



پودمان سوم

سخت کاری



## واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی سخت کاری حجمی

یکی از روش‌های عملیات حرارتی، سخت کاری است. 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 سخت کاری و نحوه سخت کاری انواع فولادها و تجهیزات مورد استفاده در عملیات حرارتی سخت کاری توضیح داده شده و به صورت عملی انجام داده خواهد شد.

## استاندارد عملکرد کار

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

## پیش‌نیاز

آشنایی با انواع فولادها، دیاگرام آهن - کربن، متالوگرافی

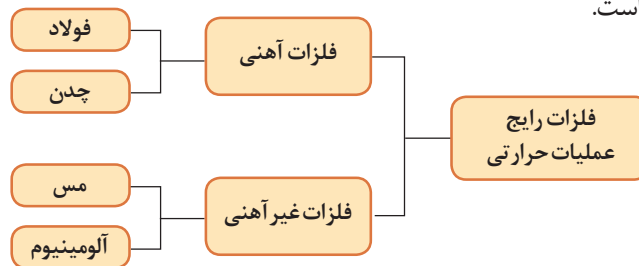
## عملیات حرارتی

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، ماشین سازی، هوا و فضا، ریخته‌گری، شکل دادن، جوشکاری، متالورژی پودر و صنایع دفاعی و نظامی کاربرد دارد. نمودار 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.



نمودار ۱

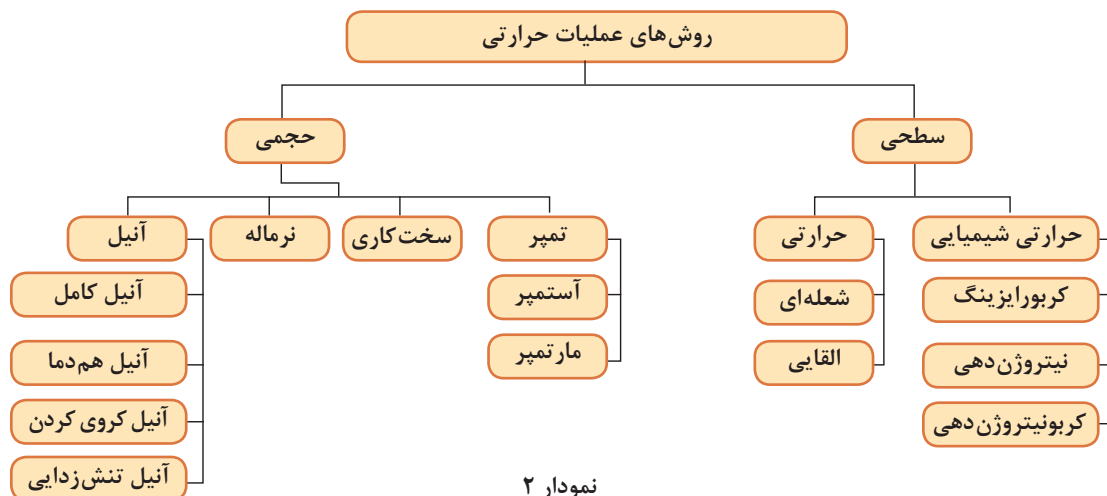
### اهداف عملیات حرارتی:

به طور 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 شکل پذیری
- ۳ برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعات (حذف تغییرات ایجاد شده در ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشین کاری و غیره)

### روش‌های عملیات حرارتی:

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



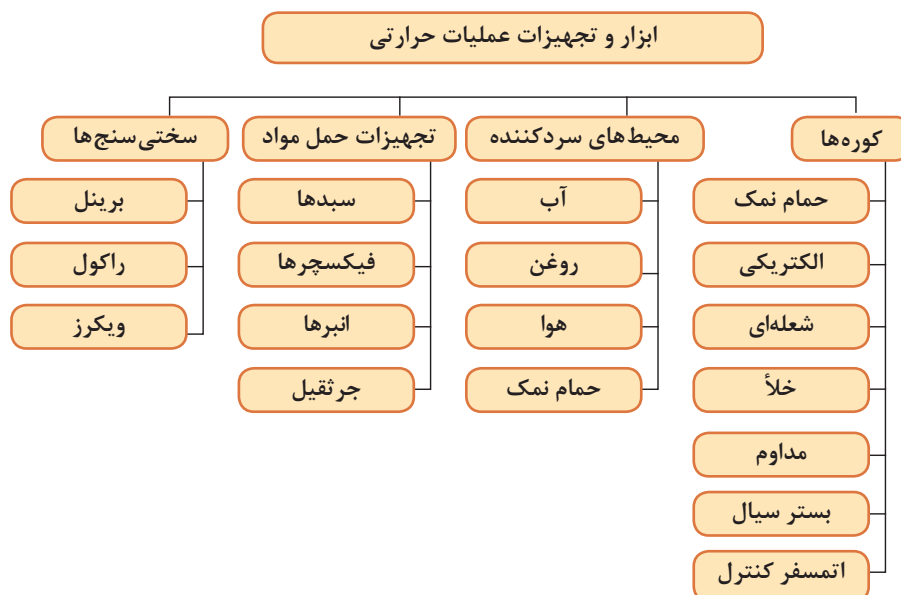
نمودار ۲

## 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
			نام
			کاربرد

نمودار ۳- ابزار و تجهیزات مورد استفاده جهت انجام عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



## کوره‌های عملیات حرارتی

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

نشان داده شده در شکل‌های ۴-ج و ۴-د هستند. این کوره‌ها به ترتیب از نوع المنت غوطه‌ور و کف خوابیده هستند. در هر دو نوع مقاومت نمک در برابر جریانی از یک الکتروود به الکتروود دیگر باعث گرم شدن آن می‌شود. این حالت باعث به هم خوردن مذاب و در نتیجه یکنواختی دمای حمام است. از معایب کوره‌ها با الکتروود غوطه‌ور در مذاب این است که الکتروودها از قسمتی که در بالای مذاب قرار گرفته‌اند در اثر حرارت معیوب می‌شوند که این مورد در نوع کف خوابیده وجود ندارد. از جمله خصوصیات کوره‌های حمام نمک انتقال حرارت سریع به قطعه و کاهش زمان آستنیت‌دهی کردن قطعات است. همچنین به دلیل اینکه 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 به کار می‌روند.

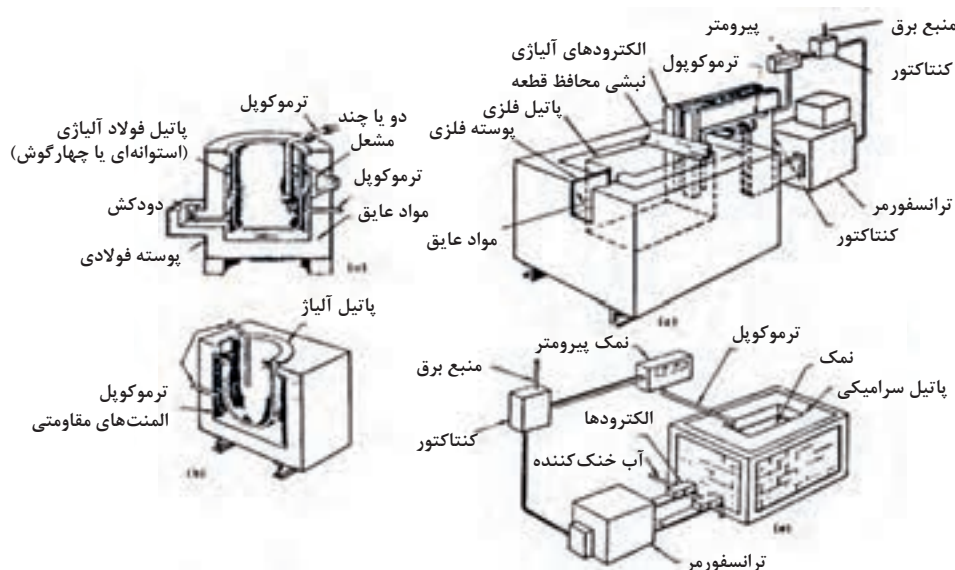
**۱ کوره‌های حمام نمک:** در ساده‌ترین حالت این کوره‌ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطه ذوب پایین و المنت‌های حرارتی غوطه‌ور در آن هستند. این نوع حمام‌ها فقط برای محدوده حرارتی ( $345^{\circ}\text{C} - 175$ ) به کار برده می‌شوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته‌تری لازم است. شکل ۴-الف نوع کوره پاتیلی گاز سوز (شعله‌ای) را نشان می‌دهد این کوره‌ها برای گرم کردن قطعات تا دمای  $900^{\circ}\text{C}$  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 ۴-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 ( $760^{\circ}\text{C}$  تا  $1260^{\circ}\text{C}$ ) به کار می‌روند مشابه کوره‌های

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

- باید 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 به کار رفته باید با سایر نمک‌ها و سوخت‌هایی که در فرایند عملیات حرارتی مورد نظر به کار 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 - مشخصات نمک‌های مورد استفاده در حمام نمک

ردیف	نوع نمک	فرمول شیمیایی	درصد وزنی	درجه حرارت ذوب °C	درجه حرارت کاری °C
۱	سدیم کلرید سدیم کربنات	NaCl Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۵۰ ۵۰	۵۶۵	۵۹۰ - ۹۰۰
۲	سدیم کلرید کلسیم کلرید	NaCl CaCl <sub>2</sub>	۵۰ ۵۰	۵۹۰	۶۳۰ - ۸۵۰
۳	سدیم کلرید باریم کلرید	NaCl BaCl <sub>2</sub>	۲۰ ۸۰	۶۳۵	۶۷۵ - ۱۰۶۰
۴	سدیم کلرید پتاسیم کلرید	NaCl KCl	۴۵ ۵۵	۶۶۰	۶۷۵ - ۹۰۰
۵	پتاسیم نیترات سدیم نیترات	KNO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۵۵ ۴۵	۱۵۳	۱۷۰ - ۵۰۰
۶	سدیم کربنات	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۱۰۰	۳۲۲	۳۵۰ - ۷۰۰
۷	پتاسیم کربنات	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۱۰۰	۳۶۰	۴۰۰ - ۶۵۰
۸	سدیم کربنات پتاسیم کربنات	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	۳۷ ۶۳	۱۵۹	۱۸۰ - ۳۵۰



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

**۲ کوره الکتریکی:** در این کوره‌ها گرمای لازم جهت آستنیته کردن قطعات از المنت‌ها تأمین می‌شود در بیشتر کوره‌ها المنت‌ها در داخل کوره قرار دارد. ولی در بعضی کوره‌ها المنت‌ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره قرار دارند. اصولاً قرارگیری المنت‌ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره باعث افزایش کارکرد آنها می‌شود زیرا در صورتی که المنت‌ها در محفظه اصلی قرار گیرند، امکان برخورد قطعات به این المنت‌ها وجود دارد و این باعث آسیب رساندن به المنت‌ها می‌شود. جهت یکنواختی بیشتر دمای کوره بهتر است در تمامی دیواره‌های کوره المنت قرار گیرد. کوره‌های الکتریکی به دو گونه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند:

**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 نیست. شکل ۵ نمونه‌هایی از کوره‌های الکتریکی عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل ۵- انواع کوره‌های الکتریکی، الف) بدون فن، ب) فن دار



شکل ۶- 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 ۷- کوره خلأ

**۴ کوره خلأ:** گرم کردن قطعات در کوره‌های خلأ روش جدیدی است که در صنعت متالورژی کاربرد فراوانی پیدا کرده است. این کوره‌ها که هوای محفظه حرارتی آنها تا حد خلأ تخلیه می‌شود اساساً برای عملیات حرارتی پیشرفته و موارد خاص که نیاز به حفظ ترکیب شیمیایی است به کار 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 است. با توجه به اینکه فولادها دردمای بالا آمادگی لازم جهت اکسیداسیون را دارند در صورتی که کوره دارای اتمسفر محافظ نباشد هنگام 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: ۱- گاز خنثی ۲- گاز گرمازا (اگزوترمیک) ۳- گاز گرماگیر (اندوترمیک) شکل ۸ نمونه‌ای از این نوع کوره را نشان می‌دهد.





شکل ۸- کوره با اتمسفر کنترل شده

**۶ کوره‌های مداوم:** در بسیاری از کارخانجات و صنایع، کوره‌های عملیات حرارتی به دو نوع مداوم و غیر مداوم تقسیم‌بندی می‌شوند. کوره‌های غیر مداوم یا تک شارژ به کوره‌هایی اطلاق می‌شود که بعد از شارژ مواد و بسته شدن در کوره، سیکل از پیش تعیین شده عملیات اجرا می‌گردد. کوره‌های مداوم کوره‌هایی هستند که در آنها مواد از یک طرف شارژ و عملیات حرارتی صورت می‌گیرد و از طرف دیگر تخلیه می‌شوند و اکثراً برای عملیات حرارتی قطعات ریز مانند پیچ و مهره استفاده می‌گردد. به همین دلیل این کوره برای عملیات انبوهی از قطعات مشابه مناسب است. شکل ۹ نمونه‌ای از این کوره را نشان می‌دهد.

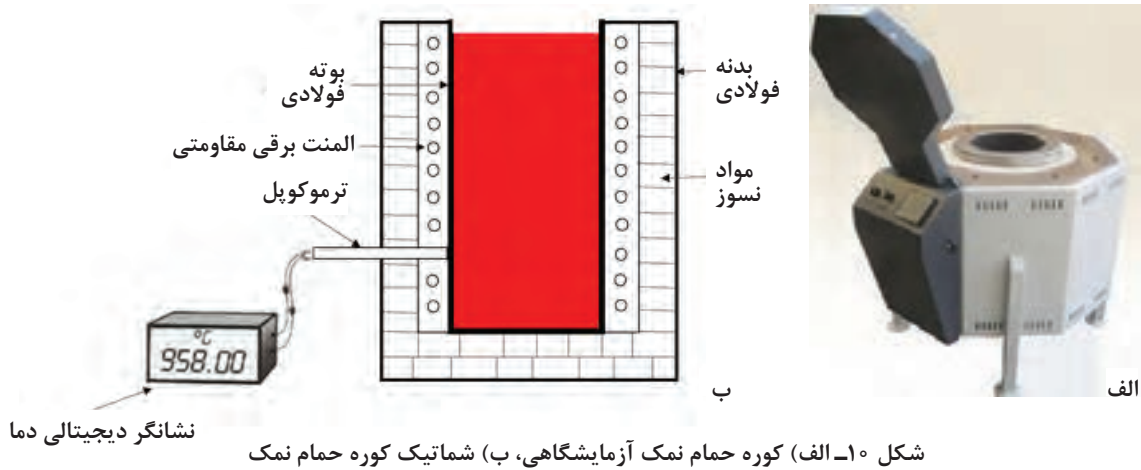


شکل ۹- کوره عملیات حرارتی مداوم

## کوره حمام نمک آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

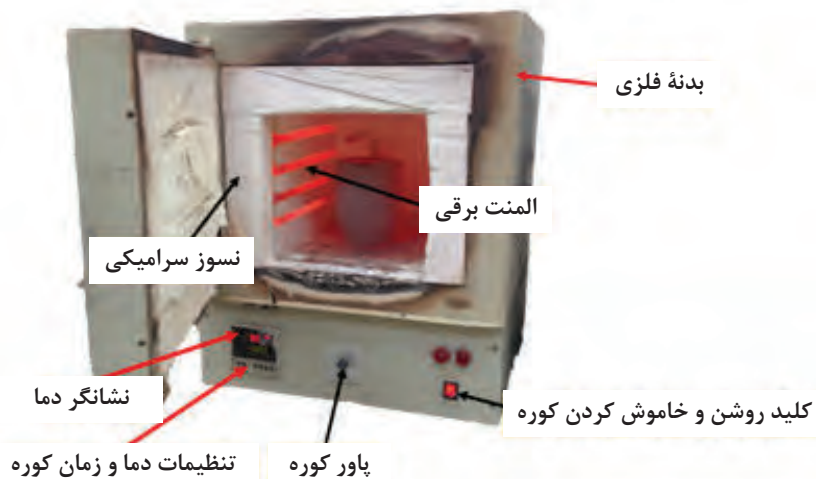
- ۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سلسیوس؛
  - ۲ اتمسفر کوره: معمولی؛
  - ۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛
  - ۴ سیستم کنترل دما: دیجیتالی، در اکثر کوره‌های عملیات حرارتی دما توسط ترموکوپلی که داخل کوره با یک غلاف قرار داده شده است، اندازه‌گیری شده و در یک صفحه دیجیتال نشان داده می‌شود.
  - ۵ سیستم کنترل زمان: دستی
- شکل ۱۰ یک کوره آزمایشگاهی حمام نمک را نشان می‌دهد.



### کوره الکتریکی آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

- ۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سلسیوس؛
  - ۲ اتمسفر کوره: معمولی؛
  - ۳ سیستم گرم کننده: برقی از نوع المنت های حرارتی در داخل یا بین دو جداره نسوز این کوره ها قرار گرفته اند؛
  - ۴ سیستم گردش هوا: بدون فن؛
  - ۵ سیستم در: دستی؛
  - ۶ سیستم کنترل دما: دیجیتالی؛
  - ۷ گاز ورودی: جهت جلوگیری از اکسیداسیون سطح قطعات در حین عملیات می توان از گاز خنثی (آرگون) استفاده کرد.
- شکل ۱۱ قسمت های مختلف یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۱۱- کوره مقاومتی آزمایشگاهی



## راه اندازی کوره الکتریکی

با رعایت اصول ایمنی، کوره موجود در آزمایشگاه را روشن کرده و به دمای  $800^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید.

- 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 کنید.
- ۴ حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضدآتش استفاده کنید.

## 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 شود به طوری 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 است. بیشترین قدرت سردکنندگی آب در درجه حرارت بین  $20^{\circ}\text{C}$  تا  $40^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس است. یادآوری می‌شود که با افزایش درجه حرارت تا بیش از  $60^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس، قدرت سردکنندگی آب به شدت کاهش می‌یابد. با اضافه کردن  $10\%$  درصد سدیم کلرید (نمک طعام) و یا بی کربنات دو سود (جوش شیرین) به آب قدرت سردکنندگی آب به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از طرفی شدت تلاطم نیز روی شدت سردکنندگی محیط مؤثر است و باعث افزایش شدت سردکنندگی می‌شود. زیرا موجب شکستن بخار آب حاصله و دور شدن حباب‌های بخار از اطراف قطعه می‌شود. 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 ۱۲- مخزن آب

**روغن:** روغن نسبت به آب محیط سردکننده مناسب‌تری است. زیرا سرعت سردکنندگی ملایم‌تری دارد. به همین دلیل استفاده از آن به عنوان محیط سردکننده برای فولادهای آلیاژی تا آلیاژ متوسط در ضخامت‌های کم استفاده می‌شود. در واقع روغن‌های عملیات حرارتی، روغن‌های صنعتی با پایه معدنی هستند که به عنوان سیال خنک‌کننده در عملیات سخت کاری فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. روغن‌های عملیات حرارتی باید دارای ویژگی‌های زیر باشند:

۱ نقطه اشتعال بالا

۲ تبخیر پایین

۳ پایداری حرارتی بالا و مقاوم در مقابل اکسیداسیون

۴ خاصیت خنک‌کنندگی یکنواخت

۵ فاقد عوامل ایجاد خوردگی در سطح قطعه

۶ گرانروی مناسب.

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



شکل ۱۳- مخزن روغن

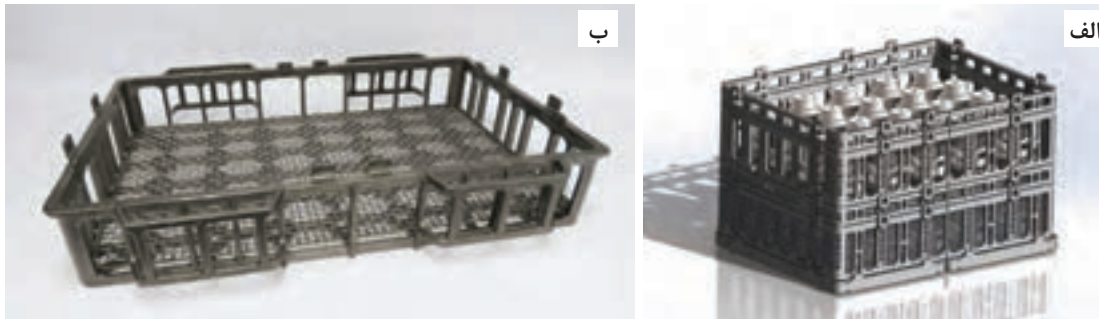
**هوا:** یکی از مهم‌ترین محیط‌های خنک‌کننده هوا است. زیرا این محیط کمترین شوک حرارتی را به قطعه وارد کرده و تاب برداشتن قطعات را به حداقل می‌رساند. قطعات با ضخامت کم از جنس فولادهای کم آلیاژ و یا قطعات با ضخامت متوسط از جنس فولادهای آلیاژی با سختی پذیری بالا را می‌توان در هوا سخت کرد.

### تجهیزات حمل مواد

**انبر:** جهت قرار دادن یا خارج کردن قطعات در داخل کوره عملیات حرارتی یا محیط خنک‌کننده از انبر استفاده می‌شود.

**سبدهای فلزی و نگهدارنده‌ها:** از سبدها و نگهدارنده‌ها جهت چیدن قطعات داخل آنها و قرار دادن آنها در داخل کوره استفاده می‌شود. شکل ۱۴ سبد و نگهدارنده‌های مختلف را نشان می‌دهد.

**جرثقیل:** جهت حمل سبدها و نگهدارنده‌های حاوی قطعات به داخل کوره و همچنین خارج کردن آنها و انتقال به محیط خنک‌کننده استفاده می‌شود.



شکل ۱۴- الف) نگهدارنده، ب) سبد فلزی

## دستگاه سختی سنج

پرسش



سختی اجسام را چگونه اندازه می گیرند؟

قبل و بعد از عملیات حرارتی سخت کاری باید میزان سختی قطعه مورد نظر اندازه گیری شود. این اندازه گیری با دستگاهی به نام سختی سنج انجام می شود. سازوکار دستگاه های سختی سنج بر اساس فرورفتن جسم سخت در سطح قطعه مورد نظر است. روش های سختی سنجی براساس نوع جسم فرو رونده به سه روش راکول (Rockwell)، روش برینل (Brinell)، و روش ویکرز (Vickers) تقسیم می شود.

جدول ۲- انواع روش های سختی سنجی رایج

کاربردها	محدوده سختی قابل قبول	میزان بار اعمالی (کیلوگرم نیرو)	شکل و جنس فرورونده	نماد	روش های سختی سنجی
فولاد نازک و فولادهای سخت شده سطحی، کاربردها	۲۰ - ۸۸ HRA	۶۰	 مخروط الماسی	HRA	راکول A
آلومینیوم و آلیاژهای آن، مس و آلیاژهای آن، فولادهای نرم و چدن مالیبل	۲۰-۱۰۰ HRB	۱۰۰	 ساچمه فولادی	HRB	راکول B
انواع فولادها و چدن ها و آلیاژهای غیر آهنی سخت	۲۰ - ۷۰ HRC	۱۵۰	 مخروط الماسی	HRC	راکول C
کلیه فلزات با سختی کم و متوسط (برای فلزات با سختی بالا کاربرد ندارد)	۲۰ - ۷۳۹ HB	۱ - ۳۰۰۰	فولاد  تنگستن کاربید	HB	برینل
تمامی فلزات آهنی و غیر آهنی، ورق های فولادی، پوشش های سطحی	۸۰-۱۰۷۶ HV	۱ - ۱۲۰	 هرم الماسی	HV	ویکرز

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 نیرو مقدار سختی قطعه به‌طور مستقیم از روی عقربه دستگاه خوانده می‌شود. سختی سنجی 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 از راکول B استفاده می‌شود.

**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 سختی سنجی با توجه به نوع فرورونده و میزان نیروی اعمال شده به سه شیوه 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 رأس  $120^\circ$  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

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

بحث گروهی



## تعیین میزان سختی با استفاده از دستگاه راکول.

### ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی سنجی راکول، نمونه فولادی، اره، سوهان.

فعالیت  
کارگاهی ۲



### 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 سختی سنجی 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 بعد از اعمال نیروی اولیه، نیروی نهایی را با توجه به دستورالعمل دستگاه، اعمال کنید.

۷ عدد سختی را از روی دستگاه بخوانید.

### نکات مهم:

- در هر نمونه حداقل باید از ۳ جای نمونه سختی سنجی انجام شود و میانگین گرفته شود تا عدد سختی دقیق تر به دست آید.
- محل سختی سنجی جدید از محل قبلی سختی سنجی حداقل ۵ برابر قطر فرورونده فاصله داشته باشد.
- اگر در روش راکول C عدد سختی کمتر از  $HRC 20$  و یا بیشتر از  $HRC 70$  باشد عدد مناسبی به دست نیامده است و باید از روش های سختی دیگر برای آن نمونه استفاده کرد.

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

بحث گروهی



نتایج آزمایش را برای هر نمونه در جدول زیر ثبت کرده 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 سختی سنجی برینل برای تمام فلزات آهنی و غیر آهنی به کار می رود ولی این روش برای قطعات سخت کاری شده کاربرد ندارد و نمی تواند قطعات با سختی خیلی بالا را اندازه گیری نمود. در روش برینل یک ساچمه از جنس فولاد سخت شده (پرکربن یا سممانته شده) و یا تنگستن کاربید به قطر ۱، ۲، ۵/۲، ۵ و ۱۰ میلی متر با اعمال نیرو از ۱ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم نیرو بر سطح نمونه نفوذ می کند بعد از برداشتن نیرو قطر اثر ساچمه اندازه گیری می شود و سپس با مراجعه به جداول مخصوص با توجه به اندازه قطر اثر مقدار سختی از روی جدول به دست می آید. برای اندازه گیری دقیق تر، دو قطر از اثر در زاویه عمود به یکدیگر باید اندازه گیری شود. مقدار میانگین آنها به عنوان اندازه قطر اثر ساچمه به دست می آید.

در عمل معمولاً برای فولادها از یک ساچمه ۱۰ میلی متری با بار ۳۰۰۰ کیلوگرم نیرو انتخاب می شود. اگر مقدار سختی از ۶۵۰ برینل ( $BHN 650$ ) بیشتر باشد قطر ساچمه و بار اعمالی تغییر داده می شود.

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 ۳- نیرو و قطر ساچمه‌های مورد نظر در روش برینل

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



اندازه‌گیری سختی به روش برینل

### ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی‌سنجی برینل، نمونه‌هایی از جنس چدن و مس و آلومینیوم، اره و سوهان  
مراحل کار:

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

#### نکته مهم:

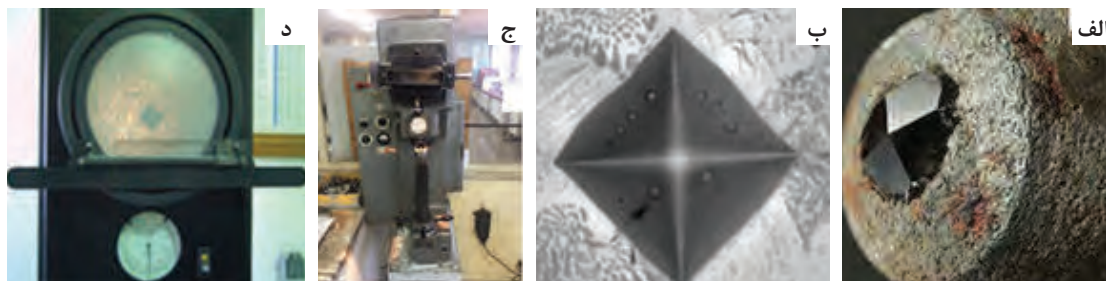
- تمامی اصول مربوط به سختی‌سنجی که در فعالیت کارگاهی ۳ گفته شد، رعایت شوند.
- ۲ بسته به جنس نمونه مورد آزمایش، دستگاه برینل را در نیروی مورد نظر تنظیم کرده و ساچمه با قطر مناسب را انتخاب کنید و در جای مشخص بر روی دستگاه قرار دهید.
- ۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.
- ۴ سپس گیره متحرک دستگاه را به اندازه‌ای بچرخانید تا سندان بالا بیاید و نمونه روی آن با ساچمه تماس پیدا کند.
- ۵ در این هنگام الکتروموتور دستگاه را به کار بیندازید تا وزنه آزاد شده و نیروی لازم، توسط وزنه به تدریج 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 هر نمونه در جدول زیر ثبت کرده و در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

جنس نمونه	چدن	آلومینیوم	مس
میانگین سختی (سختی نهایی)			



**سختی سنجی به روش ویکرز:** سختی سنجی 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 رأس  $136^\circ$ ، جهت تعیین میزان سختی مواد استفاده می‌شود. در روش ویکرز اثری که فرورونده ایجاد می‌کند به شکل لوزی متساوی الاضلاع 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 به دست آورد. در شکل ۱۵ تصاویری از فرورونده مربوط به روش ویکرز، شکل اثر فرورونده، دستگاه سختی سنج و نیز نحوه اندازه‌گیری قطر اثر توسط صفحه مدرج، نشان داده شده است.



شکل ۱۵- الف) فرورونده هرم الماسی مربع القاعده مربوط به سختی سنجی ویکرز (ب) اثر فرورونده ایجاد شده بر روی سطح نمونه فولادی (ج) دستگاه سختی سنجی ویکرز و برینل (د) نحوه اندازه‌گیری قطر اثر نیرو

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

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

### اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز

#### ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

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

#### مراحل کار:

۱ نمونه‌هایی از چدن، آلومینیوم و فولاد را انتخاب کرده و طبق اصول سختی سنجی سطوح آن را برای سختی سنجی آماده کنید.

نکته



فعالیت  
کارگاهی ۴



۲ دستگاه را باتوجه به جنس و ضخامت نمونه مورد آزمایش تنظیم و آماده سازی کنید.

۳ نمونه را به طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.

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

۵ در این هنگام دستگاه را روشن کنید تا نیروی لازم توسط وزنه به تدریج بر روی نمونه اعمال شود.

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

۷ گیره متحرک را به طور وارونه بچرخانید تا سندان پایین بیاید.

۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را توسط میکروسکوپ میکرومتردار که بر روی دستگاه وصل می باشد، اندازه گیری کنید.

بر روی دستگاه جدول هایی به صورت ضمیمه (پلاک) وجود دارد که به کمک آن سختی را به دست بیاورید و یا اینکه می توانید از فرمول زیر که مربوط به سختی سنجی 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 به دست آید.

$$VHN = \frac{P}{d^2} \times 1,854$$

## عملیات حرارتی سخت کاری

به نظر شما چرا قطعات را سخت کاری می کنند؟

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 جدول ۱۶ بعضی از قطعات که تحت سخت کاری حجمی قرار گرفته اند را نشان می دهد.

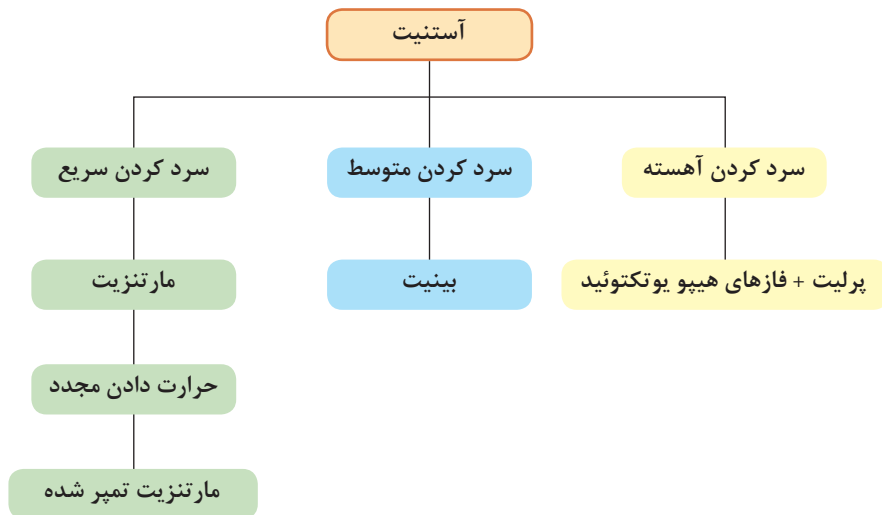
شکل ۱۶- نمونه ای از قطعات سخت کاری شده

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

پرسش



در پودمان 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 است. در صورتی که سرعت سرد کردن از یک حدی بیشتر شود ریزساختارهای غیرتعادلی مارتنزیت و بینیت به دست خواهد آمد. نمودار ۴ این موضوع را نشان می‌دهد.

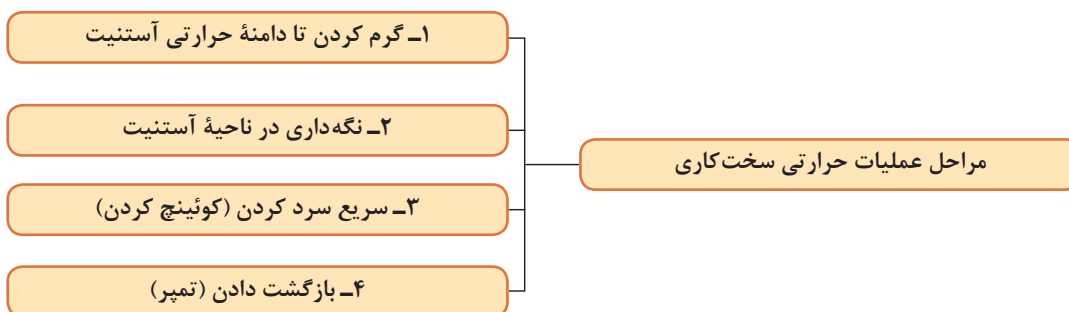


نمودار ۴- تأثیر سرعت سرد کردن بر ریز ساختارهای به دست آمده از آستنیت

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 می‌شود که حداقل ۰٫۳ درصد کربن داشته باشند.

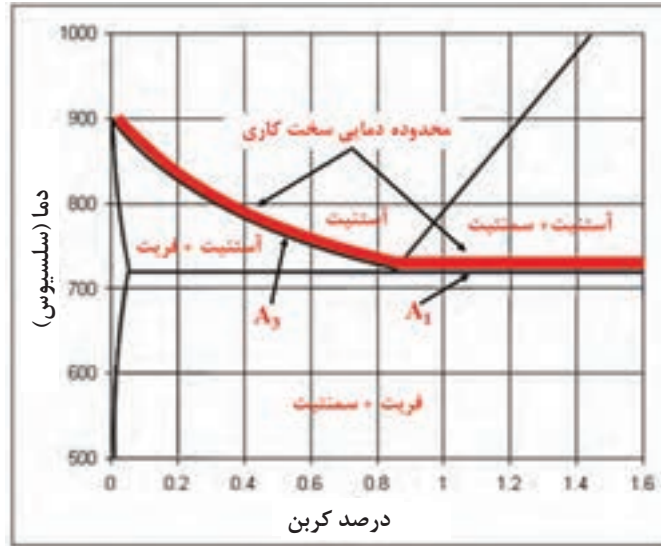
### مراحل عملیات سخت کاری

در حالت کلی عملیات حرارتی سخت کاری شامل مراحل زیر می‌باشد:



نمودار ۵

**الف) گرم کردن قطعه تا دامنه حرارتی آستنیت:** دمای آستنیت کردن با توجه به ترکیب شیمیایی فولاد (درصد کربن و عناصر آلیاژی) مشخص می‌شود. برای فولادهای هیپریوتکتوئید در حدود ۳۰-۵۰ درجه سلسیوس بالای خط  $A_3$  و برای فولادهای هیپریوتکتوئید حدود ۷۰-۵۰ درجه سلسیوس بالای خط  $A_1$  است. در شکل ۱۸ محدوده دمایی سخت کاری برای فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید نشان داده شده است.



شکل ۱۷- محدوده دمایی سخت کاری فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید.

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

BOZ (ج)

Cm5(ب)

CK45 (الف)

فعالیت  
کلاسی



و کوره با یکدیگر به دما می‌رسند و پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر زمان آستنیت کردن شروع می‌شود. در روش دوم کوره در دمای مورد نظر است و پس از آن نمونه در کوره قرار داده می‌شود. در این حالت نیاز به هم‌رنگ شدن داریم که در هنگام عملیات به‌طور مرتب از چشمی کوره نمونه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و هنگامی که نمونه در کوره محو شد عملاً دمای نمونه و کوره یکسان است. پس از این زمان، زمان قرارگیری در ناحیه آستنیت شروع می‌شود و همچنین در سقف این کوره‌ها از فن‌های هواگردش جهت همگنی درجه حرارت در داخل کوره استفاده شده است که در

**نحوه تنظیم کردن دمای کوره جهت آستنیت کردن:** کوره‌های الکتریکی دارای سازوکاری هستند که می‌توان دمای مورد نظر برای عملیات حرارتی را انتخاب و تنظیم کرد. 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. در این حالت نمونه

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. به طوری که فولادهای آلیاژی باید سرعت کمتری نسبت به فولادهای کم آلیاژ داشته باشند.

شکل ۱۸ 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 پیش گرم شدن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند. به منظور جلوگیری از اعوجاج و ترک، گرم کردن قطعه



شکل ۱۸- 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 سخت کاری 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 سرد کردن 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 ۱۹- انواع چیدمان قطعات در سبدها و روی صفحه فولادی

## ۲ قرارگیری سبد قطعات در مقابل در کوره



شکل ۲۰- قرارگیری سبد حاوی قطعات جلوی در کوره

## ۳ قرارگیری سبد داخل کوره



ب



الف

شکل ۲۱- نمونه‌ای از ورود قطعات در کوره‌ها با اتمسفر کنترل شده، (الف) روشن شدن مشعل در کوره هنگام وارد کردن قطعات، (ب) بسته شدن در کوره بعد از وارد شدن قطعات

## نحوه قرار دادن قطعات در کوره‌های حمام نمک

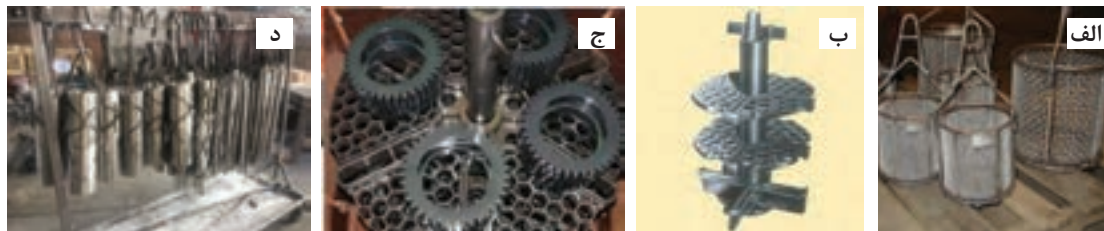
**۱** سیم‌بندی یا چیدن قطعات در نگهدارنده (fixture): در حمام‌های نمک به دلیل اینکه قطعات باید به صورت آویزان یا معلق در نمک مذاب قرار گیرند. قطعات در داخل نگهدارنده، سبد فلزی و یا سیم‌بندی‌هایی که به صورت دستی با سیم فولادی بافته می‌شود قرار داده می‌شوند. هنگام قرار دادن قطعات در نگهدارنده یا سیم‌بندی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

در سیم‌بندی قطعات، وزن و تعداد قطعات موجود در هر سیم‌بندی باید به اندازه‌ای باشد که ۱- هنگام آویزان کردن قطعات در حمام نمک، قطعات به صورت معلق در حمام نمک مذاب قرار بگیرند و به انتهای بوت‌ه برخورد نکنند ۲- سیم‌های فولادی توانایی نگهداری وزن قطعات را داشته باشند در غیر این صورت 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 است. چنانچه قطعات مشابه هم دارای وزن زیاد باشند 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 به طوری که قطعات داخل سبد فلزی قرار داده شده و سپس وارد حمام نمک می‌گردند. شکل ۲۳ انواع روش‌های وارد کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- الف) سبد فلزی، ب) نگهدارنده، ج) قرار دادن قطعات روی نگهدارنده، د) سیم‌بندی قطعات



شکل ۲۳- کوره پیش‌گرم قطعات

**۲ پیش‌گرم 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 پیش‌گرم با دمای حدود ۴۵۰ - ۳۰۰ درجه سلسیوس استفاده می‌کنند. شکل ۲۳ یک نوع کوره پیش‌گرم قطعات را نشان می‌دهد.



شکل ۲۴- وارد کردن قطعات سیم‌بندی شده در حمام نمک

**۳ وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک** سبدها، نگهدارنده‌ها و قطعات سیم‌بندی شده پس از پیش‌گرم شدن برای آستنیت‌گرم کردن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند و مطابق شکل ۲۴ به صورت معلق در حمام مذاب قرار می‌گیرند.

ب) نگهداری در ناحیه آستنیت: پس از چیدن قطعات و قرار دادن آنها داخل کوره زمانی که سبد حاوی قطعات هم رنگ محیط کوره شد یعنی قطعات به دمای مورد نظر رسیده‌اند. پس از آن می‌توان زمان قرارگیری در منطقه آستنیتی را محاسبه کرد. شکل ۲۵ هم‌دما شدن قطعات در کوره حمام نمک و کوره الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۵- هم‌دما کردن قطعات در کوره‌ها

زمان آستنیت‌ه کردن در به‌دست آوردن خواص مکانیکی بسیار مؤثر است. این زمان با توجه به ترکیب شیمیایی، شکل و ضخامت قطعه انتخاب می‌شود. جدول ۴ مدت زمان نگهداری قطعات در ناحیه آستنیت را بر حسب قطر یا ضخامت نشان می‌دهد.

جدول ۴- مدت زمان نگهداری قطعات در ناحیه آستنیت

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

به‌طور کلی می‌توان گفت که بر اساس گروه فولاد، زمان آستنیت‌ه کردن متفاوت است. این زمان در گروه‌های مختلف فولاد به‌صورت زیر بیان می‌شود.

۱ فولادهای ساده کربنی و کم آلیاژ: 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.

به‌طور کلی می‌توان گفت که زمان نگهداری در دمای آستنیت‌ه تجربی بوده و با توجه به پارامترهای حرارتی کوره می‌توان زمان‌های نگهداری را تجربه کرد. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد که زمان آستنیت‌ه در به‌دست آوردن خواص مکانیکی بسیار مؤثر است.

ج) سریع سرد کردن

نحوه خارج کردن قطعات از کوره: پس از رسیدن به زمان مورد نظر در کوره‌های با اتمسفر معمولی در کوره باز می‌شود و بلافاصله قطعات وارد محیط خنک‌کننده می‌شوند. در کوره‌ها با



اتمسفر کنترل شده محیط خنک کننده در نزدیکی کوره واقع شده است. شکل ۲۶ انواع روش های خارج کردن قطعات از کوره را نشان می دهد. در هنگام خارج کردن کوره به دلیل اینکه قطعات در دمای بالایی در کوره قرار گرفته اند و مستعد تاب برداشتن هستند باید با احتیاط از کوره خارج شوند.



شکل ۲۶- روش های مختلف خارج کردن قطعه از کوره

### نحوه وارد کردن قطعات به محیط سرد کننده

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

پرسش



بعد از خارج کردن قطعات از کوره، باید بلافاصله وارد محیط خنک کننده شوند. ولی باید چند نکته در هنگام وارد کردن قطعات به محیط مورد نظر مورد توجه قرار گیرد.

- ۱ قطعات با طول بلند مانند شافت ها و میله ها باید همیشه به طور عمودی وارد محیط خنک کننده شوند زیرا در این حالت کمترین برخورد بین قطعه و محیط خنک کننده به وجود می آید.
- ۲ قطعات با ضخامت های مختلف جهت سریع سرد کردن باید از طرف ضخامت بیشتر وارد محیط خنک کننده شوند. علت این است که به طور کلی باید سعی شود سرعت سرد کردن در نقاط مختلف قطعه کنترل شود. همان طور که می دانید قسمت های با ضخامت کمتر، زودتر سرد می شوند بنابراین باید این قسمت ها دیرتر وارد محیط خنک کننده شوند.
- ۳ قطعات با شکل های مقعر باید از طرف دیگر وارد محیط خنک کننده 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 دیسک ها و تیغه های دیسکی باید همواره از طرف لبه وارد مخزن خنک کننده شوند.
- ۵ قطعات استوانه ای شکل باید در جهت طولی وارد محیط خنک کننده شوند.
- ۶ سرعت عمل در فرایند خنک کاری می تواند نتایج خوبی را در برداشته باشد. مخصوصاً در قطعات طولی، فاصله زمانی ورود ابتدا و انتهای قطعه به محیط خنک کننده باید به حداقل ممکن برسد.
- ۷ برخی قطعات به دلیل ضخامت بسیار کم در هنگام سریع سرد کردن می توانند به شدت تاب بردارند در این موارد باید با طراحی نگهدارنده های مناسب قطعات را مهار کرد تا شکل آنها بدون تغییر بماند.

نکات  
کارگاهی



شکل ۲۷ انواع روش خارج کردن قطعات از کوره حمام نمک و کوره‌های (الکتریکی و گازی) و نحوه سریع سرد کردن آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۲۷- وارد کردن قطعات به محیط خنک کننده

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

فعالیت  
کارگاهی ۵



### بررسی تأثیر محیط خنک کننده بر روی فولادهای ساده کربنی وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ وان خنک کننده
  - ۴ نمونه‌های مورد آزمایش ۵ دستگاه سختی سنج ۶ دستکش نسوز
  - ۷ پیش‌بند نسوز 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 کنید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری، از ۱ تا ۵ شماره گذاری کنید.
- ۲ سختی نمونه را با استفاده از دستگاه سختی سنج اندازه‌گیری کرده و در جدول یادداشت کنید.
- ۳ نمونه ۱ را به عنوان شاهد نگه داشته و سایر نمونه‌ها را در کوره به دمای آستنیت‌ه برسانید.
- ۴ پس از حصول اطمینان از دما و زمان آستنیت‌ه نمونه‌ها را از کوره خارج و هریک را در محیط خنک کننده ذکر شده سریع سرد کنید.
- نمونه ۲ سرد شده در هوا - نمونه ۳ سرد شده در آب - نمونه ۴ سرد شده در آب نمک - نمونه ۵ سرد شده در روغن
- ۵ پس از سرد کردن هریک از نمونه‌ها در محیط‌های مشخص شده سختی هریک را توسط دستگاه سختی سنج اندازه‌گیری کرده و در یک جدول ثبت کنید.
- ۶ ساختار میکروسکوپی هریک از نمونه‌های ۱ تا ۵ را با استفاده از میکروسکوپ بررسی کرده و به صورت شماتیک رسم کنید.
- ۷ نتایج به دست آمده به همراه پاسخ پرسش‌های زیر در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.



- ۱ بالاترین میزان سختی مربوط به کدام محیط خنک کننده است؟ دلیل آن را بررسی کنید؟
- 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 کنید.



- 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 خنک کننده، مطابق شکل نمونه‌ها را به صورت دورانی حرکت دهید.



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



## آشنایی با نحوه سخت کاری قطعات در حمام نمک

### وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی حمام نمک
- ۲ نمک خنثی عملیات سخت کاری
- ۳ سیم فولادی به ضخامت ۲ میلی متر
- ۴ پیش گرم کن
- ۵ انبر
- ۶ مخزن خنک کننده
- ۷ سختی سنجی
- ۸ دستکش و وسایل ایمنی
- ۹ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

### مراحل انجام آزمایش:

- ۱ چهار نمونه مطابق شکل ۲۸ انتخاب نموده سپس یک عدد را به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آنها را توسط سختی سنج راکول اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.



شکل ۲۸- نمونه مورد آزمایش



۲ سه نمونه دیگر را مطابق شکل روبه‌رو با سیم مفتولی به ضخامت ۲ میلی‌متر سیم‌بندی کرده و آخر مفتول را به صورت قلاب در آورید.

### نکات فنی:

- نمونه‌ها باید به صورت محکم سیم‌بندی شوند به طوری که هنگام قرار گرفتن در نمک مذاب از سیم جدا نشوند.
- از مفتول‌های فولادی با ضخامت مناسب در سیم‌بندی استفاده کنید.
- نحوه سیم‌بندی به گونه‌ای باشد که کل قطعات به صورت معلق در داخل حمام نمک قرار گیرند به طوری 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 کنید.

نکته ایمنی: هنگام سیم‌بندی نمونه‌ها از دستکش استفاده کنید.

۳ از نمک آماده موجود در بازار برای سخت کاری استفاده کرده و طبق دستورالعمل سازنده آن را در داخل بوته فولادی در کوره شارژ کنید.

۴ کوره حمام نمک را روشن کرده و دمای آن را بر روی دمای  $850^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید.

### نکات ایمنی:

- 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 کنید.
- در هنگام کار سیستم تهویه برای خارج کردن بخارات نمکی از کارگاه روشن باشد.
- از تماس مستقیم قطعات بدون پیش گرم کردن با حمام نمک جداً خودداری کنید 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 ضد آتش و کفش ایمنی استفاده کنید.

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای  $300^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس پیش گرم کنید.

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

۶ پس از ذوب شدن کامل نمک و رسیدن دمای آن به  $850^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس یک میله به صورت افقی روی سطح کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیم‌بندی پیش گرم شده را مطابق شکل ۲۹ به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کنید.

شکل ۲۹- 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 کنید.

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

۹ قطعات جدا شده که حاوی نمک هستند را شست‌وشو دهید و یک طرف همه نمونه‌ها را سنباده بزنید.

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

شماره ۴	شماره ۳	شماره ۲	شماره ۱ (شاهد)	قطعه
				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 به صورت 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 و 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 نمایند. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و آنها را شماره‌گذاری کنید تا در نتایج اشتباهی رخ ندهد و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهند.

۱ یک نمونه از هر کدام 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.

SPK	CK۴۵	St۳۷	نمونه شاهد
			درصد کربن
			سختی

۲ کوره را روشن کنید. دمای کوره را برای نمونه SPK روی  $910^{\circ}\text{C}$  و برای نمونه‌های St37 و CK45 روی  $840^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید.

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

۳ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر، در کوره را باز کرده و از هر کدام از فولادها یک نمونه (کم کربن، کربن متوسط، پر کربن) را داخل کوره قرار دهید.

#### نکات فنی:

● 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 در کوره پرهیز کنید.

۴ پس از قرار دادن نمونه‌ها، در کوره را بسته و زمان آستنیت‌کردن را اعمال کرده و نمونه‌ها را یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

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

#### نکته فنی:

در هنگام وارد کردن نمونه به محیط‌های خنک کننده برای یکنواختی محیط خنک کننده آن را به صورت دورانی حرکت دهید.

● **نکته ایمنی:** دهانه انبر را پس از هر بار سریع سرد کردن نمونه و برداشتن نمونه دیگر از کوره تمیز کنید.

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

SPK	CK45	St37	نمونه‌ها
			سختی

- بیشترین سختی مربوط به کدام فولاد است؟
- درصد کربن چه تأثیری بر روی سختی فولاد دارد؟
- پس از بحث و گفت‌وگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گرایش کار به هنرآموز تحویل دهید.

بحث گروهی



## برگشت دادن (Tempering)

عملیات برگشت چيست و به چه منظوری انجام می شود؟

پرسش



می‌یابد. اصولاً به ازای هر یک اینچ ضخامت یک ساعت زمان برگشت دادن در نظر می‌گیرند و حداقل زمان جهت انجام این عملیات را یک ساعت در نظر می‌گیرند. باید به این نکته دقت کرد که منظور از زمان عملیات، زمان قرارگیری قطعات در دمای برگشت دادن است.

**۲ خواص مکانیکی مورد نظر مشتری:** با افزایش دما و زمان برگشت دادن، تنش‌های تسلیم و کششی کاهش یافته و انعطاف پذیری افزایش می‌یابد. دمای عملیات برگشت دادن با توجه به سختی مورد نظر مشتری انتخاب می‌شود. در اکثر فولادها با افزایش دمای برگشت دادن سختی کاهش می‌یابد. پس از سخت کاری ما به حداکثر سختی یک فولاد دست پیدا می‌کنیم در صورتی که مشتری از ما حداکثر سختی را درخواست کرد می‌توان از دماهای پایین برگشت دادن جهت افزایش چقرمگی بدون کاهش سختی استفاده کرد. در فولادهای ساده کربنی و غیر آلیاژی این دما در حدود ۱۸۰ درجه سلسیوس است. ولی در فولادهای آلیاژی این دما به حدود ۲۵۰ درجه سلسیوس می‌رسد.

### چیدمان قطعات در داخل کوره تمپر

در کنار کوره‌های سخت کاری حتماً یک یا دو کوره تمپر وجود دارد زیرا تمامی قطعات سخت شده نیاز به عملیات تمپر دارند.

### مشخصات کوره تمپر

۱ دمای کاری: حداکثر ۷۰۰ درجه سلسیوس؛

۲ اتمسفر کوره: خنثی یا معمولی؛

۳ سیستم گرم کننده: برقی از نوع المنتی؛

۴ سیستم گردش هوا: فن؛

۵ سیستم کنترل دما: کاملاً خودکار.

بر اثر سریع سرد شدن در فرایند سخت کاری فولاد تردی آن افزایش یافته و بسیار شکننده می‌شود. به همین دلیل به ندرت می‌توان از آن در کارهای صنعتی استفاده کرد، به این دلیل که مارتنزیت تشکیل شده در اثر سریع سرد کردن بسیار سخت و شکننده است. به منظور بهبود خواص مکانیکی فولاد پس از سخت کاری در دمایی بین ۶۰۰-۲۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود و سپس به آرامی در هوا یا کوره سرد می‌شود. به طور کلی می‌توان گفت تمپر کردن عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای  $A_1$ ، نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای محیط. در اثر تمپر کردن تنش‌های داخلی کاهش یافته و یا حذف می‌شوند. بنابراین مقاومت در برابر ضربه (چقرمگی) افزایش می‌یابد اما استحکام و سختی قطعه کاهش می‌یابد.

**دما و زمان عملیات تمپر:** دما و زمان عملیات تمپر به سه عامل ترکیب شیمیایی، ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر بستگی دارد.

### ۱ ترکیب شیمیایی قطعه: فولادها با درصد

کربن و عناصر آلیاژی مختلف عکس‌العمل متفاوتی در مقابل عملیات تمپر دارند. زیرا ساختار پس از سخت کاری این فولادها با یکدیگر متفاوت هستند. از طرفی بعضی عناصر آلیاژی مقاومت فولاد به دمای برگشت دادن را افزایش داده و جهت برگشت داده شدن فولاد و رسیدن به یک خواص مشخص، نیاز به دمای برگشت دادن بالایی می‌باشد.

### ۲ ابعاد یا ضخامت قطعه: با توجه به اینکه در

عملیات برگشت دادن باید حرارت به لایه‌های عمقی نفوذ کند، نیاز به زمان وجود دارد. با افزایش ضخامت قطعه زمان عملیات برگشت دادن افزایش



### 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 به صورت ایستاده عملیات می شوند.
- ۲ قرارگیری قطعات در مقابل در کوره؛
- ۳ باز کردن در کوره و ورود سبد حامل قطعات به داخل محفظه و بسته شدن در کوره؛
- ۴ ارائه برنامه مورد نظر؛
- ۵ سرد کردن قطعات در کوره یا هوا؛
- ۶ خروج قطعات از کوره.

عملیات تمپر در روغن و حمام های نمک نیز انجام می گیرد به صورتی که قطعات داخل سبدهای فلزی قرار داده می شود و پس از تنظیم دمای روغن یا کوره حمام نمک قطعات در سبد به صورت معلق در داخل آنها قرار داده می شود. شکل ۳۰ نمونه ای از تمپر کردن قطعات در حمام نمک را نشان می دهد.



شکل ۳۰- تمپر کردن قطعات

### تمپر کردن قطعات سخت کاری شده

#### وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ وان خنک کننده ۴ سختی سنجی ۵ دستکش نسوز و وسایل ایمنی ۶ نمونه های مورد آزمایش
- نمونه های مورد آزمایش: قطعات سخت کاری شده در محیط های سردکننده متفاوت

#### مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه های ۴ نفره، هر گروه یک نمونه از فولادهای سخت کاری شده جلسه قبل که در محیط های هوا، آب، آب نمک و روغن سرد شده بودند را انتخاب کنند. و آزمایش را طبق اصول ایمنی آزمایش های قبل به صورت زیر ادامه دهند.

- ۱ کوره را روشن کرده و بر روی دمای  $500^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید.
- ۲ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر در را باز کرده و چهار عدد از نمونه های سخت کاری شده در محیط های متفاوت را در داخل کوره روی صفحه مشبک قرار دهید.
- ۳ پس از قرار دادن نمونه ها داخل کوره در کوره را بسته و زمان تمپر کردن را اعمال کنید و تمامی نمونه ها را





یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

۴ نمونه‌ها را داخل کوره یا در هوا سرد کنید.

۵ سطح نمونه‌های برگشت داده شده را تمیز کرده و یک طرف همه نمونه‌ها را سنباده زده و سختی آنها را توسط سختی سنچ راکول اندازه‌گیری کرده 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				

● عملیات برگشت چه تأثیری بر روی سختی نمونه‌های سخت کاری شده در محیط‌های خنک کننده متفاوت گذاشته است؟

● در عملیات برگشت چه تغییراتی در ریز ساختار نمونه‌های سخت کاری شده رخ می‌دهد؟  
● نتایج را در گزارش کار ثبت و به هنرآموز خود تحویل دهید.

بحث گروهی



### اثر دمای تمپر در سختی فولادهای سخت کاری 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 کند. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری کنید. طبق دستورالعمل‌های عملیات سخت کاری تمامی نمونه‌ها را در ۹۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده و در آب سرد کنید. سختی نمونه‌های سخت کاری 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 سلسیوس به مدت یک ساعت در کوره نگهداری و سپس در هوا سرد کنید. عملیات تمپر را برای نمونه دوم در دمای ۵۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت و نمونه سوم را در ۷۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت مطابق روش بالا انجام دهید. سختی نمونه‌ها را پس در جدول زیر یادداشت کنید.

نمونه	نمونه شاهد	نمونه تمپر شده در دمای ۳۰۰ C	نمونه تمپر شده در دمای ۵۰۰ C	نمونه تمپر شده در دمای ۷۰۰ C
سختی				

فعالیت کارگاهی ۹





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

## واحد یادگیری ۲: سخت کاری سطحی

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به قطعاتی است که در آن 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 سخت کاری سطحی و نحوه سخت کاری سطحی فولادها توضیح داده شده و به صورت عملی انجام داده خواهد شد.

## استاندارد عملکرد کار

سخت کاری سطحی انواع فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه.

## پیش نیاز

آشنایی با سخت کاری حجمی، انواع فولادها، دیاگرام آهن - کربن و متالوگرافی.



آیا می توان سطح قطعات را سخت کرد به طوری که مغز قطعه همچنان نرم و چقرمه باقی بماند؟

برخی از قطعات در هنگام کار بر اثر وجود اصطکاک دچار سایش سطحی می شوند. این قطعات به گونه ای هستند که اگر سخت کاری عمقی هم شوند ممکن است که در هنگام کار در اثر نیروهای پیشی دچار شکست شوند. برای این قطعات باید عملیات سخت کاری طوری انجام شود که سطح قطعه سخت و مغز آن نرم باشد. شکل ۳۱ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت کاری سطحی قرار می گیرند را نشان می دهد.



شکل ۳۱- انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت کاری سطحی قرار می گیرند.

روش های مختلف عملیات حرارتی که به کمک آنها می توان سطح قطعات را سخت کرد عمدتاً به دو دسته تقسیم می شوند که در نمودار ۱ نشان داده شده است. دسته اول، عملیاتی که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد می شوند و به عملیات حرارتی شیمیایی مرسوم اند مانند کربوره کردن و نیترووره کردن دسته دوم روش هایی که بدون تغییر در ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی که در لایه سطحی متمرکز شده است. باعث سخت شدن سطح می شوند و به عملیات حرارتی موضعی مرسوم اند، مانند سخت کردن شعله ای و سخت کردن القایی.

### فرایندهای تغییر در ترکیب شیمیایی

خواهد کرد. به این ترتیب قطعه ای ساخته می شود که مغز آن را فولاد کم کربن و سطح آن را فولاد پر کربن تشکیل می دهد. اگر قطعه مزبور را سخت کنیم در سطح مارتنزیت تشکیل شده و بنابراین از سختی زیاد برخوردار خواهد بود. در حالی که مغز همان درصد کم کربن اولیه (۰/۱۵ درصد) را دارا است از چقرمگی خوبی برخوردار خواهد بود. معمولاً عمق سطح سخت کاری شده توسط مشتری

کربوره کردن: در صورتی که یک قطعه فولاد کم کربن (مثلاً ۰/۱۵ درصد) را در یک اتمسفر مناسب کربن قرار داده و در درجه حرارت بالایی نظیر  $925^{\circ}\text{C}$  حرارت دهیم. کربن آزاد شده از محیط توسط سطح فولاد ابتدا جذب سطحی شده و سپس به داخل آن نفوذ می کند. اگر چه این عملیات نیاز به زمان دارد ولی در مدت چند ساعت سطح قطعه مقدار قابل ملاحظه ای کربن (تا ۱/۲ درصد) جذب

هستند. برای تهیه قطعات کوچک که در شرایط سایشی کار می‌کنند و احتیاج به مقاومت زیاد در مغز نیست (بوش‌ها) از فولادهای ساده کربنی با کربن ۰/۰۷-۰/۲ استفاده می‌شود. و برای قطعاتی که تحت بار بالا (ضربه‌ای) کار می‌کنند مخصوصاً برای قطعات بزرگی که در قسمت مرکزی شان باید دارای حد الاستیک عالی بوده از فولادهای آلیاژی کم کربن استفاده می‌گردد.

مورد نظر تعیین می‌گردد و ماکزیمم عمق نفوذ کربن در سطح در صنعت ۱/۵ میلی‌متر است. فرایند کربوره کردن در سه محیط جامد، مایع و گاز انجام می‌گیرد.

**فولادهای مناسب کربن‌دهی و سخت‌کاری سطحی:**  
فولادهای مناسب کربن‌دهی تحت عنوان فولادهای سمانته شناخته می‌شوند و دارای کربن پایینی



نمودار ۱

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

فعالیت  
کلاسی



**کربوره کردن جامد:** در روش کربوره کردن جامد از یک محیط جامد شامل مخلوطی از زغال و یک عامل انرژی‌زا استفاده می‌شود. عامل کربن‌زا (زغال چوب) و در حدود ۲۰-۶ درصد مواد انرژی‌زا است. که در جدول ۵ آورده شده است. نمک‌های کربناتی نظیر باریم کربنات، سدیم کربنات (سودا) و پتاسیم کربنات (پتاس) از عوامل انرژی‌زا هستند.

در این روش از مواد کربن ده (زغال چوب) آسیاب شده به قطر ۳/۵ تا ۱۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. در واقع هر چقدر زغال چوب ریزتر باشد سطح قطعه را خوب می‌پوشاند و نفوذ کربن به‌طور یکنواخت صورت می‌گیرد. سپس مواد انرژی‌زا را که به‌صورت نمک بوده با زغال چوب مخلوط می‌کنند. ناگفته نماند نمک‌های مورد استفاده (انرژی‌زا) نیز باید ریز باشند تا باعث خوردگی سطح قطعه نگردد مواد انرژی‌زا در شرایطی بیشترین اثر را دارند که با زغال چوب به خوبی مخلوط شده و در داخل جعبه سمانتاسیون به‌طور یکنواخت توزیع گردند تا مؤثر واقع شوند.

جدول ۵- ترکیب مواد کربوره کننده در سمانتاسیون جامد

ردیف	زغال چوب	باریم کربنات	کلسیم کربنات	سود خشک	کک	سدیم کربنات
۱	۸۷	-	۳	۱۰	-	-
۲	۸۵-۹۰	-	-	۱۰-۱۵	-	-
۳	۹۰	۱۰	-	-	-	-
۴	۶۰	۴۰	-	-	-	-
۵	۴۵	۱۲	-	-	۴۳	-
۶	۵۵	۱۰-۱۲	-	-	۳۰	۳-۵
۷	۸۷	۱۰	۲	-	-	۱

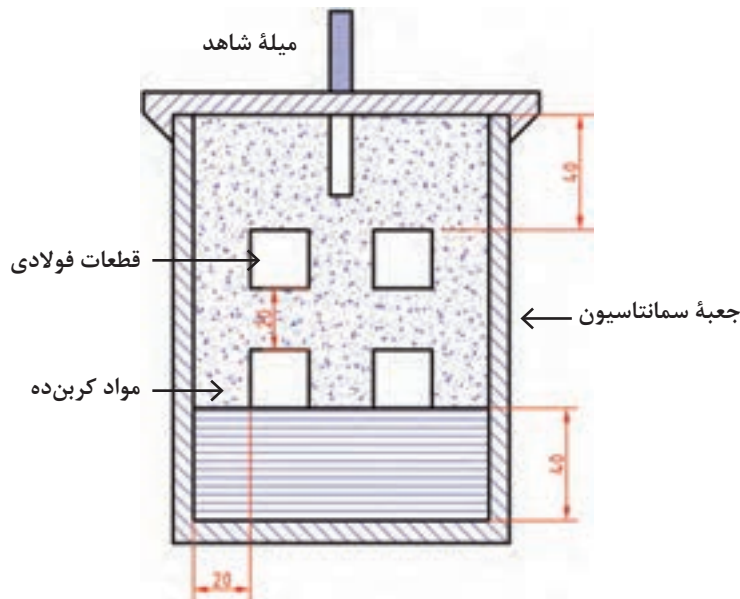
### نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

ابتدا مقداری از مخلوط مواد کربن ده وانرژی‌زا را مطابق شکل ۳۲ 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 ۴۰ میلی‌متر با لبه جعبه سمانته فاصله داشته باشد.

سپس در جعبه سمانته گذاشته می‌شود به کمک مواد نسوز (نظیر خاک رس) در 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 به عنوان 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 به داخل جعبه و همچنین برداشتن سریع جعبه از داخل کوره را امکان پذیر سازد.

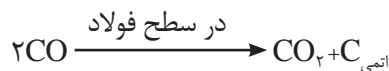
کار میله شاهد در شکل ۳۴ در جعبه سمانتاسیون تعیین عمق نفوذ کربن است. قطر میله شاهد بین ۶ تا ۱۰ میلی‌متر است و جنس آن می‌تواند از همان فولادی باشد که قرار است کربن‌دهی گردد. در غیر این صورت می‌توان از فولادهای ساختمانی کربنی استفاده کرد. بعد از پایان زمان مقرر کربوراسیون، میله شاهد خارجی را از جعبه سمانتاسیون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



شکل ۳۲- جعبه سمانتاسیون

### مکانیزم کربوراسیون جامد

گرچه در این روش قطعه کار در مواد کربوره کننده جامد حرارت داده می شود ولی عامل اصلی کربوره کننده گاز کربن مونواکسید (CO) است که کربن اتمی را به سطح قطعه حمل می کند.



در دمایی بالا کربن اتمی جذب سطحی فولاد شده و سپس به داخل آن نفوذ می کند. گاز  $CO_2$  حاصل از واکنش اتمی مجدداً براساس واکنش با زغال ترکیب شده و تولید CO می کند و عملیات کربن دهی طبق واکنش زیر ادامه می یابد.



در صورت استفاده تنها از زغال، سرعت کربن دهی کم بوده و بدون استفاده از مواد انرژی زا مقرون به صرفه نیست. معمولی ترین ماده انرژی زا باریم کربنات است که در ضمن گرم شدن براساس واکنش زیر تجزیه می شود.



گاز  $CO_2$  حاصل از تجزیه باریم کربنات با زغال ترکیب و CO فعال تولید می کند که باعث تسریع عمل کربن دهی می شود.

نتایج نشان داده قطعات برای هر ساعت ۰/۱ میلی متر نفوذ می پذیرند. با افزایش درجه حرارت و یا زمان کربوره کردن، ضخامت لایه کربوره شده نیز افزایش می یابد. اگر نیاز باشد که قسمت هایی از سطح قطعه کربوره نشوند نواحی فوق را می توان توسط یک لایه مسی به ضخامت ۰/۱ تا ۰/۷۵ میلی متر یا توسط خمیری از مخلوط گل رس و آزیست پوشاند، در این صورت مناطق پوشش داده شده کربوره نخواهند شد.

زمانی از کربوره کردن جامد استفاده می شود که به عمق نفوذ بالایی نیاز داشته باشیم و یکی از معایب این روش عدم کنترل دقیق عمق نفوذ کربن است، همچنین قطعاتی که در مرکز جعبه سمانتا قرار گرفته اند از عمق نفوذ کربن کمتری نسبت به قطعات کناری برخوردار هستند.



## سخت کردن سطحی فولاد به روش کربن دهی جامد وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی، ۲ انبر، ۳ وان خنک کننده، ۴ سختی سنجی ۵ زغال چوب
  - ۶ نمونه‌های مورد آزمایش، ۷ گل نسوز(خاک رس) ۸ جعبه سمانتاسیون ۹ مواد انرژی زا (کلسیم کربنات و سود خشک)
- نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)

### مراحل انجام آزمایش:

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفری زیر نظر هنرآموز، هر گروه یک نمونه فولاد سمانتته CK۱۵ را به قطر ۱ و ارتفاع ۲cm آماده کرده و دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و آنها را شماره گذاری کنید و یک نمونه به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آن را یادداشت کنید و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

- ۱ مواد کربوره کننده مطابق جدول زیر تهیه کرده و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

ترکیب	زغال چوب	کلسیم کربنات	سود خشک
مقدار	۸۷	۳	۱۰

۲ زغال چوب‌های مورد نیاز را با توجه به حجم جعبه سمانتاسیون وزن کرده و سپس خرد کنید و به اندازه ۳-۵ میلی متر برسانید.

● نکته ایمنی: در هنگام کار با زغال چوب و نمک‌ها حتماً از دستکش و ماسک صورت استفاده کنید.

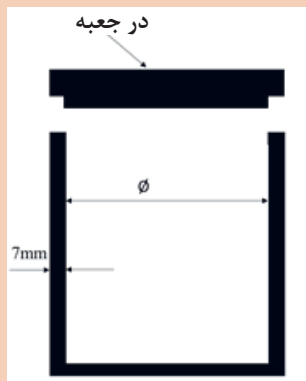
۳ مواد انرژی‌زا را که به صورت نمک بوده با توجه به جدول وزن کرده و آنها را خرد کنید و به صورت پودر درآورید.

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

۵ جعبه سمانتاسیون مطابق شکل ۳۳ به شکل استوانه‌ای (لوله) از جنس فولاد کم کربن (St۳۷) را با توجه به ابعاد کوره موجود در آزمایشگاه تهیه کنید.

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

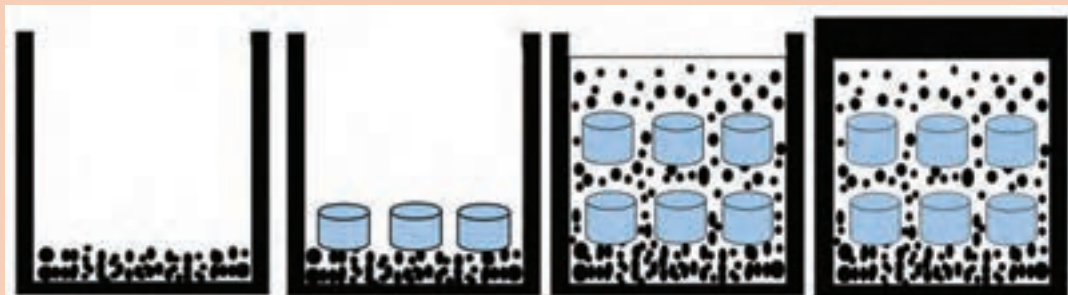
۷ نمونه‌های مورد نظر را در سطح مترآکم شده داخل جعبه به فاصله حدود ۲cm از یکدیگر و ۲cm از دیواره جعبه قرار داده و دوباره عمل کوبش را انجام دهید و در آخرین مرحله کوبش قطعات با لبه جعبه ۲cm فاصله در نظر بگیرید. سپس در جعبه را گذاشته محکم ببندید و با خاک رس آببندی کنید تا گازهایی که تولید می‌شوند نتوانند خارج شوند. (مطابق شکل روبه‌رو)



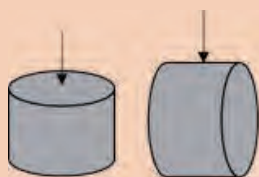
شکل ۳۳- تصویر جعبه سمانتاسیون



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



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



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

۱۰ نمونه‌ها را از جعبه خارج کرده یک طرف تمام نمونه‌ها را در حدود ۲mm سوهان کاری کنید. یکی از نمونه‌ها را شاهد نگه داشته و آزمایش را به صورت زیر انجام دهید.

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

۱۲ سختی نمونه‌ها را در سطح و عمق اندازه‌گیری کنید.

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

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

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

بحث‌گروهی



مورد نظر را در سبدهای فلزی ریخته و یا توسط سیم‌های فلزی به‌طور معلق در مذاب برای مدت زمان معینی کربوره می‌کنند. زمان کربوره کردن به عمق نفوذ مورد نظر بستگی دارد. پس از پایان عملیات سبد حاوی قطعات کربوره شده را در آب یا روغن فرو می‌برند. کربوره کردن مایع را معمولاً برای قطعات کوچک که نیاز به ضخامت کربوره شده کمی داشته باشند به کار می‌برند. چون ظرفیت حرارتی نمک مذاب بالا بوده و انتقال حرارت از مایع به قطعه سریع می‌باشد این روش نسبت به کربوره کردن جامد سریع‌تر و اقتصادی‌تر است.

**کربوره کردن مایع:** کربوره کردن مایع در مذاب مخلوط‌های نمک‌های سدیم سیانید (۲۰ تا ۵۰ درصد)، سدیم کربنات (۴۰ درصد) و مقادیر مشابهی از سدیم کلرید و یا باریم کلرید انجام می‌گیرد. مخلوط مورد نظر را در بوته‌هایی از جنس فولاد ریخته و ذوب می‌کنند و در دمایی بین  $870^{\circ}\text{C}$  تا  $950^{\circ}\text{C}$  عملیات کربن‌دهی صورت می‌گیرد. در این حمام عامل کربن‌زا نمک سدیم سیانید است و از نمک‌های خنثی (سدیم کلرید و سدیم کربنات) به‌منظور به‌دست آوردن ترکیب شیمیایی مناسب، تنظیم غلظت سیانور، کنترل دمای ذوب و سیالیت حمام نمک استفاده می‌شود. قطعات

نمک‌های سیانید و بخارات حاصل از مذاب آنها بسیار سمی بوده و هنگام کار کردن با آنها باید کلیه نکات ایمنی مربوط به کار گرفته شوند. شکل ۳۴ نمونه‌ای از کربوره کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.

نکته



شکل ۳۴- کربوره کردن مایع در حمام نمک

### کربوره کردن مایع در کوره حمام نمک

#### وسایل مورد نیاز:

- ۱ کوره عملیات حرارتی ۲ حمام نمک کربوراسیون ۳ سیم فولادی به ضخامت ۲ میلی‌متر
  - ۴ پیش گرم کن ۵ انبر ۶ وان خنک کننده ۷ سختی‌سنجی 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

فعالیت  
کارگاهی ۱۱





نمونه شاهد را با استفاده از سختی سنج راکول اندازه گیری کرده و یادداشت کنید و بقیه آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید.

۲ دو نمونه دیگر را مطابق شکل زیر با سیمی به ضخامت ۲ میلی متر سیم بندی کرده و آخر آن را به صورت قلاب در آورید.

● نکات فنی: نمونه ها باید به صورت سفت سیم بندی شوند تا در داخل حمام نمک نیفتند.

● از ضخامت مناسب سیم های فولادی و ذکر شده در سیم بندی استفاده کنید.

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

● نکته ایمنی: هنگام سیم بندی نمونه حتماً از دستکش استفاده کنید.

۲ از نمک آماده موجود در بازار برای کربن دهی استفاده کنید و طبق دستورالعمل سازنده آن را در داخل بوته فولادی در کوره شارژ کنید.

۴ کوره حمام نمک را روشن کنید و دمای آن را بر روی دمای  $850^{\circ}\text{C}$  تنظیم کنید.

● نکته ایمنی: نمک های سیانید و بخارات حاصل از مذاب آنها سمی بوده و هنگام کار کردن با آنها در تمامی مراحل حتماً از ماسک استفاده شود و از تهویه مناسب برای خارج کردن بخارات استفاده کنید.

● از تماس مستقیم تمام مواد بدون پیش گرم کردن 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 کنید.

۵ نمونه های سیم بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای  $300^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس پیش گرم کنید.

● نکته ایمنی: قبل از استفاده از کپسول و مشعل از سالم بودن و عدم نشتی آنها و شیلنگ گاز اطمینان حاصل کنید.

۶ پس از ذوب شدن کامل حمام نمک و رسیدن دمای آن به  $850^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس یک میله به صورت افقی روی کوره قرار داده و سپس نمونه های سیم بندی پیش گرم شده را به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کرده و به صورت معلق از میله فولادی آویزان کنید.

● نکات فنی: حتماً دقت کنید تا نمونه ها به طور 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 کنید.
- 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 کنید.
- نکته ایمنی: هنگام وارد کردن نمونه‌ها به داخل محیط خنک کننده از ماسک صورت استفاده کنید.
- 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 کنید و در جدول زیر یادداشت کنید.

نمونه	شاهد	سرد شده در آب	سرد شده در روغن
سختی			

- در مورد سختی نمونه شاهد و نمونه سخت کاری شده در روغن و آب بحث و گفت‌وگو کنید.
- در مورد دلایل اختلاف سختی سطح و مغز قطعه بحث و گفت‌وگو کنید.

بحث‌گروهی



شکل ۳۵- کوره کربورایزینگ گازی

**کربن دهی گازی:** کربوره کردن گازی که نسبت به روش‌های جامد و مایع از قدمت کمتری برخوردار است به عنوان اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است. در کربوره کردن گازی قطعات کار را در ۹۰۰ درجه سلسیوس 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 کربن دهی بسیار کمی دارد مخلوط و استفاده می‌کنند. گاز حامل مخلوط گازی از نوع گرماگیر یا اندوترمیک (مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن، و کربن مونوکسید) است که با متان مخلوط می‌شود. مخلوط فشرده از هوا و گاز طبیعی با نسبت سه حجم هوا و یک حجم گاز طبیعی را در محدوده ۱۲۰۰-۱۰۴ درجه سلسیوس گرم کرده سپس از

روی بستری از نیکل به عنوان کاتالیزور عبور می‌دهند. اتمسفر فوق معمولاً از هیدروکربن‌ها نظیر گاز طبیعی متان ( $CH_4$ ) و یا پروپان ( $C_3H_8$ ) تشکیل شده است که به‌طور جزئی در کوره سوخته و یا اینکه با یک گاز رقیق‌کننده موسوم به گاز حامل مخلوط شده باشد.

سوختن ناقص و یا استفاده از گاز حامل به‌منظور به‌دست آوردن پتانسیل کربن مورد نظر در سطح فولاد می‌باشد. گازهای حامل معمولاً شامل مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن و مونواکسید کربن هستند. بنابراین همانند روش‌های جامد و مایع در این روش نیز عامل فعال مونواکسید کربن می‌باشد. شکل ۳۷ کوره کربورایزینگ گازی را نشان می‌دهد.

**نیتريده کردن:** نیتريده کردن عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد. بنابراین سختی سطح در این روش بستگی به نیتريد فلزی تشکیل شده دارد. قطعات فولادی را که به این روش می‌توان سخت کرد دارای عناصر آلیاژی نظیر آلومینیوم، کرم، مولیبدن و یا وانادیم باشد.

عناصر فوق به محض تماس پیدا کردن با نیتروژن اتمی در سطح قطعه، با آن ترکیب شده و تشکیل نیتريدهای پایدار و سخت می‌دهند. همچنین نیتروژن با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شده و تشکیل نیتريد آلیاژی می‌دهد، مانند نیتريدهای کرم و نیتريدهای تیتانیوم (TiN). در حقیقت سختی زیاد لایه سطحی فولادهای نیتريد شده، ناشی از وجود همین ذرات بسیار ریز و پراکنده نیتريدهای آلیاژی است. نیتريده کردن در دمای  $550^{\circ}C$  تا  $650^{\circ}C$  انجام می‌گیرد و پس از نیتريده کردن نیازی به سریع سرد کردن قطعه نیست و معمولاً قطعات را در هوا سرد می‌کنند.

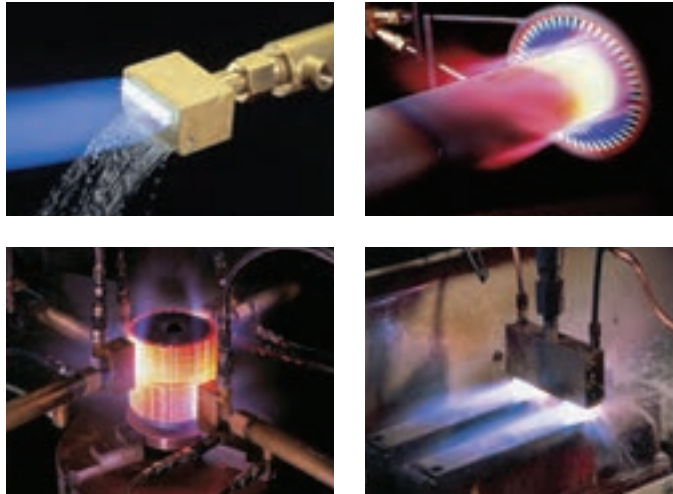
### سخت کردن شعله‌ای

آن فواره آب منطقه آستنیته شده را سریع سرد می‌کنند. قطعات با شکل‌های متقارن مانند میله‌های استوانه‌ای شکل را می‌توان در داخل یک مشعل حلقه‌ای شکل با حرکت دورانی ابتدا آستنیته و سپس توسط فواره آبی که به دنبال مشعل و در فاصله نزدیکی از آن در حال حرکت است سریع سرد کرد. از جمله معایب عمده سخت کردن شعله‌ای، اکسیده و یا دی کربوره شدن سطح قطعه است. با استفاده از شعله‌های اکسیدکننده ضعیف و یا احیا کننده عیب مزبور را تا حدودی می‌توان کاهش داد و یا حذف کرد. مقدار کربن توصیه شده و مناسب برای فولادهایی که قرار است به روش سخت کردن شعله‌ای سخت شوند در حدود  $0.4\%$  تا  $0.5\%$  درصد است. معمولاً ضخامت پوسته‌های سخت شده بین ۳ تا ۱۲ میلی‌متر متغیر است (شکل ۳۶).

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستنیته شدن بلافاصله سریع سرد می‌شود. شعله مورد نیاز در این روش را می‌توان از طریق مشعل اکسیژن و یک گاز قابل احتراق نظیر استیلن، پروپان و یا گاز طبیعی تهیه کرد. قطعات کوچک و یا مناطق موضعی نظیر لبه ابزارهای برش و یا انتهای آچارها را می‌توان به کمک شعله دستی حرارت داد و سپس تمام قطعه را در آب سریع سرد کرد. برای سخت کردن قطعات بزرگ و یا سطوح زیاد می‌توان از دستگاه‌های خودکار که در آنها شعله و یک فواره آب تعبیه شده‌اند استفاده کرد.

در این روش مشعل با سرعت مناسب بر روی سطح قطعه به نحوی حرکت می‌کند که تا عمق مشخصی از آن را آستنیته کرده و به همراه





شکل ۳۶- سخت کاری سطحی



### سخت کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

یک میله فولادی یا یکی از ابزارهای دستی موجود در کارگاه مانند پیچ گوشتی را انتخاب کرده سختی آن را اندازه بگیرید و سپس مشعل جوشکاری (اکسیژن با استیلن) را به شعله‌خشی تنظیم کنید تا از اکسیداسیون سطحی قطعه جلوگیری شود و سپس قسمت انتهایی آن را تا دمای مناسبی ( $850^{\circ}\text{C}$ ) حرارت داده و در آب سریع سرد کنید و دوباره سختی آن را اندازه بگیرید و نتیجه را به صورت گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

### سخت کردن القایی

اصول این روش شبیه به سخت کردن شعله‌ای است، به این صورت که فقط سطح قطعه آستنیت شده و سپس سریع سرد می‌شود اما در این روش حرارت دادن سطح به کمک سیم پیچ 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 لایه 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 آستنیت 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، اکسید شدن، دی کربوره شدن و یارشد دانه‌ها ناچیز است. مدت زمان حرارت دادن توسط جریان‌های القایی با فرکانس بالا بسیار کوتاه و اغلب در حدود چند ثانیه است. شکل ۳۷ نحوه گرم کردن چرخ دنده‌ها توسط کوئل به وسیله القا را نشان می‌دهد.



شکل ۳۷- سخت کردن چرخ دنده به روش القا

## ارزشیابی پایانی سخت کاری حجمی

<p><b>شاخص عملکرد:</b></p> <p>۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات داخل کوره ۳- زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴- خارج کردن قطعات از کوره در دمای مناسب و کوئینچ قطعات ۵- تمپر کردن قطعات</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b></p> <p>۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>30 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۵ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> آب، روغن عملیات حرارتی</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سبد فلزی نسوز - گاری - جرثقیل - دستگاه اندازه گیری سختی یونیورسال  <b>نمونه و نقشه کار:</b></p> <p>۱- راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی سخت کاری کامل فلز و آلیاژ مورد نظر طبق دستورالعمل                  ۲- وارد کردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان بندی سیکل عملیات حرارتی سخت کاری کامل و چیدمان صحیح قطعات داخل کوره                  ۳- نگهداری قطعات در کوره برای زمان مشخص طبق دستورالعمل                  ۴- خارج کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی تنش گیری در دمای مناسب طبق دستورالعمل                  ۵- تمپر کردن قطعات تا رسیدن به سختی مورد نظر</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
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	
	<p><b>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b></p> <p>۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار                  ۲- مسئولیت پذیری                  ۳- مدیریت مواد و تجهیزات                  ۴- استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ                  ۵- تمیز کردن وسایل و محیط کار</p>	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			

## ارزشیابی پایانی سخت کاری سطحی

<p><b>شاخص عملکرد:</b>          ۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات داخل کوره ۳- زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴- سختی نهایی سطح</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b>          ۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>30 \pm 2^{\circ}\text{C}</math> ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۴۰ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> آب، روغن عملیات حرارتی</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b>          کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سبد فلزی نسوز - گاری - جرثقیل - دستگاه اندازه گیری سختی نمونه و نقشه کار:          ۱- راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی تمپر فلز و آلیاژ مورد نظر طبق دستورالعمل          ۲- وارد کردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان بندی سیکل عملیات حرارتی سختی سطحی و چیدمان صحیح قطعات در داخل کوره          ۳- نگهداری قطعات در کوره در زمان مشخص شده طبق دستورالعمل و خارج کردن قطعات بعد از زمان مذکور</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
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	
	<p><b>شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b>          ۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار          ۲- مسئولیت پذیری          ۳- مدیریت مواد و تجهیزات          ۴- استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ          ۵- تمیز کردن وسایل و محیط کار</p>	۲	
	<b>میانگین نمرات</b>		*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			