

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَّ اٰلِ مُحَمَّدٍ وَّ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ



# عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات

رشته متالورژی

گروه مواد و فراوری

شاخه فنی و حرفه‌ای

پایه دوازدهم دوره دوم متوسطه



وزارت آموزش و پرورش  
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی



نام کتاب: عملیات تغییرخواص متالورژیکی فلزات - ۲۱۲۵۳۵

پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: حسن حامد، حسن طیب‌زاده، امیر ریاحی، حسن عبداله‌زاده، محمد معتمدی، اسداله عابدی و غلامرضا

خلج (اعضای شورای برنامه‌ریزی)

مهدی احمدی قراملکی، موسی بابازاده، بهرام شکریمان و ابراهیم آقازاده (اعضای گروه تألیف)

مدیریت آماده‌سازی هنری: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - مریم کیوان (طراح جلد) - ایمان اوجیان (صفحه‌آرا) - سعید آقایی (رسام)

نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت: [www.irtextbook.ir](http://www.irtextbook.ir) و [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن: ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار: ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی: ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران «سهامی خاص»

سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ سوم ۱۳۹۹

کلیه حقوق مادی و معنوی این کتاب متعلق به سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی وزارت آموزش و پرورش است و هرگونه استفاده از کتاب و اجزای آن به صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس برداری، نقاشی، تهیه فیلم و تکثیر به هر شکل و نوع بدون کسب مجوز از این سازمان، ممنوع است و متخلفان تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.



ملت شریف ما اگر در این انقلاب بخواهد پیروز شود باید دست از آستین  
برآرد و به کار پردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و  
باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.  
امام خمینی (قَدِّسَ سِرُّهُ)

۹.....	پودمان ۱: آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه)
۵۹.....	پودمان ۲: آزمایش‌های متالوگرافی
۹۳.....	پودمان ۳: سخت‌کاری
۱۴۱.....	پودمان ۴: عملیات حرارتی آنیل و نرماله
۱۶۱.....	پودمان ۵: خوردگی و پوشش‌دهی
۲۰۸.....	منابع

## سخنی با هنرجویان عزیز

شرایط در حال تغییر دنیای کار در مشاغل گوناگون، توسعه فناوری‌ها و تحقق توسعه پایدار، ما را بر آن داشت تا برنامه‌های درسی و محتوای کتاب‌های درسی را در ادامه تغییرات پایه‌های قبلی براساس نیاز کشور و مطابق با رویکرد سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران در نظام جدید آموزشی بازطراحی و تألیف کنیم. مهم‌ترین تغییر در کتاب‌ها، آموزش و ارزشیابی مبتنی بر شایستگی است. شایستگی، توانایی انجام کار واقعی به‌طور استاندارد و درست تعریف شده است. توانایی شامل دانش، مهارت و نگرش می‌شود. در رشته تحصیلی - حرفه ای شما، چهار دسته شایستگی در نظر گرفته شده است:

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی عملیات حرارتی
  ۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
  ۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها
  ۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر
- براین اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعه اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخه فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

این درس، پنجمین درس شایستگی‌های فنی و کارگاهی است که ویژه رشته متالورژی در پایه ۱۲ تألیف شده است. کسب شایستگی‌های این کتاب برای موفقیت آینده شغلی و حرفه‌ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی کنید تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرایند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات شامل پنج پودمان است و هر پودمان دارای یک یا چند واحد یادگیری است و هر واحد یادگیری از چند مرحله کاری تشکیل شده است. شما هنرجویان عزیز پس از یادگیری هر پودمان می‌توانید شایستگی‌های مربوط به آن را کسب کنید. هنرآموز محترم شما برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌کنید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی دوباره تا آخر سال تحصیلی وجود دارد. کارنامه شما در این درس شامل ۵ پودمان و از دو بخش نمره مستمر و نمره شایستگی برای هر پودمان خواهد بود و اگر در یکی از پودمان‌ها نمره قبولی را کسب نکردید، تنها در همان پودمان لازم است مورد ارزشیابی قرار گیرید و پودمان‌های قبول شده در مرحله اول ارزشیابی مورد تأیید و لازم به ارزشیابی دوباره نیست. همچنین نمره این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو می باشد که برای انجام فعالیت های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. اجزای دیگری نیز برای بسته آموزشی شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود به نشانی [www.tvoccd.oerp.ir](http://www.tvoccd.oerp.ir) می توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت های یادگیری در ارتباط با شایستگی های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی های یادگیری مادام العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی ها را در کنار شایستگی های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است بنابراین توصیه های هنرآموز محترمان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است را در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، گام های مؤثری در جهت سربلندی و استقلال کشور و پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و تربیت شایسته جوانان برومند میهن اسلامی برداشته شود.

**دفتر تألیف کتاب های درسی فنی و حرفه ای و کار دانش**

## سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامه درسی رشته متالورژی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال دوازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی باید برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است و نمره هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هر یک از پودمان‌ها است. از ویژگی‌های دیگر این کتاب طراحی فعالیت‌های یادگیری ساخت یافته در ارتباط با شایستگی‌های فنی و غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای و مباحث زیست‌محیطی است. این کتاب جزئی از بسته آموزشی تدارک دیده شده برای هنرجویان است که لازم است از سایر اجزای بسته آموزشی مانند کتاب همراه هنرجو، نرم‌افزار و فیلم آموزشی در فرایند یادگیری استفاده شود. کتاب همراه هنرجو در هنگام یادگیری، ارزشیابی و انجام کار واقعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شما می‌توانید برای آشنایی بیشتر با اجزای بسته یادگیری، روش‌های تدریس کتاب، شیوه ارزشیابی مبتنی بر شایستگی، مشکلات رایج در یادگیری محتوای کتاب، بودجه‌بندی زمانی، نکات آموزشی شایستگی‌های غیرفنی، آموزش ایمنی و بهداشت و دریافت راهنما و پاسخ فعالیت‌های یادگیری و تمرین‌ها به کتاب راهنمای هنرآموز این درس مراجعه کنید. لازم به یادآوری است، کارنامه صادر شده در سال تحصیلی قبل بر اساس نمره ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌باید به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی براساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی هستند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که نمره این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است.

کتاب شامل پودمان‌های زیر است:

پودمان اول: آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه)

پودمان دوم: آزمایش‌های متالوگرافی

پودمان سوم: سخت‌کاری

پودمان چهارم: عملیات حرارتی آنیل و نرماله

پودمان پنجم: خوردگی و پوشش‌دهی

امید است که با تلاش و کوشش شما همکاران گرامی اهداف پیش‌بینی شده برای این درس محقق گردد.

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش





## پودمان اول

آزمایشگاه مواد قالب گیری (آزمایش های ماسه)



## واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

به‌طور کلی خصوصیات ماسه‌های ریخته‌گری را به کمک آزمایش‌های استاندارد ماسه تعیین می‌کنند. روش هر آزمایش و شرایط کار به‌صورت استاندارد معین شده است. آزمایش‌های ماسه راه مناسبی برای تعیین خصوصیات ماسه‌های مصرفی در صنایع ریخته‌گری هستند. در این واحد یادگیری روش انجام آزمایش‌های مختلف ماسه قالب‌گیری توضیح داده شده است و به‌صورت عملی انجام خواهند شد.

## استاندارد عملکرد

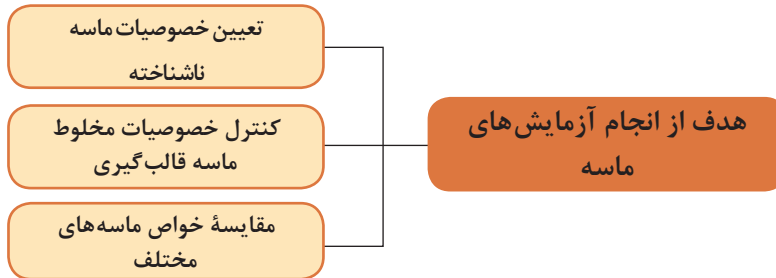
انجام آزمایشات مربوط به ماسه با استفاده از ابزار و تجهیزات مربوطه بر اساس استانداردهای مرتبط.

## پیش‌نیاز و یادآوری

آشنایی با انواع ماسه قالب‌گیری و نحوه ساخت مخلوط ماسه قالب‌گیری.

## تعیین خواص و مشخصات ماسه ریخته‌گری (آزمایش‌های ماسه قالب‌گیری)

ماهیت و طبیعت ماسه قالب‌گیری را می‌توان به کمک نتایج آزمایش‌های استاندارد ماسه تشریح و توصیف کرد. جزییات کامل آزمایش‌ها، روش و تجهیزات مورد نیاز برای هر آزمایش مشخص و تبیین شده است و هر آزمایش به صورت استاندارد و به شکل معین اجرا می‌شود.



کلیه آزمایش‌های ماسه باید بر روی نمونه‌هایی که از قبل آماده شده است، انجام گیرد. در حقیقت، چنین نمونه‌هایی شامل مقدار کمی از ماسه مورد نظر است که با شیوه‌ای مشخص از انبوه ماسه اصلی برداشته شده است. بسیاری از اوقات هم این گونه نمونه‌ها از طریق مخلوط کردن ماسه خشک با چسب خاک رس و آب و یا مواد دیگر و نیز از طریق روش‌های دیگری که در تهیه قالب به کار برده می‌شود، نظیر روش گاز  $CO_2$  یا روش قالب‌گیری پوسته‌ای، تهیه و آماده می‌شوند و پس از فراهم شدن نمونه‌های لازم، آزمایش‌های مورد نظر انجام می‌شود.

### نمونه برداری از ماسه‌های ریخته‌گری

قبل از انجام آزمایش‌ها، نمونه برداری و تهیه نمونه از ماسه‌های ریخته‌گری صورت می‌پذیرد و برای این کار روش‌های ویژه‌ای به اجرا در می‌آید. منظور از تهیه نمونه، به دست آوردن مقدار قابل توجهی از ماسه مورد نظر است تا با استفاده از آن آزمایش‌های متداول برای کنترل وضعیت ماسه مصرفی، بررسی توده ماسه و ارزیابی ماسه‌ای که در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت، انجام شود.



شده از توده ماسه باید به سرعت و در اولین فرصت تحت آزمایش قرار گیرند تا از ارتباط ما بین خواص نمونه‌ها و توده ماسه یا ماسه‌ای که در سیستم قالب‌گیری به کار می‌رود اطمینان حاصل شود. از آنجا که رطوبت بر روی خواص ماسه اثر قطعی دارد، این نکته اهمیت دارد که میزان رطوبت نمونه ماسه معادل میزان رطوبت توده ماسه اولیه باشد. لازم به ذکر است که برای بررسی توده ماسه یا انباشته، نمونه‌برداری از ابتدا، وسط و انتهای توده انجام می‌شود.

مقدار ماسه‌ای که به عنوان نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید به اندازه‌ای باشد که برای انجام کلیه آزمایش‌های مورد نظر کفایت کند.

نمونه‌های ماسه نباید در ظروف سرباز قرار داده شوند و جابه‌جا گردند. پاکت‌ها و ظروف پلاستیکی در بسته یا انواع دیگر ظروف ضدزنگ توصیه شده است تا از آلودگی ماسه به رطوبت و مرطوب شدن آن و نیز بالعکس از کاهش رطوبت ماسه نمونه جلوگیری به عمل آید.

نکته مهم دیگر اینکه نمونه‌های برداشته

نمونه‌برداری و آزمایش باید در حداقل زمان ممکن و پس از آماده کردن مخلوط ماسه قالب‌گیری انجام شود.

نکته



نمونه استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ (۵/۰۸ سانتی‌متر) از مخلوط ماسه قالب‌گیری تهیه می‌شود. به دلیل اهمیت این نمونه استاندارد ضروری است که تهیه آن با دقت کافی صورت گیرد.

**تهیه نمونه استاندارد:** در کنترل کیفیت مخلوط ماسه قالب‌گیری آزمایش‌های استحکام فشاری تر و خشک، استحکام کششی تر و خشک، استحکام برشی تر و خشک، قابلیت عبور گاز و تعیین متلاشی شدن و خرد شونده‌گی ماسه نقش ویژه‌ای دارند. برای انجام کلیه آزمایش‌ها

### نکات مهم در تهیه نمونه استاندارد

**نمونه مخلوط ماسه قالب‌گیری:** برای دستیابی به نتایج قابل قبول و تکرارپذیر در تهیه نمونه استاندارد باید در نمونه‌برداری از مخلوط ماسه موارد زیر مد نظر قرار گیرد:

● نمونه ماسه باید از خط قالب‌گیری تهیه شود و استفاده از ماسه‌ای که در معرض هوا قرار گرفته توصیه نمی‌شود.

● نمونه ماسه باید از الک  $\frac{1}{4}$  اینچ عبور داده شود و سپس در یک ظرف در بسته محافظت گردد.

● برای انجام کلیه آزمایش‌های مذکور حداقل ۳ کیلوگرم ماسه از خط برداشته شود.

● برای اجتناب از کاهش رطوبت باید فاصله نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌ها به حداقل زمان ممکن برسد.

برای آماده‌سازی نمونه استاندارد، دستگاه نمونه‌ساز (کوبه آزمایشگاهی) مطابق شکل (۱) به کار گرفته می‌شود. با استفاده از این دستگاه نمونه‌های استاندارد برای آزمایش‌های استحکام، قابلیت نفوذ گاز، تعیین ضریب فشردگی و تعیین متلاشی شدن و خرد شونده‌گی ماسه تهیه می‌شود. روش آماده کردن نمونه‌های استاندارد توسط سازنده دستگاه به همراه آن ارائه می‌شود. ولی در حال برای تهیه یک نمونه دقیق باید نکات زیر را رعایت کرد:



شکل ۱- دستگاه کوبه آزمایشگاهی

- دستگاه کوبه باید به یک پایه سفت و محکم پیچ شود.
- جهت تهیه نمونه‌های استاندارد معمولاً ۱۴۵ تا ۱۷۵ گرم ماسه در استوانه (لوله یا سیلندر) استاندارد ریخته شده و سپس به وسیله دستگاه کوبه آزمایشگاهی استاندارد سه ضربه، تا ارتفاع ۲ اینچ که در دستگاه نیز مشخص گردیده است تحت کوبش قرار می‌گیرد. توجه شود که فاصله بین سه ضربه متوالی باید استاندارد شود و تکرارپذیر باشد؛
- ماسه ترجیحاً توسط یک قیف به داخل لوله ریخته شود؛
- سطوح داخل لوله همیشه تمیز و صیقلی نگهداری شود؛
- هنگام جدا کردن نمونه از لوله باید از میله‌ای به قطر ۲ اینچ استفاده شود؛
- دستگاه کوبه باید به صورت مداوم تمیز و بخش‌های متحرک آن روغن کاری شوند.

### نمونه‌برداری از مخلوط ماسه قالب‌گیری

در گروه دو یا سه نفره با رعایت نکات ایمنی نمونه‌برداری از مخلوط ماسه را مطابق مراحل زیر انجام دهید.

- ۱- نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف توده ماسه انباشته (قبل از آماده سازی مخلوط ماسه)
  - ۲- نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف مخلوط ماسه‌ای که در کارگاه ریخته‌گری برای قالب‌گیری به کار می‌رود (ماسه دان کارگاه)
  - ۳- نمونه‌برداری از مخلوط ماسه‌ای که در مخلوط کن ماسه در آزمایشگاه تهیه شده است.
- پس از نمونه‌برداری از ماسه‌ها هر گروه توسط دستگاه کوبه آزمایشگاهی مطابق با روش‌ها و دستورالعمل‌های گفته شده سه عدد نمونه استاندارد استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۲ اینچ از ماسه‌های نمونه‌برداری شده تهیه کرده و سپس کیفیت و استحکام نسبی نمونه‌های تهیه شده را با یکدیگر مقایسه کرده و در جدول زیر یادداشت کرده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

علت	استحکام نسبی			کیفیت			محل نمونه‌برداری
	ضعیف	متوسط	خوب	ضعیف	متوسط	خوب	
							ماسه دان کارگاه
							محل قالب‌گیری
							تهیه شده در آزمایشگاه





۱ به نظر شما و با توجه به نتایج به دست آمده بهترین محل برای نمونه برداری از ماسه جهت انجام آزمایش‌ها کجا است؟ چرا؟

۲ به نظر شما عدم نمونه برداری صحیح از مخلوط ماسه قالب گیری ممکن است باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریخته‌گری شود؟

نتیجه را به همراه پاسخ تحلیلی پرسش‌های بالا به صورت گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب گیری

برای کنترل و تعیین خواص مخلوط ماسه قالب گیری آزمایش‌های مختلفی انجام می‌گیرد که آگاهی از آنها برای افرادی که در صنایع ریخته‌گری مشغول به کار هستند لازم و ضروری است که در ادامه بحث مهم‌ترین آنها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

### آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

هدف از این آزمایش تعیین عدد ریزی ماسه قالب گیری است، عدد ریزی ماسه ریخته‌گری توسط اندازه و توزیع ذرات آن تعیین می‌شود. به عبارت دیگر دو عامل اندازه دانه‌ها و نحوه توزیع دانه‌ها تعیین کننده عدد ریزی ماسه است. منظور از آزمایش ریزی تعیین درصد اندازه مختلف دانه‌های ماسه و مقدار خاک رسی است که در ماسه موجود است. ذراتی از ماسه که اندازه آنها از ۲ میکرون (۰/۰۰۲ میلی‌متر) کوچک‌تر باشند، خاک رس محسوب می‌شوند. مقدار خاک رس موجود در ماسه را می‌توان جداگانه و به روش خاص تعیین کرد و درصد اندازه مختلف دانه‌های ماسه نیز از طریق آزمایش ریزی قابل تعیین است.

**اهمیت میزان عدد ریزی:** عدد ریزی اثر قابل توجهی بر خواص ماسه ریخته‌گری دارد که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

- استحکام
- نفوذپذیری
- کارپذیری
- هزینه آماده‌سازی ماسه
- سطح نهایی قطعات ریخته‌گری

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه (عدد ریزی) جزء آزمایش‌های اولیه ماسه است و معمولاً این آزمایش بر روی ماسه ورودی به کارخانه انجام می‌شود و نتایج حاصل از آن می‌تواند کاربردهایی به صورت زیر داشته باشد:

راهنمایی برای نسبت صحیح مواد ریز و توزیع صحیح اندازه دانه‌های ماسه

حفظ خواص یکنواخت در ماسه مورد مصرف

راهنمایی برای مقدار چسب مورد نیاز در ماسه جدید

مبنایی برای بیان مشخصات ماسه به هنگام سفارش خرید

هر اینچ طولی دارای ۲۷۰ سوراخ است. در آزمایشگاه‌های مختلف معمولاً از ۱۱ ردیف غربال یا الک بر حسب ریزی و درشتی ذرات ماسه استفاده می‌کنند.

واژه شبکه یا مش (mesh) به معنی تعداد واژه سوراخ‌ها در طول یک اینچ است. واژه مش به تنهایی بدون معنی است مگر اینکه قطر یا ضخامت سیم نیز داده شود. به طوری که با استفاده از اندازه قطر سیم بتوان اندازه سوراخ را تعیین کرد. اندازه سوراخ در حقیقت اندازه ذرات عبور کرده را مشخص می‌کند و مش به همراه قطر سیم فقط برای تعیین اندازه سوراخ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**روش انجام کار:** روش آزمایش عدد ریزی برای ماسه‌هایی که حاوی مواد چسبنده خاک رس هستند با ماسه‌هایی که دارای خاک رس نیستند متفاوت است. اما الک‌های اندازه‌گیری ریزی دانه‌ها برای هر دو نوع یکسان است. سری الک‌های مورد استفاده برای انجام آزمایش جدا کردن با الک در جدول (۱) مطابق استاندارد جامعه ریخته‌گران آمریکا (American Foundry Society) آمده است.

در سیستم جامعه ریخته‌گران آمریکا (AFS) سیستم آزمایش از ۱۴ غربال (الک) تشکیل شده است که درشت‌ترین غربال آن تحت شماره ۴، در هر اینچ طولی دارای ۴ سوراخ و ریزترین غربال آن تحت شماره ۲۷۰، در

جدول ۱- مشخصات و ضریب الک‌های استاندارد انجمن ریخته‌گران آمریکا (AFS)

شماره الک استاندارد (AFS)	قطر سیم	تولرانس مجاز +%	اندازه طول دهانه (میلی‌متر)	ضریب الک $a_i$
۴	۱٫۶۵۱	۳	۴٫۶۹۹	۴
۶	۰٫۹۱۴	۳	۳٫۳۲۷	۶
۸	۰٫۸۸۹	۳	۳٫۳۶۲	۸
۱۰	۰٫۸۱۳	۳	۱٫۶۵۱	۱۰
۱۴	۰٫۶۳۵	۳	۱٫۱۶۷	۱۲
۲۰	۰٫۴۳۷	۵	۰٫۸۳۳	۱۶
۲۸	۰٫۳۲۸	۵	۰٫۵۸۹	۲۰
۳۵	۰٫۳۰۹	۵	۰٫۴۱۴	۳۰
۴۸	۰٫۲۳۳	۵	۰٫۲۹۵	۴۰
۶۵	۰٫۱۸۳	۵	۰٫۲۰۸	۵۰
۱۰۰	۰٫۱۰۶	۶	۰٫۱۴۷	۷۰
۱۵۰	۰٫۰۷۶	۶	۰٫۱۰۴	۱۰۰
۲۰۰	۰٫۰۷۴	۷	۰٫۰۷۴	۱۴۰
۲۷۰	۰٫۰۴۰	۷	۰٫۰۵۳	۲۰۰

در رده بندی الکها یک نسبت ثابت بین اندازه‌های مختلف وجود دارد. این نسبت ثابت برابر  $1/414$  یا ریشه دوم عدد ۲ است. مثلاً در رده بندی سری الک‌های استاندارد آمریکایی، اندازه ضلع یا سوراخ یک الک معادل  $1/414$  برابر اندازه سوراخ الک پایینی است. به عبارت دیگر در این سری الکها، اندازه مساحت و سوراخ یک الک معادل نصف مساحت سوراخ الک بالایی است. هریک از الک‌های موجود در یک سری از الک‌های استاندارد با یک شماره الک و یک ضریب الک ( $a_i$ ) مشخص می‌شود. شماره الک عبارت است از: تعداد سوراخ‌های موجود در طول یک اینچ از الک و ضریب الک عددی است که در محاسبه عدد ریزی از آن استفاده می‌شود. معمولاً یک درپوش بر روی بالاترین الک در سری الکها قرار می‌گیرد و یک کفه در زیر پایین‌ترین الک (الک شماره ۲۷۰ در استاندارد آمریکا) قرار داده می‌شود تا موادی که از آخرین الک عبور می‌کند، در آن جمع شود.

### وسایل مورد نیاز انجام آزمایش

۱- دستگاه تعیین دانه بندی ماسه: این دستگاه‌ها معمولاً برقی با عملکرد اتوماتیک است. دارای حداقل شش الک هرکدام با یک مش جداگانه و یک عدد درپوش و یک عدد کفه تحتانی. در شکل (۲) دو نمونه از این دستگاه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲- دو نمونه از دستگاه‌های تعیین عدد ریزی ماسه

۲- ترازوی آزمایشگاهی: جهت توزین نمونه‌های مورد آزمایش از ترازوهای آزمایشگاهی استفاده می‌شود که معمولاً در دو نوع مکانیکی و دیجیتالی هستند که در شکل (۳) نمونه‌هایی از این ترازوها نشان داده شده است.



الف

ب

شکل ۳- الف) ترازوی دیجیتالی ب) ترازوی مکانیکی



**۳- برس مخصوص تمیز کردن الک‌های آزمایشگاهی:** نگهداری صحیح از الک‌های آزمایشگاهی موجب می‌شود عمر الک بیشتر شده و همچنین در آزمایش‌های بعدی میزان خطای محاسبه کمتر شود. همیشه بعد از استفاده از الک‌ها بهتر است آن را با برس‌های مخصوص و یا فشار باد تمیز کنیم تا روزه‌های آن تمیز و بدون گرفتگی باقی بماند. در صورت عدم رعایت این مسایل عمر الک بسیار کم می‌شود و از دقت و کارایی آن کم می‌شود. در شکل (۴) برس‌های مخصوص تمیز کردن الک‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۴- برس‌های مخصوص تمیز کردن الک‌های آزمایشگاهی

**دستورکار انجام آزمایش:** ابتدا یک نمونه از ماسه خشک شده یا یک نمونه از ماسه‌ای که قبلاً خاک رس آن جدا شده است را به وزن ۵۰ گرم توسط ترازوی دیجیتال توزین کرده و سپس آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید:

**۱** نمونه تهیه شده را بر روی بالاترین الک ریخته و درپوش را روی آن قرار داده و دستگاه را ببندید.

قبل از شروع آزمایش، الک‌ها را به دقت بررسی کنید تا از نظر عدم افزایش قطر سوراخ‌ها یا پارگی سیم‌های شبکه اطمینان حاصل شود.

نکته



**۲** تایمر دستگاه را تنظیم کنید تا به مدت ۱۵ دقیقه لرزش انجام گیرد.

**۳** پس از پایان لرزش الک‌ها، درپوش را برداشته و هریک از الک‌ها را به نوبت از بالا به پایین باز کنید.

**۴** توسط ترازوی دیجیتال جرم ماسه‌های باقی‌مانده بر روی هر الک را تعیین کنید.

جهت انجام این کار بهتر است که ماسه‌های باقی‌مانده روی هر الک بر سطح کاغذی سخت برگردانده شده و سپس جرم آن تعیین شود. برای این کار نیز باید از برس‌های مخصوص برای تمیز کردن و خارج کردن ماسه از لابه‌لای شبکه هر الک استفاده شود.

نکته



۵ پس از تعیین جرم ماسه‌های باقی‌مانده بر روی کلیه الک‌ها، عدد ریزی ماسه محاسبه و تعیین می‌شود. لازم به ذکر است که پس از اتمام کار، مجموع جرم ماسه‌های باقی‌مانده بر روی همه الک‌ها بعلاوه جرم ماسه باقی‌مانده بر کفه باید برابر جرم نمونه اولیه باشد.

۶ برای محاسبه و تعیین عدد ریزی یک ماسه لازم است که موارد زیر انجام گیرد:

الف) پس از انجام آزمایش و جدا کردن الک‌ها، درصد باقی‌مانده بر روی هر الک از رابطه زیر تعیین شود:

$$g_i = \frac{\text{جرم مواد باقی‌مانده در هر الک}}{\text{جرم نمونه اولیه}} \times 100$$

(درصد باقی‌مانده بر روی هر الک)

ب) مقدار درصد باقی‌مانده بر روی هر الک در ضریب آن الک ضرب شود.

ج) مجموع حاصل ضرب‌های به‌دست آمده در بند (ب) را به‌دست آورید.

د) عدد به‌دست آمده در بند (ج) یا مجموع حاصل ضرب‌ها بر مجموع درصد باقی‌مانده روی کلیه الک‌ها و کفه تقسیم شود.

مقدار عدد ریزی ماسه را می‌توان توسط رابطه زیر به‌دست آورد:

$$a = \frac{\text{مجموع حاصل ضرب درصد باقی‌مانده بر روی هر الک در ضریب آن الک}}{\text{مجموع درصد باقی‌مانده بر روی کلیه الک‌ها و کفه}} = \frac{\sum a_i g_i}{\sum g_i}$$

$a_i$ : ضریب الک     $g_i$ : درصد جرم ماسه باقی‌مانده در هر الک     $a$ : عدد ریزی     $\Sigma$ : مجموع چند کمیت

مثال زیر نحوه محاسبه عدد ریزی دانه یک ماسه را نشان می‌دهد:

نمونه‌ای از یک ماسه ریخته‌گری تحت آزمایش جدا کردن با الک قرار گرفته است که نتایج آزمایش به قرار زیر می‌باشد:

مقدار نمونه: ۵۰ گرم

مقدار خاک رس: ۶۳ گرم معادل ۱۲٫۶ درصد

مقدار دانه‌های ماسه: ۴۳٫۷ گرم معادل ۸۷٫۴ درصد.

جدول ۲- نتایج آزمایش جداکردن با الک برای نمونه صفحه قبل

شماره سری الک استاندارد آمریکا	جرم باقی‌مانده بر روی هر الک (گرم)	درصد باقی‌مانده بر روی هر الک gi	ضریب الک ai	حاصل ضرب ai و gi
۶	۰	۰/۰	۳	۰
۱۲	۰	۰/۰	۵	۰
۲۰	۰	۰/۰	۱۰	۰
۳۰	۰	۰/۰	۲۰	۰
۴۰	۰/۲	۰/۴	۳۰	۱۲
۵۰	۰/۶۵	۱/۳	۴۰	۵۲
۷۰	۱/۲	۲/۴	۵۰	۱۲۰
۱۰۰	۲/۲	۴/۴	۷۰	۳۰۸
۱۴۰	۸/۲	۱۶/۴	۱۰۰	۱۶۴۰
۲۰۰	۱۱/۰۵	۲۲/۱	۱۴۰	۳۰۹۴
۲۷۰	۱۰/۹	۲۱/۸	۲۰۰	۴۳۶۰
کفه	۹/۳	۱۸/۶	۳۰۰	۵۵۸۰
مجموع	۴۳/۷	۸۷/۴		۱۴۲۶۶

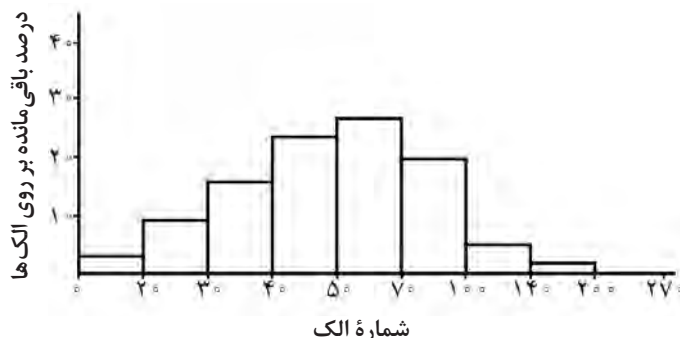
با توجه به نتایج به‌دست آمده از جدول (۲) عدد ریزی ماسه به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$a = \frac{\sum ai gi}{\sum gi} = \frac{14266}{87/4} = 163/2$$

### نتیجه‌گیری و بحث

روش‌های مختلفی برای بیان نتایج و ارائه وضعیت عدد ریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پرکاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقی‌مانده به‌صورت ستونی است، بدین ترتیب که درصد باقی‌مانده بر روی هر الک محاسبه شده و ستونی متناسب با مقدار آن در نقطه شماره الک رسم می‌شود. از چنین نموداری که نمونه‌ای از آن در شکل (۵) آمده است، می‌توان چند الکه بودن ماسه را تعیین کرد. هر یک از الکه‌ها که درصد باقی‌مانده ماسه

روش‌های مختلفی برای بیان نتایج و ارائه وضعیت عدد ریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پرکاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقی‌مانده به‌صورت ستونی است، بدین ترتیب که درصد باقی‌مانده بر روی هر الک محاسبه شده و ستونی متناسب با مقدار آن در نقطه شماره الک رسم می‌شود. از چنین نموداری که نمونه‌ای از آن در شکل (۵) آمده است، می‌توان چند الکه بودن ماسه را تعیین کرد. هر یک از الکه‌ها که درصد باقی‌مانده ماسه



شکل ۵- نمودار ستونی درصد باقی‌مانده بر هر الک بر حسب شماره الک



لازم به ذکر است در مورد ماسه‌هایی که دارای خاک رس هستند، برای محاسبه و تعیین عدد ریزی ابتدا باید ماسه کاملاً شسته شود و خاک رس آن جدا شود و سپس ماسه بدون خاک رس در درجه حرارت و زمان معین و مناسب حرارت داده شود تا خشک گردد. بعد از این مرحله می‌توان آزمایش جدا کردن با الک یا غربال را انجام داد.

به‌طور کلی عدد ریزی ماسه راهی سریع برای بیان متوسط اندازه دانه‌های یک ماسه است و مقدار آن می‌تواند برای مقایسه درجه ماسه با ماسه‌های دیگر به کار رود یا برای کنترل ماسه ذخیره یا ماسه در گردش یک کارگاه ریخته‌گری مورد استفاده قرار گیرد. عدد ریزی ماسه همچنین برای محاسبه دیگر اطلاعات مربوط به عملیات ماسه ریخته‌گری مفید است.

عدد ریزی، اطلاعات مربوط به توزیع اندازه دانه‌ها در ماسه را ارایه نمی‌کند. بنابراین احتمال دارد دو ماسه که دارای یک عدد ریزی هستند، توزیع دانه متفاوت داشته باشند و نفوذپذیری و قابلیت عبور گاز آنها نیز متفاوت باشد. گذشته از آن، خواص دو ماسه که عدد ریزی یکسانی دارند می‌تواند به واسطه تفاوت در شکل دانه‌های آنها یکسان نباشد. نمونه‌ای از دو ماسه مختلف که عدد ریزی یکسان دارند ولی توزیع دانه‌های آنها متفاوت است در جدول شماره (۳) آمده است.

**جدول ۳- درصد باقی‌مانده بر روی هر الک برای دو ماسه با عدد ریزی یکسان و توزیع اندازه متفاوت**

شماره الک استاندارد آمریکا	درصد باقی‌مانده (ماسه الف)	درصد باقی‌مانده (ماسه ب)
۶	۰/۰	۰/۰
۱۲	۰/۰	۰/۰
۲۰	۰/۰	۰/۰
۳۰	۱	۰/۰
۴۰	۲۴	۱
۵۰	۲۲	۲۴
۷۰	۱۶	۴۱
۱۰۰	۱۷	۲۴
۱۴۰	۱۴	۷
۲۰۰	۴	۲
۲۷۰	۱/۷	۰/۰
کفه	۰/۳	۱
مجموع	۱۰۰	۱۰۰
عدد ریزی (AFS)	۶۰	۶۰

جدول شماره (۴) نیز نتایج آزمایش تفکیک با الک و عدد ریزی سه نوع ماسه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ماسه دریاچه دارای عدد ریزی (AFS) معادل ۶۵ است و سه الکه است. ماسه انباشته مورد آزمایش چهار الکه و عدد ریزی (AFS) آن معادل ۸۸/۱ است، برای تهیه ماسه‌ای که از نظر وضعیت دانه‌بندی مابین دو ماسه نام برده قرار داشته باشد، ۴۰٪ ماسه انباشته و ۶۰٪ ماسه دریاچه مخلوط شده و ماسه‌ای چهار الکه با عدد ریزی (AFS) معادل ۶۸/۷ حاصل شده است.

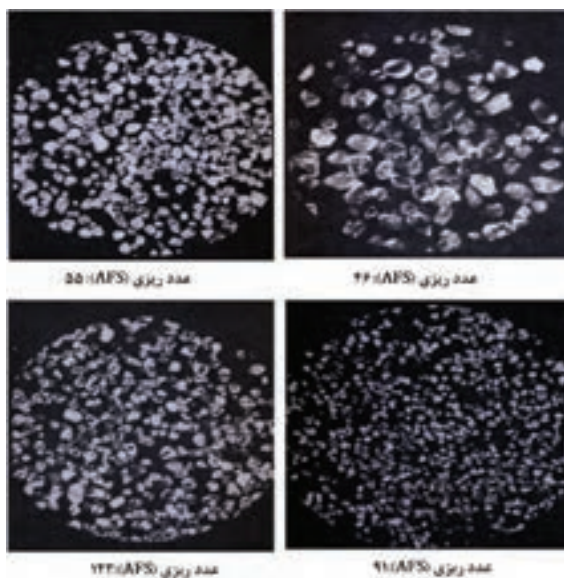
جدول ۴- نتایج آزمایش تفکیک با الک و عدد ریزی برای چند نوع ماسه

شماره الک	نوع ماسه	ماسه دریاچه (درصد باقی‌مانده)	ماسه انباشته (درصد باقی‌مانده)	ماسه‌ای مرکب از ۶۰٪ ماسه دریاچه و ۴۰٪ ماسه انباشته
۲۰		۰/۱۳	۰	۰/۰۸
۳۰		۰/۶۷	۰/۰۳	۰/۴۱
۴۰		۲/۳۵	۰/۰۶	۱/۴۳
۵۰		۱۶/۰۲	۱/۴۸	۱۰/۲۰
۷۰		۴۵/۸۲	۱۳/۳۰	۳۲/۸۱
۱۰۰		۳۳/۲۸	۴۳/۲۷	۳۷/۲۸
۱۴۰		۱/۲۳	۲۷/۶۶	۱۱/۸۰
۲۰۰		۰/۱	۱۰/۹۰	۴/۴۲
۲۷۰		۰/۰۱	۱/۸۹	۰/۷۶
کفه		۰/۳۹	۱/۴۲	۰/۸
	عدد ریزی (AFS)	۵۶	۸۸/۱	۶۸/۷

است کرووی، گوشه‌دار و یا حالتی بین آن دو داشته باشند، معمولاً ماسه‌های کرووی از قابلیت نفوذ عالی، استحکام و شکل‌پذیری کمتری برخوردارند در حالی که ماسه‌های گوشه‌دار استحکام و شکل‌پذیری خوبی داشته ولی قابلیت نفوذ نامطلوبی دارند. در عمل به دلیل فراهم کردن مجموعه مناسبی از خواص ذکر شده معمولاً از ماسه‌هایی با شکل‌های مختلف (نیمه گوشه‌دار) استفاده می‌شود. در شکل (۶) تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی از ماسه‌های نیمه گوشه دار مورد استفاده در ریخته‌گری با عدد ریزی مختلف آورده شده است.

اندازه و پخش ذرات ماسه بسیاری از خواص مخلوط ماسه قالب‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ذرات ریز ماسه در حالی که سطوح صافی را در قالب به وجود می‌آورند باعث کاهش قابلیت نفوذ گاز می‌شوند. اما ذرات درشت از دیرگدازی و قابلیت نفوذ گاز بیشتری برخوردار هستند. از طرفی ذرات درشت از استحکام کمتری برخوردار می‌باشند. به همین دلیل اکثر ماسه‌های ریخته‌گری به منظور قابلیت نفوذ گاز و استحکام کافی و دیرگدازی مناسب از چند ماسه با اندازه دانه مختلف تشکیل می‌شوند. لازم به توضیح است که شکل ذرات ماسه ممکن

به‌طور کلی و با توجه به مباحث ذکر شده، چنین استنباط می‌شود که، اندازه و پخش ذرات ماسه و شکل آنها مجموعاً خواص عمومی ماسه از نظر دیرگدازی، شکل پذیری، قابلیت نفوذ گاز و صافی سطوح قالب را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به همین دلیل آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه یکی از آزمایش‌های اولیه و مهم در تعیین خواص مواد قالب است.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی چند نمونه ماسه نیمه گوشه دار

### انجام آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه:

پس از تشکیل گروه‌های دو یا سه نفره از ماسه‌های قالب‌گیری و ماهیچه‌گیری موجود در کارگاه ریخته‌گری با رعایت نکات ایمنی نمونه‌برداری کنید.

در صورت امکان از ۲ یا ۳ نوع ماسه مختلف (مانند ماسه سیلیسی طبیعی و مصنوعی و ماسه کرومیتی یا زیرکنی) نمونه‌برداری شود که امکان مقایسه نتایج وجود داشته باشد. سپس آزمایش را مطابق دستور کار گفته شده برای هر یک از ماسه‌ها انجام دهید. و با توجه به سری الک‌های موجود در آزمایشگاه، جدول مربوط به نتایج هر ماسه را تنظیم کرده و از روی آن "عدد ریزی ماسه" و "چند الک‌بودن" هر ماسه را تعیین کرده و سپس نحوه توزیع ذرات را به صورت نمودار برای هر کدام ترسیم کرده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۲



نکته



- در توزین نمونه‌ها حتماً از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم استفاده کنید و از ضربه زدن به آن خودداری کنید.
- از آماده به کار بودن دستگاه تعیین دانه بندی و سالم بودن الک‌های آن اطمینان حاصل کنید.
- پس از اتمام آزمایش الک‌ها را به ترتیب روی دستگاه ببندید و همیشه به‌خاطر داشته باشید که الک‌ها را باید همواره تمیز نگه داشت.



پس از اتمام آزمایش ماسه‌های مورد آزمایش را از محیط آزمایشگاه جمع‌آوری کرده و به ماسه دان کارگاه بریزید و محل انجام آزمایش را تمیز و مرتب کنید.

## آزمایش تعیین مقدار خاک رس



شکل ۷- نمونه‌ای از خاک رس

خاک رس متداول‌ترین چسب مورد استفاده در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری است. خاک دارای ماسه که عامل چسبندگی ذرات ماسه است تأثیر زیادی روی خواص ماسه از جمله استحکام‌تر، استحکام خشک و قابلیت نفوذ گاز دارد. خاک رس اساساً آلومینیم سیلیکات است اما از آنجا که این ماده محصول تجزیه شده از انواع سنگ‌های آذرین است، انواع مختلف آن از نظر ترکیب شیمیایی طیف وسیعی را در بر می‌گیرند. خاک رس سه خصوصیت عمده دارد:

الف) خاک رس می‌تواند پس از مخلوط شدن با ماسه و آب کافی، شکل‌پذیری و چسبندگی در مخلوط ایجاد کند.

ب) خاک رس می‌تواند خشک شود و سپس با اضافه کردن آب، مجدد خاصیت شکل‌پذیری را کسب کند. البته درجه حرارت خشک کردن نباید زیاد بالا باشد.

ج) اگر خاک رس به دمای خیلی بالا برده شود، کلسینه می‌شود و از بین می‌رود و در آن صورت با افزودن آب نمی‌توان آن را دوباره شکل‌پذیر ساخت. دمای کلسینه شدن برای انواع مختلف خاک رس متفاوت است. از نقطه نظر تهیه مخلوط ماسه قالب‌گیری، مهم‌ترین خاصیت خاک رس تشکیل ساختمان لایه‌ای نازک و توانایی جذب یون‌های فلزی و آب است. لایه‌های خاک رس بسیار نازک (در حدود ۱۵ تا ۳۰ آنگستروم) است و به سهولت یون‌های فلزی را جذب می‌کند و سپس آب بر روی این یون‌ها جذب می‌شود. آب جذب شده یک ذره خاک رس را به دیگری اتصال می‌دهد و لایه‌های خاک رس از طریق آب بر روی سطوح ماسه اصلی گسترده می‌شوند و به کمک نیروهای مولکولی اتصال لازم را فراهم می‌سازند. در حقیقت رطوبت کافی ماسه (آب فیزیکی) عامل یونیزه شدن آب تبلور (آب مولکولی) خاک رس می‌شود.

خاک رس خالص یا کائولن دارای ترکیب متبلور آلومینیوم سیلیکات ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) می‌باشد و ناخالصی‌هایی که مانند سدیم، پتاسیم، آهن و کلسیم به صورت سیلیکات در این خاک پدید می‌آیند رنگ آن را از صورتی روشن به قهوه‌ای تیره مبدل می‌سازد. خاک رس معمولی‌ترین ترکیب ناخالص کائولن است و در ریخته‌گری به کار می‌رود. از نقطه نظر قالب‌گیری مهم‌ترین خاصیت خاک‌ها جذب آب است که پس از یونیزاسیون تولید یون‌های  $H^+$  و  $O^-$  می‌کند. این یون‌ها که دارای بارهای مثبت و منفی هستند و در لایه‌های ذرات سیلیس قرار می‌گیرند، باید چسبندگی لازم را برای ماسه تأمین کنند زیرا این بارها مختلف

هستند و یکدیگر را جذب می‌کنند. باید توجه داشت که عمل یونیزاسیون در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود. بنابراین کنترل آن اهمیت زیادی دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که خاک رس در آب و رطوبت ماسه فعال می‌شود.

به‌طور کلی میزان خاک مخلوط ماسه قالب‌گیری به ذراتی اطلاق می‌گردد که قطر آنها کمتر از  $0.075$  میلی‌متر باشد. در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری که حاوی بنتونیت و پودر زغال غیرفعال است این ذرات نیز همراه با خاک واقعی مخلوط خارج می‌شوند، بنابراین برای اندازه‌گیری میزان واقعی خاک باید به این مسئله توجه کرد.

### وسایل مورد نیاز جهت تعیین مقدار خاک رس ماسه

**۱** ترازوی دقیق دیجیتالی: جهت توزین نمونه‌های مورد آزمایش از یک ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم استفاده می‌شود.

**۲** خشک‌کن ماسه (آون): از این کوره جهت خشک کردن نمونه‌های مورد آزمایش استفاده می‌شود. این خشک‌کن‌ها که معمولاً به آنها آون نیز گفته می‌شود در انواع و مدل‌های مختلفی وجود دارند. این کوره‌ها دارای محفظه استیل بوده و مجهز به زمان‌سنج و چند عدد سینی استیل جهت قرار دادن نمونه‌ها هستند که توسط المنت‌های اطراف محفظه، ایجاد حرارت قابل کنترل  $50$  الی  $250$  درجه سلسیوس با دقت  $\pm 10$  درجه سلسیوس کرده که جهت خشک کردن نمونه‌های آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۸) نمونه‌ای از این کوره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸- خشک‌کن (آون)

**۳** دستگاه شست‌وشوی ماسه: از این دستگاه جهت شست‌وشوی ماسه و جداسازی خاک رس از دانه‌های ماسه استفاده می‌شود که معمولاً در دو نوع معمولی و خودکار وجود دارد. که دستگاه شست‌وشوی خودکار به منظور جداسازی خاک رس از ماسه و خارج ساختن آن همراه با آب، طراحی و ساخته شده است. به طوری که عملیات جداسازی به‌طور خودکار انجام می‌گیرد و فرصت لازم برای رسوب ذرات ماسه و نیز زمان مناسب برای تخلیه آب و ذرات خاک رس معلق در آن توسط دستگاه تنظیم می‌شود. در شکل (۹) دو نمونه از دستگاه‌های شست‌وشوی ماسه نشان داده شده است.

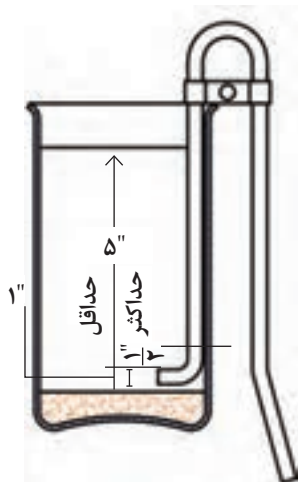




ب) دستگاه شست‌وشوی معمولی

الف) دستگاه شست‌وشوی خودکار

شکل ۹- دو نمونه از دستگاه‌های شست‌وشوی ماسه



شکل ۱۰- بشر و سیفون مورد استفاده در آزمایش تعیین درصد خاک رس

۴ بشر یک لیتری به همراه سیفون: شکل (۱۰) بشر مورد استفاده در آزمایش تعیین خاک رس ماسه ریخته‌گری و وضعیت صحیح لوله سیفون مورد استفاده جهت تخلیه آب و جداسازی ذرات خاک رس از دانه‌های ماسه را نشان می‌دهد.

۵ میله شیشه‌ای جهت هم زدن محلول آب و ماسه.

۶ قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی.

۷ تایمر.

دستور کار انجام آزمایش: پس از نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های مورد نیاز، مقدار ۵۰ گرم ماسه را توزین کرده و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید:

۱ ماسه وزن شده را به مدت یک ساعت در دمایی بین ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس داخل کوره الکتریکی خشک کنید.

به منظور اطمینان از خشک شدن کامل ماسه و نیز سهولت کار، بهتر است ماسه در سطح وسیعی گسترده شود به طوری که فقط لایه نازکی از آن در هر ناحیه از سطح موجود باشد و رطوبت به آسانی در مدت مورد نظر تبخیر و خارج شود.

۲ پس از خشک شدن کامل ماسه، وزن دقیق آن را با ترازوی دقیق دیجیتالی اندازه‌گیری کنید. ماسه را به داخل یک مخلوط‌کن یا همزن برقی که همان دستگاه شست‌وشوی ماسه است بریزید.

۳ مقدار ۴۷۵ میلی‌لیتر آب مقطر ۲۵ درجه سلسیوس به ماسه اضافه کنید، دقت داشته باشید که آب اضافه شده خنثی باشد زیرا در غیر این صورت در تعیین مقدار خاک رس خطای قابل توجهی ظاهر می‌شود.

۴ پس از افزودن آب مقدار ۲۵ میلی لیتر از یک محلول استاندارد ۱/۵ درصد پیروفسفات ( $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) به محلول اضافه کنید.

نکته



افزودن محلول استاندارد ۱/۵ درصد پیروفسفات ( $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ) به منظور جلوگیری از کلوخه شدن و یا لخته شدن و به هم چسبیدن ذرات ماسه و خاک رس صورت می گیرد. در برخی موارد از سدیم هیدروکسید یا سود سوزآور ( $\text{NaOH}$ ) نیز برای جلوگیری از کلوخه شدن ذرات استفاده می شود ولی ترکیب تترا سدیم پیروفسفات بر سدیم هیدروکسید ارجحیت دارد زیرا سدیم هیدروکسید باعث ژلاتینی شدن ماسه شده و در نتیجه از رسوب صحیح و کامل ذرات ماسه جلوگیری می کند.

۵ پس از افزودن آب مقطر و محلول تترا سدیم پیروفسفات در پوش دستگاه شست و شوی ماسه را محکم بسته و دستگاه را به مدت یک ساعت با سرعت ۶۰ دور بر دقیقه به چرخش در بیاورید.

۶ پس از مدت زمان یک ساعت دستگاه شست و شوی ماسه را خاموش کرده و سپس، ماسه‌ای را که هم زده شده را وارد بشر کرده و بر روی آن آب مقطر بریزید به طوری که ارتفاع آب به حدود ۱۵ سانتی متر برسد. شرایط باید به گونه‌ای باشد که کلیه ذرات موجود در محلول به خوبی مخلوط و در هم باشند.

۷ سپس بشر را روی سطح صاف و تراز یک میز قرار داده و به مدت ۱۰ دقیقه (توسط زمان سنج) اجازه دهید تا ذرات ماسه رسوب کنند. در چنین شرایطی ذرات خاک معلق خواهند بود و می توانیم با یک سیفون مطابق شکل (۱۰) که ارتفاعش ۱۲/۵ سانتی متر است مایع بشر را تخلیه کنیم.

۸ مجدداً آب مقطر به بشر اضافه کنید و توسط یک میله شیشه‌ای هم زدن محلول را انجام دهید. ۱۰ دقیقه برای رسوب ذرات فرصت داده و دوباره آب را به کمک سیفون تا عمق ۱۲/۵ سانتی متری تخلیه کنید.

نکته



عملیات اضافه کردن آب، هم زدن و زمان دادن جهت رسوب ذرات و خارج کردن آب به کمک سیفون تا عمق ۱۲/۵ سانتی متری را آن قدر تکرار کنید تا آب اضافه شده، پس از ۵ دقیقه زمان دادن، در عمق ۱۲/۵ سانتی متری کاملاً شفاف به نظر برسد. با این روش موادی که با سرعت یک اینچ بر دقیقه به سمت پایین حرکت می کنند از دانه‌های دیگر جدا می شوند. این گونه ذرات دارای قطری معادل ۲ میکرون یا کوچک تر از آن هستند و خاک رس (Clay) محسوب می شوند.

۹ پس از تکمیل مراحل بالا آب داخل بشر را روی کاغذ صافی که بر روی یک قیف شیشه‌ای گذاشته شده بریزید و صبر کنید تا آب کاملاً از کاغذ صافی عبور کند، سپس ماسه باقی مانده روی کاغذ صافی خشک کرده و با ترازوی دیجیتالی دقیق جرم ماسه را تعیین کنید.

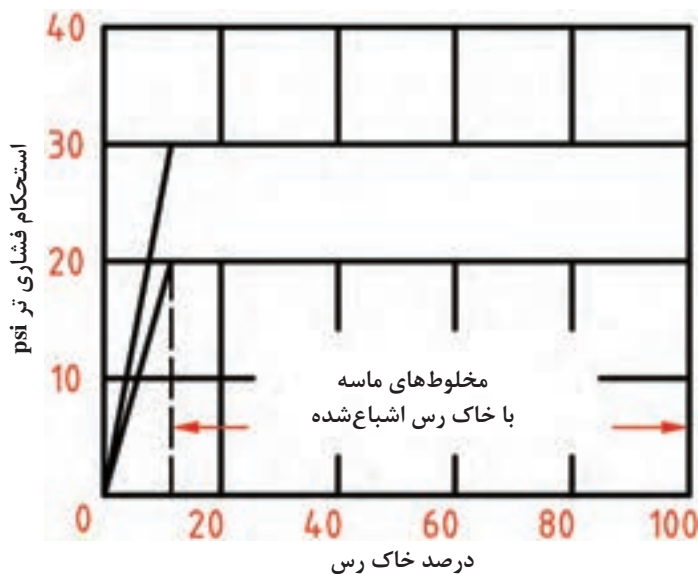
۱۰ اختلاف بین وزن ماسه خشک شده باقی مانده و نمونه اولیه، مقدار خاک رس را نشان می دهد. پس از تعیین مقدار خاک رس، میزان آن معمولاً به صورت درصد بیان می شود. میزان خاک رس مخلوط ماسه قالب گیری با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\text{درصد خاک ماسه} = \frac{\text{جرم ماسه بعد از آزمایش} - \text{جرم اولیه ماسه}}{\text{جرم اولیه ماسه}} \times 100$$

## نتیجه‌گیری و بحث

میزان خاک رس موجود در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری با چسب خاک رس بر روی بسیاری از خواص فیزیکی ماسه ریخته‌گری تأثیر دارد. به طوری که مقدار خاک رس موجود در ماسه به شرط آنکه رطوبت کافی برای فعال شدن خاک رس وجود داشته باشد، تعیین‌کننده استحکام و نفوذپذیری ماسه ریخته‌گری است. همچنین اطلاع از میزان خاک رس می‌تواند امکان پیش‌بینی خصوصیات ماسه را فراهم سازد.

به طور کلی ماسه‌های قالب‌گیری را می‌توان براساس میزان خاک رسی که به همراه دارند به دو صورت ماسه اشباع شده از خاک رس یا ماسه اشباع نشده از خاک رس دسته‌بندی کرد. ماسه اشباع شده از خاک رس، ماسه‌ای است که حاوی مقدار بسیار زیادی از خاک رس است به طوری که افزایش بیشتر خاک رس به آن باعث افزایش استحکام فشاری تر چنین ماسه‌ای نمی‌شود. این مطلب در شکل شماره (۱۱) به صورت یک نمودار نشان داده شده است، در این نمودار حداکثر استحکام فشاری تر بر حسب درصد خاک رس ترسیم شده است.



شکل ۱۱- نمودار تأثیر میزان خاک رس بر روی استحکام فشاری تر نهایی مخلوط‌های ماسه - آب - خاک رس

از بررسی نمودار شکل (۱۱) نتیجه می‌شود که وقتی مقدار خاک رس موجود به یک حد خاص افزایش یابد و ماسه به حالت اشباع از خاک رس برسد، ادامه افزایش خاک رس اثری بر استحکام نهایی نخواهد داشت. همچنین منطقه پهن شده نمودار، تغییرات حداکثر استحکام فشاری تر را که بر اثر خلوص خاک رس و نوع آن، وضعیت اندازه و توزیع دانه‌ها و دیگر عوامل مشابه پدید آمده است نشان می‌دهد.

### تعیین میزان خاک رس ماسه قالب‌گیری

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره ماسه‌های قالب‌گیری موجود در کارگاه ریخته‌گری را نمونه‌برداری کنید و آزمایش را مطابق دستور کار گفته شده انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.



نکته



- قبل از شروع و انجام آزمایش از سالم بودن و آماده به کار بودن وسایل مورد استفاده در آزمایش اطمینان حاصل کنید.
- پس از اتمام آزمایش وسایل مورد استفاده را تمیز کرده و سر جای خود قرار دهید.

نکته زیست محیطی



پس از اتمام کار محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را به ماسه دان کارگاه برگردانید و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاه جلوگیری شود.

نکته ایمنی



هنگام تهیه محلول استاندارد پیروفسفات یا سود سوزآور حتماً از دستکش پلاستیکی و ماسک تنفسی استفاده کنید و حتی الامکان محلول را زیر هود آزمایشگاهی تهیه کنید.

پرسش



میزان بهینه خاک رس در یک ماسه ایدئال ریخته‌گری چه مقدار است؟ کم یا زیاد بودن آن چه تأثیراتی می‌تواند بر خواص قالب داشته باشد؟

بحث گروهی

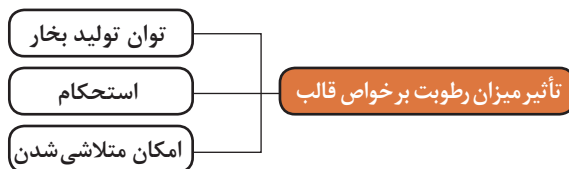


پس از بحث و گفت‌وگو در رابطه با پرسش بالا پاسخ تحلیلی را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## آزمایش‌های تعیین رطوبت

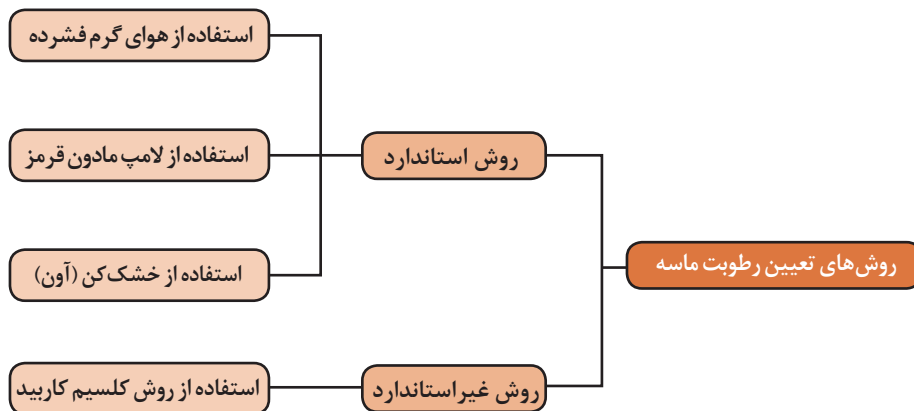
ماسه افزایش می‌یابد. به‌طور خلاصه می‌توان گفت که وجود مقدار معینی آب در ماسه قابلیت شکل‌پذیری ماسه را بالا می‌برد ولی اگر مقدار آن از حد مجاز بیشتر شود استحکام ماسه کاهش می‌یابد. از این رو کنترل و تنظیم میزان رطوبت ماسه خیلی مهم است و در فرایند قالب‌گیری تأثیر فراوانی دارد.

رطوبت عبارت است از آب ظاهری موجود در ماسه به میزان ۳/۵ تا ۸ درصد که با وجود خاک رس باعث بالا رفتن خاصیت شکل‌پذیری (پلاستیسیته) و استحکام تر ماسه می‌شود. خاک رس آب و رطوبت ماسه را جذب می‌کند و به حد اشباع می‌رسد، در نتیجه بر اثر فشرده شدن ماسه و نزدیک شدن ذرات به یکدیگر استحکام



لازم به توضیح است که میزان آب مورد استفاده در ماسه قالب‌گیری باید در حداقل مقدار خود در نظر گرفته شود. برای بررسی میزان آب مورد استفاده موارد زیر باید مد نظر قرار گیرد:

- ۱ اطمینان پیدا کردن از حصول خواص چسبندگی بالا:** در صورت افزایش درصد آب، تمامی خواص استحکامی به شدت کاهش پیدا می‌کند. در صورت پایین بودن استحکام فشاری تر احتمال تخریب قالب در حین حمل و نقل بیشتر می‌شود.
- ۲ به دست آوردن قابلیت پلاستیسیته (شکل‌پذیری) مناسب در ماسه قالب‌گیری:** با افزایش درصد آب، قابلیت پلاستیسیته ماسه قالب‌گیری کاهش پیدا می‌کند. پلاستیسیته بالاتر به معنی قالبی با پایداری بیشتر است که باعث برطرف شدن عیوبی مانند انقباض، مک، تخلخل و عیوب ابعادی می‌شود. برای مقابله با انبساط حرارتی دانه‌های سیلیس به پلاستیسیته بالاتری نیاز است که باعث برطرف شدن عیوب ناشی از آن می‌شود.
- ۳ جلوگیری از به وجود آمدن قالب‌هایی با فشردگی بسیار زیاد:** با افزایش درصد آب، سرعت فشرده شدن ماسه قالب‌گیری افزایش پیدا می‌کند.
- ۴ اطمینان از به حداقل رساندن گاز تولید شده در هنگام ریخته‌گری:** حجم گاز تولید شده از ماسه تر و بعد از ریخته‌گری با درصد آب موجود در ماسه قالب رابطه مستقیم دارد. به طوری که تعداد زیادی از عیوب به وجود آمده در قطعات ریختگی نتیجه تولید گاز حاصل از رطوبت است مانند حفره‌های گازی. به طور کلی مقدار رطوبت ماسه، نباید از حد معینی بیشتر شود، از طرفی کاهش مقدار رطوبت نیز باعث از هم پاشیدگی و کاهش شکل‌پذیری قالب می‌گردد به همین دلیل تعیین مقدار مناسب رطوبت لازم است. معمولاً ریخته‌گران با تجربه به سهولت میزان این رطوبت را تخمین می‌زنند ولی در کارهای بزرگ و موارد مصرف زیاد، تعیین رطوبت ماسه از اهمیت زیادی برخوردار است و نمی‌توان تنها به تجربه متکی بود.



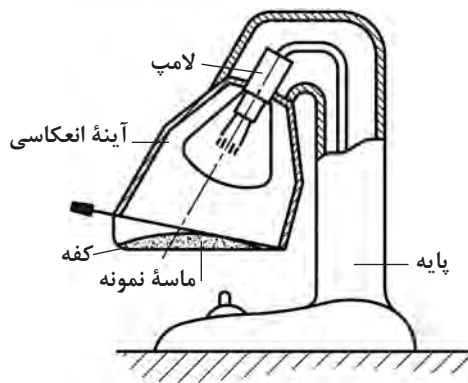
**روش استاندارد:** این روش برای تمامی مخلوط‌های ماسه قابل اجرا است، به جز مخلوط‌هایی که علاوه بر آب دارای مواد فرار و اکسید شدنی هستند. به طور کلی در این روش ماسه توسط تجهیزات مختلف خشک‌کن ماسه خشک می‌شود و اساس اندازه‌گیری میزان رطوبت ماسه بر مبنای کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه آن است و معمولاً برحسب درصد بیان می‌شود. در شکل (۱۲) تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت ماسه به روش استاندارد نشان داده شده است.



دستگاه هوای گرم فشرده



خشک کن (آون)



دستگاه مادون قرمز



شکل ۱۲- تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت به روش استاندارد

لازم به ذکر است که با توجه به مدت زمان کم خشک شدن ماسه در روش مادون قرمز (حدوداً ۳ الی ۵ دقیقه) در صنایع و کارخانه‌های ریخته‌گری، به هنگام تعیین میزان رطوبت ماسه به روش استاندارد بیشتر از روش مادون قرمز استفاده می‌کنند.

**تعیین میزان رطوبت ماسه به روش مادون قرمز:** در این روش یک لامپ اشعه مادون قرمز به‌عنوان منبع گرما برای تبخیر رطوبت از ماسه به کار می‌رود. به‌طوری که یک نمونه از ماسه مورد نظر وزن شده و بر روی کفه دستگاه قرار داده می‌شود (در برخی از دستگاه‌ها کفه مستقیماً به سیستم ترازو متصل است و امکان توزین ماسه به سهولت وجود دارد)، گرمای لازم توسط اشعه مادون قرمز که در بالای کفه قرار دارد فراهم می‌شود. پس از تبخیر کامل رطوبت ماسه، توزین دوباره صورت می‌گیرد و اختلاف دو وزن نمایان‌گر میزان رطوبت است.

#### وسایل مورد نیاز:

- ظرف نمونه‌گیر
- کوره الکتریکی کوچک (آون) یا دستگاه مادون قرمز
- ظرف فلزی
- ترازوی دقیق دیجیتالی
- دسیکاتور

**مراحل انجام آزمایش:** توسط یک ظرف نمونه‌گیر تمیز و خشک از مخلوط ماسه مورد استفاده در محل قالب‌گیری به مقدار کافی نمونه‌برداری کنید. سپس به کمک ترازوی دقیق دیجیتالی مقدار ۵۰ گرم از ماسه نمونه‌برداری شده را توزین کنید. بعد از این مرحله، عملیات خشک کردن ماسه را انجام دهید.

لازم به ذکر است که عملیات خشک کردن ماسه می‌تواند در داخل کوره الکتریکی کوچک (آون) و یا در دستگاه مادون قرمز صورت گیرد. که نحوه خشک کردن با هر کدام به شرح زیر است:

#### الف) خشک کردن توسط کوره الکتریکی (آون)

۱ ابتدا ماسه توزین شده را داخل یک ظرف فلزی پهن کرده و در داخل آون قرار دهید سپس در آون را بسته و دمای آن را در محدوده ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سلسیوس تنظیم کرده و به مدت ۲ ساعت حرارت دهید.

۲ بعد از مرحله خشک کردن، نمونه را داخل دسیکاتور قرار دهید تا دمای آن کاهش یافته و به دمای محیط برسد.

بهبتر است دسیکاتور مجهز به یک فن تخلیه باشد تا بخار آب حاصل را از محیط خارج کند.

نکته



۳ پس از رسیدن دمای نمونه به دمای محیط، جرم نمونه را دوباره با همان ترازو به دقت تعیین کنید. کاهش جرم معادل جرم آبی است که در مخلوط ماسه وجود داشته است.

روش تعیین میزان رطوبت به روش استاندارد بهترین روش کاربردی برای کارهای تحقیقاتی است اما به دلیل طولانی بودن زمان انجام کار برای کنترل مخلوط ماسه در کارخانه‌های ریخته‌گری که به‌طور مداوم انجام می‌گیرد، قابل اجرا نیست.

نکته



**نحوه محاسبه درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری:** به‌طور کلی در هر دو روش خشک کردن چنانچه جرم‌های اندازه‌گیری شده، قبل و بعد از خشک کردن ماسه نمونه (برحسب گرم) به ترتیب برابر با  $m_1$  و  $m$  باشد در این صورت درصد رطوبت ماسه ( $W\%$ ) از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$W\% = \frac{m - m_1}{m} \times 100$$

از طرفی چون جرم ماسه مرطوب ( $m$ ) ۵۰ گرم است بنابراین:

$$W\% = \frac{m - m_1}{m} \times 100 \Rightarrow W\% = 2 \times \text{کاهش جرم}$$

## بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مخلوط ماسه‌های قالب‌گیری دارای خاک رس و یا چسب‌های خاکی جهت چسبندگی ذرات ماسه به یکدیگر می‌باشند و از آن جایی که از نقطه نظر قالب‌گیری مهم‌ترین خاصیت خاک‌ها جذب رطوبت است که به دلیل جذب آب توسط خاک ذرات آن و ذرات ماسه به هم اتصال می‌یابند، که این عمل در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود بنابراین کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری جهت

بالا بردن قابلیت قالب‌گیری و تولید قطعات سالم و بدون عیب اهمیت فراوانی دارد. به‌طور کلی میزان رطوبت مخلوط ماسه علاوه بر میزان چسب موجود در آن، با توجه به روش‌های قالب‌گیری هم می‌تواند متغیر باشد به طوری که در قالب‌گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولاً بین ۶ تا ۸ درصد است، در حالی که در قالب‌گیری‌های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین ۳/۵ تا ۴/۵ درصد است.

### تعیین درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره با رعایت نکات ایمنی از محل قالب‌گیری نمونه برداری کرده و به دو روش ذکر شده در دستور کار آزمایش، نمونه‌های توزین شده را خشک کنید. سپس با استفاده از روابط موجود درصد رطوبت نمونه‌ها را محاسبه کرده و نتایج هر دو روش را با یکدیگر مقایسه کنید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۴



نکته



نکته ایمنی



هنگام وزن کردن نمونه‌ها از سالم و کالیبره بودن ترازوی دیجیتال اطمینان حاصل کنید و به ترازو ضربه نزنید.

- هنگام خشک کردن نمونه‌ها در خشک کن نکات ایمنی را رعایت کرده و از دستکش ایمنی استفاده کنید.
- هنگام استفاده از دستگاه مادون قرمز از سالم بودن لامپ و تایمر آن اطمینان حاصل کرده و هیچ‌گاه به لامپ دستگاه ضربه نزنید.
- وسایل و تجهیزات مورد استفاده را پس از اتمام آزمایش تمیز کرده و در سر جای خود قرار دهید.

نکته  
زیست محیطی



پس از اتمام آزمایش محیط آزمایشگاه را کاملاً تمیز کرده و ماسه‌های اضافی را از آزمایشگاه جمع‌آوری کرده و در ماسه‌دان کارگاه بریزید.

پرسش



اگر رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری در حد بهینه نباشد ممکن است باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریختگی شود؟ درباره پرسش بالا بحث و گفت‌وگو کنید و نتیجه را به صورت گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.



## روش‌های تعیین استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری

استحکام مخلوط ماسه‌های قالب‌گیری را می‌توان در آزمایش‌های استحکام فشاری، برشی، کششی یا خمشی تعیین کرد. برای هر یک از خواص فوق‌روش‌های آزمایش خاصی وجود دارد. اطلاع از استحکام مخلوط ماسه‌های قالب‌گیری و مبانی کنترل این خواص برای بهترین کاربرد و استفاده بهتر از ماسه‌های ریخته‌گری ضروری است. برای اندازه‌گیری استحکام، ماسه‌های ریخته‌گری دستگاه‌های مختلفی به صورت تجاری ارائه می‌شود که در شکل (۱۳) چند نمونه از آنها نشان داده شده است.



شکل ۱۳- انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری استحکام ماسه

لازم به ذکر است که کلیه این دستگاه‌ها چندکاره (universal) بوده و تمامی آزمایشات مربوط به استحکام ماسه را انجام می‌دهند. کافی است که فک‌های مربوط به هر آزمایش روی دستگاه سوار شود.

### تعیین استحکام فشاری تر

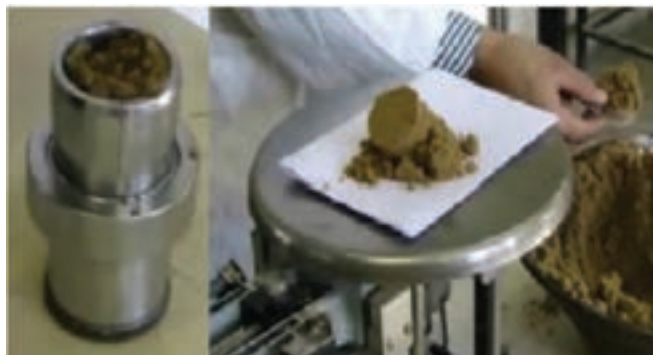
**استحکام تر:** پس از آنکه ماسه با آب و چسب مخلوط شد، ماسه تر حاصل می‌شود. ماسه تر باید استحکام کافی و شکل‌پذیری مناسب را برای ساخت و نگهداری قالب داشته باشد. همچنین استحکام لازم به هنگام خارج کردن مدل از قالب و پس از آن را از خود نشان دهد. داشتن استحکام کافی به منظور حفظ شکل قالب پس از قالب‌گیری و در خلال جابه‌جا کردن قالب ضروری است. استحکام تر یک مخلوط قالب‌گیری به عوامل مختلفی چون میزان رطوبت، مقدار چسب، شکل و اندازه و عدد ریزی ماسه بستگی دارد.

استحکام فشاری تر عبارت است از بیشترین تنش فشاری بر حسب psi (پوند بر اینچ مربع) که یک نمونه ماسه تر با ابعاد استاندارد (۲ in × ۲ in) می تواند تحمل کند. چنین نمونه‌ای از مخلوط ماسه مورد نظر تهیه و به کمک کوبه استاندارد آزمایشگاهی پس از کوبش لازم آماده می شود. سپس نمونه مطابق روش استاندارد با استفاده از دستگاه تعیین استحکام فشاری ماسه تحت اعمال بار قرار می گیرد.

### وسایل مورد نیاز:

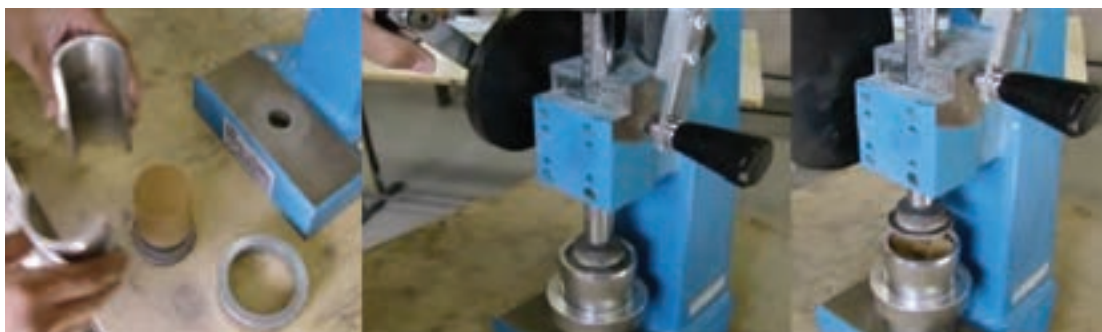
- استوانه استاندارد آماده سازی نمونه.
- ترازوی آزمایشگاهی
- دستگاه کوبه آزمایشگاهی.
- دستگاه اندازه گیری استحکام ماسه، دارای دو فک استوانه‌ای هم محور روبه روی هم که نمونه ماسه بین آن قرار می گیرد.

**مراحل انجام آزمایش:** پس از آماده شدن مخلوط ماسه قالب گیری مورد استفاده در کارگاه ریخته گری به اندازه مورد نیاز نمونه برداری کرده و آزمایش را به صورت زیر ادامه دهید:  
**۱** ابتدا نمونه‌ای استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ (۵/۰۸ سانتی متر) توسط کوبه استاندارد تهیه کنید. برای ساختن نمونه مطابق شکل (۱۴)، ۱۴۵ تا ۱۷۵ گرم ماسه داخل استوانه استاندارد بریزید.



شکل ۱۴

**۲** مطابق شکل (۱۵) استوانه را در پایین کوبه استاندارد در محل خود قرار دهید و با چرخاندن دستگیره آن سه ضربه به ماسه وارد کنید تا ارتفاع نمونه ماسه ۲ اینچ شود.

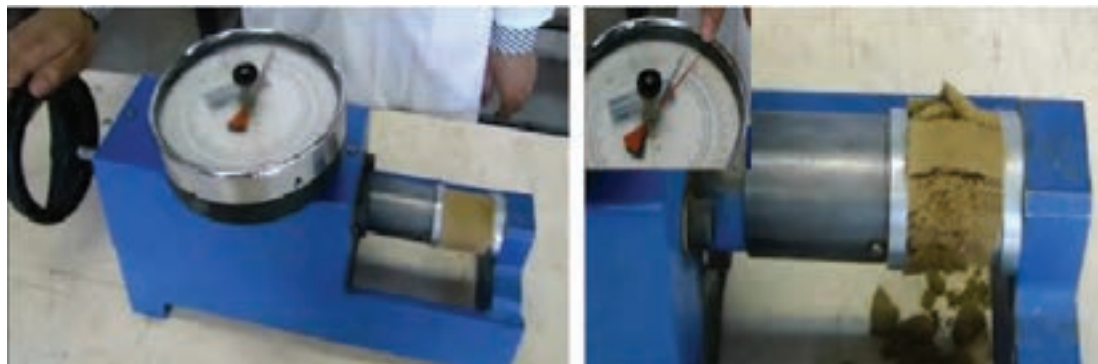


شکل ۱۵

۲ فک‌های مربوط به آزمایش استحکام فشاری تر (دو کفه دایره‌ای تخت) را روی دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه ببندید.

۴ نمونه ساخته شده را مطابق شکل (۱۶) در بین دو فک دستگاه آزمایش استحکام ماسه قرار دهید و با چرخاندن اهرم دستگاه به نمونه فشار وارد کنید تا نمونه تخریب شود.

۵ میزان فشار وارد شده را از روی دستگاه بخوانید این فشار نشان‌دهنده استحکام فشاری تر ماسه است.



شکل ۱۶

### نتیجه‌گیری و بحث

عواملی چون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری اثر می‌گذارد. افزایش کوبش و در نتیجه بالا رفتن میزان فشردگی مخلوط ماسه، باعث افزایش استحکام فشاری می‌شود. اگر میزان فشردگی ثابت باشد، افزایش مقدار خاک رس باعث بالا رفتن استحکام خواهد شد.

### تعیین استحکام فشاری تر

پس از تعیین گروه‌های سه یا چهار نفره و با رعایت نکات ایمنی از مخلوط ماسه‌ای که در کارگاه برای قالب‌گیری استفاده می‌شود نمونه‌برداری کرده و استحکام فشاری تر آن را مطابق مراحل انجام آزمایش تعیین استحکام فشاری تر ماسه تعیین کنید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۵



نکته



نکته فنی



برای نتیجه‌گیری بهتر، هر گروه ۳ یا ۴ عدد نمونه استاندارد تهیه کند.

۱ هنگام تهیه نمونه استاندارد از ثابت و محکم بودن دستگاه کوبه اطمینان حاصل کنید.

۲ توجه داشته باشید که سطوح داخلی لوله استاندارد دستگاه کاملاً صاف و صیقلی باشد و از روغن کاری قسمت‌های متحرک دستگاه اطمینان حاصل کنید.

۳ از کالیبره بودن دستگاه استحکام‌سنج ماسه اطمینان حاصل کنید.



### بررسی تأثیر میزان رطوبت بر روی استحکام فشاری تر:

پس از تشکیل گروه‌های چهار نفره نمونه‌های استاندارد با ۱۰، ۸، ۶، ۴ درصد رطوبت و با ۶ درصد چسب بنتونیت را توسط دستگاه کوبه استاندارد تهیه کرده و سپس توسط دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه، استحکام فشاری تر نمونه‌ها را تعیین کنید و نتایج را در جدول و نمودار زیر نوشته و مورد بررسی قرار دهید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

درصد رطوبت	%۴	%۶	%۸	%۱۰
استحکام فشاری تر (psi)				



هنگام استفاده از دستگاه‌ها نکات ایمنی دستگاه را رعایت کرده و پس از اتمام آزمایش‌ها وسایل و تجهیزات مورد استفاده را تمیز کرده و سر جای خود قرار دهید.



محیط آزمایشگاه و محل انجام آزمایش را تمیز و مرتب کرده و ماسه‌های اضافی را به ماسه دان کارگاه برگردانید.



- ۱ کم یا زیاد بودن میزان رطوبت چه تأثیری بر استحکام فشاری تر ماسه دارد؟
- ۲ ماکزیمم تنش فشاری مربوط به چند درصد رطوبت است؟ چرا؟



پس از بحث و گفت‌وگو در مورد پرسش بالا نتیجه را به همراه پاسخ تحلیلی با گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.



## تعیین استحکام فشاری خشک

**استحکام خشک:** وقتی مذاب فلز به داخل قالب ریخته می‌شود ماسه با فلز داغ تماس حاصل می‌کند و رطوبت موجود در آن به سرعت تبخیر می‌شود و به صورت بخار خارج می‌شود. ماسه خشک باید استحکام کافی برای مقاومت در برابر فرسایش و نیز استحکام کافی در برابر فشار متالواستاتیکی مذاب داشته باشد در غیراین صورت احتمال دارد که قالب اندازه و ابعاد خود را از دست بدهد.

عموماً استحکام فشاری خشک نیز همانند استحکام فشاری تر تحت تنش‌های فشاری بیشتر مورد توجه است و طبق تعریف استحکام فشاری خشک برابر است با حداکثر تنش فشاری بر حسب psi که یک نمونه استاندارد ماسه پس از خشک شدن و پخته شدن می‌تواند تحمل کند و گسیخته نشود. لازم به ذکر است که اصطلاح استحکام خشک هم در مورد ماسه قالب‌گیری که در فرایند قالب‌گیری خشک شده و هم به ماسه قالب که پس از ورود مذاب به داخل آن خشک شده، به کار می‌رود. دستگاه مورد استفاده جهت اندازه‌گیری استحکام در این آزمایش همانند آزمایش استحکام فشاری تر می‌باشد. (شکل ۱۷)



شکل ۱۷

#### وسایل مورد نیاز:

- وسایل آزمایش تعیین استحکام فشاری تر
- خشک‌کن (آون)
- صفحه فلزی صاف
- دسیکاتور

#### دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ روش کار شامل تهیه نمونه و قراردادن آن در دستگاه مانند آزمایش تعیین استحکام فشاری تر است با این تفاوت که نمونه مطابق بند ۲ به‌طور کامل خشک می‌شود.
- ۲ نمونه را روی یک صفحه فلزی صاف قرار داده و در داخل خشک‌کن قرار دهید. و تا دمای بیشتر از ۱۰۵ و کمتر از ۱۱۰ درجه سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک کنید. سپس نمونه را داخل دسیکاتور گذاشته و تا دمای محیط سرد و خنک کنید.

لازم به ذکر است که در آزمایش تعیین استحکام فشاری خشک، سرعت وارده توسط دستگاه به هر نمونه باید بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ psi/min یعنی ۰٫۸۳ تا ۱٫۱ مگا پاسکال بر دقیقه (MPa/min) باشد. در چنین وضعیتی فشار نشان داده شده دستگاه مشخص کننده استحکام فشاری خشک ماسه خواهد بود.

نکته



#### بحث و نتیجه‌گیری

در حالت کلی استحکام فشاری خشک ماسه بین ۲۰ تا ۲۵۰ psi (۰٫۱۴ تا ۱٫۷ MPa) که بستگی به نوع ماسه دارد تغییر می‌کند. در مورد ماسه‌های سخت شده توسط چسب سدیم سیلیکات و گاز CO<sub>۲</sub> این استحکام در شرایط مناسب به ۳۰۰ psi تقریباً به ۲ مگاپاسکال نیز می‌رسد.



### انجام آزمایش استحکام فشاری خشک:

ابتدا در گروه‌های چند نفره تقسیم بندی شده و سپس با رعایت نکات ایمنی از محل قالب‌گیری به میزان لازم نمونه‌برداری کرده و آزمایش را مطابق دستور کار آن انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

#### نکته



قبل از روشن کردن کوره خشک کن از آماده به کار بودن و سالم بودن سیستم ایمنی آن اطمینان حاصل کنید.

#### پرسش



- ۱ چه عواملی می‌تواند در استحکام فشاری خشک ماسه تأثیرگذار باشد.
- ۲ استحکام فشاری در حالت تر بیشتر است یا در حالت خشک؟ چرا؟

#### بحث گروهی



پس از بحث و گفت‌وگو راجع به پرسش بالا نتیجه را به همراه پاسخ تحلیلی همراه با گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.



### بررسی تأثیر میزان چسب بنتونیت بر روی استحکام فشاری خشک

- ۱ پس از تشکیل گروه‌های چهار یا پنج نفره، هر گروه یک نمونه استاندارد تهیه کند. به طوری که درصد چسب نمونه هر گروه با دیگری متفاوت باشد و در مجموع باید نمونه‌ها با ۳، ۵، ۷ و ۹ درصد بنتونیت، با درصد رطوبت ثابت (۶ الی ۸ درصد) توسط دستگاه کوبه استاندارد تهیه شود.
- ۲ سپس نمونه‌های تهیه شده با استفاده از کوره خشک کن در دمای ۱۰۳ درجه سلسیوس به مدت زمان ۲ ساعت خشک شود.

۲ پس از رسیدن دمای نمونه‌ها به دمای محیط، توسط دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه استحکام فشاری خشک نمونه‌ها را تعیین کنید و نتایج را در گزارش کار همراه با تکمیل جدول زیر و رسم نمودار به هنرآموز خود ارائه دهید.

درصد چسب بنتونیت	۳٪	۵٪	۷٪	۹٪
استحکام فشاری خشک (psi)				



## تعیین استحکام کششی تر

استحکام کششی تر برابر است با حداکثر تنش کششی که به یک نمونه ماسه (نمونه کششی تر ماسه‌ای استاندارد) در حالت مرطوب تا مرحله گسیختن وارد می‌شود. این استحکام بر حسب  $\text{psi}$  اندازه‌گیری می‌شود.

نمونه لازم برای استفاده در این آزمایش باید به شکل استوانه باشد. این نمونه با قرار گرفتن ماسه تر داخل یک لوله دو تکه و کوبش توسط کوبه استاندارد تهیه می‌شود.

نکته



### وسایل مورد نیاز:

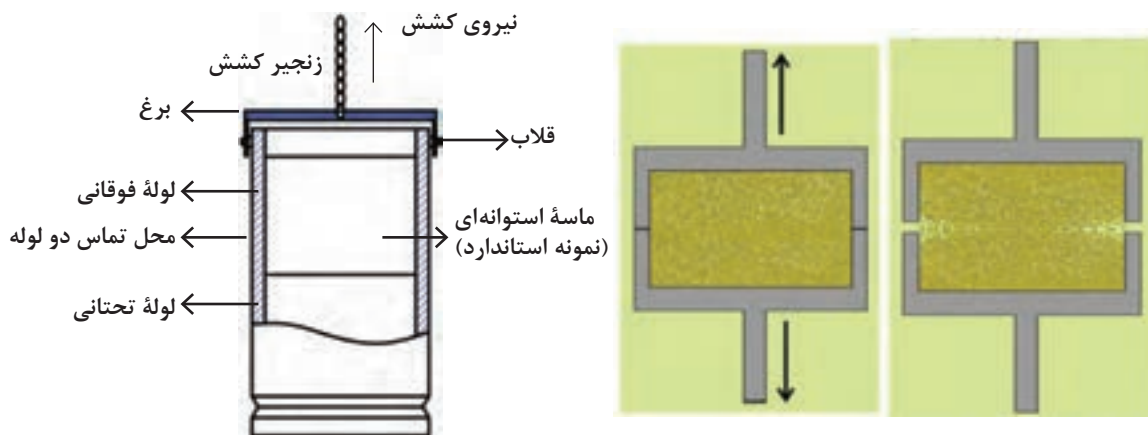
- ترازوی آزمایشگاهی.
- دستگاه کوبه آزمایشگاهی.
- استوانه استاندارد آماده‌سازی نمونه دو تکه.
- دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه.

### دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا مقدار معینی ماسه داخل استوانه استاندارد دو تکه آزمایش استحکام کششی بریزید.
- ۲ استوانه استاندارد دو تکه را پایین کوبه استاندارد در محل خود قرار دهید و دستگیره کوبه را چرخانده و سه ضربه به ماسه وارد کنید.
- ۳ نمونه را همراه با استوانه استاندارد دو تکه مطابق شکل (۱۸) در دستگاه کشش قرار دهید، سپس با چرخاندن اهرم دستگاه یا فشردن کلید دستگاه از طریق دو فک دستگاه نمونه را تحت نیروی کششی قرار دهید تا نمونه از هم گسیخته شود و بشکند. (هنگام شکست و گسیخته شدن نمونه، دو استوانه مذکور در قسمت وسط از هم جدا می‌شوند).
- ۴ میزان تنش اندازه‌گیری شده توسط دستگاه نشان‌دهنده استحکام کششی تر است.

لازم به ذکر است در این آزمایش حداکثر سرعت عمل کشش  $40$  و حداقل  $20$  اونس بر اینچ مربع در هر دقیقه است ( $1.29 \pm 0.43$  نیوتن بر سانتی‌متر مربع  $\text{N/cm}^2$ )

نکته



شکل ۱۸- تعیین استحکام کششی تر ماسه

## نتیجه‌گیری و بحث

استفاده به ما می‌دهد. به‌طور کلی استحکام مخلوط ماسه‌تر برای کشش کم است. بنابراین برای تعیین استحکام کششی مخلوط‌های ماسه که استحکام زیادی دارند از روش تعیین استحکام ماهیچه‌های پخته شده استفاده می‌کنند. استحکام کششی ماسه‌های تر حدود ۱ تا ۶ پوند بر اینچ مربع یا ۶/۹ تا ۴۱/۵ کیلو پاسکال است که بستگی به ترکیب و نوع ماسه دارد.

برای بررسی مقاومت به عیوب انبساطی بررسی استحکام کششی تر بسیار مهم است. عیوب ناشی از انبساط در فصل مشترک فلز / ماسه و بلافاصله پس از ریخته‌گری به‌وجود می‌آید. استحکام قسمتی از ماسه که دارای غلظت آب بیشتر می‌باشد استحکام کششی تر نامیده می‌شود. وجود خاک فعال بیشتر به‌خصوص بنتونیت باعث به‌وجود آمدن استحکام بیشتر لایه‌تر و همچنین افزایش پلاستیسیته بیشتر لایه خشک خواهد شد. استحکام کششی تر همچنین اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد

فعالیت  
کارگاهی ۹

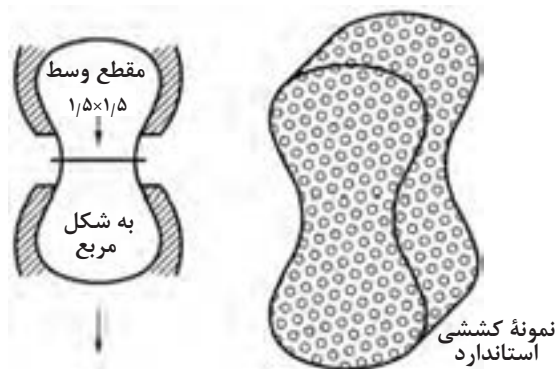


### انجام آزمایش استحکام کششی تر

پس از تشکیل گروه‌های چند نفره با رعایت نکات ایمنی مقداری ماسه از محل قالب‌گیری نمونه‌برداری کرده و آزمایش را مطابق دستور کار انجام آن برای چند نمونه با درصد چسب و رطوبت متفاوت انجام دهید و نتیجه را به‌صورت گزارش کار ارائه دهید.

### تعیین استحکام کششی خشک

استحکام کششی خشک برابر است با حداکثر تنش کششی که یک نمونه استاندارد ماسه خشک می‌تواند بدون گسیختگی تحمل کند. این استحکام بر حسب  $\text{psi}$  اندازه‌گیری می‌شود. چنین نمونه‌ای تحت کوبش لازم قرار می‌گیرد و به شکل استاندارد آماده شده و سپس در داخل کوره خشک‌کن تا دمای معینی خشک می‌شود. جهت تهیه نمونه استاندارد استحکام کششی خشک ماسه از یک جعبه ماهیچه فلزی استفاده می‌شود. در شکل (۱۹) ابعاد استاندارد و نیروهای وارد بر نمونه استحکام کششی خشک ماسه نشان داده شده است.



شکل ۱۹- نمونه استاندارد کششی و نیروهای وارد بر آن



### وسایل مورد نیاز:

- جعبه ماهیچه نمونه فلزی
- خشک‌کن (آون)
- دستگاه کوبه استاندارد
- دستگاه چندکاره (یونیورسال) اندازه‌گیری استحکام ماسه به همراه فک‌های آزمایش کشش.

### دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا مخلوط ماسه با درصد مشخص خاک رس یا چسب مورد نظر را آماده کرده و آن را درون جعبه ماهیچه نمونه فلزی بریزید.
- ۲ سپس با استفاده از دستگاه کوبه استاندارد توسط سه ضربه آن را تحت کوبش قرار دهید تا یک نمونه استاندارد مطابق شکل (۲۰) ایجاد شود.
- ۳ نمونه تهیه شده را از جعبه ماهیچه فلزی خارج کرده روی یک صفحه فلزی صاف گذاشته و در داخل خشک‌کن (آون) قرار دهید و به مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس نگه‌دارید تا نمونه‌ها پخته شوند.

قبل از روشن کردن کوره از سالم و ایمن بودن آن اطمینان حاصل کنید.

نکته



- ۴ صفحه فلزی حاوی نمونه‌ها را توسط انبر از داخل کوره گرم خارج کرده و صبر کنید تا در دمای محیط خنک شود.

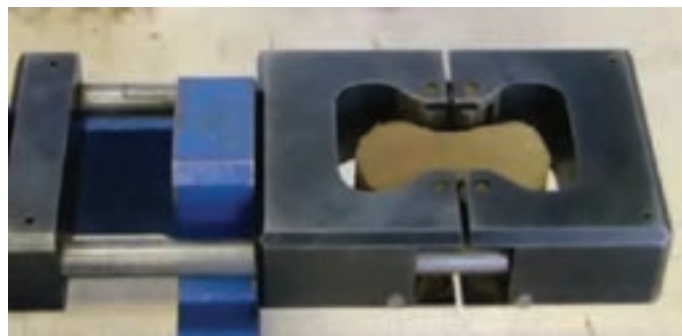
هنگام بیرون آوردن نمونه‌ها از داخل خشک‌کن حتماً از دستکش ایمنی استفاده کنید و صفحه فلزی را توسط انبر از داخل کوره بیرون بیاورید.

نکته ایمنی

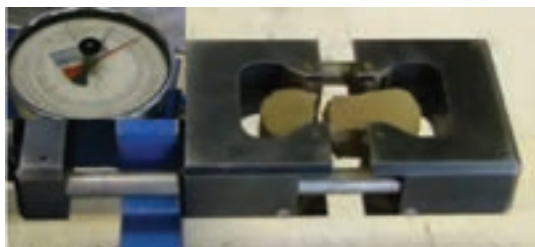


شکل ۲۰

- ۵ فک‌های مربوط به آزمایش استحکام کششی خشک را روی دستگاه ببندید سپس نمونه را مطابق شکل (۲۱) در بین فک‌های دستگاه قرار دهید.



شکل ۲۱



شکل ۲۲

۶ نمونه را مطابق شکل (۲۲) توسط دستگاه تحت تنش کششی قرار دهید تا شکست نمونه اتفاق بیفتد، عدد نشان داده شده توسط دستگاه نشان‌دهنده استحکام کششی خشک ماسه است.

### نتیجه‌گیری و بحث

کلیه عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مخصوصاً میزان خاک رس، بر روی استحکام کششی خشک تأثیر گذار هستند. به طوری که با افزایش میزان درصد خاک رس از ۱۰٪ به ۱۶٪ استحکام کششی خشک آن حدود ۱۱۰٪ افزایش می‌یابد در حالی که استحکام کششی تر حدود ۱۶٪ افزایش خواهد داشت.

#### انجام آزمایش استحکام کششی خشک

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره با رعایت نکات ایمنی از مخلوط ماسه مورد استفاده در کارگاه ریخته‌گری نمونه‌برداری کرده و سپس آزمایش را مطابق دستور کار آن انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۰



بحث‌گروهی



به نظر شما چه عواملی می‌تواند روی استحکام کششی خشک تأثیر گذار باشد؟ بحث و گفت‌وگو کنید.

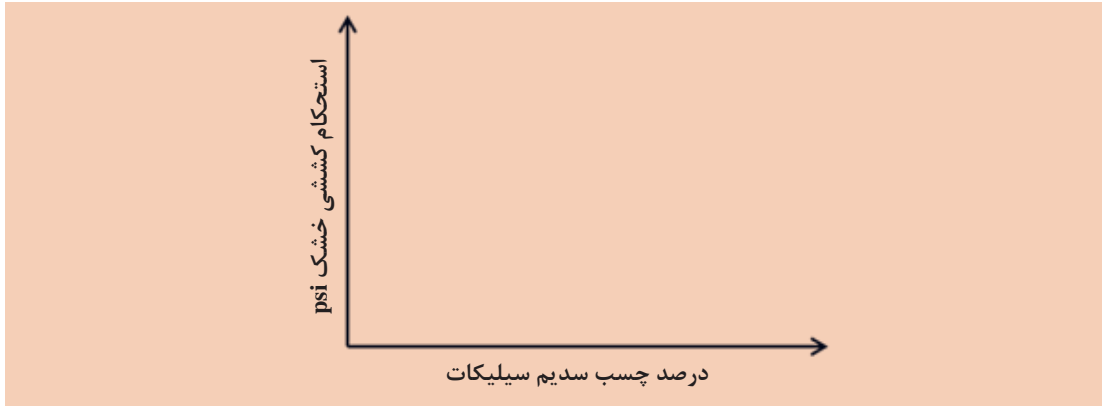
#### بررسی تأثیر میزان چسب سدیم سیلیکات و عدد ریزی ماسه بر روی استحکام کششی خشک

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره، نمونه‌های استاندارد تست کششی با ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵، ۵/۵ و ۶/۵ درصد چسب سدیم سیلیکات، با دو نوع ماسه ریز و درشت دانه توسط دستگاه کوبه استاندارد تهیه کنید (هر گروه دو نمونه با درصد چسب مشخص برای دو نوع ماسه ریز و درشت)، سپس نمونه‌های تهیه شده را به مدت زمان ۲۰ الی ۲۵ ثانیه تحت دمش گاز CO<sub>2</sub> قرار دهید تا سخت شوند. سپس توسط دستگاه چندکاره (یونیورسال) اندازه‌گیری استحکام ماسه استحکام کششی خشک نمونه‌ها را تعیین کنید و نتایج را در جدول ثبت و نمودار را رسم کنید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۱

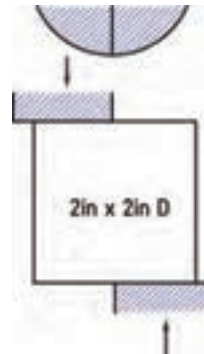


درصد چسب نوع ماسه				
۶/۵	۵/۵	۴/۵	۳/۵	۲/۵
				استحکام کششی psi (ریزدانه)
				استحکام کششی psi (درشت‌دانه)



### تعیین استحکام برشی ماسه

استحکام برشی ماسه عبارت است از حداکثر تنش برشی که یک نمونه استاندارد می‌تواند تا مرحله برش و گسیختگی تحمل کند. آزمایش استحکام برشی به دو صورت تر و خشک انجام می‌شود. لازم به توضیح است که نمونه استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ و فک‌های مورد استفاده در این آزمایش تخت و صاف نیست بلکه بر روی هر یک از فک‌ها یک پله وجود دارد همانند شکل (۲۳).



شکل ۲۳

### وسایل مورد نیاز:

- دستگاه استاندارد آماده‌سازی نمونه
- دستگاه یونیورسال اندازه‌گیری استحکام ماسه
- خشک‌کن (آون)
- دستگاه کوبه آزمایشگاهی
- صفحه فلزی صاف
- دسیکاتور

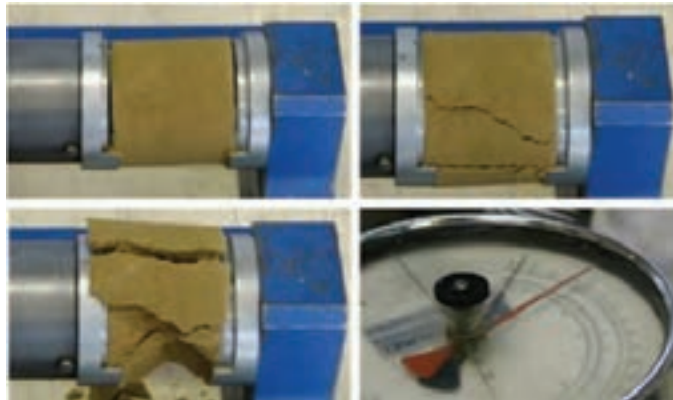
### دستور کار انجام آزمایش

#### الف) استحکام برشی تر:

- ۱ ابتدا نمونه استاندارد استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط دستگاه کوبه استاندارد تهیه کنید.
- ۲ فک‌های مربوط به استحکام برشی را روی دستگاه اندازه‌گیری ماسه ببندید.
- ۳ پس از بستن فک‌ها، نمونه استاندارد تهیه شده را مطابق شکل (۲۴) در بین دو فک دستگاه قرار داده و به آن نیرو وارد کرده تا شکست و گسیختگی در نمونه اتفاق بیفتد. عدد نشان داده شده در دستگاه نشان دهنده استحکام برشی تر ماسه است.



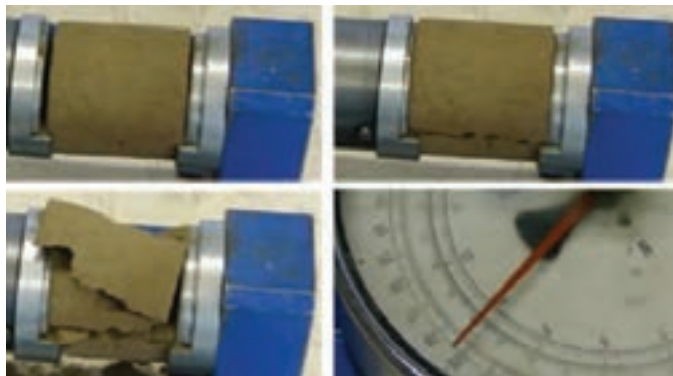
توجه داشته باشید که سرعت عمل نیروی برش توسط دستگاه باید بین ۱۹ تا ۲۹ psi در دقیقه باشد.



شکل ۲۴

### ب) استحکام برشی خشک:

- ۱ ابتدا پس از آماده کردن نمونه استاندارد آن را روی یک صفحه فلزی صاف گذاشته و در داخل خشک کن قرار داده و به مدت ۲ ساعت در درجه حرارت ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه سلسیوس خشک کنید.
- ۲ نمونه خشک شده را در داخل یک دسیکاتور قرار دهید تا در دمای محیط خنک شود.
- ۳ نمونه را مطابق شکل (۲۵) بین دو فک دستگاه قرار داده و تا مرحله شکست و گسیخته شدن به نمونه نیرو وارد کنید. عدد نشان داده شده در دستگاه نشان دهنده استحکام برشی خشک ماسه است.



شکل ۲۵

### نتیجه گیری و بحث

به طور کلی اکثر عوامل تاثیرگذار بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری مانند اندازه ذرات ماسه، میزان خاک رس و رطوبت ... بر استحکام برشی تر و خشک نیز تأثیر گذار هستند. لازم به ذکر است که استحکام برشی تر ماسه در حدود ۱/۵ تا ۷ psi است. همچنین نسبت استحکام برشی خشک به استحکام فشاری خشک کمیته است که در تهیه و آماده سازی ماسه ریخته گری از اهمیت ویژه ای برخوردار است، به طوری که اگر این نسبت از حد معینی کمتر باشد نشان دهنده آماده نبودن و به عمل نیامدن ماسه است و اگر بیش از حد معین باشد، نشانگر بالا بودن درصد مواد افزودنی به ماسه است.



### تعیین استحکام برشی تر و خشک

هرگروه با رعایت نکات ایمنی از مخلوط ماسه مورد استفاده در کارگاه ریخته‌گری نمونه‌برداری کرده و سپس آزمایش را مطابق دستور کار آن انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

چه عواملی می‌تواند بر روی استحکام برشی تر و خشک ماسه تأثیرگذار باشد؟ بحث و گفتگو کنید.

### تعیین استحکام قالب

استحکام قالب عبارت است از میزان فشاری که سطوح قالب بدون تخریب می‌تواند تحمل کند. یا به عبارتی میزان باری که سطح یک قالب به هنگام اعمال بار ناشی از یک نفوذ سنج فنری می‌تواند تحمل کند. وسیله‌ای که برای اندازه‌گیری استحکام قالب به کار می‌رود در شکل (۲۶) نشان داده شده است. واحد اندازه‌گیری استحکام در این وسیله بر حسب PSI می‌باشد. به کمک این وسیله می‌توان یکنواختی، فشردگی و استحکام قالب را در نقاط، سطوح و دیواره‌های قالب کنترل کرد.



شکل ۲۶- دو نوع استحکام‌سنج (الف) دیجیتالی و (ب) عقربه‌ای

دانه‌بندی ماسه (اندازه ذرات)

شکل و توزیع ذرات ماسه (وضعیت ذرات)

میزان خاک رس (میزان چسب ماسه)

میزان رطوبت

میزان فشردگی با کوبش ماسه

عوامل مؤثر بر استحکام قالب

### وسایل مورد نیاز:

- وسایل مورد نیاز قالب‌گیری
- وسیله اندازه‌گیری استحکام قالب

## دستور کار آزمایش:

- ۱ ابتدا یک مدل یک تکه انتخاب کرده سپس با رعایت کلیه اصول کار و استاندارد مربوطه آن را قالب گیری کنید.
- ۲ وسیله اندازه گیری استحکام قالب را به طور عمودی روی سطح قالب قرار دهید.
- ۳ پس از اطمینان از تماس صحیح فرورونده با سطح قالب، بار را توسط استحکام سنج اعمال کرده و استحکام قالب را بسنجید و مقدار آن را از روی صفحه مدرج یا نمایشگر دیجیتالی بخوانید.

توجه داشته باشید که برای اطمینان از یکنواختی، استحکام و فشردگی قالب در نقاط، سطوح و دیواره‌های آن این آزمایش را بر روی قسمت‌های مختلف قالب انجام دهید. شکل (۲۷) نحوه اندازه گیری استحکام قالب، با استحکام سنج عقربه‌ای و دیجیتالی را نشان می‌دهد.

نکته



شکل ۲۷- نحوه اندازه گیری استحکام قالب با استحکام سنج عقربه‌ای و دیجیتالی

## نتیجه گیری و بحث

افزایش مقدار کوبش و در نتیجه بالا رفتن میزان فشردگی مخلوط ماسه، باعث افزایش استحکام می‌شود. اگر میزان فشردگی ثابت باشد، افزایش مقدار خاک رس باعث بالا رفتن استحکام خواهد شد. استحکام فشاری تر و خشک یک قالب بستگی به شرایط قالب گیری از جمله میزان کوبش و مقدار رطوبت دارد همچنین با افزایش میزان کوبش، استحکام فشاری تر و خشک قالب افزایش می‌یابد و با افزایش درصد رطوبت میزان استحکام فشاری خشک قالب بالا رفته ولی استحکام فشاری تر کاهش می‌یابد.

به طور کلی نتایج حاصل از این آزمایش برای تعیین استحکام و یکنواختی سطوح قالب به کار می‌رود که نقش مهمی در سالم بودن قطعات ریختگی دارد.

## آزمایش استحکام قالب

پس از تشکیل چهار گروه ۴ عدد مدل یک تکه را با ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد چسب بنتونیت (هر گروه یک قالب با درصد چسب مشخص) با میزان رطوبت یکسان ۶ تا ۸ درصد با شرایط یکسان قالب گیری کرده و آزمایش را به صورت زیر انجام دهید:

- ۱ استحکام سطوح، نقاط و دیواره‌های قالب‌های تهیه شده را در حالت تر مطابق روش ذکر شده در دستور کار آزمایش توسط استحکام سنج قالب اندازه گیری کرده و یادداشت کنید.

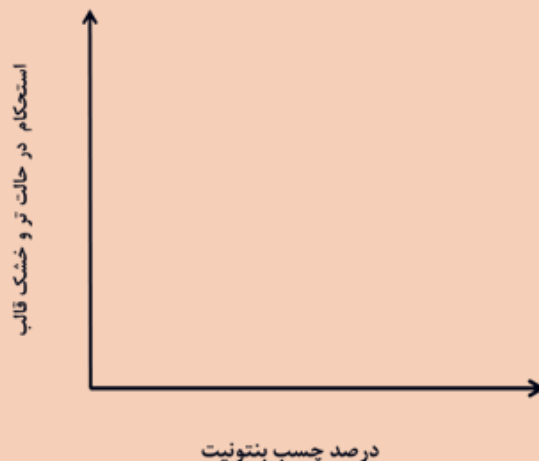
فعالیت  
کارگاهی ۱۳



۲ سطح قالب‌های تر را توسط مشعل تا عمق معینی (۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر) خشک کنید. سپس با استفاده از استحکام سنج قالب، استحکام سطوح مختلف و دیواره‌های قالب را توسط استحکام سنج قالب اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.

۲ نتایج به دست آمده از استحکام قالب‌ها در هر دو حالت تر و خشک را در جدول ثبت و نمودار زیر را رسم کنید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

درصد چسب بنتونیت	۲/۵	۵	۷/۵	۱۰
استحکام قالب تر بر حسب psi				
استحکام قالب خشک بر حسب psi				



قبل از انجام آزمایش از کالیبره بودن دستگاه استحکام‌سنج قالب اطمینان حاصل کنید.

قالب‌ها را با رعایت نکات ایمنی خشک کرده و در حین خشک کردن از دستکش ایمنی استفاده کنید و همچنین از سالم و ایمن بودن مشعل اطمینان حاصل کنید.

پس از اتمام آزمایش محیط آزمایشگاه را تمیز کرده و قالب‌ها را در ماسه دان تخلیه کنید و از پراکنده شدن ماسه در محیط کارگاهی خودداری شود.

در مورد عوامل تأثیرگذار بر استحکام قالب بحث و گفتگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

نکته



نکته ایمنی



نکته زیست محیطی

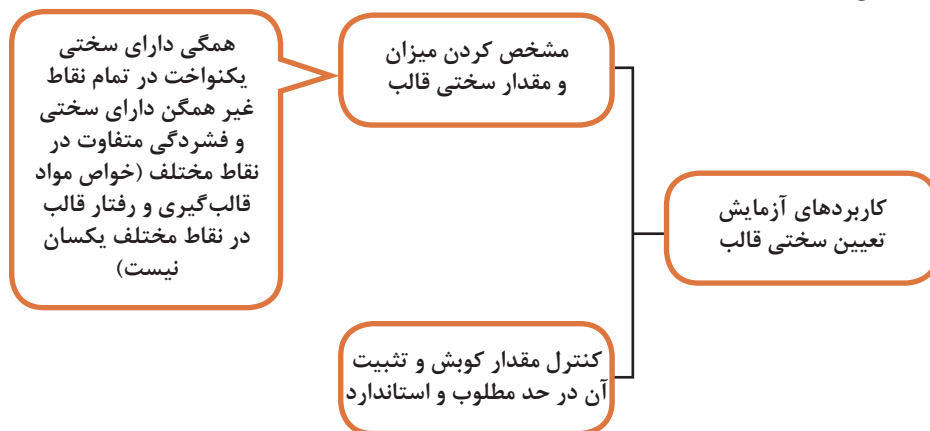


بحث گروهی



## تعیین سختی قالب

سختی سطح یک قالب (در حالت تر و خشک) به کمک این آزمایش تعیین می‌شود. این مشخصه با دستگاه سختی سنج قالب اندازه‌گیری و تعیین می‌شود. طبق تعریف سختی سطح قالب در واقع عبارت است از مقاومت سطح قالب در برابر نفوذ یک فرورونده فولادی (ساجمه یا تیغه کاردی) قابل تحرک و هر قدر مقاومت این سطح در برابر نفوذ قسمت فرورونده بیشتر باشد سختی آن بیشتر است. در نمودار شکل (۲۸) کاربردهای آزمایش تعیین سختی قالب نشان داده شده است.



شکل ۲۸

سختی سنجی قالب‌های ماسه‌ای بسته به نوع قالب، از سختی سنج‌های مختلفی استفاده می‌شود که در دو نوع عقربه‌ای و دیجیتالی هستند که در نمودار شکل (۲۹) انواع این سختی سنج‌ها نشان داده شده است.



شکل ۲۹- انواع سختی سنج‌های قالب

مقیاس سختی سنج‌های قالب به صورتی است که هر یک واحد آن معادل یک هزارم اینچ فرورفتگی و هر یک واحد یا یک هزارم اینچ فرورفتگی معادل یک واحد سختی قالب است. این مقیاس در محدوده صفر تا ۱۰۰ مدرج شده است که هر واحد معادل یک واحد سختی برای قالب است.



لازم به ذکر است که برای تعیین سختی سطح قالب‌های ماسه‌ای تر عموماً دو نوع وسیله سختی‌سنجی به کار می‌رود که مشخصات آنها به شرح زیر است:



سختی‌سنج مقیاس (B)

#### سختی‌سنجی براساس مقیاس (B)

- مقیاس مدرج (محدوده سختی) از صفر تا ۱۰۰
- فرورونده گلوله فولادی به قطر ۷/۱۲ میلی‌متر (۵/۰)
- حداکثر بار نهایی اعمال شده به فرورونده معادل ۹۸۰ گرم است.

در این مقیاس سختی‌سنجی اگر قالب هیچگونه مقاومتی در برابر نفوذ نداشته باشد، عدد صفر بر روی مقیاس ظاهر می‌شود و در صورتی که قالب مقاومت کامل در برابر نفوذ داشته باشد، عدد ۱۰۰ از روی مقیاس مدرج خوانده می‌شود.



سختی‌سنج مقیاس (C)

#### سختی‌سنجی براساس مقیاس (C)

- مقیاس مدرج (محدوده سختی) از ۶۵ تا ۱۰۰
- فرورونده مخروطی شکل فولادی.
- حداکثر بار نهایی اعمال شده به فرورونده معادل ۱۵۰۰ گرم می‌باشد.

● این وسیله برای سختی‌سنجی دقیق قالب‌هایی که به روش قالب‌گیری تحت فشار بالا آماده شده‌اند به کار می‌رود. در حقیقت سختی‌سنجی با این مقیاس برای آزمایش قالب‌های ماسه‌ای تر که سختی بالای ۸۵ دارند مناسب است.

## وسایل مورد نیاز:

- وسایل مورد نیاز قالب گیری
- سختی سنج قالب

## دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا یک مدل یک تکه انتخاب کرده سپس با رعایت کلیه اصول، آن را قالب گیری کنید.
- ۲ سپس فرورونده سختی سنج قالب را با زاویه ۹۰ درجه با سطح قالب تماس بدهید. در این شرایط هیچ گونه باری به فرورونده اعمال نکنید.
- ۳ پس از اطمینان از تماس صحیح فرورونده با سطح ماسه بار را به آرامی اعمال کرده و مقدار عمق نفوذ فرورونده را از روی مقیاس مدرج وسیله سختی سنج بخوانید.

اگر سختی سنجی نمونه آزمایشگاهی یا نمونه‌ای که از قالب مورد نظر تهیه شده است مدنظر باشد لازم است عملیات به سرعت پس از آماده شدن نمونه انجام شود.

نکته



شکل ۳۰ نحوه انجام آزمایش تعیین سختی سطح قالب را نشان می‌دهد.



شکل ۳۰- نحوه سختی سنجی سطح قالب

## نتیجه گیری و بحث

بسیاری از خصوصیات مخلوط‌های ماسه قالب گیری با یکدیگر ارتباط دارند. به عنوان مثال افزایش برخی از خواص باعث کاهش خاصیت دیگر می‌شود و یا افزایش برخی از خصوصیات باعث افزایش خاصیت دیگر می‌شود به عنوان مثال استحکام فشاری تر که مخلوط قالبگیری با مقدار سختی آن رابطه مستقیم دارد. هر قدر سختی مخلوط ماسه قالبگیری بیشتر شود استحکام آن نیز افزایش می‌یابد و بالعکس.



### انجام آزمایش تعیین سختی سطح قالب

هر گروه به مقدار مورد نیاز مخلوط ماسه قالب‌گیری با شرایط مطلوب (۵ تا ۶ درصد چسب بنتونیت و ۶ تا ۸ درصد رطوبت) آماده کرده و پس از قالب‌گیری مدل یک تکه یکسان میزان سختی قسمت‌های مختلف قالب را اندازه‌گیری کرده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

#### نکته



قبل از استفاده از سختی سنج قالب از کالیبره بودن آن اطمینان حاصل کنید و پس از اتمام آزمایش آن را در جعبه مخصوص خود گذاشته و از ضربه زدن به آن خودداری کنید.

#### بحث گروهی



در مورد عوامل تأثیرگذار بر روی سختی قالب بحث و گفتگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## تعیین خردشوندگی مخلوط ماسه تر

برای اندازه‌گیری و تعیین خردشوندگی مخلوط ماسه تر از آزمایش ضریب خردشوندگی (اندیس شاتر) استفاده می‌شود. این آزمایش معیاری از استحکام ماسه است به طوری که این استحکام با ضریب خردشوندگی ماسه ارتباط مستقیم دارد. با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان قابلیت شکل‌پذیری ماسه را اندازه‌گیری و تعیین کرد.

### وسایل مورد نیاز:

- دستگاه کوبه آزمایشگاهی
- ترازوی دیجیتالی دقیق
- دستگاه اندازه‌گیری ضریب خردشوندگی ماسه

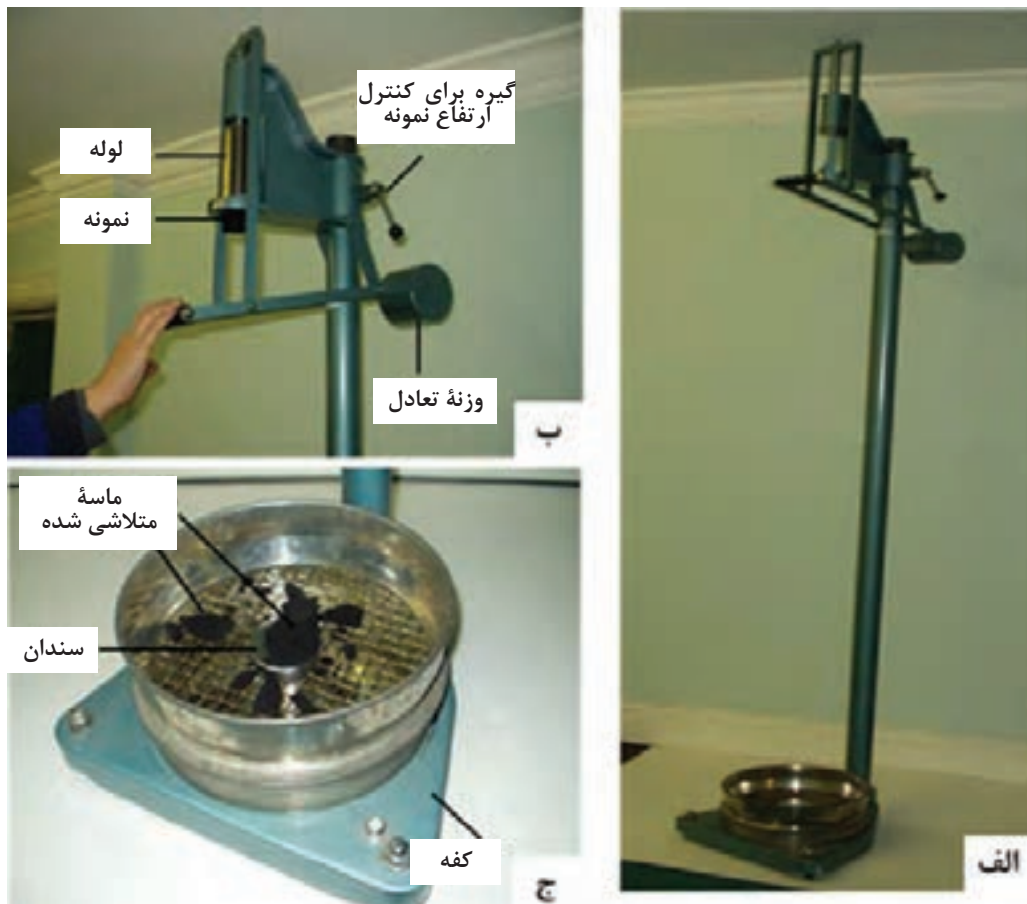
### دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا نمونه استوانه‌ای استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط کوبه آزمایشگاهی مطابق با دستورالعمل ساخت نمونه تهیه کرده و آن را وزن کنید.
- ۲ سپس نمونه را از ارتفاع معین و ثابت ۶ فوت (۱۸۲/۹ cm) بدون سرعت اولیه روی یک الک استاندارد با مش (۵/۰ اینچ)، که بر روی پایه دستگاهی مطابق شکل (۳۱) قرار گرفته است رها کنید تا نمونه متلاشی شود.
- ۳ میزان ماسه عبور کرده از الک را توزین کنید و از وزن کل نمونه کم کنید و با استفاده از رابطه زیر ضریب خردشوندگی (اندیس شاتر) را بدست آورید.

$$Sh_1 = \frac{\text{وزن ماسه باقی مانده روی الک}}{\text{وزن نمونه استاندارد}} \times 100$$

(ضریب خردشوندگی)

شکل (۳۱) مراحل مختلف انجام آزمایش تعیین ضریب خردشوندگی ماسه را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱- مراحل مختلف آزمایش تعیین ضریب خردشوندگی ماسه

نکات مهمی که در انجام آزمایش ضریب خردشوندگی بایستی رعایت شود:

- نمونه استاندارد قبل از آزمایش از لوله خارج نشود.
- خروج نمونه استاندارد و سقوط آن باید طوری صورت گیرد که نمونه روی سندان فرود آید.
- دستگاه باید کاملاً ثابت و محکم شده باشد.
- میله استوانه‌ای دستگاه که برای خارج کردن نمونه استاندارد به کار گرفته می‌شود باید تمیز و خشک باشد.
- مراکز میله استوانه‌ای باید همواره روی یک خط قرار داشته باشد.

### نتیجه‌گیری و بحث

چقرمگی و ضریب خرد شوندگی یک مخلوط ماسه تر می‌تواند متأثر از عواملی مانند میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه باشد. به‌طور کلی ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) در بدترین حالت صفر و در بهترین و ایدئال‌ترین حالت ۱۰۰ درصد است. دامنه خردشوندگی (اندیس شاتر) ماسه‌های قالب‌گیری در ریخته‌گری معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است.

همچنین به کمک ضریب خرد شونده‌گی یا اندیس شاتر می‌توان کمیت دیگری به نام اندیس شکل‌پذیری را نیز به دست آورد، این اندیس نیز بر حسب درصد می‌باشد و رابطه آن به صورت زیر است:

$$D_i = \frac{sh_i}{\sigma_c} \quad (\text{اندیس شکل‌پذیری})$$

که در این رابطه  $D_i$  اندیس شکل‌پذیری،  $Sh_i$  اندیس شاتر و  $\sigma_c$  استحکام فشاری تر بر حسب (psi)، می‌باشد. مثال زیر نحوه محاسبه اندیس شکل‌پذیری ماسه را نشان می‌دهد:

در یک آزمایش استحکام فشاری تر برای یک ماسه قالب‌گیری، ماکزیمم تنش فشاری نمونه استاندارد برابر ۱۸ psi (۱۲۰ مگاپاسکال) است. اگر اندیس شاتر این ماسه ۸۴٪ باشد مطلوب است محاسبه و تعیین اندیس شکل‌پذیری آن:

**حل:** ماکزیمم تنش فشاری نمونه در واقع همان استحکام فشاری است که برابر با ۱۸ psi است. از طرفی اندیس شاتر این ماسه ۸۴ درصد است بنابراین می‌توان نوشت:

$$D_i = \frac{sh_i}{\sigma_c} = \frac{\%84}{18} = \%4.67$$

اهمیت اندیس شکل‌پذیری ماسه، بیشتر برای بلند کردن درجه‌های محتوی ماسه است. چنانچه این اندیس کم باشد، ماسه داخل درجه‌ها هنگام حمل و نقل ریزش می‌کند. درحالی‌که اگر این اندیس بیش از حد باشد مشکلاتی نظیر ترک خوردن قالب، عدم خروج گازها، عدم سهولت تخلیه ماسه از درجه‌ها و غیره پیش می‌آید.

### انجام آزمایش تعیین ضریب خرد شونده‌گی و اندیس شکل‌پذیری مخلوط ماسه تر

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره با رعایت نکات ایمنی از محل قالب‌گیری به‌میزان لازم نمونه‌برداری کرده و آزمایش را به صورت زیر انجام دهید:

- ۱ هر گروه ۲ عدد نمونه استاندارد استوانه‌ای شکل را مطابق با دستورالعمل ساخت آن توسط دستگاه کوبه آزمایشگاهی تهیه کند. (یک نمونه برای تعیین ضریب خرد شونده‌گی و یک نمونه برای تعیین استحکام فشاری تر)
- ۲ یکی از نمونه‌ها را در داخل لوله دستگاه تعیین ضریب خرد شونده‌گی ماسه قرار داده و مطابق با دستورالعمل گفته شده در دستور کار آزمایش ضریب خرد شونده‌گی یا اندیس شاتر آن را به دست آورد.
- ۳ با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه استحکام فشاری نمونه دیگر را تعیین کنید.
- ۴ با توجه به نتایج بدست آمده از هر دو آزمایش فوق و با استفاده از روابط موجود، ضریب خرد شونده‌گی (اندیس شاتر) و اندیس شکل‌پذیری را بدست آورده و در گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۵



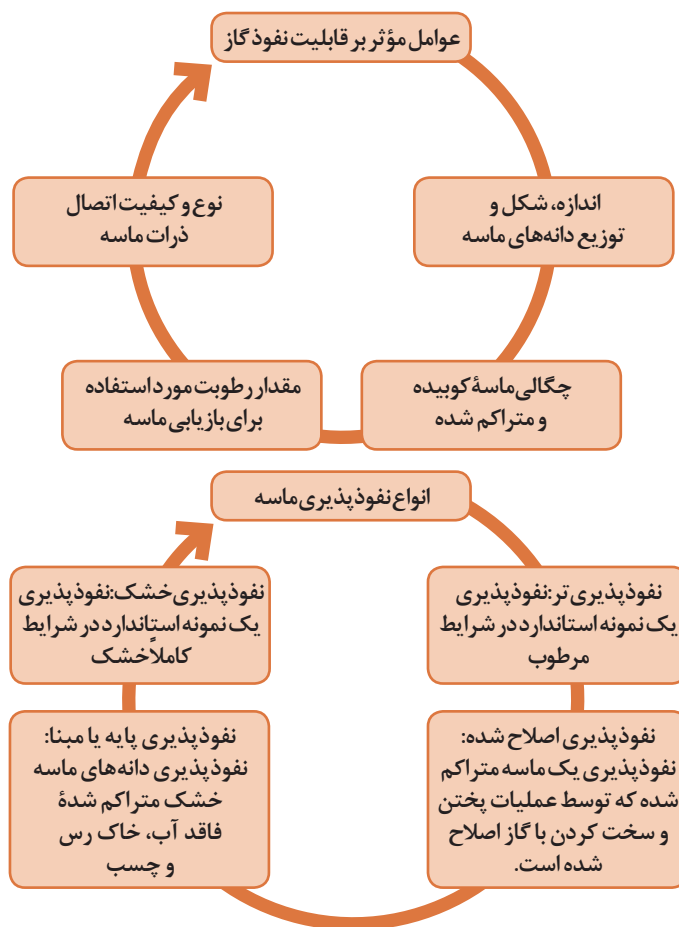
بحث گروهی



چه عواملی می‌تواند بر روی ضریب خرد شونده‌گی و اندیس شکل‌پذیری ماسه تأثیرگذار باشد؟ در مورد هر کدام از آنها بحث و گفت‌وگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## اندازه گیری قابلیت نفوذ گاز

نفوذپذیری میزان عبور گازها از میان فضای متخلخل ماسه قالب گیری است. مقدار هوا کشی و عبور گاز یک قالب ماسه‌ای به این کیفیت بستگی دارد. قابلیت نفوذ پذیری AFS از طریق تعیین سرعت جریان هوا تحت یک فشار استاندارد از میان یک نمونه استاندارد اندازه گیری می‌شود. یکی از عوامل مهم در تولید قطعات ریختگی سالم قابلیت نفوذ گاز ماسه یا نفوذپذیری ماسه است. بنابراین کنترل و تعیین قابلیت نفوذ گاز می‌تواند نتایج بسیار مفیدی برای کیفیت قطعات ریختگی داشته باشد.



به‌طور کلی برای تعیین قابلیت نفوذ گاز، معمولاً سرعت خروج هوا از یک نمونه ماسه‌ای را برحسب سانتی‌متر مکعب در دقیقه در زمان معین و تحت فشار ثابت اندازه‌گیری می‌کنند. این سرعت در واقع می‌تواند مشخص‌کننده توانایی خروج گاز از ماسه باشد.

در روش آزمایش استاندارد، حجم هوایی (بر حسب CC) که در مدت یک دقیقه با فشار یک گرم نیرو بر سانتی‌متر مربع (۱۰ سی سی آب) از درون یک نمونه ماسه‌ای به ارتفاع یک سانتی‌متر و سطح مقطع یک سانتی‌متر مربع عبور می‌کند را اندازه‌گیری می‌کنند.

بنابراین اگر حجم هوای عبوری  $V$ ، ارتفاع نمونه ماسه‌ای (استوانه استاندارد)  $H$ ، سطح مقطع نمونه  $A$

فشار وارد بر هوای عبوری  $P$  و مدت زمان عبور هوا  $T$  (دقیقه) باشد، در این صورت قابلیت نفوذ گاز در این ماسه ( $K$ )، با  $H$  و  $V$  نسبت مستقیم، ولی با  $P$ ،  $A$  و  $T$  نسبت معکوس دارد. به عبارت ریاضی می‌توان نوشت:

$$K = \frac{V.H}{P.A.T}$$

در استاندارد جامعه ریخته‌گران آمریکا (AFS) با در نظر گرفتن مقادیر استاندارد، می‌توان رابطه اخیر را به صورت زیر ساده کرد: چون قطر و ارتفاع استوانه استاندارد نمونه برابر ۲ اینچ است بنابراین خواهیم داشت:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times (2 \times 2.54)^2}{4} = 20.68 \text{ cm}^2 \quad \text{سطح مقطع استوانه نمونه}$$

$$H = 2 \times 2.54 = 5.08 \text{ cm} \quad \text{ارتفاع استوانه نمونه}$$

از طرفی مطابق استاندارد مذکور (AFS)  $V$  برابر است با ۱۲۲ اینچ مکعب و فشار هوای عبوری نیز برابر:

$$P = 10 \text{ cmHgO}$$

و زمان عبور هوا بر حسب ثانیه است به این ترتیب می‌توان نوشت:

$$V = 122 \text{ in}^3 = 122 \times (2.54)^3 = 1999.22 \text{ cm}^3 = 2000 \text{ cm}^3 (2 \text{ lit}) \quad \text{حجم هوای عبوری از ماسه}$$

اگر  $T$  بر حسب دقیقه منظور شود مقدار  $K$  (قابلیت نفوذ گاز ماسه) چنین است:

$$K = \frac{V.H}{P.A.T} = \frac{2000 \times 5.08}{10 \times 20.68 \times T} \times \frac{1}{T} = \frac{50.12}{T} \quad \text{حجم هوای عبوری از ماسه}$$

چنانچه  $T$  بر حسب ثانیه بیان شود رابطه  $K$  چنین است:

$$K = \frac{50.12}{T} \times 60 = K = \frac{3007.2}{T}$$



شکل ۳۲- دستگاه تعیین نفوذ گاز ماسه

همان‌طور که ملاحظه می‌شود قابلیت نفوذ گاز تابعی است از زمان  $T$ ، بنابراین در دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز صفحه اندازه‌گیری بر حسب معکوس زمان  $T$  در مقدار ثابت  $3007.2$  (مطابق استاندارد AFS) مدرج شده است. بنابراین پس از قرار دادن نمونه استاندارد در دستگاه قابلیت نفوذ گاز، زمان لازم و عدد قابلیت نفوذ گاز در ماسه به صورت خودکار روی دستگاه خوانده می‌شود.

یادآوری می‌شود که هرچه زمان  $T$  کمتر باشد، به این مفهوم است که حجم گاز عبوری در شرایط استاندارد آزمایش بیشتر است، به عبارت دیگر قابلیت نفوذ گاز از ماسه بیشتر است. در شکل ۳۲ نمونه‌ای از دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه نشان داده شده است.



شکل ۳۳- مراحل انجام آزمایش قابلیت نفوذ گاز

### وسایل مورد نیاز:

- دستگاه کوبه استاندارد.
- دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه مجهز به استوانه استاندارد آماده سازی نمونه

### دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا نمونه استوانه‌ای استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط کوبه آزمایشگاهی مطابق با دستورالعمل ساخت نمونه تهیه کنید.
  - ۲ نمونه تهیه شده را به همراه استوانه استاندارد در محل مربوطه روی دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز قرار دهید.
  - ۳ دستگاه را مطابق دستورالعمل سازنده آن روشن کنید، پس از مدتی زمان و عدد قابلیت نفوذ گاز را از روی دستگاه بخوانید.
- شکل ۳۳ مراحل انجام آزمایش تعیین قابلیت نفوذ گاز ماسه را نشان می‌دهد.

### نتیجه‌گیری و بحث

ماسه‌هایی که دانه‌های درشت‌تری دارند، فضای خالی مابین ذرات آنها بیشتر است و نفوذپذیری آنها از ماسه‌هایی با دانه‌های ریز بیشتر خواهد بود. گذشته از اندازه متوسط دانه‌ها، توزیع اندازه دانه‌ها نیز اثر قطعی بر نفوذپذیری دارد. هر قدر اندازه دانه‌ها کمتر باشد و یا به عبارت دیگر عدد ریزی ماسه بیشتر باشد، فضای خالی مابین دانه‌ها کاهش پیدا می‌کند و نفوذپذیری و قابلیت عبور گاز کمتر می‌شود. نفوذپذیری قالب گذشته از عوامل دیگر به میزان متراکم سازی یا فشردگی بستگی دارد. اگرچه افزایش فشردگی قالب مقدار استحکام فشاری و سختی آن را بالا می‌برد ولی قابلیت عبور گاز و نفوذپذیری کاهش پیدا می‌کند.

### انجام آزمایش قابلیت نفوذ گاز

پس از تشکیل گروه‌های چند نفری، آزمایش را مطابق دستور کار آن برای چند نمونه با عدد ریزی و درصد چسب متفاوت انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارایه دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۶



بحث‌گروهی



- ۱ عوامل تأثیرگذار بر روی قابلیت نفوذ گاز را نام برده و در مورد هر کدام بحث و گفتگو کنید.
- ۲ به نظر شما پایین بودن میزان قابلیت نفوذ گاز ماسه ممکن است باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریختگی شود؟ بحث و گفتگو کنید.



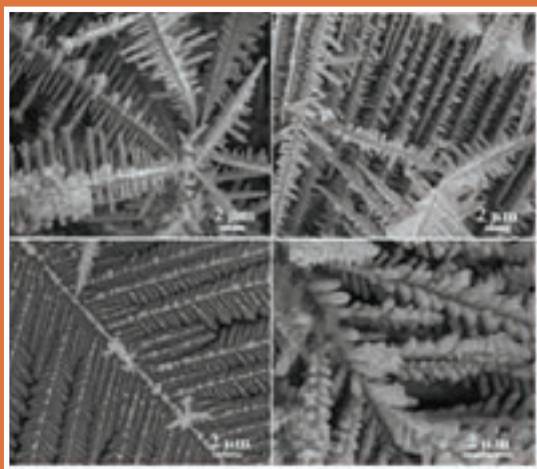
## ارزشیابی پایانی

<p><b>نقشه کار: انجام آزمایش‌های ماسه</b>  <b>شاخص عملکرد:</b> ۱- تهیه نمونه ۲- تعیین خواص ماسه</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b>                  ۱- انجام کار در محیط آزمایشگاه ماسه ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>3^{\circ} \pm 20^{\circ}C</math> ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۲۰ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> تتراسدیم تری فسفات - سود - آب مقطر - ماسه</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b>                  دستگاه رطوبت سنج - دستگاه استحکام ماسه تر و خشک - دستگاه تعیین عبور گاز - دستگاه تعیین فشردگی - دستگاه زمان سنج - دستگاه تعیین دانه بندی - ترازوی دیجیتال - کوبه - بشر - لوله آزمایشگاهی - خشک کن - زمان سنج - قالب‌های نمونه ظروف حمل ماسه - همزن - دستگاه تعیین درصد خاک - لوله تخلیه آب (سیفون) - پوآر - استوانه مدرج</p>			
<p><b>نمونه و نقشه کار:</b>                  ۱- نمونه برداری مناسب از ماسه به مقدار موردنیاز و از محل مناسب و آماده کردن آنها جهت آزمایش‌های ماسه                  ۲- کار با دستگاه‌های تعیین استحکام و فشردگی و رطوبت، انجام دادن صحیح آزمایش و ثبت نتایج</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	نمونه برداری	۱	
۲	تعیین استحکام و فشردگی	۲	
۳	تعیین درصد رطوبت	۲	
۴	تعیین دانه بندی ماسه	۱	
۵	تعیین قابلیت عبور گاز	۲	
۶	تعیین درصد خاک ماسه	۱	
<p><b>شایستگی‌های 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 و کفش ایمنی و عینک محافظ                  ۵- تمیز کردن وسایل محیط کار</p>			
			*
<p><b>میانگین نمرات</b></p>			
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.</p>			



## پودمان دوم

### آزمایش‌های متالوگرافی



## واحد یادگیری: آزمایش‌های متالوگرافی

شناسایی و بررسی ساختارهای درونی فلزات و آلیاژهای مختلف لازم و ضروری به نظر می‌رسد. در این واحد یادگیری ما با انواع روش‌های مختلف مطالعه و بررسی ساختار فلزات و آلیاژها، روش مطالعه میکروسکوپی و میکروسکوپی، تهیه نمونه متالوگرافی<sup>۱</sup>، انواع محلول‌های اچ<sup>۲</sup> و روش آماده کردن آنها، روش کار با میکروسکوپ‌های متالوگرافی، تشخیص فازهای موجود در ساختار قطعات ریختگی به‌ویژه در فولادها و چدن‌ها آشنا می‌شویم.

فلزات و آلیاژهای مختلف دارای خواص متفاوتی هستند، که این خواص ناشی از تغییرات شکل، اندازه و ترکیب فازهایی است که مجموعه آنها ساختار قطعات ریختگی را تشکیل می‌دهند. به‌طور کلی در صنایع، تنها ترکیب شیمیایی و نسبت‌های ترکیبی ملاک نبوده و توزیع عناصر تشکیل‌دهنده نیز نقش مهمی در درشت یا ریز شدن ساختار قطعات تولیدی و در نتیجه خواص آنها دارند، به‌طوری که امروزه بدون بررسی ساختار درونی مواد، پیشرفت صنایع قابل تصور نیست. براین اساس آشنایی با انواع روش‌های

## استاندارد عملکرد

متالوگرافی نمونه با استفاده از ابزارآلات و تجهیزات مربوطه براساس دستورالعمل‌ها و استانداردهای مرتبط.

## پیش‌نیاز

آشنایی با فرایندهای قالب‌گیری و ذوب فلزات و آلیاژها، ترکیب و درصد وزنی آلیاژها، فرایندهای انجماد فلزات و آلیاژها و مک‌های گازی و انقباضی.

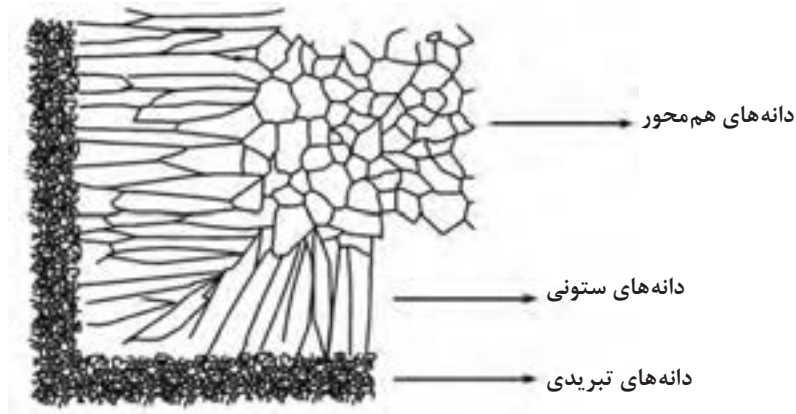
۱- Metallography

۲- Etch

## آشنایی با ساختار ریختگی فلزات و آلیاژها

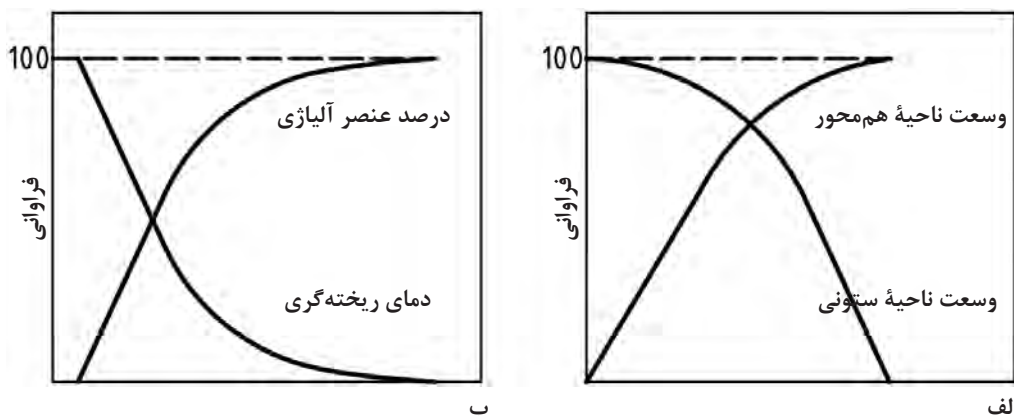
ریزساختار قطعه ریختگی شامل نوع، اندازه دانه و شکل دانه است که تأثیر قابل توجهی بر خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات دارند. به همین دلیل بررسی آن در قطعات ریختگی اهمیت فراوانی دارد. به طور کلی فلزات ریختگی دارای سه ناحیه متمایز با ساختار دانه‌ای متفاوت می‌باشند که از سطح به مرکز قطعه عبارت‌اند از:

- ناحیه سریع سرد شده که در ناحیه تماس قطعه با جداره قالب ایجاد شده و به دلیل سرعت انجماد بالا دارای دانه‌های ریز می‌باشد.
  - ناحیه ستونی که در نواحی میانی قطعه ایجاد شده و دانه‌ها در خلاف جهت انتقال حرارت رشد کرده‌اند.
  - ناحیه دانه‌های هم محور مرکزی که در مرکز قطعه بوده و دانه‌ها در آن هم‌محور با جهت گیری نامنظم هستند.
- شکل (۱) انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم‌محور را برای فلزات خالص به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

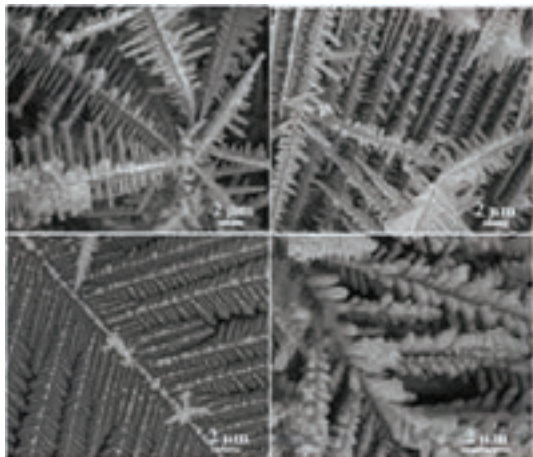


شکل ۱- انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم محور در فلزات خالص

نسبت بین نواحی مختلف را می‌توان با تغییر درصد عناصر آلیاژی، درجه حرارت ریختن مذاب، سرعت سرد کردن و غیره کنترل نمود. با توجه به شکل (۲) با افزایش درصد عناصر آلیاژی و یا کاهش درجه حرارت ریختن مذاب وسعت ناحیه هم‌محور افزایش و وسعت ناحیه ستونی کاهش می‌یابد.



شکل ۲- تغییر در نواحی هم‌محور مرکزی و ستونی: (الف) تغییر درصد عناصر آلیاژی (ب) تغییر درجه حرارت ریختن مذاب



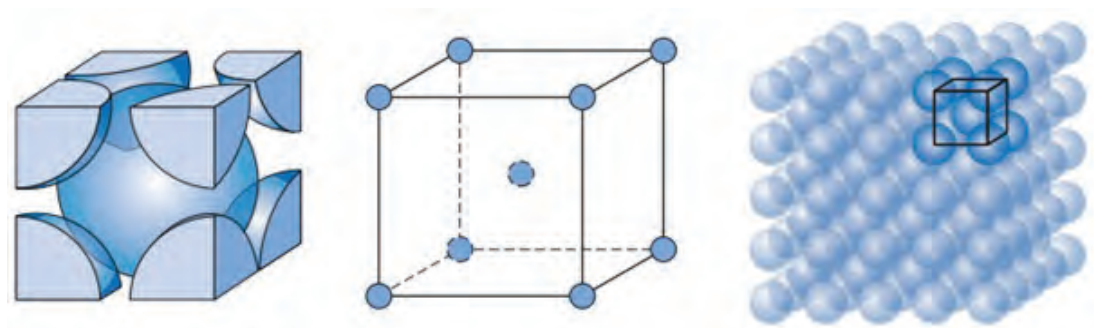
شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار دندریتی آلایزهای از قلع

ریز ساختار دیگر قابل مشاهده در قطعات ریختگی آلایژی، ساختار شاخه‌ای (دندریتی) است که در آلایزهایی با دامنه انجماد بالا، شیب دمایی کم و سرعت‌های رشد بالا در فصل مشترک مذاب - جامد به وجود می‌آید و باعث عیب تغییر ترکیب شیمیایی از سطح به مرکز قطعه شده که با عملیات حرارتی آنیل در دمای بالا قابل رفع شدن است. شکل (۳) تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار دندریتی انواعی از آلایزهای قلع را نشان می‌دهد.

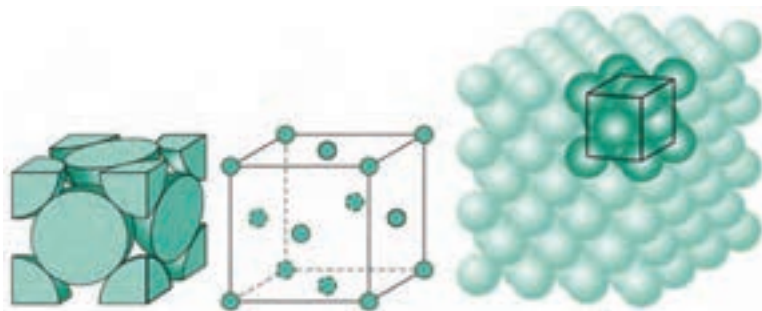
### ساختارهای کریستالی

با مختصات معین در دمای محیط یک کریستال (دانه) به وجود می‌آید. در کریستال‌شناسی ۱۴ نوع شبکه واحد وجود دارد که به هفت سیستم تقسیم‌بندی شده و مهم‌ترین آنها که مربوط به فلزات نیز است عبارت‌اند از ساختار مکعبی با اتم در مرکز (Body-Centered Cubic)، ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (Face-Centered Cubic) و شبکه هشت‌وجهی هگزاگونال (Hexagonal Close - Packed)، در شکل‌های (۴ تا ۶) این ساختار بلوری نشان داده شده است.

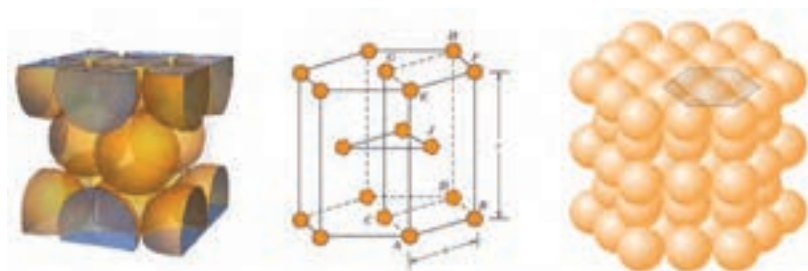
در مواد جامد کریستالی اتم‌ها هنگام انجماد با نظم و ترتیب و شکل هندسی خاصی قرار می‌گیرند، به طوری که یک ساختار شبکه‌ای فضایی را به وجود می‌آورند که در همه جهت‌ها تا سطح خارجی کریستال (دانه) تکرار می‌شوند. کوچک‌ترین واحد از این شبکه فضایی را شبکه واحد یا سلول واحد می‌نامند. این سلول واحد که چگونگی قرار گرفتن اتم‌ها یا یون‌ها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد می‌تواند از چند اتم تشکیل شده باشد و با تکرار سلول‌های واحد در یک شبکه فضایی



شکل ۴- ساختار مکعبی با اتم در مرکز (BCC) مربوط به فلزاتی مانند آهن، کرم، مولیبدن، وانادیم و غیره



شکل ۵- ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (FCC) مربوط به فلزاتی مانند آلومینیوم، مس، سرب، طلا، نیکل و غیره



شکل ۶- ساختار شش وجهی هگزاگونال (HCP) مربوط به فلزاتی مانند روی، برلیوم، زیرکونیم، کبالت و غیره

### انواع روش‌های بررسی ساختمان داخلی فلزات و آلیاژها

امروزه روش‌ها و ابزارهای متعددی به منظور تجزیه و تحلیل ساختمان داخلی فلزات و آلیاژها وجود دارند که هر کدام با توجه به نیاز صنایع و کارایی آنها مورد استفاده قرار می‌گیرند. مهم‌ترین و پرکاربردترین این روش‌ها شامل موارد زیر هستند.



شکل ۷- نمونه‌ای از میکروسکوپ نوری مورد استفاده در متالوگرافی

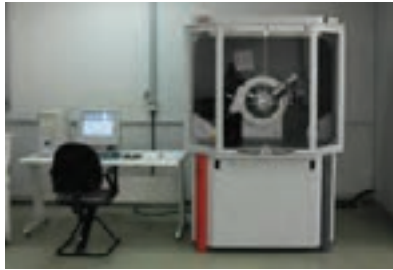
**میکروسکوپ نوری متالوگرافی:** با استفاده از آن می‌توان مک و حفره‌های ریز، شکل و اندازه دانه‌ها و فازهای موجود در فلزات و آلیاژها را تشخیص داد و شناسایی کرد که در این درس بیشتر به این مورد پرداخته خواهد شد (شکل ۷).



شکل ۸- میکروسکوپ‌های الکترونی با قدرت بزرگ‌نمایی بالا جهت بررسی ساختار درونی فلزات و آلیاژها

**میکروسکوپ‌های الکترونی:** این میکروسکوپ‌ها دقت و کارایی بیشتری نسبت به سایر میکروسکوپ‌ها دارند. با استفاده از این میکروسکوپ‌ها می‌توان ساختار فلزات را با دقت بیشتری نسبت به میکروسکوپ‌های نوری بررسی کرد. این میکروسکوپ‌ها در دو نوع عبوری و روبشی ساخته می‌شوند (شکل ۸).

**آنالیز توسط اشعه X:** با استفاده از این دستگاه می‌توان ساختار شبکه‌ای فلزات را مطالعه کرد (شکل ۹).



شکل ۹- دستگاه آنالیز اشعه X جهت بررسی ساختار شبکه‌ای فلزات

سایر تکنیک‌ها شامل بازرسی فراصوتی (برای تعیین محل عیوبی از قبیل حفره‌های انقباضی، ترک‌های داخلی، حفره‌های داخلی و ناخالصی‌های غیرفلزی بزرگ) و آنالیز تصویری.

در گروه‌های ۳ نفره نوع دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه متالوگرافی هنرستان خود را تعیین کرده با جست‌وجو در منابع معتبر ویژگی آنها را بنویسید.

تحقیق



## متالوگرافی و انواع روش‌های آن

متالوگرافی به حدود ۲۰۰ سال پیش (۱۸۰۰ میلادی) برمی‌گردد که دانشمندان مطالعه فلزات را در زیر میکروسکوپ آغاز کردند و توانستند ارتباط بین اندازه دانه‌ها و سختی فلزات را بیابند، ارتباط بین ساختمان میکروسکوپی فولادهای سخت شده و خواص آنها پی‌ببرند. بنا به تعریف، متالوگرافی شاخه‌ای از علم مواد است که ساختار داخلی فلزات و آلیاژها و عیوب داخلی قطعات مثل ترک یا ناخالصی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. با توجه به اینکه نوع ساختار درونی در خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات و آلیاژها تأثیر زیادی دارد، بنابراین با آگاهی از علم متالوگرافی می‌توان خواص مواد را در جهت مورد نظر تغییر داد. جهت بررسی و مطالعه ساختار داخلی فلزات و آلیاژها از دو روش ماکروسکوپی<sup>۱</sup> و میکروسکوپی<sup>۲</sup> استفاده می‌شود.

**مطالعه ماکروسکوپی ساختار فلزات:** مطالعه ماکروسکوپی برای پی‌بردن به شکل انجماد (همه جانبه یا جهت‌دار)، اندازه دانه‌ها، وجود حفره‌های انقباضی، گازی و ترک‌ها به کار می‌رود. مشاهده در این روش معمولاً با چشم غیر مسلح و یا با عدسی‌هایی با بزرگ‌نمایی حداکثر ۲۰ برابر انجام می‌شود. این امر موجب می‌شود تا یک مطالعه اجمالی بر روی سطح وسیعی از نمونه مورد آزمایش انجام پذیرد و اغلب نیز اطلاعات اولیه‌ای راجع به کیفیت قطعه، یک پارچگی فلز و ساختار آن، انجماد و کیفیت عملیات نهایی (ریخته‌گری، کار مکانیکی، جوشکاری) به دست می‌آید.

### کاربردهای عمده ماکروسکوپی فلزات و آلیاژها

- ۱ مشاهده شکاف‌ها و حفره‌های به‌وجود آمده در اثر شرایط نامناسب ذوب، ریخته‌گری و انجماد.
- ۲ تعیین و تشخیص حفره‌های گازی و انقباضی در قطعات از یکدیگر.
- ۳ مشاهده شکل و اندازه دانه‌ها و تشخیص نوع انجماد.
- ۴ مشخص کردن ترک‌های به‌وجود آمده در قطعات آهن‌گری و نورد شده در هنگام کار مکانیکی یا عملیات حرارتی.
- ۵ تعیین مک‌های گازی ناشی از جوشکاری که در محل جوش به‌وجود می‌آید.

### مراحل آماده کردن نمونه برای مطالعه ماکروسکوپی



۱- macroscopic

۲- microscopic





شکل ۱۰- نمونهٔ ماکروسکوپی از فلز خالص آلومینیوم

**الف) انتخاب نمونه:** بخشی از قطعه که نشان‌دهنده و نمایندهٔ کل حجم قطعه است باید برای آزمایش انتخاب شود. اندازهٔ نمونه‌های ماکروسکوپی معمولاً بزرگ بوده (۲ تا ۱۰ سانتی‌متر) و در بعضی مواقع حتی مقطعی از قطعات یا شمش‌ها را در اندازهٔ واقعی می‌توان برای آزمایش ماکروسکوپی انتخاب کرد (شکل ۱۰).



شکل ۱۱- کاتر مخصوص برای برش نمونه‌ها

**ب) برش و سوهان‌کاری:** متداول‌ترین روش برای برش نمونه‌ها استفاده از اره‌دستی و یا کاتر (صفحهٔ برنده از جنس اکسید آلومینیوم و یا سیلیسیم کاربرد) همراه با مایع خنک‌کننده (آب) است و جهت صاف کردن مقطع برش آن را ابتدا سوهان درشت و سپس با سوهان ریز پرداخت و گونبایی می‌کنند. در صورت امکان بعد از برش به جای سوهان کاری بهتر است با ماشین‌های براده‌برداری مانند ماشین تراش مقطع برش خورده صاف و گونبایی شود. لازم به ذکر است در جریان برش و سوهان کاری باید دقت شود که نمونه بیش از حد گرم نشود (شکل ۱۱).



شکل ۱۲- صفحه‌های صاف سنبناده کاری نمونه‌های متالوگرافی

**ج) سنبناده کاری:** عملیات سنبناده کاری معمولاً بر روی صفحات سنبناده انجام می‌شود. این دستگاه دارای چند صفحهٔ صاف و تخت که دارای شیب مشخص است (شکل ۱۲). در هنگام سنبناده زنی بر روی سنبناده‌ها آب ریخته می‌شود تا از افزایش حرارت قطعه جلوگیری و براده‌های ایجاد شده، شسته شوند. سنبناده‌ها دارای زبری مشخصی هستند و عدد زبری روی آن نوشته شده است. این اعداد به ترتیب شامل ۸۰-۱۲۰-۲۲۰-۳۲۰-۴۰۰-۵۰۰-۶۰۰-۸۰۰-۱۰۰۰-۱۲۰۰-۱۵۰۰ بوده که هرچه عدد بزرگ‌تر باشد نشان‌دهندهٔ نرم‌تر بودن سنبناده است. نمونه باید با فشار متوسط دست از بالا به طرف پایین حرکت داده شود. هنگامی که نمونه از یک کاغذ سنبناده به کاغذ سنبناده ظریف‌تر منتقل می‌شود، سطح نمونه به حدی ساییده می‌شود که خراش‌هایی با اندازهٔ جدید قابل رویت شده و خراش‌های سنبناده قبلی از بین بروند. در جابه‌جایی به سنبنادهٔ ظریف‌تر، نمونه ۹۰° چرخانده شده و فشار دست نیز کاهش می‌یابد. سنبناده کاری را می‌توان با استفاده از سنبناده دوار برقی نیز انجام داد. این دستگاه دارای یک صفحهٔ دوار است که روی آن سنبناده گرد چسبیده و توسط الکتروموتور به چرخش در می‌آید و در هنگام سنبناده کاری آب توسط افشانک‌های قابل تنظیم به محل تماس قطعه و صفحه سنبناده پاشیده می‌شود.

د) آشکارسازی یا اچ کردن (حکاکي): پس از آماده‌سازی نمونه برای آشکار کردن ساختار آن، نمونه را اچ می‌کنند. اچ کردن عبارت است از ایجاد خوردگی ضعیف توسط مواد خورنده در سطح نمونه. مواد اچ و روش اچ کردن برای فلزات و آلیاژهای مختلف متفاوت است. در جدول ۱ انواع محلول‌های اچ و کاربردشان آمده است. فلزات خالص و آلیاژهای تک فاز که در ساختار خود ترکیب شیمیایی یکنواختی دارند و همگن هستند، به هنگام اچ کردن مرزدانه‌ها تحت خوردگی قرار می‌گیرند، زیرا به دلیل موقعیت نامنظم اتم‌ها، انرژی بالاتری نسبت به خود دانه دارند. خوردگی مرزدانه‌ها سبب می‌شود که شکل دانه‌ها به روشنی نمایان شود و دانه‌ها در آزمایش ماکروسکوپی و میکروسکوپی از هم تشخیص داده شوند. پس از اچ کردن معمولاً نمونه‌ها را با الکل یا آب شسته و خشک می‌کنند.

جدول ۱- انواع محلول‌های اچ ماکروسکوپی فلزات و آلیاژهای مختلف پر کاربرد

کاربرد	ترکیب	محلول اچ	فلز و آلیاژ
سگرگاسیون (جدایش) تخلخل، ترک‌ها عمق منطقه سخت	۵۰ میلی لیتر کلریدریک اسید ۵۰ میلی لیتر آب مقطر	کلریدریک اسید	فولاد و چدن
عمق سختی کربوره شده کربن گیری شده ساختمان جوش، منطقه‌ای از جوش	۵ میلی لیتر نیتریک اسید ۹۵ میلی لیتر الکل اتیلیک	نایتال	
اندازه دانه‌ها، تخلخل، انیلکوژن	۱۰ تا ۳۵ درصد نیتریک اسید بقیه آب مقطر	نیتریک اسید	مس و آلیاژهای آن
خورنده عالی برای آلیاژهای یاتاقان و مس	۱۰ میلی لیتر HF ۱۵ میلی لیتر HCl ۲۵ میلی لیتر نیتریک اسید ۵۰ میلی لیتر آب مقطر	سدیم هیدروکسید	
می تواند برای ظاهر کردن ماکروسکوپی به کار رود	۱۵۰ گرم سود ۹۰ میلی لیتر آب گرم	سدیم هیدروکسید	
آزمایش ماکروسکوپی آلیاژهای آلومینیوم، ۱۰ تا ۲۰ ثانیه غوطه‌ور کنید و در آب گرم بشوید و سپس در نیتریک اسید غلیظ فرو ببرید.	۱۰ میلی لیتر HF ۱۰ میلی لیتر HCl ۹۰ میلی لیتر آب مقطر	اچ فلیک	آلومینیوم و آلیاژهای آن

ه) بررسی ساختار ماکروسکوپی: پس از انجام عملیات اچ کردن ساختار نمونه با چشم غیرمسلح و یا در صورت نیاز با یک عدسی ساده مورد بررسی قرار گرفته و تصویر از آن تهیه می‌گردد.



### نکات ایمنی در تهیه و استفاده از مواد اچ:

- قبل از کار با انواع اسیدها لازم است جهت جلوگیری از تماس احتمالی آن با پوست دست از دستکش‌های پلاستیکی استفاده شود.
- چون هنگام مخلوط کردن اسیدها و حلال‌ها با یکدیگر و همچنین فرو بردن نمونه‌ها جهت عملیات اچ کردن در اثر واکنش‌های شیمیایی گازهایی متصاعد می‌شود، لازم است این عمل در زیر هود انجام شده و هم‌زمان از ماسک استفاده شود.
- در تهیه مواد اچ برای آلیاژهای آلومینیوم که از فلوریدریک اسید (HF) استفاده می‌شود، از به کار بردن ظرف‌های شیشه‌ای جداً خودداری کرده و به جای آن از ظروف پلاستیکی استفاده شود، چون این اسید باعث خوردگی شیشه‌ها می‌شود.
- جهت فرو بردن نمونه در محلول اچ از انبرهای آزمایشگاهی استفاده شود.
- نمونه‌ها بعد از اچ با الکل شسته و خشک شود.
- در هنگام رقیق کردن اسیدها با آب و یا مخلوط کردن اسیدها با یکدیگر نکات ایمنی حتماً رعایت شود.

### روش حفظ و نگهداری از مواد اچ:

- جهت نگهداری اسیدها از ظروف شیشه‌ای تیره رنگ و در محل‌هایی که دور از نور خورشید باشد، استفاده شود.
- بر روی ظروف نگهداری اسیدها و حلال‌ها، نام، میزان غلظت، تاریخ تولید، تاریخ انقضا و علائم هشداردهنده برچسب گردد.
- همواره مقدار لازم از مواد اچ تهیه شده و در ظرف کوچک مانند شیشه ساعت ریخته شود، چون مواد اچ به مرور زمان خاصیت خود را از دست می‌دهند.



### بررسی ساختار آلومینیوم ریختگی در قالب فلزی و ماسه ای

نمونه‌هایی از فلز آلومینیوم که در قالب فلزی و ماسه‌ای ریخته‌گری شده‌اند را تهیه کرده قبل و بعد از اچ به صورت میکروسکوپی مورد بررسی قرار دهید.

### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

کوره ذوب فلزات، قالب استوانه‌ای فولادی، تجهیزات قالب‌گیری ماسه‌ای، وسایل ذوب و ایمنی، اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۱۵۰۰، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی

### مراحل انجام کار:

۱ قالب استوانه‌ای توخالی از جنس فولاد و همچنین از جنس ماسه ریخته‌گری با قطر داخلی حدود

۳-۴ سانتی‌متر و به ارتفاع ۱۰-۸ سانتی‌متر تهیه کنید.

۲ ۱۰-۵ کیلوگرم مذاب آلومینیوم با استفاده از یک کوره مناسب تهیه و سرباره‌گیری و گاززدایی کنید.  
۳ قالب‌ها را پیش‌گرم کرده و مذاب را با فوق ذوب یکسان به درون محفظه قالب بریزید (۲ تا ۳ نمونه ریخته‌گری کنید).

۴ بعد از انجماد کامل و قبل از سرد شدن، نمونه قالب فلزی را با استفاده از انبر مناسب از قالب خارج کنید (در صورت سرد شدن قالب، خارج کردن نمونه مشکل خواهد شد) و نمونه قالب ماسه‌ای را بعد از انجماد و سرد شدن کامل تخلیه کنید.

۵ نمونه‌های استوانه‌ای ریخته شده را به صورت مقطعی و طولی با دقت برش داده و سوهان کاری کنید.

۶ مراحل سنباده کاری از سنباده ۱۲۰ تا ۱۵۰۰ را به دقت انجام دهید.

۷ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول (۱)، اچ کرده و مورد بررسی چشمی قرار دهید.

#### نکته ایمنی



۱ در هنگام تهیه مذاب، سرباره‌گیری، گاززدایی و ریخته‌گری از کلاه ایمنی، ماسک تنفسی، لباس نسوز مناسب، کفش ایمنی، دستکش نسوز و تجهیزات ذوب و ریخته‌گری مناسب استفاده شود.

۲ جهت ذوب فلزات می‌توان از کوره الکتریکی مقاومتی به جای کوره‌های با سوخت فسیلی استفاده کرد.

۳ قبل از مذاب‌ریزی قالب‌ها را پیش‌گرم کنید.

۴ از سرریز شدن قالب‌ها در هنگام مذاب‌ریزی جلوگیری شود.

۵ قبل از انجماد از خارج کردن نمونه‌های ریخته شده از قالب خودداری شود.

۶ هنگام خارج کردن نمونه‌ها از دستکش نسوز و انبرهای مناسب استفاده شود.

۷ هنگام برش دادن نمونه با اره یا هر دستگاه کاتر، سوهان کاری و سنباده کاری نکات ایمنی رعایت شود.

۸ در هنگام استفاده از محلول‌های اچ، نکات ایمنی ارائه شده رعایت شود.

#### نکته زیست محیطی



محلول اچ مصرف شده و باقی‌مانده به روش مناسبی دور ریخته شود.

#### بحث گروهی



پس از انجام فعالیت به پرسش‌های زیر پاسخ داده و درباره نتایج با سایر گروه‌ها بحث و تبادل نظر کنید. سپس از روند کار گزارشی را تهیه و به هنرآموز خود تحویل دهید.

۱	چه تفاوت‌هایی بین نمونه‌های اچ شده و اچ نشده در هر دو نمونه قالب فلزی و ماسه‌ای وجود دارد؟
۲	نمونه‌های ریخته شده در قالب فلزی و ماسه‌ای را در حالت بدون اچ از نظر وجود میانگین درصد حفره‌های موجود با یکدیگر مقایسه کنید.
۳	نمونه‌های ریخته شده در قالب فلزی و ماسه‌ای را در حالت اچ شده از نظر نوع، شکل و اندازه دانه‌های قابل مشاهده با یکدیگر مقایسه نموده و به صورت شماتیک ترسیم نمایید.

## مطالعه میکروسکوپی ساختار فلزات و آلیاژها

مطالعه ساختار فلزات و آلیاژها به روش میکروسکوپی به منظور پی بردن به شکل، نوع و اندازه دانه‌ها و فازها و همچنین نحوه پخش فازها در ساختار صورت می‌گیرد. در بررسی میکروسکوپی معمولاً از میکروسکوپ‌هایی با بزرگ‌نمایی ۵۰ تا ۱۵۰۰ برابر استفاده می‌شود.

- ۱ کاربردهای عمده مطالعه میکروسکوپی فلزات و آلیاژها
- ۲ بررسی و شناسایی مک‌های گازی، انقباضی و ناخالصی‌ها
- ۳ تعیین و تشخیص انواع فازهای تعادلی و غیر تعادلی موجود در آلیاژها
- ۴ تعیین روش تولید و عملیات انجام شده بر روی فلزات و آلیاژها
- ۵ متالوگرافی کمی

### مراحل تهیه نمونه برای مطالعه میکروسکوپی



**الف) انتخاب نمونه:** روش تهیه نمونه متالوگرافی میکروسکوپی شبیه نمونه متالوگرافی ماکروسکوپی است با این تفاوت که اندازه آنها معمولاً  $1 \times 1 \times 1/8$  سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. برای جدا کردن نمونه‌ها با توجه به نوع آن از اره‌های دستی برای فلزات نرم مانند آلومینیوم، ضربات چکش برای فلزات و آلیاژهای سخت مانند چدن‌ها و از کاتر برای انواع فولادها استفاده می‌شود. در انتخاب نمونه متالوگرافی میکروسکوپی باید دقت شود تا نمونه تمام مشخصات قطعه اصلی را داشته باشد. مثلاً برای یک ورق نورد شده که در قسمت‌های مختلف دارای خواص متفاوت است باید از چند قسمت مختلف نمونه‌برداری انجام شود. و همچنین در بررسی عیوب متالورژیکی در ریخته‌گری، نمونه باید از محل عیب انتخاب شود.

پس از برش نمونه، لبه‌های نمونه با استفاده از سوهان یا سنگ سنباده پخ داده شود تا هنگام کار با سنباده سبب آسیب به دست یا پاره شدن کاغذ سنباده نشود.

نکته



**ب) مانت کردن نمونه:** برای آنکه بتوان نمونه‌های کوچک و با شکل‌های مختلف را به راحتی در دست گرفته و عملیات بعدی را روی آنها انجام داد، قالبی تهیه شده و نمونه را در داخل قالب قرارداده و با پر کردن فضای‌های خالی از رزین نمونه را تثبیت می‌کنند، که این عمل را مانت کردن می‌گویند. مانت کردن به روش سرد و گرم انجام می‌شود، در مانت سرد رزین‌هایی که استفاده می‌شوند ابتدا مایع هستند و پس از مدت اندکی سخت شده، به جامد تبدیل می‌گردند. به صورتی که ابتدا قطعه در داخل



شکل ۱۳- دستگاه مانت گرم و نمونه‌های مانت شده

قالب، روی صفحه صافی گذاشته شده و از بالا رزین روی آن ریخته می‌شود، پس از مدتی نمونه آماده است. و در مانت گرم از دستگاهی استفاده می‌شود که هم‌زمان می‌تواند فشار و گرما تولید کند (شکل ۱۳). نمونه به همراه پودری پلیمری داخل دستگاه قرار می‌گیرد و با ایجاد فشار و افزایش دما پودر مایع شده دور قطعه را می‌گیرد و با فشار ایجاد شده محکم می‌شود. تماس خوب و دقیق نمونه و پلیمر و ایجاد قالبی صاف و بدون تخلخل از ویژگی‌های مانت گرم است.

**ج) سنبناده کاری:** در این مرحله نمونه‌ها به ترتیب توسط انواع سنبناده‌های ریز تا درشت (از شماره ۱۲۰ تا ۲۴۰۰) به دقت و ظرافت تمام، سنبناده کاری شده و آماده مرحله بعدی می‌شوند. سنبناده کاری بر روی صفحات فلزی صاف به صورت دستی و یا صفحات فلزی گرد به وسیله دستگاه صفحه سنبناده انجام می‌شود. در هر یک از مراحل سایش، نمونه به شکلی حرکت داده می‌شود که خراش‌ها فقط در یک جهت ایجاد شود و در سایش بعدی، جهت آن عوض می‌شود (شکل ۱۴).



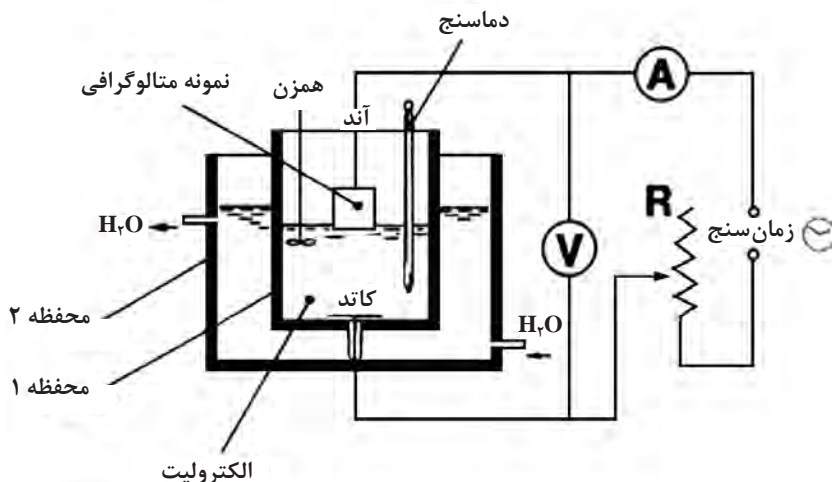
شکل ۱۴- انواع کاغذهای سنبناده و مواد مانت سرد و گرم مورد استفاده در متالوگرافی



شکل ۱۵- دستگاه پولیش یک صفحه‌ای

**د) صیقل کاری یا پولیش کردن:** حساس‌ترین و مهم‌ترین مرحله آماده‌سازی برای آزمایش متالوگرافی، پولیش کردن است. در این مرحله خراش‌های حاصل از سنبناده‌زنی از بین رفته و سطحی کاملاً صاف و آینه‌ای به وجود می‌آید به طوری که ساختمان واقعی فلز در معرض اچ قرار می‌گیرد. عمل پولیش کردن به دو صورت مکانیکی و الکتروپولیش قابل انجام است. در روش مکانیکی، پولیش کردن بر روی پارچه‌های مناسب که مواد ساینده‌ای نظیر آلومینا، منیزیم اکسید، پودر الماسه یا سیلیسیم کاربید به آن اضافه شده، انجام می‌شود. پولیش کاری به وسیله دست و یا با استفاده از دستگاه پولیش همراه با مایع خنک‌کننده (آب) انجام می‌شود. کیفیت سطح پولیش شده نمونه به عواملی مانند نوع پارچه، نوع پودر، سرعت پولیش کاری، زمان پولیش کاری، فشار قطعه بر روی صفحه پولیش و روش پولیش کاری بستگی دارد. (شکل ۱۵)

در روش الکتروپولیش از جریان الکتریسیته و محلول‌های الکترولیت استفاده می‌شود. به این صورت که برجستگی‌هایی که بر روی سطح قطعه وجود دارند به وسیله جریان الکتریسیته همراه با محلول الکترولیت خورده می‌شود. عواملی مانند شدت جریان الکتریسیته، ولتاژ، زمان، درجه حرارت محلول الکترولیت و نوع محلول بر روی پولیش کردن مؤثرند (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- طرح‌واره‌ای از دستگاه الکتروپولیش

### مزایای الکتروپولیش در مقایسه با پولیش مکانیکی

- تسریع در پولیش نمونه‌ها
- یکنواختی و صافی سطوح
- امکان استفاده از انواع نمونه‌ها

ه) **حک کاری یا اچ کردن:** در مورد اکثر فلزات و آلیاژها پس از پولیش کردن در زیر میکروسکوپ نوری متالورژی تصویری مشاهده نمی‌شود. چون زاویه تابش نور با زاویه بازتابش برابر است تصویری تشکیل نخواهد شد. به وسیله مواد خورنده فلزات، نظیر اسیدها با غلظت‌های مختلف (محلول اچ) خوردگی روی سطح فلزات ایجاد می‌کنند، این خوردگی ضعیف باعث شکست نور شده و در نتیجه تصویر پدید می‌آید. برای اچ کردن معمولاً از مواد خاصی با درصد معینی استفاده می‌شود این مواد در جدول ۲ آمده است. زمان اچ کردن به عواملی مانند غلظت مواد شیمیایی، درصد عناصر آلیاژ نمونه، دمای قطعه کار و محلول بستگی دارد.

جدول ۲- انواع محلول‌های اچ میکروسکوپی فلزات و آلیاژهای مختلف پر کاربرد

کاربرد	ترکیب	محلول اچ	فلزها
فولادها و چدن‌ها پرلیت را تیره می‌کند و مرز دانه‌ها را نشان می‌دهد.	۵ درصد نیتریک اسید ۹۵ تا ۹۹ درصد متیل الکل	نایتال	فولاد و چدن
در فولادها و چدن‌ها پرلیت را تیره و مرز دانه‌ها را نشان می‌دهد. در فولادهای عملیات حرارتی شده نیز کاربرد دارد.	۴ گرم پیکریک اسید ۱۰۰ میلی گرم متیل الکل	پیکرال	
برای نشان دادن سمانتیت در فولادها و چدن‌ها، زمان ۱۰ تا ۶۰ دقیقه	۵ گرم $FeCl_3$ ۵۰ میلی لیتر $HCl$ ۱۰ میلی لیتر آب	کلورفریک	
محلول اچ برای اکثر آلیاژهای مس	$NH_4OH$ ۰/۵ (وزن مخصوص ۰/۸۸) ۰/۵ آب، ۲۵ درصد $H_2O_2$ ۳ درصد	آمونیم هیدروکسید و هیدروژن پیروکسید	مس و آلیاژهای آن
مس - برنز - برنج و نقره نیکیلی	محلول رقیق شده کلریدریک اسید $Cr_2O_3$	کرومیک اسید	
ظاهر کننده عمومی برای آلیاژهای آلومینیوم	۰/۵ میلی لیتر $HF$ ۹۹/۵ میلی لیتر آب	فلوریدریک اسید	آلومینیوم و آلیاژهای آن
محلول اچ میکرو و ماکرو برای آلیاژهای آلومینیوم	۱۵ گرم سود ۹۰ میلی گرم آب	سدیم هیدروکسید	

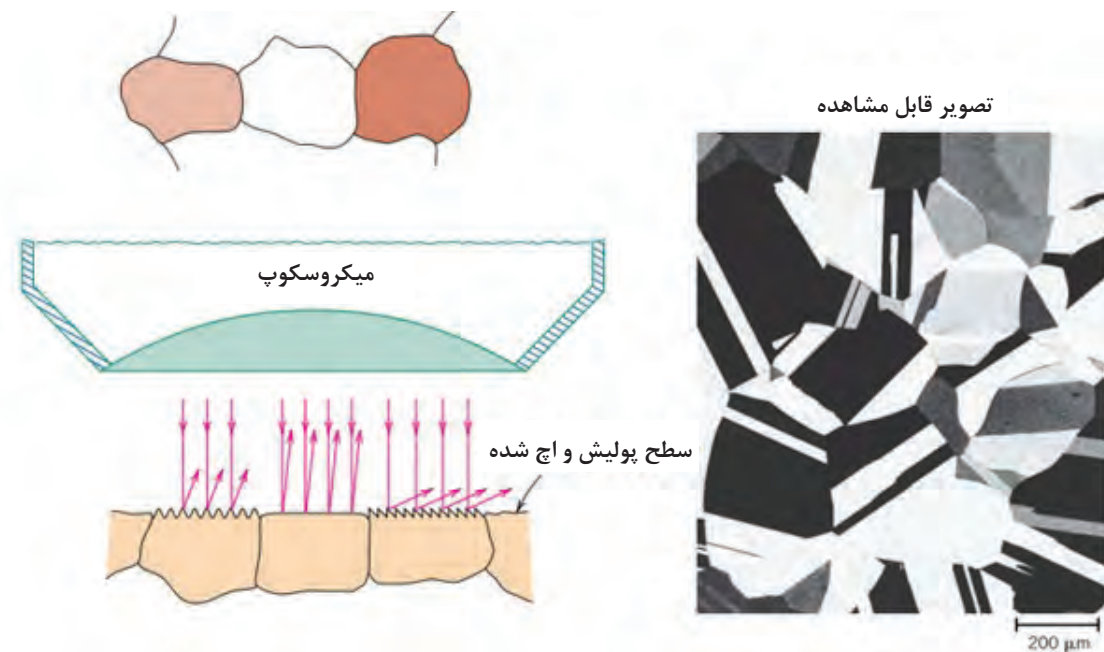


تفاوت‌های عمده بین نمونه ماکروسکوپی و میکروسکوپی در چه مواردی می‌باشد؟

### میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی

کردن) وجود داشته باشد، شعاع‌های نوری تابیده شده با بازتابش یکسان نخواهد بود، در نتیجه نور تابیده شده از محل فرورفتگی‌ها شکسته شده و در همان نقاط محل‌های تیره برای مشاهده تصویر به وجود می‌آیند. شکل (۱۷) نحوه بازتاب پرتو نور تابش شده به دو دانه مجاور و مرز بین آنها که بر اثر اچ کردن خورده شده است و همچنین تصویر میکروسکوپی ایجاد شده را نشان می‌دهد.

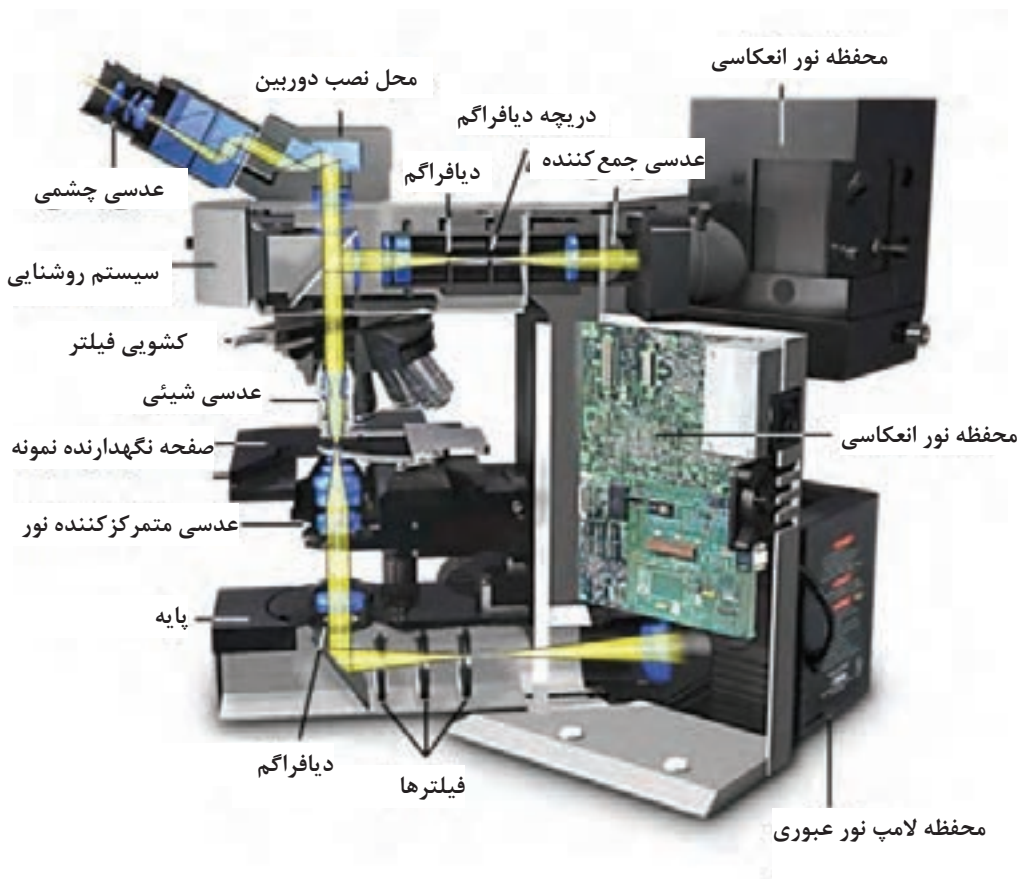
در بررسی‌های متالوگرافی از میکروسکوپ‌های نوری انعکاسی (بازتابی) جهت مشاهده سطح نمونه استفاده می‌شود. این میکروسکوپ‌ها به‌طور کلی شامل عدسی‌های چشمی و عدسی‌های شیئی و یک منبع نوری با شدت بالا هستند. در این میکروسکوپ‌ها نور ایجاد شده به وسیله عدسی‌های جمع‌کننده و توسط یک منعکس‌کننده به سطح نمونه مورد آزمایش تابانده می‌شود. در صورتی که در سطح قطعه فرورفتگی و برجستگی (در اثر اچ



شکل ۱۷- نمایشی از نحوه ایجاد شدن تصاویر در میکروسکوپ‌های متالوگرافی

شکل (۱۸) اجزای مکانیکی و نوری یک میکروسکوپ متالوگرافی را نشان می‌دهد. برای تنظیم کردن میکروسکوپ و گرفتن تصویر، ابتدا به وسیله پیچ تنظیم بزرگ نمونه را به عدسی شیئی نزدیک کرده و سپس با پیچ تنظیم ظریف تر تصویر را ظاهر می‌کنند.



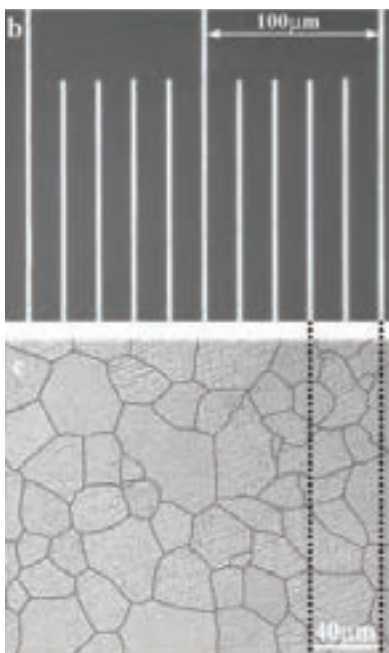
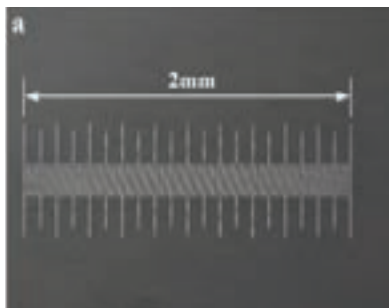


شکل ۱۸- اجزای مختلف میکروسکوپ نوری متالوگرافی

میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی براساس قرار گرفتن نمونه روی میکروسکوپ به دو نوع معکوس و مستقیم تقسیم بندی می‌شوند. در نوع مستقیم نور از قسمت بالا به سطح قطعه تابیده شده و نمونه حتماً باید دارای دو سطح کاملاً موازی باشد و در نوع معکوس نمونه به‌طور معکوس روی میز دستگاه بالای عدسی شیئی قرار می‌گیرد و به موازی بودن دو سطح قطعه مورد آزمایش نیازی نیست. شکل (۱۹) هر دو نوع میکروسکوپ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹- انواع میکروسکوپ نوری متالوگرافی



شکل ۲۰- الف) بزرگ‌نمایی ۵۰ برابر،  
ب) بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر، تصویر  
میکروسکوپ نوری در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ برابر

برای به دست آوردن بزرگ‌نمایی میکروسکوپ معمولاً عدد روی عدسی شیئی، در عدد عدسی چشمی ضرب می‌شود. به عنوان مثال اگر بزرگ‌نمایی عدسی چشمی ۱۰ برابر و عدسی شیئی ۴۰ برابر باشد، بزرگ‌نمایی میکروسکوپ  $40 \times 10 = 400$  برابر خواهد بود. به‌طور کلی در تمامی میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی، بزرگ‌نمایی عدسی‌های چشمی ۱۰ تا ۱۵ برابر و عدسی‌های شیئی ۵ تا ۱۰۰ برابر می‌باشد.

جهت تهیه تصاویر میکروسکوپی امروزه از دوربین‌های عکاسی دیجیتال و یا دوربین‌های مدار بسته‌ای که بر روی میکروسکوپ‌ها متصل است، استفاده می‌شود. مانند شکل قسمت (ب)

تصاویر تهیه شده توسط میکروسکوپ نوری متالوگرافی باید دارای مقیاس مناسب باشد. برای این منظور می‌توان با کمک خط‌کش مدرج استاندارد و نرم‌افزارهایی مانند Image و یا Clemex تصاویری در بزرگ‌نمایی متفاوت تهیه و با تصاویر تهیه شده از ریزساختار در بزرگ‌نمایی متناظر مقایسه کرد. برای این منظور می‌توان مقیاس مناسب بر روی تصاویر ایجاد نمود. در شکل (۲۰) تصویری از خط‌کش مدرج استاندارد در بزرگ‌نمایی ۵۰ تا ۵۰۰ برابر و نحوه استفاده آن نشان داده شده است.

### بررسی ساختاری آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم:

نمونه‌هایی از آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم بدون گاززدایی و گاززدایی شده در قالب فلزی ریخته‌گری کرده و بعد از آماده‌سازی، پولیش و اچ را در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مورد بررسی قرار دهید.

### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

کوره ذوب فلزات، قالب استوانه‌ای فولادی، وسایل ذوب و ایمنی، اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰، دستگاه پولیش و محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی



### مراحل انجام کار:

- ۱ قالب استوانه‌ای توخالی از جنس فولاد با قطر داخلی حدود ۳-۴ سانتی‌متر و به ارتفاع ۱۰-۸ سانتی‌متر تهیه کنید.
- ۲ مذاب آلیاژ آلومینیوم (۸-۱۰) درصد سیلیسیم با استفاده از یک کوره مناسب تهیه و سرپاره‌گیری کنید.
- ۳ قالب را پیش‌گرم کرده و مذاب را با فوق ذوب مناسب به‌درون محفظه قالب بریزید.
- ۴ مذاب باقی‌مانده پس از گاززدایی، بلافاصله در قالب فلزی دیگر ریخته‌گری شود.
- ۵ بعد از انجماد کامل و قبل از سرد شدن، نمونه‌ها را با استفاده انبر مناسب از قالب فلزی خارج کنید.
- ۶ نمونه‌های استوانه‌ای ریخته شده را در مقطع‌های مختلف با دقت برش داده و سوهان‌کاری کنید.
- ۷ مراحل سنباده‌کاری از سنباده ۱۲۰ تا ۲۰۰۰ به دقت انجام دهید.
- ۸ پولیش نمونه‌ها را با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه ۰٫۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش انجام دهید.
- ۹ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
- ۱۰ نتیجه را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه دهید.

#### نکات ایمنی



- ۱ نکات ایمنی مطابق با واحد کار ۱ رعایت شود.
- ۲ در هنگام گاززدایی حتماً از ماسک تنفسی استفاده شود.

#### بحث گروهی



چه تفاوت‌ها و شباهت‌هایی بین این نمونه‌ها از نظر وجود مک و حفره‌های گازی در بزرگ‌نمایی‌های برابر وجود دارد؟ پس از بحث و گفت‌وگو پاسخ تحلیلی خود را همراه گزارش کار ارائه کنید.

### انواع آلیاژها و نمودارهای فازی

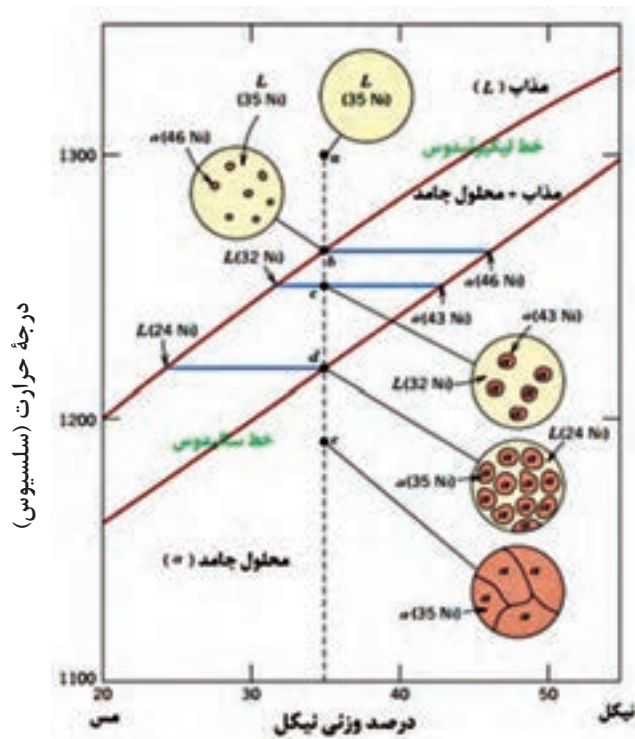
نور و غیره می‌توان فازها را از یکدیگر شناسایی کرد.

یک روش متداول برای تعیین مشخصات مربوط به فازها، استفاده از نمودارهای فازی می‌باشد. نمودارهای فازی در شرایط تعادلی به‌دست می‌آید، بنابراین این نمودارها، ارتباط و مشخصات فازها را در شرایط تعادل (تحت شرایط تعادل با گذشت زمان تغییری در فازها رخ نمی‌دهد) نشان می‌دهند.

ناحیه معینی از حالت فیزیکی یک ماده، که از نظر فیزیکی و شیمیایی همگن بوده و به‌وسیله سطحی مشخص از اجزای دیگر جدا می‌شود را یک فاز می‌نامند. به عبارت دیگر در موقع حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر در ناحیه‌ای از ماده، تغییر ناگهانی مشاهده نشود. به‌عنوان مثال وجود هم‌زمان مایع و جامد نشان‌دهنده یک سیستم ناهمگن بوده که از دو فاز تشکیل شده است. با استفاده از تغییرات فیزیکی مانند چگالی، انعکاس

### آلیاژهای محلول جامد (solid solution)

اگر دو یا چند عنصر در حالت مذاب و جامد کاملاً محلول بوده و یک فاز تشکیل بدهند، به آن محلول جامد می‌گویند. دو نوع محلول جامد وجود دارد که عبارت‌اند از محلول جامد جانشینی و محلول جامد بین‌نشینی. در محلول جامد جانشینی، اتم‌های فلز حل شده جانشین اتم‌های موجود در شبکه بلوری فلز حلال می‌شوند. مانند آلیاژ دو تایی مس-نیکل، که در این آلیاژ اتم‌های نیکل بدون اینکه شبکه بلوری مس (FCC) به هم بخورد، جانشین اتم‌های مس می‌شوند. در نهایت اتم‌های مس و نیکل به صورت پراکنده در ساختمان بلوری توزیع می‌شوند. از دیگر محلول‌های جامد می‌توان به طلا-نقره، مس-روی تا حدود ۳۵ درصد (برنج) و غیره اشاره کرد. در شکل ۲۱ نمودار فازی مس-۳۵٪ نیکل به همراه فرایند انجماد و تشکیل محلول جامد نشان داده شده است.



شکل ۲۱- نمودار فازی مس-نیکل به همراه فرایند انجماد و تشکیل محلول جامد مس با ۳۵ درصد نیکل

سه نمونه از آلیاژ برنج با درصدهای ۵، ۱۰ و ۱۵ روی / مس در قالب  $CO_2$  تهیه و زیر میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار داده و تصاویر میکروسکوپی آنها را در بزرگ‌نمایی‌های مختلف با یکدیگر مقایسه کنید.

فعالیت  
کارگاهی ۳



#### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

قطعه یا نمونه ریخته شده از آلیاژ مورد نظر در قالب  $CO_2$ ، اره یا دستگاه کاتر، سوهان با آج درشت و ریز، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰، دستگاه پولیش و محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی.

### مراحل انجام کار:

- ۱ پس از برش کاری، سوهان کاری و سنباده کاری با سنباده‌های مختلف، پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
- ۲ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
- ۳ نتیجه به دست آمده را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه کنید.

نکات ایمنی مطابق با فعالیت کارگاهی ۱ رعایت شود.  
در هنگام افزودن روی به مس مذاب، حتماً از ماسک تنفسی استفاده شود.

نکته ایمنی



بحث گروهی



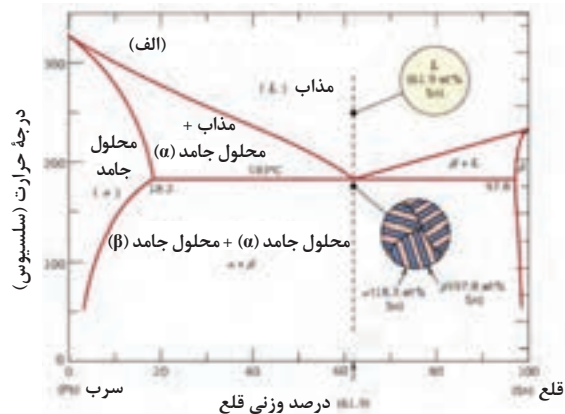
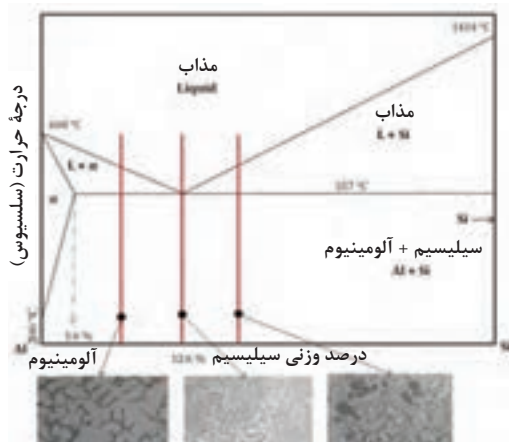
با افزایش درصد روی در برنج ساختار میکروسکوپی آلیاژ چه تغییری می‌کند؟ پس از بحث و گفت‌وگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز ارائه نمایید.

**آلیاژهای یوتکتیک (Eutectic Alloys):** آلیاژ یوتکتیک، آلیاژی است از دو فلز مختلف، که در حال مذاب با هم محلول بوده و پس از انجماد (در یک دمای ثابت) به دو محلول جامد تبدیل می‌شود.

دگرگونی یوتکتیک



از جمله آلیاژهای دوتایی که دارای تحول یوتکتیک هستند می‌توان به آلیاژهای نقره - مس، قلع - سرب، آهن - کربن، آلومینیوم - سیلیسیم و غیره اشاره کرد. هر کدام از این آلیاژها در صنعت مصارف خاص خود را دارند. به‌طور مثال آلیاژ نقره - مس جهت وسایل تزئینی، قلع - سرب جهت لحیم کاری، آهن-کربن و آلومینیوم - سیلیسیم در قطعات خودرو به کار می‌روند.  
در شکل (۲۲) نمودار فازی سرب - قلع (سمت راست) و آلومینیوم - سیلیسیم (سمت چپ) با دگرگونی یوتکتیک به همراه ساختار متالوگرافی در دمای محیط، نشان داده شده است.



شکل ۲۲- آلیاژهای دوتایی با دگرگونی یوتکتیکی  
الف) آلیاژ سرب - قلع ب) آلیاژ آلومینیوم - سیلیسیم

- در اثر دگرگونی یوتکتیکی دو فاز با فاصله کم و دانه‌های بسیار ریز در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند که این امر باعث شده ساختار یوتکتیکی از ساختارهای دو فازی ساده قابل تمایز باشد. به‌طور کلی آلیاژهایی با دگرگونی یوتکتیکی دارای خصوصیات و ویژگی‌های زیر می‌باشند:
- نقطه ذوب آنها از عناصر تشکیل دهنده کمتر است.
  - از نظر شکل ساختاری دارای دو فاز مختلف بوده با توزیع یکنواخت است.
  - در نقطه یوتکتیک انجماد در دمای ثابت صورت می‌گیرد و پایین‌ترین دمای مذاب را دارد..

فعالیت  
کارگاهی ۴



### بررسی تأثیر نوع قالب‌گیری بر ساختار آلیاژ آلومینیوم سیلیسیم

آلیاژی از آلومینیوم با حدود ۱۳-۱۱ درصد سیلیسیم در قالب فلزی و ماسه‌ای تهیه کرده و در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مورد بررسی قرار دهید.

### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

کوره ذوب فلزات، قالب استوانه‌ای فولادی، تجهیزات قالب‌گیری ماسه‌ای، وسایل ذوب و ایمنی، اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده، سنباده‌های ۲۰۰۰ تا ۱۲۰، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی

### مراحل انجام کار:

- پس از بریدن و آماده‌سازی نمونه شامل سوهان کاری و سنباده کاری، مراحل زیر را انجام دهید.
- ۱ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدهی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
  - ۲ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
  - ۳ نتیجه را به‌صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه کنید.

بحث گروهی



ساختار ریختگی نمونه‌های قالب فلزی و ماسه‌ای از نظر شکل، نوع و اندازه دانه و فازهای موجود چه تفاوت‌هایی با یکدیگر دارند؟ پس از بحث و گفت‌وگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار ارائه کنید.

تحقیق



با افزودن عناصر آلیاژی مانند سیلیسیم به آلومینیوم در خواص مکانیکی چه تغییراتی به وجود می‌آید؟ پس از بررسی دقیق ساختار پاسخ را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

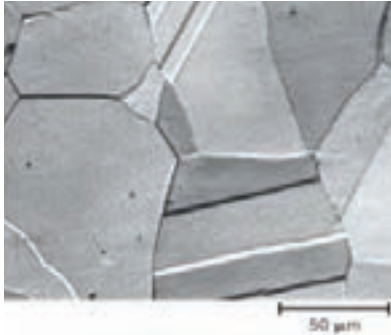
**آلیاژهای یوتکتوئیدی:** در دگرگونی یوتکتوئیدی یک فاز جامد به دو فاز جامد دیگر در دمای ثابت تبدیل می‌شود. این دگرگونی بیشتر در آلیاژهای آهن - کربن (فولادها و چدن‌ها) مطرح می‌باشد که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود.

## ساختار متالوگرافی فولادها

فولادها، آلیاژهای آهن و کربن هستند که میزان کربن آنها از ۰/۰۲ تا ۲/۰۶ درصد می‌باشد. فولادها به روش‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که تقسیم‌بندی آنها می‌تواند براساس روش تولید، روش ساخت، شکل محصول، روش اکسیژن‌زدایی، استحکام، ریزساختار، ترکیب شیمیایی و غیره باشد.

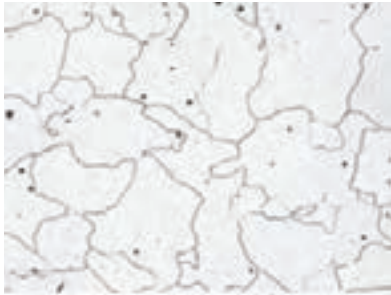
### ساختار زمینه در فولادهای ساده کربنی:

**الف) آستنیت (γ):** محلول جامد آهن و کربن است که دارای ساختمان مکعبی FCC بوده و در جریان سرد شدن و انجماد به‌وجود می‌آید (شکل ۲۳). این فاز در فرایند سرد شدن ناپایدار بوده و در اثر تحول یوتکتوئید به فریت و پرلیت و یا مخلوطی از آنها تجزیه می‌گردد. منطقه پایدار آستنیت از ۷۲۳ درجه سلسیوس به بالا است لذا در دمای محیط در شرایط تعادلی در فولادهای ساده کربنی قابل مشاهده نیست.



شکل ۲۳- تصویر میکروسکوپی آستنیت (بزرگ‌نمایی ×۴۰۰)

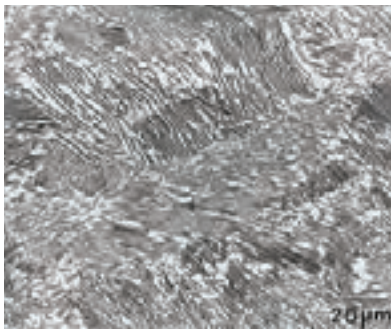
**ب) فریت (α):** محلول جامد کربن در آهن با شبکه کریستالی BCC می‌باشد که حداکثر مقدار کربن ۰/۰۲ درصد در ۷۲۳ درجه سلسیوس بوده و در دمای محیط این فاز پایدار است و در زیر میکروسکوپ به رنگ سفید مشاهده می‌گردد (شکل ۲۴).



شکل ۲۴- تصویر میکروسکوپی فریت (بزرگ‌نمایی ×۱۰۰)

**ج) سمانتیت (Fe<sub>۳</sub>C):** در صورتی که درصد کربن در فولادها و یا آلیاژهای آهن-کربن بیش از حد حلالیت آن در آستنیت یا فریت باشد فازی به نام آهن کاربید یا سمنتیت به‌وجود می‌آید. این فاز یک ترکیب بین فلزی بوده که هنگام سرد کردن تعادلی از دمای بالا در اثر تحول یوتکتیک و یوتکتوئید به‌وجود می‌آید.

**د) پرلیت (P):** ترکیبی از لایه‌های متناوب فریت و سمانتیت می‌باشد که در اثر تحول یوتکتوئید از آستنیت به‌وجود می‌آید که در زیر میکروسکوپ در بزرگ‌نمایی‌های بالای ۵۰۰ برابر به صورت اثر انگشت است (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- تصویر میکروسکوپی پرلیت (بزرگ‌نمایی ×۸۰۰)

در فولادها به غیر از ساختارهای تعادلی فریت، پرلیت و سمانتیت با توجه به درصد ترکیب شیمیایی و سرعت‌های سرد کردن بالا، ساختارهای متالوگرافی دیگری مانند بینیت و مارتنزیت که به ساختارهای غیر تعادلی معروف هستند امکان تشکیل دارند.

نکته



## نمودار فازی آهن - کربن

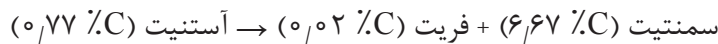
نمودار فازی آهن - کربن محدوده ترکیب شیمیایی و دمایی فازهای تعادلی را که در فولادهای ساده کربن پایدار می‌باشند را مشخص می‌کند و به دو صورت نمودار آهن - سمانتیت (نیمه تعادلی) و نمودار آهن - گرافیت (تعادلی) مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در فولادها گرافیت به ندرت تشکیل می‌شود در نتیجه، نمودار تعادلی آهن - سمانتیت جهت مطالعه مناسب‌تر است. در شکل ۲۶ نمودار آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت همراه با محدوده درصد وزنی کربن برای فولادها و چدن‌ها که در صنعت بیشترین کاربرد را دارند نشان داده شده است. در این

نمودارها محور افقی درصد وزنی کربن و محور عمودی درجه حرارت بر حسب درجه سلسیوس است. در نمودار آهن - سمانتیت مناطق تک فازی شامل مذاب، آهن دلتا ( $\delta$ ) با ساختار کریستالی BCC، آستنیت ( $\gamma$ ) با ساختار کریستالی FCC، فریت ( $\alpha$ ) با ساختار کریستالی BCC و مناطق دوفازی مهم شامل مذاب - آستنیت، مذاب - سمانتیت، آستنیت - سمانتیت (لدبوریت)، فریت - سمانتیت (پرلیت) است. در این نمودار تحول یا دگرگونی‌های مهم (به غیر از تحول پریتکتیک)، به صورت‌های زیر مطرح است.

● تحول یوتکتیک در دمای  $1148^{\circ}\text{C}$  که تک فاز مذاب به دو فاز جامد آستنیت و سمانتیت (لدبوریت) تبدیل می‌شود.



● تحول یوتکتوئید در دمای  $727^{\circ}\text{C}$  که فاز جامد آستنیت به دو فاز جامد فریت و سمانتیت (پرلیت) تبدیل می‌شود.



در نمودار آهن - کربن دماهای استحاله را اغلب دماهای بحرانی می‌نامند. در این دماها، تغییراتی در انتقال حرارت و یا حجم نمونه در اثر سرد یا گرم کردن ملاحظه می‌شود. دماهای بحرانی که در فرایندهای عملیات حرارتی از اهمیت مهمی برخوردار هستند عبارت‌اند از:

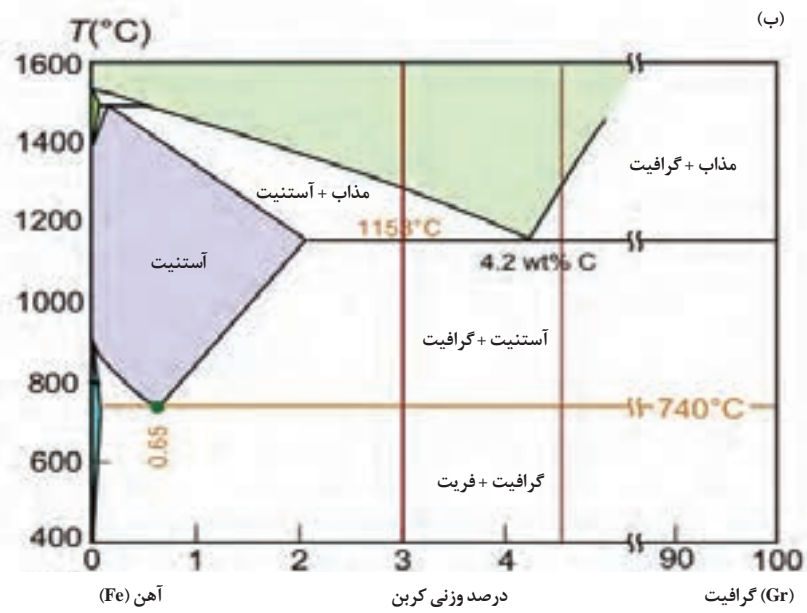
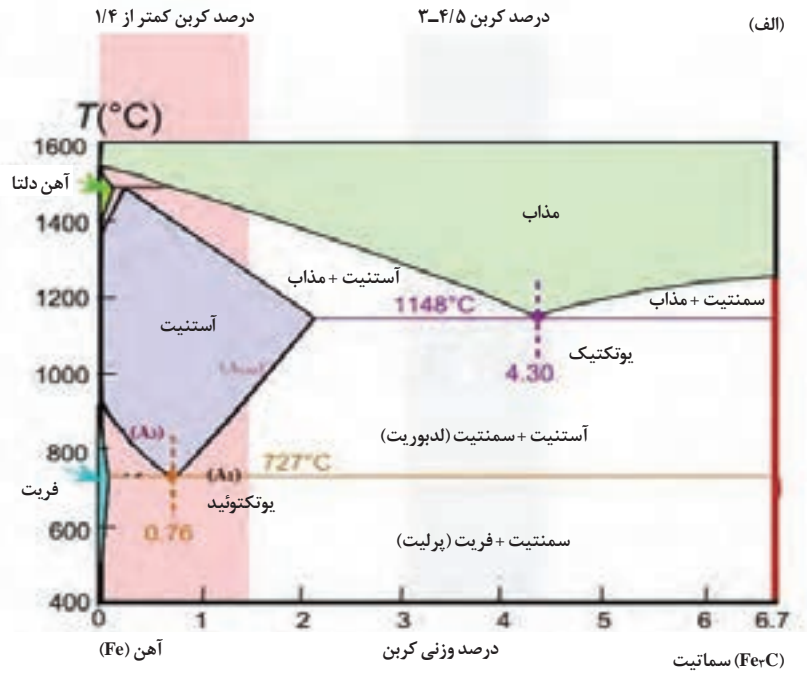
● فصل مشترک منطقه دو فازی فریت - سمانتیت و یکی از مناطق دو فازی فریت - آستنیت و یا سمانتیت - آستنیت ( $A_1$ ).

● فصل مشترک منطقه دو فازی فریت - آستنیت با منطقه تک فازی آستنیت ( $A_2$ ).

● فصل مشترک منطقه تک فازی آستنیت با منطقه دو فازی آستنیت - سمانتیت ( $A_{cm}$ ).

لازم به توضیح است که مناطق فازی در نمودار آهن - گرافیت شبیه نمودار آهن - سمانتیت بوده، تنها به جای ترکیب بین فلزی سمانتیت، گرافیت جایگزین شده است و از نظر دماها و درصد‌های وزنی کربن با یکدیگر متفاوت هستند.



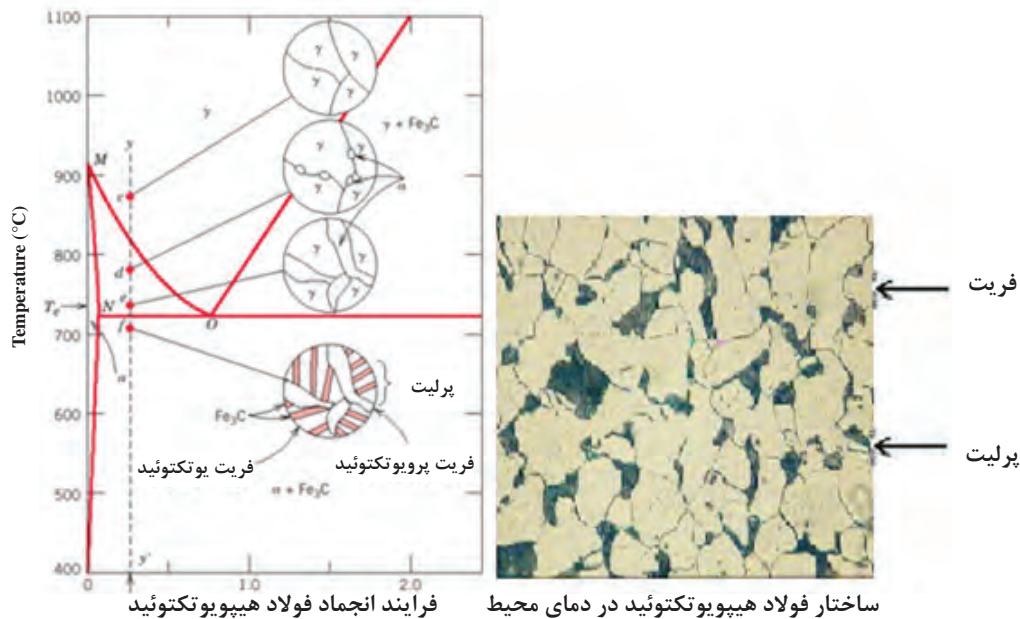


شکل ۲۶- نمودار آهن - کربن (الف) در حالت نیمه تعادلی (آهن - سمانتیت) (ب) در حالت تعادلی (آهن - گرافیت)

نمودارهای آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت، در دگرگونی‌های یوتکتیک و یوتکتوئید، چه تفاوت‌هایی از نظر درصد وزنی کربن و درجه حرارت با یکدیگر دارند؟ پس از بحث و گفت‌وگو پاسخ تحلیلی خود را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه دهید.

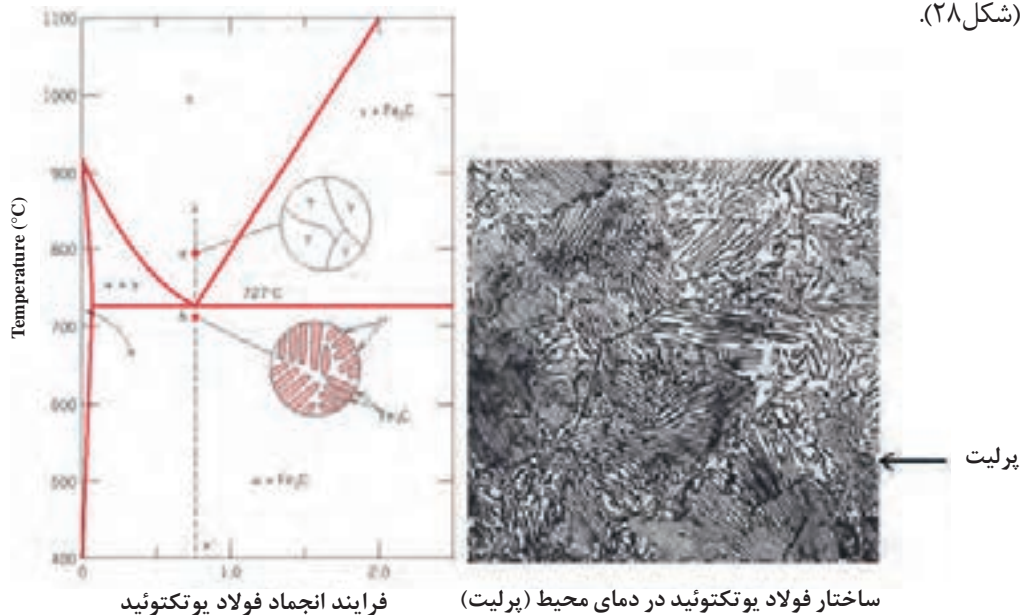


الف) فولادهای هیپویوتکتوئید: این فولادها دارای ۰/۰۲ تا ۰/۷۷ درصد کربن دارند و ساختار متالوگرافی آنها شامل فریت و پرلیت است که با افزایش درصد کربن بر میزان پرلیت اضافه شده و از فریت کاسته می‌شود. شکل (۲۷) فرایند تشکیل فازهای مختلف را در حین انجماد تعادلی نشان می‌دهد. در ساختار نهایی (دمای محیط) در زیر میکروسکوپ قسمت‌های سفید رنگ فریت و قسمت‌های تیره رنگ پرلیت مشاهده می‌شود.



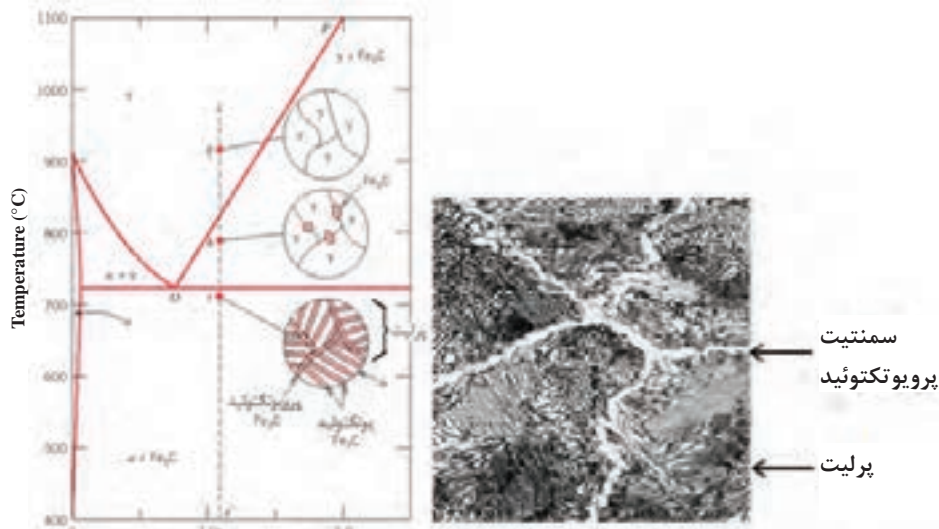
شکل ۲۷- ساختار متالوگرافی فولاد هیپویوتکتوئید

ب) فولادهای یوتکتوئید: کربن این فولاد حدود ۰/۷۷ درصد بوده و ساختار آن در دمای محیط کاملاً پرلیتی است. پرلیت در زیر میکروسکوپ در بزرگ‌نمایی‌های کم به رنگ تیره و در بزرگ‌نمایی‌های بزرگ به صورت اثر انگشت قابل مشاهده است (شکل ۲۸).



شکل ۲۸- ساختار متالوگرافی فولاد یوتکتوئید

ج) فولادهای هیپر یوتکتوئید: این فولادها دارای ۰٫۷۷ تا ۲ درصد کربن بوده و در دمای محیط دارای ساختار میکروسکوپی پرلیت و سمانتیت است که با افزایش درصد کربن بر فاز سمانتیت اضافه شده و از فاز پرلیت کاسته می‌شود (شکل ۲۹).



شکل ۲۹- ساختار متالوگرافی فولاد هیپر یوتکتوئید در دمای محیط فرایند انجماد فولاد هیپر یوتکتوئید

سه نوع فولاد ۱۰۱۰، ۱۰۴۰ و ۱۰۸۰ یا فولادهای CK15، CK45 و CK80 تهیه و بعد از آماده‌سازی مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۵



### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰۰، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی

### مراحل انجام کار:

پس از آماده‌سازی اولیه نمونه مراحل زیر را انجام دهید.  
پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه ۵/۰ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.  
نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۱، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

نکات ایمنی



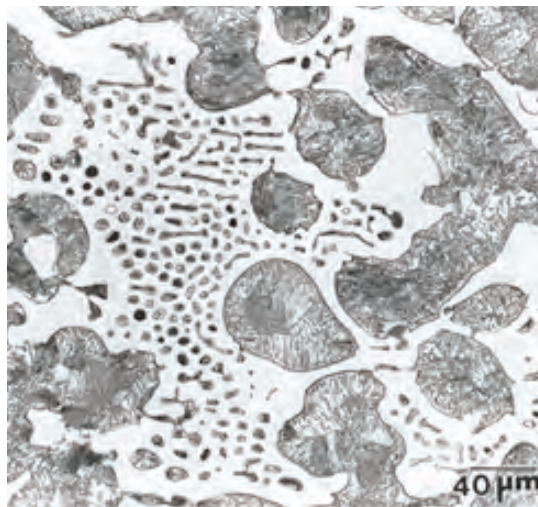
- ۱ هنگام برش نمونه‌ها با دستگاه کاتر از محافظ دستگاه استفاده شود.
- ۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان کاری، گوشه‌های تیز و برنده نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده کاری آسیبی به دست وارد نشود.
- ۳ هنگام تهیه و استفاده از محلول‌های اچ نکات ایمنی رعایت شده و باقی مانده محلول به‌طور مناسب و همراه با آب کافی دور ریخته شود.



- نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.
- ۱ فازهای موجود در نمونه‌ها را در یک بزرگ‌نمایی یکسان با رسم شکل نشان دهید؟
  - ۲ با افزایش درصد کربن در فولادها ساختار زمینه (پرلیت) چگونه تغییر می‌کند؟

## متالوگرافی چدن‌ها

**الف) چدن‌های هیپو یوتکتیک:** درصد کربن این چدن‌ها ۲ تا ۲/۳ درصد می‌باشد که در فرایند انجماد با کاهش دما از نقطه ذوب ابتدا آستنیت‌های اولیه جوانه زده و تا کمی بالاتر از دمای یوتکتیک شروع به رشد می‌کنند، سپس در اثر تحول یوتکتیک فاز مذاب باقی مانده به ساختار لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) منجمد می‌شود و همچنان با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید تمامی آستنیت‌ها به پرلیت (فریت + سمانتیت) تبدیل می‌شوند که در نهایت در دمای محیط ساختار چدن‌های هیپو یوتکتیک شامل دو فاز پرلیت (درشت و ریز) در زمینه سمانتیت می‌شود. شکل (۳۰) ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپو یوتکتیک را نشان می‌دهد. در این شکل مناطق تیره درشت آستنیت اولیه می‌باشد که در تحول یوتکتوئید به پرلیت تبدیل شده است. ساختار زمینه یوتکتیک لدبوریتی است.



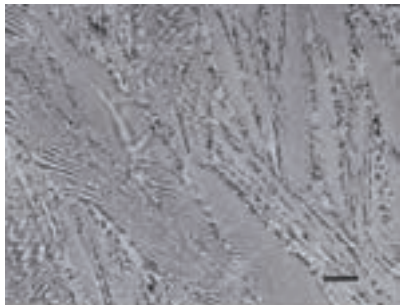
شکل ۳۰- ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپو یوتکتیک در بزرگ‌نمایی  $\times 400$

آلیاژ آهن - کربن که بیش از ۲/۰۶ درصد کربن دارند، چدن نامیده می‌شود. درصد بالای کربن و وجود عناصر آلیاژی مثل سیلیسیم باعث به وجود آمدن گرافیت در ساختار نهایی چدن‌ها می‌شود. گرافیت حالتی از کربن است که پایدارتر از سمانتیت است. با توجه به شکل، اندازه و توزیع گرافیت، چدن‌ها به انواع چدن‌های خاکستری (گرافیت لایه‌ای)، نشکن یا داکتیل (گرافیت کروی)، مالیبیل یا چکش‌خوار (گرافیت برفکی)، چدن با گرافیت فشرده (بیضی شکل) و چدن‌های خاص یا آلیاژی تقسیم‌بندی می‌شوند.

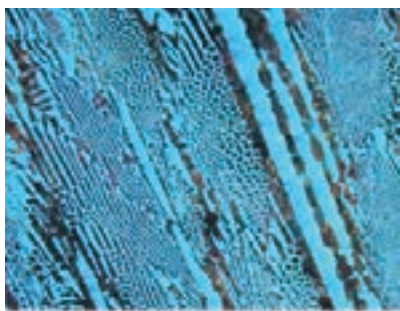
در چدن‌ها تشکیل گرافیت و سمانتیت بستگی به سرعت سرد کردن و ترکیب شیمیایی آن دارد. اگر سرعت سرد شدن هنگام انجماد و پس از آن زیاد باشد، سمانتیت به وجود می‌آید ولی اگر درصد کربن و سیلیسیم بالا و سرعت سرد شدن آهسته باشد، گرافیت به وجود می‌آید. به همین علت دو نمودار تعادلی آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت در بررسی ساختار میکروسکوپی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن - سمانتیت

در سرعت سرد شدن زیاد هنگام انجماد، سمانتیت ( $Fe_3C$ ) به وجود می‌آید و ساختار نهایی چدن مجموع‌های شامل فریت و سمانتیت است. به علت وجود فاز سفید رنگ سمانتیت در مقطع شکست، به آن چدن سفید گفته می‌شود. مطابق با نمودار آهن - سمانتیت، با توجه به وجود درصد کربن نسبت به نقطه یوتکتیک، چدن‌ها به سه دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:



شکل ۳۱- ساختار چدن یوتکتیک (لدبوریت در بزرگ‌نمایی  $\times 800$ )



شکل ۳۲- ساختار چدن هیپریوتکتیک (سمنتیت پرویوتکتیک در زمینه لدبوریت)

ب) چدن یوتکتیک: این چدن دارای حدود  $4/3$  درصد کربن بوده و در فرایند انجماد از نقطه ذوب در اثر تحول یوتکتیک تمامی فاز مذاب به لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) تبدیل می‌شود و با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید فاز آستنیت به پرلیت تبدیل می‌شود و در نهایت در دمای محیط ساختار چدن یوتکتیک شامل فازهای پرلیت (ریز) در زمینه سمانتیت می‌شود (شکل ۳۱).

ج) چدن‌های هیپر یوتکتیک: درصد کربن این چدن‌ها مطابق نمودار آهن - سمانتیت از  $4/3$  تا  $6/67$  است. در فرایند انجماد از نقطه ذوب ابتدا تیغه‌های سمانتیت جوانه زده و شروع به رشد می‌کنند و با کاهش دما در اثر تحول یوتکتیک مذاب باقی مانده به لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) منجمد می‌شود و همچنان با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید فاز آستنیت به پرلیت (فریت + سمانتیت) تبدیل می‌شوند و در نهایت در دمای محیط چدن شامل فاز پرلیت (ریز) به همراه تیغه‌های سمانتیت در زمینه سمانتیت می‌شود. شکل (۳۲) ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپریوتکتیک را نشان می‌دهد در این شکل سمانتیت اولیه (نواحی سفید رنگ و طویل) همراه با یوتکتیک لدبوریتی کاملاً مشخص است.

نمونه‌هایی از چدن با مقاطع نازک تهیه کرده قبل و بعد از اچ مورد مطالعه میکروسکوپی قرار دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۶



### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های  $120$  تا  $2000$ ، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک‌کن نمونه، وسایل ایمنی آزمایشگاهی

### مراحل انجام کار:

- ۱ پس از تهیه قطعات چدنی با ضخامت‌های نازک و آماده‌سازی نمونه‌ها شامل سوهان کاری و سنباده کاری مراحل زیر را به ترتیب انجام دهید.
- ۲ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه  $0.5$  میکرون (با ترکیب  $50$  گرم پودر در  $500$  میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
- ۳ نمونه‌ها را بعد از پولیش با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید.
- ۴ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و بعد از شستن و خشک کردن در زیر میکروسکوپ از نظر فازی مورد بررسی قرار دهید.
- ۵ نتایج را به همراه پاسخ پرسش در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.



- ۱ هنگام تهیه نمونه توسط ضربه زدن، از پرتاب شدن قطعات شکسته شده ممانعت گردد.
- ۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان کاری، گوشه‌های تیز و برنده نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده کاری آسیبی به دست وارد نشود.
- ۳ جهت براده‌برداری سطوح قطعات از سنگ سنباده استفاده نشود.



چه تفاوت‌هایی بین ساختار میکروسکوپی چدن سفید در حالت بدون اچ و اچ شده وجود دارد؟

**ج) چدن‌های هیپریوتکتیک:** درصد کربن این چدن‌ها بیشتر از ۴/۳ درصد بوده که در فرایند انجماد ابتدا گرافیت‌های درشت و خشن از مذاب رسوب کرده که به گرافیت کیش معروف هستند و در ادامه فرایند انجماد در اثر تحول یوتکتیک مذاب باقی مانده به آستنیت و گرافیت یوتکتیک تبدیل می‌شود و در نهایت با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید آستنیت به فریت و گرافیت تبدیل می‌شود. شکل (۳۴) ساختار میکروسکوپی نوعی از این چدن در حالت پولیش شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳- ساختار چدن هیپریوتکتیک (فریت به همراه گرافیت لایه‌ای)



شکل ۳۴- ساختار میکروسکوپی چدن هیپریوتکتیک (کیش گرافیت و گرافیت ریز در زمینه فریت)

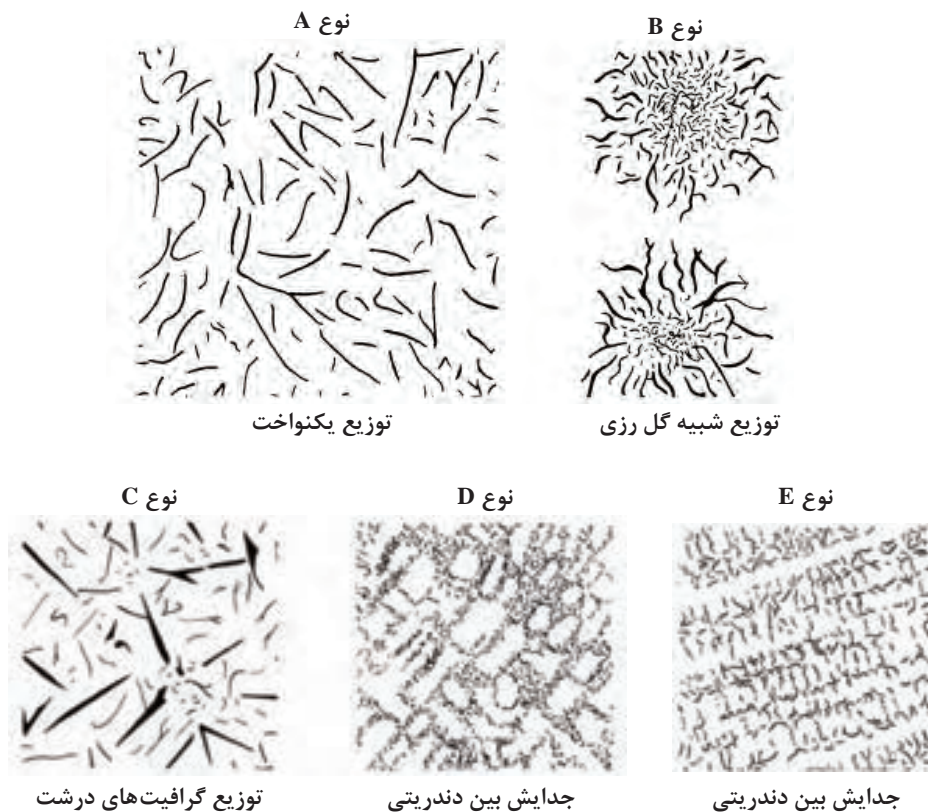
### ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن - گرافیت

مطابق نمودار آهن - گرافیت در صورتی که سرعت سرد شدن مذاب چدن بسیار آهسته باشد فرصت کافی جهت رسوب کربن به صورت گرافیت فراهم شده و تشکیل گرافیت در ساختار چدن امکان‌پذیر می‌شود. به این دلیل که مقطع شکست آنها به رنگ خاکستری است که به چدن‌های خاکستری معروف هستند. در این چدن‌ها، قابلیت ماشین کاری، جذب ارتعاش و شوک‌های حرارتی افزایش می‌یابد. این چدن‌ها نیز با توجه به ترکیب شیمیایی و درصد کربن موجود به سه دسته تقسیم‌بندی می‌شوند که عبارت‌اند از:

**الف) چدن‌های هیپویوتکتیک:** درصد کربن این چدن‌ها ۲ تا ۴/۳ درصد بوده و فرایند انجماد آنها با جدا شدن دندریت‌های آستنیت اولیه از مذاب شروع می‌شود. که با کاهش دما در اثر تحول یوتکتیک مذاب باقی مانده به گرافیت و آستنیت یوتکتیک (ساختار یوتکتیک) تبدیل می‌شود و همچنین با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید تمامی آستنیت‌ها به فریت و گرافیت تبدیل می‌شوند. شکل (۳۳) ساختار چدن هیپویوتکتیک بعد از پولیش نشان داده شده است.

**ب) چدن یوتکتیک:** درصد کربن این چدن در حدود ۴/۳ بوده و انجماد این چدن در دمای ۱۱۵۳ درجه سلسیوس با فرایند تبدیل مذاب به آستنیت و گرافیت در اثر تحول یوتکتیک شروع می‌شود و در ادامه با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید آستنیت نیز به فریت و گرافیت تبدیل می‌گردد.

در چدن‌های خاکستری جهت مطالعه نوع، اندازه، نحوه پخش، پراکندگی و شکل گرافیت‌ها از نمونه‌های پولیش شده بدون اچ در بزرگ‌نمایی ۱۰۰ برابر استفاده می‌شود و جهت بررسی فازهای تشکیل شده آنها را در محلول‌های مناسب اچ و در بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده می‌کنند. شکل گرافیت در چدن‌های خاکستری به صورت ورقه‌ای بوده و با توجه به درصد کربن معادل و سرعت سرد شدن در شکل‌های مختلف دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۳۵).



شکل ۳۵- انواع توزیع و شکل گرافیت‌های لایه‌ای در چدن‌های خاکستری

نمونه‌هایی از چدن خاکستری با مقاطع ضخیم تهیه و آماده‌سازی کرده و در حالت قبل و بعد از اچ مورد مطالعه میکروسکوپی قرار دهید. ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها را قبل و بعد از اچ در بزرگ‌نمایی یکسان بررسی و به صورت شماتیک در گزارش کار ترسیم کرده و تحویل هنرآموز دهید.

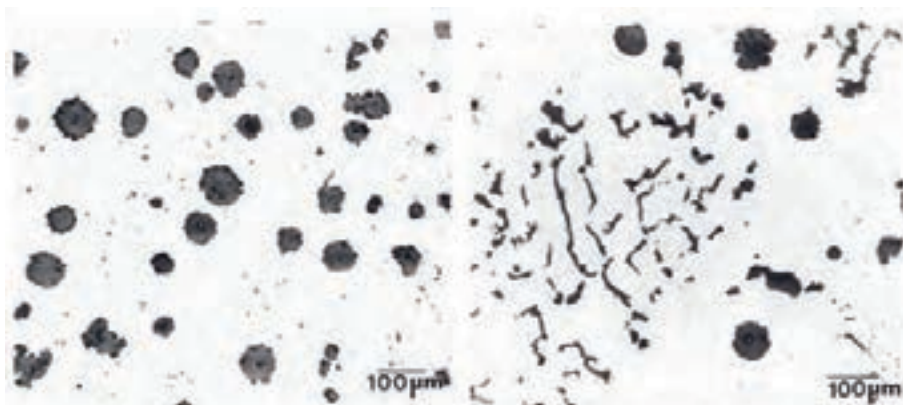
### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰۰، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک‌کن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی.



### ساختار میکروسکوپی چدن داکتیل (نشکن)

در چدن‌های داکتیل، گرافیت به صورت کروی شکل وجود دارد و به همین دلیل به این چدن‌ها، چدن با گرافیت کروی نیز گفته می‌شود. ترکیب شیمیایی چدن‌های داکتیل مشابه چدن‌های خاکستری بوده و کربن معادل آنها معمولاً بالا است. درصد وزنی گوگرد در این چدن‌ها باید در حد بسیار پایین باشد. توزیع گرافیت‌ها از طریق شمارش آنها در هر میلی‌متر مربع تعیین می‌شود. استاندارد ASTM A247 هفت نوع از توزیع گرافیت کروی را دسته‌بندی کرده است. چدن‌های داکتیل از استحکام بالاتری نسبت به چدن‌های خاکستری برخوردار بوده ولی ضریب انتقال حرارت آنها پایین‌تر است. شکل (۳۶) ساختارهای میکروسکوپی چدن‌های داکتیل در حالت پولیش شده را نشان می‌دهد.

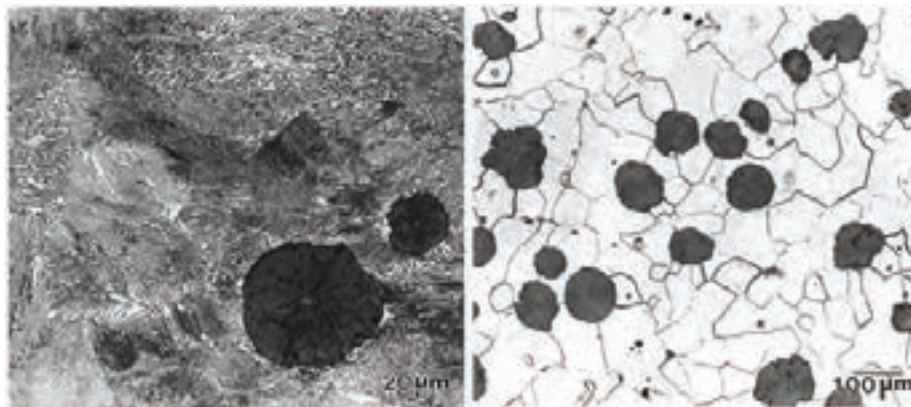


چدن داکتیل با بیشتر از ۹۰ درصد کروی شدن

چدن داکتیل با کمتر از ۲۰ درصد کروی

شکل ۳۶- ساختارهای میکروسکوپی چدن‌های داکتیل بدون اچ  $\times 100$

شکل‌های ۳۷ ساختارهای این چدن‌ها را در حالت اچ شده نشان می‌دهد. ساختار زمینه می‌تواند کاملاً فریتی و یا فریتی پرلیتی باشد. غالباً اطراف گرافیت‌های کروی را فاز فریت احاطه می‌کند که به این ساختار چدن داکتیل اصطلاحاً چشم گاوی گفته می‌شود.



چدن داکتیل پرلیتی

چدن داکتیل فریتی

شکل ۳۷- ساختار چدن داکتیل با زمینه پرلیتی و فریتی





نمونه‌هایی از چدن داکتیل تهیه کرده و در زیر میکروسکوپ نوری در حالت قبل و بعد از اچ مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

### وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

اره یا دستگاه کاتر، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰۰، محلول اچ مناسب، دستگاه خشک کن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی.

### مراحل انجام کار:

- ۱ تهیه قطعات چدن داکتیل (ذوب کردن شمش چدن خاکستری گوگرد زدایی شده، افزودن ۱-۲ درصد فروسیلیسیم منیزیم به روش فروری، آخال و سرباره زدایی با سلاکس، ذوب ریزی در قالب‌های ماسه‌ای یا  $CO_2$  پوشش داده شده با پودر گرافیت)
- ۲ بریدن نمونه‌ها به وسیله اره دستی یا کاتر در اندازه ۲-۱/۵ سانتی متر از مقاطع مختلف قطعه ریختگی (نمونه‌ها را می‌توان به‌جای بریدن به‌وسیله ضربه و شکستن نیز تهیه کرد).
- ۳ آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از سوهان کاری و سنباده کاری
- ۴ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون  $Al_2O_3$  با اندازه دانه ۵/۰ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
- ۵ نمونه‌ها را بعد از پولیش با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید.
- ۶ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و بعد از شستن و خشک کردن در زیر میکروسکوپ از نظر فازی مورد بررسی قرار دهید.
- ۷ ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها را قبل و بعد از اچ در بزرگ‌نمایی یکسان بررسی و به‌صورت شماتیک در گزارش کار رسم کنید.

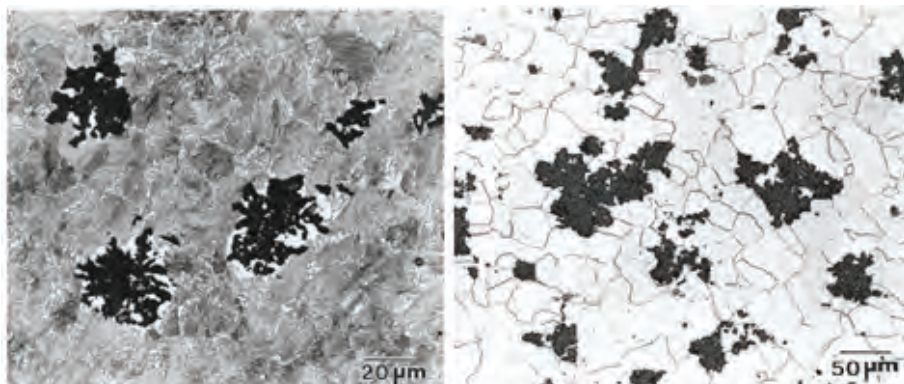
برای افزودن فروسیلیسیم منیزیم از خوراک‌دهنده با درپوش مناسب استفاده کنید تا مانع پخش مذاب به اطراف شود.



### ساختار میکروسکوپی چدن مالیبیل (چکش خوار)

چدن‌های مالیبیل از عملیات حرارتی چدن‌های سفید به‌دست می‌آیند. در چدن‌های سفید کربن به‌صورت گرافیت آزاد نبوده بلکه در ترکیب با آهن (Fe) فاز میانی  $Fe_3C$  را تشکیل می‌دهد. بر اساس ترکیب شیمیایی، زمان عملیات حرارتی، درجه حرارت سیکل عملیات حرارتی آنیل، چدن‌های مالیبیل را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم‌بندی کرد که عبارت‌اند از چدن‌های مالیبیل فریتی و چدن‌های مالیبیل پرلیتی.

چدن‌های مالیبیل دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به چدن‌های خاکستری هستند. شکل (۳۸) چدن مالیبیل نوع فریتی و پرلیتی را بعد از اچ نشان می‌دهد.



چدن مالیبیل پرلیتی

چدن مالیبیل فریتی

شکل ۳۸- چدن مالیبیل فریتی و پرلیتی بعد از اچ  $\times 200$

نمونه‌هایی از چدن مالیبیل تهیه کرده و در زیر میکروسکوپ قبل و بعد از اچ در بزرگنمایی یکسان مورد بررسی قرار دهید و به صورت شماتیک در گزارش کار رسم کنید.

فعالیت  
کارگاهی ۹



## ارزشیابی پایانی

<p><b>نقشه کار: انجام آزمایش‌های متالوگرافی</b>  <b>شاخص عملکرد:</b> ۱- تهیه نمونه ۲- آماده سازی سطح ۳- اچ کردن ۴- شناسایی ساختار</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b></p> <p>۱- انجام کار در محیط آزمایشگاه متالورژی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهیه استاندارد و دمای <math>20 \pm 3^\circ \text{C}</math></p> <p>۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۹۰ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> سنباده - محلول اچ - مواد مانت - خمیر الماسه و نمد پولیش - الکل - آب مقطر - سنگ تراش - تیغه کاتر - سنگ ساب - پودر آلومینا - پودر منیزیم اکسید</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b></p> <p>دستگاه برش - دستگاه سنگ - دستگاه مانت - دستگاه پولیش - میکروسکوپ - دستگاه خشک کن و شیشه ساعت</p>			
<p><b>نمونه و نقشه کار:</b></p> <p>۱- برشکاری نمونه در ابعاد مورد نظر، تمیزکاری و سنگ زدن سطح نمونه به طرز صحیح و در صورت نیاز مانت کردن</p> <p>۲- سنباده زدن سطح نمونه با استفاده از سنباده‌های خشن تا نرم به طوری که اثر سنباده قبلی از بین رفته باشد و سپس پولیش کردن نمونه با استفاده از دستگاه پولیش و مواد ساینده مانند پودر آلومینا <math>\text{Al}_2\text{O}_3</math></p> <p>۳- آماده کردن محلول اچ متناسب با جنس فلز و اچ کردن نمونه در زمان مشخص توسط محلول اچ و سپس شست‌وشو با الکل و آب مقطر و خشک کردن</p> <p>۴- کار با میکروسکوپ نوری جهت مشاهده دانه‌بندی و ساختار میکروسکوپی نمونه از لحاظ تشخیص فازهای موجود و در صورت نیاز تهیه عکس</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	نمونه‌برداری	۱	
۲	آماده‌سازی سطح	۲	
۳	اچ کردن	۲	
۴	بررسی ساختار	۲	
<p><b>شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:</b></p> <p>۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار</p> <p>۲- مسئولیت‌پذیری</p> <p>۳- مدیریت مواد و تجهیزات</p> <p>۴- استفاده از لباس کار و کفش ایمنی و عینک محافظ</p> <p>۵- تمیز کردن وسایل محیط کار</p>			
	<b>میانگین نمرات</b>		*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می‌باشد.</p>			



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

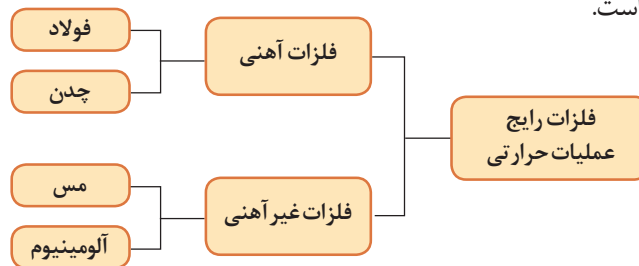
## عملیات حرارتی

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

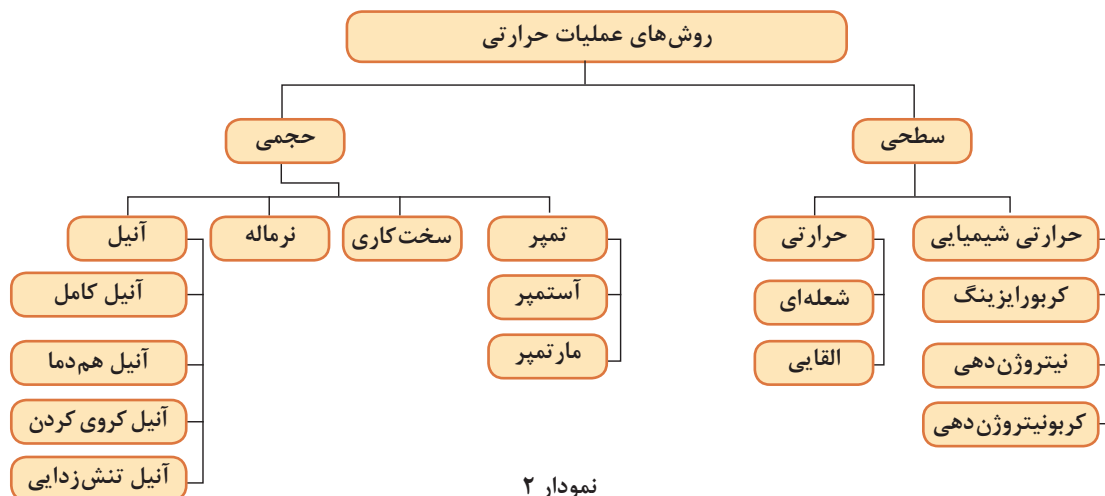
### اهداف عملیات حرارتی:

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.



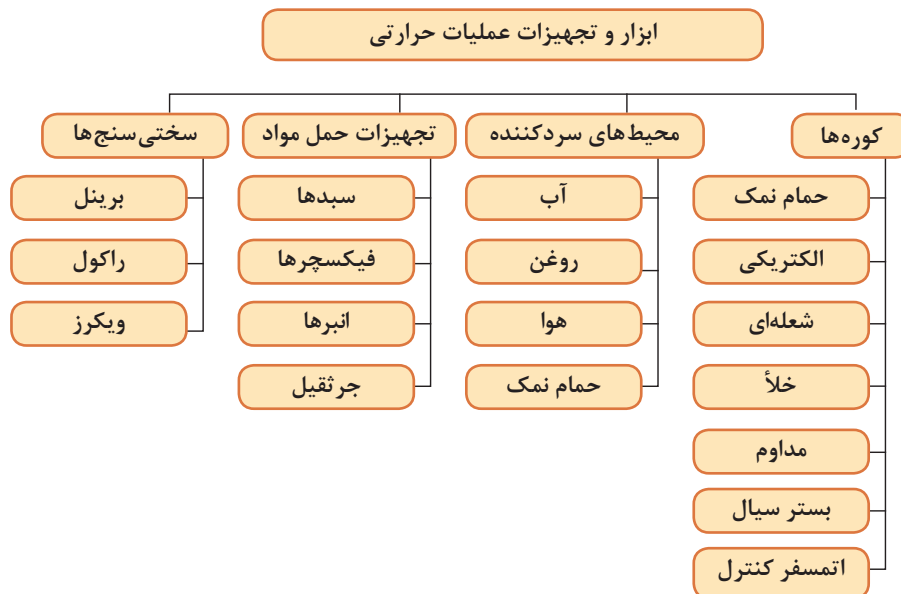
نمودار ۲

## 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 ۱-ج و ۱-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.

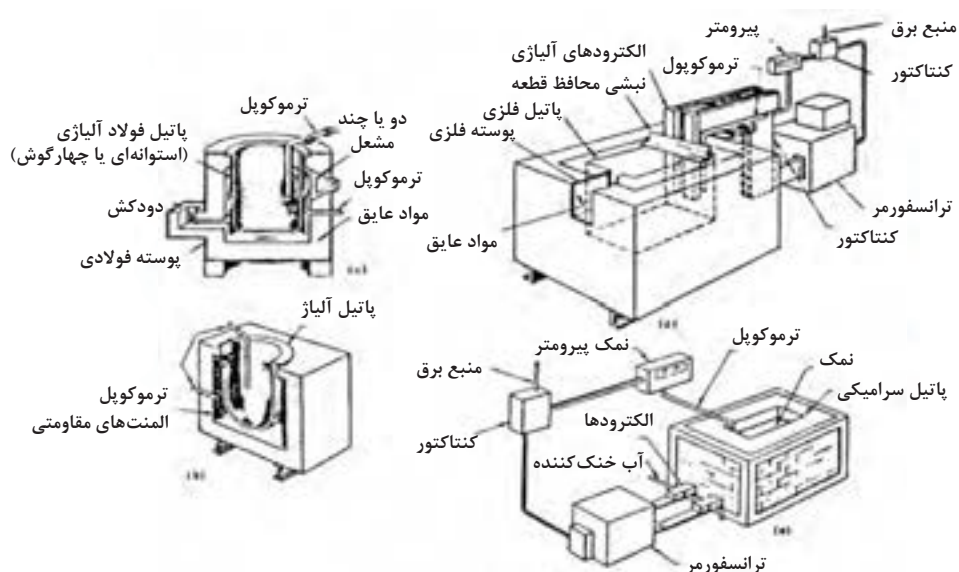
**۱ کوره‌های حمام نمک:** در ساده‌ترین حالت این کوره‌ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطه ذوب پایین و المنت‌های حرارتی غوطه‌ور در آن هستند. این نوع حمام‌ها فقط برای محدوده حرارتی ( $345^{\circ}\text{C} - 175$ ) به کار برده می‌شوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته‌تری لازم است. شکل ۱-الف 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 ۱-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 ۱ 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 ۱- 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 ۲ نمونه‌هایی از کوره‌های الکتریکی عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



الف



ب

شکل ۲- انواع کوره‌های الکتریکی، الف) بدون فن، ب) فن دار



شکل ۳- 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 ۳ نمونه‌ای از این کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۴- 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 ۴ 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 ۵ نمونه‌ای از این نوع کوره را نشان می‌دهد.



شکل ۵- 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 ۶ نمونه‌ای از این کوره را نشان می‌دهد.

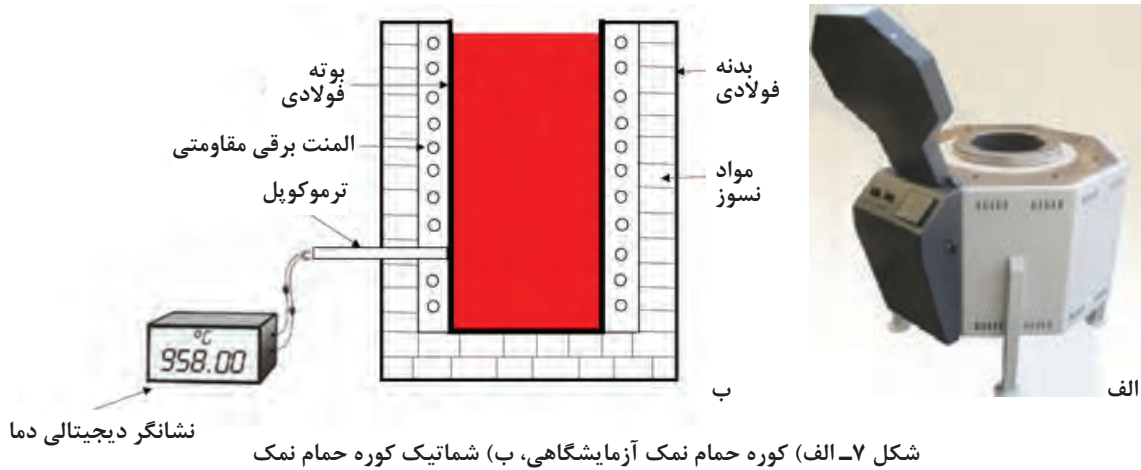


شکل ۶- کوره عملیات حرارتی مداوم

## کوره حمام نمک آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

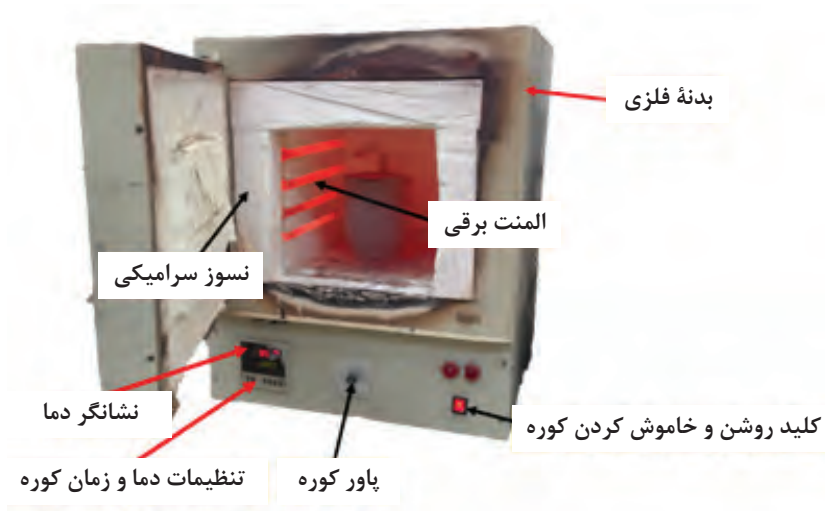
- ۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سلسیوس؛
  - ۲ اتمسفر کوره: معمولی؛
  - ۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛
  - ۴ سیستم کنترل دما: دیجیتالی، در اکثر کوره‌های عملیات حرارتی دما توسط ترموکوپلی که داخل کوره با یک غلاف قرار داده شده است، اندازه‌گیری شده و در یک صفحه دیجیتال نشان داده می‌شود.
  - ۵ سیستم کنترل زمان: دستی
- شکل ۷ 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 ۸ قسمت های مختلف یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی را نشان می دهد.



شکل ۸- 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 ۹ مخزن آب را نشان می‌دهد.



شکل ۹- 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 ۱۰ مخزن روغن برای سریع سرد شدن قطعات را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- مخزن روغن

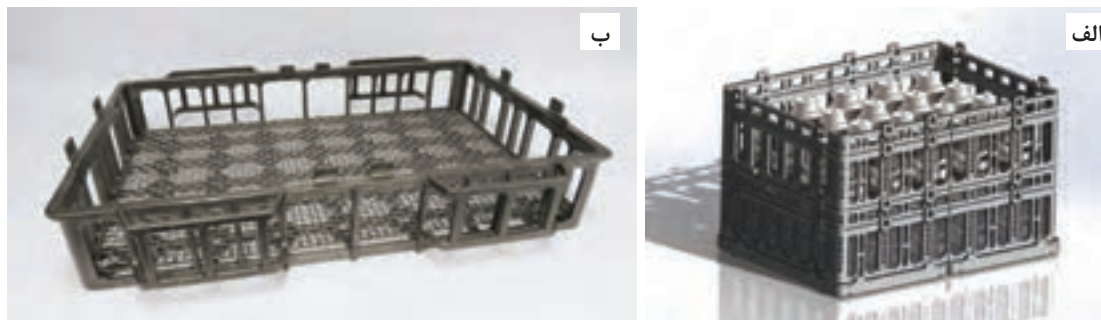
**هوا:** یکی از مهم‌ترین محیط‌های خنک‌کننده هوا است. زیرا این محیط کمترین شوک حرارتی را به قطعه وارد کرده و تاب برداشتن قطعات را به حداقل می‌رساند. قطعات با ضخامت کم از جنس فولادهای کم آلیاژ و یا قطعات با ضخامت متوسط از جنس فولادهای آلیاژی با سختی پذیری بالا را می‌توان در هوا سخت کرد.

### 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 ۱۱ 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 ۱۱- 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 براساس 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 مالیل	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 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 ۲۰ HRC و یا بیشتر از ۷۰ HRC 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 (۶۵۰ BHN) 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:

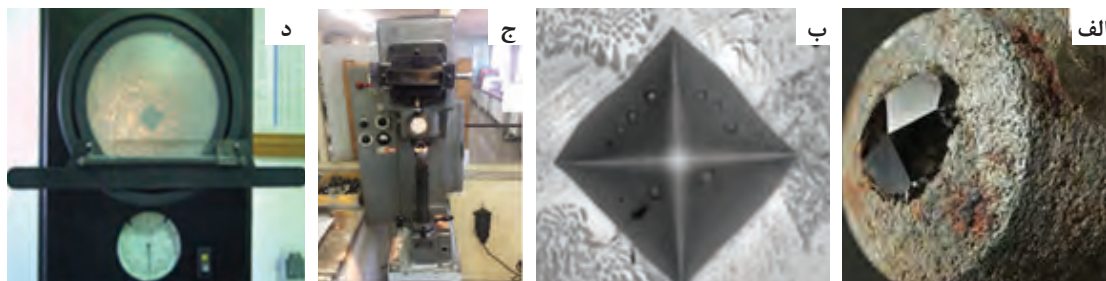
۱ نمونه‌هایی از چدن، آلومینیوم و مس را انتخاب کرده و طبق اصول کامل برای سختی‌سنجی سطوح آن را برای سختی‌سنجی آماده کنید.  
نکته مهم:

- 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 جدول‌هایی 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 ۱۲ 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 ۱۲- 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، 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.

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

## عملیات حرارتی سخت کاری

به نظر شما چرا قطعات را سخت کاری می کنند؟

پرسش

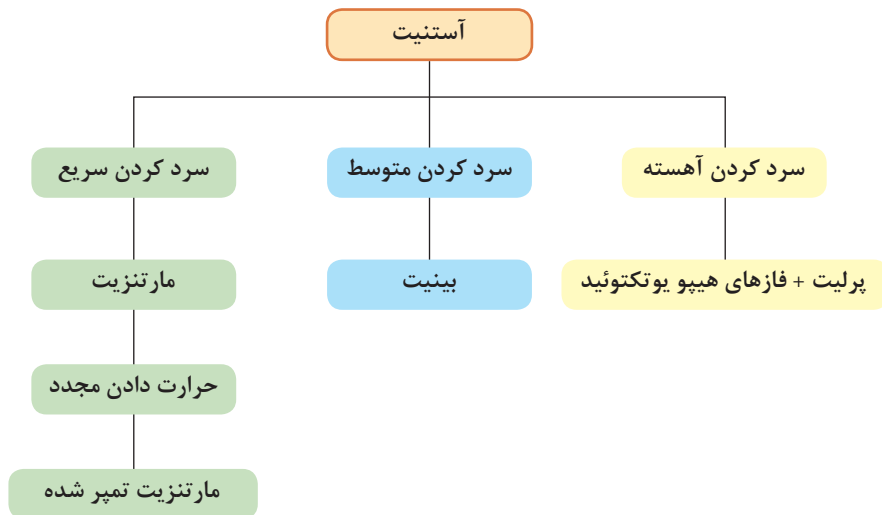


در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به موادی با خواص مکانیکی بالا است. جهت رسیدن به خواص مورد نیاز طراح باید قطعه را تحت یک عملیات حرارتی قرار دهد تا به خواص مکانیکی مورد نظر برسد. در این گونه موارد عملیات سخت کردن و رسیدن به ساختارهای غیر تعادلی مورد نیاز است. در جدول ۴ بعضی از قطعات که تحت سخت کاری حجمی قرار گرفته اند را نشان می دهد.

جدول ۴- 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 دایکاست
افزایش تحمل بارگذاری های سنگین.		فنر تخت اتومبیل
افزایش استحکام برشی تیغه ها		تیغه گیوتین
افزایش سختی و استحکام پیچشی		قلاویز

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.

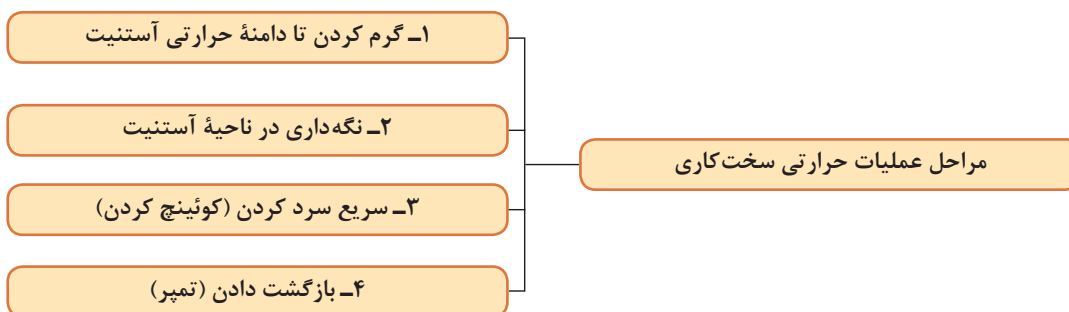


نمودار ۴- تأثیر سرعت سرد کردن بر ریز ساختارهای به دست آمده از آستنیت

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.

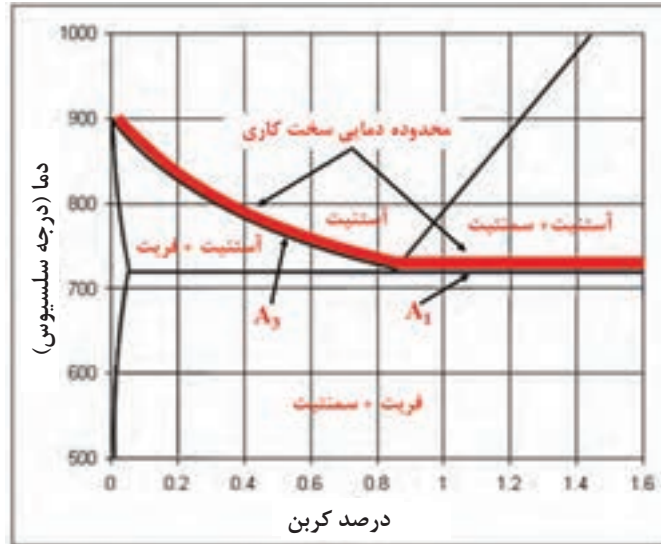
### مراحل عملیات سخت کاری

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 ۵۰-۳۰ درجه سلسیوس بالای خط  $A_3$  و برای فولادهای هیپریوتکتوئید حدود ۷۰-۵۰ درجه سلسیوس بالای خط  $A_1$  است. در شکل ۱۳ محدوده دمایی سخت کاری برای فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید نشان داده شده است.



شکل ۱۳- 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 گردش هوا 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 ۱۴ 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 ۱۴- 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 ۱۵- انواع چیدمان قطعات در سبدها و روی صفحه فولادی



## ۲ قرارگیری سبد قطعات در مقابل در کوره



شکل ۱۶- قرارگیری سبد حاوی قطعات جلوی در کوره

## ۳ قرارگیری سبد داخل کوره



ب



الف

شکل ۱۷- 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

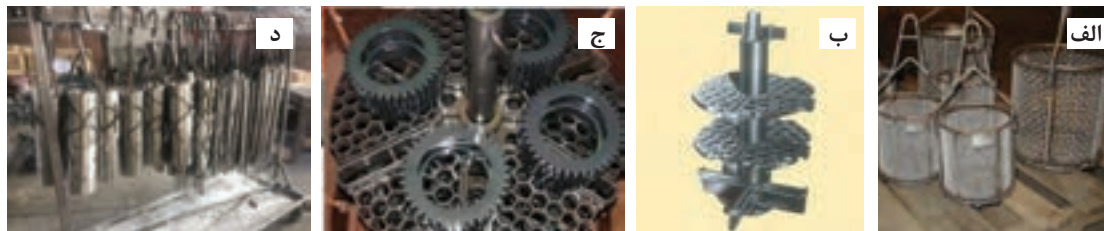
## نحوه قرار دادن قطعات در کوره‌های حمام نمک

**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 بوت‌ها 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 بوت‌ها 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 ۱۸ انواع روش‌های وارد کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸- الف) سبد فلزی، ب) نگهدارنده، ج) قرار دادن قطعات روی نگهدارنده، د) سیم‌بندی قطعات



شکل ۱۹- کوره پیش گرم 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 پیش گرم شوند. برای پیش گرم کردن قطعات از کوره‌های پیش گرم با دمای حدود ۴۵۰ - ۳۰۰ درجه سلسیوس استفاده می‌کنند. شکل ۱۹ یک نوع کوره پیش گرم قطعات را نشان می‌دهد.



شکل ۲۰- وارد کردن قطعات سیم‌بندی شده در حمام نمک

**۳ وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک** سبدها، نگهدارنده‌ها و قطعات سیم‌بندی شده پس از پیش گرم شدن برای آستنیت‌ه کردن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند و مطابق شکل ۲۰ 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 ۲۱ هم‌دما شدن قطعات در کوره حمام نمک و کوره الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱- 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 ۲۲ 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 ۲۲- روش های مختلف خارج کردن قطعه از کوره

### نحوه وارد کردن قطعات به محیط سردکننده

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

پرسش



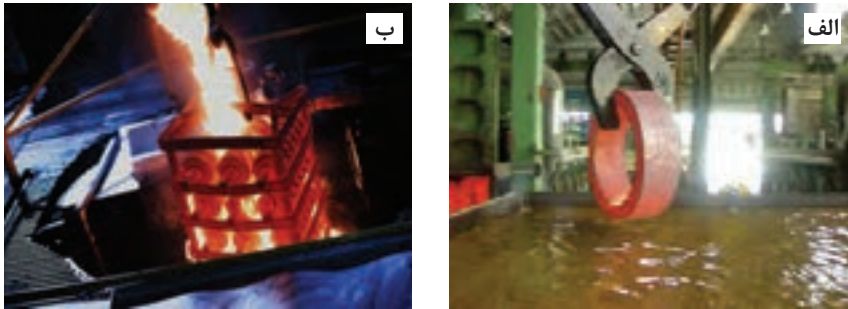
بعد از خارج کردن قطعات از کوره، باید بلافاصله وارد محیط خنک کننده شوند. ولی باید چند نکته در هنگام وارد کردن قطعات به محیط مورد نظر مورد توجه قرار گیرد.

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



شکل ۲۳- 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 ۲۴ انتخاب کرده 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 ۲۴- 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 ۲۵ به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کنید.



شکل ۲۵- 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 ۱ cm 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 خنک‌کننده برای یکنواختی محیط خنک‌کننده 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 می‌شود؟

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 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 به صورت معلق در داخل آنها قرار داده می‌شود. شکل ۲۶ نمونه‌ای از تمپر کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶- تمپر کردن قطعات

### تمپر کردن قطعات سخت کاری 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 سخت کاری شده در محیط‌های سردکننده متفاوت

#### مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفره، هر گروه یک نمونه از فولادهای سخت کاری شده جلسه قبل که در محیط‌های هوا، آب، آب نمک و روغن سرد شده بودند را انتخاب کنند. و آزمایش را طبق اصول ایمنی آزمایش‌های 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 نمونه‌های سخت کاری شده در محیط‌های متفاوت را در داخل کوره روی صفحه مشبک قرار دهید.
- ۳ پس از قرار دادن نمونه‌ها داخل کوره در کوره را بسته و زمان تمپر کردن را اعمال کنید و تمامی نمونه‌ها 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)

فعالیت کارگاهی ۹



### 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				



- 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 ۲۷ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت کاری سطحی قرار می گیرند را نشان می دهد.



شکل ۲۷- 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 کتاب همراه 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

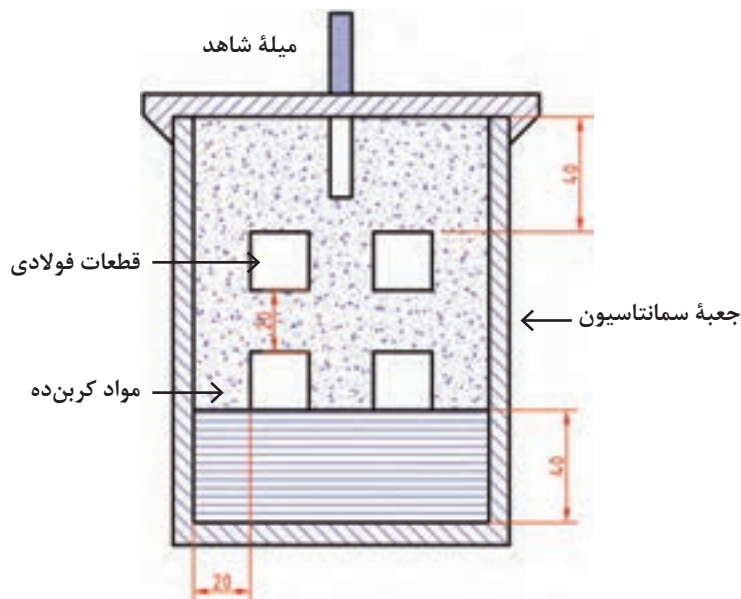
### نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

ابتدا مقداری از مخلوط مواد کربن ده وانرژی‌زا را مطابق شکل ۲۸ 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.

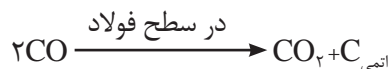
کار میله شاهد در شکل ۲۸ در جعبه سمانتاسیون تعیین عمق نفوذ کربن است. قطر میله شاهد بین ۶ تا ۱۰ میلی‌متر است و جنس آن می‌تواند از همان فولادی باشد که قرار است کربن‌دهی گردد. در غیر این صورت می‌توان از فولادهای ساختمانی کربنی استفاده کرد. بعد از پایان زمان مقرر کربوراسیون، میله شاهد خارجی را از جعبه سمانتاسیون خارج کرده و سپس آن را سخت می‌کنند و عمق نفوذ کربن را به دست می‌آورند.



شکل ۲۸- 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، انبر، وان خنک کننده، سختی سنجی ۵ زغال چوب
- ۶ نمونه‌های مورد آزمایش، 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 سمانته 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.

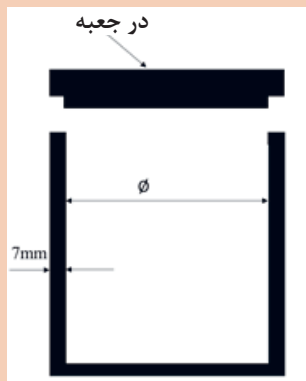
۳ مواد انرژی‌زا را که به صورت نمک بوده با توجه به جدول وزن کرده و آنها را خرد کنید و به صورت پودر درآورید.

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 ۲۹ به شکل استوانه‌ای (لوله) از جنس فولاد کم کربن (St۳۷) را با توجه به ابعاد کوره موجود در آزمایشگاه تهیه کنید.

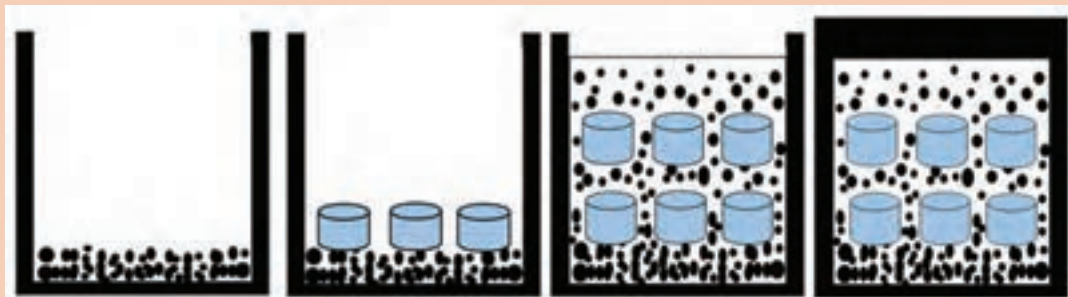
۶ مقداری از ترکیب مواد کربن ده را داخل جعبه سمانته ریخته و به ارتفاع ۲cm از کف جعبه تحت کوبش قرار دهید.

۷ نمونه‌های مورد نظر را در سطح متراکم شده داخل جعبه به فاصله حدود ۲cm 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)

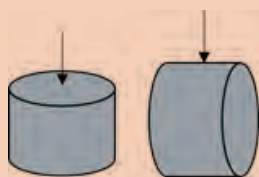


شکل ۲۹- تصویر جعبه سمانتاسیون

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 سختی
مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح		

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 باریوم 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 ۳۰ نمونه‌ای از کربوره کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.

نکته



شکل ۳۰- کربوره کردن مایع در حمام نمک

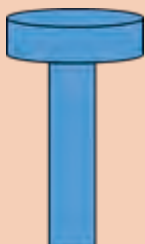
### کربوره کردن مایع در کوره حمام نمک

#### 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 بالا 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 ۳۱- 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 ( $\text{CH}_4$ ) و یا پروپان ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ) 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 کربن مونواکسید هستند. بنابراین همانند روش‌های جامد و مایع در این روش نیز عامل فعال کربن مونواکسید می‌باشد. شکل ۳۳ کوره کربورایزینگ گازی را نشان می‌دهد.

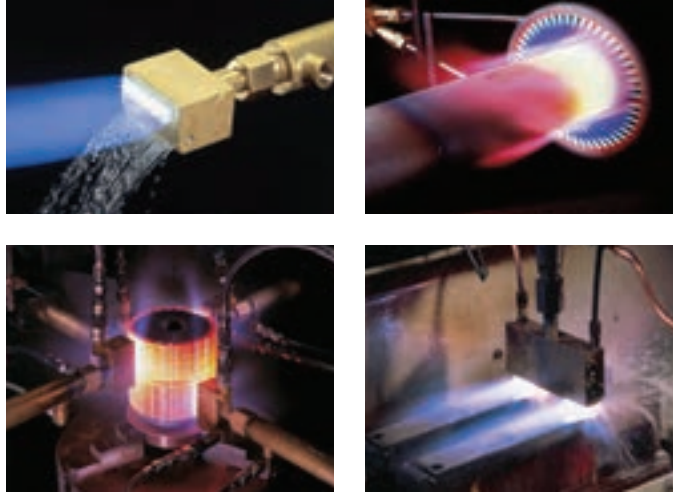
**نیتريده کردن:** نیتريده کردن عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد. بنابراین سختی سطح در این روش بستگی به نیتريد فلزی تشکیل شده دارد. قطعات فولادی را که به این روش می‌توان سخت کرد دارای عناصر آلیاژی نظیر آلومینیوم، کرم، مولیبدن و یا وانادیم باشد. عناصر فوق به محض تماس پیدا کردن با 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  $550^\circ\text{C}$  تا  $650^\circ\text{C}$  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 ۳۲).

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستنیت‌شدن 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 ۳۲- 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.

فعالیت  
کارگاهی ۱۲



### 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 ۳۳ نحوه گرم کردن چرخ دنده‌ها توسط کوپل به وسیله القا را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳- سخت کردن چرخ دنده به روش القا

## ارزشیابی پایانی سخت کاری حجمی

<p><b>شاخص عملکرد:</b>          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>          ۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>3 \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>          کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سبد فلزی نسوز - گاری - جرثقیل - دستگاه اندازه گیری سختی یونیورسال  <b>نمونه و نقشه کار:</b>          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>          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>		*

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

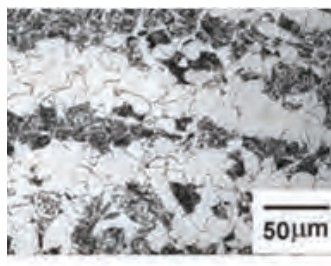
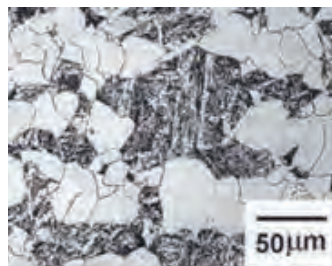
## ارزشیابی پایانی سخت کاری سطحی

<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>		
	<p><b>میانگین نمرات</b></p>		
			*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			



## پودمان چهارم

### عملیات حرارتی آنیل و نرماله



## واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی آنیل

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

## استاندارد عملکرد کار

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

## پیش‌نیاز

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



برای افزایش قابلیت ماشین کاری قطعات چه راهکاری پیشنهاد می‌کنید؟

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

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

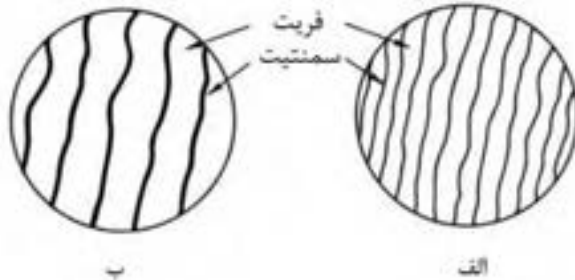
### آنیل فولادها

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

که هر کدام از فرایندها توضیح داده خواهد شد.

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

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



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

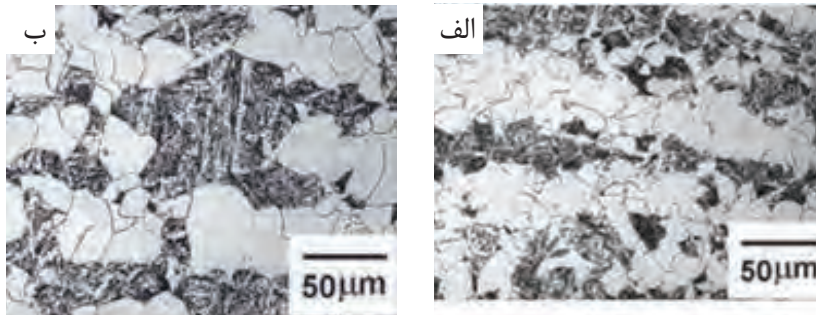


شکل ۱- محدوده دمایی آنیل کامل در فولادها (منطقه خاکستری رنگ)

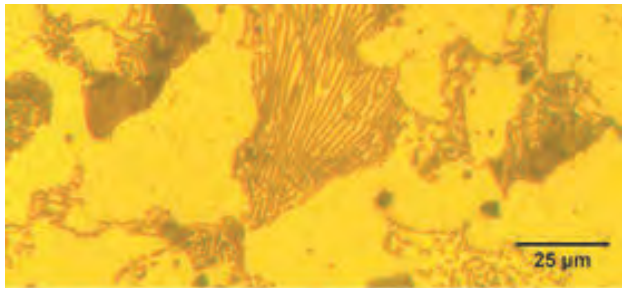
ولی با توجه به اینکه عناصر آلیاژی روی دمای آنیل کامل تأثیر می گذارند بهتر است برای انتخاب دمای آنیل از جدول های سازنده فولاد با ترکیب شیمیایی معین استفاده شود. هدف از انجام این فرایند بهبود قابلیت ماشین کاری و مقاومت به ضربه فولاد با ایجاد یک زمینه یکنواخت فریتی به همراه پرلیت ضخیم است. در واقع در فرایند آنیل کامل پرلیت ریز به پرلیت خشن یا درشت تغییر پیدا می کند و میزان فريت افزایش می یابد. در شکل (۲) تصاویری از ریزساختار فولاد کربن متوسط ( $1040$ ) قبل و بعد از عملیات آنیل کامل نشان داده شده است.



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



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



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

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

فعالیت  
کارگاهی ۱



## آنیل کامل

### وسایل مورد نیاز:

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

### مراحل انجام آزمایش:

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

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

نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در کوره
سختی		
شکل ریز ساختار		

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

پرسش



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

## آشنایی با آنیل هم‌دما

### وسایل مورد نیاز:

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

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

فعالیت  
کارگاهی ۲



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

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

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

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

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

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

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

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

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

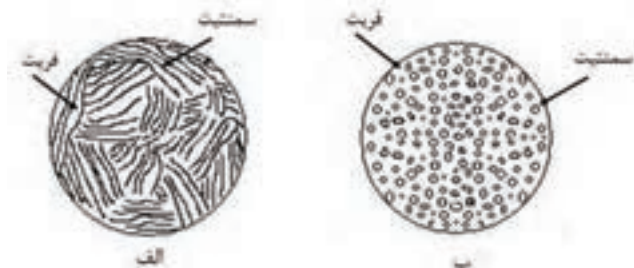
نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در هوا
سختی		
شکل ریز ساختار		

بحث گروهی



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

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

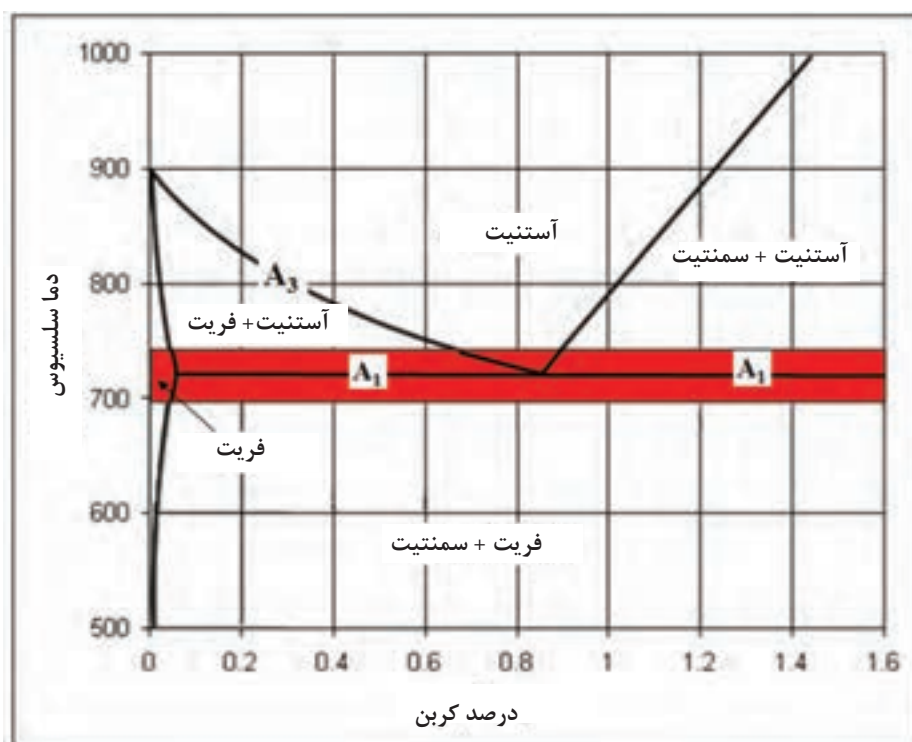


روش‌های متفاوتی برای فرایند کرووی کردن به کار برده شده است که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

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

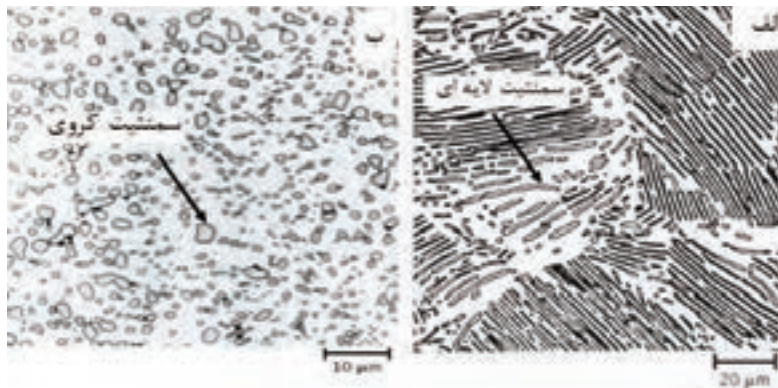
**ب)** حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فاز  $A_3-A_1$  برای فولادهای هیپو یوتکتوئید و یا بین  $A_{cm}-A_1$  برای فولادهای هایپریوتکتوئید به منظور آستنیت‌کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای  $A_1$ ، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کرووی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط.

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



شکل ۴- محدوده عملیات حرارتی آنیل کرووی کردن

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



شکل ۵- ریزساختار فولاد یوتکتوئیدی  
الف) قبل از آنیل کرووی، ب) بعد از آنیل کرووی سازی در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  به مدت زمان ۲۱ ساعت

## آنیل کرووی سازی

### وسایل مورد نیاز:

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

### مراحل انجام آزمایش

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

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

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

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

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

۲ کوره را روشن کرده و به دمای  $700^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس تنظیم کنید.

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

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

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

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





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

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

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

### آنیل کردن در درجه حرارت بالا

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

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

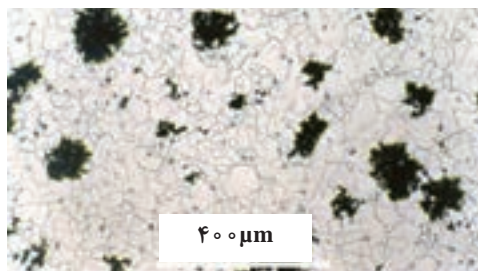
در واقع هدف از انجام تنش‌زدایی حذف یا کاهش تنش‌های باقیمانده از عملیات قبلی است. در این روش قطعات مورد نظر زیر دمای بحرانی  $A_1$  حرارت داده می‌شوند و سپس به مدت زمان لازم (به ازای هر اینچ یک ساعت) در این دما نگهداری می‌شوند و سپس با سرعت خیلی آهسته تا دمای محیط سرد می‌شوند. زمان حرارت دادن بستگی به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

### آنیل چدن

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

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

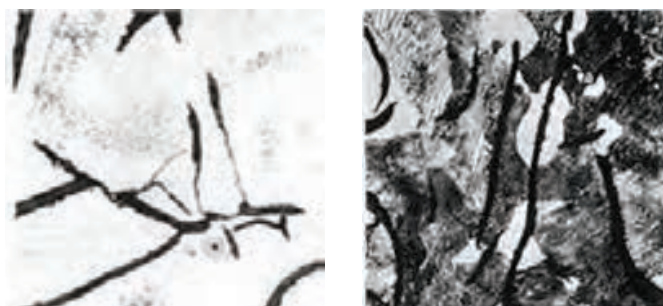
(در کوره) تا دمای محیط سرد می‌شود. هدف از انجام این عملیات تهیه چدن چکش خوار از چدن سفید است. این نوع از چدن به وسیله عملیات حرارتی چدن سفید به دست می‌آید. چدن سفید سخت و شکننده است و تنها چدنی است که گرافیت آزاد ندارد. با اعمال عملیات حرارتی سمنتیت تجزیه شده و کربن به شکل گرافیت برفکی در ساختار



شکل ۶- ریزساختار چدن مالیبیل

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

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



شکل ۷- ریز ساختار چدن  
الف ب

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



## آنیل فریتی

### وسایل مورد نیاز:

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

### مراحل انجام آزمایش:

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

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

- نکات ایمنی: قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.
- هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده کوره استفاده کنید.
- از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.
- حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده کنید.

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

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

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

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

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

نمونه	شاهد	آنیل شده
سختی		
شکل ریز ساختار		



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



## واحد یادگیری ۲: عملیات حرارتی نرماله

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

## استاندارد عملکرد کار

انجام عملیات حرارتی نرماله بر روی انواع فولادها و چدن ها براساس استانداردها و دستورالعمل های مربوطه.

## پیش نیاز

آشنایی با انواع فولادها و چدن ها، دیاگرام آهن - کربن، متالوگرافی

## نرماله

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

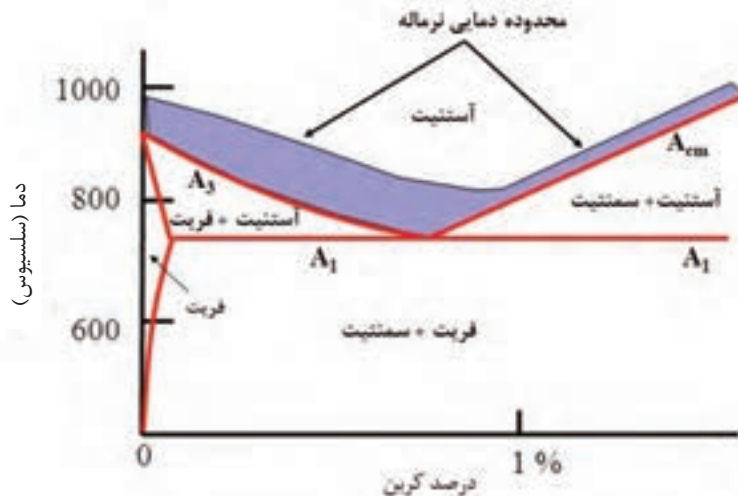
- ۱ تولید فولادی با استحکام و سختی بالاتر نسبت به فرایند آنیل؛
- ۲ بهبود قابلیت ماشین کاری؛
- ۳ ریز کردن دانه‌ها؛
- ۴ بهبود میزان انعطاف پذیری؛
- ۵ یکنواخت کردن ریز ساختار؛
- ۶ عملیات حرارتی اولیه برای ایجاد ساختار دانه ریز برای عملیات سخت کاری.

### مراحل عملیات حرارتی نرماله

برای انجام عملیات حرارتی نرماله مراحل زیر طی می‌شود:

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

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



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

جدول ۱- دمای آستنیت‌کردن فولادهای کربنی

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



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

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

$$t = 60 + D$$

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

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

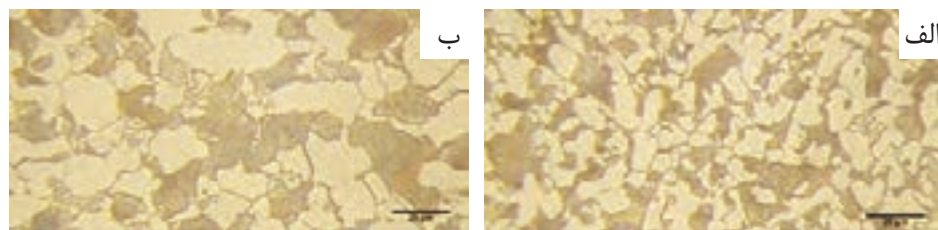
و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار است. ۴- با توجه به اینکه در نرماله کردن، قطعات در هوا سرد می‌شوند ریز ساختارهای حاصل نسبت به آنیل ریزتر هستند بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرایند آنیل کردن، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف‌پذیری تا حدودی کاهش می‌یابد. در جدول صفحه بعد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

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

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

نوع فولاد	نوع عملیات	سختی (برینل)
۱۰۲۰	نورد شده	۱۴۳
	نرمالیزه در دمای $870^{\circ}\text{C}$	۱۳۱
	آنیل در دمای $870^{\circ}\text{C}$	۱۱۱
۱۰۳۰	نورد شده	۱۷۹
	نرمالیزه در دمای $925^{\circ}\text{C}$	۱۴۹
	آنیل در دمای $845^{\circ}\text{C}$	۱۲۶
۱۰۵۰	نورد شده	۲۲۹
	نرمالیزه در دمای $900^{\circ}\text{C}$	۲۱۷
	آنیل در دمای $790^{\circ}\text{C}$	۱۸۷

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



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



## نرماله کردن فولاد

### وسایل مورد نیاز:

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

### مراحل انجام آزمایش:

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

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

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

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.

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

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

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

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

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



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

## ارزشیابی پایانی آنیل

### نقشه کار: انجام عملیات حرارتی آنیل

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

### شرایط انجام کار:

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

### مواد مصرفی:

### ابزار و تجهیزات:

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

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

### معیار شایستگی:

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

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

## ارزشیابی پایانی نرماله

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

### شرایط انجام کار:

۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای  $3^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۱۰ دقیقه

### مواد مصرفی:

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

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

### معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	وارد کردن قطعات به داخل کوره	۱	
۳	کنترل کردن دمای کوره	۲	
۴	خارج کردن قطعات از کوره	۱	
	<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		۲
	<b>میانگین نمرات</b>		*

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





## پودمان پنجم

### خوردگی و پوشش دهی



## واحد یادگیری ۱: خوردگی

حالت اولیه خود برگردند و با ترکیبات محیط اطراف خود واکنش می دهند که اکثراً باعث خوردگی آنها می شود. همه مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می شوند، ولی با توجه به اینکه فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریع تر دچار پدیده خوردگی می شوند، بنابراین اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به کار می برند. براساس برآوردها در سطح بین المللی هزینه های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها است.

خوردگی یک پدیده طبیعی است که در اثر واکنش الکتروشیمیایی فلز با محیط اطراف اتفاق می افتد. خوردگی فلزات از زمانی که بشر به سمت تولید فلزات رفت شروع شد. فلزات به غیر از طلا که به صورت خالص هم در طبیعت وجود دارد، به صورت ترکیبات اکسیدی، سولفیدی، کربناتی و غیره یافت می شوند. نوع ترکیب فلزات (سنگ های معدن) با توجه به ترکیبات شیمیایی و شرایط محیطی تغییر می کند. پایدارترین شکل یک عنصر شکل موجود آنها در طبیعت می باشد و مواد زمانی که از این ترکیبات جدا می شوند تا در صنعت مورد استفاده قرار گیرند، تمایل دارند تا به

## استاندارد عملکرد کار

انجام آزمایش های خوردگی بر روی فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل های مربوطه

## پیش نیاز

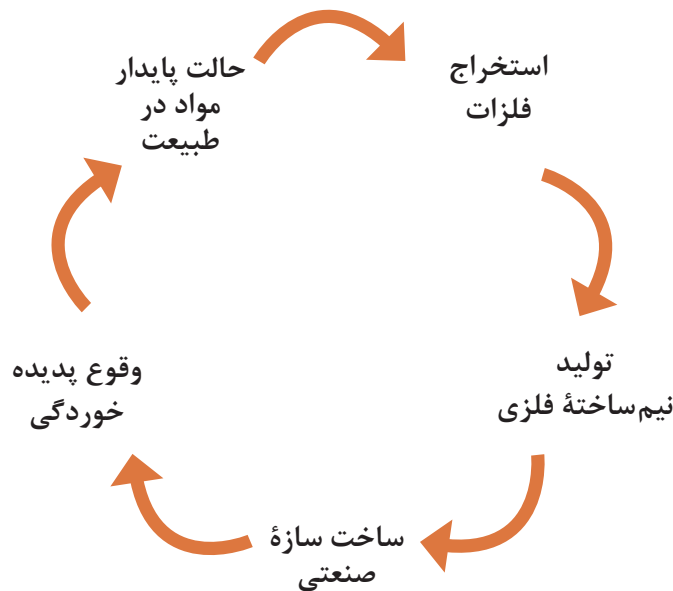
آشنایی با فرایندهای شیمیایی، فلزات، شرایط محیطی مختلف اطراف و نحوه کار با تجهیزات و مواد.



خوردگی چیست و چرا فلزات خورده می‌شوند؟

مواد صنعتی بر اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری‌های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می‌گیرند. این عوامل باعث می‌شوند که ماده صنعتی به تدریج تخریب شده و از بین برود. برای این پدیده چند تعریف ارائه شده است:

- خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.
  - از بین رفتن مواد در اثر عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی
  - فرایند خوردگی عکس فرایند استخراج است.
- هیچ فلزی در طبیعت تمایل ندارد به صورت فلز باقی بماند و تمایل به انجام واکنش با محیط اطراف خود دارد. شکل (۱) نمودار گردش مواد فلزی در طبیعت را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار چرخه گردش مواد فلزی در طبیعت

جدول زیر تصاویری از قطعاتی که در شرایط محیطی مرطوب قرار گرفته‌اند و دچار خوردگی شده‌اند را نشان می‌دهد.

شکل	نام قطعه یا سازه	شکل	نام قطعه یا سازه
	زنجیر		میخ فولادی
	دوچرخه		نردبان فلزی

در ۱۵۰ سال پیش بشر بدون استفاده از فلزات و آلیاژها به‌خصوص فولاد، چدن، آلومینیوم و مس نمی‌توانست به حیات صنعتی خود ادامه دهد. استفاده روزافزون در صنایع مختلف و کاربرد آنها در محیط‌های جدید و عموماً خورنده هزینه‌های جبران‌ناپذیری را پدید آورده است. این هزینه‌ها در صنایع مختلف مصرف می‌شوند.

### اثرات زیانبار خوردگی:

- ۱ کاهش راندمان تولید و از کار افتادن خط تولید
- ۲ بالا رفتن هزینه‌های تعمیر و نگهداری
- ۳ آلودگی محصولات صنعتی: اگر قوطی کنسرو خورده شود ماده غذایی داخل آن فاسد می‌شود.
- ۴ خطرات فاجعه آمیز: خوردگی لوله‌های سوخت در نیروگاه‌های اتمی
- ۵ آلودگی محیط‌زیست: هر تخریبی در نهایت منجر به آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

### استفاده از واکنش‌های خوردگی:

با وجود اثرات بسیار زیان‌بار خوردگی، در صنعت مواردی مهم وجود دارد که واکنش‌های خوردگی مورد بهره‌گیری قرار گرفته شده است، مانند:

- ۱ آبکاری یا پوشش‌دهی
- ۲ آندایز کردن AI برای به‌دست آوردن ظاهر مطلوب و پوسته اکسیدی مقاوم در برابر خوردگی
- ۳ الکترواچ یا الکتروپولیش
- ۴ ماشین‌کاری الکتروشیمیایی: این روش در مواردی اقتصادی‌تر است که قطعات سخت بوده و به‌وسیله روش‌های معمول به سختی ماشین‌کاری می‌شوند. خالی کردن استوانه توپر به منظور ساخت لوله تانک
- ۵ باتری و پیل‌ها
- ۶ الکترولیز: مس در معدن را از طریق الکترولیز خالص‌سازی می‌کنیم.

## انواع خوردگی فلزات

عوامل اصلی ایجاد پدیده خوردگی را می‌توان مطابق شکل (۲) به دو دسته تقسیم کرد که ممکن است هر یک به تنهایی و یا به صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورنده موجود در محیط دارد.



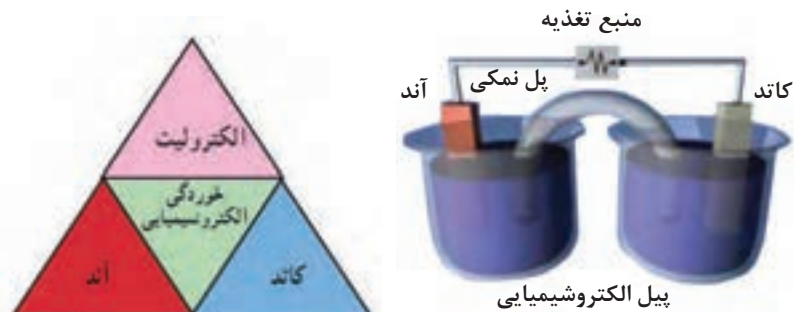
شکل ۲- عوامل ایجاد خوردگی

### ۱ خوردگی شیمیایی

سطح اکثر فلزات در اثر تأثیر عوامل شیمیایی تغییر می‌کند. در این فعل و انفعالات وجود اکسیژن و در نتیجه اکسیداسیون نقش مهمی را بازی می‌کند و از آن گذشته مایعات (رطوبت هوا، اسیدها، بازها و محلول نمک‌ها)، گازها و بخارات نیز اثر شیمیایی روی فلزات پدید می‌آورند و باعث ایجاد خوردگی در سطح آنها می‌شود. در مورد خوردگی شیمیایی فلزات می‌توان به انحلال مقادیر کم مواد فلزی توسط حلال‌های آلی مثل انحلال آلومینیوم در کربن تتراکلرید و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی است.

### ۲ خوردگی الکتروشیمیایی

الکتروشیمیایی واکنشی است که ۱- شیمیایی بوده و ۲- تبادل الکترون در آن صورت گیرد. به طوری که اگر یک مایع حاوی یون‌های مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهم‌جنس متصل به هم با یک هادی الکتریسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد. **آند:** سطحی است که روی آن واکنش اکسیداسیون رخ می‌دهد و فلز تمایل به از دست دادن الکترون دارد. در نتیجه به طور معمول دچار انحلال یا خوردگی می‌شود. **کاتد:** سطحی است که روی آن واکنش احیا رخ می‌دهد و فلز تمایل به گرفتن الکترون دارد، در نتیجه دچار انحلال یا خوردگی نمی‌شود. **الکترولیت:** محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون‌های مثبت و منفی در داخل آن می‌باشد. بنابراین خوردگی الکتروشیمیایی زمانی اتفاق می‌افتد که در اثر تماس فلز با محیط پیرامون خود یک پیل الکتروشیمیایی تشکیل شود. شکل (۳) اجزای اصلی تشکیل دهنده پیل الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



شکل ۳- اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

فلزات و آلیاژهای با پتانسیل الکتروشیمیایی مثبت تر تمایل کمتری نسبت به اکسید شدن و خوردگی دارند (نجیب ترند). برعکس فلزات و آلیاژهایی که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر هستند؛ یعنی تمایل بیشتری به خوردگی دارند (فعال ترند). بنابراین چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، فلز فعال تر که دارای پتانسیل الکتروشیمیایی منفی تر است با سرعت بیشتری دچار خوردگی می شود.

### انواع خوردگی از نظر مکانیزم خوردگی

خوردگی را می توان به روش های مختلف طبقه بندی کرد. اساسی که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته است، ظاهر و شکل فلز خورده شده است. به این روش که فقط با مشاهده فلز خورده شده می توان نوع خوردگی را مشخص کرد. برای تشخیص نوع خوردگی در اکثر موارد چشم غیر مسلح کافی است، اما گاهی اوقات بزرگ نمایی ذره بین یا میکروسکوپ هایی با بزرگ نمایی های کم، مفید خواهد بود. در جدول ۱ تصاویری از انواع خوردگی آورده شده است.

جدول ۱- انواع خوردگی

نوع خوردگی	شکل
خوردگی گالوانیکی	خوردگی یکنواخت
خوردگی شیاری	خوردگی فرسایشی
خوردگی حفره ای	خوردگی هیدروژنی
خوردگی مرزدانه ای	خوردگی تنشی

## خوردگی یکنواخت



شکل ۴-لوله فولادی که تحت خوردگی یکنواخت قرار گرفته.

خوردگی یکنواخت متداول ترین نوع خوردگی است. معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی که به طور یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد، مشخص می شود. فلز نازک و نازک تر شده و نهایتاً از بین می رود یا تجهیزات مورد نظر تخریب می شود. مثلاً یک قطعه فولاد یا روی در داخل یک محلول رقیق سولفوریک اسید معمولاً با سرعت یکسانی در تمام نقاط قطعه خورده خواهد شد (شکل ۴). تصویری از لوله فولادی که در محیط مرطوب تحت خوردگی یکنواخت قرار گرفته است را نشان می دهد.

با استفاده از روش های زیر می توان قطعات را در برابر خوردگی یکنواخت حفاظت کرد.

**۱ پوشش دادن:** با پوشش سطح فلز را از عوامل محیطی جدا می کنیم. که پوشش ها می توانند به صورت فلزی و یا پوشش آلی (رنگ) باشند.

**۲ استفاده از بازدارنده های خوردگی:** بازدارنده های خوردگی ترکیبات آلی و معدنی هستند که بر روی سطح ترکیب پایدار می دهند در نتیجه فلز را از محیط جدا کرده و جلوی خوردگی را می گیرند. فرق این مورد با پوشش این است که پوشش انواع دیگری هم دارد مثل رنگ اما بازدارنده خوردگی ترکیبی از فلز است.

**۳ با استفاده از حفاظت کاتدی:** فلز وقتی خورده می شود که آند باشد. در حفاظت کاتدی فلز را از حالت آند در آورده و به کاتد تبدیل می کنیم. سرعت خوردگی در خوردگی یکنواخت با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{534 \Delta W}{\rho \cdot A \cdot T} = \text{سرعت خوردگی (اینچ / سال)}$$

در این رابطه  $\Delta W$  اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از وارد کردن در داخل محلول بر حسب میلی گرم،  $\rho$  چگالی نمونه بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب،  $A$  مساحت نمونه بر حسب اینچ مربع و  $T$  زمان بر حسب ساعت می باشد. عدد ۵۳۴ ضریب تبدیل واحد است که در نهایت سرعت خوردگی بر حسب اینچ بر سال به دست می آید.



## خوردگی پیچ فولادی

مواد و تجهیزات مورد نیاز: پیچ فولادی بدون پوشش، بشر ۲۵۰ CC، پیپت، پیپت پر کن یا پمپ مکنده، خشک کن، سنباده، اره، کلریدریک اسید ۱۰٪

### مراحل انجام کار:

- ۱ پیچ فولادی بدون پوشش را به طول ۵۰ میلی‌متر انتخاب کنید.
- ۲ محلول HCl ۱۰٪ را آماده کرده و نمونه را در داخل آن به مدت ۱ هفته قرار دهید. برای آماده‌سازی محلول HCl ۱۰٪ باید به ازای هر ۱۰ میلی لیتر اسید ۹۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه کرد. در این آزمایش ۲۰۰ CC محلول تهیه کنید. ابتدا ۱۰۰ CC آب مقطر داخل بشر بریزید و سپس مقدار ۲۰۰ CC کلریدریک اسید را توسط پیپت به آن اضافه کنید و بعد از آن تا اندازه‌ای آب مقطر به آن اضافه کنید تا محلول به حجم ۲۰۰ CC برسد.
- ۳ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه را از داخل محلول خارج کرده و با آب شست‌وشو داده و خشک کنید. نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

### نکات ایمنی



- حتماً از وسایل ایمنی مانند ماسک تنفسی، دستکش، عینک، روپوش آزمایشگاهی و کفش ایمنی استفاده کنید.
- از استنشام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- توجه داشته باشید که همیشه اسید را به آب اضافه کنید و به هیچ عنوان آب را به اسید غلیظ اضافه نکنید.
- هرگاه ماده شیمیایی مانند اسید یا باز، روی میز، زمین یا لباس شما بریزد، در اسرع وقت آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- هنگام کار با پیپت از مکیدن پیپت برای بالا کشیدن مایعات خودداری کنید و از پیپت پرکن استفاده کنید.
- برای تهیه محلول اسید، در زیر هود کار کنید.

### نکته زیست محیطی



- مصرف متناسب با نیاز علاوه بر صرفه جویی و کاهش مواد زائد باعث تخریب کمتر محیط زیست می‌شود.
- برای جلوگیری از اثرات تخریبی تبخیر محلول‌های شیمیایی، پس از تهیه محلول آن را در ظرف‌های در بسته نگهداری کنید. توجه داشته باشید که کلریدریک اسید، سبب اسیدی شدن آب و خاک می‌شود. برای بیرون ریختن آن ابتدا با مقداری مواد قلیایی آن را خنثی کنید و سپس آن را در سیستم فاضلاب آزمایشگاه بریزید.

### بحث گروهی



- چه تغییراتی در نمونه مشاهده می‌کنید؟
- چه قسمتهایی از نمونه بیشتر خورده شده است؟ دلیل آن چیست؟
- آیا پیچ فولادی را بعد از خوردگی می‌توان مورد استفاده قرار داد؟
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.





### اندازه گیری سرعت خوردگی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** نمونه های فولادی و مسی و آلومینیومی، بشر  $250^{\circ}C$ ، کلریدریک اسید  $10\%$ ، پیپت، پیپت پرکن، ترازوی آزمایشگاهی، خشک کن، سنباده

**مراحل انجام آزمایش:**

- ۱ مکعب هایی از جنس فولاد، مس و آلومینیوم در ابعاد  $10 \times 20 \times 30$  میلی متر را انتخاب کنید.
  - ۲ سطح مکعب ها را سنباده بزنید تا اکسیدها و سایر ناخالصی ها از روی آنها تمیز گردند.
  - ۳ وزن مکعب های تمیز شده را توسط ترازوی دیجیتالی اندازه گیری کرده و سپس سطح کل آنها را محاسبه کنید.
  - ۴ محلول  $HCl$   $10\%$  را طبق اصول فعالیت شماره (۱) آماده کرده و نمونه ها را در داخل آن به مدت ۱ هفته قرار دهید.
  - ۵ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه ها را از داخل محلول خارج کرده و با آب شست و شو داده و خشک کنید.
  - ۶ نمونه های خشک شده را وزن کرده و میزان کاهش وزن آنها را یادداشت کنید.
  - ۷ نتایج و اعداد به دست آمده را در رابطه (۱) قرار داده و سرعت خوردگی نمونه های مختلف را به دست آورید.
- نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.



- کدام یک از نمونه ها بیشتر خورده شده است؟ دلیل آن چیست؟
- میزان خورده شدن نمونه بعد از مدت زمان یک ماه را به دست آورید؟

### خوردگی گالوانیکی



- وقتی دو فلز غیرهمجنس در محیط مرطوب در اتصال باهم باشند، خوردگی در کدام یک سریع تر اتفاق می افتد؟ چرا؟
- چنانچه دو فلز با جنس متفاوت در محیط مرطوب در تماس با یکدیگر قرار گیرند، کدام یک به عنوان آند و کدام یک به عنوان کاتد عمل می کنند؟



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

در سال ۱۷۶۱ میلادی بررسی های تصادفی که بر روی کشتی های جنگی انجام شد واقعه ای جدی از نقش خوردگی را در تخریب مواد نمایان ساخت. کشتی های چوبی را با لایه ای نازک از مس می پوشانند که برای این کار آنها را توسط میخ های فولادی محکم به بدنه کشتی نصب می کردند. بعد از چند مدت متوجه می شدند که ورق های مسی از بدنه کشتی در چندین نقطه جدا شده است که به دلیل از بین رفتن میخ های فولادی بوده است ولی در بعضی نقاط که میخ های فولادی با لایه ای از کاغذ پوشانده شده بود، میخ ها دست نخورده باقی مانده بودند.



- چرا میخ‌های فولادی از بین رفته بودند ولی ورق مسی سالم مانده بود؟
- چرا میخ‌هایی پوشانده شده توسط کاغذ نیز سالم مانده بودند؟

زمانی که دو فلز غیر هم‌جنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند، در معرض یک محلول هادی یا خورنده قرار بگیرند، خوردگی فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد، افزایش یافته و بر عکس، خوردگی فلز مقاوم‌تر، تقلیل می‌یابد. فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد آندی شده و فلز مقاوم‌تر (از نظر خوردگی) کاتدی می‌شود. این نوع خوردگی، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی نامیده می‌شود مکانیزم این نوع خوردگی، الکترو شیمیایی است. شکل (۵) یک نمونه از خوردگی گالوانیکی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلایژ مس روی ستون فولاد کربنی



باتوجه به شکل زیر در اتصال لوله فولادی با شیر برنجی لوله فولادی خورده می‌شود. دلیل آن چیست؟

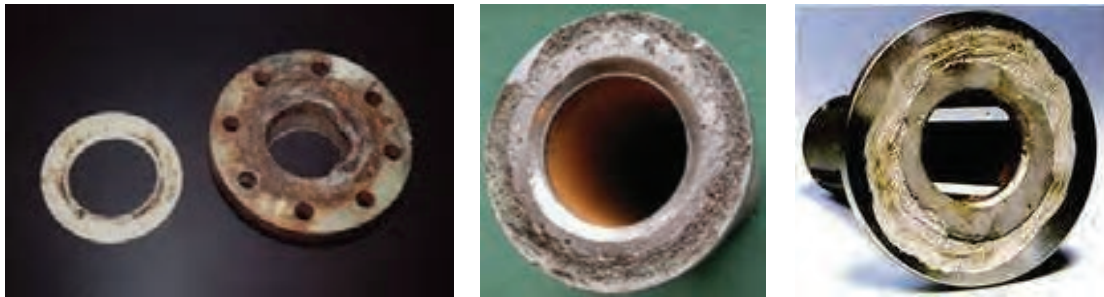
در صنعت فلزات کنار هم قرار دارند، پس خوردگی گالوانیکی داریم. معمولاً در اتصالات خوردگی گالوانیکی به شدت وجود دارد، مانند اتصالات پیچ و مهره، لحیم کاری و جوشکاری. معمولاً اولین جایی که در اتصالات خورده می‌شود پیچ و مهره است و برای این کار، مهره از فولاد ساده کربنی است و پیچ را با کرم یا نیکل پوشش می‌دهند در نتیجه پیچ مقاوم‌تر و براق‌تر است و مهره آند می‌شود.



شکل ۶- خوردگی گالوانیکی در اثر اتصال دو فلز متفاوت کنار هم

## خوردگی شیاری یا شکافی

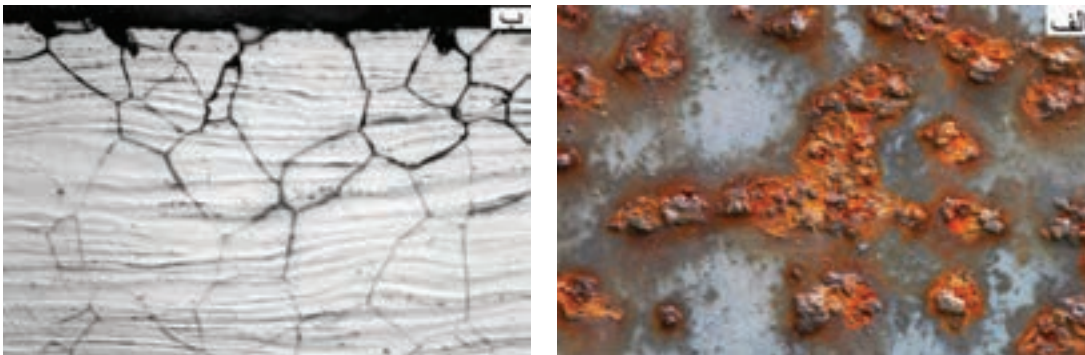
این نوع خوردگی معمولاً در شیاریهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی موضعی شدیدی می شود و معمولاً همراه با حجم های کوچک محلول ها یا مایعاتی که در اثر وجود سوراخ، سطوح و اشرفا، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیاریهای زیر پیچ، مهره ها و میخ پرچ ها ساکن شده اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده اند، ایجاد می شود. این سازوکار وقتی رخ می دهد که یک عامل خورنده در فاصله ای باریک، بین دو جزء وجود داشته باشد. با پیشرفت واکنش، غلظت عامل خورنده افزایش می یابد. بنابراین واکنش با نرخ فزاینده ای پیشروی می کند. شکل (۷) نمونه هایی از خوردگی شیاری را نشان می دهد.



شکل ۷- نمونه هایی از خوردگی شیاری

## خوردگی مرز دانه ای

این خوردگی میکروسکوپی است که گاهی خوردگی بین دانه ها و گاهی از داخل دانه شروع می شود که به ترتیب به آنها خوردگی بین دانه ای و درون دانه ای می گویند. این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که مرز دانه ها در یک فلز پلی کریستال به صورت ترجیحی مورد حمله قرار می گیرد. چندین عامل می توانند آلیاژی مثل فولاد زنگ نزن آستنیتی را مستعد این نوع خوردگی کنند؛ از جمله حضور ناخالصی ها و غنی بودن یا تهی بودن مرز دانه از یکی از عناصر آلیاژی. شکل (۸) خوردگی مرز دانه ای را نشان می دهد، همان طور که در شکل (۸) (ب) زیر میکروسکوپ دیده می شود، قطعات از سطح بالایی، دچار خوردگی می شوند و به سطوح پایین نمی رسد.



شکل ۸- (الف) تصویر ماکروسکوپی و (ب) تصویر میکروسکوپی از خوردگی مرز دانه ای

## خوردگی حفره‌ای

مخرب‌ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی است. این نوع خوردگی تقریباً همیشه به وسیله یون‌های کلر و کلرید ایجاد می‌شود و به ویژه برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است؛ چون در این خوردگی، قطعه با چند درصد کاهش وزن نسبت به وزن واقعی‌اش، به راحتی دچار شکست می‌شود. معمولاً عمق این حفرات برابر یا بیشتر از قطر آنهاست و با رشد حفرات، ماده سوراخ می‌شود. تفاوت آن با خوردگی شیاری در این است که در خوردگی شیاری، شیاری از قبل روی قطعه وجود دارد ولی در این خوردگی معلوم نیست حفره از کجا و چه زمانی به وجود می‌آید پس خیلی خطرناک بوده و غیر قابل پیش‌بینی است. در محیط‌های شیمیایی و مرطوب همواره احتمال این نوع خوردگی وجود دارد. خوردگی حفره‌ای سیستم را از کار می‌اندازد و عامل بسیاری از تخریب‌ها است، پس نباید منبع و منشأ حفره را در فلز ایجاد کرد. باید سطح فلز را صیقلی کنیم چرا که وجود حفره، جوانه‌ای برای شروع خوردگی حفره‌ای است. شکل (۹) نمونه‌هایی از خوردگی حفره‌ای را نشان می‌دهد.

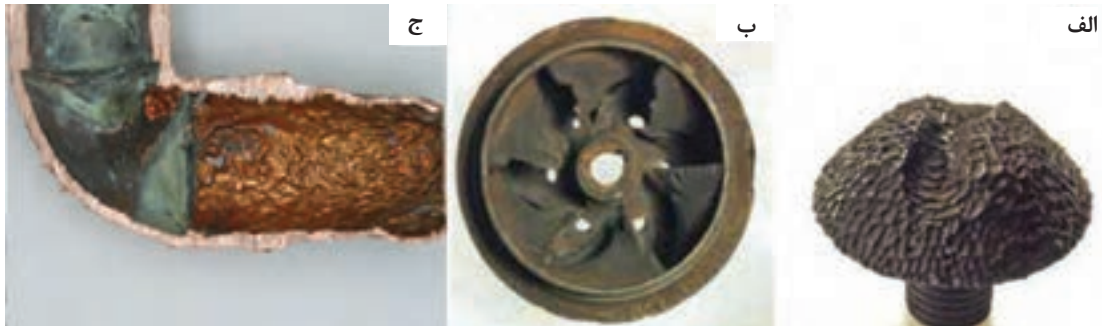


شکل ۹- خوردگی حفره‌ای

## خوردگی سایشی یا فرسایشی

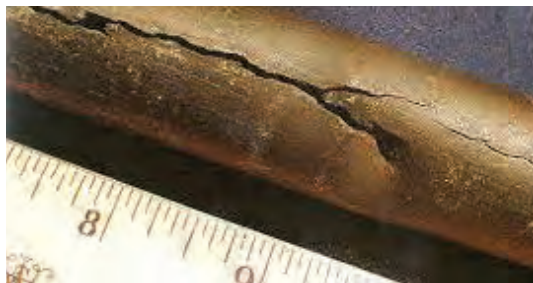
نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیده مرتبط با این گونه خوردگی، سایش است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به وجود می‌آید. این عمل می‌تواند پوشش‌های ضد خوردگی را از بین برده و باعث آغاز خوردگی شود. شکل (۱۰) نمونه‌هایی از خوردگی سایشی در صنعت را نشان می‌دهد.

خوردگی سایشی عبارت است از افزایش سرعت خوردگی یا از بین رفتن یک فلز در اثر حرکت نسبی بین یک مایع خورنده و سطح فلز. این نوع خوردگی در اثر عوامل شیمیایی خورنده و عوامل فیزیکی ساینده به وجود می‌آید. در این فرایند یون‌های فلزی حل شده روی سطح فلز، در اثر حرکت سیال روی سطح باقی‌مانده و یا محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی جدا می‌شوند. این نوع خوردگی وقتی رخ می‌دهد که محیطی



شکل ۱۰- (الف) پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ب) پره پمپ به دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ج) لوله فولادی که در اثر وجود سیال داخل آن دچار خوردگی فرسایشی شده است.

### خوردگی تنش



شکل ۱۱- خوردگی تنش

بسیاری از تخریب‌هایی که در خوردگی می‌بینیم خوردگی تنش هستند مثلاً یک لوله بعد از مدتی کاملاً تغییر شکل می‌دهد و یک مقطعی از آن باز می‌شود چرا که لوله تحت فشار داخلی بوده و به آن تنش وارد شده است. پس استحکام خود را از دست داده و در آن تغییر شکل ایجاد شده است.

خوردگی تنش عبارت است از ترک خوردن در اثر خوردگی توأم با تنش که نتیجه اعمال هم‌زمان تنش‌های کششی و محیط خورنده روی فلز است. در این شرایط ترک‌های ریزی که ناشی از فرایندهای خوردگی موضعی هستند، در داخل فلز یا آلیاژ پیشرفت می‌کنند. در شکل (۱۱) تصویری از خوردگی تنش را مشاهده می‌کنید.

### خوردگی هیدروژنی

این نوع خوردگی در دمای کمتر از  $20^{\circ}\text{C}$  رخ می‌دهد که در آن هیدروژن داخل فلز یا آلیاژ نفوذ می‌کند و با تشکیل مولکول گاز  $\text{H}_2$  از به هم پیوستن دو اتم هیدروژن باعث ایجاد فشار داخلی در قطعه و بادکردگی یا ترکیدگی در محل‌های مشخصی در قطعه می‌شود. شکل (۱۲) تصاویری از خوردگی هیدروژنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- خوردگی هیدروژنی

## راهکارهای جلوگیری از خوردگی

در حالت کلی جهت کاهش میزان خوردگی و حفاظت مواد در برابر این پدیده مخرب چهار راهکار اساسی وجود دارد:

- ۱- طراحی مناسب
- ۲- انتخاب مواد مناسب
- ۳- تغییر شرایط محیط خوردنده
- ۴- استفاده از پوشش محافظ.

به طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**طراحی و انتخاب مواد مناسب:** هنگام طراحی قطعات، طراحان باید مسایل مربوط به خوردگی را در نظر بگیرند و تا حد ممکن سعی کنند عوامل مؤثر در خوردگی را کاهش داده و یا شرایط ایجاد آن را از بین ببرند و از مواد مناسب در جای مناسب استفاده کنند. اگر قطعات در محیط خوردنده قرار می‌گیرند لازم است از فلز با مقاومت بیشتر در برابر خوردگی استفاده شود.

**تغییر شرایط محیط خوردنده:** یکی دیگر از راهکارهای کاهش میزان خوردگی و حفاظت از مواد، تغییر در شرایط محیط خوردنده است. برای این منظور می‌توان اقدامات زیر را انجام داد:

- ۱- حذف یا کاهش عوامل خوردنده از طریق فیلتر کردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی.
- ۲- اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خوردنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیه آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد. به منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خوردنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.
- ۳- با استفاده از حفاظت کاتدی

**استفاده از پوشش‌های محافظ:** عملکرد پوشش نسبت به شرایط سطح قطعه و تمیز بودن آن قبل از اعمال پوشش بسیار حساس است، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هرگونه آلودگی مانند پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز شوند. همچنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به‌طور کامل روی سطح قطعه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.

### بررسی خوردگی شیاری در فولاد زنگ نزن

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** ورق فولادی زنگ نزن، سنباده، بشر یک لیتری، کش، آب مقطر، ۲ عدد چوب پنبه، فریک کلرید

#### مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی زنگ نزن را در ابعاد  $25 \times 50$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کنید.
- ۲ نمونه را سنباده بزنید تا اکسیدها و ناخالصی‌های دیگر از بین بروند.
- ۳ محلول فریک کلرید را در حجم ۷۵ cc آماده کنید. برای آماده‌سازی این محلول مقدار  $122/25$  گرم فریک کلرید را در ۷۵ cc آب مقطر در داخل یک بشر یک لیتری خوب حل کنید.
- ۴ نمونه را مطابق شکل در وسط دو چوب پنبه قرار دهید و کش را در اطراف آن بگذارید تا ثابت بماند.
- ۵ نمونه را در داخل بشر حاوی محلول قرار دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۳





- ۶ بعد از گذشت یک هفته نمونه را از بشر بیرون بیاورید.
- ۷ نمونه را با آب تمیز کرده و خشک کنید.
- ۸ مشاهدات خود را نوشته و در کلاس بحث کنید.

- هرگز بدون روپوش، دستکش، ماسک تنفسی، عینک و سایر وسایل ایمنی مناسب فعالیت را انجام ندهید.
- فعالیت را زیر هود انجام دهید.
- از ریختن مواد شیمیایی روی ترازو خودداری کنید.
- در انجام کار با اسیدها و بازها مراقب باشید زیرا تماس پوست با اسیدها و بازهای قوی موجب سوختگی می شود.

نکته ایمنی



- هرگز ظروف حاوی مواد و محلول ها را بدون درپوش مناسب نگهداری نکنید تا ضمن جلوگیری از آلودگی هوای آزمایشگاه، از آلودگی نمونه ها با مواد خارجی جلوگیری شود.

نکته زیست محیطی



- خوردگی شیاری جزء کدام یک از خوردگی ها است؟
- برای جلوگیری از خوردگی شیاری چه راه حل هایی پیشنهاد می کنید.

پرسش



## واحد یادگیری ۲: عملیات پوشش دهی

می‌توان یک لایه نازک از آن فلز را بر روی فلزی دیگر که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ خواص مکانیکی مناسب است استفاده کرد. در بسیاری از موارد کاربرد آلیاژهای گران قیمت مقاوم در مقابل خوردگی عمل چندان صحیحی نیست، بلکه از لحاظ اقتصادی استفاده از فولادهای ساده کربنی به دلیل قیمت پایین و قابلیت تغییر شکل آسان ارجحیت دارد. در این گونه موارد توصیه می‌شود که سطح قطعات فولادی با استفاده از پوشش‌های سطحی در مقابل خوردگی محافظت شود.

پوشش‌ها برای مقاصد گوناگون به کار گرفته می‌شوند: برای زیبایی بخشیدن به قطعات تزئینی و صنعتی، جلوگیری از خوردگی و افزایش عمر قطعات در محیط‌های مختلف کاری، بهبود خواص سطحی، هدایت الکتریکی و همچنین از لحاظ خواص بهداشتی. از لحاظ اقتصادی نیز برخی از فلزات مقاوم در برابر محیط‌های خورنده گران قیمت هستند و یا برخی خواص مکانیکی آنها پایین است و نمی‌توان به عنوان جنس قطعه اصلی از آن استفاده کرد بنابراین توسط عملیات پوشش دادن

## استاندارد عملکرد کار

انجام عملیات پوشش دهی سرد و گرم بر روی فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

## پیش‌نیاز

آشنایی با انواع اسیدها و بازها، نحوه کار با مواد شیمیایی و تجهیزات آنها.



## پوشش دهی

یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در سازه‌های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می‌باشد. پوشش به عنوان سدی در برابر حمله عوامل خوردنده به سطح قطعه یا سازه عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند.

فعالیت کلاسی



### جدول زیر را کامل کنید.

نوع محصولات	شکل	اهداف پوشش دهی	جنس فلز پایه	جنس لایه پوششی	روش پوشش دهی
شیر آب					
پیچ و مهره					
قوطی کنسرو					

فلز مورد نظر اعمال شود. پوشش‌ها می‌توانند در انواع مختلف فلزی، سرامیکی و پلیمری وجود داشته باشند. از مهم‌ترین روش‌هایی که برای اعمال پوشش فلزی به کار می‌روند می‌توان، غوطه‌ور کردن در فلز مذاب، آبکاری الکترولیتی، پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله، آلیاژ کردن سطحی و روکش فلزی را نام برد.

### غوطه‌ور کردن در فلز مذاب:

در این روش باید ابتدا سطح قطعه مورد نظر را به وسیله اسید کاملاً تمیز کرده و چربی آن را برطرف کرد، سپس قطعه را در فلز مذاب (به عنوان مثال روی، سرب و یا قلع مذاب) غوطه‌ور کرد، تا پس از خروج، لایه نازکی از فلز مذاب بر روی سطح آن قرار گیرد. در شکل (۱۳) تصویری از پوشش دادن به روش غوطه‌وری آورده شده است.

پوشش‌ها علاوه بر محافظت در مقابل خوردگی برای اهدافی از قبیل افزایش سختی، مقاومت به سایش، کاهش انتقال گرما و الکتروسیته و کاهش قابلیت انعکاس نور نیز به کار می‌روند. در انتخاب ماده پوشش علاوه بر توجه به خواص مورد نظر در ارتباط با کاربرد آن باید عوامل اقتصادی هم مورد توجه قرار بگیرد. پوشش دهی به فرایندی گفته می‌شود که در آن سطح یک ماده را با لایه‌ای از ماده دیگر بپوشانند.

فرایند پوشش دهی فلزات به روش‌های مختلف پوشش دهی سرد و گرم انجام می‌گیرد که در اینجا چند روش از این فرایندها با یا بدون استفاده از جریان برق آورده شده است. برای انجام فرایند پوشش دهی فلزات نیاز است تا مراحل آماده‌سازی سطحی فلزات برای پوشش دهی به خوبی انجام شود تا یک پوشش چه به صورت سرد و چه به صورت گرم با کیفیت عالی بر روی



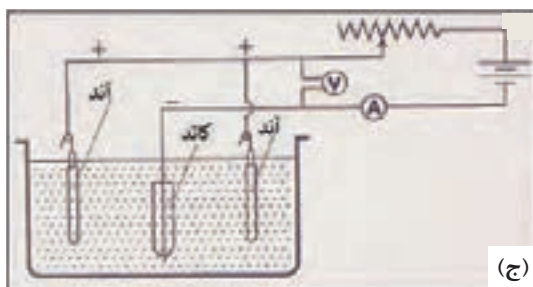
شکل ۱۳- پوشش دهی فلزات به روش غوطه‌وری داخل روی مذاب.



(الف)



(ب)



(ج)

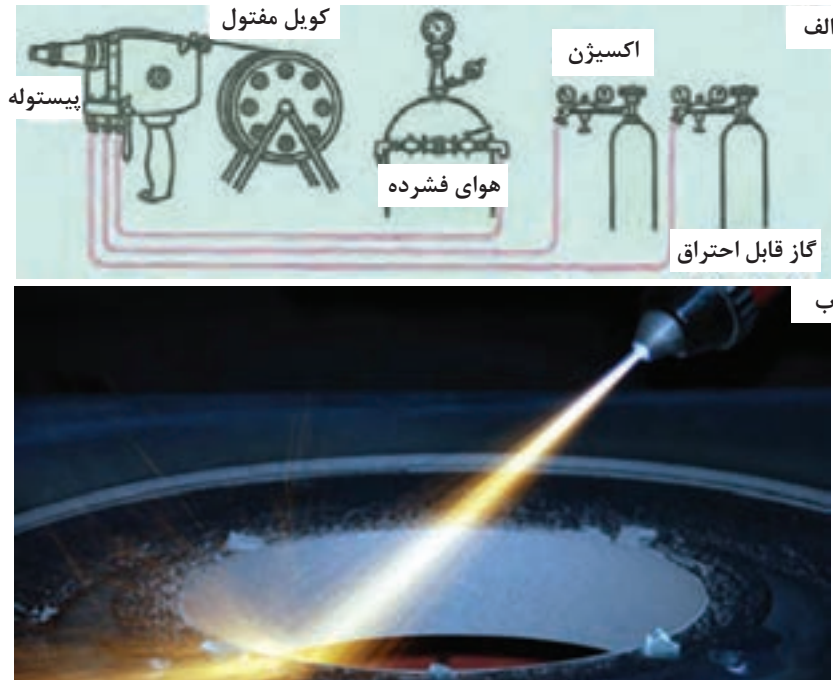
شکل ۱۴- (الف و ب) قسمتهایی از خطوط آبکاری نیکل در صنعت، (ج) شماتیکی از اجزا و نحوه آبکاری نیکل با جریان برق

### آبکاری الکترولیتی:

امروزه پوشش دهی الکتریکی (آبکاری) تا حدی توسعه یافته است که نه تنها مرحله نهایی تولید بعضی محصولات است بلکه برای ایجاد پوشش‌های محافظی مثل کادمیم، کروم یا اکسید آلومینیوم روی قطعات به کار می‌رود. پوشش دهی الکتریکی می‌تواند با فلزاتی نظیر نیکل، کروم، مس، روی، کادمیم، قلع، نقره، طلا و پلاتین انجام پذیرد. اساس پوشش دهی الکتریکی به این صورت است که در اثر عبور جریان مستقیم از یک الکترولیت فلز محلول در آن روی کاتد رسوب کرده و سپس مقداری از فلز آند وارد محلول می‌شود به این ترتیب ترکیب الکترولیت ثابت می‌ماند.

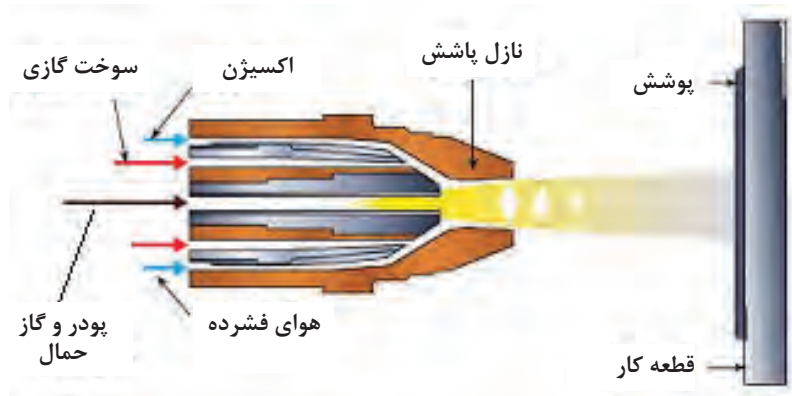
با استفاده از برق جریان مستقیم و یک مایع الکترولیت می‌توان لایه نازک و یکنواختی از یک فلز را بر روی فلزی دیگر قرار داد. برای این منظور باید مایع الکترولیت را حتماً از محلول نمک فلز پوشش انتخاب کرد و قطعه کار را به قطب منفی و صفحه ای از فلز پوشش را به قطب مثبت متصل کرد. با عبور جریان از داخل مایع، ذرات فلز مورد نظر به صورت لایه نازکی بر روی سطح قطعه قرار می‌گیرند. در شکل (۱۴) خطوطی از آبکاری نیکل نشان داده شده است که در این پودمان انجام آن به طور کامل توضیح داده خواهد شد.

پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله (Metal spray): در این روش به کمک پیستوله، فلز پوشش را که به صورت مفتول و یا پودر است از طریق حرارتی که به وسیله گاز قابل اشتعال و یا قوس الکتریکی تأمین می شود به صورت مایع درمی آورند و سپس به کمک هوای فشرده به صورت ذرات ریزی بر روی قطعه مورد نظر می پاشند که در شکل (۱۵) به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱۵- الف) شماتیکی از اجزای اصلی در پوشش دهی به روش پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله  
ب) پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله

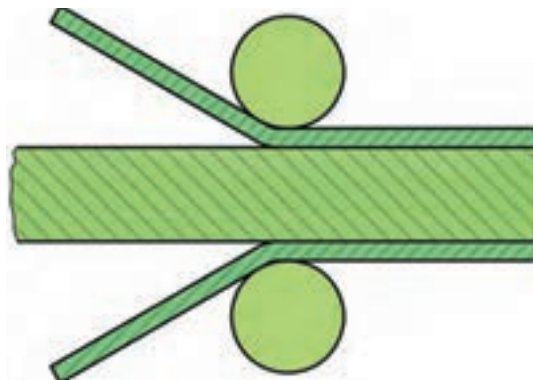
با این روش می توان فلزاتی مانند روی، آلومینیوم و فولادهای آلیاژی را نیز به عنوان پوشش بر روی فلز مورد نظر اعمال کرد. استفاده از روش پاشیدن به کمک پیستوله، همیشه به عنوان پوشش محافظ در مقابل خوردگی مورد استفاده نیست بلکه در تعمیرات نیز ممکن است به کار گرفته شود. شکل (۱۶) داخل پیستوله و نحوه ترکیب شدن مواد آن را نشان می دهد.



شکل ۱۶- نحوه ترکیب شدن مواد در داخل پیستوله

## آلیاژ کردن سطحی:

این روش بر مبنای انتقال حرارت از طریق برخورد سطحی مولکول‌هایی بنا شده است که باعث ایجاد اختلاط ذرات در محل برخورد می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان از کروم‌دار کردن سطح فولادها نام برد که در این روش لایه نازکی از سطح خارجی قطعات را به وسیله کروم آلیاژ می‌کنند. از محاسن کروم‌دار کردن می‌توان از عدم تورق قشر محافظ را نسبت به گالوانیزه کردن نام برد، و از نظر مقاومت در مقابل خوردگی با فولادهای آلیاژی کروم‌دار قابل مقایسه‌اند.



شکل ۱۷- پوشش‌دهی به روش روکش فلزی

## روکش فلزی:

نیمه ساخته‌ها، مانند ورق یا پروفیل را که از فلزات سنگین و یا فلزات سبک ساخته شده باشند می‌توان به وسیله کشیدن یک صفحه فلزی مقاوم در برابر خوردگی بر روی آنها به کمک نورد پوشش داد. موادی که برای روکش فولادها انتخاب می‌شوند معمولاً عبارت‌اند از: مس، برنج، نیکل و آلومینیوم. در شکل (۱۷) تصویری از فرایند پوشش‌دهی به روش روکش فلزی آورده شده است.

در جدول زیر انواع پرکاربرد پوشش‌ها، روش‌ها و کاربرد آنها در صنعت آورده شده است که در این کتاب بیشتر در مورد پوشش‌های فلزی توضیح داده شده است.

ردیف	نوع پوشش	ماهیت پوشش	روش‌های متداول اعمال پوشش	تصویر
۱	فلزی	این پوشش‌ها ماهیت فلزی دارند و می‌توانند از یک عنصر فلزی باشند مانند پوشش گالوانیزه، قلع، طلا، نقره و کرم. پوشش می‌تواند از ترکیب دو یا چند فلز نیز تشکیل شده باشد.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- آبکاری	
۲	سرامیکی	این پوشش‌ها ماهیت معدنی دارند مانند انواع لعاب‌ها که روی ظروف سفالی یا فلزی اعمال می‌شوند.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری	
۳	پلیمری	این پوشش‌ها از مواد پلیمری هستند و بیشتر به منظور محافظت سازه‌های فلزی در محیط اتمسفری استفاده می‌شوند: نظیر اپوکسی، پلی اورتان، پلی‌استر.	۱- پاشش ۲- غوطه‌وری ۳- ابزار دستی	

### تجهیزات مورد استفاده در عملیات پوشش‌دهی

در انجام فرایند پوشش‌دهی نیاز به ابزار و وسایل آزمایشگاهی است که در جدول زیر آورده شده است. با توجه به شکل آنها نام و موارد کاربرد آنها را پیدا کرده و در جدول زیر بنویسید.

شکل	نام ابزار	کاربرد
	.....	
	.....	
	.....	

### آماده‌سازی سطح قطعات برای پوشش‌دهی

چگونه می‌توانیم چربی‌های روی سطح فلزات را از بین ببریم؟

مهم‌ترین عامل در پوشش‌دادن، میزان تمیزی سطح فلز در کیفیت پوشش‌دهی، آلی و یا معدنی اعمال شونده بر فلز اصلی بسیار مؤثر است. وجود گریس، روغن، مواد ناشی از خوردگی، گرد و غبار، شن، گرافیت و یا سایر مواد خارجی در میزان چسبندگی و مقاومت پوشش مؤثرند. اعمال پوششی با کیفیت بالا به نحوه آماده‌سازی سطح فلز اصلی بستگی دارد. کیفیت سطحی که آبکاری می‌شود باید بهتر از سطحی باشد که رنگ شده است. جهت آماده‌سازی سطح فلزات برای پوشش‌دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش‌دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارت‌اند از: ۱- سنباده‌زنی، ۲- چربی‌زدایی و ۳- اکسیدزدایی

**۱ سنباده‌زنی** به صورت مکانیکی سطح فلز را صیقلی و صاف می‌کند و مواد ناخواسته از روی آن تمیز می‌شود.

**۲ چربی‌زدایی** به منظور حفاظت موقتی، روغن کاری یا در هنگام عملیات مکانیکی مانند ماشین‌کاری، کشش، مته‌زنی و یا سایر عملیات سطحی به قطعات روغن و گریس می‌زنند. بنابراین روی قطعات فلزی اغلب روغن و گریس وجود دارد که می‌توان با محلول‌های قلیایی قوی مانند سدیم کربنات یا سودسوزآور چربی‌زدایی کرد.



**۲ اکسیدزدایی (اسیدشویی)** اصطلاح اسیدشویی به زدودن غبار، اکسید، شن و پوسته‌های ناشی از ریخته‌گری از روی سطح فلزات با وارد کردن آنها در محلول‌های اسیدی گفته می‌شود. اسیدشویی معمولاً در محلول محتوی ۱۲۰ گرم بر لیتر سولفوریک اسید در دمای حدود ۶۰ تا ۶۵ درجه سلسیوس و یا کلریدریک اسید ۳۰ درصد انجام می‌گیرد. این روش معمولاً برای اسیدشویی آهن و فولاد یا مس استفاده می‌شود. همچنین برای برنج، نقره و آلیاژهای نیکل می‌توان به کار برد. مخزن‌های حاوی محلول برای فلزات آهنی و غیرآهنی باید جدا از هم باشند.

مراحل آماده‌سازی فلزات مختلف، متفاوت می‌باشد و روش انجام آنها و محلولی که در آن باید چربی‌زدایی یا اکسید زدایی انجام گیرد برای فلزات مختلف متفاوت است. مراحل آماده‌سازی سطح فولاد، مس و آلومینیوم در زیر به صورت فعالیت عملی آورده شده است.

### آماده‌سازی سطح فولاد زنگ زده برای پوشش‌دهی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** هیتر آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۸۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، کلریدریک اسید (HCl) ۳۰٪.

### مراحل انجام آزمایش

**۱** ورق فولاد ساده کربنی را در ابعاد ۵×۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌ها از شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.

**۲** تهیه محلول چربی‌زدایی (سود ۱۰٪): برای تهیه حمام چربی‌زدایی فولاد که باید سود سوزآور ۱۰٪ باشد، مقدار ۲۰ گرم سود سوزآور را در مقداری آب مقطر داخل بشر بریزید و خوب به هم بزنید بعد از هم زدن آب مقطر را تا اندازه‌ای اضافه کنید که محلول داخل بشر به اندازه ۲۰۰ CC برسد.

● برای حل کردن تمامی محلول‌ها که در آنها آب مقطر وجود دارد ابتدا محلول را در مقدار کمی آب مقطر به هم بزنید و سپس با اضافه کردن مقدار آب مقطر لازم آن را به حجم مورد نظر برسانید.

**۳** سپس گرم‌کن آزمایشگاهی (هیتر) را روشن کرده و بر روی دمای ۶۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و بشر را روی آن بگذارید. سپس مگنت را داخل بشر بیندازید و دستگاه را در دور کند آن تنظیم کنید تا محلول را به هم بزند و سود سوزآور به صورت کامل در آب مقطر حل شود.

**۴** نمونه را توسط پنس چوبی داخل محلول چربی‌زدایی تهیه شده به مدت ۵ دقیقه در همان دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار دهید.

### نکته:

- ابتدا توسط دماسنج دمای محلول را کنترل کنید تا دمای ۶۰ درجه سلسیوس باشد.
- هنگام انجام فرایند نیز دما و زمان توسط دماسنج و زمان سنج کنترل شود.
- در انجام این مرحله می‌توانید مگنت داخل بشر را بیرون بیاورید. این کار را می‌توانید توسط یک قطعه کوچک فولادی انجام دهید که مگنت به آن می‌چسبد و به راحتی بیرون می‌آید.
- ۵** بعد از چربی‌زدایی نمونه را دو مرحله آبکشی کنید (داخل آب راکد).
- نکته: منظور از دو مرحله آبکشی یعنی تعداد ۲ عدد بشر ۲۵۰ CC را با آب مقطر پر کرده و ابتدا در یکی

از بشرها به مدت ۵ ثانیه نمونه را وارد کنید و تکان دهید تا آبکشی شود و سپس همان کار را در بشر دومی در همان شرایط انجام دهید.

۶ تهیه محلول اکسیدزدایی: برای تهیه محلول اکسیدزدایی مقدار ۱۴۰ cc آب مقطر را داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و سپس مقدار ۶۰ cc کلریدریک اسید را توسط پیپت به آن اضافه کنید.

**نکته:**

- دمای انجام فرایند اکسیدزدایی دمای محیط بوده و نیازی به گرم کن آزمایشگاهی نیست.
- بر روی بشر نوشته شود محلول اکسیدزدایی است تا با دیگر محلولها اشتباه گرفته نشود.
- هرگز آب را به اسید اضافه نکنید.

۷ بعد از آبکشی نمونه را در محلول ۳۰% کلریدریک اسید (HCl) که در مراحل اولیه تهیه شده به مدت ۵ دقیقه فرو ببرید تا اکسیدزدایی انجام گیرد.

● **نکته:** در صورتی که قطعه تحت عملیات سنباده زنی قرار نگیرد باید به مدت ۱۵ دقیقه در محلول اسید قرار داده شود.

۸ بعد از اکسیدزدایی دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله با خشک کن خشک کنید.

● **نکته:** برای آبکشی در این مرحله از بشرهای آبکشی مرحله چربی زدایی استفاده نکنید و حتماً از بشرهای جداگانه استفاده شود.

● **نکته:** می توانید نمونه های آماده شده را در یک محیط مناسب نگهداری کنید تا برای فعالیت های بعدی که پوشش دهی است از آنها استفاده کنید. نمونه ها حتماً باید تمیز نگهداری شود. در غیر این صورت باید این مراحل در هنگام پوشش دهی از مرحله اول دوباره بر روی نمونه انجام گیرد.

● **نکته:** به جای خشک کن می توانید از سشوار نیز استفاده کنید.

**نکات ایمنی:**

- از بوییدن، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- تمام مراحل آزمایش در زیر هود انجام شود.
- در نگهداری مواد شیمیایی دقت کنید و در جای مخصوص خود قرار دهید. به هیچ عنوان نباید مواد شیمیایی را در بالای کابینت، بالای سکوها یا کف زمین حتی به طور موقت نگهداری کرد.
- محلول های سود سوزآور دارای اثر خوردگی بر روی بافت بدن هستند، با دقت با آنها کار کنید.
- قبل از ترک کار گاه لوازمی را که با آنها کار کرده اید به دقت بشویید و در جای خود، به طور مناسب قرار دهید.

● برای دفع مواد پسماند شیمیایی استفاده شده، حتماً آنها را ابتدا خنثی کنید و توسط کاغذ pH سنج یا هر نوع شناساگر دیگر کنترل کنید تا خنثی شده باشند و سپس از سیستم فاضلاب آزمایشگاه آنها را بیرون بریزید.

● بهتر است محلول سودسوزآور تهیه شده را در ظرف مخصوص نگهداری کنید تا در صورت نیاز دوباره از آن استفاده شود چرا که در فعالیت های دیگر این پودمان نیز کاربرد دارد. همچنین با این کار اتلاف مواد کم شده و خطرات زیست محیطی آن کاهش می یابد.

● هیچ گاه مواد آلوده شده و سود ضایعاتی را مستقیماً وارد سیستم فاضلاب یا رودخانه ها نکنید. ابتدا آن را خنثی کنید یا با اضافه کردن مقدار زیاد آب به آن، غلظت را کاهش دهید و سپس بیرون بریزید.

نکته  
زیست محیطی





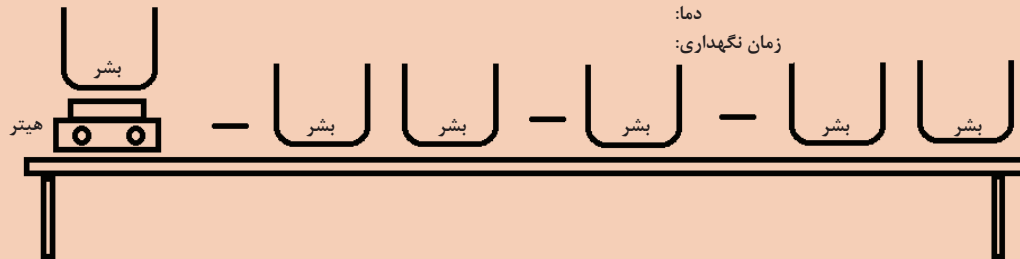
- ۱ چه تفاوت‌هایی بر روی سطح نمونه مورد آزمایش مشاهده می‌شود؟
- ۲ تمامی مراحل آماده‌سازی را در شکل زیر تکمیل کنید.

نام محلول:

مواد استفاده‌شده:

دما:

زمان نگهداری:



نام محلول:

مواد استفاده‌شده:

دما:

زمان نگهداری:



تحقیق کنید این مراحل برای قطعات بزرگ در کارخانه‌ها چگونه انجام می‌گیرد؟ نتایج فعالیت را به همراه جواب پرسش‌ها در یک گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.



### آماده‌سازی سطح نمونه مسی برای پوشش‌دهی

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ورق مسی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰cc به تعداد ۳ عدد، نیتریک اسید ( $HNO_3$ )، کلریدریک اسید (HCl).

#### مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق مسی را در ابعاد  $۱۰ \times ۵$  سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهید.
- ۲ نمونه را تا شماره ۱۲۰۰ سنباده‌زنی کنید.
- نکته:** اگر سطح نمونه‌ها صاف باشد نیاز به سنباده‌زنی نیست.
- ۳ مقدار ۲۰۰cc اسید نیتریک را در یک بشر ۲۵۰cc بریزید و به آن ۲cc کلریدریک اسید توسط پیپت اضافه کنید.
- ۴ نمونه مسی را توسط پنس چوبی گرفته و داخل محلول آماده‌سازی به مدت ۱ دقیقه نگهداری کنید.
- ۵ دو مرحله آبکشی کنید و سپس با خشک‌کن خشک کنید.

#### نکته:

- حتماً بر روی بشر نام محلول‌ها نوشته شود.
- برای نمونه‌های مسی و برنجی هم چربی‌زدایی و هم اکسیدزدایی بعد از پرداخت کاری اولیه در این محلول انجام گیرد.

#### نکات ایمنی:

- برای نمونه‌های فولادی که قلع اندود می‌شوند ابتدا باید یک لایه پوشش مسی داده شود و سپس قلع داده شود تا کیفیت لایه پوششی بالا باشد.
- در هنگام آزمایش استفاده از عینک، ماسک تنفسی، دستکش و روپوش آزمایشگاهی الزامی است.
- آزمایش زیر هود انجام شود.
- محلول خنثی شده را می‌توان در سیستم فاضلاب آزمایشگاه تخلیه کرد.



● **نکته زیست:** هرگز ظروف حاوی مواد و محلول‌ها را بدون درپوش مناسب، نگهداری نکنید تا ضمن جلوگیری از آلودگی هوای آزمایشگاه، از آلودگی نمونه‌ها با مواد خارجی جلوگیری شود. مراحل انجام آزمایش را در گزارش کار با رسم شکل شرح دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۶



### آماده‌سازی سطح آلومینیوم برای پوشش دهی

**هدف از انجام آزمایش:** افزایش کیفیت و چسبندگی لایه پوشش بر روی سطح آلومینیوم مواد و وسایل مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، نیتریک اسید (HNO<sub>3</sub>) ۵۰٪.

### مراحل انجام آزمایش

- ۱ هرگروه نمونه‌ای از آلومینیوم را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهد.
- ۲ در صورت صاف نبودن سطح، سنباده‌زنی انجام گیرد.
- ۳ مقدار ۲۰۰ cc سود ۱۰٪ تهیه کنید و بر روی گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار دمای آن را به ۷۰ درجه سلسیوس برسانید و دستگاه را در دور کند تنظیم کنید تا خوب حل شود.
- ۴ مقدار ۱۰۰ cc آب مقطر را در داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و ۱۰۰ cc نیتریک اسید را اندک اندک به آن اضافه کنید.
- ۵ نمونه آلومینیومی مورد آزمایش را توسط پنس چوبی به مدت ۳۰ ثانیه در سود ۱۰٪ با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار دهید.

### نکته:

- ابتدا توسط دماسنج دمای محلول کنترل شود تا دما ۷۰ درجه سلسیوس باشد.
- حین آزمایش دما و زمان کنترل شود.
- ۶ دو مرحله آبکشی انجام شود.
- ۷ نمونه را بعد از آبکشی به مدت ۱ دقیقه در محلول نیتریک اسید ۵۰٪ در دمای محیط قرار دهید.
- ۸ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۹ بلافاصله نمونه را توسط خشک‌کن خشک کنید.

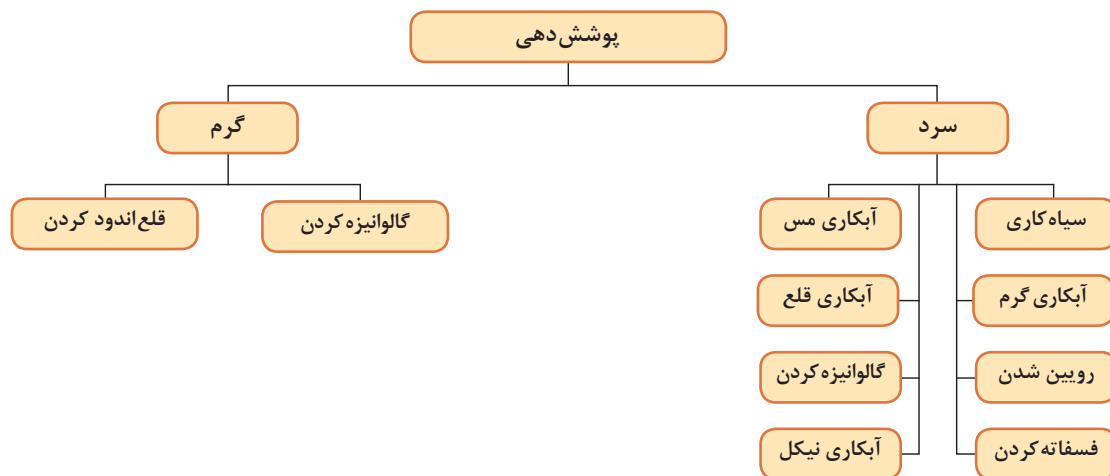
گفت‌وگو  
کنید



- ۱ چه تغییراتی بر روی سطح نمونه ایجاد شد؟
- ۲ مهم‌ترین پوششی که بر روی فلز آلومینیوم انجام می‌شود کدام است؟
- ۲ پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

## عملیات پوشش دهی

پوشش دهی فلزات به دو صورت سرد و گرم می‌تواند انجام شود. در نمودار ۱ انواع مختلفی از روش‌های پوشش دهی هم برای پوشش دهی سرد و هم برای پوشش دهی گرم آورده شده است.



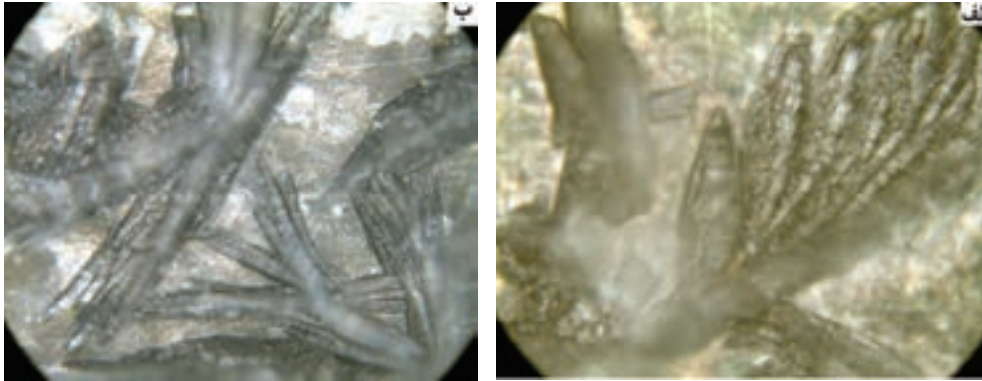
نمودار ۱- انواع پوشش دهی

می‌شود که در هنگام رنگ کردن، ماده رنگی در داخل این حفرات و شیارها گیر می‌کنند و چسبندگی بهتر صورت می‌گیرد. پوشش دهی فسفاته، عملیاتی بر روی چدن، فولاد، فولاد گالوانیزه شده یا آلومینیوم، در محلول رقیق فسفریک اسید و دیگر ترکیبات است که در آن سطح فلز در محیط فسفریک اسید به طور شیمیایی فعال شده است و به لایه‌ای محکم و تقریباً محافظ از کریستال‌های غیرقابل حل فسفات تبدیل می‌شود. فرایند فسفاته کردن از حساسیت بالایی برخوردار است و عوامل مختلفی از قبیل شرایط آماده‌سازی سطح فلز، ترکیبات شیمیایی حمام، pH، دما، زمان فسفاته‌کاری، اندازه دانه‌ها و بسیاری دیگر از پارامترهای شیمیایی و متالورژیکی، بر روی خواص پوشش حاصله اثر می‌گذارند. این پوشش به رنگ خاکستری تیره بوده و در زیر میکروسکوپ به صورت شکل (۱۸) دیده می‌شود.

### فسفاته کردن

هرساله صدها هزار دستگاه خودرو در کارخانجات مختلف خودروسازی تولید می‌شوند. بدنه کلیه خودروها تحت عملیات رنگ کاری قرار می‌گیرند و از آن جایی که بدنه اتومبیل تحت سخت‌ترین شرایط جوی و محیطی قرار دارد دستیابی به پوشش رنگ نهایی که بالاترین مقاومت در برابر خوردگی و تنش‌های مکانیکی را داشته باشد، مطلوب است.

جهت رسیدن به این هدف همواره سعی شده است که عملیات زیرسازی رنگ با بهترین مواد شیمیایی و در شرایط بهینه انجام شود. فرایند فسفاته کردن بیشتر برای زیرکاری و قبل از انجام فرایند رنگ کاری برای اینکه رنگ بهتر روی سطح بنشیند و عمر طولانی‌تری داشته باشد استفاده می‌شود. در صورت انجام این عملیات بر روی سطح فولاد حفره‌ها و شیارهای ریزی ایجاد



شکل ۱۸- (الف) فولاد S437 بعد از یک بار عملیات فسفات‌دهی در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و (ب) همان نمونه بعد از دوبار عملیات فسفات‌دهی در بزرگ‌نمایی ۵۰۰.

بیشترین کاربرد پوشش‌های فسفات‌دهی به عنوان پوشش زیر رنگ است. علاوه بر آن از پوشش فسفات‌دهی در کاربردهای زیر نیز استفاده می‌شود:

- ۱ به عنوان پایه‌ای برای روغن یا ضد زنگ
- ۲ روانکاری و مقاومت در برابر سایش، کنده شدن، سایش سطحی قطعات متحرک در تماس با یکدیگر
- ۳ ایجاد سطوح دارای قابلیت شکل‌پذیری سرد مطلوب
- ۴ ایجاد مقاومت موقت یا کوتاه مدت در برابر خوردگی
- ۵ پایه چسبندگی ورق‌های پلاستیکی - فلزی یا لاستیکی به فلز

سه پوشش عمده فسفات‌دهی در صنعت عبارت‌اند از:

- ۱- **روی فسفات:** این نوع پوشش فسفات‌دهی جهت افزایش مقاومت سایشی، به عنوان ضد زنگ پایه رنگ و روغن، کمک به شکل‌دهی سرد و کشش سیم و تیوب به کار می‌رود.
- ۲- **آهن فسفات:** به عنوان پایه رنگ به کار می‌رود. به دلیل چسبندگی خوب این پوشش، رنگ در مقابل پوسته‌ای شدن ضربه‌ای به خوبی مقاومت می‌کند. مقاومت خوردگی آهن فسفات از روی فسفات کمتر است.
- ۳- **منگنز فسفات:** بر روی قطعات آهنی برای جلوگیری از کنده شدن سطحی و قفل شدن قطعات با یکدیگر در هنگام کار اعمال می‌شود.

### فسفات‌دهی فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۱ گرم، میکروسکوپ نوری، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۹ عدد، حمام چربی‌زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام فسفات‌دهی.

فعالیت  
کارگاهی ۷



- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد  $50 \times 100$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌ها از شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
  - ۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی‌زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
  - ۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
  - ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
  - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
  - ۶ برای تهیه حمام فسفات‌زدایی مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
    - فسفریک اسید ۱۱ cc/lit
    - سدیم نیترات ۱ g/lit
    - روی اکسید ۵/۶ g/lit
    - نیتریک اسید ۲/۵ cc/lit
- مقدار ۲/۲ سی‌سی فسفریک اسید را توسط پیپت به داخل یک بشر ۲۵۰ cc بریزید سپس مقدار ۰/۲ گرم سدیم نیترات را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. مقدار ۱/۱۲ گرم روی اکسید را وزن کرده و به آن اضافه کنید و دوباره به هم بزنید. همچنین ۰/۵ سی‌سی نیتریک اسید توسط پیپت به آن اضافه کنید. دمای این حمام باید ۸۰-۷۰ درجه سلسیوس باشد. خشک‌کن را در این دما تنظیم کرده و بشر حمام فسفات‌زدایی را بر روی آن قرار دهید و توسط دماسنج، دمای آن را کنترل کنید. بعد از رسیدن به دمای مورد نظر ورق فولادی آماده شده را در داخل آن توسط پنس چوبی به مدت زمان ۱۰ دقیقه قرار دهید.
- ۷ دو مرحله آبکشی شود.
  - ۸ توسط پنس چوبی نمونه را بردارید و بلافاصله با استفاده از خشک‌کن خشک کنید.

نکته



- به هیچ عنوان آب را به اسید اضافه نکنید چرا که امکان پاشش اسید در این صورت وجود دارد و به جای آن اسید را به آب اضافه کنید.
- ترکیب اصلی محلول‌ها برای یک لیتر است که در این آزمایش ۲۵۰ cc محلول مورد نیاز است. مقادیر استفاده شده از هر ماده به مقدار ترکیب اصلی آن نسبت به حجم مورد نظر انتخاب می‌شود.
- در تمامی مراحل می‌توانید از آب معمولی نیز به جای آب مقطر استفاده کنید ولی جهت بالا بردن کیفیت پوشش انجام گرفته بهتر است از آب مقطر استفاده شود. اگر از آب معمولی استفاده شود لکه‌های سفید رنگی بر روی پوشش می‌تواند رسوب کند.
- فرایند فسفات‌زدایی تا ارتفاعی از نمونه که در داخل حمام قرار دارد انجام می‌گیرد و در صورت نیاز به اینکه تمام قطعه داخل حمام قرار گیرد، باید در بالای آن سوراخ کوچکی با مت‌۳ میلی‌متری ایجاد کرد و توسط سیم تمامی آن را در داخل حمام وارد کرد. برای مشاهده تفاوت ایجاد شده بهتر است مقداری از آن داخل حمام باشد تا تفاوت ایجاد شده قبل از انجام کار و بعد از آن مشخص باشد.

نکته ایمنی



- از استشمام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- اگر مواد شیمیایی در جایی ریخته شود، آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- سولفوریک اسید فعالیت شیمیایی زیادی دارد، باید با دقت زیاد از آن استفاده کرد و آن را کم کم و به آهستگی در آب ریخت و به هم زد.
- اسید غلیظ، پوست را می سوزاند و از این لحاظ باید با احتیاط زیاد با آن کار کرد.

نکته زیست محیطی



- توجه داشته باشید که فسفریک اسید آلوده کننده محیط زیست است. در اندازه مناسب استفاده شود و قبل از دفع، حتماً خنثی گردد و سپس از طریق سیستم فاضلاب، دفع شود.
- می توان فسفریک اسید را ابتدا با مواد بازی مانند سودسوزآور خنثی کنید، سپس با موادی مانند شن، ماسه یا خاک آن را جمع آوری کنید و آن را در ظرف مخصوص زباله های شیمیایی بریزید.
- از مواد آتش گیر مانند خاک اره برای جمع آوری اسید هرگز استفاده نکنید.
- برای دفع زباله های آلوده به اسید، می توان آن را در خاک دفن کرد تا فسفات به عنوان کود در زمین جذب شود.

پرسش



- ۱ بعد از انجام فرایند فسفات کردن چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می کنید؟ نتایج به دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
  - ۲ این فرایند تا چه اندازه ای عمر لایه رنگ کاری را افزایش می دهد؟
  - ۳ توسط میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی های مختلف سطح نمونه را مشاهده کرده و در یک دایره رسم کنید و تفاوت ایجاد شده را قبل و بعد از فسفات کردن بنویسید.
  - ۴ چند نوع فرایند فسفات کردن وجود دارد؟ تفاوت آنها در چیست؟
- پاسخ پرسش ها را به همراه نتایج فعالیت در گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

## سیاه کاری

سیاه کاری به فرایند ایجاد یک لایه اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی است که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نام گذاری آن به فرایند سیاه کاری شده است. هدف از ایجاد این لایه بر سطح قطعات، به دلیل مقاومت بالای پوشش به خوردگی اتمسفری خصوصاً در محیط های مرطوب است و بیشتر در مقاصد انبارداری قطعات و ورق های فولادی، کاربرد دارد. هرچند در ابتدا، مهم ترین جنبه استفاده از این پوشش ها در صنایع نظامی و جهت پوشش بدنه اسلحه ها، بوده است. در شکل (۱۹) نمونه هایی از قطعات صنعتی که تحت عملیات سیاه کاری قرار گرفته اند را مشاهده کنید.



شکل ۱۹- تصاویری از قطعات سیاه کاری شده

روش های مختلفی به منظور ایجاد این لایه بر سطح قطعات فولادی وجود دارند که هم به صورت گرم و هم به صورت سرد انجام می گیرد ولی در حالت کلی روش معمول، استفاده از فرایند غوطه وری در حمام قلیایی گرم، شامل ترکیبات سدیم نیترات، سدیم نیتريت، سودسوزآور و مواد افزودنی دیگر است. در شکل (۲۰) قسمتی از خط عملیات سیاه کاری را مشاهده می کنید.



شکل ۲۰- عملیات سیاه کاری

### مزایای سیاه کاری

- **مقاومت خوردگی:** افزایش عمر کاری و مدت زمان انبارداری قطعات
- **مقاومت به سایش مداوم:** پوشش های تبدیلی سخت در برابر پوسته شدن، ترک خوردن، سایش و خراش مقاومت خوبی دارند.
- **ضد چسبندگی:** در مواردی که نیاز به تماس قطعات است، پوشش سیاه و لایه روانکار مانع چسبندگی سطوح شده و هنگام تماس قطعات در اثر سایش فدا شده و سطح قطعه را سالم نگه می دارند.
- **روانکاری:** عملیات نهایی پایه روغن که بعد از فرایند سیاه کاری مرسوم می باشد، علاوه بر حفاظت سطح در برابر خوردگی، حرکت سطوح در تماس با یکدیگر را راحت تر می سازند.
- **زیبایی ظاهری پوشش:** این فرایند سبب ایجاد رنگ سیاه زیبا و تزیینی بر روی سطح قطعه شده و کیفیت سطحی آن را افزایش می دهد.
- **کاهش براقیت قطعه:** این فرایند براقیت قطعه را کاهش می دهد.
- **آماده سازی سطحی:** جهت بهبود چسبندگی رنگ و لاک های نهایی می توان از این پوشش به عنوان زیرلایه استفاده کرد.
- **رسانایی:** سیاه کاری، پوششی مناسب برای قطعات الکتریکی است، زیرا فقط در حدود ۱% رسانایی قطعه بعد از اعمال این پوشش کاهش می یابد.



## سیاه کاری فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** خشک کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت همزن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، میکروسکوپ نوری، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام سیاه کاری

۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.

۲ چربی زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.

۳ بعد از چربی زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.

۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.

۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.

۶ برای تهیه حمام سیاه کاری مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:

- سود سوزآور ۶۰۰ g/lit

- سدیم نیترات ۳۰ g/lit

- سدیم نیتريت ۲۰ g/lit

مقدار ۱۲۰ گرم سودسوزآور را داخل ۵۰ CC آب مقطر در یک بشر ۲۵۰ CC حل کنید سپس ۶ گرم سدیم نیترات را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. همچنین مقدار ۴ گرم سدیم نیتريت را به آن اضافه کنید و دوباره به هم بزنید. گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار را در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و بشر حاوی محلول را بر روی آن بگذارید و دماسنج را داخل بشر قرار دهید و دمای آن را کنترل کنید تا به دمای مورد نظر برسد. مگنت همزن را داخل بشر بیندازید و گرم کن آزمایشگاهی را در دور کند تنظیم کنید تا محلول را هم بزند.

۷ بعد از اینکه محلول به دمای مورد نظر رسید، ورق فولادی را به مدت ۲۰ دقیقه داخل محلول قرار دهید.

۸ ورق فولادی را توسط پنس چوبی بیرون آورده و در دو مرحله آبکشی کنید.

۹ بلافاصله بعد از آبکشی نمونه را با استفاده از خشک کن خشک کنید.

● به هیچ عنوان آب را به اسید اضافه نکنید چرا که امکان پاشش اسید در این صورت وجود دارد و به جای آن اسید را به آب اضافه کنید.



نکته ایمنی



- عوارض حاد ناشی از تماس کوتاه با غلظت‌های زیاد سودسوزآور شامل تحریک و التهاب و سوختگی پوست، چشم، بینی، نای و حنجره است. در صورت مشاهده هرچه سریع‌تر فرد را به پزشک ارجاع دهید.
- استنشاق میزان زیاد سودسوزآور باعث تورم حنجره و بیماری‌های ریوی غیرقابل برگشت می‌شود.
- علایم اولیه بلعیدن سودسوزآور شامل درد شکم و استفراغ است. در صورت ایجاد این حالت‌ها هرچه سریع‌تر فرد را به پزشک ارجاع دهید.

نکته زیست محیطی



مواد آلوده شده و سود ضایعاتی را مستقیماً وارد سیستم فاضلاب شهری یا رودخانه‌ها نکنید.

پرسش



- ۱ بعد از انجام فرایند سیاه‌کاری چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌کنید؟ نتایج به دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
- ۲ مراحل کامل آزمایش سیاه‌کاری را در شکل زیر تکمیل کنید.
- ۳ تحقیق کنید فرایند سیاه‌کاری بیشتر بر روی چه نوع قطعاتی انجام می‌گیرد؟

بحث گروهی



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

### مس اندود کردن فولاد

به علت اینکه بعضی از فلزات بر روی فولادها چسبندگی بالایی ندارند و هنگام پوشش‌دهی کیفیت و عمر لایه پوششی در برخی از فلزات پایین است، ابتدا یک لایه واسطه از فلزی را که چسبندگی خوبی هم با فولاد و هم با فلز پوششی مورد نظر دارد، بر روی فولاد پوشش می‌دهند تا چسبندگی عالی داشته باشد. در پوشش‌دهی قلع نیز ابتدا فولاد را مس اندود می‌کنند تا پوشش قلع کیفیت بالایی داشته باشد. در این بخش نحوه مس اندود کردن فولاد و آماده‌سازی سطح آن برای پوشش‌دهی قلع گفته شده است و فرایند آبرکاری مس نیز به‌طور کامل در بخش‌های بعدی آورده شده است.

### مس اندود کردن فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ‌کننده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر CC ۲۵۰ به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام مس اندود کردن (مس سولفات، سولفوریک اسید)

فعالیت کارگاهی ۹





- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد  $50 \times 100$  میلی متر به ضخامت ۲ میلی متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
  - ۲ چربی زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
  - ۳ بعد از چربی زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
  - ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
  - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
  - ۶ حمام مس اندود را تهیه کنید. برای تهیه حمام مواد زیر مورد نیاز است که طبق مراحل زیر اقدام کنید:
    - مس سولفات ۱۵ g/lit
    - سولفوریک اسید ۱۰ cc/lit
- محلول را در اندازه ۲۰۰ cc آماده کنید. برای انجام این کار ابتدا مقدار ۳ گرم مس سولفات را در ۱۰۰ cc آب مقطر خوب به هم بزنید. سپس ۲ cc سولفوریک اسید به آن اضافه کنید و خوب به هم بزنید. آب مقطر را تا اندازه‌ای به آن اضافه کنید که به حجم ۲۰۰ cc برسد.
- ۷ نمونه را به مدت ۱۰ ثانیه توسط پنس چوبی داخل حمام وارد کنید.
  - ۸ دو مرحله آبکشی کنید و بلافاصله با خشک کن خشک کنید.
- نمونه را برای انجام فعالیت‌های بعدی نگه دارید.

دمای انجام فرایند دمای محیط می باشد.

نکته



رعایت تمامی نکات ایمنی فعالیت‌های قبل الزامی است.

نکته ایمنی



سولفوریک اسید توسط آهک، سدیم کربنات، سودسوزآور و منیزیم هیدروکسید خنثی می شود. در صورتی که محلول را نگهداری نمی کنید، ابتدا محلول را خنثی کنید و سپس آن را دفع کنید.

نکته زیست محیطی



چه تغییراتی بر روی سطح نمونه مشاهده می کنید.

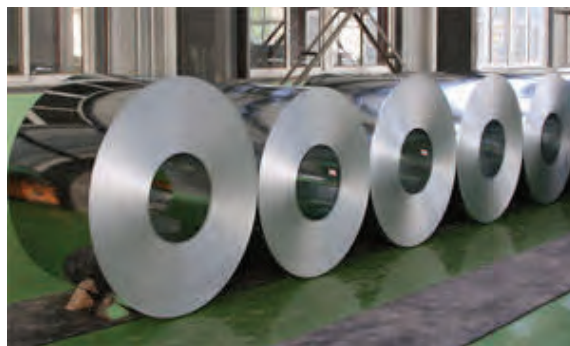
پرسش



## پوشش دهی قلع

اندود یا حلبی تولید می‌شود که اغلب در ساخت ظروف مواد غذایی به کار می‌روند. غیر سمی بودن ترکیبات قلع سبب استفاده از آنها در ظروف مواد غذایی شده است و اولین و گسترده‌ترین کاربرد ورق‌های قلع‌اندود تولید قوطی‌های کنسرو است. چون آهن فلزی فعال‌تر از قلع است و پتانسیل احیای قلع بیشتر از آهن است و به عنوان کاتد در حلبی به کار می‌رود و آهن آند می‌شود. به همین دلیل در صورتی که پوشش قلع بشکند، خوردگی آهن در زیر این پوشش پیش می‌رود در غیر این صورت قلع فلزی مقاوم در برابر خوردگی است. شکل (۲۱) ورق قلع‌اندود شده را نشان می‌دهد که قلع به عنوان زیرلایه بوده و بعد از آن پوشش کروم داده شده است تا قلع چسبندگی آن را افزایش دهد.

قلع‌اندود کردن فرایندی است که بر روی فولاد یا آهن کار شده لایه نازکی از قلع پوشیده می‌شود، محصول نهایی به دست آمده از این فرایند ورق قلع‌اندود است. این ورق اغلب برای جلوگیری از زنگ زدگی استفاده می‌شود. قلع از فلزاتی است که ذاتاً به راحتی اکسید می‌شود و از طریق ایجاد اکسید در مقابل اتمسفر مقاوم می‌شود و در محیط‌های بسیار خورنده مثل اسیدها و نمک‌ها، به خوبی پایداری می‌کند. به همین دلیل در موارد حساس که خوردگی قابل کنترل است از قطعات قلع یا پوشش‌های قلع استفاده می‌شود. پوشش‌های قلع را به روش‌های غوطه‌وری در مذاب، آبکاری، پاششی و جابه‌جایی شیمیایی تهیه می‌کنند. هر ساله میلیون‌ها تن ورقه‌های قلع



شکل ۲۱- ورق قلع‌اندود شده با پوشش کروم

ورق قلع‌اندود دارای کاربردهای زیادی است و غالباً در صنایع بسته‌بندی مواد غذایی، شیمیایی، دارویی، رنگ‌ها و با درصد اندکی نیز در ساخت سایر مصنوعات از قبیل فیلتر روغن، گازوئیل، هوا و آب برای کامیون، اتوبوس، تراکتور و ماشین‌آلات سنگین، اتومبیل‌های سواری، صنایع اسباب‌بازی و باتری‌سازی به کار می‌رود.

## پوشش دهی قلع بر روی فولاد بدون استفاده از جریان برق

به دلیل خطرات احتمالی این فعالیت تنها توسط هنرآموز در حضور هنرجویان انجام شود.

فعالیت  
کارگاهی ۱۰



نکته



## آبکاری نیکل

نیکل اولین فلزی است که در صنعت از طریق آبکاری به عنوان پوشش به کار گرفته شده است. نیکل فلزی است سفید رنگ که رنگ پوشش آن نقره‌ای روشن و متمایل به زرد است. برای اینکه از زرد یا کدر شدن نیکل در فضای آزاد جلوگیری شود از سال ۱۹۲۵ بر روی پوشش‌های نیکل لایه نازکی از کروم به صورت الکترولیتی پوشش داده می‌شود که این روش بعدها به پوشش‌های چند لایه نیکل منجر گشت.

آبکاری نیکل برای کاربردهای تزئینی، با افزودن مواد مناسب به محلول آبکاری پوشش هموار و براق رسوب می‌کند. با اعمال پوشش نهایی کروم، طلا یا نقره سطح قطعات بسیار جذاب و بادوام می‌شود. در آبکاری صنعتی نیکل، براقی ظاهری پوشش مورد نظر نیست. در این موارد پوشش‌های نیکل معمولاً فاقد گوگرد بوده و ظاهری کدر دارند. این پوشش‌ها برای بالا بردن مقاومت به خوردگی و مقاومت در برابر سایش، بازسازی قطعات ساییده شده، تغییر خواص مغناطیسی و آماده‌سازی برای لعاب کاری به کار می‌رود که این موارد عمدتاً در صنایع الکتریکی، رایانه، مخابرات و شیمی به کار می‌رود.

فعالیت  
کارگاهی ۱۱



### پوشش دهی نیکل بر روی فولاد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتی فایر (تراکم جریان ۳-۵/۰ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۹ عدد، ورق نیکل یا در صورت نبودن ورق سرب (به عنوان آند)، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰٪)، حمام نیکل (نیکل سولفات، نیکل کلرید، بوریک اسید)

### مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به دست آید.
- ۲ چربی زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰٪ انجام دهید.
- ۳ بعد از چربی زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
- ۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
- ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۶ حمام پوشش دهی نیکل را تهیه کنید. برای تهیه این حمام مواد زیر مورد نیاز بوده و طبق اصول آورده شده آن را انجام دهید.

■ نیکل سولفات ۳۱۰ g/lit

■ نیکل کلرید ۵۰ g/lit

■ بوریک اسید ۴۰ g/lit

حمام را در اندازه ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا مقدار ۶۲ گرم مس سولفات را در ۱۰۰ cc آب مقطر حل کنید. سپس ۱۰ گرم نیکل کلرید به آن اضافه کنید و هم بزنید. مقدار ۸ گرم بوریک اسید نیز به آن اضافه کرده و

سپس بر روی هیتر بگذارید و در دمای ۴۰ الی ۷۰ درجه سلسیوس تنظیم کنید و همزن آن را روی دور کند بگذارید تا کاملاً حل شود.

۷ رکتی فایر (یکسوکننده) را روشن کنید و ولتاژ آن را در  $3 \text{ V/dm}^2$  تنظیم کنید. توجه داشته باشید که در این آزمایش ولتاژ مهم است و نیازی نیست جریان در مقدار مشخصی باشد. جریان خود نسبت به ولتاژ تنظیم خواهد شد.

۸ نمونه فولادی را توسط سیم به قطب منفی منبع تغذیه و نیکل یا سرب را به قطب مثبت آن وصل کنید و هردو را در داخل حمام نیکل قرار دهید.

۹ بعد از ۲۰ دقیقه نمونه را بردارید.

۱۰ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله با خشک کن آن را خشک کنید.

در این فعالیت فقط یک طرف نمونه فولادی تحت پوشش قرار می‌گیرد و اگر بخواهیم دو طرف آن نیز پوشش دهی شود باید نمونه فولادی در وسط دو تا آند قرار گیرد.

نکته



- رعایت تمامی نکات ایمنی حفاظتی فعالیت‌های قبل الزامی است.
- محل اتصال دستگاه به پریز برق را با دست مرطوب نگیرید.

نکته ایمنی



سولفوریک اسید توسط آهک، سدیم کربنات، سودسوزآور و منیزیم هیدروکسید خنثی می‌شود. در صورتی که محلول را نگهداری نمی‌کنید، ابتدا محلول را خنثی کرده و سپس آن را دفع کنید.

نکته زیست محیطی



۱ چه تفاوتی دارد که از نیکل به عنوان آند استفاده کنیم یا از سرب؟ فعالیت را جداگانه انجام دهید و مشاهدات خود را بنویسید.

۲ آیا فاصله آند و کاتد بر روی کیفیت پوشش تأثیرگذار است؟ چطور می‌توان بهترین فاصله را برای آن پیدا کرد؟

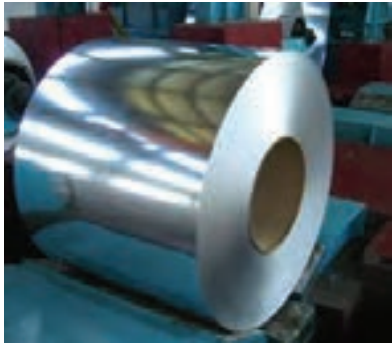
۳ مراحل انجام فعالیت پوشش دهی نیکل را به طور کامل بنویسید.

۴ نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به صورت عرضی ببرید و مانع کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید.

۵ در صنعت برای اینکه تمامی قسمت‌های قطعات پوشش دهی شود، آند باید به چه شکلی باشد و در کجا قرار گیرد؟

پرسش





شکل ۲۲- ورق آهن گالوانیزه

### گالوانیزه سرد

آهن گالوانیزه آهنی است که با فلز روی پوشانده شده است. این آهن، حتی اگر پوشش آن هم شکستگی پیدا کند، از زنگ زدن محفوظ می ماند. به این دلیل که بین آهن و روی، پیل الکتروشیمیایی تشکیل می شود که در آن روی به جای آهن به عنوان آند و آهن به عنوان کاتد به کار می رود. روی چون فلزی پست تر یا فعال تر از آهن است و دارای پتانسیل احیا کمتری از آهن است و پتانسیل اکسید بیشتری از آن دارد، در آند اکسید می شود. شکل (۲۲) ورق آهن گالوانیزه را نشان می دهد.

از کاربردهای آهن گالوانیزه در ساختن لوازمی مانند لوله بخاری، کانال کولر، کابینت آشپزخانه، شیروانی منازل، لوله های آب و هر جا که احتمال خوردگی آهن و خسارت وجود دارد، استفاده می شود. همچنین مواردی نظیر:

۱ دکل ها و خطوط انتقال نیرو

۲ پل ها، سوله ها و مخازن

۳ سازه های فلزی.

۴ پروژه های ساخت و تجهیز نیروگاهی، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی.

۵ گلخانه ها

۶ شناورهای دریایی

۷ شاسی خودروهای سبک و سنگین

به غیر از محیط های دریایی که کادمیوم مناسب تر است، زمانی که لایه نازکی از روی بر فولاد رسوب داده شود نسبت به نیکل و سایر پوشش های کاتدی هم ضخامت، در برابر خوردگی محافظت بهتری ارائه می دهد. عنصر روی ارزان تر است اما دوام پوشش آن در مقایسه با نیکل و کروم کمتر است اما از نظر محافظت در برابر خوردگی در مقایسه با آنها کارایی بیشتری دارد.

### گالوانیزه سرد

**مواد و تجهیزات مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳-۵/۵ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰CC چند عدد، سودسوزآور ۱۰% (چربی زدایی)، کلریدریک اسید ۳۰% (اکسیدزدایی)، روی سولفات، آمونیم کلرید یا سدیم کلرید، آلومینیوم کلرید، بوریک اسید.

۱ ورق فولادی در اندازه ۵×۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی متر را بریده و سنباده زنی انجام دهید.

۲ طبق اصول آماده سازی نمونه های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰% چربی زدایی کنید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۲



۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، اکسید زدایی در کلریدریک اسید ۳۰٪ انجام دهید.

۴ محلول گالوانیزه سرد را تهیه کنید. مواد و مراحل تهیه محلول به صورت زیر است:

■ **روی سولفات:** ابتدا ۶۰ گرم روی سولفات را با استفاده از اسپاتول و ترازو بکشید و در مقدار کمی آب مقطر در داخل بشر هم بزنید.

■ **آمونیم کلرید یا سدیم کلرید:** مقدار ۳ گرم آمونیم کلرید و یا در صورت نبودن آن ۳ گرم سدیم کلرید (نمک طعام) به آن اضافه کنید و هم بزنید.

■ **آلومینیوم کلرید:** سپس ۶ گرم آلومینیوم کلرید به آن اضافه کنید.

■ **بوریک اسید:** ۳ گرم بوریک اسید نیز به آن اضافه کنید.

● **نکته:** تمامی مواد را توسط اسپاتول تمیز و با استفاده از دستکش بردارید.

● **نکته:** دمای مورد نیاز برای انجام فرایند گالوانیزه سرد دمای محیط است که باید توسط دماسنج کنترل شود.

● **نکته:** برای هم زدن محلول می‌توانید گرم‌کن را خاموش کرده و فقط همزن آن را در دور کند تنظیم کنید و بشر را بر روی آن بگذارید تا خوب حل شود.

● **نکته:** pH محلول حدود ۳/۸ تا ۴/۶ است که توسط دستگاه pH سنج کنترل می‌شود.

سپس به محلول آماده شده آب مقطر اضافه کنید تا به اندازه ۲۰۰ cc برسد.

۵ منبع جریان DC (رکتی فایر) را روشن کنید و آمپر آن را در ۱/۰۵ آمپر تنظیم کنید.

● **نکته:** برای پیدا کردن شدت جریان مورد استفاده در فرایند، باید مساحت پوشش را در تراکم جریان مورد استفاده ضرب کرد تا مقدار شدت جریان به دست آید. تراکم جریان بسته به میزان کیفیت سطح مورد نظر از ۰/۵ تا ۳ آمپر بر دسی متر مربع متغیر است که در این فعالیت انتخاب به صورت تجربی مقدار ۱/۵ آمپر بر دسی متر مربع می‌شود.

۶ نمونه را به قطب منفی منبع جریان DC (رکتی فایر) توسط کابل یک سر گیره وصل کنید و ورق سرب را به قطب مثبت.

۷ بعد از ۲۰ دقیقه نمونه را توسط پنس چوبی بردارید و بلافاصله توسط خشک کن خشک کنید.

● **نکته:** توجه داشته باشید که بعد از هر ۳ دقیقه، ضخامت ۱ میکرون بر روی سطح نمونه پوشش داده می‌شود و در صورت نیاز می‌توانید با تغییر دادن زمان آزمایش به ضخامت‌های مورد نیاز دست یابید. نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به صورت عرضی ببرید و مانع کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید و گزارش کار را تحویل هنرآموز خود دهید.

## آندایزینگ آلومینیوم

به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل یک لایه نازک اکسیدی بر روی قطعات آلومینیومی شده و باعث افزایش سختی، مقاومت در برابر خوردگی، ایجاد نمای تزئینی و تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی می‌گردد آندایزینگ اطلاق می‌شود. در این روش لایه متخلخل و سختی از آلومینیوم اکسید بر سطح فلز ایجاد می‌شود. مکانیزم کلی عمل به این صورت است که جریان مستقیم برق از مایع الکترولیت مناسبی می‌گذرد که در آن آلومینیوم آند بوده و فلز مناسب دیگری مثل سرب به عنوان کاتد است. در این صورت بر سطح آلومینیوم یک لایه نازک از اکسید ایجاد می‌شود که ضخامت آن به عوامل گوناگونی بستگی دارد.

آلومینیوم در شرایط معمولی نیز اکسید می‌شود به طوری که در مجاورت هوا به‌طور معمول لایه‌ای از اکسید به ضخامت یک سوم میکرون و به‌صورت غیرمتخلخل بر روی سطح قطعات آلومینیومی تشکیل می‌گردد که وظیفه حفاظت از سطح فلز را بر عهده دارد اما برتری و مزیت اکسید ایجاد شده در روش آندایزینگ نسبت به شرایط طبیعی مقاومت در برابر خوردگی است.

از مزایای آندایز کردن آلومینیوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- افزایش مقاومت فلز به خوردگی؛
- افزایش خاصیت عایق بودن نسبت به الکتریسیته؛
- بهبود چسبندگی رنگ بر سطح فلز؛
- افزایش مقاومت سایشی ماده؛
- افزایش روانکاری سطح فلز؛
- بهبود ظاهری و براق شدن سطح و در نتیجه امکان پذیر شدن انجام رنگ کاری‌های مختلف.

### مراحل آندایزینگ آلومینیوم

- پرداخت کاری مکانیکی؛
- اتصال قطعه به قلاب؛
- تمیزکاری قلیایی؛
- شست‌وشو با آب؛
- غوطه‌وری در نیتریک اسید ۵۰٪ حجمی؛
- شست‌وشو با آب؛

عملیات آندایزینگ در شرایط سولفوریک اسید با غلظت ۱۵٪ وزنی و دانسیته جریان ۱-۲/۵ آمپر بر دسی متر مربع و دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه سلسیوس و فلز سرب به عنوان کاتد در زمان ۲۰-۴۰ دقیقه است.

### آندایزینگ آلومینیوم

**مواد و وسایل مورد نیاز:** منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳-۵/۰ آمپر بر دسی متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر، گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰CC به تعداد ۹ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، نیتریک اسید ۵۰٪، حمام آندایزینگ (سولفوریک اسید)

### مراحل انجام آزمایش

**۱** ورق آلومینیومی در اندازه ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.

فعالیت  
کارگاهی ۱۳



طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های آلومینیومی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ و نیتریک اسید ۵۰٪ چربی‌زدایی و اکسیدزدایی کنید.

۲ حمام آندایزینگ که سولفوریک اسید ۹۰ cc/lit است را به صورت زیر تهیه کنید:

۳ حمام را به مقدار ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا ۱۸ cc سولفوریک اسید را در ۱۰۰ cc آب مقطر بریزید و به هم بزنید. سپس به اندازه مورد نظر (۸۲ cc) آب مقطر به آن اضافه کنید تا به حجم ۲۰۰ cc برسد.

۴ منبع جریان DC (رکتیفایر) را روشن کرده و ولتاژ آن را در حدود  $15 \text{ V/dm}^2$  تنظیم کنید.

۵ ورق آلومینیومی را به قطب مثبت (آند) و سرب را به قطب منفی (کاتد) توسط سیم‌های رابط وصل کنید و در داخل حمام آندایزینگ قرار دهید.

۶ نمونه را به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام و در دمای محیط قرار دهید.

● نکته: دمای حمام باید کنترل شود تا از ۲۵ درجه سلسیوس بیشتر نشود زیرا عملیات آندایزینگ متوقف می‌شود.

۷ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله نمونه را خشک کنید.

چه تغییراتی در سطح نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

آلومینیوم رنگی موجود در بازار به چه روشی رنگ کاری می‌شود؟

پرسش



تحقیق کنید



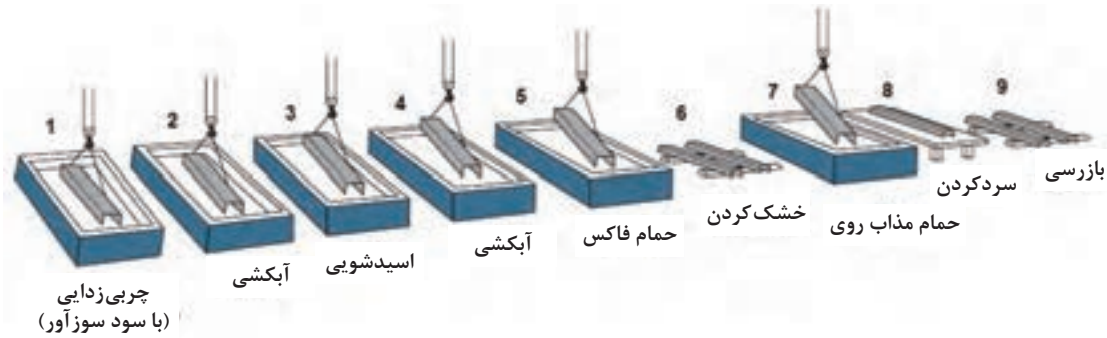
## گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم فرایندی است که در طی آن پوشش چسبنده و محافظی از فلز روی یا ترکیبات آن توسط فروبردن قطعات فولادی و چدنی در روی مذاب بر روی این قطعات تشکیل می‌شود. پوشش محافظ معمولاً از لایه‌های مختلفی تشکیل شده است. لایه‌هایی از پوشش که به فلز پایه نزدیک‌ترند، در واقع آلیاژی از آهن و روی هستند که به نوبه خود توسط لایه خارجی که تقریباً از روی خالص تشکیل شده است پوشیده شده‌اند.

ساختمان پیچیده این لایه که تشکیل یک پوشش گالوانیزه را می‌دهند از نقطه نظر ترکیب شیمیایی تفاوت‌های زیادی باهم دارند و خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی ندارند. خواص مذکور در این لایه‌ها تحت تأثیر فعالیت شیمیایی، نفوذ و نحوه خنک شدن بعدی قرار دارد. همچنین تفاوت‌های جزئی در ترکیب شیمیایی حمام مذاب (پوشش)، دمای حمام، زمان غوطه‌وری در حمام، سرعت خنک شدن و حرارت‌دهی مجدد (در موارد خاص و به منظور مقاصد خاص انجام می‌شود) می‌تواند سبب تغییرات چشمگیری در ظاهر و خواص پوشش گردد.

پوشش‌های گالوانیزه گرم که قابل اعمال بر روی انواع قطعات فولادی تولید شده هستند را می‌توان توسط روش‌های کاملاً مکانیزه خودکار، نیمه خودکار و دستی در کمیت‌های بالا و پایین به صورت مداوم و غیر مداوم به انجام رساند. در شکل (۲۳) مراحل گالوانیزه گرم نشان داده شده است.





شکل ۲۳- مراحل انجام گالوانیزه گرم

### کاربرد پوشش های گالوانیزه گرم

پوشش های گالوانیزه اساساً به منظور ایجاد حفاظت در برابر خوردگی بر قطعات فولادی و چدنی اعمال می شوند. موارد استفاده از پوشش های گالوانیزه گرم بسیارند که برخی از آنها عبارتند از:

- ۱ فولادهای ساختمانی به کار رفته در نیروگاه ها، تأسیسات پتروشیمی، مبدل های حرارتی، کویل های خنک کننده و دکل ها و تیرهای انتقال نیرو.
- ۲ قطعات سازه پل ها، کانال ها، لوله های فولادی کرکره شده و قوس های دیگر.
- ۳ مقاوم کردن فولاد به کار رفته در برج های خنک کننده، بتن های پیش ساخته، معماری و قسمت های مسطح پل ها که در معرض خوردگی کلریدها قرار دارند.
- ۴ سخت افزار به کار رفته در سازه های برق رسانی، خطوط انتقال نیرو و خط آهن.
- ۵ حفاظ های بزرگراه ها، روشنایی های در سطوح بالا و پل های ساخته شده جهت نصب تابلوهای علائم.
- ۶ ستون ها و ریل های واقع در نواحی دریایی.
- ۷ شبکه ها، نردبان ها و محفظه های ایمنی.

### عناصر آلیاژ کننده حمام مذاب

کادمیم و آهن معمولاً به عنوان آلوده کننده های حمام حضور دارند که به عنوان عناصر ناخواسته موجود در فلز روی هستند. فلز آلومینیوم در غلظت های بسیار کم و حدوداً ۰/۰۲ درصد مذاب می تواند سبب تخلیه بهتر مذاب از سطح قطعات و افزایش درخشش پوشش های حاصله گردد. مقادیر جزئی سرب در حمام می تواند به منظور گلداز شدن پوشش، تخلیه بهتر ذرات ناخالصی و تفاله های ته حمام مذاب به کار رود. حضور آلومینیوم در غلظت های کمتر از ۰/۰۱ درصد معمولاً در حمام مذاب در روش های مختلف از جمله روش خشک و روش تر حفظ می شود. کلریدهای موجود که به مقدار زیاد در فلاکس هستند با آلومینیوم موجود در حمام مذاب واکنش کرده و در نتیجه یک لایه مسطحی متشکل از تفاله ته حمام (دراس)، اکسید و کلرید آلومینیوم در سطح حمام ایجاد می گردد.

### ضخامت پوشش

علاوه بر ترکیب شیمیایی فلز پایه و پروفیل سطحی قطعات (زبری و غیره)، ضخامت پوشش به دست آمده در اثر گالوانیزاسیون گرم تابعی است از:

۱ زمان غوطه‌وری که ضخامت لایه آلیاژ را کنترل می‌کند.

۲ سرعت بیرون کشیدن قطعات از حمام مذاب که کنترل‌کننده ضخامت لایه خالص چسبیده بر سطح قطعات است.

۳ دمای حمام مذاب که هم ضخامت لایه آلیاژ و هم ضخامت لایه خالص را کنترل می‌کند.

زمان حفاظت در برابر خوردگی که توسط پوشش روی تأمین می‌شود، توسط ضخامت پوشش تعیین می‌شود. مطالعات جامع بسیاری که در این زمینه انجام گرفته است نشان می‌دهد، تمامی عوامل دیگر نظیر روش اعمال پوشش، خلوص فلز روی مصرفی و میزان آلیاژ شدن در مقایسه با ضخامت پوشش، تأثیر بسیار جزئی بر عمر حفاظت پوشش از قطعه را دارند. معمولاً مقدار پوشش روی را بر حسب گرم بر متر مربع مساحت قطعه کار اندازه‌گیری می‌کنند. در مورد ورق‌های گالوانیزه مقدار پوشش در یک طرف ورق تقریباً نصف وزن متوسط بر حسب گرم بر متر مربع بیان شده است. گاهی ضخامت پوشش بر حسب هزارم اینچ یا بر حسب میکرومتر داده می‌شود و گاهی به صورت درصدی از وزن فولاد پایه بیان می‌شود.

### تمیزکاری قطعات قبل از گالوانیزه کردن

مراحل چربی‌گیری و اسیدشویی شست‌وشو با آب (آبکشی) باید انجام گیرد.

در مورد قطعاتی که از چدن ریختگی و فولادهای کارشده در ساخت آنها استفاده شده است، آماده‌سازی سطحی بیشتری نیاز است و بهتر است تمیزکاری سایشی (مکانیکی) نیز بر روی آنها انجام گیرد.

اگرچه عملیات چربی‌گیری، اکسیدزدایی و آبکشی و سایر عملیات تمیزسازی، قسمت اعظم آلودگی‌ها و پوسته اکسیدی را از بین می‌برد، مقادیر جزئی ناخالصی‌ها به شکل اکسیدها، کلریدها، سولفات‌ها و سولفیدها در سطح قطعات ممکن است باقی بماند. این ناخالصی‌ها در صورتی که از بین نروند می‌توانند در واکنش آهن و روی در هنگامی که قطعه چدنی یا فولادی درون مذاب غوطه‌ور است تداخل کند. به همین منظور یک لایه فلاکس بر روی مذاب روی قرار داده می‌شود و هنگامی که قطعه وارد مذاب می‌شود ابتدا توسط فلاکس سطح آنها خیس می‌شوند معمولاً آمونیم کلراید اکسید روی جهت تشکیل یک لایه فلاکس بر سطح روی مورد استفاده قرار می‌گیرد که باید پایداری

قطعات چدنی و فولادی که قرار است گالوانیزه شوند پس از ساخت (قبل از فروبری در حمام روی مذاب) باید عاری از روغن، چربی و پوسته اکسیدی و سایر آلوده‌کننده‌های سطحی باشند. آماده‌سازی سطحی ناقص و نامناسب، بیشترین علت ایجاد ضایعات و نقاط سخت در پوشش‌های گالوانیزه را تشکیل می‌دهند.

ابتدا قطعات یا ورق‌ها در حمام‌های قلیایی متداول مثل سودسوزآور در دمای بین ۶۵ تا ۸۲ درجه سلسیوس چربی‌گیری می‌شوند و سپس توسط محلول‌های آبی سولفوریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۰ درصد وزنی در دمای ۶۰ الی ۸۰ درجه سلسیوس یا کلریدریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۵ درصد وزنی و در دمای محیط (۲۴ تا ۳۸ درجه سلسیوس و اگر بالای این دما باشد بخارات آن باعث آلودگی محیط خواهد شد)، جهت زدودن پوسته اکسیدی و زنگ‌زدگی قطعات فولادی، اسیدشویی می‌شوند. از آنجایی که هرگونه نمک آهن و یا ذرات آن در صورتی که بر روی سطح ورق یا قطعات باشد باعث ایجاد تفاله در حوضچه مذاب می‌شود، بنابراین پس از هر یک از این

شیمیایی کافی جهت تشکیل یک کف فعال در دمای گالوانیزاسیون (۴۴۵ درجه سلسیوس) را داشته باشد و بتواند عمل تمیزسازی را به درستی انجام دهد. یا اینکه حمام فلاکس به طور جداگانه وجود دارد و قبل از وارد شدن به روی مذاب ابتدا وارد فلاکس می کنند که این روش بیشتر کاربرد دارد. میزان مصرف فلاکس حدود ۳ کیلوگرم به ازای یک تن محصول می باشد.

### حمام گالوانیزاسیون

حمام روی مذاب معمولاً در دمای بین ۴۴۵ تا ۴۶۵ درجه سلسیوس جهت کار تولیدی کنترل می شود. بسته به ترکیب شیمیایی فولاد یا چدن، دمای حمام مذاب روی می تواند تأثیرات بسیار زیادی بر روی خواص متالورژیکی پوشش داشته باشد.

استفاده از حمام روی خالص مشکلاتی به همراه دارد که برای رفع آن حمام را به صورت آلیاژی از فلز روی تهیه می کنند که به فرایند پلیگالوا معروف است. پلیگالوا اساساً آلیاژی از روی است که دارای مقادیر معین و کنترل شده ای از فلزات آلومینیوم، منیزیم، قلع و سرب است. آلومینیوم به منظور به تأخیر انداختن تشکیل لایه بین فلزی و سایر عناصر به منظور حصول اطمینان از یکنواختی پوشش به کار گرفته شده است.

### زمان وارد و خارج کردن ورق یا قطعات از حمام مذاب

در گالوانیزاسیون قطعات پیش ساخته، ضخامت معمولاً توسط زمان غوطه وری کنترل می شود. به طور معمول زمان غوطه وری در محدوده ۱ الی ۵ دقیقه است که سریع غوطه ور کردن (فروبری) تأثیر زیادی در یکنواختی پوشش دارد. این امر در مورد قطعات طویل که اختلاف زمانی در فروبری ما بین نقاط ابتدایی و انتهایی آن زیاد است مهم تر بوده و باید بیشتر رعایت شود. به منظور ایجاد یک پوشش یکنواخت و با حداقل ضخامت، قطعات معمولاً با سرعت کم از درون حمام مذاب بیرون کشیده می شوند. سرعت بیرون کشیدن که کنترل کننده ضخامت لایه غیر آلیاژی (روی خالص) باقی مانده بر روی قطعات است، نسبت به نوع فرایند به کار گرفته شده متفاوت است و زمان مناسب برای بیرون کشیدن قطعات معمولاً در حدود ۱/۵ متر بر دقیقه است. در صنعت برای این منظور از جرثقیل های دو سرعته استفاده می شود که توسط این جرثقیل ها می توان قطعه کار را با سرعت زیاد وارد مذاب کرد و با سرعت کم از مذاب بیرون کشید. در مورد قطعات طویل که زمان بیرون کشیدن خیلی طولانی است، سرعت های بالا را می توان به کار برد.

### سانتریفیوژ کردن (گریز از مرکز) و سرمایش پس از گالوانیزاسیون

قطعات کوچکی که ممکن است روی اضافی موجود در سطح پوشش، موجب چسبیدن آنها به یکدیگر یا اختلال در کارایی آنها شود، در سبدهای مخصوص، گالوانیزه می شوند و بلافاصله بعد از خروج از مذاب به داخل دستگاه سانتریفیوژ منتقل و چرخانده می شوند. برطرف شدن روی موجود در سطح قطعه، موجب نازک شدن پوشش باقی مانده بر سطح، نسبت به حالت عادی می شود که این نازک شدن می تواند روی بسیاری از مشخصات پوشش تأثیر بگذارد. بعد از سانتریفیوژ، قطعات را به سرعت به داخل آب فرو می برند تا پوشش گالوانیزه ثابت شود و

قطعات به یکدیگر نچسبند. پس از انجماد نیز روی، در دمای زیاد می‌تواند به نفوذ خود در آهن ادامه دهد و همچنین آهن به خارج نفوذ می‌کند، در نتیجه زیاد شدن لایه آلیاژی و رسیدن آن به سطح، رنگ پوشش متمایل به خاکستری می‌شود. این موضوع ممکن است خریدار را به مرغوبیت محصول مشکوک کند اما ثابت شده است که اگر ضخامت آن یکسان باشد این پوشش خاکستری تقریباً همان مقاومت به خوردگی پوشش شفاف را دارد و تنها اختلاف در سرعت سرد کردن است که رنگ شفاف و یا مات (خاکستری) را ایجاد می‌کند.

برای جلوگیری از این مشکل و شفاف شدن پوشش باید بلافاصله بعد از خارج کردن قطعات از مذاب، آنها را با یک کمپرسور هوا تا حدود  $35^{\circ}\text{C}$  سرد کرد و بلافاصله در آب سرد کرد. سرد کردن در آب مزایایی دارد مانند زدودن بقایای فلاکس و حفاظت در مقابل خوردگی. همچنین برای شفاف کردن پوشش مقادیر کمی روغن و یا صابون برای براق شدن لایه سطحی به آب اضافه می‌شود. آبی که برای سرد کردن قطعات به کار می‌رود به علت وارد شدن بقایای فلاکس در آن لازم است به‌طور متناوب عوض شود.

فعالیت  
کارگاهی ۱۴



## گالوانیزه گرم

**مواد و وسایل مورد نیاز:** کوره آزمایشگاهی، بوتله نمره ۵، حمام چربی‌زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اسیدشویی (کلریدریک اسید ۱۵٪)، گیره، گرم‌کن، فولاد ST۳۷

### مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق فولادی در اندازه  $100 \times 50$  میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.
- ۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ و نیتریک اسید ۵۰٪ چربی‌زدایی و اکسیدزدایی کنید.
- نکته: بین هر مرحله، دو مرحله آبکشی انجام شود.
- ۳ روی خالص را به مقدار ۱ کیلوگرم در بوتله قرار داده و سپس مقدار ۱٪ وزنی نیز سرب به آن اضافه کنید و توسط کوره ذوب کنید.
- ۴ ورق فولادی را در محلول فلاکس به مدت ۲ دقیقه نگاه دارید.
- نکته: محلول فلاکس شامل کلرور روی ( $\text{ZnCl}_2$ ) به مقدار ۴۵٪ وزنی و کلرور آمونیم (نشادر) ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) به مقدار ۵٪ و آب به مقدار ۵۰٪ تهیه شود که باید در دمای  $50^{\circ}\text{C}$  الی  $60^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس باشد.
- ۵ سپس ورق فولادی را تا دمای  $50^{\circ}\text{C}$  الی  $80^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس پیش گرم کنید.
- نکته ایمنی: در صورتی که دمای پیش گرم کافی نباشد هنگام فروبری در مذاب سبب پاشش قطره‌های روی به اطراف و ایجاد حادثه می‌شود.
- ۶ ورق فولادی را به مدت ۱ دقیقه در حمام مذاب روی وارد کنید.
- نکته: نمونه را سریع وارد حمام کنید تا یکنواختی پوشش بهتر باشد.
- ۷ نمونه را سپس از حمام آهسته بیرون آورده و ضربه‌ای به نگهدارنده ورق بزنید تا روی اضافی از سطح ورق تخلیه شود و بلافاصله وارد آب کنید.
- نکته: دمای آب باید بین  $60^{\circ}\text{C}$  الی  $90^{\circ}\text{C}$  درجه سلسیوس باشد تا احتمال پیچیدگی یا پارگی قطعه در اثر خنک شدن بیش از حد زیاد نباشد.

۸ بعد از خارج کردن از آب، نمونه را در جای مناسبی قرار دهید.

- نکته: از نگهدارنده مناسب و لباس ایمنی استفاده شود.
- نکته: از انبر در اندازه مناسب استفاده کنید و در انجام کار دقت لازم را داشته باشید.
- نکته: وجود جعبه کمک‌های اولیه، کپسول آتش‌نشانی و سایر موارد در آزمایشگاه الزامی است.

از وسایل ایمنی جهت ذوب استفاده کنید.

عملیات پوشش دهی می‌تواند آسیب‌های جدی نظیر آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از تخلیه پساب خام، آلودگی آب و خاک ناشی از پسماندهای فلزات سنگین و آلودگی هوا ناشی از انتشار بخارات سمی را به محیط زیست وارد کند. لذا در استفاده از مواد و انجام کارها دقت کافی را داشته باشید تا دورریز مواد کم باشد.

چه تغییراتی در سطح نمونه ایجاد شده است؟

این فعالیت را برای نمونه‌های مشابه در زمان غوطه‌وری ۱، ۳ و ۵ دقیقه انجام دهید و باهم مقایسه کنید. چه تفاوتی با افزایش زمان غوطه‌وری در نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

### کنترل کیفیت پوشش‌های انجام شده

آزمایش‌های کنترل کیفیت در چند دسته مختلف مانند مشاهدات عینی، ترکیب شیمیایی، ضخامت، تخلخل، چسبندگی، تنش، قابلیت انعطاف، استحکام، سختی و مقاومت سایشی تقسیم‌بندی شده‌اند که در زیر چند مورد از آنها به‌طور مختصر توضیح داده شده است.

### مشاهدات عینی

مشاهدات عینی روشی ابتدایی برای کنترل است و برای بازرسی ظاهر پوشش قطعات مفید است. با این روش که بسیار سریع است، افراد با تجربه کاری بالا می‌توانند با مشاهده عینی اطلاعات بسیار مفیدی از کیفیت پوشش به دست بیاورند. با مشاهده می‌توان عیوب ناشی از پوشش نداشتن برخی نواحی و یا عیوب حاصل از صدمات مکانیکی را به سرعت تشخیص داد و معمولاً علل منجر به این عیوب را نیز می‌توان دید.

### ترکیب شیمیایی پوشش

برای به‌دست آوردن پوشش‌های مناسب، لازم است ترکیب شیمیایی آن را دقیقاً تنظیم کنیم. در عمل آزمایش ترکیب شیمیایی پوشش به علت نازک بودن پوشش و تماس آن با پوشش‌های دیگر و فلز زمینه مشکل است.

نکته ایمنی



نکته زیست محیطی



پرسش



فعالیت کارگاهی ۱۵



## اندازه‌گیری ضخامت پوشش

از آن جایی که عمر پوشش و دوام آن به ضخامت بستگی دارد، بنابراین لازم است با یکی از روش‌ها ضخامت آن تعیین شود. اگر ضخامت فلز پایه را دقیق بدانیم و ضخامت پوشش هم به حد کافی باشد می‌توانیم با وسایل عادی (از قبیل میکرومتر) ضخامت پوشش را تعیین کنیم. بهتر است که ضخامت پوشش را با روش‌های غیرمخرب اندازه بگیریم تا پوشش تخریب نشود و بعد از آزمایش قطعه را بتوان به کار برد. با استفاده از دستگاه مانومتر یا ضخامت سنج نیز که تصویر آن در شکل (۲۴) آورده شده است می‌توان ضخامت پوشش را اندازه‌گیری کرد.



شکل ۲۴- دستگاه‌های ضخامت‌سنج

اندازه‌گیری مستقیم ضخامت پوشش زیر میکروسکوپ، روشی است که معمولاً برای تمامی پوشش‌ها قابل اجرا است. به نحوی که نمونه را به صورت عرضی و عمود بر سطح پوشش برش داده و مانع می‌کنند و بعد از صیقل کاری در زیر میکروسکوپ با دقت بالا لایه‌های آلیاژی بین فلز و پوشش و ضخامت آنها را اندازه‌گیری می‌کنند.

روش وزنی نیز یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد در صنعت است. روش وزنی یعنی زدودن پوشش و وزن کردن برای طیف وسیعی از پوشش به کار می‌رود و دقت آن ۵٪ است. این روش کاملاً تخریب‌کننده است و تنها متوسط مقدار پوشش را بر روی سطح نمونه می‌دهند. اصول کلی ساده است و عبارت است از وزن کردن نمونه‌ای با سطح معلوم قبل و بعد از شست‌وشو در محلول شیمیایی مناسب که فلز پوشش را از بین می‌برد ولی با فلز اصلی هیچ واکنشی نمی‌دهد. برای مثال پوشش‌های کادمیم، قلع یا روی را می‌توان در کلریدریک اسید حاوی تری‌اکسید آنتیموان و یا تری‌کلرور (که به عنوان ممانعت‌کننده عمل می‌کند) را از روی فولاد زدود. برای ورق‌های فولادی بزرگ نیز قطعه کوچکی از آن را می‌برند و بر روی آن آزمایش را انجام می‌دهند.

## ارزشیابی پایانی

<p>نقشه کار: انجام آزمایش های خوردگی و پوشش دهی                  شاخص عملکرد: ۱- پارامترهای اعمال پوشش سرد (آبکاری) ۲- پارامترهای اعمال پوشش گرم ۳- کیفیت نهایی پوشش</p>			
<p><b>شرایط انجام کار:</b>                  ۱- انجام کار در محیط کارگاه پوشش دادن ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای <math>20 \pm 3^{\circ}C</math> ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۵۰ دقیقه</p>			
<p><b>مواد مصرفی:</b> انواع اسید و محلول های شیمیایی - آند از جنس فلزات آبکاری - شمش روی - شمش قلع و ...</p>			
<p><b>ابزار و تجهیزات:</b> رکتیفایر - وان آبکاری - پ هاش متر (PHm) - دماسنج - مولتی متر - ضخامت سنج - زمان سنج - زبری سنج - کوره ذوب - بوته - وسایل اندازه گیری حجم و وزن و تجهیزات آزمایشگاهی (شامل بشر، لوله آزمایش و ...)</p> <p><b>نمونه و نقشه کار:</b>                  ۱- اندازه گیری پارامترهای مؤثر در وان آبکاری شامل دما، غلظت، زمان، پتانسیل، شدت جریان ... و تنظیم آنها جهت رسیدن به پوشش با ضخامت و کیفیت مطلوب                  ۲- اندازه گیری پارامترهای مؤثر در اعمال پوشش به روش گرم شامل دمای مذاب فلز پوشش، مقدار فلز پوشش، زمان نگهداری فولاد در مذاب فلز پوشش ... و تنظیم آنها جهت رسیدن به پوشش با ضخامت و کیفیت مطلوب                  ۳- بررسی کیفی پوشش نهایی از لحاظ یکنواختی ضخامت، پیوستگی، چسبندگی و ... و عدم وجود عیوبی نظیر عدم پیوستگی پوشش، زبری سطح و ...</p>			
<p><b>معیار شایستگی:</b></p>			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	انجام آزمایشات خوردگی	۱	
۲	اعمال پوشش فلزی سرد روی فولاد	۲	
۳	اعمال پوشش فلزی گرم روی فولاد	۲	
۴	کنترل کیفیت پوشش	۱	
	<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	
	میانگین نمرات		*

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

- ۱- برنامه‌درسی رشته متالورژی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و کاردانش، سال ۱۳۹۵.
  - ۲- جی.ا. رینولدز، ترجمه فرهاد رهبری، ۱۹۸۱، ریزساختار قطعات ریختگی، انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران.
  - ۳- ا.تومر. ترجمه داود خرازیکار، ۱۳۷۶، ساختار فلزات زیر میکروسکوپ نوری، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند تبریز.
  - ۴- ساعتچی، احمد. ۱۳۷۲، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۵- تویسرکانی، حسین. ۱۳۸۸، اصول علم مواد (ساختار، خواص و مهندسی مواد)، ویرایش سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۶- کمیسیون تخصصی رشته متالورژی، ۱۳۸۷، آزمایشگاه متالورژی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
  - ۷- آ.آر. بایلی. ترجمه احمد ساعتچی، ۱۳۷۰، مقدمه‌ای بر متالوگرافی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.
  - ۸- قربانعلی، محمد. ۱۳۸۵، پوشش دادن فلزات جلد ۱، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
  - ۹- ساعتچی، احمد. ۱۳۷۸، مهندسی خوردگی، انتشارات مرکز جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
  - ۱۰- فتحی، محمد حسین. ۱۳۸۶، مواد قالب‌گیری برای ریخته‌گری فلزات، انتشارات ارکان دانش اصفهان.
- ۱۱- William D. Callister, Jr David G. Rethwisch.2014. Materials Science and Engineering. Printed in the United States of America.
  - ۱۲- George F. Vander Voort. 1986. Applied metallography. Van Nostrand Rfinhold Company Inc.
  - ۱۳- ASM Handbook, Volume 3. 1992. Alloy Phase Diagram. Printed in the United States of America.
  - ۱۴- Bruce L. Bramfitt, Arlan O. Benschoter. 2002. Metallographer's Guide (Practices and Procedures for Irons and Steels). ASM International.
  - ۱۵- Janina M. Radzikowska. 1998. Metallography and Microstructures of Cast Iron. The Foundry Research Institute, Kraków, Poland.
  - ۱۶- Vander Voort, George F.1999. Metallography, principles and practice. ASM International.
  - ۱۷- Małgorzata Warmuzek. 2004. Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas of Microfractographs. ASM International.
  - ۱۸- Michael W. Davidson and Mortimer Abramowitz.2004. optical microscopy. National High Magnetic Field Laboratory, The Florida State University.

