

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

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 عبدالله‌زاده، محمد معتمدی، اسداله عابدی، غلامرضا خلیج (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
- مدیریت آماده‌سازی هنری:** مهدی احمدی قراملکی، موسی بابازاده، بهرام شکریان، ابراهیم آقازاده (اعضای گروه تألیف)
- شناسه افزوده آماده‌سازی:** اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
- نشانی سازمان:** مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری) - مریم کیوان (طراح جلد) - ایمان اوجیان (صفحه‌آرا) - سعید آقایی (رسام)
- تهران: خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
- تلفن: ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار: ۸۸۳۰۹۲۶۶، کد پستی: ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
- وب سایت: www.irtextbook.ir و 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 اول ۱۳۹۷

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 بپردازد. از متن دانشگاه‌ها تا بازارها و کارخانه‌ها و مزارع و باغستان‌ها تا آنجا که خودکفا شود و روی پای خود بایستد.
امام خمینی (قدّس سرّه الشّریف)

۱.....	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 پوشش دهی



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
بر این 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 نموده‌اند 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 حرفه ای شما بسیار ضروری است. هنرجویان عزیز سعی نمایید؛ تمام شایستگی‌های آموزش داده شده در این کتاب را کسب و در فرآیند ارزشیابی به اثبات رسانید.

کتاب درسی تولید قطعات به روش تراشکاری 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 نمایید. هنرآموز محترم شما برای

هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات منظور می‌نمایید و نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد. در صورت احراز نشدن شایستگی پس از ارزشیابی اول، فرصت جبران و ارزشیابی مجدد 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 مجدد نمی‌باشد. همچنین این درس دارای ضریب ۸ است و در معدل کل شما بسیار تأثیرگذار است.

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزاء بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو می‌باشد که برای انجام فعالیت‌های موجود در کتاب درسی باید استفاده نمایید. کتاب همراه خود را می‌توانید هنگام آزمون و فرایند ارزشیابی نیز همراه داشته باشید. سایر اجزای بسته آموزشی دیگری نیز برای شما در نظر گرفته شده است که با مراجعه به وبگاه رشته خود با نشانی www.tvoccd.oerp.ir می‌توانید از عناوین آن مطلع شوید.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط زیست و شایستگی‌های یادگیری مادام‌العمر و فناوری اطلاعات و ارتباطات همراه با شایستگی‌های فنی طراحی و در کتاب درسی و بسته آموزشی ارائه شده است. شما هنرجویان عزیز کوشش نمایید این شایستگی‌ها را در کنار شایستگی‌های فنی آموزش ببینید، تجربه کنید و آنها را در انجام فعالیت‌های یادگیری به کار گیرید.

رعایت نکات ایمنی، بهداشتی و حفاظتی از اصول انجام کار است لذا توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است، در انجام کارها را جدی بگیرید.

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

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 می‌بایست برای هر پودمان یک نمره در سامانه ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ می‌باشد 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 ساخت‌یافته 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، می‌بایست 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 می‌باشند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می‌شود و دارای تأثیر زیادی است.

کتاب شامل پودمان‌های ذیل است:

پودمان اول: آزمایشگاه مواد قالب‌گیری

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 می‌باشند. در این واحد یادگیری روش انجام آزمایش‌های مختلف ماسه قالب‌گیری توضیح داده شده و به‌صورت عملی انجام خواهند شد.

استاندارد عملکرد

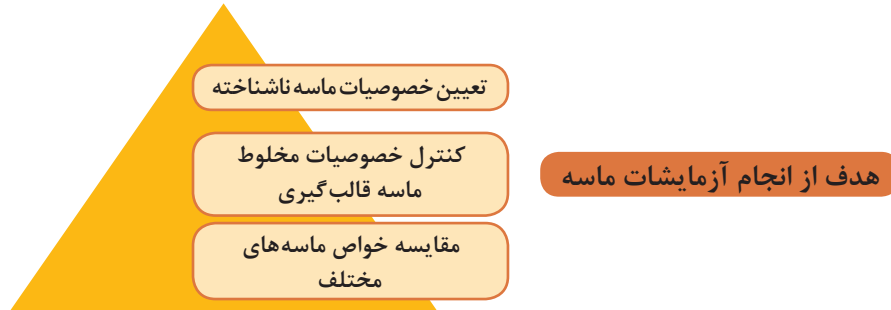
انجام آزمایشات مربوط به ماسه با استفاده از ابزار و تجهیزات مربوطه بر اساس استانداردهای مرتبط

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 آزمایشات استاندارد ماسه تشریح و توصیف کرد. جزییات کامل آزمایشات، روش آزمایشات و تجهیزات مورد نیاز برای هر آزمایش مشخص و تبیین شده است و هر یک از آزمایشات به صورت استاندارد و به شکل معین اجرا می‌شوند.



کلیه آزمایشات 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 این‌گونه 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 و... تهیه و آماده می‌شوند و پس از فراهم شدن نمونه‌های لازم، آزمایشات مورد نظر انجام می‌شود.

نمونه‌برداری از ماسه‌های ریخته‌گری

قبل از انجام آزمایشات، نمونه‌برداری 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 آزمایشات 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 بایستی 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 آزمایشات 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 شوندگی ماسه تهیه می‌شود. روش آماده کردن نمونه‌های استاندارد توسط سازنده دستگاه به همراه آن ارائه می‌شود. ولی در هر 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 را 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 کیف 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 نموده 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

فعالیت
عملی ۱





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

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

نتیجه را به همراه پاسخ تحلیلی پرسش های بالا در گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

آزمایش های مخلوط ماسه قالب گیری

برای کنترل و تعیین خواص مخلوط ماسه قالب گیری آزمایش های مختلفی انجام می گیرد که آگاهی از آنها برای افرادی که در صنایع ریخته گری مشغول به کار هستند لازم و ضروری می باشد که در ادامه بحث مهم ترین آنها مورد بررسی قرار می گیرند.

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

هدف از این آزمایش تعیین عدد ریزی ماسه قالب گیری است عدد ریزی ماسه ریخته گری توسط اندازه و توزیع ذرات آن تعیین می شود. به عبارت دیگر دو عامل اندازه دانه ها و نحوه توزیع دانه ها تعیین کننده عدد ریزی ماسه است. منظور از آزمایش ریزی تعیین درصد اندازه مختلف دانه های ماسه و مقدار خاک رسی است که در ماسه موجود است. ذراتی از ماسه که اندازه آنها از ۲ میکرون (۰/۰۰۲ میلی متر) کوچک تر باشند، خاک رس محسوب می شوند. مقدار خاک رس موجود در ماسه را می توان جداگانه و به روش خاص تعیین نمود و درصد اندازه مختلف دانه های ماسه نیز از طریق آزمایش ریزی قابل تعیین است.

اهمیت میزان عدد ریزی: عدد ریزی اثر قابل توجهی بر خواص ماسه ریخته گری دارد که مهم ترین آنها عبارتند از:

- استحکام
- نفوذپذیری
- کارپذیری
- هزینه آماده سازی ماسه
- سطح نهایی قطعات ریخته گری

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه (عدد ریزی) جزء آزمایشات اولیه ماسه می باشد و معمولاً این آزمایش بر روی ماسه ورودی به کارخانه انجام می شود و نتایج حاصل از آن می تواند کاربردهایی به صورت زیر داشته باشد:

راهنمایی برای نسبت صحیح مواد ریز و توزیع صحیح اندازه دانه های 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

شماره ۲۷۰، در 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 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) که معروفیت جهانی دارد، سیستم آزمایش از ۱۴ غربال (الک) تشکیل شده که درشت‌ترین غربال آن تحت شماره ۴، در هر اینچ طولی دارای ۴ سوراخ و ریزترین غربال آن تحت

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 مابین 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 یاسوراخ 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. هر یک 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 در پوش بر روی بالاترین الک در سری الکها قرار می‌گیرد و یک کفه در زیر پایین ترین 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 هر کدام با یک مش جداگانه و یک عدد در پوش 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 می‌باشند که در شکل (۳) نمونه‌هایی از این ترازوها نشان داده شده است.



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 نماییم 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 کاسته می‌گردد. 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:

- 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



- تایمر دستگاه را تنظیم کنید تا به مدت ۱۵ دقیقه لرزش انجام گیرد.
- پس از اتمام لرزش الک‌ها، درپوش را برداشته و هریک از الک‌ها را به نوبت از بالا به پایین باز کنید.
- 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:

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

a_i : ضریب الک g_i : درصد جرم ماسه باقی‌مانده در هر الک a : عدد ریزی Σ : مجموعه 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 باقی مانده بر روی هر الک (گرم)	درصد باقی مانده 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

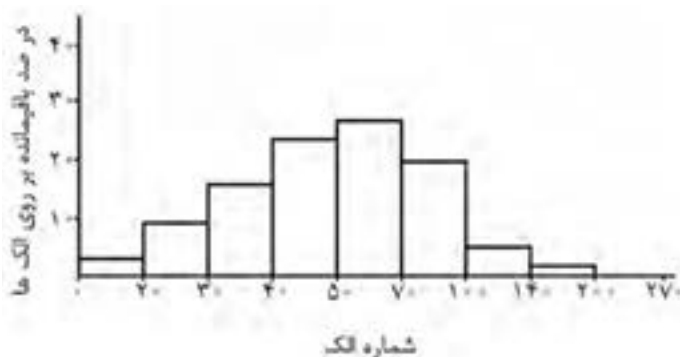
با توجه به نتایج به دست آمده از جدول (۲) عدد ریزی ماسه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$a = \frac{\sum ai gi}{\sum gi} = \frac{14266}{87.4} = 163.2$$

نتیجه گیری و بحث

آن بیش از ۱۰ درصد باشد یک الک محسوب می شود و مجموع تعداد این گونه الکها مشخص کننده چند الکه بودن ماسه مورد آزمایش است. به شرط آنکه مطابق استاندارد (AFS) مجموع درصد باقی مانده بر روی همه الکه های مذکور بیش از ۷۵ درصد باشد. به عنوان نمونه مثال آورده شده در این آزمایش که عدد ریزی (AFS) آن حدوداً ۱۶۳/۲ محاسبه شد، یک ماسه چهار الکه می باشد (در حقیقت ۳ الک و یک کفه).

روش های مختلفی برای بیان نتایج و ارائه وضعیت ریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پر کاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقی مانده به صورت ستونی می باشد، بدین ترتیب که درصد باقی مانده بر روی هر الک محاسبه شده و ستونی متناسب با مقدار آن در نقطه شماره الک رسم می شود. از چنین نموداری که نمونه ای از آن در شکل (۵) آمده است، می توان چند الکه بودن ماسه را تعیین کرد. هر یک از الکه ها که درصد باقی مانده ماسه بر روی



شکل ۵- نمودار ستونی درصد باقی مانده 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 گردد 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 ارائه 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 می‌باشد 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 مذکور 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.

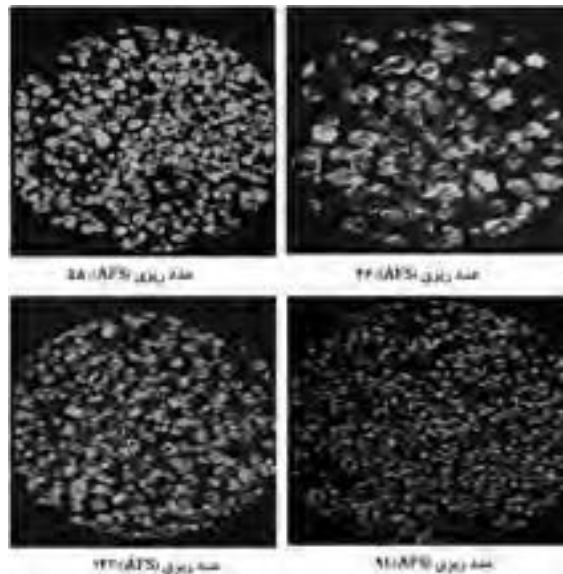
جدول ۴- نتایج آزمایش تفکیک با الک و عدد ریزی برای چند نوع ماسه

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

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 می‌باشند. 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 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 نمودن 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.

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 نمودن 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.

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 آزمایشات اولیه و مهم در تعیین خواص مواد قالب می‌باشد.



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 در فوق 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 الک‌ه بودن" 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
عملی 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 نمایید.

آزمایش تعیین مقدار خاک رس



شکل ۷- نمونه‌ای از خاک رس

خاک رس متداول ترین چسب مورد استفاده در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری می‌باشد. خاک محتوی ماسه که عامل چسبندگی ذرات ماسه است تأثیر زیادی روی خواص ماسه از جمله استحکام تر، استحکام خشک و قابلیت نفوذ گاز دارد. خاک رس اساساً سیلیکات آلومینیم 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 می‌توانند پس از مخلوط شدن با ماسه و آب کافی، شکل‌پذیری و چسبندگی در مخلوط ایجاد نماید.

ب) خاک رس می‌تواند خشک شود و سپس با اضافه کردن آب، مجدد خاصیت شکل‌پذیری را کسب نماید. البته درجه حرارت خشک کردن نباید چندان 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 مجدداً 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 آنگستر) است و به سهولت یون‌های فلزی را جذب می‌کند و متعاقباً 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 ملکولی اتصال لازم را فراهم می‌سازند. در حقیقت رطوبت کافی ماسه (آب فیزیکی) عامل یونیزه شدن آب تبلور (آب ملکولی) خاک رس می‌شود.

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

این بارها مختلف هستند و یکدیگر را جذب می کنند. باید توجه داشت که عمل یونیزاسیون در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می شود. لذا کنترل آن اهمیت زیادی دارد. به عبارت دیگر می توان گفت که خاک رس در آب و رطوبت ماسه فعال می شود. به طور کلی میزان خاک مخلوط ماسه قالب گیری به ذراتی اطلاق می گردد که قطر آنها کمتر از 0.075 میلی متر باشد. در مخلوط های ماسه قالب گیری که حاوی، بنتونیت و پودر زغال غیرفعال است این ذرات نیز همراه با خاک واقعی مخلوط خارج می شوند، بنابراین برای اندازه گیری میزان واقعی خاک باید به این مسأله توجه کرد.

وسایل مورد نیاز جهت تعیین مقدار خاک رس ماسه

- ترازوی دقیق دیجیتالی:** جهت توزین نمونه های مورد آزمایش از یک ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم استفاده می شود.
- کوره خشک کن ماسه (آون):** از این کوره جهت خشک کردن نمونه های مورد آزمایش استفاده می شود. این کوره ها که معمولاً به آنها آون نیز گفته می شود در انواع و مدل های مختلفی وجود دارند. این کوره ها دارای محفظه استیل بوده و مجهز به زمان سنج و چند عدد سینی استیل جهت قرار دادن نمونه ها می باشند که توسط المنت های اطراف محفظه، ایجاد حرارت قابل کنترل 50 الی 250 درجه سانتی گراد با دقت ± 10 درجه سانتی گراد نموده که جهت خشک کردن نمونه های آزمایش مورد استفاده قرار می گیرند. در شکل (۸) نمونه ای از این کوره ها نشان داده شده است.



شکل ۸- کوره خشک (آون)

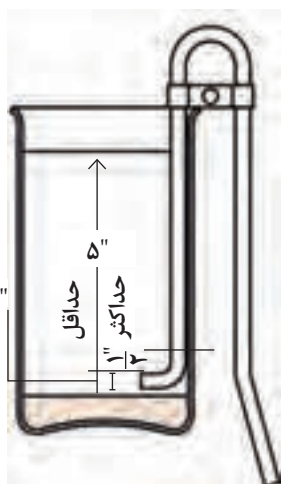
- دستگاه شست و شوی ماسه:** از این دستگاه جهت شست و شوی ماسه و جداسازی خاک رس از دانه های ماسه استفاده می شود که معمولاً در دو نوع معمولی و خودکار وجود دارد. که دستگاه شست و شوی خودکار به منظور جداسازی خاک رس از ماسه و خارج ساختن آن همراه با آب، طراحی و ساخته شده است. به طوری که عملیات جداسازی به طور خودکار انجام می گیرد و فرصت لازم برای رسوب ذرات ماسه و نیز زمان مناسب برای تخلیه آب و ذرات خاک رس معلق در آن توسط دستگاه تنظیم می شود. در شکل (۹) دو نمونه از دستگاه های شست و شوی 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 سانتی‌گراد داخل کوره الکتریکی خشک نمایید.

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 سانتی‌گراد 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 میلی‌لیتر از یک محلول استاندارد ۱/۵ درصد پیروفسفات ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) به محلول اضافه کنید.

نکته



افزودن محلول استاندارد ۱/۵ درصد پیروفسفات ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) به منظور جلوگیری از کلوخه شدن و یا لخته شدن و به هم چسبیدن ذرات ماسه و خاک رس صورت می‌گیرد. در برخی موارد از هیدرواکسید سدیم یا سود سوزآور (NaOH) نیز برای جلوگیری از کلوخه شدن ذرات استفاده می‌شود ولی ترکیب تترا سدیم پیروفسفات بر هیدرواکسید سدیم ارجحیت دارد زیرا هیدروکسید سدیم باعث ژلاتینی شدن ماسه شده و در نتیجه از رسوب صحیح و کامل ذرات ماسه جلوگیری می‌کند.

۵ پس از افزودن آب مقطر و محلول تترا سدیم پیروفسفات در پوش دستگاه شست‌وشوی 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 شست‌وشوی 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 سانتی‌متر 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 زمان‌سنج) اجازه دهید تا ذرات ماسه رسوب کنند. در چنین وضعی ذرات خاک معلق خواهند بود و می‌توانیم با یک سیفون مطابق شکل (۱۰) که ارتفاعش ۱۲/۵ سانتی‌متر 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 مجدداً آب را به کمک سیفون تا عمق ۱۲/۵ سانتی‌متری 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 سانتی‌متری آن قدر تکرار کنید تا آب اضافه شده، پس از ۵ دقیقه زمان دادن، در عمق ۱۲/۵ سانتی‌متری کاملاً شفاف به نظر برسد. با این روش موادی که با سرعت یک اینچ بر دقیقه به سمت پایین حرکت می‌کنند از دانه‌های دیگر جدا می‌شوند. این گونه ذرات دارای قطری معادل ۲ میکرون یا کوچک‌تر از آن هستند و خاک رس (Clay) محسوب می‌شوند.

۹ پس از تکمیل مراحل فوق 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 باقی‌مانده روی کاغذ صافی خشک کرده و با ترازوی دیجیتالی دقیق جرم ماسه را تعیین کنید.

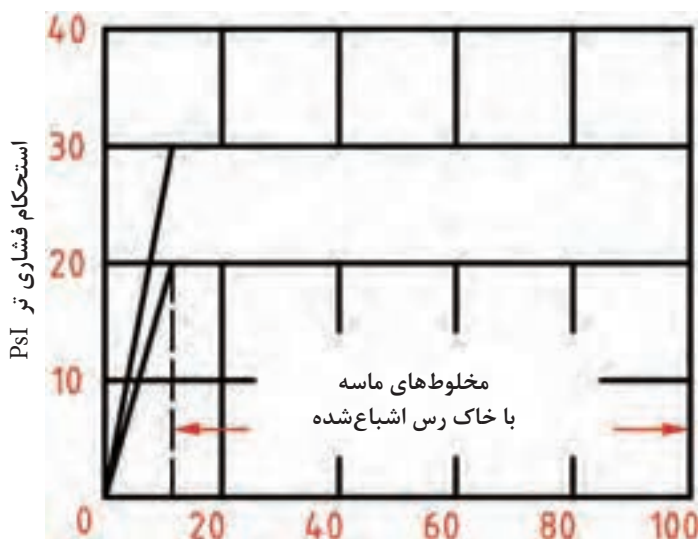
۱۰ اختلاف مابین وزن ماسه خشک شده باقی‌مانده، و نمونه اولیه، مقدار خاک رس را نشان می‌دهد. پس از تعیین مقدار خاک رس، میزان آن معمولاً به صورت درصد بیان می‌شود. میزان خاک رس مخلوط ماسه قالب‌گیری با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

نتیجه گیری 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 بر حسب 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 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 سوز آور 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 ایده‌آل ریخته‌گری چه مقدار می‌باشد؟ 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 $3/5$ تا 8 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

توان تولید بخار

استحکام

امکان متلاشی شدن

تأثیر میزان رطوبت بر خواص قالب

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:

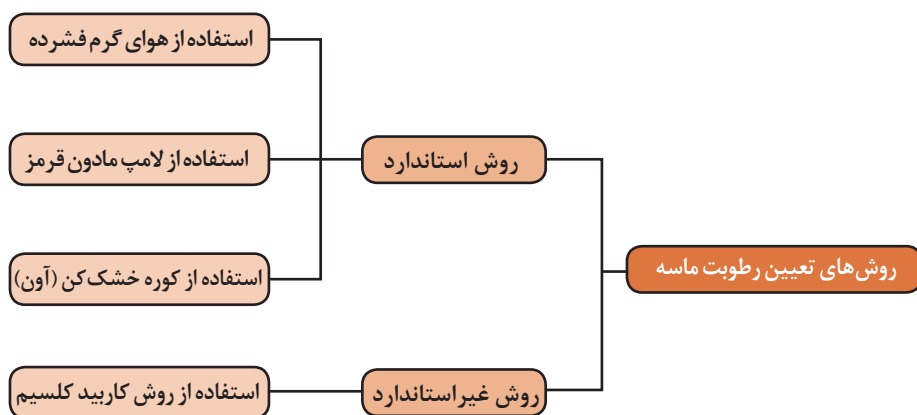
۱ اطمینان پیدا کردن از حصول خواص چسبندگی بالا: در صورت افزایش درصد آب، تمامی خواص استحکامی به شدت کاهش پیدا می‌کند. در صورت پایین بودن استحکام فشاری تر احتمال تخریب قالب در حین حمل و نقل بیشتر می‌شود.

۲ به دست آوردن قابلیت پلاستیسیته (شکل پذیری) 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 حین 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 و عیب نیامد.

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.



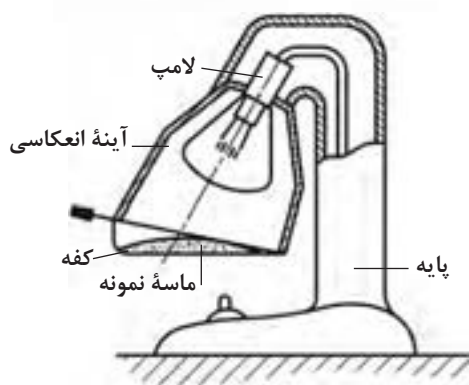
روش استاندارد: این روش برای تمامی مخلوط‌های ماسه قابل اجرا می‌باشد، به جز مخلوط‌هایی که علاوه بر آب دارای مواد فرار و اکسید شدنی هستند. به طور کلی در این روش ماسه توسط تجهیزات مختلف خشک‌کن ماسه خشک می‌شود و اساس اندازه‌گیری میزان رطوبت ماسه بر مبنای کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه آن است و معمولاً بر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



دستگاه هوای گرم فشرده



کوره 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 طریقه استاندارد اکثراً 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 مجدد 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 ذیل می‌باشد:

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 درب آون را بسته و دمای آن را در محدوده ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد 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 مجدداً 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 طریقه 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 و m_1 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 لذا:

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

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 می‌باشد که بدلیل جذب آب توسط خاک ذرات آن و ذرات ماسه به هم اتصال می‌یابند، که این عمل در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود لذا کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری جهت بالابردن 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 متغیّر باشد به طوری که در قالب‌گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولاً بین ۶ تا ۸ درصد می‌باشد، در حالی که قالب‌گیری‌های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین ۳/۵ تا ۴/۵ درصد می‌باشد.

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 طریق ذکر شده در دستور کار آزمایش، نمونه‌های توزین شده را خشک نمایید. 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.

هنگام توزین نمونه‌ها از سالم و کالیبره بودن ترازوی دیجیتالی اطمینان حاصل کنید. و به ترازو ضربه نزنید.

- هنگام خشک کردن نمونه‌ها در کوره 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.

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

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.

فعالیت
عملی ۴



نکته



نکته ایمنی



نکته
زیست محیطی



پرسش



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 را 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 برای ساخت و نگهداری قالب را 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.

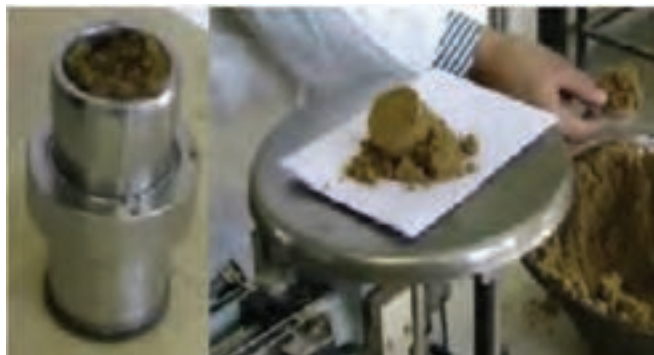
استحکام فشاری تر عبارت است از بیشترین تنش فشاری بر حسب PSI (پوند بر اینچ مربع) که یک نمونه ماسه تر با ابعاد استاندارد (۲ in × ۲ in) می تواند تحمل کند. چنین نمونه‌ای از مخلوط ماسه مورد نظر تهیه و به کمک کوبه استاندارد آزمایشگاهی پس از کوبش لازم آماده می شود. سپس نمونه مطابق روش استاندارد با استفاده از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

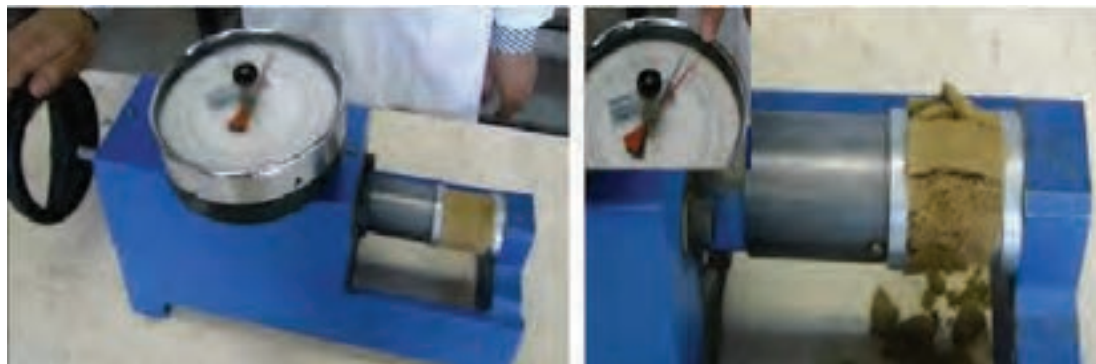


شکل ۱۵

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 نمایید تا نمونه تخریب شود.

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



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 نفری 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 آن انجام دهید. و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

فعالیت
عملی ۵



نکته



نکته فنی



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 استحکام سنج 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 دیاگرام 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 آزمایشات وسایل و تجهیزات مورد استفاده را تمیز کرده و سر جای خود قرار دهید.

نکته ایمنی



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

نکته
زیست محیطی



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

پرسش



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

بحث گروهی



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 و گرنه احتمال دارد که قالب اندازه و ابعاد خود را از دست بدهد.

عموماً استحکام فشاری خشک نیز همانند استحکام فشاری تر تحت تنش های 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 می تواند تحمل کند و گسیخته نشود. لازم به ذکر است که اصطلاح استحکام خشک هم در مورد ماسه قالب گیری که در فرایند قالب گیری خشک شده و هم به ماسه قالب که پس از ورود مذاب به داخل آن خشک شده، به کار می رود. دستگاه مورد استفاده جهت اندازه گیری استحکام در این آزمایش همانند آزمایش استحکام فشاری تر می باشد. (شکل ۱۷)



شکل ۱۷

وسایل مورد نیاز:

- وسایل آزمایش تعیین استحکام فشاری تر
- کوره گرم کن (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 به طور کامل خشک می شود.
- ۲ نمونه را روی یک صفحه فلزی صاف قرار داده و در داخل کوره گرم کن قرار دهید. و تا دمای بیشتر از ۱۰۵ و کمتر از ۱۱۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ ساعت پخته و خشک نمایید. 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



نتیجه گیری و بحث

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 می کند. در مورد ماسه های سخت شده توسط چسب سیلیکات سدیم و گاز CO_۲ این استحکام در شرایط مناسب به ۳۰۰ PSi تقریباً به ۲ مگا پاسکال نیز می رسد.



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.



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



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



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 چسب 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 سانتی‌گراد 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 دیاگرام 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 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:

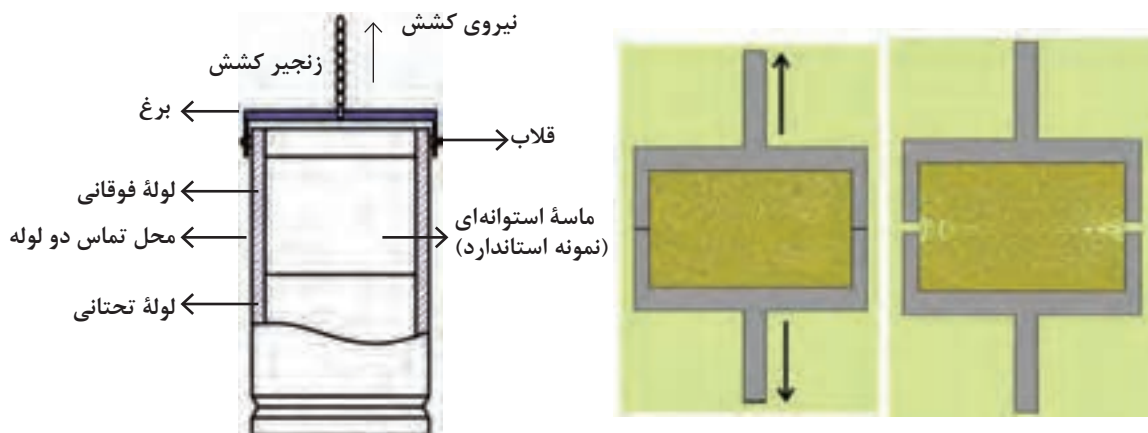
- ترازوی آزمایشگاهی.
- دستگاه کوبه آزمایشگاهی.
- استوانه استاندارد آماده‌سازی نمونه دو تکه.
- دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه.

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 دگمه 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 نشان دهنده استحکام کششی تر می‌باشد.

لازم به ذکر است در این آزمایش حداکثر سرعت عمل کشش 40 و حداقل 20 اونس بر اینچ مربع در هر دقیقه می‌باشد ($1/29 \pm 0/43$ نیوتن بر سانتی‌متر مربع N/Cm^2)

نکته



شکل ۱۸- تعیین استحکام کششی تر ماسه

نتیجه‌گیری و بحث

اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد استفاده به ما می‌دهد. به‌طور کلی استحکام مخلوط ماسه تر برای کشش کم می‌باشد. لذا 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 به خصوص بنتونیت باعث به‌وجود آمدن استحکام بیشتر لایه تر و همچنین افزایش پلاستیسیته بیشتر لایه خشک خواهد شد. استحکام کششی تر همچنین

فعالیت
عملی ۹

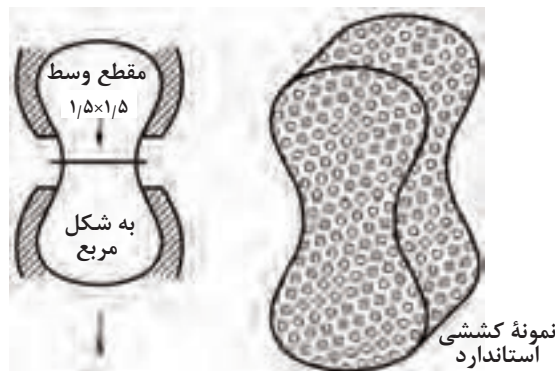


انجام آزمایش استحکام کششی تر

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 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
- کوره خشک کن (آون)
- دستگاه کوبه استاندارد
- دستگاه چندکاره (یونیورسال) اندازه گیری استحکام ماسه به همراه فک های 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 کوره گرم (آون) قرار دهید و به مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۲۵۰ درجه سانتی گراد نگاه دارید تا نمونه ها پخته شوند.

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

نکته



- ۴ صفحه فلزی حاوی نمونه ها را توسط انبر از داخل کوره گرم خارج نموده و صبر کنید تا دمای محیط خنک شوند.

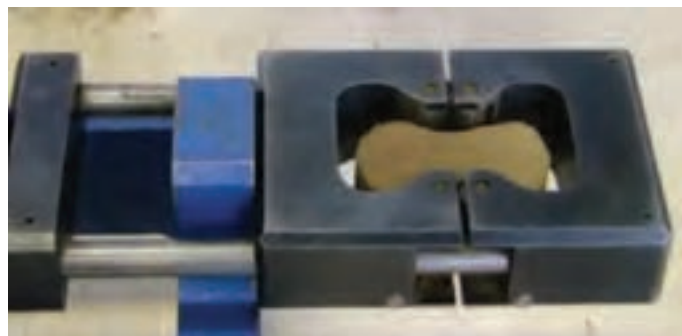
هنگام بیرون آوردن نمونه ها از داخل کوره گرم کن حتماً از دستکش ایمنی استفاده کنید و صفحه فلزی را توسط انبر از داخل کوره بیرون بیاورید.

نکته ایمنی



شکل ۲۰

- ۵ فک های مربوط به آزمایش استحکام کششی خشک را روی دستگاه ببندید سپس نمونه را مطابق شکل (۲۱) در بین فک های 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 نشان دهنده استحکام کششی خشک ماسه می باشد.

نتیجه گیری و بحث

کلیه عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری مخصوصاً میزان خاک رس، بر روی استحکام کششی خشک تأثیر گذار می باشند. به طوری که با افزایش میزان درصد خاک رس از ۱۰% به ۱۶% استحکام کششی خشک آن حدود ۱۱۰% افزایش می یابد در حالی که استحکام کششی تر حدود ۱۶% افزایش خواهد داشت.

انجام آزمایش استحکام کششی خشک

پس از تشکیل گروه های سه یا چهار نفره با رعایت نکات ایمنی از مخلوط ماسه مورد استفاده در کارگاه ریخته گری نمونه برداری کرده و سپس آزمایش را مطابق دستور کار آن انجام داده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

به نظر شما چه عواملی می تواند روی استحکام کششی خشک تأثیر گذار باشد؟ بحث و گفت و گو کنید.

درباره پرسش فوق بحث و گفت و گو کنید و نتیجه را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

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

پس از تشکیل گروه های سه یا چهار نفره، نمونه های استاندارد تست کششی با ۶/۵، ۵/۵، ۴/۵، ۳/۵، ۲/۵ درصد چسب سیلیکات سدیم، 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 نمونه های تهیه شده را به مدت زمان ۲۰ الی ۲۵ ثانیه تحت دمش گاز CO₂ قرار دهید تا سخت شوند. سپس توسط دستگاه چندکاره (یونیورسال) اندازه گیری استحکام ماسه استحکام کششی خشک نمونه ها را تعیین کنید و نتایج را در جدول ثبت و دیاگرام را رسم نمایید و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.

درصد چسب نوع ماسه				
۶/۵	۵/۵	۴/۵	۳/۵	۲/۵

استحکام کششی PSi (ریز دانه)

استحکام کششی PSi (درشت دانه)

فعالیت
عملی ۱۰



پرسش

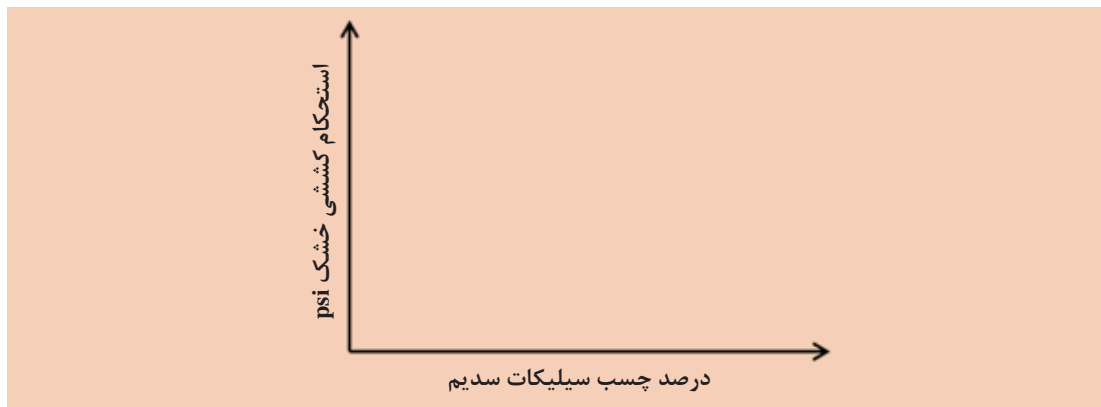


بحث گروهی



فعالیت
عملی ۱۱





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

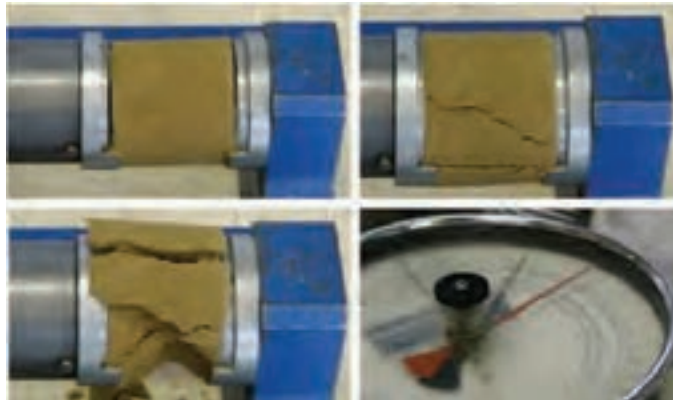
دستور کار انجام آزمایش

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 می‌باشد.



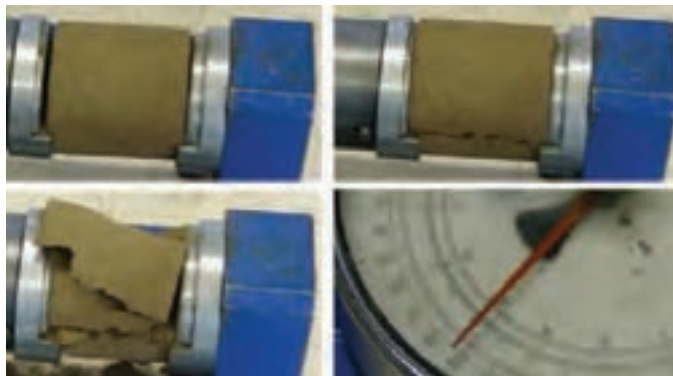
توجه داشته باشید که سرعت عمل نیروی برش توسط دستگاه باید بین ۱۹ تا ۲۹ PSi در دقیقه باشد.



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 کوره گرم کن قرار داده و به مدت ۲ ساعت در درجه حرارت ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد خشک کنید.
- ۲ نمونه خشک شده را در داخل یک دسیکاتور قرار دهید تا 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 می‌باشد.



شکل ۲۵

نتیجه‌گیری و بحث

بطور کلی اکثر عوامل تاثیرگذار بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مانند اندازه ذرات ماسه، میزان خاک رس، رطوبت و... بر استحکام برشی تر و خشک نیز تاثیر گذار می‌باشند. لازم به ذکر است که استحکام برشی تر ماسه در حدود ۱/۵ تا ۷ PSi می‌باشد. همچنین نسبت استحکام برشی خشک به استحکام فشاری خشک کمیتی است که در تهیه و آماده‌سازی ماسه ریخته‌گری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به طوری که اگر این نسبت از حد معینی کمتر باشد نشان آماده نبودن و به عمل نیامدن ماسه است و اگر بیش از حد معین باشد، نشانگر بالا بودن درصد مواد افزودنی به ماسه است.



انجام آزمایش استحکام برشی تر و خشک

هر گروه با رعایت نکات ایمنی از مخلوط ماسه مورد استفاده در کارگاه ریخته‌گری نمونه برداری 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 تاثیرگذار باشد؟ بحث و گفتگو کنید.

درباره سوال فوق بحث و گفت‌وگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

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 فنی 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 برحسب 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 استحکام سنج (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. نکته فنی: 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.



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.

انجام 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:

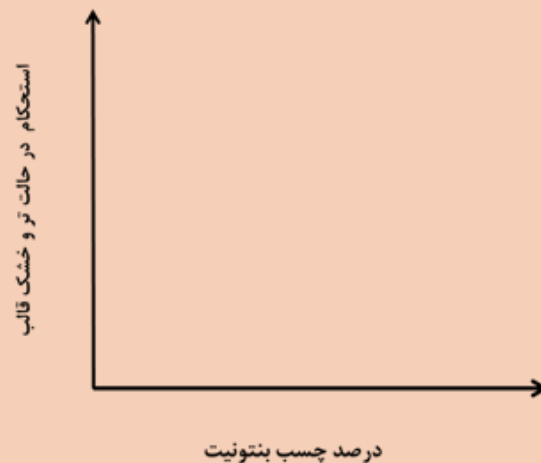
- ۱ استحکام سطوح، نقاط و دیواره‌های قالب‌های تهیه شده را در حالت تر مطابق روش ذکر شده در دستور کار آزمایش توسط استحکام سنج قالب اندازه گیری کرده و یادداشت نمایید.



۲ سطح قالب‌های تر را توسط مشعل تا عمق معینی (۱۲ تا ۱۵ میلی متر) خشک کنید. سپس با استفاده استحکام سنج قالب، استحکام سطوح مختلف و دیواره‌های قالب را توسط استحکام سنج قالب اندازه گیری کرده و یادداشت نمایید.

۲ نتایج بدست 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

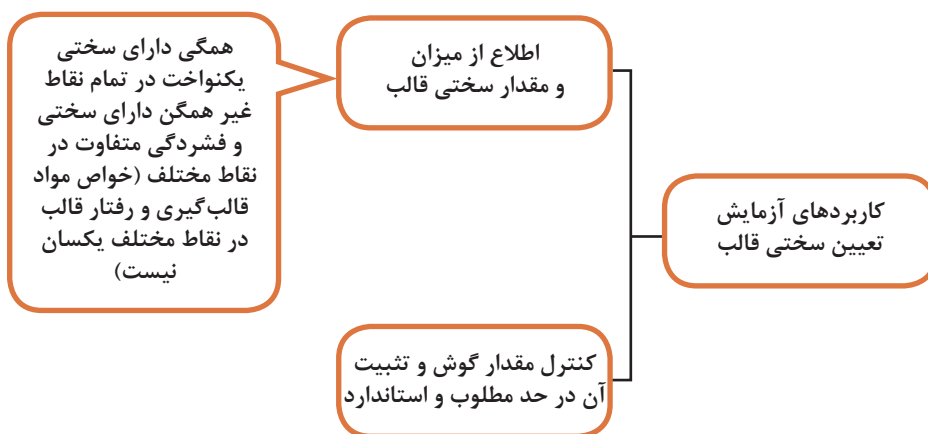


بحث گروهی



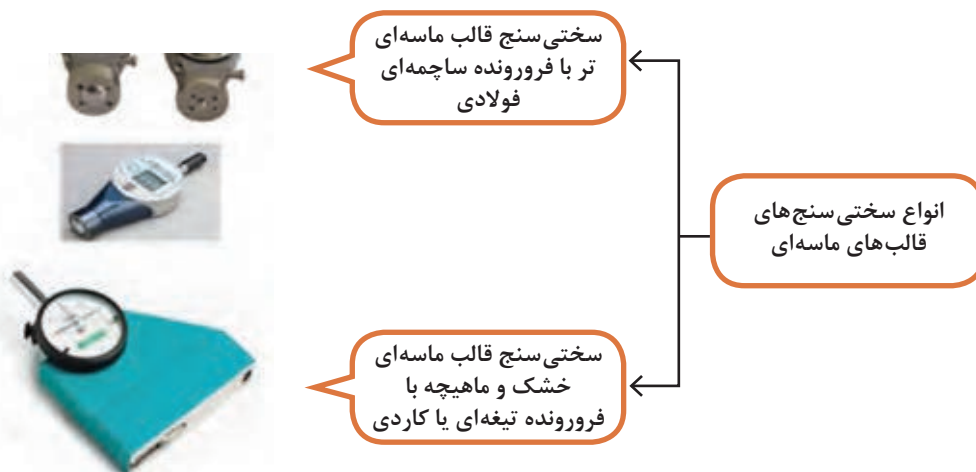
تعیین سختی قالب

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

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



مقیاس سختی سنج‌های قالب چنان 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.

شکل ۲۹- انواع سختی سنج‌های قالب

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 ذیل می‌باشد:

سختی‌سنجی براساس مقیاس (B)

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

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.



سختی‌سنجی براساس مقیاس (B)

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

نمونه از سختی‌سنج مقیاس (B)

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.



سختی‌سنجی براساس مقیاس (C)

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

نمونه از سختی‌سنج مقیاس (C)

● 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 90° 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 قالب گیری با شرایط مطلوب (۵ تا ۶ درصد چسب بنتونیت و ۶ تا ۸ درصد رطوبت) آماده کرده و پس از قالب گیری مدل یک تکه یکسان میزان سختی قسمت های مختلف قالب را اندازه گیری نموده و نتیجه را به صورت گزارش کار ارائه دهید.



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 نمایید.



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 اندازه گیری و تعیین خردشوندگی مخلوط ماسه تر از آزمایش ضریب خردشوندگی (اندیس شاتر) استفاده می شود. این آزمایش معیاری از استحکام ماسه می باشد به طوری که این استحکام با ضریب خردشوندگی ماسه ارتباط مسقیم دارد. با استفاده از نتایج این آزمایش می توان قابلیت شکل پذیری ماسه را اندازه گیری و تعیین کرد.

وسایل مورد نیاز:

- دستگاه کوبه آزمایشگاهی
- ترازوی دیجیتالی دقیق
- دستگاه اندازه گیری ضریب خردشوندگی ماسه

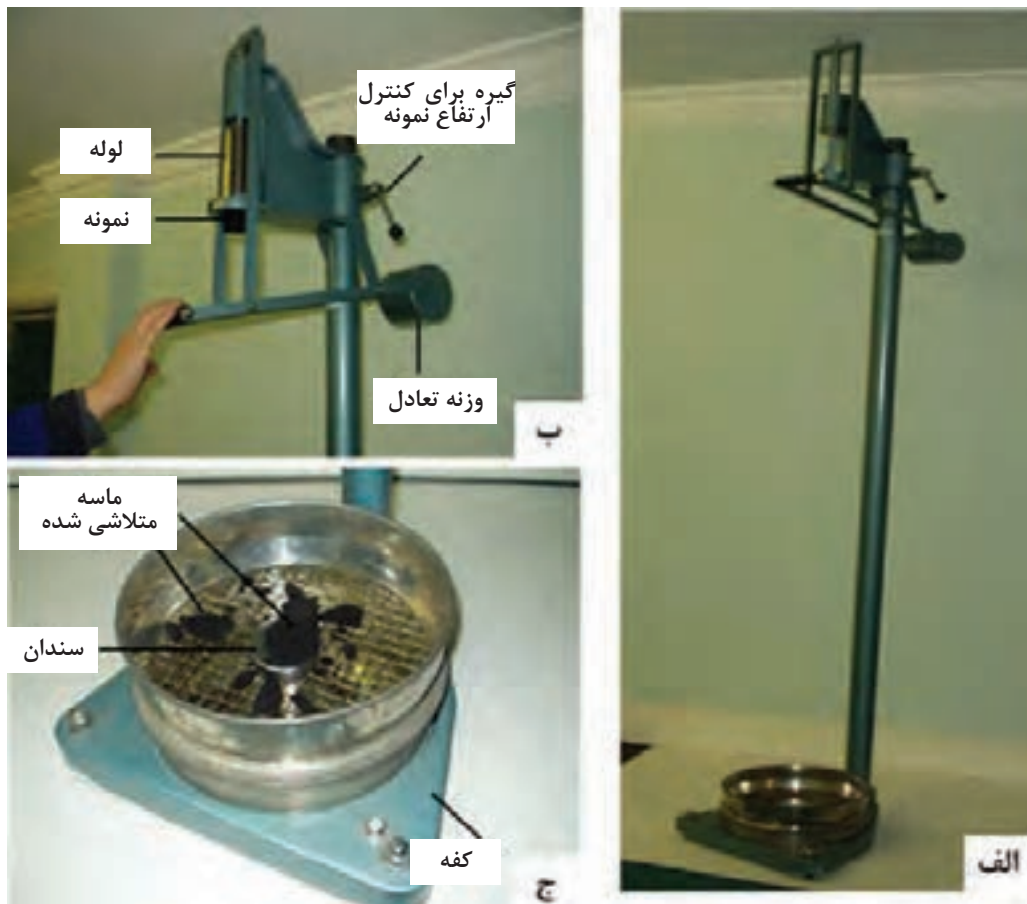
دستور کار انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا نمونه استوانه ای 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.

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

(ضریب خردشوندگی)

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



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

همچنین به کمک ضریب خرد شونده گی یا اندیس شاتر می توان کمیت دیگری به نام اندیس شکل پذیری را نیز بدست آورد، این اندیس نیز بر حسب درصد می باشد و رابطه آن به صورت زیر می باشد:

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

که در این رابطه D_i اندیس شکل پذیری، Sh_i اندیس شاتر و σ_c استحکام فشاری تر بر حسب (Psi)، می باشد. مثال زیر نحوه محاسبه اندیس شکل پذیری ماسه را نشان می دهد:

در یک آزمایش استحکام فشاری تر برای یک ماسه قالب گیری، ماکزیمم تنش فشاری نمونه استاندارد برابر $\Psi 18$ (۱۲ مگاپاسکال) است. اگر اندیس شاتر این ماسه ۸۴٪ باشد مطلوب است محاسبه و تعیین اندیس شکل پذیری آن:

حل: ماکزیمم تنش فشاری نمونه در واقع همان استحکام فشاری است که برابر با $\Psi 18$ می باشد. از طرفی اندیس شاتر این ماسه ۸۴ درصد است لذا می توان نوشت:

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

اهمیت اندیس شکل پذیری ماسه، بیشتر برای بلند کردن درجه های محتوی ماسه است. چنانچه این اندیس کم باشد، ماسه داخل درجه ها هنگام حمل و نقل ریزش می کند. درحالی که اگر این اندیس بیش از حد باشد مشکلاتی نظیر ترک خوردن قالب، عدم خروج گازها، عدم سهولت تخلیه ماسه از درجه ها و غیره پیش می آید.

انجام آزمایش تعیین ضریب خرد شونده گی و اندیس شکل پذیری مخلوط ماسه تر

پس از تشکیل گروه های سه یا چهار نفره با رعایت نکات ایمنی از محل قالب گیری به میزان لازم نمونه برداری کرده و آزمایش را به صورت زیر انجام دهید:

- ۱ هر گروه ۲ عدد نمونه استاندارد استوانه ای را مطابق با دستورالعمل ساخت آن توسط دستگاه کوبه آزمایشگاهی تهیه کند. (یک نمونه برای تعیین ضریب خرد شونده گی و یک نمونه برای تعیین استحکام فشاری تر)
- ۲ یکی از نمونه ها را در داخل لوله دستگاه تعیین ضریب خرد شونده گی ماسه قرار داده و مطابق با دستورالعمل گفته شده در دستور کار آزمایش ضریب خرد شونده گی یا اندیس شاتر آن را بدست آورید.
- ۳ با استفاده از دستگاه اندازه گیری 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 شونده گی (اندیس شاتر) و اندیس شکل پذیری را بدست آورده و به همراه نتایج در گزارش کار تحول هنرآموز دهید.

فعالیت
عملی ۱۵



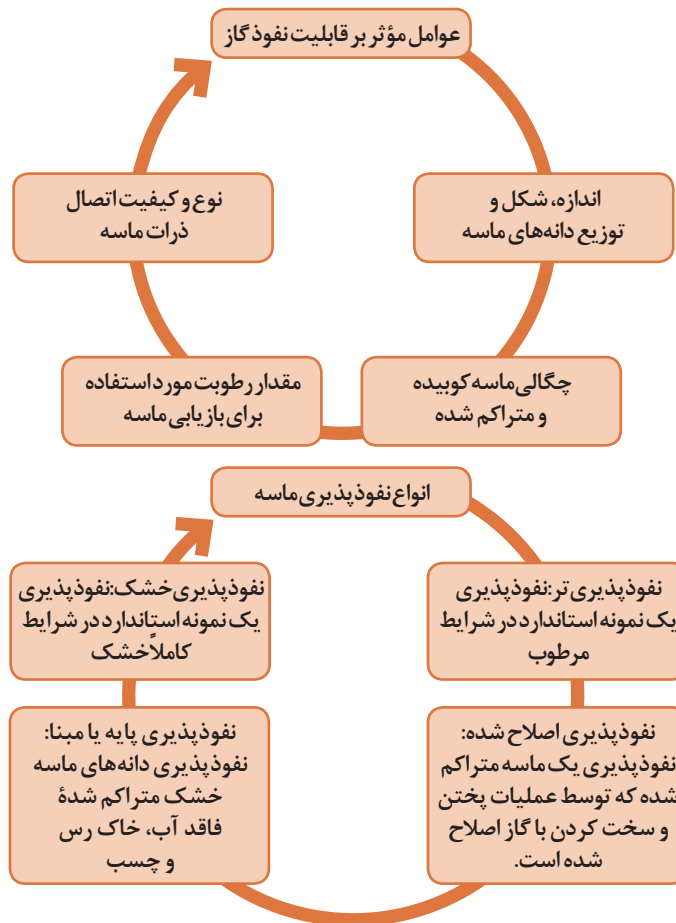
بحث گروهی



چه عواملی می تواند بر روی ضریب خرد شونده گی و اندیس شکل پذیری ماسه تأثیر گذار باشد؟ در مورد هر کدام از آنها بحث و گفت و گو 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. لذا 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 بر حسب 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 (CC ۱۰ 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 و A و T نسبت معکوس دارد. به عبارت ریاضی می توان نوشت:

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

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

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \times 2 \times 2 / 54^2}{4} = 20.68 \text{ cm}^2 \text{ سطح مقطع استوانه نمونه}$$

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

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

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

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

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

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

$$K = \frac{V.H}{P.A.T} = \frac{2000 \times 5.08}{10 \times 20.286 \times T} \times \frac{1}{T} = \frac{50.12}{T} \text{ حجم هوای عبوری از ماسه}$$

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

همان طور که ملاحظه می شود قابلیت نفوذ گاز تابعی است از زمان T، لذا در دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز صفحه اندازه گیری بر حسب معکوس زمان T در مقدار ثابت 3007.2 (مطابق استاندارد AFS) مدرج شده است. لذا 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 می شود.

یادآوری می شود 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 نمونه ای 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 ارائه دهید.

- 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 باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریختگی شود؟ بحث و گفتگو کنید.

در ارتباط با پرسش‌های بالا بحث و گفت‌وگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را همراه با گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

فعالیت
عملی ۱۶



پرسش



بحث گروهی



ارزشیابی پایانی

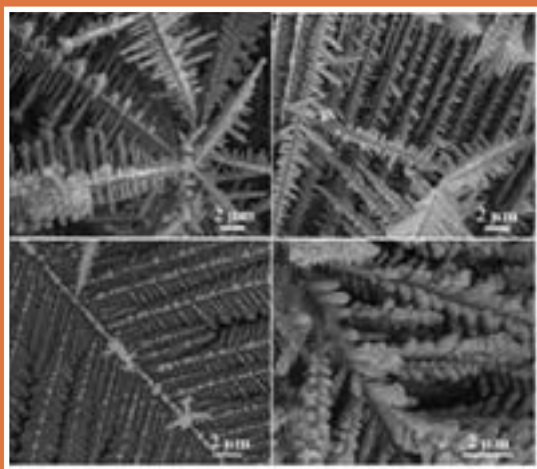
<p>نقشه کار: انجام آزمایش های ماسه شاخص عملکرد: ۱- تهیه نمونه، ۲- تعیین خواص ماسه</p>			
<p>شرایط انجام کار: ۱- انجام کار در محیط آزمایشگاه ماسه ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $3 \pm 20^{\circ}\text{C}$ ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۲۰ دقیقه</p>			
<p>مواد مصرفی: تتراسیدیم تری فسفات - سود - آب مقطر - ماسه</p>			
<p>ابزار و تجهیزات: 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 - کوره خشک کن - زمان سنج - قالب های نمونه ظروف حمل ماسه - همزن - دستگاه تعیین درصد خاک - لوله تخلیه آب (سیفون) - پوآر - استوانه مدرج</p>			
<p>نمونه و نقشه کار: ۱- نمونه برداری مناسب از ماسه به مقدار موردنیاز و از محل مناسب و آماده کردن آنها جهت آزمایش های ماسه ۲- کار با دستگاه های تعیین استحکام و فشردگی و رطوبت و ... و انجام دادن صحیح آزمایش و ثبت نتایج</p>			
<p>معیار شایستگی:</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>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 و کفش ایمنی و عینک محافظ ۵- تمیز کردن وسایل محیط کار</p>		۲	
<p>میانگین نمرات</p>			*

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



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 ماکروسکوپی و میکروسکوپی، تهیه نمونه متالوگرافی (Metallography)، انواع محلول‌های اچ (Ech) 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 نمی‌باشد. براین اساس آشنایی با انواع روش‌های

استاندارد عملکرد

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

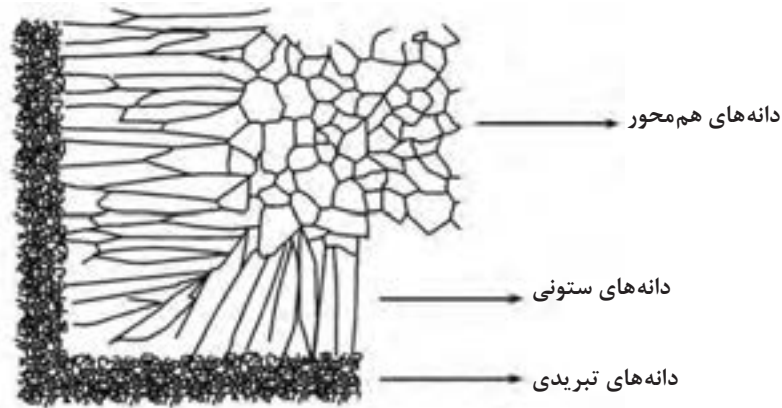
پیش‌نیاز

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

آشنایی با ساختار ریختگی فلزات و آلیاژها

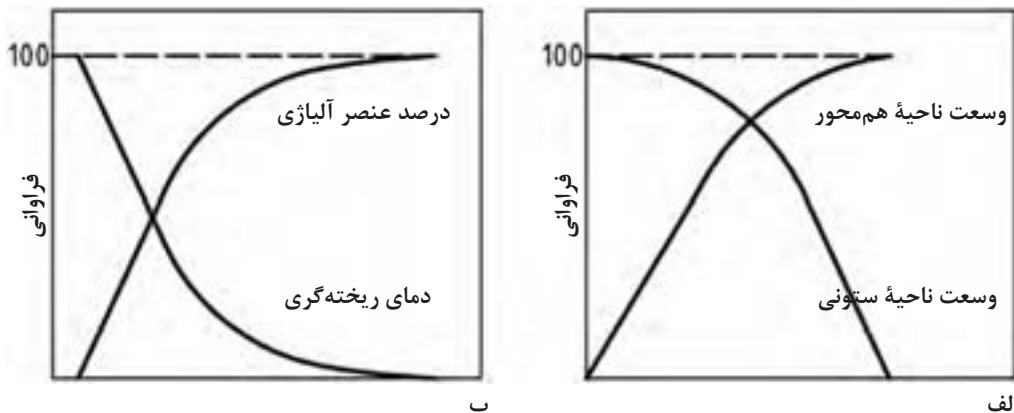
ریزساختار قطعه ریختگی شامل نوع و اندازه دانه، شکل دانه و... است که تأثیر قابل توجهی بر خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات دارند. به همین دلیل بررسی آن در قطعات ریختگی اهمیت فراوانی دارد. به طور کلی فلزات ریختگی دارای سه ناحیه متمایز با ساختار دانه‌ای متفاوت می‌باشند که از سطح به مرکز قطعه عبارتند از:

- 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 هم محور با جهت گیری نامنظم می‌باشند.
- شکل (۱) انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم محور را برای فلزات خالص به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

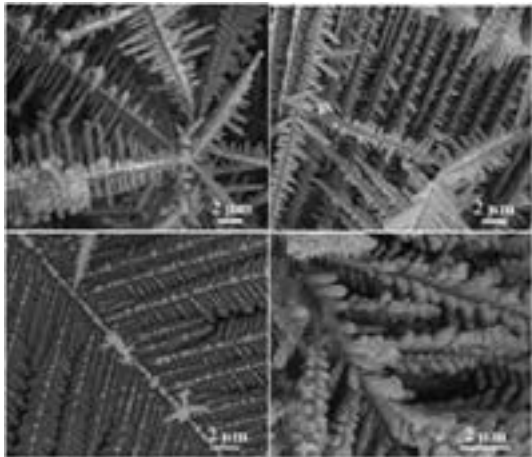


شکل ۱- انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم محور در فلزات خالص

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 هم محور افزایش و وسعت ناحیه ستونی کاهش می‌یابد.



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



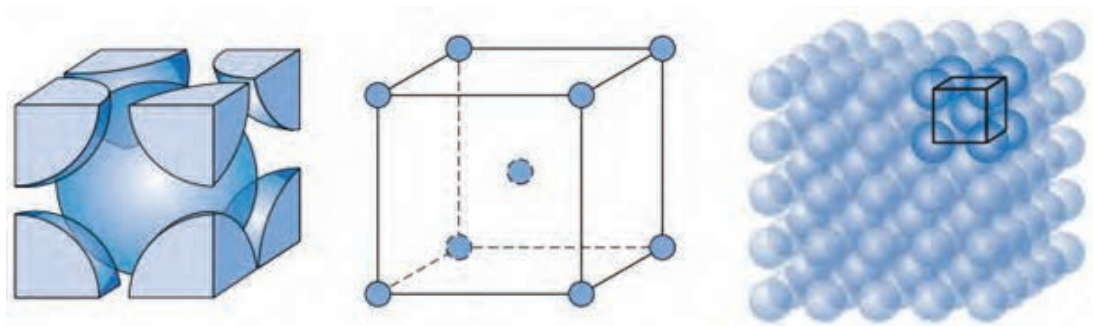
شکل ۳- تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار دندریتی آلیاژهایی از قلع

ریز ساختار دیگر قابل مشاهده در قطعات ریختگی آلیاژی، ساختار شاخه‌ای (دندریتی) می‌باشد که در آلیاژهایی 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 آلیاژهای قلع را نشان می‌دهد.

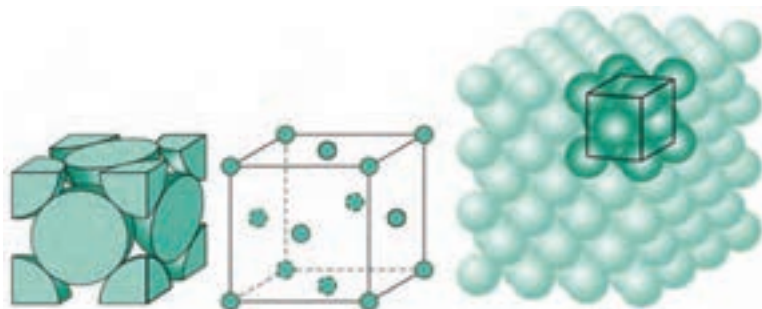
ساختارهای کریستالی

در 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 می‌باشد عبارتند از ساختار مکعبی با اتم در مرکز (Body-Centered Cubic)، ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (Face-Centered Cubic) و شبکه هشت وجهی 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 جهات‌ها 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 با مختصات



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



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



شکل ۶- ساختار هشت وجهی هگزاگونال (HCP) مربوط به فلزاتی مانند روی، برلیوم، زیرکینیم، 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 می‌باشند.



شکل ۷- نمونه‌ای از میکروسکوپ نوری مورد استفاده در متالوگرافی

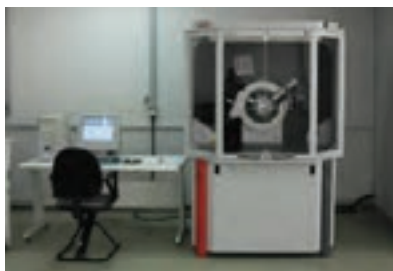
میکروسکوپ نوری متالوگرافی: با استفاده از آن می‌توان مک و حفره‌های ریز، شکل و اندازه دانه‌ها و فازهای موجود در فلزات و آلیاژها را تشخیص داد و شناسایی نمود که در این درس بیشتر به این مورد پرداخته خواهد شد (شکل ۷).



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 نمود. 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 نمود (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. تحقیق کنید: در گروه‌های ۳ نفره نوع دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه متالوگرافی هنرستان خود را تعیین نموده با جستجو در منابع معتبر ویژگی آنها را بنویسید.

متالوگرافی و انواع روش‌های آن

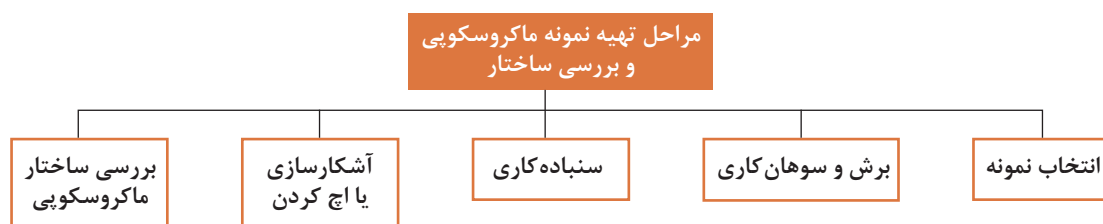
متالوگرافی به حدود ۲۰۰ سال پیش (۱۸۰۰ میلادی) برمی‌گردد که دانشمندان مطالعه فلزات را در زیر میکروسکوپ آغاز کردند و توانستند ارتباط بین اندازه دانه‌ها و سختی فلزات را بیابند، و به وجود خطوط در ساختمان میکروسکوپی فولادهای سخت شده و خواص آنها پی ببرند. بنا به تعریف، متالوگرافی شاخه‌ای از علم مواد است که ساختار داخلی فلزات و آلیاژها و عیوب داخلی قطعات مثل ترک یا ناخالصی و... 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 (macroscopic) و میکروسکوپی (microscopic) استفاده می‌شود.

مطالعه ماکروسکوپی ساختار فلزات: مطالعه ماکروسکوپی برای پی بردن 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 و...) 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 نمودن ترک‌های به‌وجود آمده در قطعات آهن‌گری و نورد شده در حین 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





شکل ۱۰- نمونهٔ ماکروسکوپی از فلز خالص آلومینیم

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



شکل ۱۱- کاتر مخصوص برای برش نمونه‌ها

ب) برش و سوهان کاری: متداول‌ترین روش برای برش نمونه‌ها استفاده از اره‌دستی و یا کاتر (صفحه برنده از جنس اکسید آلومینیم و یا کاربید سیلیسیم) همراه با مایع خنک‌کننده (آب) می‌باشد. و جهت تسطیح محل مقطع برش آن را ابتدا سوهان درشت و سپس با سوهان ریز پرداخت و گونیایی می‌کنند. در صورت امکان بعد از برش به جای سوهان کاری بهتر است با ماشین‌های براده‌برداری مانند ماشین تراش مقطع برش خورده صاف و گونیایی 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 سنباده کاری نمونه‌های متالوگرافی

ج) سنباده کاری: عملیات سنباده کاری معمولاً بر روی صفحات سنباده انجام می‌شود. این دستگاه دارای چند صفحهٔ صاف و تخت که دارای شیب مشخص است (شکل ۱۲). در هنگام سنباده زنی بر روی سنباده‌ها آب ریخته می‌شود تا از افزایش حرارت قطعه جلوگیری و براده‌های ایجاد شده، شسته شوند. سنباده‌ها 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 سنباده است. نمونه باید با فشار متوسط دست از بالا به طرف پایین حرکت داده شود. هنگامی که نمونه از یک کاغذ سنباده به کاغذ سنباده ظریف‌تر منتقل می‌شود، سطح نمونه به حدی ساییده می‌شود که خراش‌هایی با اندازه جدید قابل رویت شده و خراش‌های سنباده قبلی از بین بروند. در جابجایی به سنبادهٔ ظریف‌تر، نمونه ۹۰° چرخانده شده و فشار دست نیز کاهش می‌یابد. سنباده کاری را می‌توان با استفاده از سنباده دوار برقی نیز انجام داد. این دستگاه دارای یک صفحه دوار است که روی آن سنباده گرد چسبیده و توسط الکتروموتور به چرخش در می‌آید و در هنگام سنباده کاری آب توسط افشانک‌های قابل تنظیم به محل تماس قطعه و صفحه سنباده 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 اسید کلریدریک ۵۰ میلی لیتر آب	شماره ۱ اسید کلریدریک	فولاد و چدن
عمق سختی کربوره شده کربن‌گیری شده ساختمان جوش، منطقه‌ای از جوش	۵۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۹۵ میلی لیتر الکل اتیلیک	شماره ۲ نایتال	
اندازه دانه‌ها، تخلخل، اتیکلوژن‌ها	۱۰ تا ۳۵ درصد اسید نیتریک	شماره ۳ اسید نیتریک	مس و آلیاژهای آن
خورنده عالی برای آلیاژهای یاتاقان و مس	۱۰ میلی لیتر HF ۱۵ میلی لیتر HCl ۲۵ میلی لیتر اسید نیتریک ۵۰ میلی لیتر آب	شماره ۴ هیدروکسید سدیم	
می‌تواند برای ظاهر کردن ماکروسکوپی به کار رود	۱۵۰ گرم سود ۹۰ میلی لیتر آب گرم	شماره ۵ هیدروکسید سدیم	آلومینیم و آلیاژهای آن
آزمایش ماکروسکوپی آلیاژهای آلومینیم، ۱۰ تا ۲۰ ثانیه غوطه‌ور کنید و در آب گرم بشوید و سپس در اسید نیتریک غلیظ فرو ببرید.	۱۰ میلی لیتر HF ۱۰ میلی لیتر HCl ۹۰ میلی لیتر آب	شماره ۶ اچ فلیک	

ه) بررسی ساختار ماکروسکوپی: پس از انجام عملیات اچ کردن ساختار نمونه با چشم غیرمسلح و یا در صورت لازم 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 آلومینیم که از اسید فلوریدریک (HF) استفاده می‌شود، از به کار بردن ظرف‌های شیشه‌ای جداً خودداری شده 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 سریعاً 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 آلومینیم ریختگی در قالب فلزی و ماسه ای

نمونه‌هایی از فلز آلومینیم که در قالب فلزی و ماسه‌ای ریخته‌گری شده‌اند را تهیه کرده، قبل و بعد از اچ به صورت ماکروسکوپی 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 نمایید.

۲-۱۰ کیلوگرم مذاب آلومینیوم با استفاده از یک کوره مناسب تهیه و سرباره‌گیری و گاززدایی نمایید.

۳- قالب‌ها را پیش‌گرم نموده و مذاب را با فوق ذوب یکسان به درون محفظه قالب بریزید (۲ تا ۳ نمونه ریخته‌گری نمایید).

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

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

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 نموده 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 نمود.

۳- قبل از مذاب‌ریزی قالب‌ها را پیش‌گرم نمایید.

۴- از سرریز شدن قالب‌ها در حین مذاب‌ریزی اجتناب شود.

۵- قبل از انجماد از خارج کردن نمونه‌های ریخته شده از قالب خود داری 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 آرایه شده رعایت شود.

نکته زیست محیطی



محلول اچ مصرف شده و باقی مانده 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 نمایید. 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 و 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 $1 \times 1 \times 1/5$ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. برای جدا کردن نمونه‌ها با توجه به نوع آن از اره‌های دستی برای فلزات نرم مانند آلومینیم، 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 قطعۀ 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 آن که 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).



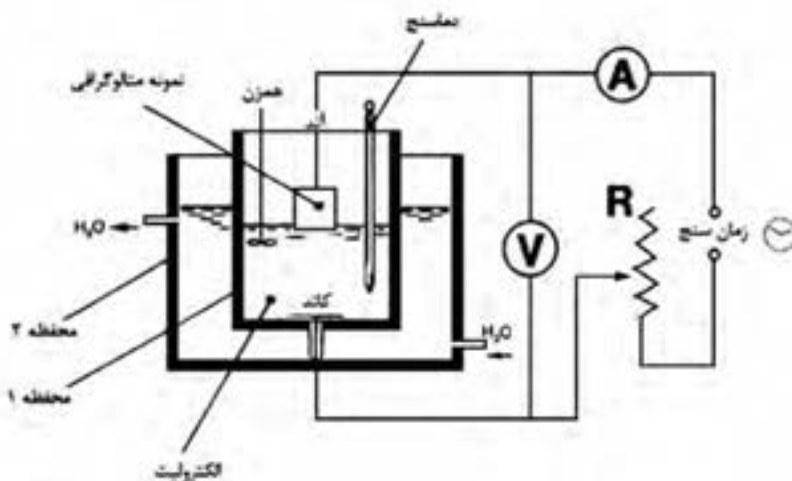
شکل ۱۴- انواع کاغذهای سنبناده و مواد مانت سرد و گرم مورد استفاده در متالوگرافی



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 بوجود 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، اکسید منیزیم، پودر الماسه یا کاربید سیلیسیم به آن اضافه شده، انجام می‌شود. پولیش کاری به وسیله دست و یا با استفاده از دستگاه پولیش همراه با مایع خنک کننده (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. بدین 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

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

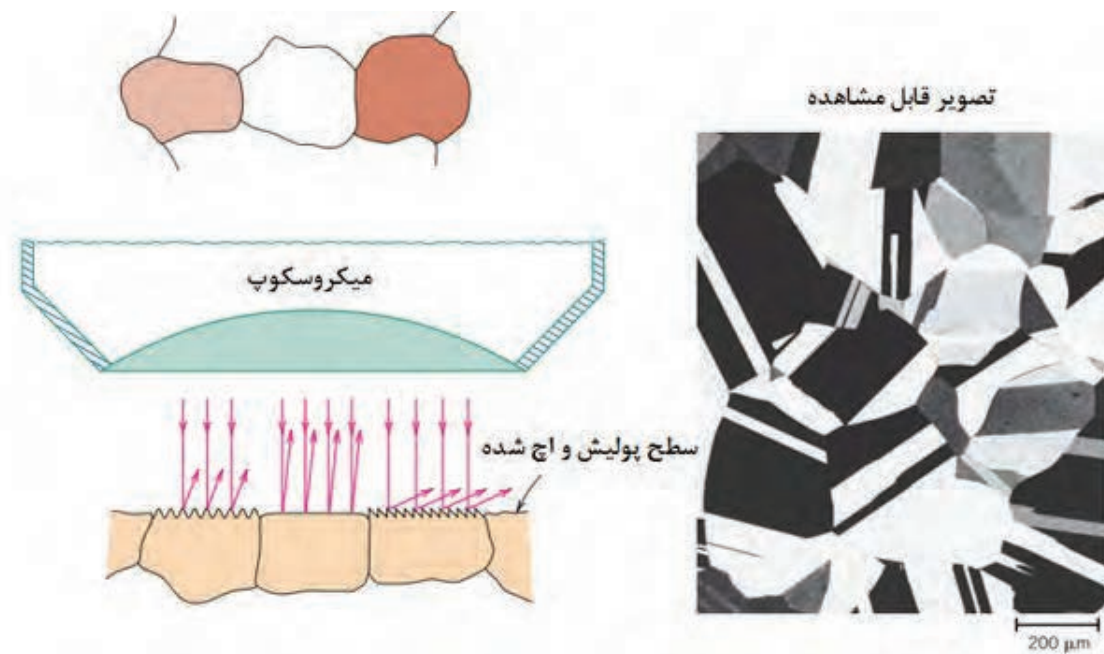


تفاوت‌های عمده بین نمونه ماکروسکوپی و میکروسکوپی در چه مواردی می‌باشد؟

میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی

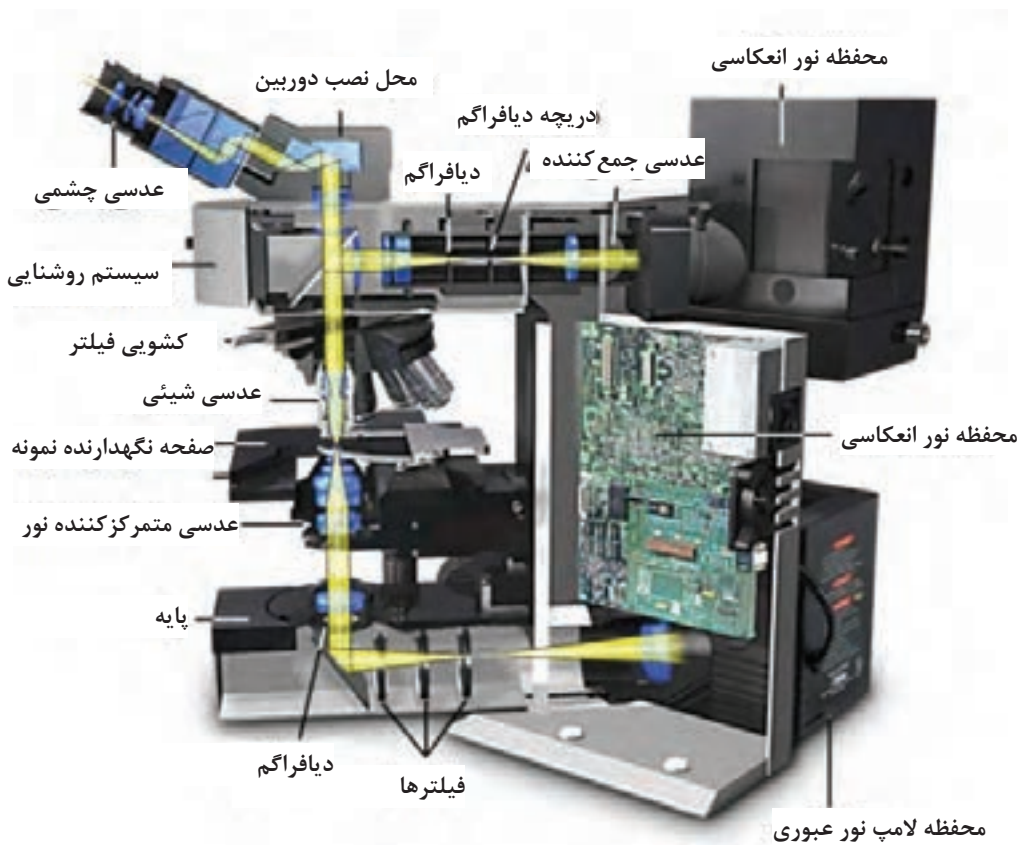
در بررسی‌های متالوگرافی از میکروسکوپ‌های نوری انعکاسی (بازتابی) جهت مشاهده سطح نمونه استفاده می‌شود. این میکروسکوپ‌ها به‌طور کلی شامل عدسی‌های چشمی و عدسی‌های شیئی و یک منبع نوری با شدت بالا می‌باشند. در این میکروسکوپ‌ها نور ایجاد شده بوسیله عدسی‌های جمع‌کننده و توسط یک منعکس‌کننده به سطح نمونه مورد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

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 به‌وجود 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.



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 به‌وسیله پیچ تنظیم بزرگ نمونه را به عدسی شیئی نزدیک کرده و سپس با پیچ تنظیم ظریف‌تر تصویر را ظاهر می‌نمایند.

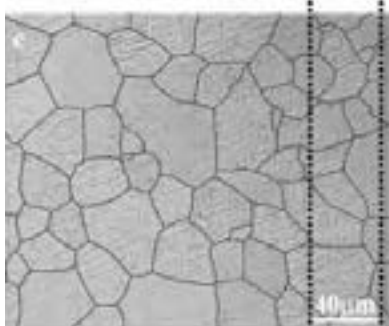
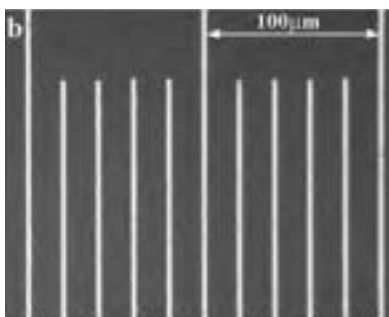
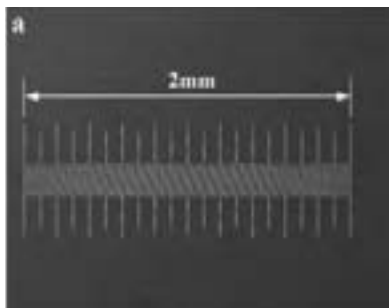


شکل ۱۸- اجزای مختلف میکروسکوپ نوری متالوگرافی

میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی بر حسب 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 ۲- 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 $10 \times 40 = 400$ 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 بایستی دارای مقیاس مناسب باشد. برای این منظور می‌توان با کمک خط‌کش مدرج استاندارد و نرم‌افزارهایی مانند ImageJ 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 گازدایی 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 ۲۰۰۰، 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 نمایید.
- ۲ مذاب آلیاژ آلومینیوم- (۸-۱۰)٪ سیلیسیم با استفاده از یک کوره مناسب تهیه و سرپاره‌گیری نمایید.
- ۳ قالب را پیش‌گرم نموده 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 نمایید.
- ۶ نمونه‌های استوانه‌ای ریخته شده را در مقطع‌های مختلف با دقت برش داده و سوهان‌کاری نمایید.
- ۷ مراحل سنباده‌کاری از سنباده ۱۲۰ تا ۲۰۰۰ به دقت انجام دهید.
- ۸ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 با اندازه دانه ۰/۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
- ۹ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ نموده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
- ۱۰ نتیجه را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه دهید.

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

نکات ایمنی



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 گفتگو پاسخ تحلیلی خود را همراه گزارش کار ارائه نمایید.

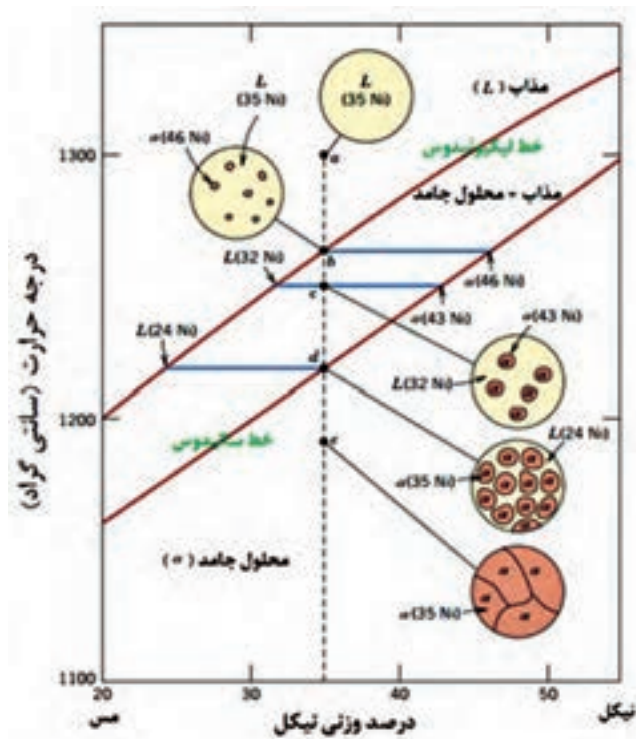
انواع آلیاژها و نمودارهای فازی

انعکاس 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،

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 فرآیند انجماد و تشکیل محلول جامد نشان داده شده است.



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

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

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 ۵/۰ 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 نموده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
- ۳ نتیجه به دست آمده را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه نمایید.

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



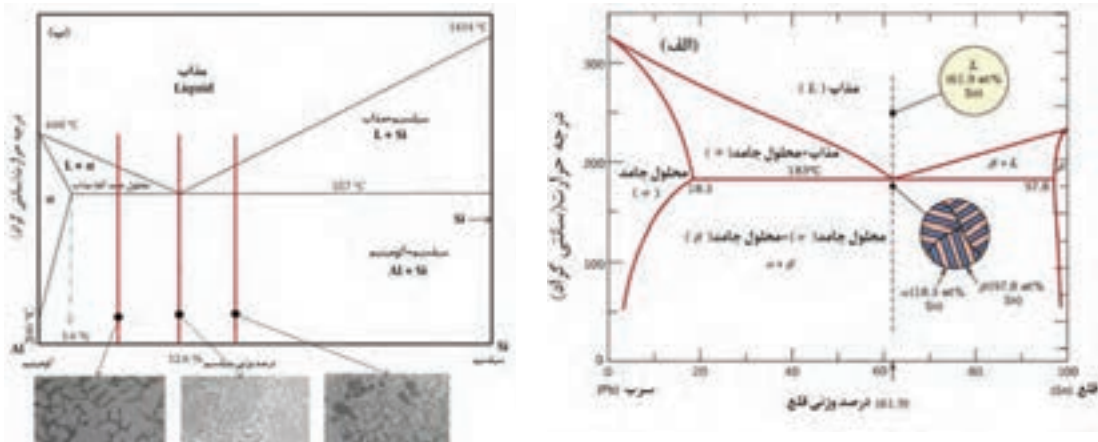
با افزایش درصد روی در برنج ساختار میکروسکوپی آلیاژ چه تغییری می‌کند؟ پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز ارائه نمایید.

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، آلومینیم - 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 آلومینیم - سیلیسیم در قطعات خودرو به کار می‌روند.
در شکل (۲۲) نمودار فازی سرب - قلع (سمت راست) و آلومینیم - 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 آلومینیم-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 و 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 نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
 - ۲ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ نموده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.
 - ۳ نتیجه را به‌صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه نمایید.

بحث گروهی



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

تحقیق



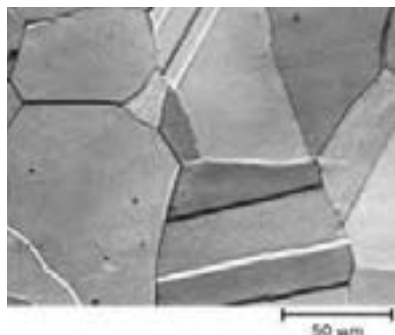
با افزودن عناصر آلیاژی مانند سیلیسیم به آلومینیوم در خواص مکانیکی چه تغییراتی به وجود می‌آید؟ پس از بررسی دقیق ساختار پاسخ را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

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

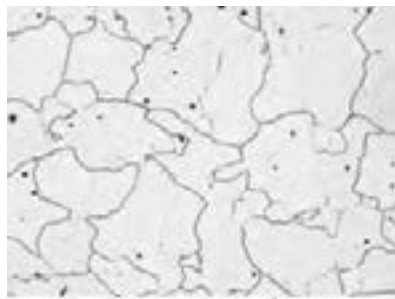
فولادها، آلیاژهای آهن و کربن هستند که میزان کربن آنها از ۰/۰۲ تا ۲/۰۶ درصد می‌باشد. فولادها به روش‌های مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند که تقسیم‌بندی آنها می‌تواند براساس روش تولید، روش ساخت، شکل محصول، روش اکسیژن‌زدایی، استحکام، ریزساختار، ترکیب شیمیایی و غیره باشد.

ساختار زمینه در فولادهای ساده کربنی:



شکل ۲۳- تصویر میکروسکوپی آستنیت (بزرگ‌نمایی ۴۰۰×)

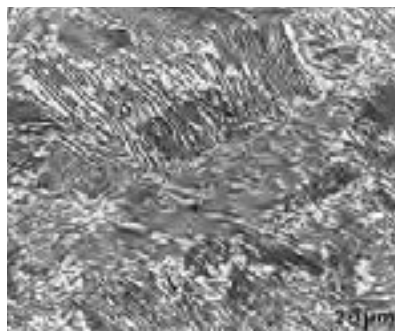
الف) آستنیت (γ): محلول جامد آهن و کربن است که دارای ساختمان مکعبی FCC بوده و در جریان سرد شدن و انجماد به‌وجود می‌آید (شکل ۲۳). این فاز در فرآیند سرد شدن ناپایدار بوده و در اثر تحول یوتکتوئید به فریت و پرلیت و یا مخلوطی از آنها تجزیه می‌گردد. منطقه پایدار آستنیت از ۷۲۳ درجه سانتیگراد به بالا است لذا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



شکل ۲۴- تصویر میکروسکوپی فریت (بزرگ‌نمایی ۱۰۰×)

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

ج) سمانتیت (Fe_۳C): 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 کاربید آهن 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.



شکل ۲۵- تصویر میکروسکوپی پرلیت (بزرگ‌نمایی ۸۰۰×)

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).

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 می‌باشد. در شکل ۲۶ نمودار آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت همراه با محدودی 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 سانتی‌گراد می‌باشد. در نمودار آهن - سمانتیت مناطق تک فازی شامل مذاب، آهن دلتا (δ) با ساختار کریستالی BCC، آستنیت (γ) با ساختار کریستالی FCC، فریت (α) با ساختار کریستالی BCC و مناطق دوفازی مهم شامل مذاب - آستنیت، مذاب - سمنتیت، آستنیت - سمنتیت (لدبوریت)، فریت - سمنتیت (پرلیت) می‌باشد. در این نمودار تحول یا دگرگونی‌های مهم (به غیر از تحول پریتکتیک)، به صورت‌های زیر مطرح می‌باشد.

● تحول یوتکتیک در دمای 1148°C که تک فاز مذاب به دو فاز جامد آستنیت و سمنتیت (لدبوریت) تبدیل می‌شود.

سمنتیت + آستنیت \rightarrow مذاب

● تحول یوتکتوئید در دمای 727°C که فاز جامد آستنیت به دو فاز جامد فریت و سمنتیت (پرلیت) تبدیل می‌شود.

سمنتیت ($6.67\% \text{C}$) + فریت ($0.02\% \text{C}$) \rightarrow آستنیت ($0.77\% \text{C}$)

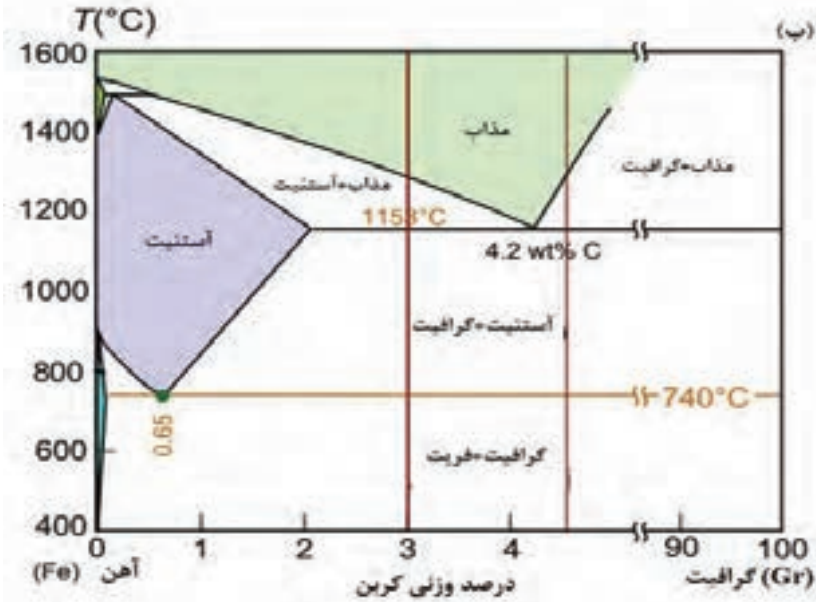
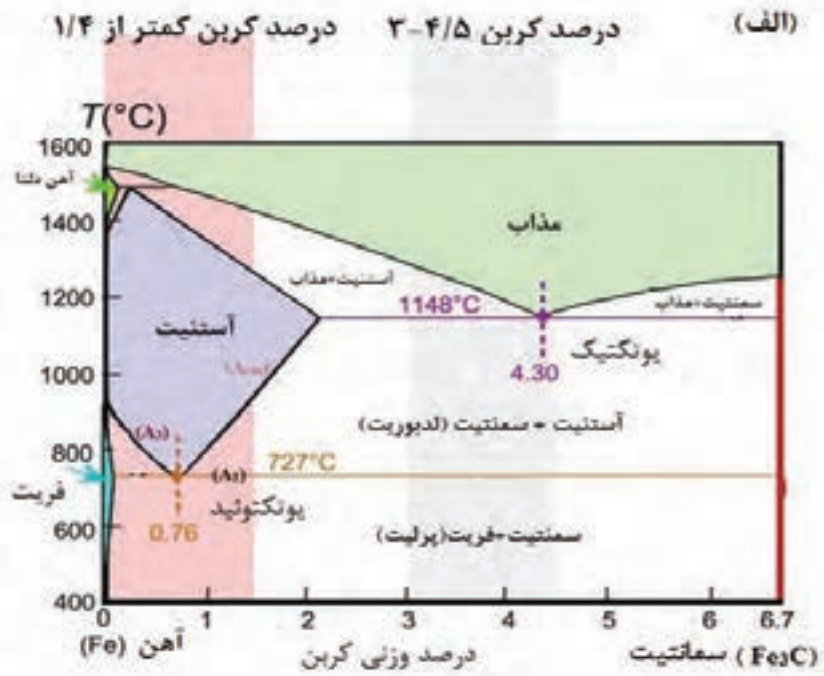
در نمودار آهن - کربن دماهای استحال را اغلب دماهای بحرانی می‌نامند. در این دماها، تغییراتی در انتقال حرارت و یا حجم نمونه در اثر سرد یا گرم کردن ملاحظه می‌شود. دماهای بحرانی که در فرایندهای عملیات حرارتی از اهمیت مهمی برخوردار هستند عبارت‌اند از:

● فصل مشترک منطقه دو فازی فریت - سمنتیت و یکی از مناطق دو فازی فریت - آستنیت و یا سمنتیت - آستنیت (A_1). (A_{cm})

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

● فصل مشترک منطقه تک فازی آستنیت با منطقه دو فازی آستنیت - سمنتیت (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 می‌باشند.

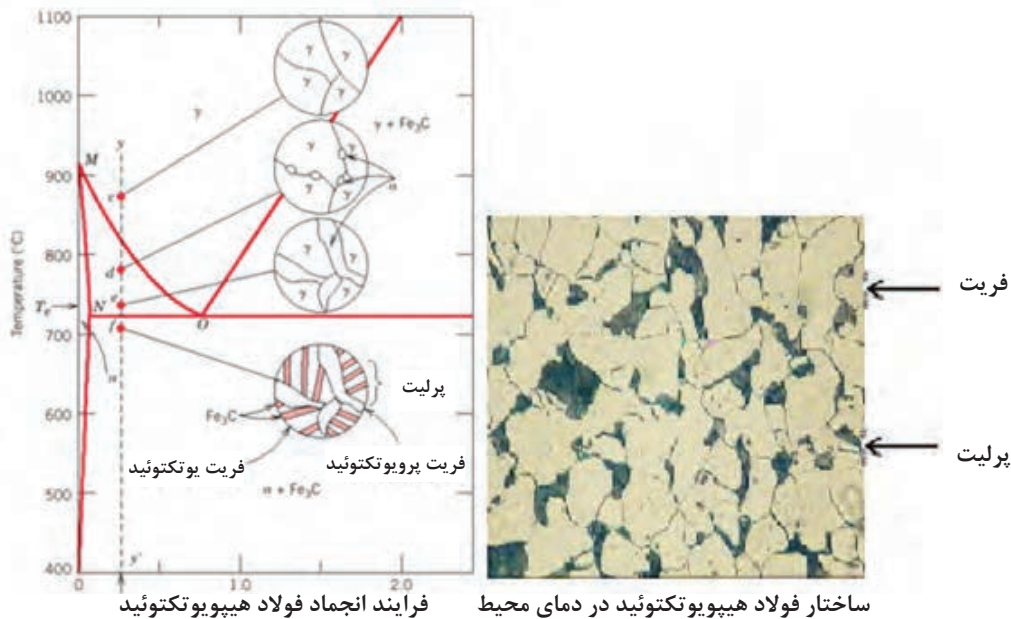


شکل ۲۶- نمودار آهن - کربن (الف) در حالت نیمه تعادلی (آهن - سمانتیت) (ب) در حالت تعادلی (آهن - گرافیت)

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 گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه دهید.

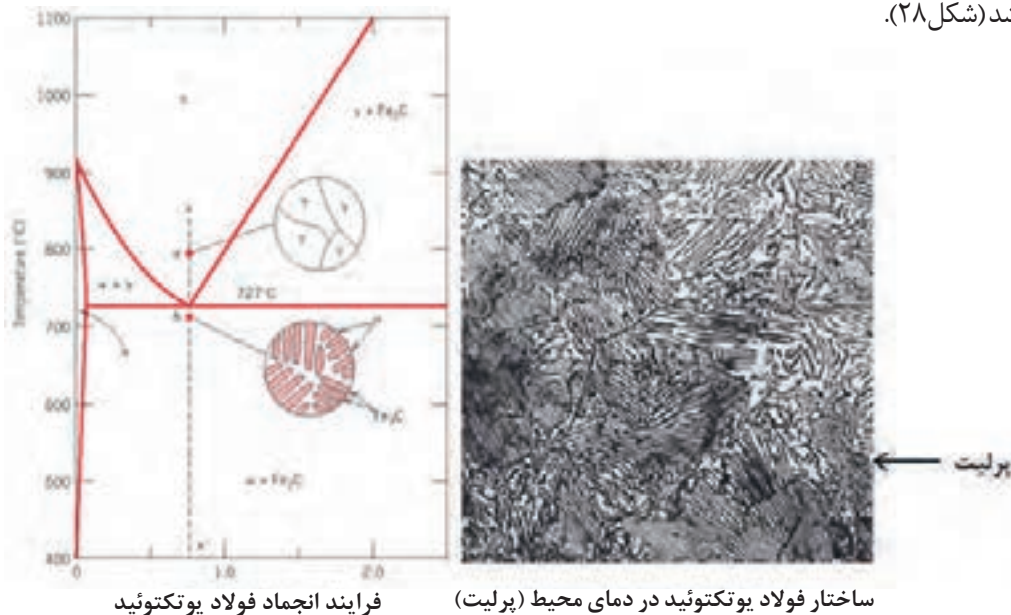


الف) فولادهای هیپویوتکتوئید: این فولادها دارای ۰/۰۲ تا ۰/۷۷ درصد کربن دارند و ساختار متالوگرافی آنها شامل فریت و پرلیت می‌باشد که با افزایش درصد کربن بر میزان پرلیت اضافه شده و از فریت کاسته می‌شود. شکل (۲۷) فرایند تشکیل فازهای مختلف را در حین انجماد تعادلی نشان می‌دهد. در ساختار نهایی (دمای محیط) در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



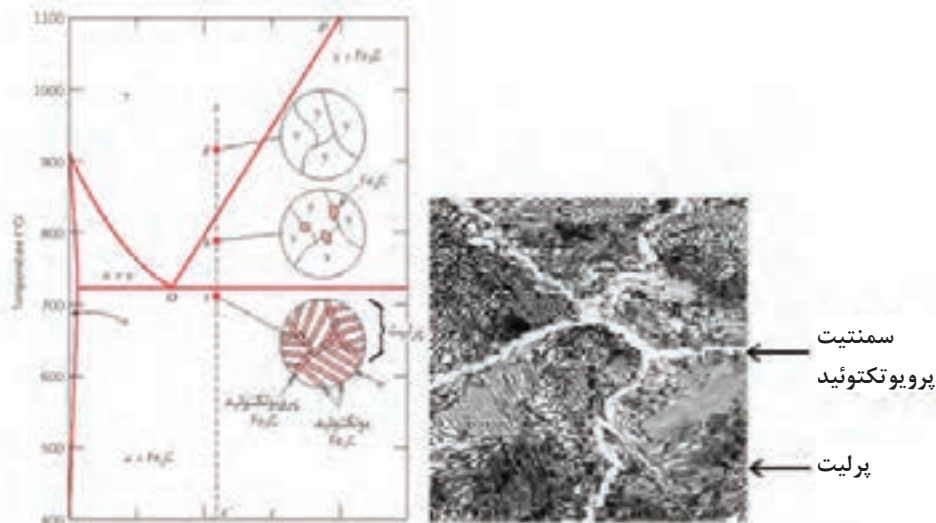
شکل ۲۷- ساختار متالوگرافی فولاد هیپویوتکتوئید

ب) فولادهای یوتکتوئید: کربن این فولاد حدود ۰/۷۷ درصد بوده و ساختار آن در دمای محیط کاملاً پرلیتی می‌باشد. پرلیت در زیر میکروسکوپ در بزرگ‌نمایی‌های کم به رنگ تیره و در بزرگ‌نمایی‌های بزرگ به صورت اثر انگشت قابل مشاهده می‌باشد (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 سمنتیت است که با افزایش درصد کربن بر فاز سمنتیت اضافه شده و از فاز پرلیت کاسته می‌شود (شکل ۲۹).



شکل ۲۹- ساختار متالوگرافی فولاد هیپر یوتکتوئید
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 ۰/۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰ میلی لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.
نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۱، اچ نموده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

نکات ایمنی



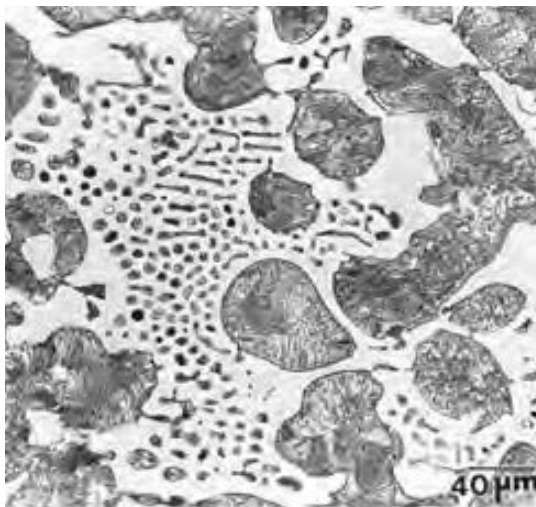
- ۱ هنگام برش نمونه‌ها با دستگاه کاتر از محافظ دستگاه استفاده شود.
- ۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان کاری، گوشه‌های تیز و برنده نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده کاری آسیبی به دست وارد نشود.
- ۳ هنگام تهیه و استفاده از محلول‌های اچ نکات ایمنی رعایت شده و باقی مانده محلول به‌طور 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 ۴/۳ درصد می‌باشد که در فرایند انجماد با کاهش دما از نقطه ذوب ابتدا آستنیت‌ها 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.



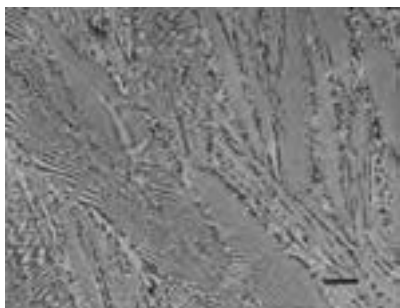
شکل ۳۰- ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپو یوتکتیک در بزرگ‌نمایی $\times 400$

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.

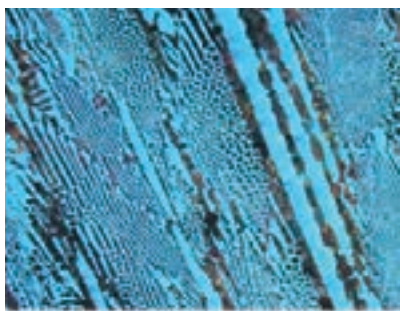
در چدن‌ها تشکیل گرافیت و سمانتیت بستگی به سرعت سرد کردن و ترکیب شیمیایی آن دارد. اگر سرعت سرد شدن در حین انجماد و پس از آن زیاد باشد، سمانتیت به وجود می‌آید ولی اگر درصد کربن و سیلیسیم بالا و سرعت سرد شدن آهسته باشد، گرافیت به وجود می‌آید. به همین علت دو نمودار تعادلی آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت در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

ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن - سمانتیت

در سرعت سرد شدن زیاد در حین 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 ۴/۳ درصد کربن بوده و در فرایند انجماد از نقطه ذوب در اثر تحول یوتکتیک تمامی فاز مذاب به لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) منجمد 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 ۴/۳ تا ۶/۶۷ می‌باشد. 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 ۱۲۰ تا ۲۰۰۰، 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 ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ 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 نمایید.
- ۴ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ نموده 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.

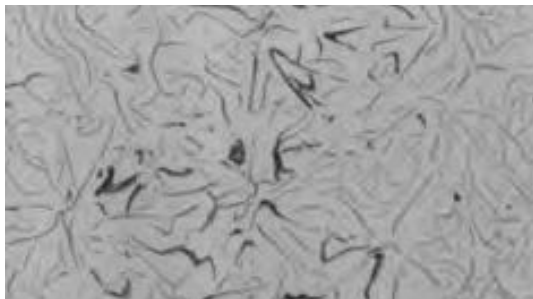


- ۱ هنگام تهیه نمونه توسط ضربه زدن، از پرتاب شدن قطعات شکسته شده ممانعت گردد.
- ۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان کاری، گوشه‌های تیز و برنده نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده کاری آسیبی به دست وارد نشود.
- ۳ جهت براده‌برداری سطوح قطعات از سنگ سنباده استفاده نشود.



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 $4/3$ 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)

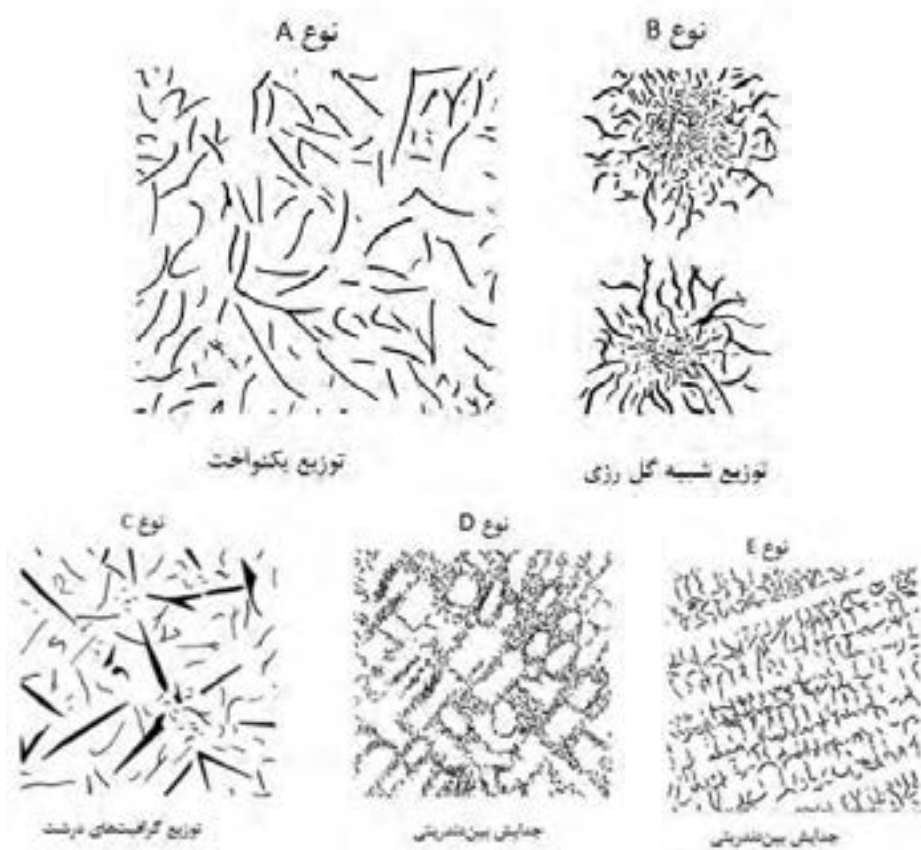
ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن - گرافیت

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 امکان پذیر می‌شود. و چون 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 هیپریوتکتیک: درصد کربن این چدن‌ها 2 تا $4/3$ 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 هیپریوتکتیک بعد از پولیش نشان داده شده است.

ب) چدن یوتکتیک: درصد کربن این چدن در حدود $4/3$ بوده و انجماد این چدن در دمای 1153 درجه سانتی‌گراد 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. جهت بررسی فازهای تشکیل شده آنها را در محلول‌های مناسب اچ و در بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده می‌نمایند. 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 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 نموده و تحویل هنرآموز دهید.

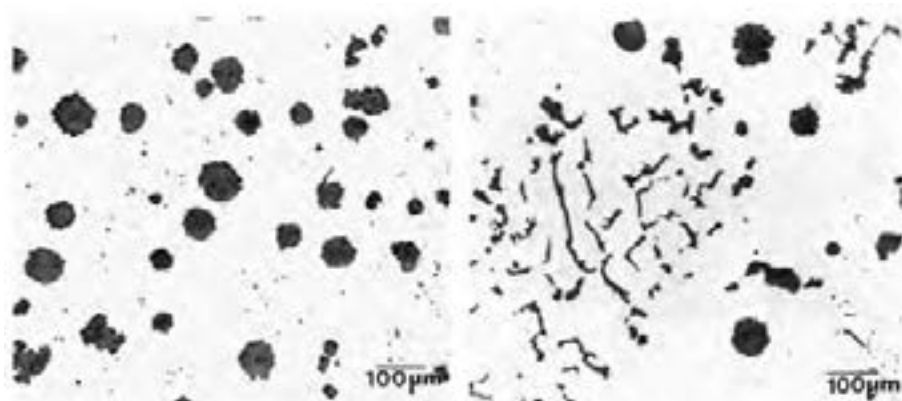
وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

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 می‌باشد. شکل (۳۶) ساختارهای میکروسکوپی چدن‌های داکتیل در حالت پولیش شده را نشان می‌دهد.

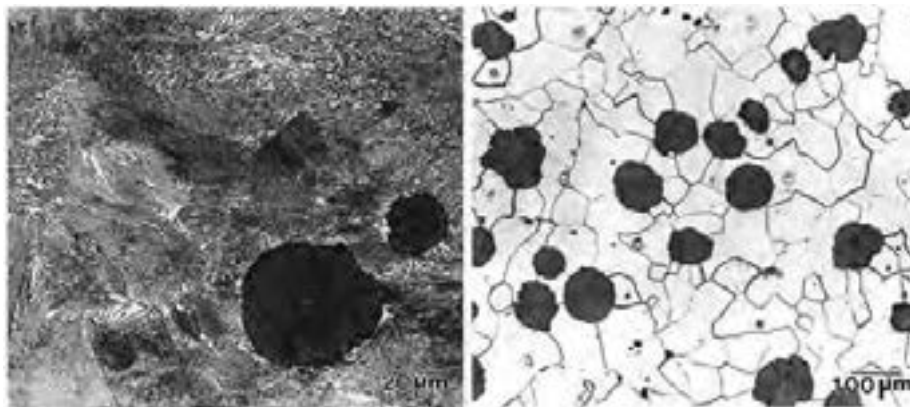


چدن داکتیل با بیشتر از ۹۰ درصد کروی شدن

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 به جای بریدن به وسیله ضربه و شکستن نیز تهیه نمود).
- ۳ آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از سوهان کاری و سنباده کاری
- ۴ 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.
- ۵ نمونه‌ها را بعد از پولیش با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده نمایید.
- ۶ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ نموده 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 به صورت شماتیک در گزارش کار ترسیم نمایید.

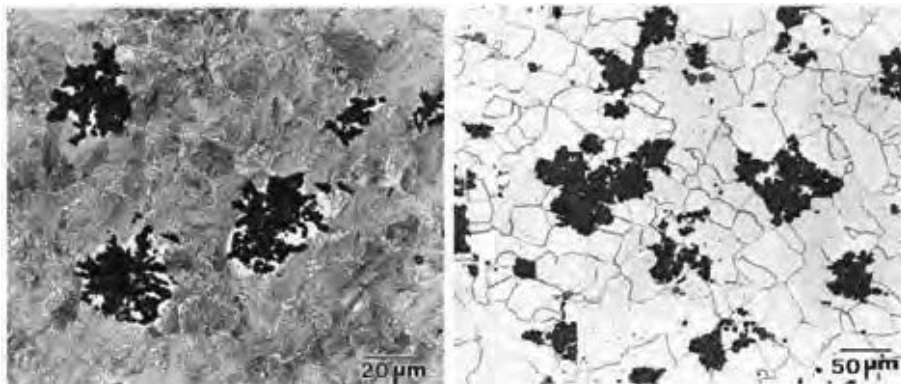
برای افزودن فروسیلیسیم منیزیم از خوراک‌دهنده با درپوش مناسب استفاده شده تا مانع پخش مذاب به اطراف شود.



ساختار میکروسکوپی چدن مالیبیل (چکش خوار)

چدن‌های مالیبیل از عملیات حرارتی چدن‌های سفید به دست می‌آیند. در چدن‌های سفید کربن به صورت 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 نمود که عبارت‌اند از چدن‌های مالیبیل فریتی و چدن‌های مالیبیل پرلیتی.

چدن‌های مالیبیل دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به چدن‌های خاکستری می‌باشند. 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 به‌صورت شماتیک در گزارش کار ترسیم نمایید.



ارزشیابی پایانی

نقشه کار: انجام آزمایش های متالوگرافی			
شاخص عملکرد: ۱- تهیه نمونه، ۲- آماده سازی سطح ۳- اچ کردن ۴- شناسایی ساختار			
شرایط انجام کار:			
۱- انجام کار در محیط آزمایشگاه متالورژی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $20 \pm 3^{\circ}C$			
۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۹۰ دقیقه			
مواد مصرفی: سنباده - محلول اچ - مواد مانت - خمیر الماسه و نمد پولیش - الکل - آب مقطر - سنگ تراش - تیغه کاتر - سنگ ساب - پودر آلومینا - پودر اکسید منیزیم			
ابزار و تجهیزات:			
دستگاه برش - دستگاه سنگ - دستگاه مانت - دستگاه پولیش - میکروسکوپ - دستگاه خشک کن و شیشه ساعت			
نمونه و نقشه کار:			
۱- برشکاری نمونه در ابعاد مورد نظر، تمیزکاری و سنگ زدن سطح نمونه به طرز صحیح و در صورت نیاز مانت کردن			
۲- سنباده زدن سطح نمونه با استفاده از سنباده های 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 Al_2O_3			
۳- آماده کردن محلول اچ متناسب با جنس فلز و اچ کردن نمونه در زمان مشخص توسط محلول اچ و سپس شستشو با الکل و آب مقطر و خشک کردن			
۴- کار با میکروسکوپ نوری جهت مشاهده دانه بندی و ساختار میکروسکوپی نمونه از لحاظ تشخیص فازهای موجود و در صورت نیاز تهیه عکس			
معیار شایستگی:			
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	نمونه برداری	۱	
۲	آماده سازی سطح	۲	
۳	اچ کردن	۲	
۴	بررسی ساختار	۲	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش:		
	۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار	۲	
	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		
	میانگین نمرات		*

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



پودمان سوم

سخت کاری



واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی سخت کاری حجمی

یکی از روش‌های عملیات حرارتی، سخت کاری می‌باشد. با این عملیات سختی و استحکام سایشی و خستگی مواد افزایش می‌یابد. ابزارهای براده‌برداری و ابزارهایی که نیاز به تحمل بارهای سایشی را دارند توسط این روش سخت می‌شوند.

در این واحد یادگیری، انواع روش‌های 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

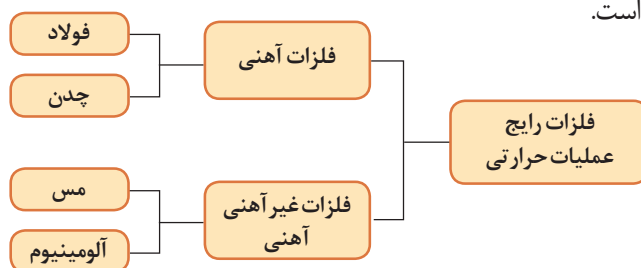
عملیات حرارتی

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. شکل ۱ فلزات رایج و مورد استفاده در عملیات حرارتی را نشان می‌دهد. ولی با توجه به خواص شگفت‌انگیز فولاد و کاربرد صنعتی آن بیش از ۸۰ درصد عملیات حرارتی به فولاد اختصاص داده شده است.



شکل ۱

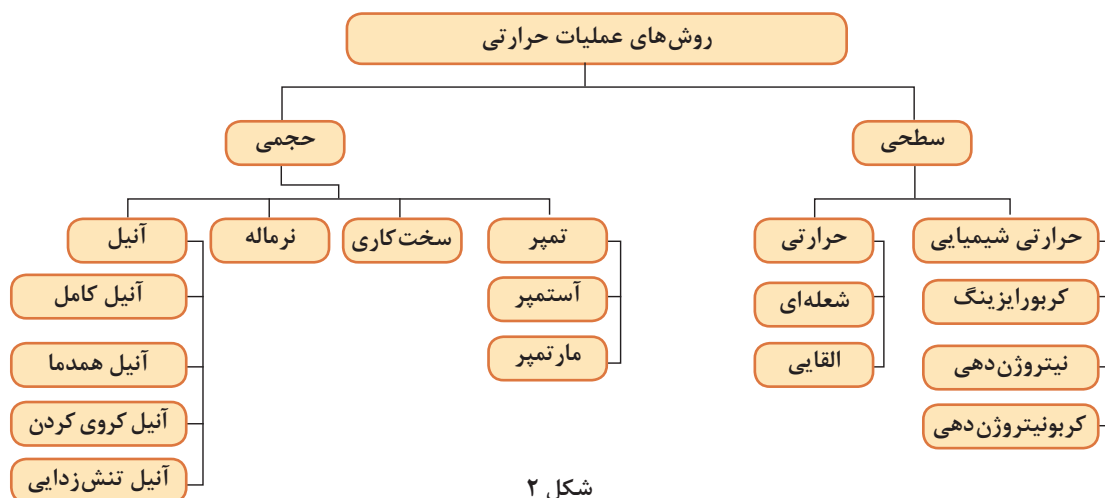
اهداف عملیات حرارتی:

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 شکل ۲ نشان داده شده است که همه موارد به تفصیل توضیح داده خواهد شد.



شکل ۲

ابزار و تجهیزات مورد نیاز در عملیات حرارتی

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

			تصویر
			نام
			کاربرد
			تصویر

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



شکل ۳

کوره‌های عملیات حرارتی

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

نشان داده شده در شکل‌های ۴-ج و ۴-د هستند. این کوره‌ها به ترتیب از نوع المنت غوطه‌ور و کف خوابیده می‌باشند. در هر دو نوع مقاومت نمک در برابر جریانی از یک الکتروود به الکتروود دیگر باعث گرم شدن آن می‌گردد. این حالت باعث به هم خوردن مذاب و در نتیجه یکنواختی دمای حمام می‌شود. 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 مسئله در نوع کف خوابیده وجود ندارد. از جمله خصوصیات کوره‌های حمام نمک انتقال حرارت سریع به قطعه و کاهش زمان آستنیت‌ه کردن قطعات است. همچنین به دلیل این که نمک مورد استفاده خنثی است. باعث جلوگیری از تغییر ترکیب شیمیایی قطعه می‌شود. از جمله مشخصات دیگر این کوره‌ها حفاظت سطحی قطعه و جلوگیری از پیچش و تاب برداشتن آن است. این فرایند، فرایندی سریع با انتقال حرارت یکنواخت و بازده بالا است. حمام‌های نمک در بسیاری از عملیات حرارتی از جمله، سخت کردن عمومی و تمپر کردن قطعات به کار می‌روند.

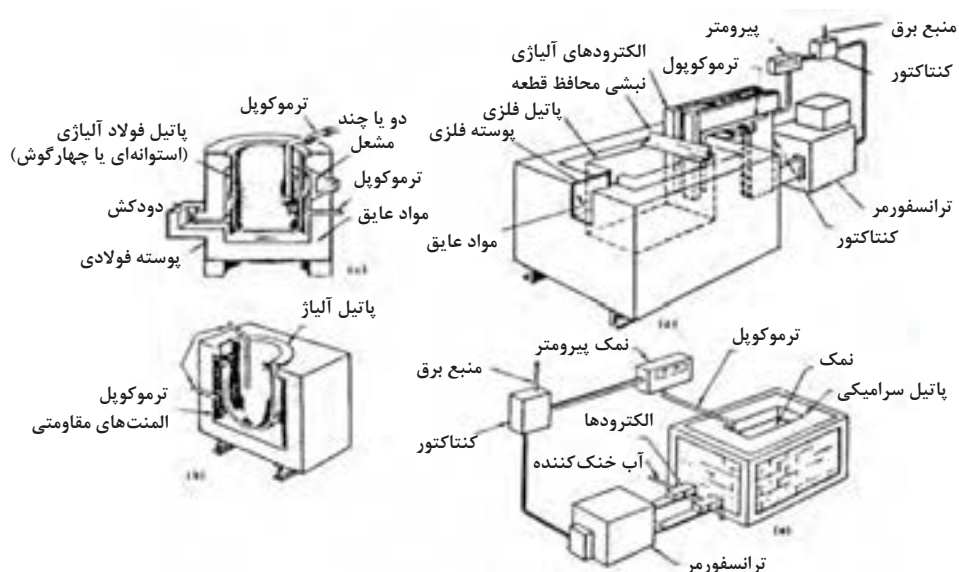
۱ کوره‌های حمام نمک: در ساده‌ترین حالت این کوره‌ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطه ذوب پایین و المنت‌های حرارتی غوطه‌ور در آن می‌باشند. این نوع حمام‌ها فقط برای محدوده حرارتی ($175 - 345^{\circ}\text{C}$) به کار برده می‌شوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته‌تری لازم است. شکل ۴-الف نوع کوره پاتیلی گاز سوز (شعله‌ای) را نشان می‌دهد این کوره‌ها برای گرم کردن قطعات تا دمای 900°C قابل استفاده است. برای دماهای بالاتر نیز می‌توان از این کوره‌ها استفاده کرد، ولی باید توجه داشت که در این صورت پاتیل و دیگر متعلقات به دلیل تماس مستقیم با محیط اکسیدکننده خیلی زود تخریب خواهند شد. کوره‌ای که در شکل ۴-ب نشان داده شده است از نوع الکتریکی (مقاومتی) بوده و به دلیل اینکه در این کوره پاتیل مستقیماً با المنت‌ها تماس دارد برای استفاده در دماهای بالا عمر کوتاهی دارند و برای قطعات ریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. بسیاری از حمام‌های نمک که در محدوده حرارتی (760°C تا 1260°C) به کار می‌روند مشابه کوره‌های

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

- بایستی محدوده دمایی کاری مناسب با توجه به دمای مورد نیاز داشته باشد.
- نقطه ذوب مناسبی داشته باشد تا مانع از طولانی شدن زمان ذوب و گرمای لازم برای ذوب گردد.
- نمک به کار رفته باید با سایر نمک‌ها و سوخت‌هایی که در فرایند عملیات حرارتی مورد نظر به کار می‌روند سازگار باشد.
- نمک مورد نظر باید قابلیت جایگزینی و تغییر را داشته باشد.
- باید به آسانی شسته شود تا بتوان لایه ایجاد شده بر روی سطح قطعه را بعد از عملیات حرارتی به راحتی با شست‌وشو از بین برد.
- شکل ۴ انواع کوره‌های حمام نمک و جدول ۱ مشخصات تعدادی از نمک‌های خنثی مورد استفاده در عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - مشخصات نمک‌های مورد استفاده در حمام نمک

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



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

۲ کوره الکتریکی: در این کوره‌ها گرمای لازم جهت آستیتته 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 نمی‌باشد شکل ۵ نمونه‌هایی از کوره‌های الکتریکی عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



الف



ب

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



شکل ۶- کوره شعله‌ای

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



شکل ۷- کوره خلأ

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

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



شکل ۸- کوره با اتمسفر کنترل شده

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

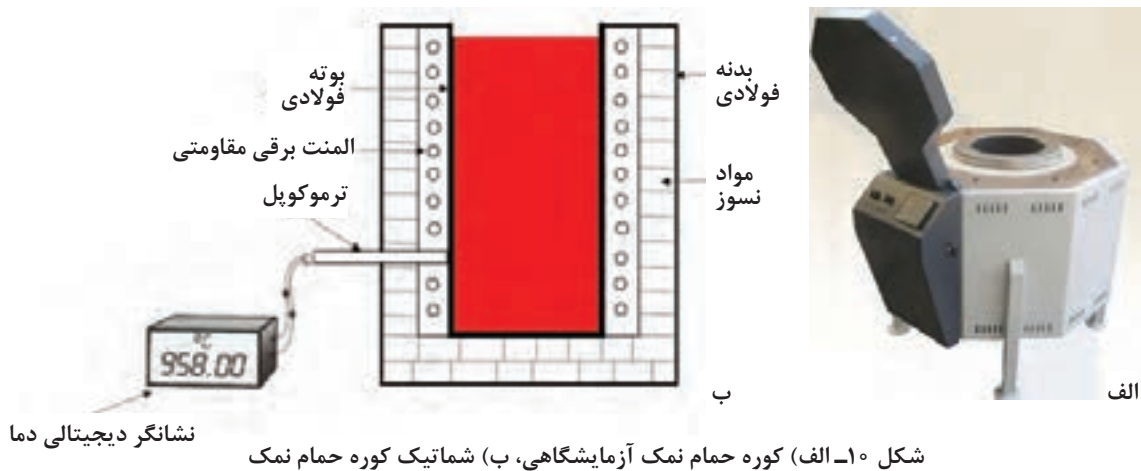


شکل ۹- کوره عملیات حرارتی مداوم

کوره حمام نمک آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

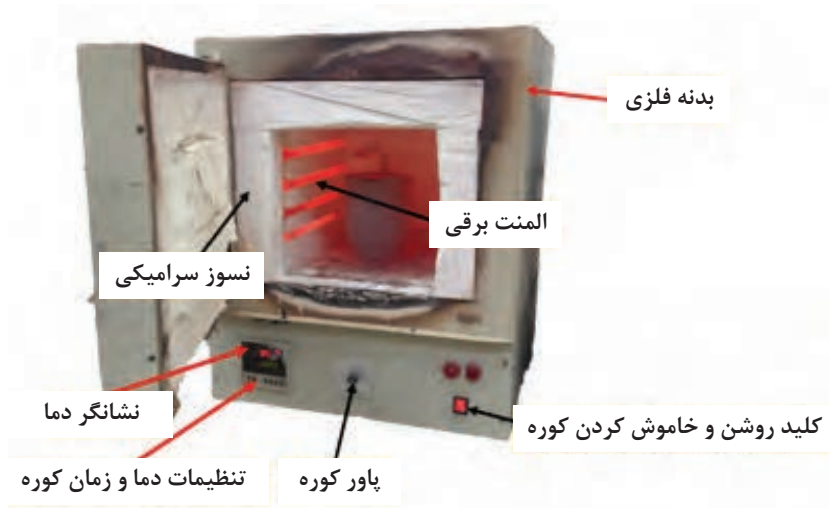
- ۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد؛
 - ۲ اتمسفر کوره: معمولی؛
 - ۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛
 - ۴ سیستم کنترل دما: دیجیتالی، در اکثر کوره‌های عملیات حرارتی دما توسط ترموکوپلی که داخل کوره با یک غلاف قرار داده شده است، اندازه‌گیری شده و در یک صفحه دیجیتالی نشان داده می‌شود.
 - ۵ سیستم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



کوره الکتریکی آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

- ۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد؛
 - ۲ اتمسفر کوره: معمولی؛
 - ۳ سیستم گرم کننده: برقی از نوع المنت‌های حرارتی در داخل یا بین دو جداره نسوز این کوره‌ها قرار گرفته‌اند؛
 - ۴ سیستم گردش هوا: بدون فن؛
 - ۵ سیستم درب: دستی؛
 - ۶ سیستم کنترل دما: دیجیتالی؛
 - ۷ گاز ورودی: جهت جلوگیری از اکسیداسیون سطح قطعات در حین عملیات می‌توان از گاز خنثی (آرگون) استفاده کرد.
- شکل ۱۱ قسمت‌های مختلف یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۱- کوره مقاومتی آزمایشگاهی



راه اندازی کوره الکتریکی

با رعایت اصول ایمنی، کوره موجود در آزمایشگاه را روشن کرده و به دمای 800°C تنظیم نمایید.

۱ قبل از روشن کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.

۲ هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.

۳ از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل نمایید.

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

محیط‌های سردکننده

در عملیات حرارتی جهت سرد کردن با سرعت کنترل شده برای رسیدن به ریز ساختار غیر تعادلی، قطعات را در محیط‌های خنک‌کننده مختلف قرار می‌دهند. برای رسیدن به ریز ساختارهای غیر تعادلی حجم مخزن خنک‌کننده باید متناسب با تعداد و اندازه قطعات مورد نظر انتخاب گردد 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 می‌باشد. بیشترین قدرت سردکنندگی آب در درجه حرارت بین 20°C تا 40°C درجه سانتی‌گراد می‌باشد. یادآوری می‌شود که با افزایش درجه حرارت تا بیش از 60°C درجه سانتی‌گراد، قدرت سردکنندگی آب به شدت کاهش می‌یابد. با اضافه کردن 10% درصد کلرید سدیم (نمک طعام) و یا بی‌کربنات دو سود (جوش شیرین) به آب قدرت سردکنندگی آب به نحو قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. و از طرفی شدت تلاطم نیز روی شدت سردکنندگی محیط مؤثر می‌باشد و باعث افزایش شدت سردکنندگی می‌شود. زیرا موجب شکستن بخار آب حاصله و دور شدن حباب‌های بخار از اطراف قطعه می‌گردد. در حالت کلی در فولادهای ساده کربنی جهت سرد کردن سریع (Quenching) و رسیدن به ساختارهای سخت می‌توان از محیط‌های آبی استفاده کرد. شکل ۱۲ مخزن آب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- مخزن آب

روغن: روغن نسبت به آب محیط سردکننده مناسب‌تری است. زیرا سرعت سردکنندگی ملایم‌تری دارد. به همین دلیل استفاده از آن به عنوان محیط سردکننده برای فولادهای آلیاژی تا آلیاژ متوسط در ضخامت‌های کم استفاده می‌شود. در واقع روغن‌های عملیات حرارتی روغن‌های صنعتی با پایه معدنی هستند که به عنوان سیال خنک‌کننده در عملیات سخت‌کاری 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 باشد

۶ ویسکوزیته مناسب.

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



شکل ۱۳- مخزن روغن

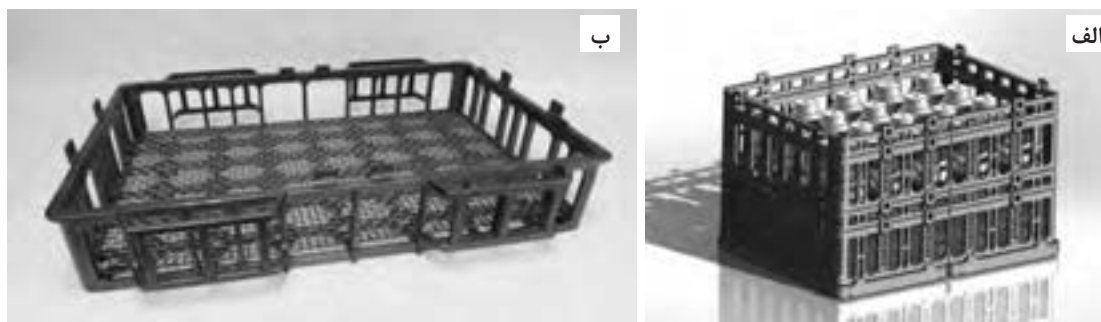
هوا: یکی از مهم‌ترین محیط‌های خنک‌کننده هوا می‌باشد. زیرا این محیط کمترین شوک حرارتی را به قطعه وارد کرده و تاب برداشتن قطعات را به حداقل می‌رساند. قطعات با ضخامت کم از جنس فولادهای کم آلیاژ و یا قطعات با ضخامت متوسط از جنس فولادهای آلیاژی با سختی پذیری بالا را می‌توان در هوا سخت کرد.

تجهیزات حمل مواد

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

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

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



شکل ۱۴- الف) نگهدارنده، ب) سبد فلزی

دستگاه سختی سنج

پرسش



سختی اجسام را چگونه اندازه می گیرند؟

قبل و بعد از عملیات حرارتی سخت کاری باید میزان سختی قطعه مورد نظر اندازه گیری شود. این اندازه گیری با دستگاهی به نام سختی سنج انجام می شود. سازوکار دستگاه های سختی سنج بر اساس فرورفتن جسم سخت در سطح قطعه مورد نظر است. روش های سختی سنجی بر اساس 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	HRA ۲۰-۸۸	۶۰	 مخروط الماسی	HRA	راکول A
آلومینیوم و آلیاژهای آن، مس و آلیاژهای آن، فولادهای نرم و چدن مالیل	HRB ۲۰-۱۰۰	۱۰۰	 ساچمه فولادی	HRB	راکول B
انواع فولادها و چدن ها و آلیاژهای غیر آهنی سخت	HRC ۲۰-۷۰	۱۵۰	 مخروط الماسی	HRC	راکول C
کلیه فلزات با سختی کم و متوسط (برای فلزات با سختی بالا کاربرد ندارد)	HB ۲۰-۷۳۹	۱-۳۰۰۰	فولاد کاربید تنگستن	HB	برینل
تمامی فلزات آهنی و غیر آهنی، ورق های فولادی، پوشش های سطحی	HV ۸۰-۱۰۷۶	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 نیروی 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 و... 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 راس 120° و میزان بار ۱۵۰ کیلوگرم نیرو استفاده می‌شود. روش اندازه‌گیری سختی در شیوه راکول C به این صورت است که ابتدا راکول C روی دستگاه انتخاب و سپس مقدار نیرو را روی ۱۵۰ کیلوگرم تنظیم می‌شود. بعد از تنظیم شیوه و نیرو، فرورونده مخروطی که از جنس الماس است در محل خود

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

بحث گروهی



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

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

روش برینل: روش 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 کاربید تنگستن 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 _{۳۰}	HBN _{۱۰}	HBN _۵	HBN _{۲٫۵}



اندازه‌گیری سختی به روش برینل

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

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

مراحل کار:

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

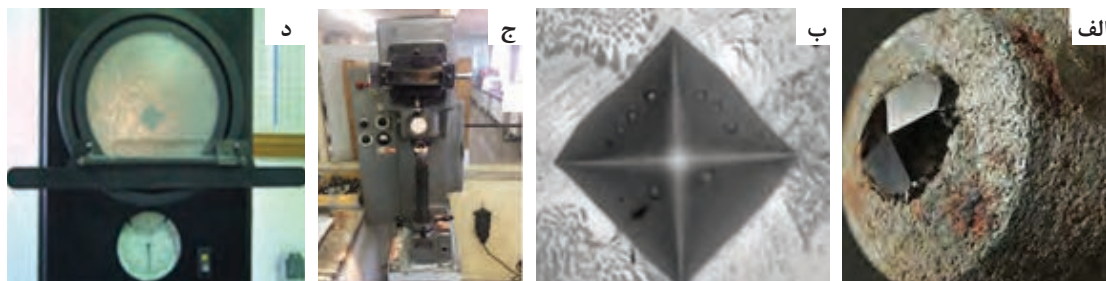
نکته مهم:

- تمامی اصول مربوط به سختی‌سنجی که در فعالیت کارگاهی ۳ گفته شد، رعایت شوند.
- ۲ بسته به جنس نمونه مورد آزمایش، دستگاه برینل را در نیروی مورد نظر تنظیم کرده و ساچمه با قطر مناسب را انتخاب نمایید و در جای مشخص بر روی دستگاه قرار دهید.
- ۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.
- ۴ سپس گیره متحرک دستگاه را به اندازه‌ای بچرخانید تا سندان بالا بیاید و نمونه روی آن با ساچمه تماس پیدا کند.
- ۵ در این هنگام الکتروموتور دستگاه را به کار بیندازید تا وزنه آزاد شده و نیروی لازم، توسط وزنه به تدریج بر روی نمونه اعمال شود.
- ۶ جهت حرکت الکتروموتور را عوض کنید تا نیروی وزنه قطع شود.
- ۷ گیره متحرک را به‌طور وارونه بچرخانید تا سندان پایین بیاید.
- ۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را اندازه‌گیری کنید.
- ۹ بر روی دستگاه جداولی به‌صورت ضمیمه (پلاک) وجود دارد که به کمک آن و با توجه به اندازه قطر اثر نیرو، میزان سختی را از روی جدول به‌دست بیاورید.

نتایج آزمایش را برای هر نمونه در جدول زیر ثبت نموده 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 راس 136° ، جهت تعیین میزان سختی مواد استفاده می‌شود. در روش ویکرز اثری که فرورونده ایجاد می‌کند به شکل لوزی متساوی الاضلاع بوده و توسط یک میکروسکوپ میکرومتردار قطرهای لوزی اندازه‌گیری می‌شود. و همانند روش برینل بعد از اندازه‌گیری مساحت فرورفتگی با مراجعه به جداولی که برحسب نیروی مورد استفاده تنظیم شده است، می‌توان عدد سختی ویکرز را به دست آورد. در شکل ۱۵ تصاویری از فرورونده مربوط به روش ویکرز، شکل اثر فرورونده، دستگاه سختی سنج و نیز نحوه اندازه‌گیری قطر اثر توسط صفحه مدرج، نشان داده شده است.



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

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

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

اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

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

مراحل کار:

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

نکته



فعالیت
کارگاهی ۴



۲ دستگاه را باتوجه به جنس و ضخامت نمونه مورد آزمایش، تنظیم و آماده‌سازی کنید.

۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.

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

۵ در این هنگام دستگاه را روشن کنید تا نیرو لازم توسط وزنه به‌تدریج بر روی نمونه اعمال شود.

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

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

۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را توسط میکروسکوپ میکرومتردار که بر روی دستگاه وصل می‌باشد، اندازه‌گیری نمایید.

بر روی دستگاه جداولی به‌صورت ضمیمه (پلاک) وجود دارد که به کمک آن سختی را به‌دست بیاورید. و یا اینکه می‌توانید از فرمول زیر که مربوط به 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 به‌دست آید.

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

عملیات حرارتی سخت کاری

به نظر شما چرا قطعات را سخت کاری می‌کنند؟

پرسش

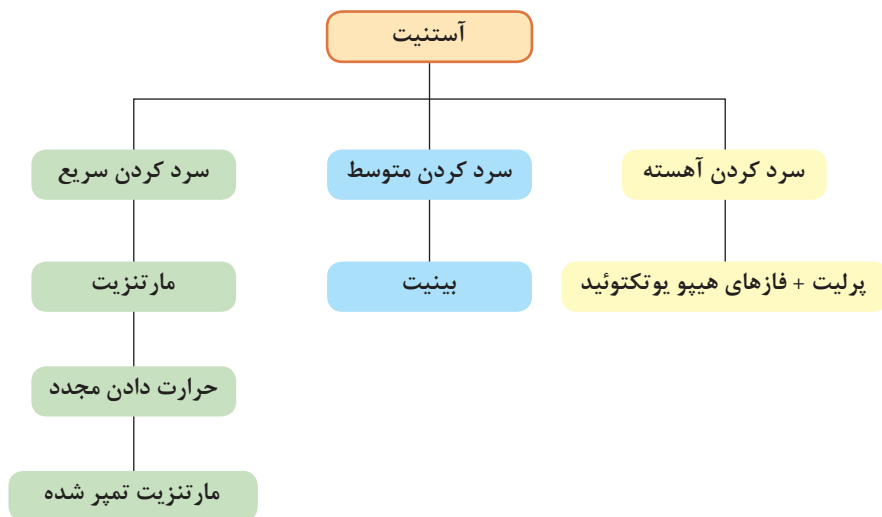


در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به موادی با خواص مکانیکی بالا است. جهت رسیدن به خواص مورد نیاز طراح باید قطعه را تحت یک عملیات حرارتی قرار دهد تا به خواص مکانیکی مورد نظر برسد. در این گونه موارد عملیات سخت کردن و رسیدن به ساختارهای غیرتعادلی مورد نیاز است. در شکل ۱۶ بعضی از قطعات که تحت سخت کاری حجمی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

شکل ۱۶- نمونه‌ای از قطعات سخت کاری شده

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

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

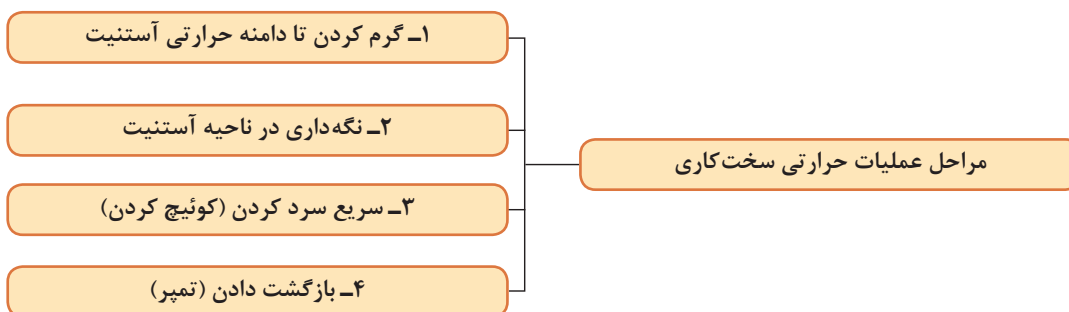


شکل ۱۷- تأثیر سرعت سرد کردن بر ریز ساختارهای به دست آمده از آستنیت

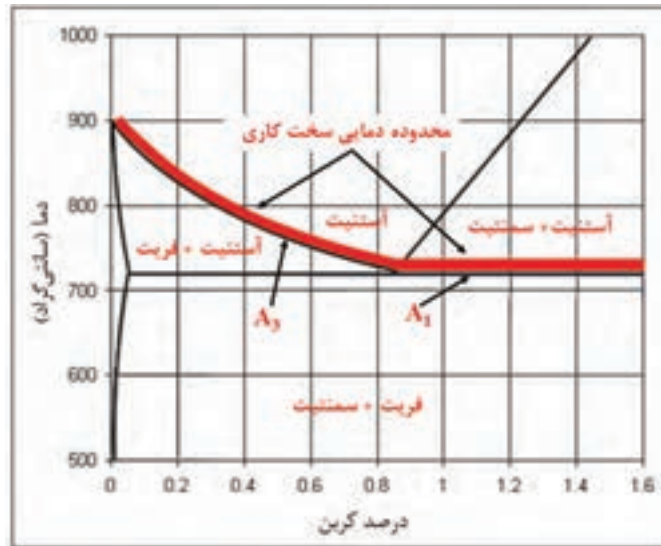
از جمله مهم ترین اهداف تشکیل مارتنزیت در فولادها عبارت است از سختی زیاد، استحکام بالا و مقاومت در مقابل سایش. عملیات حرارتی جهت تشکیل مارتنزیت معمولاً بر روی فولادهایی انجام می‌گیرد که حداقل 0.3% درصد کربن داشته باشند.

مراحل عملیات سخت کاری

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



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



شکل ۱۸- محدوده دمایی سخت کاری فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید.

دمای آستنیته 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



دمای مورد نظر برسد. در این حالت نمونه و کوره با یکدیگر به دما می‌رسند و پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر زمان آستنیته کردن شروع می‌شود. در روش دوم کوره در دمای مورد نظر می‌باشد و پس از آن نمونه در کوره قرار داده می‌شود. در این حالت نیاز به هم‌رنگ شدن داریم که در حین عملیات مرتباً از چشمی کوره نمونه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و هنگامی که نمونه در کوره محو شد عملاً دمای نمونه و کوره یکسان می‌باشد. پس از این زمان، زمان قرارگیری در ناحیه آستنیت شروع می‌شود و همچنین در سقف این کوره‌ها از فن‌های هواگردش جهت همگنی

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

ترک گرم کردن قطعه تا رسیدن به دمای مورد نظر باید با سرعت مناسبی انجام شود. سرعت گرم کردن قطعات فولادی به پارامترهایی مانند ترکیب شیمیایی، اندازه و سطح مقطع قطعات بستگی دارد. به طوری که فولادهای آلیاژی باید سرعت کمتری نسبت به فولادهای کم آلیاژ داشته باشند.

درجه حرارت در داخل کوره استفاده شده است که در شکل ۱۹ نشان داده شده است. در کوره‌های حاوی حمام نمک برای تنظیم کردن دمای کوره به دمای آستینیته 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



شکل ۱۹- 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 ۲۰- انواع چیدمان قطعات در سبدها و روی صفحه فولادی

۲۱- قرارگیری سبد قطعات در مقابل درب کوره شکل ۲۱



شکل ۲۱- قرارگیری سبد حاوی قطعات جلوی درب کوره

۲۲- قرارگیری سبد داخل کوره شکل ۲۲



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

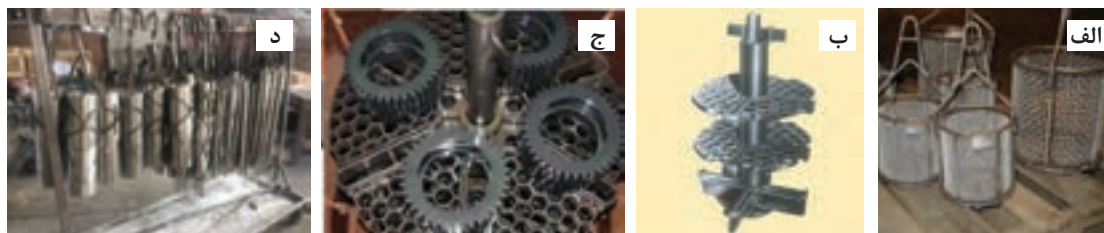
نحوه قراردادن قطعات در کوره‌های حمام نمک

۱ سیم‌بندی یا چیدن قطعات در نگهدارنده (fixture): در حمام‌های نمک به دلیل اینکه قطعات باید 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 نمود که هنگام سرد کردن باعث تاب برداشتن قطعات نشوند.

در سیم‌بندی قطعات، وزن و تعداد قطعات موجود در هر سیم‌بندی باید به اندازه‌ای باشد که اولاً هنگام آویزان کردن قطعات در حمام نمک، قطعات به صورت معلق در حمام نمک مذاب قرار بگیرند و به انتهای بوت‌ها برخورد نکنند ثانیاً 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 می‌باشد. چنانچه قطعات مشابه هم و یا وزن آنها زیاد باشد از نگهدارنده‌ها استفاده می‌گردد. نگهدارنده‌ها با توجه به شکل ظاهری قطعات و نحوه قرارگیری آن در محیط خنک‌کننده، ساخته می‌شود. مهم‌ترین محدودیت نگهدارنده‌ها هزینه ساخت بالای آنها و همچنین تاب برداشتن آنها بعد از چند بار استفاده است. از سبدهای فلزی برای قطعات کوچک و ریز استفاده می‌شود به طوری که قطعات داخل سبد فلزی قرار داده شده و سپس وارد حمام نمک می‌گردند. شکل ۲۳ انواع روش‌های وارد کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



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



شکل ۲۴- کوره پیش‌گرم قطعات

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



شکل ۲۵- وارد کردن قطعات سیم‌بندی شده در حمام نمک

۳ وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک سبدها، نگهدارنده‌ها و قطعات سیم‌بندی شده پس از پیش‌گرم شدن برای آستنیت‌گرم کردن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند و مطابق شکل ۲۵ 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 سبب حاوی قطعات هم رنگ محیط کوره شد یعنی قطعات به دمای مورد نظر رسیده‌اند. و پس از آن می‌توان زمان قرارگیری در منطقه آستنیتی را محاسبه کرد. شکل ۲۶ هم‌دما شدن قطعات در کوره حمام نمک و کوره الکتریکی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶- 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 ۲ 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 کم‌آلیاژ: ۵ تا ۱۵ دقیقه

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

۳ فولادهای ابزار کم‌آلیاژ: 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 رسیدن به زمان مورد نظر در کوره‌های با اتمسفر معمولی درب 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 ۲۷ انواع روش های خارج کردن قطعات از کوره را نشان می دهند. در هنگام خارج کردن کوره به دلیل اینکه قطعات در دمای بالایی در کوره قرار گرفته اند و مستعد تاب برداشتن می باشند. باید با احتیاط از کوره خارج شوند.



شکل ۲۷- 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، 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 امر 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 ۲۸ انواع روش خارج کردن قطعات از کوره حمام نمک و کوره‌های (الکتریکی و گازی) و نحوه سریع سرد کردن آنها را نشان می‌دهد.



شکل ۲۸- 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 نمایید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری، از ۱ تا ۵ شماره گذاری نمایید
- ۲ سختی نمونه را با استفاده از دستگاه سختی سنج اندازه‌گیری کرده و در جدول یادداشت نمایید
- ۳ نمونه ۱ را به عنوان شاهد نگه داشته و سایر نمونه‌ها را در کوره به دمای آستنیت برسانید.
- ۴ پس از حصول اطمینان از دما و زمان آستنیت 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 نموده و در یک جدول ثبت نمایید.
- ۶ ساختار میکروسکوپی هریک از نمونه‌های ۱ تا ۵ را با استفاده از میکروسکوپ بررسی نموده 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 می باشد؟ دلیل آن را بررسی نمایید؟
- ۲ عامل اصلی سخت شدن نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد چیست؟
- ۳ ریز ساختار نمونه‌های سریع سرد شده در محیط‌های مختلف را با ریزساختار نمونه شاهد مقایسه نمایید.



- 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 نمایید.
- از سلامت سیستم دیجیتالی کنترل دما (ترموکوپل) کوره اطمینان حاصل نمایید.
- در تمامی مراحل کار با کوره از ماسک صورت، عینک ایمنی و دستکش نسوز استفاده نمایید.
- حتماً از ماسک صورت در هنگام خنک کننده استفاده نمایید.



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 ۲۹ انتخاب نموده سپس یک عدد را به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آنها را توسط سختی سنج راکول اندازه گیری نموده و یادداشت نمایید.



شکل ۲۹- تصویر نمونه مورد آزمایش



۲ سه نمونه دیگر را مطابق شکل زیر با سیم مفتولی به ضخامت ۲ میلی‌متر سیم‌بندی نموده 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 نمایید.
- 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 نمایید.

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

۴ کوره حمام نمک را روشن نمایید و دمای آن را بر روی دمای 85°C تنظیم نمایید.

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 نمایید
- در هنگام کار سیستم تهویه برای خارج کردن بخارات نمکی از کارگاه روشن باشد.
- از تماس مستقیم قطعات بدون پیش گرم کردن به حمام نمک جدا خودداری شود زیرا خطر پاشش نمک مذاب وجود دارد.



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

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای 300°C درجه سانتی‌گراد پیش گرم نمایید.

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

۶ پس از ذوب شدن کامل نمک و رسیدن دمای آن به 85°C درجه سانتی‌گراد یک میله به صورت افقی روی سطح کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیم‌بندی پیش گرم شده را مطابق شکل ۳۰ به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کنید.

شکل ۳۰- وارد کردن نمونه‌ها در حمام نمک

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

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

۹ قطعات جدا شده که حاوی نمک می‌باشند را شست‌وشو دهید. یک طرف 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 پر کربن (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 نمایند 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 نمایید. دمای کوره را برای نمونه SPK روی 910°C و برای نمونه‌های St37 و CK45 روی 840°C تنظیم نمایید.

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

۳ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر، درب کوره را باز نموده و از 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 درب کوره پرهیز نمایید.

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

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

نکته فنی:

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

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

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

SPK	CK45	St37	نمونه‌ها
			سختی

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

بحث گروهی



برگشت دادن (Tempering)

عملیات برگشت چیست و به چه منظوری انجام می‌شود؟

پرسش



می‌یابد. اصولاً به ازای هر یک اینچ ضخامت یک ساعت زمان برگشت دادن را 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 می‌باشد.

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 سانتی‌گراد می‌باشد. ولی در فولادهای آلیاژی این دما به حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد 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 سانتی‌گراد؛

۲ اتمسفر کوره: خنثی یا معمولی؛

۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛

۴ سیستم گردش هوا: فن؛

۵ سیستم کنترل دما: کلاً خودکار.

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 نمود. چرا 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 حدود ۶۰۰-۲۰۰ درجه سانتی‌گراد 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 ولی در عوض 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 می‌باشد. از طرفی بعضی عناصر آلیاژی مقاومت فولاد به دمای برگشت دادن را افزایش داده و جهت برگشت دادن 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 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 درب کوره؛
- ۳ باز کردن درب کوره و ورود سبد حامل قطعات به داخل محفظه و بسته شدن درب کوره؛
- ۴ ارائه برنامه مورد نظر؛
- ۵ سرد کردن قطعات در کوره یا هوا؛
- ۶ خروج قطعات از کوره.

گفتنی است عملیات تمپر در روغن و حمام های نمک نیز انجام می گیرد به صورتی که قطعات داخل سبدهای فلزی قرار داده می شود و پس از تنظیم دمای روغن یا کوره حمام نمک قطعات در سبد به صورت معلق در داخل آنها قرار داده می شود. شکل ۳۱ نمونه ای از تمپر کردن قطعات در حمام نمک را نشان می دهد.



شکل ۳۱- تمپر کردن قطعات

تمپر کردن قطعات سخت کاری شده

وسایل مورد نیاز:

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

مراحل انجام آزمایش

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

- ۱ کوره را روشن کرده و بر روی دمای 50°C تنظیم نمایید.
- ۲ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر درب را باز کرده و چهار عدد از نمونه های سخت کاری شده در محیط های متفاوت را در داخل کوره روی صفحه مشبک قرار دهید.
- ۳ پس از قرار دادن نمونه ها داخل کوره درب کوره را بسته و زمان تمپر کردن را اعمال نمایید و تمامی نمونه ها



را یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

۴ نمونه‌ها را داخل کوره یا در هوا سرد نمایید.

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

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

● عملیات برگشت چه تأثیری بر روی سختی نمونه‌های سخت کاری شده در محیط خنک کننده‌ها 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 نمایید. 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 سانتی‌گراد حرارت داده و در آب سرد نمایید. 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 سانتی‌گراد به مدت یک ساعت در کوره نگهداری و سپس در هوا سرد کنید. عملیات تمپر را برای نمونه دوم در دمای ۵۰۰^oC به مدت یک ساعت و نمونه سوم را در ۷۰۰^oC به مدت یک ساعت مطابق روش فوق انجام دهید. سختی نمونه‌ها را پس در جدول زیر یادداشت نمایید.

نمونه	نمونه شاهد	نمونه تمپر شده در دمای ۳۰۰ ^o C	نمونه تمپر شده در دمای ۵۰۰ ^o C	نمونه تمپر شده در دمای ۷۰۰ ^o C



- 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، متالوگرافی

سخت کاری سطحی

پرسش



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 پیچشی دچار شکست شوند. برای این قطعات باید عملیات سخت کاری طوری انجام شود که سطح قطعه سخت و مغز آن نرم باشد. شکل ۳۲ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت کاری سطحی قرار می گیرند را نشان می دهد.



شکل ۳۲- 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 شکل ۳۳ 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، نیترووره کردن و... 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. نظیر سخت کردن شعله ای و سخت کردن القایی و...

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 مارتزیت تشکیل شده و بنابراین از سختی زیاد برخوردار خواهد بود. در حالی که مغز آن که همان درصد کم کربن اولیه (۰/۱۵ درصد) را دارا است از چقرمگی خوبی برخوردار خواهد بود. معمولاً عمق سطح 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°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

مورد نظر تعیین می‌گردد و ماکزیمم عمق نفوذ کربن در سطح در صنعت ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد. 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 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.



شکل ۳۳

ترکیب شیمیایی فولاد سمانته ۷۱۳۱ و ۱۱۴۱ را از جدول راهنمای هنرجو استخراج نموده 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 کربنات باریم، کربنات سدیم (سودا) و کربنات پتاسیم (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	کربنات باریم	کربنات کلسیم	سود خشک	کک	کربنات سدیم
۱	۸۷	-	۳	۱۰	-	-
۲	۹۰-۸۵	-	-	۱۵-۱۰	-	-
۳	۹۰	۱۰	-	-	-	-
۴	۶۰	۴۰	-	-	-	-
۵	۴۵	۱۲	-	-	۴۳	-
۶	۵۵	۱۲-۱۰	-	-	۳۰	۵-۳
۷	۸۷	۱۰	۲	-	-	۱

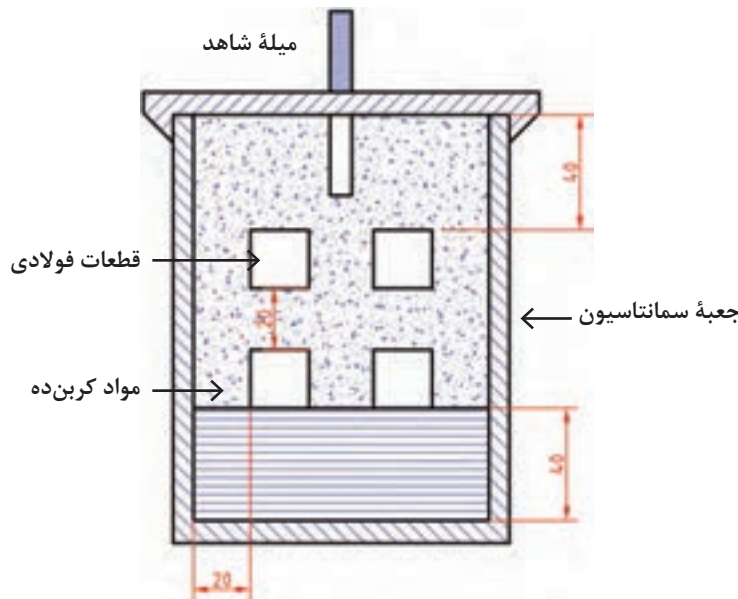
نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

ابتدا مقداری از مخلوط مواد کربن ده وانرژی زا را مطابق شکل ۳۷ داخل جعبه ای به نام جعبه سمانتاسیون از جنس فولاد کم کربن و یا فولاد نسوز حاوی ۲۵٪ کرم و ۲۰٪ نیکل ریخته و تحت کوبش قرار می دهند و آن را متراکم می کنند تا ارتفاع آن به ۴۰ میلی متر برسد. سپس قطعات فولادی داخل جعبه سمانته با فواصلی در حدود ۲۰ میلی متر از یکدیگر و ۲۰ میلی متر از دیواره قرار می دهند و دوباره عمل کوبش صورت می گیرد تا مواد کربن ده سطح قطعات را پوشانده و به اندازه ۲۰ میلی متر از قطعات پایینی فاصله داشته باشد و کار به همین ترتیب انجام می شود و در آخرین مرحله کوبش باید قطعات به اندازه ۴۰ میلی متر با لبه جعبه سمانته فاصله داشته باشد.

سپس درب جعبه سمانته گذاشته می شود به کمک مواد نسوز (نظیر خاک رس) درب جعبه را مسدود می کنند به نحوی که تبادل هوا یا گاز بین داخل جعبه و محیط اطراف انجام نگیرد تا عمل کربن دهی 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 کربن دهنده عمل نماید جعبه های سمانتاسیون به شکل مکعب مستطیل و استوانه ای ساخته می شوند. عرض جعبه نباید از ۲۵ سانتی متر تجاوز نماید تا انتقال سریع حرارت به داخل جعبه و همچنین برداشتن سریع جعبه از داخل کوره را امکان پذیر سازد.

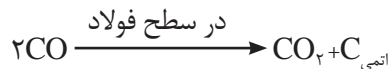
کار میله شاهد در شکل ۳۴ در جعبه سمانتاسیون تعیین عمق نفوذ کربن می باشد. قطر میله شاهد بین ۶ تا ۱۰ میلی متر است و جنس آن می تواند از همان فولادی باشد که قرار است کربن دهی گردد. در غیر این صورت می توان از فولادهای ساختمانی کربنی استفاده نمود. بعد از پایان زمان مقرر کربوراسیون، میله شاهد خارجی را از جعبه سمانتاسیون خارج کرده و سپس آن را سخت می کنند و عمق نفوذ کربن را به دست می آورند.



شکل ۲۴ - 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 منواکسید کربن (CO) است که کربن اتمی را به سطح قطعه حمل می کند.

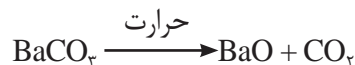


در دمایی بالا کربن اتمی جذب سطحی فولاد شده و سپس به داخل آن نفوذ می کند. گاز CO₂ حاصل از واکنش اتمی مجدداً براساس واکنش با زغال ترکیب شده و تولید CO می کند و عملیات کربن دهی طبق واکنش زیر ادامه می یابد.



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 کربنات باریم است که در ضمن گرم شدن براساس واکنش زیر تجزیه می شود.

گاز CO₂ حاصل



از تجزیه کربنات باریم 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 آزبست پوشانید، 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 می باشد. و همچنین قطعاتی که در مرکز جعبه سمانته قرار گرفته اند از عمق نفوذ کربن کمتری نسبت به قطعات کناری برخوردار هستند.



سخت کردن سطحی فولاد به روش کربن دهی جامد

وسایل مورد نیاز:

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

مراحل انجام آزمایش:

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

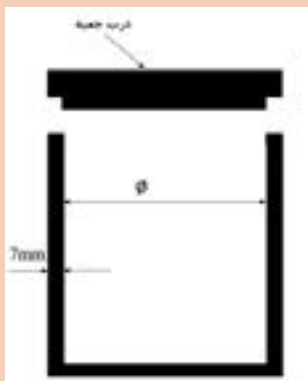
ترکیب	زغال چوب	کربنات کلسیم	سود خشک
مقدار	۸۷	۳	۱۰

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

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

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

- 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.



شکل ۳۵- تصویر جعبه سمانتاسیون

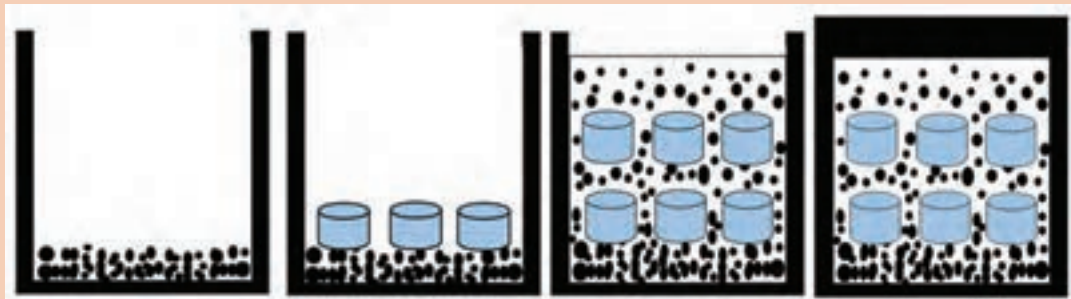
- ۵ جعبه سمانتاسیون به مطابق شکل ۳۵ به شکل استوانه‌ای (لوله) از جنس فولاد کم کربن (St۳۷) را با توجه به ابعاد کوره موجود در آزمایشگاه تهیه نمایید.

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

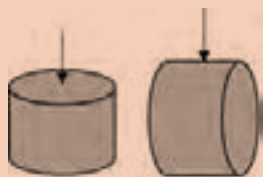
- ۷ نمونه‌های مورد نظر را در سطح متراکم شده داخل جعبه به فاصله حدود ۲cm از یکدیگر و ۲Cm از دیواره جعبه قرار داده و دوباره عمل کوبش را انجام دهید و در آخرین مرحله کوبش قطعات با لبه جعبه ۲cm فاصله در نظر بگیرید. و سپس درب جعبه را گذاشته

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

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



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



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

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

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

۱۲ سختی نمونه‌ها را در سطح و عمق اندازه‌گیری نمایید.

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

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

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

بحث گروهی



قطعات 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 سبدهای 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 سیانید سدیم (۲۰ تا ۵۰ درصد)، کربنات سدیم (۴۰ درصد) و مقادیر متناهی از کلرید سدیم و یا کلرید باریوم انجام می‌گیرد. مخلوط مورد نظر را در بوت‌هایی از جنس فولاد ریخته و ذوب می‌کنند و در دمایی بین 870°C تا 950°C عملیات کربن‌دهی صورت می‌گیرد. در این حمام عامل کربن‌زا نمک سیانید سدیم می‌باشد. و از نمک‌های خنثی (کلرید سدیم و کربنات سدیم) به‌منظور به‌دست آوردن ترکیب شیمیایی مناسب، تنظیم غلظت سیانور، کنترل دمای ذوب و سیالیت حمام نمک استفاده می‌شود.

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

نکته



شکل ۳۶- 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 خنک‌کننده ۷ سختی سنجی ۸ قلاب نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)

روش انجام آزمایش:

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

فعالیت
کارگاهی ۱۱





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

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

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

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

● اندازه سیمبندی طوری باشد که قطعات 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 سیمبندی نمونه حتماً از دستکش استفاده نمایید.

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

۴ کوره حمام نمک را روشن نمایید و دمای آن را بر روی دمای 850°C تنظیم نمایید.

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

۵ نمونه‌های سیمبندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای 300°C درجه سانتی گراد پیش گرم نمایید.

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

۶ پس از ذوب شدن کامل حمام نمک و رسیدن دمای آن به 850°C درجه سانتی گراد یک میله به صورت افقی روی کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیمبندی پیش گرم شده را به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کرده و به صورت معلق از میله فولادی آویزان کنید.

● نکات فنی: حتماً دقت نمایید تا نمونه‌ها 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 بوتله خوداری نمایید.
- ۷ پس از مدت زمان ۴ ساعت با انبر دو نمونه را از داخل حمام نمک خارج کرده و در داخل روغن و آب سرد نمایید.
- **نکته ایمنی:** هنگام وارد کردن نمونه‌ها به داخل محیط خنک کننده از ماسک صورت استفاده نمایید.
- ۸ پس از سرد شدن قطعات در حمام نمک قطعات را از کوره خارج کرده و قطعات را از سیم‌بندی‌ها جدا کنید.
- ۹ قطعات جدا شده حاوی نمک را شست‌وشو دهید. و سختی آنها را اندازه‌گیری نمایید و در جدول زیر یادداشت کنید.

نمونه	شاهد	سرد شده در آب	سرد شده در روغن
سختی			

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

بحث‌گروهی



شکل ۳۷- کوره کربورایزینگ گازی

کربن دهی گازی: کربوره کردن گازی که نسبت به روش‌های جامد و مایع از قدمت کمتری برخوردار می‌باشد به عنوان اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است. در کربوره کردن گازی قطعات کار را در 900°C 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 منو اکسید کربن) است که با متان مخلوط می‌شود. مخلوط فشرده از هوا و گاز طبیعی با نسبت سه حجم هوا و یک حجم گاز طبیعی را

در محدوده ۱۲۰۰-۱۰۴ درجه سانتی‌گراد گرم کرده سپس از روی بستری از نیکل به عنوان کاتالیزور عبور می‌دهند. اتمسفر فوق معمولاً از هیدروکربن‌ها نظیر گاز طبیعی متان (CH_4) و یا پروپان (C_3H_8) تشکیل شده که به‌طور جزئی در کوره سوخته و یا اینکه با یک گاز رقیق‌کننده موسوم به گاز حامل مخلوط شده باشد.

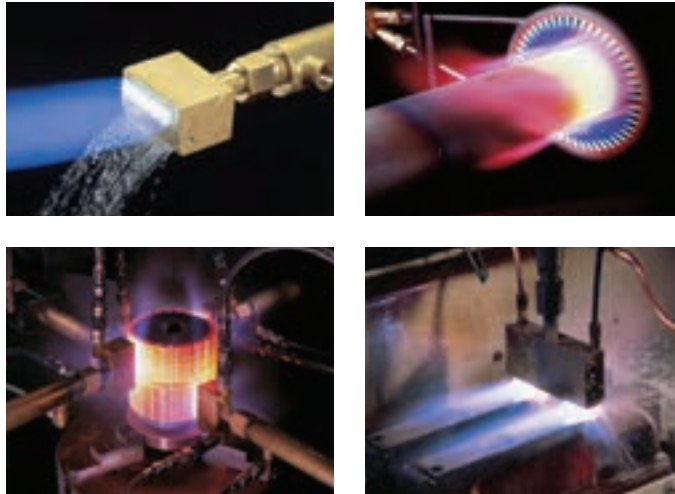
سوختن ناقص و یا استفاده از گاز حامل به‌منظور به‌دست آوردن پتانسیل کردن کربن مورد نظر در سطح فولاد می‌باشد. گازهای حامل معمولاً شامل مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن و منواکسیدکربن می‌باشند. بنابراین همانند روش‌های جامد و مایع در این روش نیز عامل فعال منواکسیدکربن می‌باشد. شکل ۳۷ کوره کربورایزینگ گازی را نشان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

نیتزیده کردن: نیتزیده کردن عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد. بنابراین سختی سطح در این روش بستگی به نیتزید 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 نیتزیده‌های پایدار و سخت می‌دهند. همچنین نیتروژن با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شده و تشکیل نیتزید آلیاژی می‌دهد. مانند نیتزیده‌های کرم، نیتزیده‌های تیتانیوم (TiN) و... در حقیقت سختی زیاد لایه سطحی فولادهای نیتزید شده، ناشی از وجود همین ذرات بسیار ریز و پراکنده نیتزیده‌های آلیاژی می‌باشد. نیتزیده کردن در دمای 550°C تا 650°C انجام می‌گیرد و پس از نیتزیده کردن نیازی به سریع سرد کردن نقطه نیست و معمولاً قطعات را در هوا سرد می‌کنند.

سخت کردن شعله‌ای

آن فواره آب منطقه آستنیت شده را سریع سرد می‌کنند. قطعات با شکل‌های متقارن مانند میله‌های استوانه‌ای شکل را می‌توان در داخل یک مشعل حلقه‌ای شکل با حرکت دورانی و انتقال ابتدا آستنیت و سپس توسط فواره آبی که به دنبال مشعل و در فاصله نزدیکی از آن در حال حرکت است سریع سرد کردن 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 می‌باشد. معمولاً ضخامت پوسته‌های سخت شده بین ۳ تا ۱۲ میلی‌متر متغیر است. شکل ۳۸

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستنیت شدن بلافاصله سریع سرد می‌شود. شعله مورد نیاز در این روش را می‌توان از طریق مشعل اکسیژن و یک گاز قابل احتراق نظیر استیلن، پروپان و یا گاز طبیعی تهیه نمود. 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 آستنیت کرده و به همراه



شکل ۳۸- سخت کاری سطحی

سخت کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

یک میله فولادی یا یکی از ابزارهای دستی موجود در کارگاه مانند پیچ‌گوشتی را انتخاب نموده سختی آن را اندازه بگیرید و سپس مشعل جوشکاری (اکسیژن با استیلن) را به شعله خنثی تنظیم نمایید تا از اکسیداسیون سطحی قطعه جلوگیری شود و سپس قسمت انتهایی آن را تا دمای مناسبی (850°C) حرارت داده و در آب سریع سرد نمایید و مجدداً 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 منتهی در این روش حرارت دادن سطح به کمک سیم‌پیچ هادی که از آن جریان متناوب با فرکانس زیاد (در محدوده ۲ تا ۵۰ کیلوهرتز) عبور می‌کند انجام می‌گیرد. ضخامت سخت شده بستگی به فرکانس جریان دارد. هر چه فرکانس جریان بیشتر باشد عمق نفوذ جریان و بنابراین ضخامت 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، دی‌کربوره شدن و یارشد دانه‌ها ناچیز می‌باشد. مدت زمان حرارت دادن توسط جریان‌های القایی با فرکانس بالا بسیار کوتاه و اغلب در حدود چند ثانیه می‌باشد. شکل ۳۹ نحوه گرم کردن چرخ دنده‌ها توسط کوئل به وسیله القار نشان می‌دهد.



شکل ۳۹- سخت کردن چرخ دنده به روش اینداکشن

ارزشیابی پایانی سخت کاری حجمی

<p>شاخص عملکرد: 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 کوننج قطعات ۵- تمپر کردن قطعات</p>			
<p>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 ۱۵ دقیقه</p>			
<p>مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی</p>			
<p>ابزار و تجهیزات: کوره عملیات حرارتی - ترمومتر - زمان سنج - انواع انبر - سبد فلزی نسوز - گاری - جرثقیل - دستگاه اندازه گیری سختی یونیورسال نمونه و نقشه کار: ۱- راه اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی سخت کاری کامل فلز و آلیاژ موردنظر 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>معیار شایستگی:</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>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</p>	۲	
	میانگین نمرات		*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			

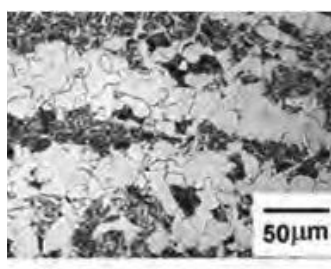
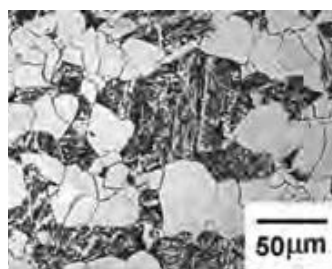
ارزشیابی پایانی سخت کاری سطحی

<p>شاخص عملکرد: ۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات داخل کوره ۳- زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴- سختی نهایی سطح</p>			
<p>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 ۱۴۰ دقیقه</p>			
<p>مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی</p>			
<p>ابزار و تجهیزات: 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 موردنظر 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>معیار شایستگی:</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>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</p>		
	<p>میانگین نمرات</p>		
			*
<p>* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی، ۲ می باشد.</p>			



فصل 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 منجر به 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 می کنید؟

اهداف عملیات آنیل	شکل	نوع محصولات
افزایش قابلیت شکل پذیری برای مراحل بعدی کار سرد		ورق های فولادی
کاهش تنش های داخلی و جلوگیری از انهدام و ترک خوردن منطقه جوش		قطعات جوشکاری شده
افزایش قابلیت ماشین کاری و تراشکاری		پروانه پمپ آب (چدنی)
گرافیت زایی و تبدیل چدن سفید به چدن مالیل		زانویی (چدن مالیل)
قابلیت انعطاف و شکل پذیری		مفتول فولادی

هنگامی که اپراتور دستگاه تراش یا دریل از نوع براده برداری راضی نیست و اعلام می کند که براده برداری بسیار مشکل و سایش ابزار بسیار بالا است یکی از راه حل ها، انجام عملیات حرارتی آنیل روی قطعات می باشد. با انجام این فرآیند قطعات نرم شده و براده برداری بسیار آسان می شود و یا هنگامی که می خواهیم قطعات فولادی را تحت شکل دهی نورد و خم قرار دهیم جهت بهبود شرایط شکل دهی نیازمند فرآیند آنیل می باشیم. در واقع به هر گونه عملیات حرارتی که منجر به تشکیل ساختارهای تعادلی با سختی کم و انعطاف پذیری زیاد شود آنیل گفته می شود.

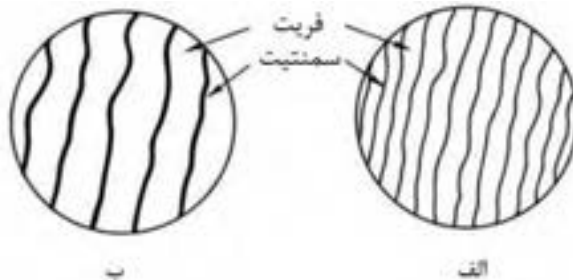
آنیل فولادها

عبارتست از حرارت دادن فولاد در یک درجه حرارت مناسب و سپس سرد کردن کنترل شده که معمولاً آهسته و در کوره انجام می شود. هدف از انجام این پروسه در فولادها کاهش سختی، بهبود قابلیت ماشین کاری، حذف تنش های داخلی، سهولت کار سرد، بهبود چقرمگی، افزایش پایداری ابعادی، بازگشت فولاد به حالت قبل از کار سرد و تغییر خواص الکتریکی و مغناطیسی فولاد می باشد. عملیات آنیل فولادها به یک سری فرآیندهای مشخص و دقیق براساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی به صورت زیر تقسیم بندی می شود.

که هر کدام از فرآیندها 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.



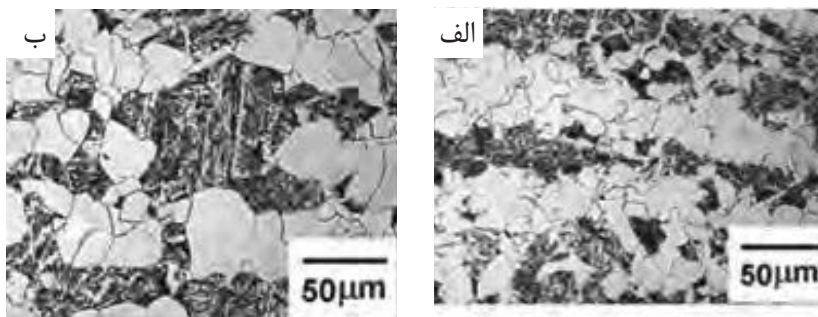
آنیل کامل عبارتست از حرارت دادن فولاد در دامنه حرارتی آستنیت، نگهداری به مدت زمان لازم (یک ساعت به ازای هر اینچ ضخامت) در این دما و سپس سرد کردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می شود تا آستنیت به طور کامل تجزیه شود. دامنه حرارتی آستنیت‌دهی برای آنیل کامل، تابع درصد کربن می باشد بدین صورت که برای فولادهای هیپو یوتکتوئید، حدود 50°C بالای خط A_3 و برای فولادهای هایپر یوتکتوئید حدود 50°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 محدودی از دیاگرام آهن - کربن آورده شده است که در این شکل درصد کربن حدود ۲ درصد و دما تا دمایی 1000 درجه سانتی گراد می باشد که منطقه خاکستری رنگ مربوط به منطقه آنیل کامل می باشد.



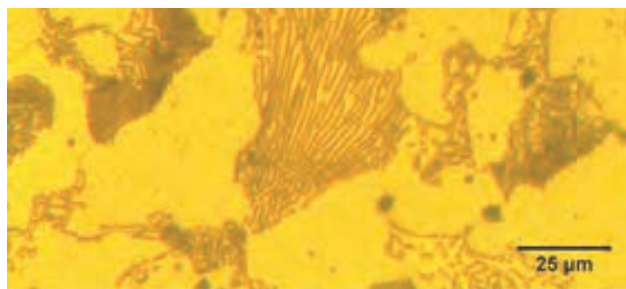
شکل ۱- محدوده دمایی آنیل کامل در فولادها (منطقه خاکستری رنگ)

ولی با توجه به این که عناصر آلیاژی روی دمای آنیل کامل تأثیر می گذارند بهتر است برای انتخاب دمای آنیل از جداول سازنده فولاد با ترکیب شیمیایی معین استفاده گردد. هدف از انجام این فرآیند بهبود قابلیت ماشین کاری و مقاومت به ضربه فولاد با ایجاد یک زمینه یکنواخت فریتی به همراه پرلیت ضخم می باشد. در واقع در فرآیند آنیل کامل پرلیت ریز به پرلیت خشن یا درشت تغییر پیدا می کند و میزان فریت افزایش می یابد. در شکل (۲) تصاویری از ریزساختار فولاد کربن متوسط (1.04%) 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 فرآیند 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 می‌باشند.



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 سختی سنجی 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 سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت نمایید و ریز ساختار آن را در جدول زیر ترسیم نمایید.
- 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 نمایید.
 - حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده نمایید.

- ۲ کوره را روشن کرده و به دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید.
- 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 نمایید. 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 نمایید و ریز ساختار آن را در جدول ترسیم نموده 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 می‌نمایید.
- ۳ پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

بحث گروهی



آنیل هم‌دما (Isothermal): در این فرآیند، 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. و از طرفی پرلیت حاصل ریزتر می‌باشد. از جمله اهداف کاربرد آنیل هم‌دما در رابطه با فولادهای آلیاژی برای به‌دست آوردن ساختار پرلیتی می‌باشد.

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، 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.

فعالیت کارگاهی ۲



- یک 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 نمایید و ریز ساختار آن را در جدول ترسیم نمایید.
 - 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 نمایید.
 - حتماً از محافظ صورت، کلاه و عینک ایمنی، دستکش مخصوص و در مواقعی که با فلز داغ کار می‌کنید از لباس ضد آتش استفاده نمایید.
 - ۲ دو کوره را روشن کرده یکی را به دمای ۸۵° درجه سانتی‌گراد و دیگری را به دمای ۷۱° درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید.
 - ۳ پس از رسیدن کوره به دمای ۸۵° درجه سانتی‌گراد نمونه‌ها را در داخل کوره قرار داده و یک ساعت در این دما حرارت دهید.
 - ۴ سپس درب کوره را باز کرده و سریعاً نمونه‌ها را به کوره با دمای ۷۱° درجه منتقل نمایید و به مدت زمان دو ساعت در این دما نگهداری کنید و سپس نمونه‌ها در هوا سرد نمایید.
 - ۵ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت نمایید و ریز ساختار آن را در جدول ترسیم کنید به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

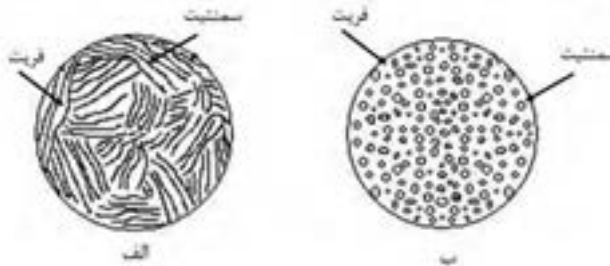
نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در هوا
سختی		
شکل ریز ساختار		

- 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.

بحث گروهی



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

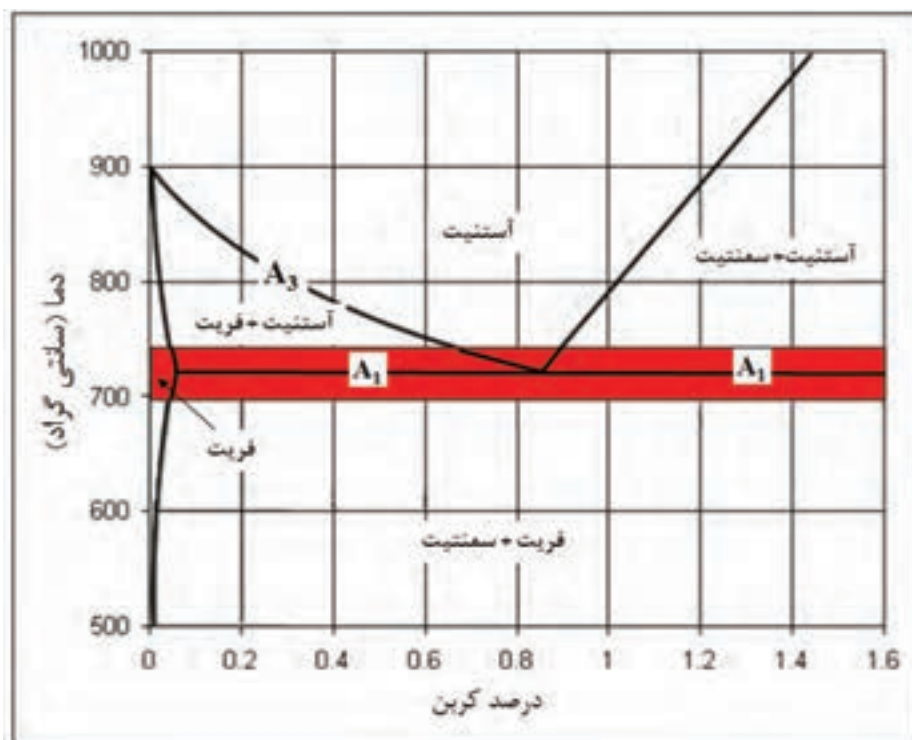


روش‌های متفاوتی برای فرآیند کروی کردن به کار برده شده است که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

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

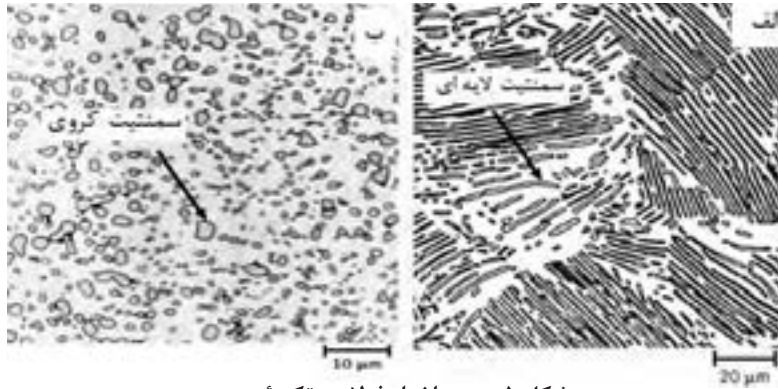
ب) حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فاز A_3-A_1 برای فولادهای هیپو یوتکتوئید و یا بین $A_{cm}-A_1$ برای فولادهای هایپریوتکتوئید به منظور آستنیت‌زدن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای A_1 ، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کروی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط.

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



شکل ۴- محدوده عملیات حرارتی آنیل کروی کردن

شکل (۵) تصاویر ریزساختار فولاد یوکتوئیدی را قبل و بعد از آنیل کرووی می دهد که سمنتیت لایه ای به سمنتیت کرووی تغییر کرده است.



شکل ۵- ریزساختار فولاد یوکتوئیدی
الف) قبل از آنیل کرووی، ب) بعد از آنیل کرووی سازی در دمای 700°C به مدت زمان ۲۱ ساعت

آنیل کرووی سازی

وسایل مورد نیاز:

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

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه های ۵ نفری، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده نمایید. سپس برای تسریع در عملیات کرووی سازی دو نمونه فولاد کربن متوسط را مطابق سیکل عملیات سخت کاری در دمای 850°C در آب سریع سرد نمایید. یکی از نمونه های سخت کاری شده را به عنوان شاهد نگه داشته و بقیه آزمایش را به صورت زیر انجام دهید:

۱ سختی نمونه شاهد و نمونه سریع سرد شده در آب را توسط سختی سنج راکول اندازه گرفته و در جدول زیر یادداشت نمایید و ریز ساختار آنها را در جدول ترسیم کنید.

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

● هنگام روشن کردن کوره از دستورالعمل های سازنده استفاده کنید.

● از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل نمایید.

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

۲ کوره را روشن کرده و به دمای 700°C درجه سانتی گراد تنظیم نمایید.

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

۴ نمونه ها را به مدت زمان ۱۱ ساعت در کوره نگهداری نمایید.

۵ پس از نگهداری در مدت زمان ذکر شده نمونه ها را با انبر از کوره خارج کرده و در هوا سرد نمایید.

۶ سختی نمونه های سرد شده را با استفاده از سختی سنج اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول ترسیم نموده و به همراه پاسخ تحلیلی برای پرسش ها در گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

فعالیت
کارگاهی ۳





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 می‌نمایید.
- 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 فرآیند 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 فرآیند قطعات را در درجه حرارتی بین ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد 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

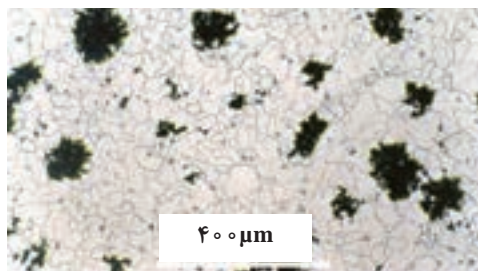
آنیل تنش‌زدایی: برخی از عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات، باعث ایجاد تنش‌های داخلی می‌شود که این تنش‌ها مخرب بوده و بر عملکرد قطعات تأثیر نامطلوب می‌گذارد. تنش‌های داخلی حاصل، ممکن است منجر به تاب برداشتن، ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنش‌هایی به مراتب کمتر از سطح تنش طراحی شده برای آنها شود.

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 فرآیندهایی نظیر تمیزکاری سطح، عملیات حرارتی و ماشین‌کاری دارند

چدن به وجود می‌آید. گرافیت در چدن مالیبیل با عناوین گرافیت برفکی، تمپر شده، کره 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.



شکل ۶- تصویری از ریزساختار چدن مالیبیل

(در کوره) تا دمای محیط سرد می‌شود هدف از انجام این عملیات تهیه چدن چکش خوار از چدن سفید می‌باشد. 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

آنیل کردن در درجه حرارت متوسط (آنیل کامل): در این روش قطعات چدنی را تا درجه حرارت ۸۲۰-۹۰۰ درجه سانتی‌گراد 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 سانتی‌گراد حرارت می‌دهند و سپس به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مقطع ۴۵ دقیقه در این دما نگهداری کرده 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

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 سانتی‌گراد 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 هر گروه یک نمونه از چدن خاکستری با زمینه پرلیتی با ضخامت ۲۵ میلی‌متر آماده نمایید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده‌زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره‌گذاری نمایید 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 نمایید و ریز ساختار آنها را در جدول ترسیم نمایید.

● 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 نمایید.

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

۲ کوره را روشن کرده و به دمای ۷۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید.

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 نمایید.

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 نمایید و ریز ساختار آن را در جدولی ترسیم نموده و به همراه پاسخ سئوالات 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 می‌نمایید.
- 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 ضمن 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 فرآیند می‌توان تمام تغییراتی که در نتیجه عملیات قبلی بر روی فولاد در ساختار دانه‌ای و در خواص معین ظاهر گشته را برطرف کرد. و همچنین این عملیات پایه یک عملیات حرارتی برای انجام عملیات حرارتی بعدی می‌باشد. به منظور اهداف زیر در فولادها فرآیند نرماله انجام می‌گیرد.

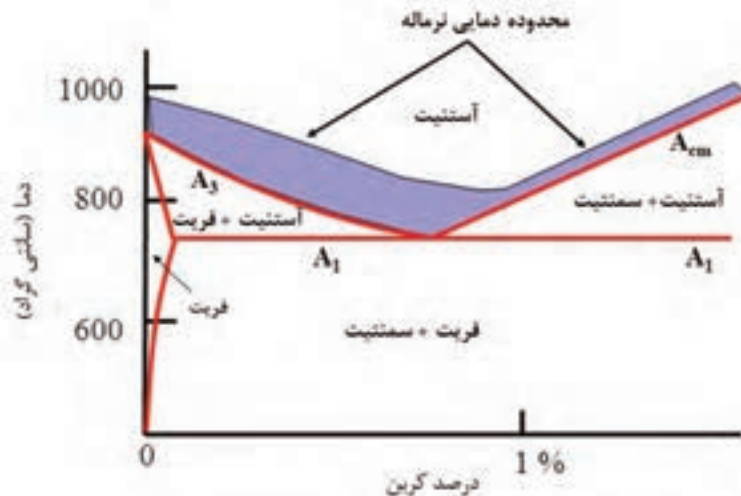
- ۱ تولید فولادی با استحکام و سختی بالاتر نسبت به فرآیند آنیل؛
- ۲ بهبود قابلیت ماشین کاری؛
- ۳ ریز کردن دانه‌ها؛
- ۴ بهبود میزان انعطاف پذیری؛
- ۵ یکنواخت کردن ریز ساختار؛
- ۶ عملیات حرارتی اولیه برای ایجاد ساختار دانه ریز برای عملیات سخت کاری.

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 دیاگرام یا جداول استاندارد؛
- ۲ محاسبه زمان نگهداری قطعه در کوره؛
- ۳ سرد کردن در هوا؛

مراحل آستنیت‌دهی کردن در فرآیند نرماله برای فولادهای هیپوئوتکتوئید در منطقه دمایی حدود 100°C بالای خط A_1 و برای فولادهای هیپر یوتکتوئید حدود 50°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 جداول استاندارد نیز برای محاسبه دمای آستنیت‌دهی استفاده می‌شود. جدول ۱ دمای آستنیت‌دهی فولادهای کربنی برای فرآیند 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

نوع فولاد کربنی	دما	فارنهایت
	سانتی‌گراد	
۱۰۱۵	۹۱۵	۱۰۱۵
۱۰۲۵	۹۰۰	۱۶۵۰
۱۰۴۰	۸۶۰	$t = 60 + D$
۱۰۶۰	۸۳۰	۱۵۲۵
۱۰۸۰	۸۳۰	۱۵۲۵



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 فرآیند نرماله یک ساعت به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت می‌باشد و همچنین می‌توان به صورت تقریبی از رابطه ی زیر زمان نگهداری در کوره را به دست آورد. که t زمان نگهداری بر حسب دقیقه می‌باشد و D بیشترین قطریا ضخامت قطعه می‌باشد. 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.

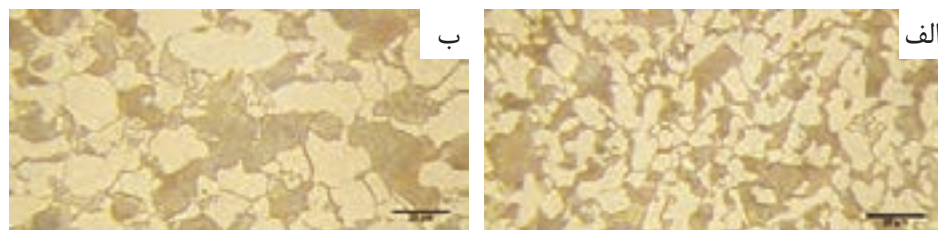
آستنیت و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار است ۴- با توجه به اینکه در نرماله‌کردن قطعات در هوا سرد می‌شوند ریز ساختارهای حاصل نسبت به آنیل ریزتر می‌باشند بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرآیند آنیل‌کردن، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف‌پذیری تا حدودی کاهش می‌یابد. در جدول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

چند تفاوت عمده بین نرماله‌کردن و آنیل‌کردن وجود دارد ۱- در نرماله‌کردن دمای آستنیت‌کردن برای فولادهای هیپوئوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است در حالی که برای فولادهای هیپرئوتکتوئید از گستره دمایی حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد بالای A_{cm} استفاده شده است ۲- در عملیات نرماله‌کردن قطعات پس از آستنیت‌شدن در هوا سرد می‌شوند ۳- از آنجایی که در نرماله‌کردن فولادهای هیپوئوتکتوئید گستره دمایی آستنیت‌کردن بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل است. ساختار

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

نوع فولاد	نوع عملیات	سختی (برینل)
۱۰۲۰	نورد شده	۱۴۳
	نرمالیزه در دمای ۸۷°C	۱۳۱
	آنیل در دمای ۸۷°C	۱۱۱
۱۰۳۰	نورد شده	۱۷۹
	نرمالیزه در دمای ۹۲۵°C	۱۴۹
	آنیل در دمای ۸۴۵°C	۱۲۶
۱۰۵۰	نورد شده	۲۲۹
	نرمالیزه در دمای ۹۰۰°C	۲۱۷
	آنیل در دمای ۷۹۰°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 ۸۵۰°C درجه سانتی‌گراد 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 می‌باشد.



شکل ۱۰- تصاویری از فولاد Ck۴۵ تحت عملیات (الف) نرماله و (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 نفره با راهنمایی هنرآموز، 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.

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

● 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 نمایید.

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

۲ کوره را روشن کرده به دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید.

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 نمایید و ریز ساختار آن را در جدولی ترسیم نموده و به همراه پاسخ سئوالات 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 می‌نمایید؟
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

ارزشیابی پایانی آنیل

<p>نقشه کار: انجام عملیات حرارتی آنیل شاخص عملکرد: ۱- تنظیم دمای کوره ۲- قرار دادن قطعات در کوره ۳- زمان نگهداری قطعات در داخل کوره ۴- خارج کردن قطعات از کوره در دمای مناسب</p>			
<p>شرایط انجام کار: ۱- انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $C \pm 3^{\circ}$ ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۲۳ دقیقه</p>			
<p>مواد مصرفی:</p>			
<p>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 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</p>			
<p>معیار شایستگی:</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	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 در کوره ۳- زمان نگهداری قطعات در 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	
	شایستگی های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست محیطی و نگرش: ۱- رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲- مسئولیت پذیری N۷۲ L۲ ۳- مدیریت مواد و تجهیزات N۶۶ L۲ 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.



فصل پنجم

خوردگی و پوشش دهی



واحد یادگیری ۱: خوردگی

تمایل دارند تا به 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 این که فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریع تر دچار پدیده خوردگی می شوند، لذا 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 می باشد.

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،

استاندارد عملکرد کار

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

پیش نیاز

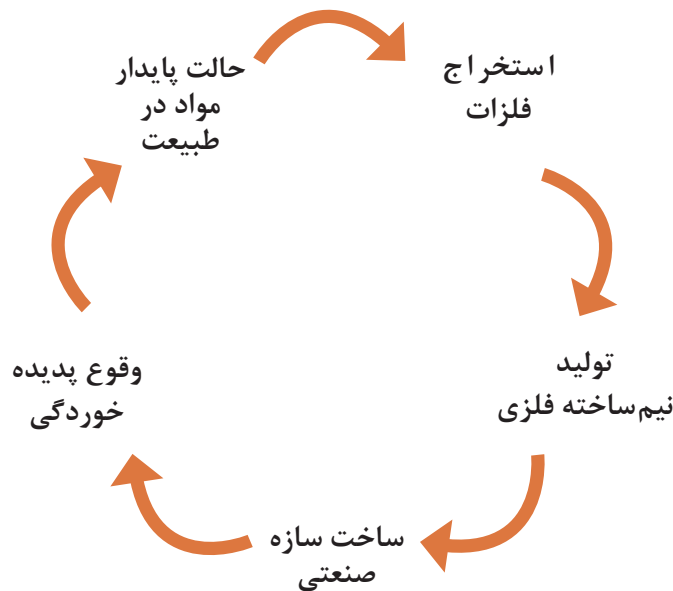
آشنایی با فرایندهای شیمیایی، فلزات، شرایط محیطی مختلف اطراف و نحوه کار با تجهیزات و مواد.



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 تعاریف ارائه گردیده 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
 - عکس فرایندهای استخراج
- 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 بخصوص فولادها، 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 نهایتاً 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 مثل:

- 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.



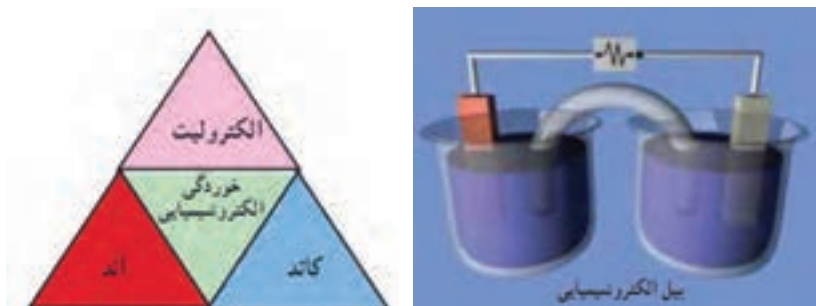
شکل ۲- عوامل ایجاد خوردگی

۱ خوردگی شیمیایی

سطح اکثر فلزات در اثر تأثیر عوامل شیمیایی تغییر می‌یابد. 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 تتراکلریدکربن و استون اشاره کرد و یا انحلال فلزات در جیوه مثال دیگری از خوردگی فلزات با مکانیزم شیمیایی می‌باشد.

۲ خوردگی الکتروشیمیایی

الکتروشیمیایی واکنشی است که اولاً شیمیایی بوده و ثانیاً 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 بیل 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 می‌باشند؛ 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 می‌باشد با سرعت بیشتری دچار خوردگی می‌گردد.

انواع خوردگی از نظر مکانیزم خوردگی

خوردگی را می‌توان به روش‌های مختلف طبقه‌بندی نمود. اساسی که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته است، ظاهر و شکل فلز خورده شده می‌باشد. بدین طریق صرفاً با مشاهده فلز خورده شده می‌توان نوع خوردگی را مشخص کرد. برای تشخیص نوع خوردگی در اکثر موارد چشم غیر مسلح کافی است، لکن گاهی اوقات بزرگ نمایی ذره بین یا میکروسکوپ‌هایی با بزرگ نمایی‌های 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 حفره‌ای	خوردگی هیدروژنی
خوردگی مرز دانه‌ای	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 شوند. مثلاً یک قطعه فولاد یا روی در داخل یک محلول رقیق اسید سولفوریک 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 نمود.

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 به وسیله ممانعت کننده: ممانعت کننده ها 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 ممانعت کننده 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:

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

در این رابطه ΔW اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از وارد کردن در داخل محلول بر حسب میلی گرم، P 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 می باشد 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، سمباده، اره، اسید کلریدریک ۱۰٪

مراحل انجام کار:

- ۱ پیچ فولادی بدون پوشش را به طول ۵۰ میلی‌متر انتخاب نمایید.
- 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 میلی‌لیتر اسید ۹۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه نمود. در این آزمایش ۲۰۰ CC محلول تهیه کنید. ابتدا ۱۰۰ CC آب مقطر داخل بشر بریزید و سپس مقدار ۲۰۰ CC اسید کلریدریک 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 نموده و با آب شست‌وشو کرده و خشک نمایید. نتایج را به همراه پاسخ سئوالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

نکات ایمنی



- حتماً از وسایل ایمنی مانند ماسک تنفسی، دستکش، عینک، روپوش آزمایشگاهی، و کفش ایمنی استفاده نمایید.
- از استنشام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری نمایید.
- توجه داشته باشید که همیشه اسید را به آب اضافه نمایید 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 نمایید.
- برای تهیه محلول اسید، در زیر هود کار کنید.

نکته زیست محیطی



- مصرف متناسب با نیاز علاوه بر صرفه‌جویی و کاهش مواد زائد باعث تخریب کمتر محیط زیست می‌شود.
- برای جلوگیری اثرات تخریبی تبخیر محلول‌های شیمیایی، پس از تهیه محلول آن را در ظروف در بسته نگهداری کنید توجه داشته باشید که اسید کلریدریک، سبب اسیدی شدن آب و خاک می‌شود.
- برای بیرون ریختن آن ابتدا با مقداری مواد قلیایی آن را خنثی نمایید 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 گرایش کار تحویل هنرآموز خود دهید.



اندازه گیری سرعت خوردگی

مواد و تجهیزات مورد نیاز: نمونه‌های فولادی و مسی و آلومینیومی، بشر 250°C ، اسید کلریدریک 10% ، پیپت، پرکن، ترازوی آزمایشگاهی، خشک‌کن، سنباده

مراحل انجام آزمایش:

- ۱ مکعب‌هایی از جنس فولاد، مس و آلومینیوم در ابعاد $10 \times 20 \times 30$ میلی‌متر را انتخاب نمایید.
 - ۲ سطح مکعب‌ها را سنباده بزنید تا اکسیدها و سایر ناخالصی‌ها از روی آنها تمیز گردند.
 - ۳ وزن مکعب‌های تمیز شده را توسط ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری کرده و سپس سطح کل آنها را محاسبه نمایید.
 - ۴ محلول $10\% \text{HCl}$ را طبق اصول فعالیت شماره (۱) آماده کرده و نمونه‌ها را در داخل آن به مدت ۱ هفته قرار دهید.
 - ۵ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه‌ها را از داخل محلول خارج نموده و با آب شست‌وشو داده و خشک نمایید.
 - ۶ نمونه‌های خشک شده را وزن کرده و میزان کاهش وزن آنها را یادداشت نمایید.
 - ۷ نتایج و اعداد به دست آمده را در رابطه (۱) قرار داده و سرعت خوردگی نمونه‌های مختلف را به دست آورید.
- نتایج را به همراه پاسخ سئوالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.



- کدام یک از نمونه‌ها 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 سریع‌تر اتفاق می‌افتد؟ 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 می‌کنند؟



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

در سال ۱۷۶۱ میلادی بررسی‌های اتفاقی که روی کشتی‌های جنگی رخ داد واقعه‌ای جدی از نقش خوردگی را در تخریب مواد نمایان ساخت. کشتی‌های چوبی را با لایه‌ای نازک از مس می‌پوشاندند که برای این کار آنها را توسط میخ‌های فولادی محکم به بدنه کشتی نصب می‌کردند. بعد از چند مدت متوجه می‌شدند که ورق‌های مسی از بدنه کشتی در چندین نقطه جدا شده است که به دلیل از بین رفتن میخ‌های فولادی بوده است ولی در بعضی نقاط که میخ‌های فولادی با لایه‌ای از کاغذ پوشانده شده بود، میخ‌ها 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؟

موقعی 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.

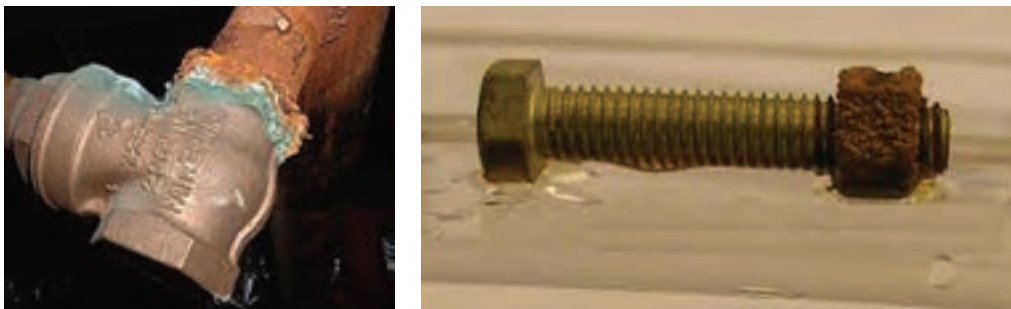


شکل ۵- تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلایژ مس روی ستون فولاد کربنی



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

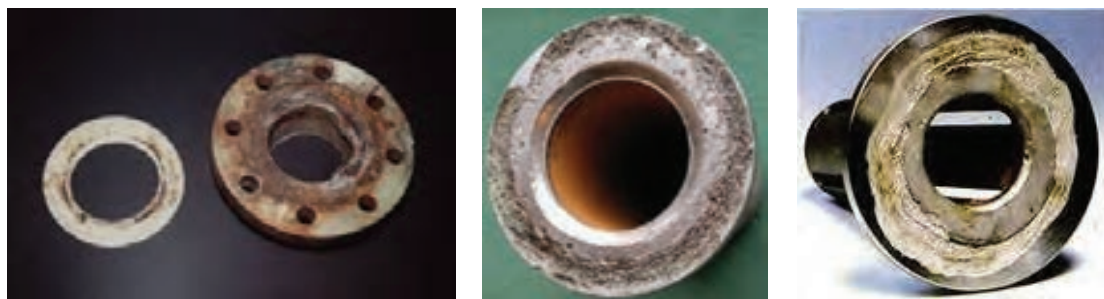
در صنعت فلزات کنار هم قرار دارند، پس خوردگی گالوانیکی داریم. معمولاً در اتصالات خوردگی گالوانیکی به شدت وجود دارد. مثل اتصالات پیچ و مهره و لحیم‌کاری و جوشکاری. معمولاً اولین جایی که در اتصالات خورده می‌شود پیچ و مهره است و برای این کار، مهره از فولاد ساده کربنی است و پیچ را با کرم یا نیکل پوشش می‌دهند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



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

خوردگی شیاری یا شکافی

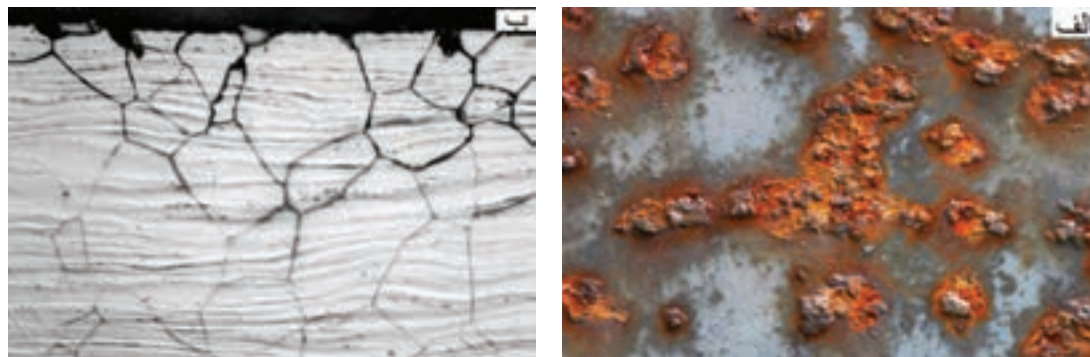
این نوع خوردگی معمولاً در شیاریهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی موضعی شدیدی می شود و معمولاً همراه با حجم های کوچک محلول ها یا مایعاتی که در اثر وجود سوراخ، سطوح و اشرفا، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیاریهای زیر پیچ، مهره ها و میخ پرچ ها ساکن شده اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده اند، ایجاد می شود. این ساز و کار 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 می‌باشد. 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 می‌باشد. پس نباید منبع و منشأ حفره را در فلز ایجاد کرد. باید سطح فلز را صیقلی کنیم چرا که وجود حفره خود جوانه‌ای برای شروع خوردگی حفره‌ای است. شکل (۹) نمونه‌ای از خوردگی حفره‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۹- تصاویری از خوردگی حفره‌ای

خوردگی سایشی یا فرسایشی

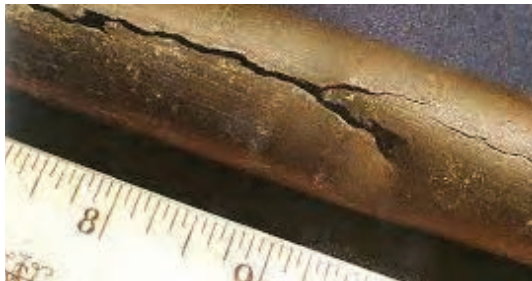
نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیده مرتبط با این گونه خوردگی، سایش است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به وجود می‌آید. این عمل می‌تواند پوشش‌های ضد خوردگی را از بین برده و باعث آغاز خوردگی شود. شکل (۱۰) 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 فرآیند 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. پ) لوله فولادی که در اثر وجود سیال داخل آن دچار خوردگی فرسایشی شده است.

خوردگی تنشی



شکل ۱۱- تصاویری از خوردگی تنشی

بسیاری از تخریب‌هایی که در خوردگی می‌بینیم خوردگی تنشی 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.

این پدیده 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 فرآیندهای خوردگی موضعی هستند، در داخل فلز یا آلیاژ پیشرفت می‌کنند. در شکل (۱۱) تصویری از خوردگی تنشی را مشاهده می‌نمایید.

خوردگی هیدروژنی

این نوع خوردگی در دمای کمتر از 20°C رخ می‌دهد که در آن هیدروژن داخل فلز یا آلیاژ نفوذ می‌کند و با تشکیل مولکول گاز 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) تصویری از خوردگی هیدروژنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲- تصاویری از 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: در موقع طراحی قطعات، طراحان باید پیش‌بینی 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 نمایند. اگر قطعات در محیط خوردنده قرار می‌گیرند حتماً 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 می‌باشد، بنابراین باید قبل از اعمال پوشش هرگونه آلودگی مثل: پلیسه، زنگار، چربی، جرقه‌های جوشکاری و غیره از روی سطح قطعه تمیز گردند. همچنین در موقع اعمال پوشش لازم است دقت شود که پوشش به طور کامل روی سطح قطعه را بپوشاند و یا در صورت تخریب موضعی، نسبت به ترمیم پوشش اقدام گردد.

بررسی خوردگی شیباری در فولاد زنگ نزن

مواد و تجهیزات مورد نیاز: ورق فولادی زنگ نزن، سمباده، بشر یک لیتری، کش، آب مقطر، ۲ عدد چوب پنبه، کلریدریک

مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی زنگ نزن را در ابعاد 25×50 میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کنید.
- ۲ نمونه را سمباده بزنیید تا اکسیدها و ناخالصی‌های دیگر از بین بروند.
- ۳ محلول کلرید فریک را در حجم 750 cc آماده نمایید. برای آماده‌سازی این محلول مقدار $122/25$ گرم کلرید فریک را در 750 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 داخل بشر بیرون بیاورید.
- ۷ نمونه را با آب تمیز نموده و خشک نمایید.
- ۸ مشاهدات خود را نوشته و در کلاس بحث نمایید.

- هرگز بدون روپوش، دستکش، ماسک تنفسی، عینک و سایر وسایل ایمنی مناسب، آزمایش را انجام ندهید؛
- فعالیت را زیر هود انجام شود؛
- از ریختن مواد شیمیایی روی ترازو خودداری نمایید؛
- در انجام کار کوشا باشید چرا که تماس پوست با اسیدها و بازهای قوی موجب سوختگی می شوند.

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.
- نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

نکته زیست محیطی



- خوردگی شیاری جزء کدام یک از خوردگی ها می باشد؟
- برای جلوگیری از خوردگی شیاری چه راه حل هایی پیشنهاد می کنید.
- پس از بحث و گفتگو پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

پرسش



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

بحث گروهی



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 نمود. 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 خوردنده گران قیمت می‌باشند 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 بر اساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

پیش‌نیاز

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

پوشش‌دهی

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



جدول زیر را کامل کنید.

نوع محصولات	شکل	اهداف پوشش‌دهی	جنس فلز پایه	جنس لایه پوششی	روش پوشش‌دهی
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 کرد و چربی آن را برطرف نمود، 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 الکتریسیته، 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. پوشش‌دهی به فرآیندی گفته می‌شود که در آن سطح یک ماده را با لایه‌ای از ماده دیگر بپوشانند.

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

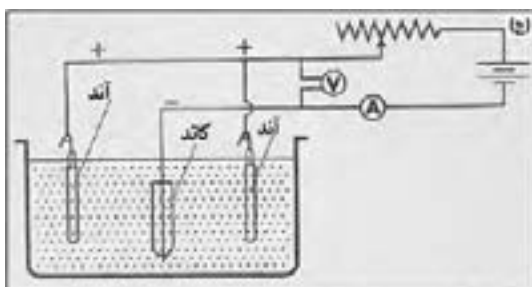


شکل ۱۳- تصاویری از پوشش دهی فلزات به روش غوطه‌وری که داخل روی مذاب غوطه‌ور می‌شوند.

آبکاری الکترولیتی:

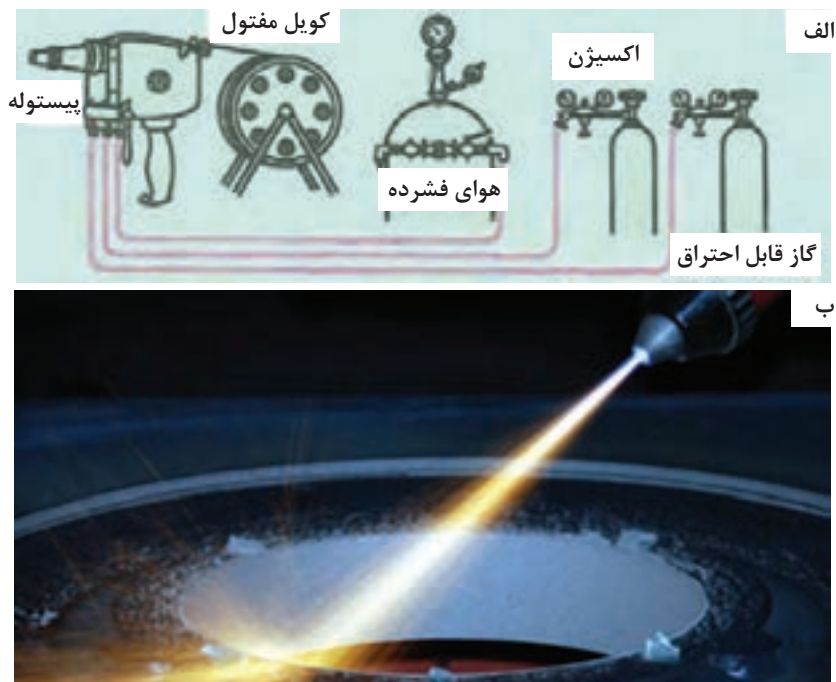
امروزه پوشش دهی الکتریکی (آبکاری) تا حدی توسعه یافته است که نه تنها مرحله نهایی تولید بعضی محصولات است بلکه برای ایجاد پوشش‌های محافظی مثل کادمیم، کروم یا اکسید آلومینیوم روی قطعات به کار می‌رود. پوشش دهی الکتریکی می‌تواند با فلزاتی نظیر نیکل، کرم، مس، روی، کادمیم، قلع، نقره، طلا، پلاتین و... انجام پذیرد. 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 متعاقباً 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 نمود. 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 فصل انجام آن به طور کامل توضیح داده خواهد شد.



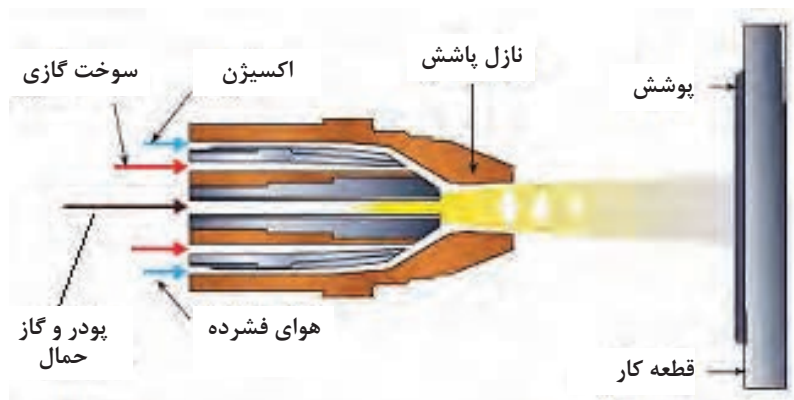
شکل ۱۴- (الف و ب) قسمت‌هایی از خطوط آبکاری نیکل در صنعت، (ج) شماتیکی از اجزا و نحوه آبکاری نیکل با جریان برق

پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله (Metal spray): در این روش به کمک پیستوله، فلز پوشش را که به صورت مفتول و یا پودر می باشد 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 شماتیکی 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

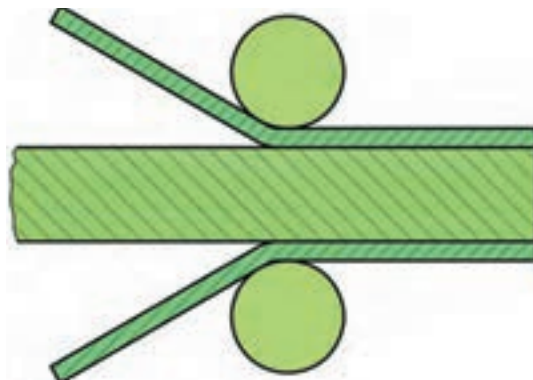
با این روش می توان فلزاتی مانند روی، آلومینیم و فولادهای آلیاژی را نیز به عنوان پوشش بر روی فلز مورد نظر اعمال نمود. استفاده از روش پاشیدن به کمک پیستوله، همیشه به عنوان پوشش محافظ در مقابل خوردگی مورد استفاده نیست بلکه در تعمیرات نیز ممکن است به کار گرفته شود. شکل (۱۶) داخل پیستوله و نحوه ترکیب شدن 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 ملکولهایی بنا شده است که باعث ایجاد اختلاط ذرات در محل برخورد می‌شوند. به عنوان مثال می‌توان از کُرم‌دار کردن سطح فولادها نام برد که در این روش لایه نازکی از سطح خارجی قطعات را به وسیله کرم آلیاژ می‌کنند. از محاسن کرم‌دار کردن می‌توان عدم تورق قشر محافظ را نسبت به گالوانیزه کردن نام برد، و از نظر مقاومت در مقابل خوردگی با فولادهای آلیاژی کرم‌دار قابل مقایسه‌اند.



شکل ۱۷- تصویری از 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 عبارتند از: مس، برنج، نیکل و یا آلومینیم. در شکل (۱۷) تصویری از فرایند 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 پوشش‌های فلزی توضیح داده شده‌اند.

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

تجهیزات مورد استفاده در عملیات پوشش دهی

در انجام فرآیند پوشش دهی نیاز به ابزار و وسایل آزمایشگاهی می باشد که در 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
	
	
	

آماده سازی سطح قطعات برای پوشش دهی

چگونه می توانیم چربی های روی سطح فلزات را از بین ببریم؟ مهم ترین عامل در پوشش دادن، میزان تمیزی سطح فلز در کیفیت پوشش فلزی، 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 آماده سازی سطح فلز اصلی بستگی دارد. کیفیت سطحی که آبکاری می شود باید بهتر از سطحی باشد که رنگ شده است. جهت آماده سازی سطح فلزات برای پوشش دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارتند از: ۱- سمباده زنی، ۲- چربی زدایی و ۳- اکسیدزدایی

۱ سمباده زنی به صورت مکانیکی سطح فلز را صیقلی و صاف می کند و مواد ناخواسته از روی آن تمیز می شود.

۲ چربی زدایی به منظور حفاظت موقتی، روغن کاری یا در حین عملیات مکانیکی مثل ماشین کاری، کشش و مته زنی و یا سایر عملیات سطحی به قطعات روغن و گریس می زنند. بنابراین روی قطعات فلزی اغلب روغن و گریس وجود دارد که می توان با محلول های قلیایی قوی مثل کربنات سدیم یا سودسوزآور چربی زدایی نمود.

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 اسیدسولفوریک در دمای حدود ۶۰ تا ۶۵ درجه سانتی‌گراد و یا اسیدکلریدریک 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 آلومینیم 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، پمپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۸۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، اسید کلریدریک (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 سمباده 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 سانتی‌گراد تنظیم کنید و بشر را روی آن بگذارید. در این حین مگنت را داخل بشر بیاندازید 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 سانتی‌گراد قرار دهید.

نکته: • ابتدا توسط دماسنج دمای محلول را کنترل کنید تا دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد باشد.

- در حین انجام فرآیند نیز دما و زمان توسط دماسنج و زمان‌سنج 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 دومرحله 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.

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

● **نکته:** دمای انجام فرآیند اکسیدزدایی دمای محیط بوده و نیازی به گرم کن آزمایشگاهی نیست.

● بر روی بشر نوشته شود محلول اکسیدزدایی می باشد تا با دیگر محلولها اشتباه گرفته نشود.

● هرگز آب را به اسید اضافه نکنید.

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

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

🔸 **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 نشود 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 می باشد 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 نمایید.

● **نکات ایمنی:** ● از بوییدن، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری نمایید.

● تمام مراحل آزمایش در زیر هود انجام شود.

● در نگهداری مواد شیمیایی دقت نمایید 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 آزمایشگاه 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 نمایید و توسط کاغذ pH سنج یا هر نوع شناساگر دیگر کنترل نمایید 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 فصل 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 نمایید 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:

- ۲ 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 ۲۵۰ cc به تعداد ۳ عدد، اسید نیتریک (HNO_3)، اسید کلریدریک (HCl).

مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق مسی را در ابعاد ۱۰×۵ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهید.
 - ۲ نمونه را تا شماره ۱۲۰۰ سنباده زنی نمایید.
 - نکته:** اگر سطح نمونه‌ها صاف باشد نیاز به سنباده‌زنی نمی‌باشد.
 - ۳ مقدار ۲۰۰ cc اسید نیتریک را در یک بشر ۲۵۰ cc بریزید و به آن ۲ cc اسید کلریدریک توسط پیپت اضافه کنید.
 - ۴ نمونه مسی را توسط پنس چوبی گرفته و داخل محلول آماده‌سازی به مدت ۱ دقیقه نگهداری شود.
 - 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 در گزارش کار با رسم شکل شرح دهید.

فعالیت
کارگاهی ۶



آماده‌سازی سطح آلومینیم برای پوشش دهی

هدف از انجام آزمایش: افزایش کیفیت و چسبندگی لایه پوشش بر روی سطح آلومینیم مواد و وسایل مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق آلومینیمی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰٪، اسید نیتریک (HNO₃) ۵۰٪.

مراحل انجام آزمایش

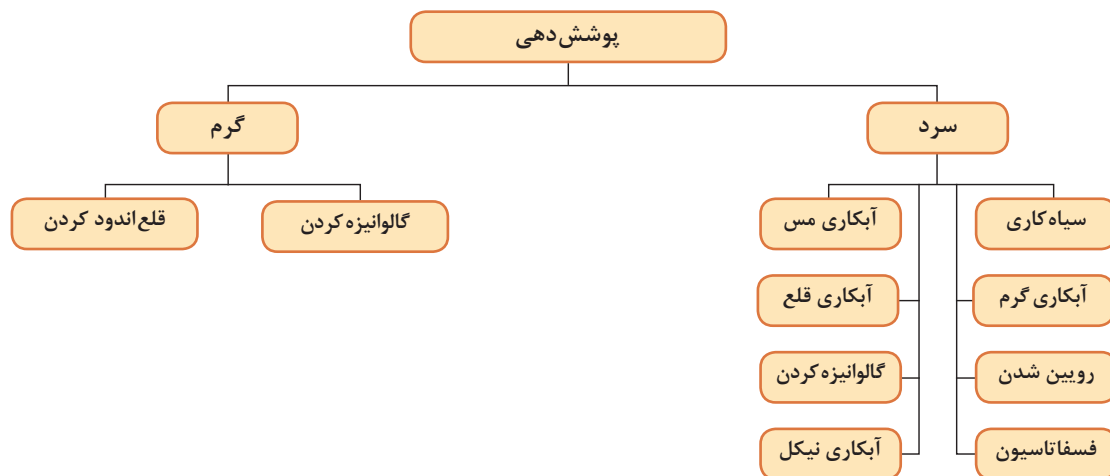
- ۱ هرگروه نمونه‌ای از آلومینیوم را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهد.
 - ۲ در صورت صاف نبودن سطح، سنباده‌زنی انجام گیرد.
 - ۳ مقدار ۲۰۰ cc سود ۱۰٪ تهیه کنید و بر روی گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار دمای آن را به ۷۰ درجه سانتی‌گراد برسانید و دستگاه را در دور کند تنظیم نمایید تا خوب حل شود.
 - ۴ مقدار ۱۰۰ cc آب مقطر را در داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و ۱۰۰ cc اسید نیتریک 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 سانتی‌گراد قرار دهید.
- نکته:** ● ابتدا توسط دماسنج دمای محلول کنترل شود تا دما ۷۰ درجه سانتی‌گراد 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 اسید نیتریک ۵۰٪ در دمای محیط قرار دهید.
 - ۸ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
 - ۹ بلافاصله توسط خشک‌کن خشک کنید.

بحث گروهی



- ۱ چه تغییراتی بر روی سطح نمونه ایجاد شد؟
- ۲ تحقیق کنید 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.

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



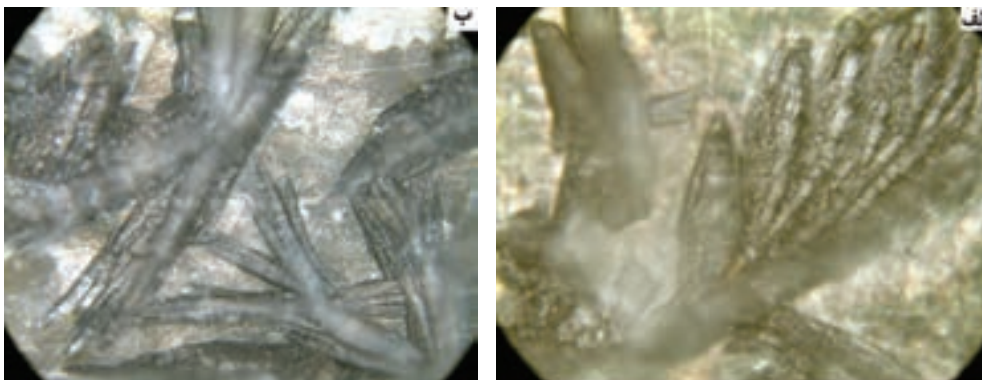
می‌شود که در حین رنگ کردن، ماده رنگی در داخل این حفرات و شیارها گیر می‌کنند و چسبندگی بهتر صورت می‌گیرد. پوشش دهی فسفات، عملیاتی بر روی چدن، فولاد، فولاد گالوانیزه شده یا آلومینیوم، در محلول رقیق اسید فسفریک و دیگر ترکیبات است که در آن سطح فلز در محیط اسید فسفریک به طور شیمیایی فعال شده و به لایه‌ای محکم و تقریباً محافظ از کریستال‌های غیرقابل حل فسفات، تبدیل می‌شود فرآیند فسفات کردن از حساسیت بالایی برخوردار است و عوامل مختلفی از قبیل شرایط آماده‌سازی سطح فلز، ترکیبات شیمیایی حمام، pH، دما، زمان فسفات کاری، 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.

فسفاتاسیون

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 می‌باشد.

جهت حصول به این امر همواره سعی شده که عملیات زیرسازی رنگ با بهترین مواد شیمیایی و در شرایط بهینه انجام شود.

فرآیند فسفاتاسیون بیشتر برای زیرکاری و قبل از انجام فرآیند 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) تصویری از فولاد st۳۷ بعد از یک بار عملیات فسفاتاسیون در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و ب) همان نمونه بعد از دوبار عملیات فسفاتاسیون در بزرگ‌نمایی ۵۰۰.

بیشترین کاربرد پوشش‌های فسفات‌ها به عنوان پوشش زیر رنگ است. علاوه بر آن از پوشش فسفات‌ها 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 فسفات‌ها در صنعت عبارتند از:

- ۱- **فسفات روی:** این نوع پوشش فسفات‌ها 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- **فسفات آهن:** 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 فسفات آهن از فسفات روی کمتر است.
- ۳- **فسفات منگنز:** بر روی قطعات آهنی برای جلوگیری از کنده شدن سطحی و قفل شدن قطعات با یکدیگر در حین کار اعمال می‌شود.

فسفاتاسیون فولاد

مواد و تجهیزات مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت همزن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، 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 (اسید کلریدریک ۳۰٪)، حمام فسفاتاسیون،

فعالیت
کارگاهی ۷



مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد 50×100 میلی متر به ضخامت ۲ میلی متر آماده کرده و توسط سنباده‌ها از شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سمباده 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 اسید کلریدریک ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی نمایید.
 - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
 - ۶ برای تهیه حمام فسفاتاسیون مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
 - اسید فسفریک ۱۱ cc/lit
 - نیترات سدیم ۱ g/lit
 - اکسیدروی ۵/۶ g/lit
 - اسید نیتریک ۲/۵ cc/lit
- مقدار ۲/۲ سی سی اسید فسفریک را توسط پیپت به داخل یک بشر ۲۵۰ CC بریزید سپس مقدار ۲/۲ گرم نیترات سدیم را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. مقدار ۱/۱۲ گرم اکسیدروی را وزن کرده و به آن اضافه نمایید و دوباره به هم بزنید. همچنین ۵/۵ سی سی اسید نیتریک توسط پیپت به آن اضافه کنید. دمای این حمام باید ۷۰-۸۰ درجه سانتی گراد باشد. گرم کن را در این دما تنظیم کرده و بشر حمام فسفاتاسیون 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 خشک کن 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 آب را به اسید اضافه کنید.
- ترکیب اصلی محلول‌ها برای یک لیتر می باشد 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 می شود.
- در تمامی مراحل می توانید 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 می تواند رسوب کند.
- فرایند فسفاتاسیون تا ارتفاعی از نمونه که در داخل حمام قرار دارد انجام می گیرد و در صورت نیاز به اینکه تمام قطعه داخل حمام قرار گیرد، باید در بالای آن سوراخ کوچکی با مته ۳ میلی متری 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 نمایید.
- اگر مواد شیمیایی در جایی ریخته شود، آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- اسید سولفوریک فعالیت شیمیایی زیادی دارد، باید با دقت زیاد از آن استفاده کرد و آن را 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 اسید فسفریک 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 اسید فسفریک 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 فرآیند فسفاتاسیون چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می کنید؟ نتایج به دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
- ۲ این فرآیند 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 دایره زیر ترسیم کنید و تفاوت ایجاد شده را در بعد و قبل از فسفاتاسیون بنویسید.
- ۴ تحقیق کنید چند نوع فرآیند فسفاتاسیون 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 فرآیند ایجاد یک لایه اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی، می باشد که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نامگذاری آن، به فرآیند سیاه کاری گردیده است.

هدف از ایجاد این لایه بر سطح قطعات، به دلیل مقاومت بالای پوشش به خوردگی اتمسفری خصوصاً در محیط های مرطوب، می باشد و اکثراً 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 می نمایید.



شکل ۱۹- تصاویری از قطعات سیاه کاری شده

روش‌های مختلفی به منظور ایجاد این لایه بر سطح قطعات فولادی وجود دارند که هم به صورت گرم و هم به صورت سرد انجام می‌گیرد ولی در حالت کلی روش معمول، استفاده از فرآیند غوطه‌وری در حمام قلیایی گرم، شامل ترکیبات نیترات سدیم، نیتريت سدیم، سودسوزآور و مواد افزودنی دیگر می‌باشد. در شکل (۲۰) قسمتی از خط عملیات سیاه کاری را مشاهده می‌نمایید.



شکل ۲۰- تصویری از عملیات سیاه کاری

مزایای سیاه کاری

- **مقاومت خوردگی:** افزایش عمر کاری و مدت زمان انبارداری قطعات
- **مقاومت به سایش مداوم:** پوشش‌های تبدیلی سخت در برابر پوسته شدن، ترک خوردن، سایش و خراش مقاومت خوبی دارند.
- **ضد چسبندگی:** در مواردی که نیاز به تماس قطعات می‌باشد، پوشش سیاه و لایه روانکار مانع چسبندگی سطوح شده، و حین تماس قطعات در اثر سایش فدا شده و سطح قطعه را سالم نگه می‌دارند.
- **روانکاری:** عملیات نهایی پایه روغن که بعد از فرایند سیاه کاری مرسوم می‌باشد، علاوه بر حفاظت سطح در برابر خوردگی، حرکت سطوح در تماس با یکدیگر را راحت تر می‌سازند.
- **زیبایی ظاهری پوشش:** این فرایند سبب ایجاد رنگ سیاه زیبا و تزیینی بر روی سطح قطعه شده و کیفیت سطحی آن را افزایش می‌دهد.
- **کاهش براقیت قطعه:** این فرایند براقیت قطعه را کاهش می‌دهد.
- **آماده‌سازی سطحی:** جهت بهبود چسبندگی رنگ و لاک‌های نهایی می‌توان از این پوشش به عنوان زیرلایه استفاده نمود.
- **رسانایی:** سیاه کاری، پوششی مناسب برای قطعات الکتریکی است، زیرا فقط در حدود ۱٪ رسانایی قطعه بعد از اعمال این پوشش کاهش می‌یابد.



سیاه کاری فولاد

مواد و تجهیزات مورد نیاز: گرم 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 چربی‌زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (اسید کلریدریک ۳۰٪)، حمام سیاه کاری،

مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده کاری نمایید 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 اسید کلریدریک ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی نمایید.
- ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۶ برای تهیه حمام سیاه کاری مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
 - سودسوزآور ۶۰۰ g/lit
 - نیترات سدیم ۳۰ g/lit
 - نیتريت سدیم ۲۰ g/lit
- مقدار ۱۲۰ گرم سودسوزآور را داخل ۵۰ CC آب مقطر در یک بشر ۲۵۰ CC حل نمایید سپس ۶ گرم نیترات سدیم را وزن کرده و به آن اضافه کنید و به هم بزنید. همچنین مقدار ۴ گرم نیتريت سدیم را به آن اضافه نمایید و دوباره به هم بزنید. گرم کن آزمایشگاهی مگنت دار را در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید 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 بیاندازید و گرم کن آزمایشگاهی را در دور کند تنظیم نمایید 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 نمایید.
- ۹ بلافاصله بعد از آبکشی نمونه را با استفاده از خشک کن خشک نمایید.

● به هیچ عنوان آب را به اسید اضافه نکنید چرا که امکان پاشش اسید در این صورت وجود دارد و به جای آن آب را به اسید 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.
- از بوییدن گاهی استنشاق میزان زیاد سودسوزآور منجر به تورم حنجره و بیماری‌های ریوی غیرقابل برگشت می‌گردد.
- علائم اولیه بلعیدن سودسوزآور شامل درد شکم و استفراغ است. در صورت مشاهده هرچه سریع‌تر فرد را به پزشک ارجاع دهید.

نکته زیست محیطی



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

پرسش



- ۱ بعد از انجام فرآیند 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 فرآیند 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 فرآیند 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، پمپ‌مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان‌سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ CC به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اکسیدزدایی (اسید کلریدریک ۳۰٪)، حمام مس اندود کردن (سولفات مس، اسید سولفوریک)

فعالیت کارگاهی ۹



مراحل انجام آزمایش

- ۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد 50×100 میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری 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 اسید کلریدریک ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی نمایید.
 - ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
 - ۶ حمام مس اندود را تهیه نمایید. برای تهیه حمام مواد زیر مورد نیاز است که طبق مراحل زیر اقدام نمایید:
 - سولفات مس ۱۵ g/lit
 - اسید سولفوریک ۱۰ cc/litمحلول را در اندازه ۲۰۰ cc آماده میکنیم. برای انجام این کار ابتدا مقدار ۳ گرم سولفات مس را در ۱۰۰ cc آب مقطر خوب به هم بزنید. سپس ۲ cc اسید سولفوریک به آن اضافه کنید و خوب به هم بزنید. آب مقطر را تا اندازه‌ای به آن اضافه نمایید که به حجم ۲۰۰ cc برسد.
 - ۷ نمونه را به مدت ۱۰ ثانیه توسط پنس چوبی داخل حمام وارد کنید.
 - ۸ دو مرحله آبکشی نمایید و بلافاصله با خشک‌کن خشک کنید.
- نمونه را برای انجام آزمایشات بعدی نگه دارید.

دمای انجام فرآیند دمای محیط می‌باشد.

رعایت تمامی نکات ایمنی فعالیت‌های گذشته الزامی است.

اسید سولفوریک توسط آهک، کربنات سدیم، سودسوزآور و هیدروکسید منیزیم خنثی می‌شود. در صورتی که محللول را نگهداری نمی‌کنید، ابتدا محللول را خنثی نمایید و سپس آن را دفع کنید.

- ۱ چه تغییراتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌نمایید.
- ۲ مراحل کامل انجام آزمایش مس‌اندود کردن را در شکل زیر تکمیل کنید.

نتایج فعالیت را همراه با پاسخ پرسش‌ها در گزارش کار تحویل دهید.

نکته



نکته ایمنی



نکته زیست محیطی



پرسش



بحث گروهی



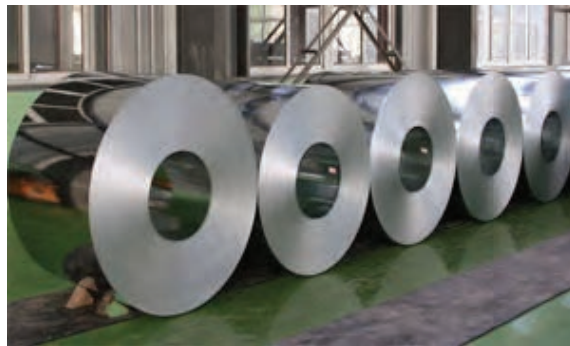
پوشش دهی قلع

ورقه‌های 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 می‌باشد.

چون آهن فلزی فعالتر از قلع است و پتانسیل احیا 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 خود 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 کرم داده شده است تا قلع چسبندگی آن را افزایش دهد.

قلع‌اندود کردن فرآیندی است که بر روی فولاد یا آهن کار شده لایه نازکی از قلع پوشیده می‌شود، محصول نهایی به دست آمده از این فرآیند ورق قلع‌اندود می‌باشد. 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 می‌نمایند. هر ساله میلیون‌ها تن



شکل ۲۱- ورق قلع‌اندود شده که بر روی آنها پوشش کرم داده شده است.

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، باتری‌سازی و ... 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 این که 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 گرم، طلا یا نقره سطح قطعات بسیار جذاب و بادوام می‌گردد. 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 (اسید کلریدریک ۳۰٪)، حمام نیکل (سولفات نیکل، کلرید نیکل، اسید بوریک)

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 اسید کلریدریک ۳۰٪ و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی نمایید.
- ۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
- ۶ حمام پوشش دهی نیکل را تهیه نمایید. برای تهیه این حمام مواد زیر مورد نیاز بوده و طبق اصول آورده شده آن را انجام دهید.

■ سولفات نیکل ۳۱۰ g/lit

■ کلرید نیکل ۵۰ g/lit

■ اسید بوریک ۴۰ g/lit

حمام را در اندازه ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا مقدار ۶۲ گرم سولفات مس را در ۱۰۰ cc آب مقطر حل کنید. سپس ۱۰ گرم کلرید نیکل به آن اضافه کنید و هم بزنید. مقدار ۸ گرم اسید بوریک نیز به آن اضافه کرده و

سپس بر روی هیتر بگذارید و در دمای ۴۰ الی ۷۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم نمایید و هم‌زن آن را روی دور کند بگذارید تا کاملاً حل شود.

۷ رکتی فایر (یکسوکننده) را روشن نمایید و ولتاژ جریان آن را در 3 A/dm^2 تنظیم نمایید. توجه داشته باشید که در این آزمایش ولتاژ جریان مهم است و نیازی نیست آمپر در مقدار مشخصی باشد. آمپر 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 نمایید 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 خشک‌کن آن را خشک نمایید.

در این آزمایش 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 قبلی الزامی است
- محل اتصال دستگاه به پریز برق را با دست مرطوب نگیرید.

نکته ایمنی



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

نکته

زیست محیطی



۱ چه تفاوتی دارد که از نیکل به عنوان آند استفاده کنیم یا از سرب؟ آزمایش را جداگانه انجام دهید و مشاهدات خود را بنویسید.

۲ آیا فاصله آند و کاتد بر روی کیفیت پوشش تأثیرگذار است؟ چگونه می‌توان بهترین فاصله را برای آن پیدا کرد؟

۳ مراحل انجام آزمایش پوشش‌دهی نیکل را در شکل زیر به‌طور کامل بنویسید.

۴ نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به‌صورت عرضی ببرید و مانع نمایید و سپس آنها را خوب سمباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری نمایید.

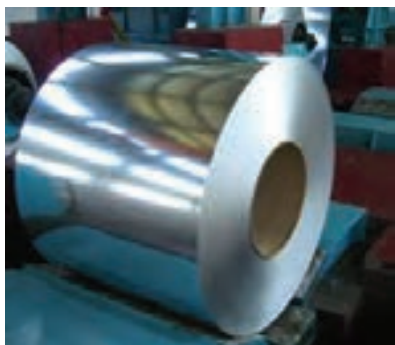
۵ تحقیق کنید در صنعت برای اینکه تمامی قسمت‌های قطعات پوشش‌دهی شود، آند باید به چه شکلی باشد و در کجا قرار گیرد؟

پرسش



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

بحث‌گروهی



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. چون 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 فعالتر 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 مثل 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، مخازن و...

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 کرم کمتر می باشد ولی 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 ۳-۵/۰ 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، سنبله به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰CC چند عدد، سودسوزآور ۱۰% (چربی زدایی)، اسید کلریدریک ۳۰% (اکسیدزدایی)، سولفات روی، کلرید آمونیم یا کلرید سدیم، کلرید آلومینیوم، اسیدبوریک،

مراحل انجام آزمایش

۱ ورق فولادی در اندازه ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی متر را بریده و سنبله زنی انجام دهید.

فعالیت
کارگاهی ۱۲



- ۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ چربی زدایی کنید.
- ۳ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، اکسید زدایی در اسید کلریدریک ۳۰٪ انجام دهید.
- ۴ محلول گالوانیزه سرد را تهیه نمایید. مواد و مراحل تهیه محلول به صورت زیر است:
- **سولفات روی:** ابتدا ۶۰ گرم سولفات روی را با استفاده از اسپاتول و ترازو بکشید و در مقدار کمی آب مقطر در داخل بشر هم بزنید.
- **کلرید آمونیم یا کلرید سدیم:** مقدار ۳ گرم کلرید آمونیم و یا در صورت نبودن آن ۳ گرم کلرید سدیم (نمک طعام) به آن اضافه کنید و هم بزنید.
- **کلرید آلومینیم:** سپس ۶ گرم کلرید آلومینوم به آن اضافه کنید.
- **اسید بوریک:** ۳ گرم اسید بوریک نیز به آن اضافه کنید.
- **نکته:** تمامی مواد را توسط اسپاتول تمیز و با استفاده از دستکش بردارید.
- **نکته:** دمای مورد نیاز برای انجام فرآیند گالوانیزه سرد دمای محیط است که باید توسط دماسنج کنترل شود
- **نکته:** برای هم زدن محلول می‌توانید گرم کن را خاموش کرده و فقط هم زن 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 می‌باشد 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 نمایید.
- **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 آزمایش 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 مانت نمایید و سپس آنها را خوب سمباده زده و زیر میکروسکوپ لایه پوشش داده شده را اندازه‌گیری نمایید و گزارش کار را تحویل هنرآموز خود دهید.

آندایزینگ آلومینیوم

به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل 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 اکسید آلومینیوم 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 می‌باشد. در این صورت بر سطح آلومینیوم یک لایه نازکی 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 لایه 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 می‌باشد.

از مزایای آندایز کردن آلومینیوم می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- 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 اسید نیتریک ۵۰٪ حجمی؛
- شست‌وشو با آب؛

عملیات آندایزینگ در شرایط اسید سولفوریک با غلظت ۱۵٪ وزنی و دانسیته جریان ۱-۲/۵ آمپر بر دسی متر مربع و دمای ۱۸ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فلز سرب به عنوان کاتد در زمان ۲۰-۴۰ دقیقه می‌باشد.

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٪، اسید نیتریک ۵۰٪، حمام آندایزینگ (اسید سولفوریک)

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 اسید نیتریک ۵۰٪ چربی زدایی و اکسیدزدایی کنید.

۲ حمام آندایزینگ که اسیدسولفوریک ۹۰ cc/lit می‌باشد را به صورت زیر تهیه نمایید:

۳ حمام را به مقدار ۲۰۰ cc آماده می‌کنیم. ابتدا ۱۸ cc اسیدسولفوریک 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 15 A/dm^2 تنظیم نمایید.

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 سانتی‌گراد 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 می‌نمایید؟

پرسش



تحقیق کنید



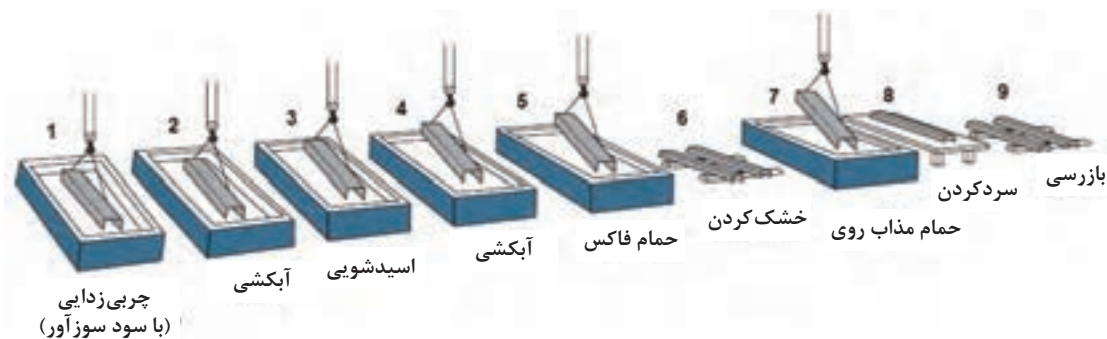
آلومینیوم رنگی موجود در بازار به چه روشی رنگ کاری می‌شوند؟

گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم فرآیندی 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 آلیاژهایی 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 پوشش‌های گالوانیزه گرم

پوشش‌های گالوانیزه اساساً به منظور ایجاد حفاظت در برابر خوردگی بر قطعات فولادی و چدنی اعمال میشوند. موارد استفاده پوشش‌های گالوانیزه گرم بسیارند که برخی از آنها عبارتند از:

- ۱ فولادهای ساختمانی به کار رفته در نیروگاه‌ها، تأسیسات پتروشیمی، مبدل‌های حرارتی، کویل‌های خنک‌کننده و دکل‌ها و تیرهای انتقال نیرو.
- ۲ قطعات سازه پل‌ها، کانال‌ها، لوله‌های فولادی کرکره شده و قوس‌های دیگر.
- ۳ مقاوم کردن فولاد به کار رفته در برج‌های خنک‌کننده، بتن‌های پیش‌ساخته، معماری و قسمت‌های مسطح پل‌ها که در معرض خوردگی کلریدها قرار دارند.
- ۴ سخت‌افزار به کار رفته در سازه‌های برق رسانی، خطوط انتقال نیرو و خط آهن.
- ۵ حفاظ‌های بزرگراه‌ها، روشنایی‌های در سطوح بالا و پل‌های ساخته شده جهت نصب تابلوهای علایم.
- ۶ ستون‌ها و ریل‌های واقع در نواحی دریایی.
- ۷ شبکه‌ها، نردبان‌ها و محفظه‌های ایمنی.

عناصر آلیاژکننده حمام مذاب

کادمیم و آهن معمولاً به عنوان آلوده‌کننده‌های حمام حضور دارند که به عنوان عناصر ناخواسته موجود در فلز روی می‌باشند. فلز آلومینیوم در غلظت‌های بسیار کم و حدوداً ۰/۰۲ درصد مذاب می‌تواند سبب تخلیه بهتر مذاب از سطح قطعات و افزایش درخشش پوشش‌های حاصله گردد. مقادیر جزئی سرب در حمام می‌تواند به منظور گلداری شدن پوشش، تخلیه بهتر ذرات ناخالصی و تفاله‌های ته حمام مذاب به کار رود. حضور آلومینیوم در غلظت‌های کمتر از ۰/۰۱ درصد معمولاً در حمام مذاب در روش‌های مختلف از جمله روش خشک و روش تر حفظ می‌شود. 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 می‌گردد.

ضخامت پوشش

علاوه بر ترکیب شیمیایی فلز پایه و پروفیل سطحی قطعات (زبری و غیره)، ضخامت پوشش به دست آمده در اثر گالوانیزاسیون گرم اساساً تابعی است از:

۱ زمان غوطه‌وری که ضخامت لایه آلیاژ را کنترل مینماید.

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، اساساً توسط ضخامت پوشش تعیین می‌گردد. مطالعات جامع بسیاری که در این زمینه انجام گرفته‌اند نشان می‌دهند، 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 می‌باشد. گاهی ضخامت پوشش بر حسب هزارم اینچ یا بر حسب میکرومتر داده می‌شود و گاهی به صورت درصدی از وزن فولاد پایه بیان می‌گردد.

تمیزکاری قطعات قبل از گالوانیزه کردن

هر یک از این 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 سانتی‌گراد چربی‌گیری می‌شوند و سپس توسط محلول‌های آبی اسیدسولفوریک در غلظت‌های ۳ تا ۱۰ درصد وزنی در دمای ۶۰ الی ۸۰ درجه سانتی‌گراد یا اسیدکلریدریک در غلظت‌های ۳ تا ۱۵ درصد وزنی و در دمای محیط (۲۴ تا ۳۸ درجه سانتی‌گراد) و اگر بالای این دما باشد بخارات آن باعث آلودگی محیط خواهد شد، جهت زدودن پوسته اکسیدی و زنگ‌زدگی قطعات فولادی، اسیدشویی می‌شوند. از آن جایی 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

شیمیایی کافی جهت تشکیل یک کف فعال در وجود دارد و قبل از وارد شدن به روی مذاب ابتدا دمای گالوانیزاسیون (۴۴۵ درجه سانتی‌گراد) را داشته باشد و بتواند عمل تمیزسازی را به درستی انجام دهد. یا اینکه حمام فلاکس به طور جداگانه از روی مذاب جداگانه

حمام گالوانیزاسیون

حمام روی مذاب معمولاً در دمای بین ۴۴۵ تا ۴۶۵ درجه سانتی‌گراد جهت کار تولیدی کنترل می‌شود. بسته به ترکیب شیمیایی فولاد یا چدن، دمای حمام مذاب روی می‌تواند 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 می‌کنند که به فرایند پلیگالوا معروف است. پلیگالوا اساساً آلیاژی از روی است که دارای مقادیر معین و کنترل شده‌ای از فلزات آلومینیوم، منیزیم، قلع و سرب می‌باشد. 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 کردن و خارج نمودن ورق یا قطعات از حمام مذاب

در گالوانیزاسیون قطعات پیش‌ساخته، ضخامت معمولاً توسط زمان غوطه‌وری کنترل می‌شود. به طور معمول زمان غوطه‌وری در محدوده ۱ الی ۵ دقیقه می‌باشد که سریع غوطه‌ور کردن (فروری) تأثیر زیادی در یکنواختی پوشش دارد. این امر مخصوصاً در مورد قطعات طویل که اختلاف زمانی در فروری ما بین نقاط ابتدایی و انتهایی آن زیاد است مهم‌تر بوده و باید بیشتر رعایت شود. به منظور ایجاد یک پوشش یکنواخت و با حداقل ضخامت، قطعات معمولاً با سرعت کم از دورن حمام مذاب بیرون کشیده می‌شوند. سرعت بیرون کشیدن که کنترل‌کننده ضخامت لایه غیرآلیاژی (روی خالص) باقی‌مانده 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 می‌باشد. در صنعت برای این منظور از جرثقیل‌های دو سرعت استفاده می‌شود که توسط این جرثقیل‌ها می‌توان قطعه کار را با سرعت زیاد وارد مذاب نمود و با سرعت کم از مذاب بیرون کشید. در مورد قطعات طویل که زمان بیرون کشیدن خیلی طولانی است، سرعت‌های بالا را می‌توان 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 می‌شوند و بلافاصله بعد از خروج از مذاب به داخل دستگاه سانتریفیوژ منتقل و چرخانده می‌شوند. بر طرف شدن روی موجود در سطح قطعه، موجب نازک شدن پوشش باقی‌مانده بر سطح، نسبت به حالت عادی می‌شود که این نازک شدن می‌تواند روی بسیاری از مشخصات پوشش تأثیر بگذارد. بعد از سانتریفیوژ، قطعات را به سرعت به داخل آب فرو می‌برند 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 متقابلاً 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°C سرد کرد و بلافاصله در آب سریع 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، بوته نمره ۵، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰٪)، حمام اسیدشویی (اسید کلریدریک ۱۵٪)، گیره، گرم‌کن، فولاد ST۳۷.

مراحل انجام آزمایش:

- ۱ ورق فولادی در اندازه 100×50 میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سمباده‌زنی انجام دهید.
- ۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰٪ و اسید نیتریک ۵۰٪ چربی‌زدایی و اکسیدزدایی کنید.
- نکته: مابین هر مرحله، دو مرحله آبکشی انجام شود.
- ۳ روی خالص را به مقدار ۱ کیلوگرم در بوته قرار داده و سپس مقدار ۱٪ وزنی نیز سرب به آن اضافه کنید و توسط کوره ذوب نمایید.
- ۴ ورق فولادی را در محلول فلاکس به مدت ۲ دقیقه نگهدارید.
- نکته: محلول فلاکس شامل کلرور روی (ZnCl_2) به مقدار ۴۵٪ وزنی و کلرور آمونیم (نشادر) (NH_4Cl) به مقدار ۵٪ و آب به مقدار ۵۰٪ تهیه شود که باید در دمای 50°C الی 60°C درجه سانتی‌گراد باشد.
- ۵ سپس ورق فولادی را تا دمای 50°C الی 80°C درجه سانتی‌گراد پیش گرم نمایید.
- نکته ایمنی: در صورتی که دمای پیش گرم کافی نباشد هنگام فروبری در مذاب سبب پاشش قطرات روی به اطراف و ایجاد حادثه می‌شود.
- ۶ ورق فولادی را به مدت ۱ دقیقه در حمام مذاب روی وارد نمایید.
- 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 نمایید.
- نکته: دمای آب باید بین 60°C الی 90°C درجه سانتی‌گراد باشد تا احتمال پیچیدگی یا پارگی قطعه در اثر خنک شدن بیش از حد زیاد نباشد.

▲ 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 نمایید و در انجام کار دقت لازم را انجام دهید.
- نکته: وجود جعبه کمک‌های اولیه، کپسول آتشنشانی و سایر موارد در آزمایشگاه الزامی می‌باشد.

از وسایل ایمنی جهت ذوب استفاده نمایید.

توجه داشته باشید که 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 نمایند. 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؟

همین کار را برای نمونه‌های مشابه در زمان غوطه‌وری ۱ دقیقه و ۳ دقیقه 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 مثل 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 قطعات پوشش 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 می‌باشد.

نکته ایمنی



نکته زیست محیطی



پرسش



فعالیت



اندازه‌گیری ضخامت پوشش

از آن جایی که عمر پوشش و دوام آن به ضخامت بستگی دارد، لذا لازم است با یکی از روش‌ها ضخامت آن تعیین شود. اگر ضخامت فلز پایه را دقیقاً بدانیم و ضخامت پوشش هم به حد کافی باشد می‌توانیم با وسایل عادی (از قبیل میکرومتر) ضخامت پوشش را تعیین کنیم. ایده‌آل 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 نمود.



شکل ۲۴- تصاویری از دستگاه ضخامت سنج

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 مانند می‌نمایند 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. در روش توزینی 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 توزین 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 اسید کلریدریک محتوی تریاکسیدآنتیموان و یا تریکلرور آن (که به عنوان ممانعت‌کننده عمل می‌کند) از روی فولاد زدود. برای ورق‌های فولادی بزرگ نیز قطعه کوچکی از آن را می‌برند و تنها 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>شرایط انجام کار: ۱- انجام کار در محیط کارگاه پوشش دادن ۲- نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳- تهویه استاندارد و دمای $20 \pm 3^{\circ}C$ ۴- ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵- وسایل ایمنی استاندارد ۶- زمان ۱۵۰ دقیقه</p>			
<p>مواد مصرفی: انواع اسید و محلول های شیمیایی - آند از جنس فلزات آبکاری - شمش روی - شمش قطع و ...</p>			
<p>ابزار و تجهیزات: 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>نمونه و نقشه کار: 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>معیار شایستگی :</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	
	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.

- ۱- برنامه درسی رشته متالورژی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و کارو دانش، 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.

