده به روش ایندا کشن

شاخص عملکرد:
۱ـ تنظیم دمای کوره ۲ـ قرار دادن قطعات داخل کوره ۳ـ زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴ـ خارج کردن قطعات از کوره در دمای مناسب و کوئنچ قطعات ۵ـ تمپر کردن قطعات

شرایط انجام کار:
۱ـ انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویه استاندارد و دمای $20^{\circ}C \pm 3^{\circ}$ ۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۱۵۰ دقیقه

مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی

ابزار و تجهیزات :
کوره عملیات حرارتی ـ ترمومتر ـ زمان‌سنج ـ انواع انبر ـ سبد فلزی نسوز ـ گاری ـ جرثقیل ـ دستگاه اندازه گیری سختی یونیورسال

نمونه و نقشه کار:
۱ـ راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی سخت کاری کامل فلز و آلیاژ موردنظر طبق دستورالعمل
۲ـ وارد کردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان¬بندی سیکل عملیات حرارتی سخت کاری کامل و چیدمان صحیح قطعات داخل کوره
۳ـ نگهداری قطعات در کوره برای زمان مشخص طبق دستورالعمل
۴ـ خارج کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی تنش گیری در دمای مناسب طبق دستورالعمل
۵ـ تمپر کردن قطعات تا رسیدن به سختی مورد نظر

معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	آماده کردن کوره عملیات حرارتی	۲	
۲	سختی سنجی قطعات	۱	
۳	وارد کردن قطعات به داخل کوره	۲	
۴	کنترل کردن دمای کوره	۱	
۵	خارج کردن قطعات از کوره و سخت کاری در محیط خنک کننده	۲	
۶	تمپر کردن قطعات	۱	
	شایستگی های غیر فنی , ایمنی, بهداشت, توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس‌کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیزکردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

ارزشیابی پایانی سخت‌کاری سطحی

شاخص عملکرد:
۱ـ تنظیم دمای کوره ۲ـ قرار دادن قطعات داخل کوره ۳ـ زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴ـ سختی نهایی سطح

شرایط انجام کار:
۱ـ انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویه استاندارد و دمای $20^{\circ}C \pm 3^{\circ}$ ۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۱۴۰ دقیقه

مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی

ابزار و تجهیزات :
کوره عملیات حرارتی ـ ترمومتر ـ زمان‌سنج ـ انواع انبر ـ سبد فلزی نسوز ـ گاری ـ جرثقیل ـ دستگاه اندازه گیری سختی

نمونه و نقشه کار:
۱ـ راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی تمپر فلز و آلیاژ موردنظر طبق دستورالعمل
۲ـ وارد کردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان‌بندی سیکل عملیات حرارتی سختی سطحی و چیدمان صحیح قطعات در داخل کوره
۳ـ نگهداری قطعات در کوره در زمان مشخص شده طبق دستورالعمل و خارج کردن قطعات بعد از زمان مذکور

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	
۵	سخت کردن سطحی قطعات بدون تغییر ترکیب شیمیایی	۲	
	شایستگی های غیر فنی , ایمنی, بهداشت, توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس‌کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیزکردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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