کتاب عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات

ایران استخدام

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن
و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس:آره ۰۲۱-۹۱۳۰۰۰۱۳ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir

Www.IranEstekhdam.Ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز متالورژی

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز متالورژی

خرید و دانلود

بسم الله الرحمن الرحیم

اَللّٰهُمَّ صَلِّ عَلٰی مُحَمَّدٍ وَ آلِ مُحَمَّدٍ وَ عَجِّلْ فَرَجَهُمْ

عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات

رشتهٔ متالورژی

گروه مواد و فراوری

شاخهٔ فنی و حرفه‌ای

پایهٔ دوازدهم دورهٔ دوم متوسطه

وزارت آموزش و پرورش
سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

نام کتاب: عملیات تغییرخواص متالورژیکی فلزات ـ ۲۱۲۵۳۵
پدیدآورنده: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی
مدیریت برنامه‌ریزی درسی و تألیف: دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای وکاردانش
شناسه افزوده برنامه‌ریزی و تألیف: حسن حامد، حسن طبیب‌زاده، امیر ریاحی، حسن عبداله‌زاده، محمد معتمدی، اسداله عابدی و غلامرضا خلج (اعضای شورای برنامه‌ریزی)
مهدی احمدی قراملکی، موسی بابازاده، بهرام شکریان و ابراهیم آقازاده (اعضای گروه تألیف)
مدیریت آماده‌سازی هنری: ادارهٔ کلّ نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی
شناسه افزوده آماده‌سازی: مجید ذاکری یونسی (مدیر هنری)ـ مریم کیوان (طراح جلد)ـ ایمان اوجیان (صفحه‌آرا) ـ سعید آقایی(رسام)
نشانی سازمان: تهران: خیابان ایرانشهر شمالی ـ ساختمان شمارهٔ ۴ آموزش و پرورش (شهیدموسوی)
تلفن: ۹ـ۸۸۸۳۱۱۶۱، **دورنگار:** ۸۸۳۰۹۲۶۶، **کد پستی:** ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹
وب سایت: www.chap.sch.ir و www.irtextbook.ir
ناشر: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران: تهران ـ کیلومتر ۱۷ جادهٔ مخصوص کرج ـ خیابان ۶۱ (داروپخش)
تلفن: ۵ ـ۴۴۹۸۵۱۶۱، **دورنگار:** ۴۴۹۸۵۱۶۰، **صندوق پستی:** ۱۳۹ـ ۳۷۵۱۵
چاپخانه: شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران «سهامی خاص»
سال انتشار و نوبت چاپ: چاپ هشتم ۱۴۰۴

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 به‌صورت چاپی و الکترونیکی و ارائه در پایگاه‌های مجازی، نمایش، اقتباس، تلخیص، تبدیل، ترجمه، عکس‌برداری، 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.

شابک ۴- ۳۱۹۱ - ۰۵ - ۹۶۴ - ۹۷۸ **ISBN 978 – 964 – 05 – 3191–4**



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 (قُدِّسَ سِرُّهُ)

فهرست

پودمان ۱: آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه) ۹

پودمان ۲: آزمایش‌های متالوگرافی ۵۹

پودمان ۳: سخت‌کاری ۹۳

پودمان ۴: عملیات حرارتی آنیل و نرماله ۱۴۱

پودمان ۵: خوردگی و پوشش دهی ۱۶۱

منابع ۲۰۸

سخنی با هنرجویان عزیز

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

۱. شایستگی‌های فنی برای جذب در بازار کار مانند توانایی عملیات حرارتی
۲. شایستگی‌های غیر فنی برای پیشرفت و موفقیت در آینده مانند نوآوری و مصرف بهینه
۳. شایستگی‌های فناوری اطلاعات و ارتباطات مانند کار با نرم افزارها
۴. شایستگی‌های مربوط به یادگیری مادام‌العمر مانند کسب اطلاعات از منابع دیگر

براین اساس دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش مبتنی بر اسناد بالادستی و با مشارکت متخصصان برنامه‌ریزی درسی فنی و حرفه‌ای و خبرگان دنیای کار مجموعهٔ اسناد برنامه درسی رشته‌های شاخهٔ فنی و حرفه‌ای را تدوین کرده‌اند که مرجع اصلی و راهنمای تألیف کتاب‌های درسی هر رشته است.

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

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

همچنین علاوه بر کتاب درسی شما امکان استفاده از سایر اجزای بسته آموزشی که برای شما طراحی و تألیف شده است، وجود دارد. یکی از این اجزای بسته آموزشی کتاب همراه هنرجو 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.

فعالیت‌های یادگیری در ارتباط با شایستگی‌های غیرفنی از جمله مدیریت منابع، اخلاق حرفه‌ای، حفاظت از محیط‌زیست 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 بنابراین توصیه‌های هنرآموز محترمتان در خصوص رعایت مواردی که در کتاب آمده است را در انجام کارها جدی بگیرید.

امیدواریم با تلاش و کوشش شما هنرجویان عزیز و هدایت هنرآموزان گرامی، 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

سخنی با هنرآموزان گرامی

در راستای تحقق اهداف سند تحول بنیادین آموزش و پرورش و برنامه درسی ملی جمهوری اسلامی ایران و نیازهای متغیر دنیای کار و مشاغل، برنامـه درسی رشته متالورژی طراحی و بر اساس آن محتوای آموزشی نیز تألیف گردید. کتاب حاضر از مجموعه کتاب‌های کارگاهی می‌باشد که برای سال دوازدهم تدوین و تألیف گردیده است. این کتاب دارای ۵ پودمان است که هر پودمان از یک یا چند واحد یادگیری تشکیل شده است. همچنین ارزشیابی مبتنی بر شایستگی از ویژگی‌های این کتاب می‌باشد که در پایان هر پودمان شیوه ارزشیابی آورده شده است. هنرآموزان گرامی باید برای هر پودمان یک نمره در سامانهٔ ثبت نمرات برای هر هنرجو ثبت کنند. نمره قبولی در هر پودمان حداقل ۱۲ است و نمرهٔ هر پودمان از دو بخش تشکیل می‌گردد که شامل ارزشیابی پایانی در هر پودمان و ارزشیابی مستمر برای هریک 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 بستهٔ 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 نمرهٔ ۵ پودمان بوده است و در هنگام آموزش و سنجش و ارزشیابی پودمان‌ها و شایستگی‌ها، می‌باید به استاندارد ارزشیابی پیشرفت تحصیلی منتشر شده توسط سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی مراجعه گردد. رعایت ایمنی و بهداشت، شایستگی‌های غیرفنی و مراحل کلیدی براساس استاندارد از ملزومات کسب شایستگی هستند. همچنین برای هنرجویان تبیین شود که نمرهٔ این درس با ضریب ۸ در معدل کل محاسبه می شود و دارای تأثیر زیادی است.

کتاب شامل پودمان‌های زیر است:

پودمان اول: آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه)

پودمان دوم: آزمایش‌های متالوگرافی

پودمان سوم: سخت‌کاری

پودمان چهارم: عملیات حرارتی آنیل و نرماله

پودمان پنجم: خوردگی و پوشش‌دهی

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

دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش

نظرسنجی کتاب درسی

پودمان اول

آزمایشگاه مواد قالب‌گیری (آزمایش‌های ماسه)



واحد یادگیری: آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

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

استاندارد عملکرد

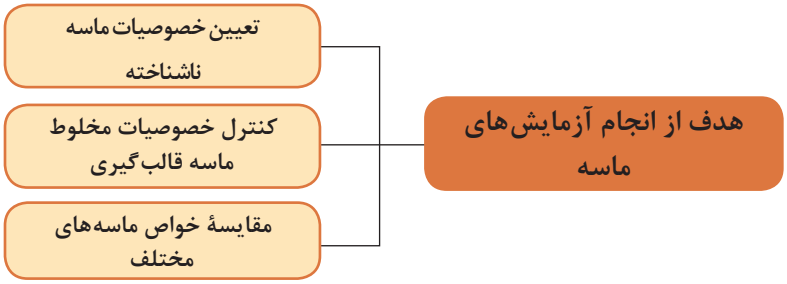
انجام آزمایشات مربوط به ماسه با استفاده از ابزار و تجهیزات مربوطه بر اساس استانداردهای مرتبط.

پیش‌نیاز و یادآوری

آشنایی با انواع ماسهٔ قالب‌گیری و نحوهٔ ساخت مخلوط ماسه قالب‌گیری.

تعیین خواص و مشخصات ماسه ریخته‌گری (آزمایش‌های ماسه قالب‌گیری)

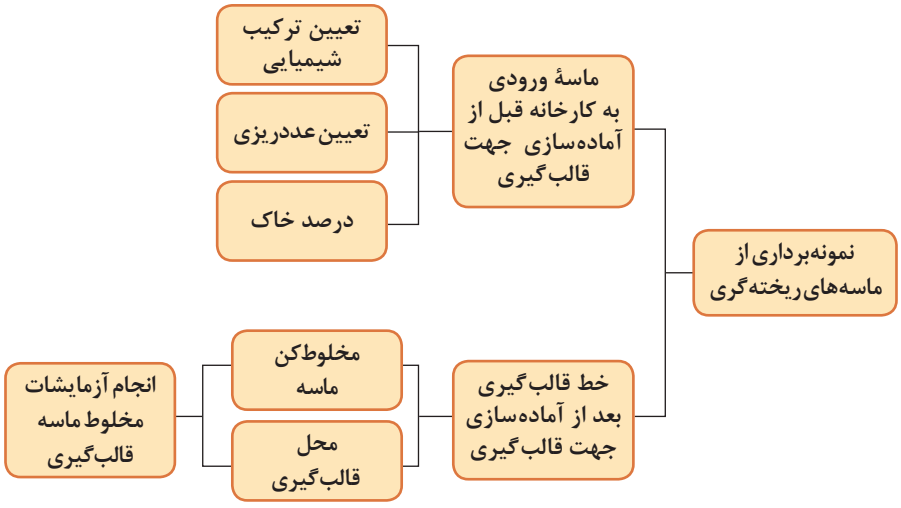
ماهیت و طبیعت ماسهٔ قالب‌گیری را می‌توان به کمک نتایج آزمایش‌های استاندارد ماسه تشریح و توصیف کرد. جزییات کامل آزمایش‌ها، روش و تجهیزات مورد نیاز برای هر آزمایش مشخص و تبیین شده است و هر آزمایش به‌صورت استاندارد و به‌شکل معین اجرا می‌شود.



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

نمونه‌برداری از ماسه‌های ریخته‌گری

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



مقدار ماسه‌ای که به عنوان نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرد باید به اندازه‌ای باشد که برای انجام کلیهٔ آزمایش‌های مورد نظر کفایت کند.
نمونه‌های ماسه نباید در ظروف سرباز قرار داده شوند و جابه‌جا گردند. پاکت‌ها و ظروف پلاستیکی در بسته یا انواع دیگر ظروف ضدزنگ توصیه شده است تا از آلودگی ماسه به رطوبت و مرطوب شدن آن و نیز بالعکس از کاهش رطوبت ماسهٔ نمونه جلوگیری به عمل آید.
نکتهٔ مهم دیگر اینکه نمونه‌های برداشته شده از تودهٔ ماسه باید به سرعت و در اولین فرصت تحت آزمایش قرار گیرند تا از ارتباط ما بین خواص نمونه‌ها و تودهٔ ماسه یا ماسه‌ای که در سیستم قالب‌گیری به‌کار می‌رود اطمینان حاصل شود. از آنجا که رطوبت بر روی خواص ماسه اثر قطعی دارد، این نکته اهمیت دارد که میزان رطوبت نمونهٔ ماسه معادل میزان رطوبت تودهٔ ماسه اولیه باشد.
لازم به ذکر است که برای بررسی تودهٔ ماسه یا انباشته، نمونه‌برداری از ابتدا، وسط و انتهای توده انجام می‌شود.

نکته

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

تهیه نمونهٔ استاندارد: در کنترل کیفیت مخلوط ماسه قالب‌گیری آزمایش‌های استحکام فشاری‌تر و خشک، استحکام کششی‌تر و خشک، استحکام برشی‌تر و خشک، قابلیت عبور گاز و تعیین متلاشی شدن و خرد شوندگی ماسه نقش ویژه‌ای دارند. برای انجام کلیهٔ آزمایش‌ها نمونه استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ (۵/۰۸ سانتی‌متر) از مخلوط ماسه قالب‌گیری تهیه می‌شود. به‌دلیل اهمیت این نمونهٔ استاندارد ضروری است که تهیهٔ آن با دقت کافی صورت گیرد.

نکات مهم در تهیهٔ نمونه استاندارد

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

- نمونهٔ ماسه باید از خط قالب‌گیری تهیه شود و استفاده از ماسه‌ای که در معرض هوا قرار گرفته توصیه نمی‌شود.
- نمونهٔ ماسه باید از الک $\frac{۱}{۴}$ 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 نمونهٔ استاندارد، دستگاه نمونه‌ساز (کوبه آزمایشگاهی) مطابق شکل (۱) به‌کار 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 سازندهٔ دستگاه به همراه آن ارائه می‌شود. ولی درهرحال برای تهیهٔ یک نمونهٔ دقیق باید نکات زیر را رعایت کرد:



شکل ۱ـ دستگاه کوبه آزمایشگاهی

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

فعالیت کارگاهی ۱

نمونه‌برداری از مخلوط ماسهٔ قالب‌گیری

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

۱ـ نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف تودهٔ ماسه انباشته (قبل از آماده سازی مخلوط ماسه)

۲ـ نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف مخلوط ماسه‌ای که در کارگاه ریخته‌گری برای قالب‌گیری به‌کار می‌رود (ماسه دان کارگاه)

۳ـ 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 نمونهٔ استاندارد استوانه‌ای با قطر و ارتفاع ۲ اینچ از ماسه‌های نمونه‌برداری شده تهیه کرده و سپس کیفیت و استحکام نسبی نمونه‌های تهیه شده را با یکدیگر مقایسه کرده و در جدول زیر یادداشت کرده و نتیجه را به‌صورت گزارش کار ارائه دهید.

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

پرسش

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

۲ به نظر شما عدم نمونه‌برداری صحیح از مخلوط ماسه قالب‌گیری ممکن است باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریختگی شود؟

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

آزمایش‌های مخلوط ماسه قالب‌گیری

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

آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

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

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

- استحکام
- نفوذپذیری
- کارپذیری
- هزینهٔ آماده‌سازی ماسه
- سطح نهایی قطعات ریختگی

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

حفظ خواص یکنواخت در ماسهٔ مورد مصرف	راهنمایی برای نسبت صحیح مواد ریز و توزیع صحیح اندازه دانه‌های ماسه
مبنایی برای بیان مشخصات ماسه به هنگام سفارش خرید	راهنمایی برای مقدار چسب مورد نیاز در ماسهٔ جدید

روش انجام کار: روش آزمایش عدد ریزی برای ماسه‌هایی که حاوی مواد چسبندهٔ 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 جامعهٔ ریخته گران آمریکا (American Foundry Society) آمده است.

در سیستم جامعهٔ ریخته گران آمریکا (AFS) سیستم آزمایش از ۱۴ غربال (الک) تشکیل شده است که درشت‌ترین غربال آن تحت شمارهٔ ۴، در هر اینچ طولی دارای ۴ سوراخ و ریزترین غربال آن تحت شمارهٔ 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.

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

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

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

در رده بندی الک‌ها یک نسبت ثابت بین اندازه‌های مختلف وجود دارد. این نسبت ثابت برابر ۱٫۴۱۴ یا ریشهٔ دوم عدد ۲ است. مثلاً در رده بندی سری الک‌های استاندارد آمریکایی، اندازهٔ ضلع یا سوراخ یک الک معادل ۱٫۴۱۴ برابر اندازهٔ سوراخ الک پایینی است. به عبارت دیگر در این سری الک‌ها، اندازهٔ مساحت و سوراخ یک الک معادل نصف مساحت سوراخ الک بالایی است. هریک از الک‌های موجود در یک سری از الک‌های استاندارد با یک شمارهٔ 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 محاسبهٔ عدد ریزی از آن استفاده می‌شود. معمولاً یک درپوش بر روی بالاترین الک در سری الک‌ها قرار می‌گیرد و یک کفه در زیر پایین‌ترین الک (الک شماره ۲۷۰ در استاندارد آمریکا) قرار داده می‌شود تا موادی که از آخرین الک عبور می‌کند، در آن جمع شود.

وسایل مورد نیاز انجام آزمایش

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



شکل ۲ـ دو نمونه از دستگاه‌های تعیین عدد ریزی ماسه

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



ب الف

شکل ۳ـ الف) ترازوی دیجیتالی ب) ترازوی مکانیکی

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



شکل ۴ـ برس‌های مخصوص تمیز کردن الک‌های آزمایشگاهی

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

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

نکته

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

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

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

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

نکته

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 شبکهٔ هر الک استفاده شود.

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 برروی همه الک‌ها بعلاوهٔ جرم ماسهٔ باقی‌مانده بر کفه باید برابر جرم نمونهٔ 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 رابطهٔ زیر تعیین شود:

$$g_i = \text{(درصد باقی‌مانده بر روی هر الک)} = \frac{\text{جرم مواد باقی‌مانده در هر الک}}{\text{جرم نمونه اولیه}} \times ۱۰۰$$

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 رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

$$\text{(عدد ریزی ماسه)}\ a = \frac{\text{مجموع حاصل ضرب درصد باقی‌مانده بر روی هر الک در ضریب آن الک}}{\text{مجموع درصد باقی‌مانده بر روی کلیه الک‌ها و کفه}} = \frac{\sum ai\ gi}{\sum gi}$$

ai: ضریب الک gi: درصد جرم ماسه باقی‌مانده در هر الک a: عدد ریزی Σ: مجموع چند کمیت

مثال زیر نحوهٔ محاسبهٔ 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: ۶/۳ گرم معادل ۱۲/۶ درصد
مقدار دانه‌های ماسه: ۴۳/۷ گرم معادل ۸۷/۴ درصد.

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

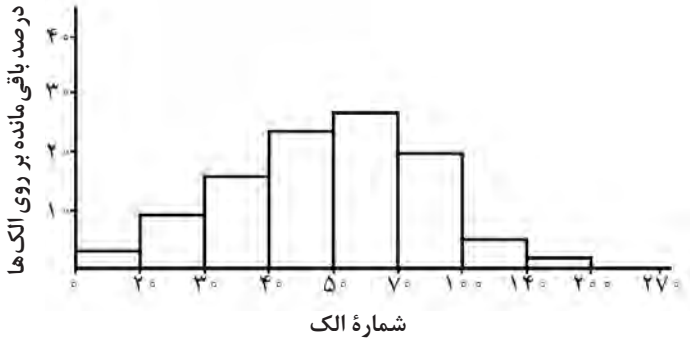
شماره سری الک استاندارد آمریکا	جرم باقی‌مانده بر روی هر الک (گرم)	درصد باقی‌مانده بر روی هر الک gi	ضریب الک ai	حاصل ضرب ai و gi
۶	۰	۰/۰	۳	۰
۱۲	۰	۰/۰	۵	۰
۲۰	۰	۰/۰	۱۰	۰
۳۰	۰	۰/۰	۲۰	۰
۴۰	۰/۲	۰/۴	۳۰	۱۲
۵۰	۰/۶۵	۱/۳	۴۰	۵۲
۷۰	۱/۲	۲/۴	۵۰	۱۲۰
۱۰۰	۲/۲	۴/۴	۷۰	۳۰۸
۱۴۰	۸/۲	۱۶/۴	۱۰۰	۱۶۴۰
۲۰۰	۱۱/۰۵	۲۲/۱	۱۴۰	۳۰۹۴
۲۷۰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

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

$$a = \frac{\sum ai\ gi}{\sum gi} = \frac{۱۴۲۶۶}{۸۷/۴} = ۱۶۳/۲$$

نتیجه‌گیری و بحث

روش‌های مختلفی برای بیان نتایج و ارائهٔ وضعیت عددریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پر کاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقی‌مانده به‌صورت ستونی است، بدین‌ترتیب که درصد باقی‌مانده بر روی هر الک محاسبه شده و ستونی متناسب با مقدار آن در نقطهٔ شمارهٔ الک رسم می‌شود. از چنین نموداری که نمونه‌ای از آن در شکل (۵) آمده است، می‌توان چند الکه بودن ماسه را تعیین کرد. هر یک از الک‌ها که درصد باقی‌مانده ماسه بر روی آن بیش از ۱۰ درصد باشد یک الک محسوب می‌شود و مجموع تعداد این‌گونه الک‌ها مشخص‌کنندهٔ چند الکه بودن ماسهٔ مورد آزمایش است. به شرط آنکه مطابق استاندارد (AFS) مجموع درصد باقی‌مانده بر روی همهٔ الک‌های نام برده شده بیش از ۷۵ درصد باشد. به عنوان نمونه مثال آورده شده در این آزمایش که عددریزی (AFS) آن حدوداً ۱۶۳/۲ محاسبه شد، یک ماسهٔ چهار الکه است (در حقیقت ۳ الک و یک کفه).



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

نکته

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

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

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

جدول ۳ــ درصد باقی‌مانده بر روی هر الک برای دو ماسه با عددریزی یکسان و توزیع اندازه متفاوت

شمارهٔ الک استاندارد آمریکا	درصد باقی‌مانده (ماسهٔ الف)	درصد باقی‌مانده (ماسهٔ 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
عددریزی (AFS)	۶۰	۶۰

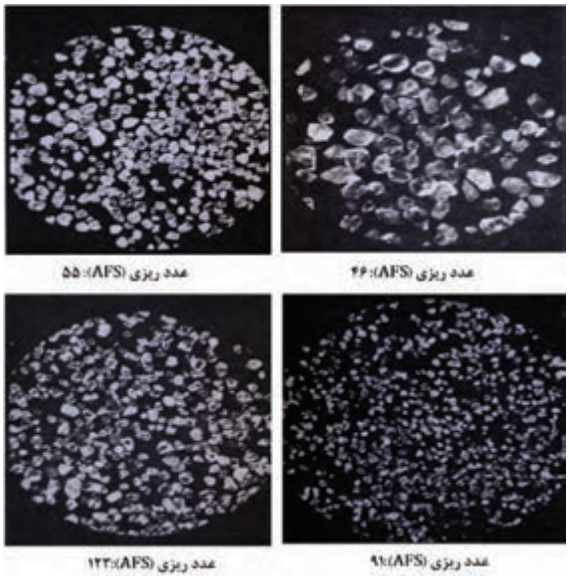
جدول شماره (۴) نیز نتایج آزمایش تفکیک با الک و عدد ریزی سه نوع ماسه را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود ماسهٔ دریاچه دارای عدد ریزی (AFS) معادل ۶۵ است و سه الکه است. ماسهٔ انباشته مورد آزمایش چهار الکه و عدد ریزی(AFS) آن معادل ۸۸/۱ است، برای تهیهٔ ماسه‌ای که از نظر وضعیت دانه‌بندی مابین دو ماسه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

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

نوع ماسه / شمارهٔ الک	ماسهٔ دریاچه (درصد باقی‌مانده)	ماسهٔ انباشته (درصد باقی‌مانده)	ماسه‌ای مرکب از ۶۰٪ ماسهٔ دریاچه و ۴۰٪ ماسهٔ 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
عددریزی (AFS)	۵۶	۸۸/۱	۶۸/۷

اندازه و پخش ذرات ماسه بسیاری از خواص مخلوط ماسهٔ قالب‌گیری را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ذرات ریز ماسه در حالی‌که سطوح صافی را در قالب به‌وجود می‌آورند باعث کاهش قابلیت نفوذ گاز می‌شوند. اما ذرات درشت از دیرگدازی و قابلیت نفوذ گاز بیشتری برخوردار هستند. از طرفی ذرات درشت از استحکام کمتری برخوردار می‌باشند. به همین دلیل اکثر ماسه‌های ریخته‌گری به منظور قابلیت نفوذ گاز و استحکام کافی و دیرگدازی مناسب از چند ماسه با اندازه دانهٔ مختلف تشکیل می‌شوند. لازم به توضیح است که شکل ذرات ماسه ممکن است کروی، گوشه‌دار و یا حالتی بین آن دو داشته باشند، معمولاً ماسه‌های کروی از قابلیت نفوذ عالی، استحکام و شکل‌پذیری کمتری برخوردارند در حالی‌که ماسه‌های گوشه‌دار استحکام و شکل‌پذیری خوبی داشته ولی قابلیت نفوذ نامطلوبی دارند. در عمل به دلیل فراهم کردن مجموعهٔ مناسبی از خواص ذکر شده معمولاً از ماسه‌هایی با شکل‌های مختلف (نیمه‌گوشه‌دار) استفاده می‌شود. در شکل (۶) تصاویر میکروسکوپی نمونه‌هایی از ماسه‌های نیمه گوشه دار مورد استفاده در ریخته‌گری با عدد ریزیِ مختلف آورده شده است.

به‌طـور کلـی و بـا توجه به مباحث ذکر شـده، چنین اسـتنباط می‌شـود که، اندازه و پخش ذرات ماسـه و شـکل آنهـا مجموعـاً خـواص عمومی ماسـه از نظر دیرگدازی، شـکل پذیری، قابلیـت نفوذ گاز و صافی سـطوح قالب را تحـت تأثیـر قـرار می‌دهنـد و بـه همین دلیل آزمایـش تعیین انـدازه و پخش ذرات ماسـه یکـی از آزمایش‌های اولیـه و مهـم در تعیین خواص مواد قالب اسـت.



شکل ۶ــ تصاویر میکروسکوپی چند نمونه ماسهٔ نیمه گوشه دار

فعالیت کارگاهی ۲

انجام آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه:

پـس از تشـکیل گروه‌هـای دو یـا سـه نفـره از ماسـه‌های قالب‌گیـری و ماهیچه‌گیـری موجـود در کارگاه ریخته‌گـری بـا رعایـت نـکات ایمنـی نمونه‌بـرداری کنیـد.

در صـورت امـکان از ۲ یـا ۳ نـوع ماسـهٔ مختلـف (ماننـد ماسـهٔ سیلیسـی طبیعـی و مصنوعـی و ماسـه کرومیتـی یـا زیرکنـی) نمونه‌بـرداری شـود کـه امـکان مقایسـه نتایـج وجـود داشـته باشـد. سـپس آزمایش را مطابـق دسـتور کار گفتـه شـده بـرای هریـک از ماسـه‌ها انجـام دهیـد. و بـا توجـه بـه سـری الک‌هـای موجـود در آزمایشـگاه، جـدول مربـوط بـه نتایـج هـر ماسـه را تنظیـم کـرده و از روی آن "عـدد ریـزی ماسـه" و "چنـد الکـه بـودن" هـر ماسـه را تعییـن کـرده و سـپس نحـوهٔ توزیـع ذرات را به‌صـورت نمـودار بـرای هـر کـدام ترسـیم کـرده و نتیجـه را به‌صـورت گـزارش کار ارائـه دهیـد.

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 به‌کار 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.

نکته زیست محیطی

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

آزمایش تعیین مقدار خاک رس



شکل ۷ــ نمونه‌ای از خاک رس

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

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

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

ج) اگر خاک رس به دمای خیلی بالا برده شود، کلسینه می‌شود و از بین می‌رود و در آن صورت با افزودن آب نمی‌توان آن را دوباره شکل‌پذیر ساخت. دمای کلسینه شدن برای انواع مختلف خاک رس متفاوت است.

از نقطه نظر تهیهٔ مخلوط ماسه قالب‌گیری، مهم‌ترین خاصیت خاک رس تشکیل ساختمان لایه‌ای نازک و توانایی جذب یون‌های فلزی و آب است. لایه‌های خاک رس بسیار نازک (در حدود ۱۵ تا ۳۰ آنگستروم) است و به سهولت یون‌های فلزی را جذب می‌کند و سپس آب بر روی این یون‌ها جذب می‌شود. آب جذب شده یک ذره خاک رس را به دیگری اتصال می‌دهد و لایه‌های خاک رس از طریق آب بر روی سطوح ماسه اصلی گسترده می‌شوند و به کمک نیروهای مولکولی اتصال لازم را فراهم می‌سازند. در حقیقت رطوبت کافی ماسه (آب فیزیکی) عامل یونیزه شدن آب تبلور (آب مولکولی) خاک رس می‌شود.

خاک رس خالص یا کائولن دارای ترکیب متبلور آلومینیوم سیلیکات ($Al_2O_3 . 2SiO_2 . 2H_2O$) 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 است و در ریخته‌گری به‌کار می‌رود. از نقطه نظر قالب‌گیری مهم‌ترین خاصیت خاک‌ها جذب آب است که پس از یونیزاسیون تولید یون‌های $2H^+$ 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 می‌کنند. باید توجه داشت که عمل یونیزاسیون در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود. بنابراین کنترل آن اهمیت زیادی دارد. به عبارت دیگر می‌توان گفت که خاک رس در آب و رطوبت ماسه فعال می‌شود.
به‌طور کلی میزان خاک مخلوط ماسه قالب‌گیری به ذراتی اطلاق می‌گردد که قطر آنها کمتر از ۰/۰۰۲ میلی‌متر باشد. در مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری که حاوی بنتونیت و پودر زغال غیرفعال است این ذرات نیز همراه با خاک واقعی مخلوط خارج می‌شوند، بنابراین برای اندازه‌گیری میزان واقعی خاک باید به این مسئله توجه کرد.

وسایل مورد نیاز جهت تعیین مقدار خاک رس ماسه

۱ **ترازوی دقیق دیجیتالی:** جهت توزین نمونه‌های مورد آزمایش از یک ترازوی دقیق دیجیتالی با دقت یک صدم گرم استفاده می‌شود.
۲ **خشک کن ماسه (آون):** از این کوره جهت خشک کردن نمونه‌های مورد آزمایش استفاده می‌شود. این خشک‌کن‌ها که معمولاً به آنها آون نیز گفته می‌شود در انواع و مدل‌های مختلفی وجود دارند. این کوره‌ها دارای محفظه استیل بوده و مجهز به زمان سنج و چند عدد سینی استیل جهت قرار دادن نمونه‌ها هستند که توسط المنت‌های اطراف محفظه، ایجاد حرارت قابل کنترل ۵۰ الی ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس با دقت ۱۰ ± درجهٔ سلسیوس کرده که جهت خشک کردن نمونه‌های آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۸) نمونه‌ای از این کوره‌ها نشان داده شده است.



شکل ۸ـ خشک‌کن (آون)

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



الف) دستگاه شست‌وشوی خودکار ب) دستگاه شست‌وشوی معمولی

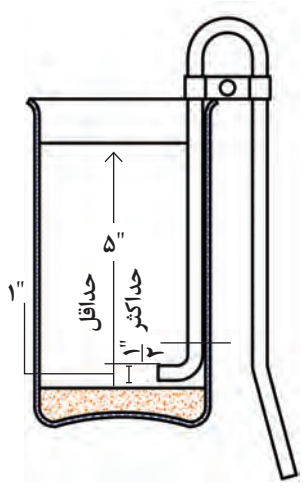
شکل ۹ــ دو نمونه از دستگاه‌های شست‌وشوی ماسه

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

۵ **میلهٔ شیشه‌ای جهت هم زدن محلول آب و ماسه.**

۶ **قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی.**

۷ **تایمر.**



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

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

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

به منظور اطمینان از خشک شدن کامل ماسه و نیز سهولت کار، بهتر است ماسه در سطح وسیعی گسترده شود به‌طوری‌که فقط لایهٔ نازکی از آن در هر ناحیه از سطح موجود باشد و رطوبت به آسانی در مدت موردنظر 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 ۴۷۵میلی‌لیتر آب مقطر ۲۵ درجهٔ سلسیوس به ماسه اضافه کنید، دقت داشته باشید که آب اضافه شده خنثی باشد زیرا در غیر این صورت در تعیین مقدار خاک رس خطای قابل توجهی ظاهر می‌شود.

۴ پـس از افـزودن آب مقدار ۲۵ میلی‌لیتر از یک محلول اسـتاندارد ۱/۵ درصد پیروفسـفات ($Na_4P_2O_7$) به‌محلول اضافه کنید.

نکته

افزودن محلول استاندارد ۱/۵ درصد پیروفسفات ($Na_4P_2O_7$) 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 سدیم هیدروکسید یا سود سوزآور (NaOH) نیز برای جلوگیری از کلوخه شدن ذرات استفاده می‌شود ولی ترکیب ترا سدیم پیروفسفات بر سدیم هیدروکسید ارجحیت دارد زیرا سدیم هیدروکسید باعث ژلاتینی شدن ماسه شده و در نتیجه از رسوب صحیح و کامل ذرات ماسه جلوگیری می‌کند.

۵ پـس از افـزودن آب مقطـر و محلـول ترا سـدیم پیروفسـفات درپوش دسـتگاه شست‌وشـوی ماسـه را محکم بسـته و دسـتگاه را بـه مـدت یک سـاعت بـا سـرعت ۶۰ دور بر دقیقه بـه چرخـش در بیاورید.

۶ پس از مدت زمان یک سـاعت دسـتگاه شست‌وشـوی ماسـه را خاموش کرده و سـپس، ماسـه‌ای را که هم‌زده شـده را وارد بِشـر کـرده و بـر روی آن آب مقطـر بریزیـد به‌طـوری کـه ارتفاع آب به حدود ۱۵ سـانتی‌متر برسـد. شـرایط بایـد به‌گونـه‌ای باشـد که کلیـه ذرات موجود در محلول بـه خوبی مخلوط و در هم باشـند.

۷ سـپس بِشـر را روی سـطح صـاف و تـراز یـک میز قـرار داده و به مـدت ۱۰ دقیقه (توسـط زمان‌سـنج) اجازه دهید تا ذرات ماسـه رسـوب کنند. در چنین شـرایطی ذرات خاک معلق خواهند بود و می‌توانیم با یک سـیفون مطابق شـکل (۱۰) که ارتفاعش ۱۲/۵ سـانتی‌متر اسـت مایع بِشـر را تخلیه کنیم.

۸ مجدداً آب مقطر به بِشـر اضافه کنید و توسـط یک میله شیشـه‌ای هم زدن محلول را انجام دهید. ۱۰دقیقه برای رسـوب ذرات فرصت داده و دوباره آب را به کمک سـیفون تا عمق ۱۲/۵ سـانتی‌متری 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 را آن‌قدر 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. این‌گونه ذرات دارای قطری معادل ۲ میکرون یا کوچک‌تر از آن هستند و خاک‌رس (Clay) محسوب می‌شوند.

۹ پـس از تکمیـل مراحـل بـالا آب داخل بشـر را روی کاغـذ صافی که بر روی یک قیف شیشـه‌ای گذاشـته شـده بریزیـد و صبـر کنیـد تا آب کامـلاً از کاغذ صافی عبور کند، سـپس ماسـهٔ باقی‌مانـده روی کاغذ صافی خشـک کـرده و با تـرازوی دیجیتالی دقیـق جرم ماسـه را تعیین کنید.

۱۰ اختـلاف بیـن وزن ماسـهٔ خشک شـدهٔ باقی‌مانـده و نمونـهٔ اولیه، مقدار خـاک رس را نشـان می‌دهد. پس از تعییـن مقـدار خـاک رس، میـزان آن معمـولاً به‌صورت درصد بیان می‌شـود.

میزان خاک رس مخلوط ماسه قالب‌گیری با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

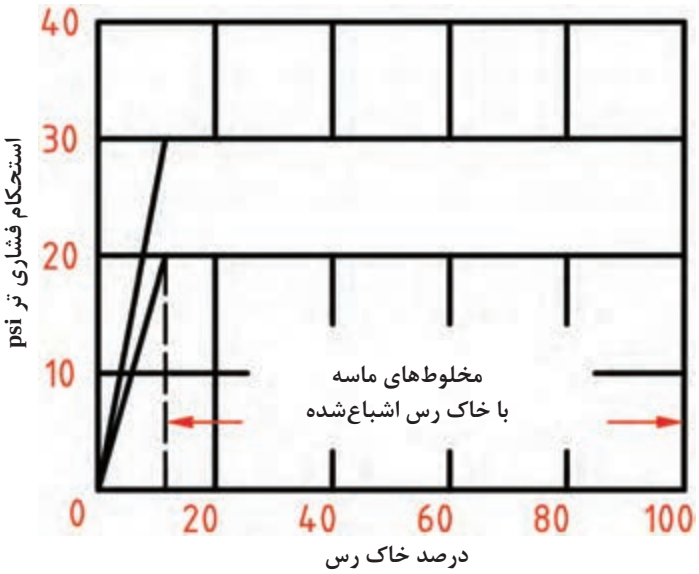
$$\text{درصد خاک ماسه} = \frac{\text{جرم ماسه بعد از آزمایش} - \text{جرم اولیهٔ ماسه}}{\text{جرم اولیهٔ ماسه}} \times ۱۰۰$$

نتیجه‌گیری و بحث

میـزان خـاک رس موجـود در مخلوط‌های ماسـه قالب‌گیری با چسـب خـاک رس بر روی بسـیاری از خواص فیزیکـی ماسـه ریخته‌گـری تأثیـر دارد. به‌طـوری کـه مقـدار خـاک رس موجـود در ماسـه بـه شـرط آنکـه رطوبـت کافـی بـرای فعال شـدن خاک رس وجود داشـته باشـد، تعیین‌کنندهٔ اسـتحکام و نفوذپذیری ماسـه ریخته‌گـری اسـت. همچنیـن اطـلاع از میـزان خـاک رس می‌توانـد امـکان پیش‌بینـی خصوصیات ماسـه را فراهم سـازد.

به‌طورکلـی ماسـه‌های قالب‌گیـری را می‌تـوان براسـاس میـزان خـاک رسـی کـه بـه همـراه دارنـد بـه دو صـورت ماسـهٔ اشـباع شـده از خـاک رس یـا ماسـه اشـباع نشـده از خـاک رس دسـته‌بندی کـرد.

ماسـهٔ اشـباع شـده از خـاک رس، ماسـه‌ای اسـت کـه حـاوی مقـدار بسـیار زیـادی از خـاک رس اسـت به‌طوری‌کـه افزایـش بیشـتر خـاک رس به آن باعث افزایش اسـتحکام فشـاری تر چنین ماسـه‌ای نمی‌شـود. ایـن مطلـب در شـکل شـماره (۱۱) به‌صـورت یـک نمـودار نشـان داده شـده اسـت، درایـن نمـودار حداکثر اسـتحکام فشـاری تـر بـر حسـب درصد خاک رس ترسـیم شـده اسـت.



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

از بررسـی نمـودار شـکل (۱۱) نتیجـه می‌شـود که وقتی مقدار خـاک رس موجود به یک حد خـاص افزایش یابد و ماسـه بـه حالـت اشـباع از خاک رس برسـد، ادامهٔ افزایـش خاک رس اثری بر اسـتحکام نهایی نخواهد داشـت. همچنیـن منطقـهٔ پهن شـده نمودار، تغییرات حداکثر اسـتحکام فشـاری‌تر را کـه بر اثر خلوص خـاک رس و نوع آن، وضعیـت انـدازه و توزیـع دانه‌ها و دیگر عوامل مشـابه پدید آمده اسـت نشـان می‌دهد.

فعالیت کارگاهی ۳

تعیین میزان خاک رس ماسهٔ قالب‌گیری

پـس از تشـکیل گروه‌هـای سـه یـا چهـار نفـره ماسـه‌های قالب‌گیـری موجـود در کارگاه ریخته‌گـری را نمونه‌بـرداری کنیـد و آزمایـش را مطابق دسـتور کار گفته شـده انجـام داده و نتیجه را به‌صـورت گزارش‌کار ارائـه دهید.

نکته

- قبل از شروع و انجام آزمایش از سالم بودن و آماده به‌کار 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 تهیهٔ محلول استاندارد پیروفسفات یا سود سوزآور حتماً از دستکش پلاستیکی و ماسک تنفسی استفاده کنید و حتی‌الامکان محلول را زیر هود آزمایشگاهی تهیه کنید.

پرسش

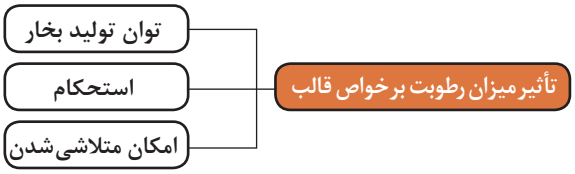
میزان بهینهٔ خاک رس در یک ماسهٔ ایدئال ریخته‌گری چه مقدار است؟ کم یا زیاد بودن آن چه تأثیراتی می‌تواند بر خواص قالب داشته باشد؟

بحث گروهی

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

آزمایش‌های تعیین رطوبت

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



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

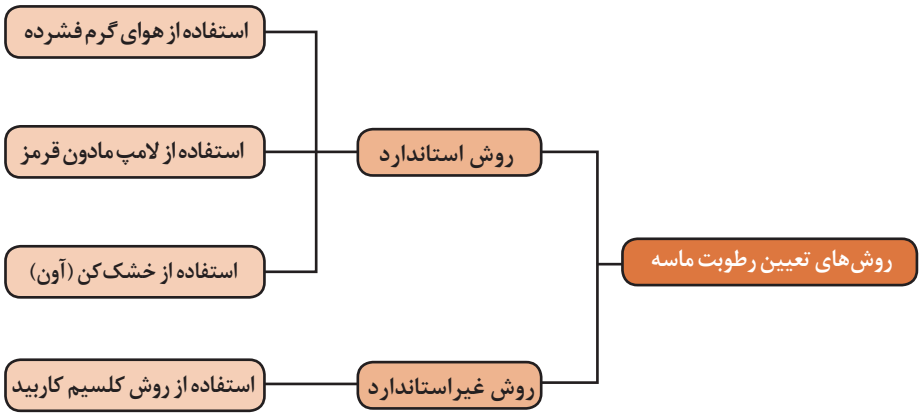
۱ **اطمینان پیدا کردن از حصول خواص چسبندگی بالا:** در صورت افزایش درصد آب، تمامی خواص استحکامی به شدت کاهش پیدا می‌کند. در صورت پایین بودن استحکام فشاری تر احتمال تخریب قالب در حین حمل و نقل بیشتر می‌شود.

۲ **به‌دست آوردن قابلیت پلاستیسیته (شکل‌پذیری) مناسب در ماسهٔ 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 به‌وجود آمدن قالب‌هایی با فشردگی بسیار زیاد:** با افزایش درصد آب، سرعت فشرده شدن ماسه قالب‌گیری افزایش پیدا می‌کند.

۴ **اطمینان از به حداقل رساندن گاز تولید شده در هنگام ریخته‌گری:** حجم گاز تولید شده از ماسهٔ تر و بعد از ریخته‌گری با درصد آب موجود در ماسهٔ قالب رابطه مستقیم دارد. به‌طوری‌که تعداد زیادی از عیوب به‌وجود آمده در قطعات ریختگی نتیجهٔ تولید گاز حاصل از رطوبت است مانند حفره‌های گازی.

به‌طور 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 ریخته گران با تجربه به سهولت میزان این رطوبت را تخمین می‌زنند ولی در کارهای بزرگ و موارد مصرف زیاد، تعیین رطوبت ماسه از اهمیت زیادی برخوردار است و نمی‌توان تنها به تجربه متکی بود.



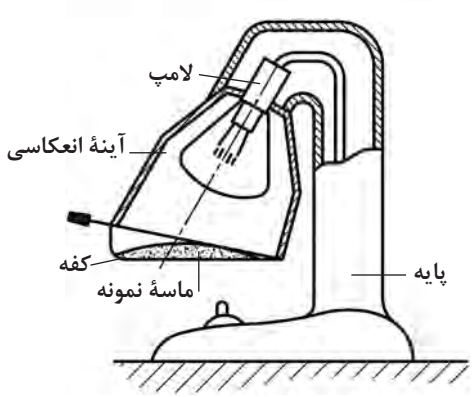
روش استاندارد: این روش برای تمامی مخلوط‌های ماسه قابل اجرا است، به‌جز مخلوط‌هایی که علاوه بر آب دارای مواد فرار و اکسید شدنی هستند. به‌طور کلی در این روش ماسه توسط تجهیزات مختلف خشک کن ماسه خشک می‌شود و اساس اندازه‌گیری میزان رطوبت ماسه بر مبنای کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیهٔ آن است و معمولاً برحسب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



دستگاه هوای گرم فشرده



خشک‌کن (آون)





دستگاه مادون قرمز

شکل ۱۲ــ تجهیزات اندازه‌گیری رطوبت به روش استاندارد

لازم بـه ذکـر اسـت کـه با توجه به مدت زمان کم خشـک شـدن ماسـه در روش مـادون قرمز (حـدوداً ۳ الی ۵ دقیقـه) در صنایـع و کارخانه‌هـای ریخته‌گـری، بـه هنـگام تعیین میزان رطوبت ماسـه به روش اسـتاندارد بیشـتر از روش مـادون قرمز اسـتفاده می‌کنند.

تعییـن میـزان رطوبـت ماسـه به روش مـادون قرمـز: در ایـن روش یـک لامـپ اشـعه مـادون قرمز به‌عنـوان منبـع گرمـا بـرای تبخیـر رطوبت از ماسـه بـه‌کار مـی‌رود. به‌طـوری که یـک نمونه از ماسـه مورد نظر وزن شـده و بر روی کفه دسـتگاه قرار داده می‌شـود (در برخی از دسـتگاه‌ها کفه مسـتقیماً به سیسـتم تـرازو متصل اسـت و امکان توزین ماسـه به سـهولت وجود دارد)، گرمای لازم توسـط اشـعه مـادون قرمز که در بـالای کفـه قـرار دارد فراهـم می‌شـود. پس از تبخیـر کامل رطوبت ماسـه، توزین دوباره صـورت می‌گیرد و اختـلاف دو وزن نمایان‌گـر میـزان رطوبت اسـت.

وسایل مورد نیاز:

- ظرف نمونه‌گیر
- کورهٔ 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 نحوهٔ خشک کردن با هر کدام به شرح زیر است:

الف) خشک کردن توسط کوره الکتریکی (آون)

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

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

نکته

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

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

نکته

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

نحوهٔ محاسبه درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری: به‌طور کلی در هر دو روش خشک کردن چنانچه جرم‌های اندازه‌گیری شده، قبل و بعد از خشک کردن ماسهٔ 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 ماسهٔ مرطوب (m) ۵۰ گرم است بنابراین:

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

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 آن‌جایی که از نقطه نظر قالب‌گیری مهم‌ترین خاصیت خاک‌ها جذب رطوبت است که به‌دلیل جذب آب توسط خاک ذرات آن و ذرات ماسه به هم اتصال می‌یابند، که این عمل در داخل آب و رطوبت ماسه انجام می‌شود بنابراین کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری جهت بالابردن قابلیت قالب‌گیری و تولید قطعات سالم و بدون عیب اهمیت فراوانی دارد.

به‌طورکلی میزان رطوبت مخلوط ماسه علاوه بر میزان چسب موجود در آن، با توجه به روش‌های قالب‌گیری هم می‌تواند متغیّر باشد به‌طوری‌که در قالب‌گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولاً بین ۶ تا ۸ درصد است، در حالی که در قالب‌گیری‌های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین ۳/۵ تا ۴/۵ درصد است.

فعالیت کارگاهی ۴

تعیین درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب‌گیری

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

نکته

هنگام وزن‌کردن نمونه‌ها از سالم و کالیبره‌بودن ترازوی دیجیتالی اطمینان حاصل کنید و به ترازو ضربه نزنید.

نکته ایمنی

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

نکته زیست‌محیطی

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

پرسش

اگر رطوبت مخلوط ماسهٔ 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 به‌صورت گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

روش‌های تعیین استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری

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



شکل ۱۳ـ انواع دستگاه‌های اندازه‌گیری استحکام ماسه

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

تعیین استحکام فشاری تر

استحکام تر: پس از آنکه ماسه با آب و چسب مخلوط شد، ماسهٔ تر حاصل می‌شود. ماسهٔ تر باید استحکام کافی و شکل‌پذیری مناسب را برای ساخت و نگهداری قالب داشته باشد. همچنین استحکام لازم به هنگام خارج کردن مدل از قالب و پس از آن را از خود نشان دهد. داشتن استحکام کافی به‌منظور 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 عددریزی ماسه بستگی دارد.

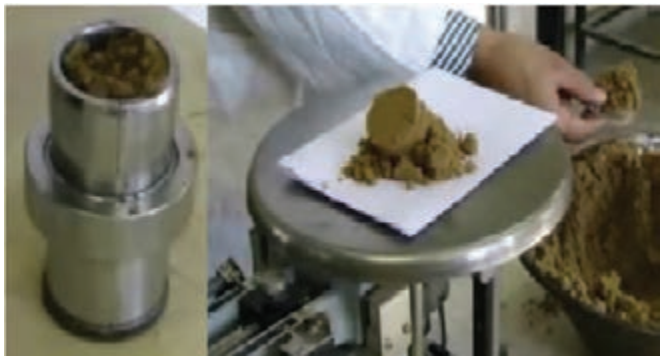
استحکام فشاری تر عبارت است از بیشترین تنش فشاری بر حسب psi (پوند بر اینچ مربع) که یک نمونه ماسهٔ تر با ابعاد استاندارد (۲ in × ۲ in) می‌تواند تحمل کند. چنین نمونه‌ای از مخلوط ماسهٔ مورد نظر تهیه و به کمک کوبهٔ استاندارد آزمایشگاهی پس از کوبش لازم آماده می‌شود. سپس نمونه مطابق روش استاندارد با استفاده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

وسایل مورد نیاز:

- استوانهٔ استاندارد آماده‌سازی نمونه.
- دستگاه کوبهٔ آزمایشگاهی.
- ترازوی آزمایشگاهی
- دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه، دارای دو فک استوانه‌ای هم محور روبه‌روی هم که نمونه ماسه بین آن قرار می‌گیرد.

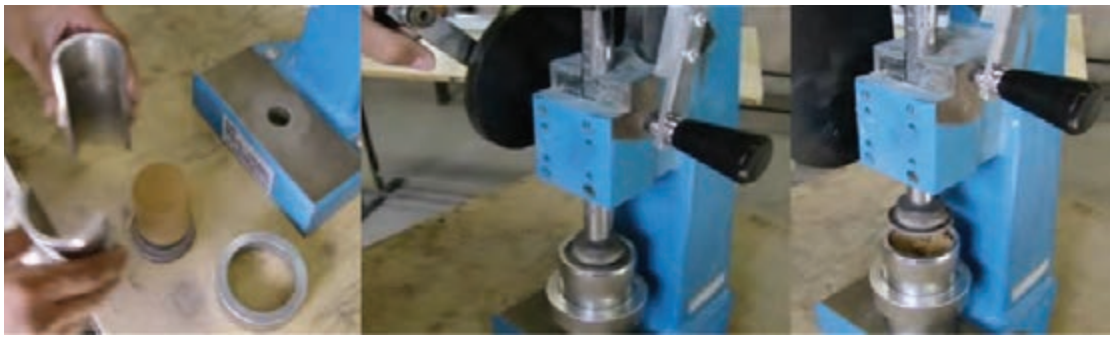
مراحل انجام آزمایش: پس از آماده شدن مخلوط ماسه قالب‌گیری مورد استفاده در کارگاه ریخته‌گری به اندازهٔ مورد نیاز نمونه‌برداری کرده و آزمایش را به‌صورت زیر ادامه دهید:

۱ ابتدا نمونه‌ای استوانه‌ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ (۵٫۰۸ سانتی‌متر) توسط کوبهٔ استاندارد تهیه کنید. برای ساختن نمونه مطابق شکل (۱۴)، ۱۴۵ تا ۱۷۵ گرم ماسه داخل استوانه استاندارد بریزید.



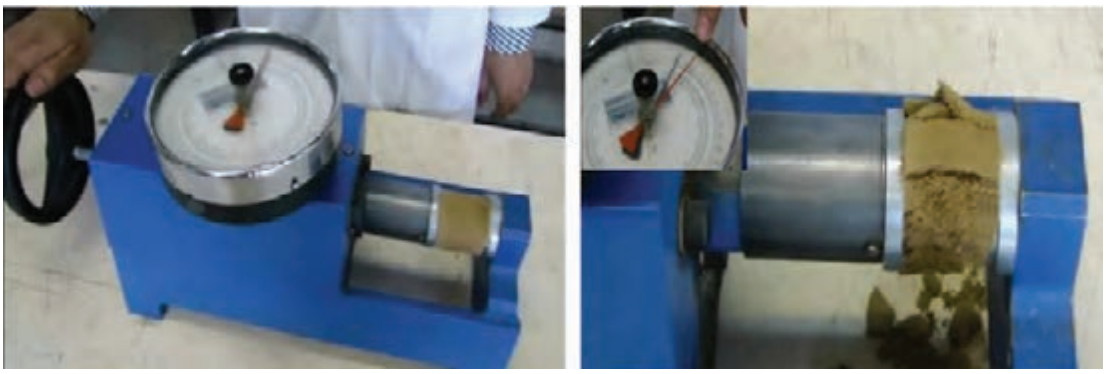
شکل ۱۴

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

۳ فک‌های مربوط به آزمایش استحکام فشاری تر (دو کفه دایره‌ای تخت) را روی دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه ببندید.
۴ نمونهٔ ساخته شده را مطابق شکل (۱۶) در بین دو فک دستگاه آزمایش استحکام ماسه قرار دهید و با چرخاندن اهرم دستگاه به نمونه فشار وارد کنید تا نمونه تخریب شود.
۵ میزان فشار وارد شده را از روی دستگاه بخوانید این فشار نشان‌دهنده استحکام فشاری تر ماسه است.



شکل ۱۶

نتیجه‌گیری و بحث

عواملی چون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازهٔ 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.

فعالیت کارگاهی ۵

تعیین استحکام فشاری تَر

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

نکته

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

نکته فنی

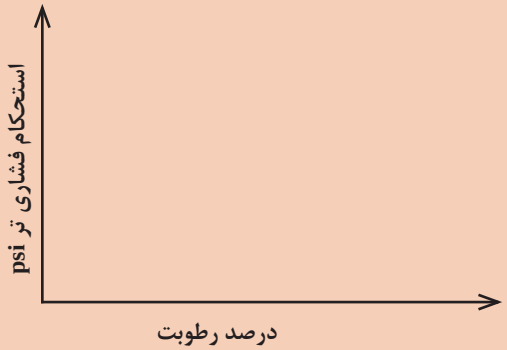
۱ هنگام تهیهٔ نمونهٔ استاندارد از ثابت و محکم بودن دستگاه کوبه اطمینان حاصل کنید.
۲ توجه داشته باشید که سطوح داخلی لولهٔ استاندارد دستگاه کاملاً صاف و صیقلی باشد و از روغن‌کاری قسمت‌های متحرک دستگاه اطمینان حاصل کنید.
۳ از کالیبره بودن دستگاه استحکام‌سنج ماسه اطمینان حاصل کنید.

فعالیت کارگاهی ۶

بررسی تأثیر میزان رطوبت بر روی استحکام فشاری تر:

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

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



نکته ایمنی

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

نکته زیست محیطی

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

پرسش

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

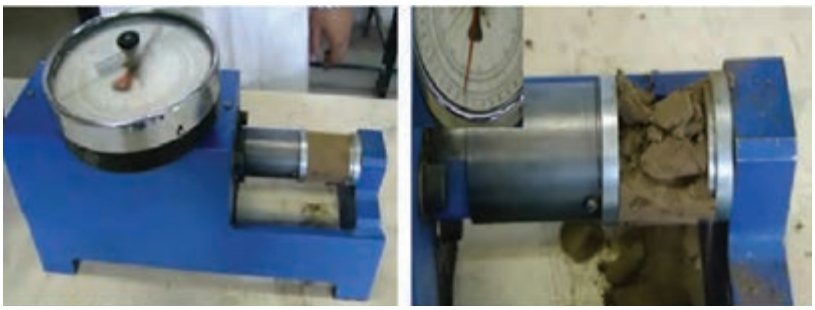
بحث گروهی

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

تعیین استحکام فشاری خشک

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

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



شکل ۱۷

وسایل مورد نیاز:

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

دستور کار انجام آزمایش:

۱ روش کار شامل تهیه نمونه و قراردادن آن در دستگاه مانند آزمایش تعیین استحکام فشاری تر است با این تفاوت که نمونه مطابق بند ۲ به‌طور کامل خشک می‌شود.

۲ نمونه را روی یک صفحهٔ فلزی صاف قرار داده و در داخل خشک‌کن قرار دهید. و تا دمای بیشتر از ۱۰۵ و کمتر از ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ ساعت خشک کنید. سپس نمونه را داخل دسیکاتور گذاشته و تا دمای محیط سرد و خنک کنید.

نکته

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.

بحث و نتیجه‌گیری

در حالت کلی استحکام فشاری خشک ماسه بین ۲۰ تا ۲۵۰ psi (۰/۱۴ تا ۱/۷ MPa) که بستگی به نوع ماسه دارد تغییر می‌کند. در مورد ماسه‌های سخت شده توسط چسب سدیم سیلیکات و گاز CO_2 این استحکام در شرایط مناسب به ۳۰۰ psi تقریباً به ۲ مگاپاسکال نیز می‌رسد.

فعالیت کارگاهی ۷

انجام آزمایش استحکام فشاری خشک:

ابتـدا در گروه‌هـای چنـد نفـره تقسـیم بندی شـده و سـپس با رعایـت نکات ایمنـی از محـل قالب‌گیری بـه میـزان لازم نمونه‌بـرداری کـرده و آزمایـش را مطابـق دسـتور کار آن انجـام داده و نتیجـه را به‌صورت گـزارش کار ارائـه دهید.

نکته

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

پرسش

۱ چه عواملی می‌تواند در استحکام فشاری خشک ماسه تأثیرگذار باشد.

۲ استحکام فشاری در حالت تر بیشتر است یا در حالت خشک؟ چرا؟

بحث گروهی

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

فعالیت کارگاهی ۸

بررسی تأثیر میزان چسب بنتونیت بر روی استحکام فشاری خشک

۱ پس از تشکیل گروه‌های چهار یا پنج نفره، هرگروه یک نمونه استاندارد تهیه کند. به‌طوری که درصد چسب نمونهٔ هرگروه 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 کورهٔ خشک کن در دمای ۱۰۳ درجهٔ سلسیوس به مدت زمان ۲ ساعت خشک شود.

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

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



تعیین استحکام کششی تر

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

نکته

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

وسایل مورد نیاز:

- ترازوی آزمایشگاهی.
- استوانهٔ استاندارد آماده‌سازی نمونهٔ دو تکه.
- دستگاه کوبهٔ آزمایشگاهی.
- دستگاه اندازه‌گیری استحکام ماسه.

دستور کار انجام آزمایش:

۱ ابتدا مقدار معینی ماسه داخل استوانه استاندارد دو تکه آزمایش استحکام کششی بریزید.

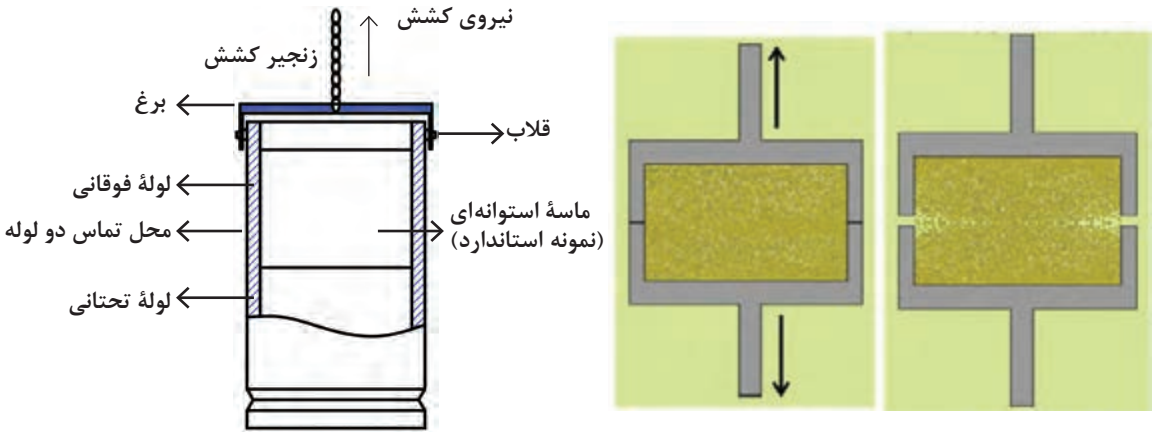
۲ استوانه استاندارد دو تکه را پایین کوبه استاندارد در محل خود قرار دهید و دستگیرهٔ کوبه را چرخانده و سه ضربه به ماسه وارد کنید.

۳ نمونه را همراه با استوانه استاندارد دو تکه مطابق شکل (۱۸) در دستگاه کشش قرار دهید، سپس با چرخاندن اهرم دستگاه یا فشردن کلید دستگاه از طریق دو فک دستگاه نمونه را تحت نیروی کششی قرار دهید تا نمونه از هم گسیخته شود و بشکند. (هنگام شکست و گسیخته شدن نمونه، دو استوانه مذکور در قسمت وسط از هم جدا می‌شوند).

۴ میزان تنش اندازه‌گیری شده توسط دستگاه نشان‌دهندهٔ استحکام کششی تر است.

نکته

لازم به ذکر است در این آزمایش حداکثر سرعت عمل کشش ۴۰ و حداقل ۲۰ اونس بر اینچ مربع در هر دقیقه است (۰٫۴۳ ± ۱٫۲۹ نیوتن بر سانتی‌متر مربع N/cm^2)



شکل ۱۸ــ تعیین استحکام کششی تر ماسه

نتیجه‌گیری و بحث

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 کششی‌تر نامیده می‌شود. وجود خاک فعال بیشتر به‌خصوص بنتونیت باعث به‌وجود آمدن استحکام بیشتر لایهٔ تر و همچنین افزایش پلاستیسیتهٔ بیشتر لایهٔ خشک خواهد شد. استحکام کششی تر همچنین اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد استفاده به ما می‌دهد.

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

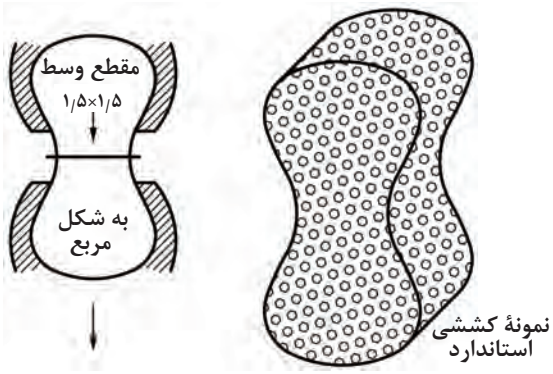
فعالیت کارگاهی ۹

انجام آزمایش استحکام کششی تر

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

تعیین استحکام کششی خشک

استحکام کششی خشک برابر است با حداکثر تنش کششی که یک نمونهٔ استاندارد ماسهٔ 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 تهیهٔ نمونهٔ 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 ۱۹ــ نمونهٔ استاندارد کششی و نیروهای وارد بر آن

وسایل مورد نیاز:

- جعبهٔ ماهیچهٔ نمونه فلزی
- خشک‌کن (آون)
- دستگاه کوبهٔ استاندارد
- دستگاه چندکارهٔ (یونیورسال) اندازه‌گیری استحکام ماسه به همراه فک‌های آزمایش کشش.

دستور کار انجام آزمایش:

۱ ابتدا مخلوط ماسه با درصد مشخص خاک رس یا چسب مورد نظر را آماده کرده و آن را درون جعبه ماهیچه نمونه فلزی بریزید.

۲ سپس با استفاده از دستگاه کوبه استاندارد توسط سه ضربه آن را تحت کوبش قرار دهید تا یک نمونه استاندارد مطابق شکل (۲۰) ایجاد شود.

۳ نمونهٔ تهیه شده را از جعبه ماهیچه فلزی خارج کرده روی یک صفحه فلزی صاف گذاشته و در داخل خشک‌کن (آون) قرار دهید و به مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس نگه‌دارید تا نمونه‌ها پخته شوند.

نکته

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

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

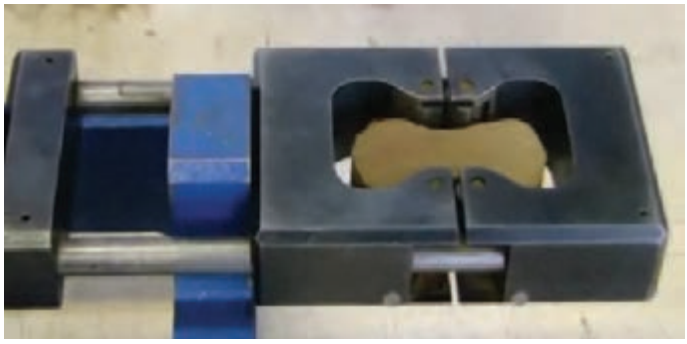
نکته ایمنی

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

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

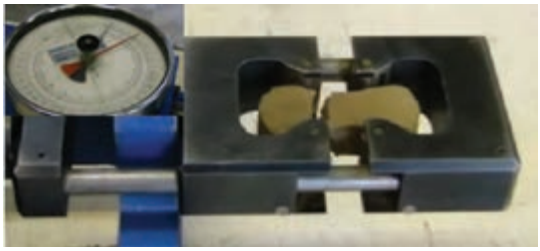


شکل ۲۰



شکل ۲۱

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



شکل ۲۲

نتیجه‌گیری و بحث

کلیهٔ عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مخصوصاً میزان خاک رس، بر روی استحکام کششی خشک تأثیرگذار هستند. به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد خاک رس از ۱۰٪ به ۱۶٪ استحکام کششی خشک آن حدود ۱۱۰٪ افزایش می‌یابد در حالی‌که استحکام کششی تر حدود ۱۶٪ افزایش خواهد داشت.

فعالیت کارگاهی ۱۰

انجام آزمایش استحکام کششی خشک

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

بحث گروهی

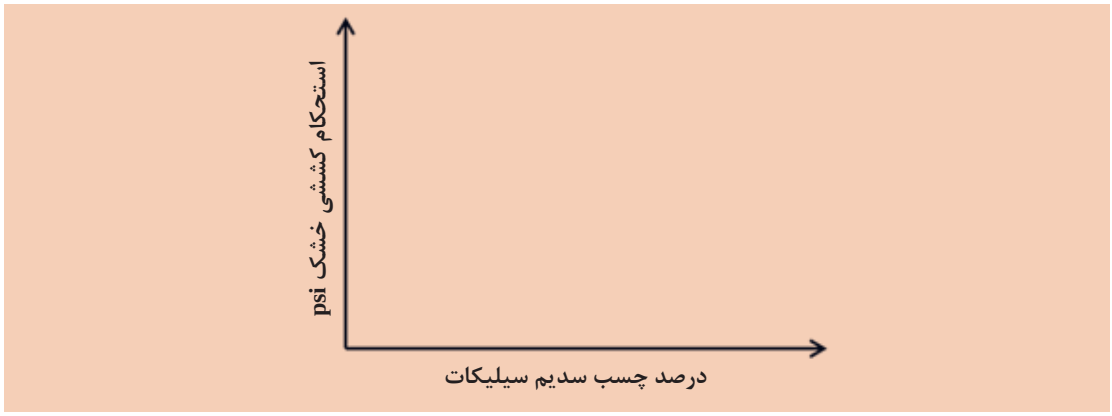
به نظر شما چه عواملی می‌تواند روی استحکام کششی خشک تأثیرگذار باشد؟ بحث و گفت‌وگو کنید.

فعالیت کارگاهی ۱۱

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

پس از تشکیل گروه‌های سه یا چهار نفره، نمونه‌های استاندارد تست کششی با ۶/۵ و ۵/۵، ۴/۵، ۳/۵، ۲/۵ درصد چسب سدیم سیلیکات، با دو نوع ماسه ریز و درشت دانه توسط دستگاه کوبهٔ استاندارد تهیه کنید (هر گروه دو نمونه با درصد چسب مشخص برای دو نوع ماسه ریز و درشت)، سپس نمونه‌های تهیه شده را به مدت زمان ۲۰ الی ۲۵ ثانیه تحت دمش گاز CO_2 قرار دهید تا سخت شوند. سپس توسط دستگاه چندکاره (یونیورسال) اندازه‌گیری استحکام ماسهٔ استحکام کششی خشک نمونه‌ها را تعیین کنید و نتایج را در جدول ثبت و نمودار را رسم کنید و نتیجه را به‌صورت گزارش کار ارائه دهید.

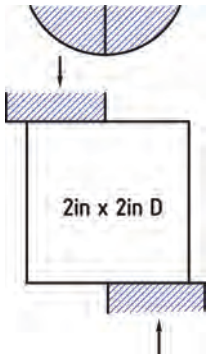
درصد چسب نوع ماسه	۲/۵	۳/۵	۴/۵	۵/۵	۶/۵
استحکام کششی psi (ریزدانه)					
استحکام کششی psi (درشت‌دانه)					



تعیین استحکام برشی ماسه

استحکام برشی ماسه عبارت است از حداکثر تنش برشی که یک نمونهٔ 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:

- استوانهٔ استاندارد آماده‌سازی نمونه
- دستگاه یونیورسال اندازه‌گیری استحکام ماسه
- خشک‌کن (آون)
- دستگاه کوبهٔ آزمایشگاهی
- صفحهٔ فلزی صاف
- دسیکاتور

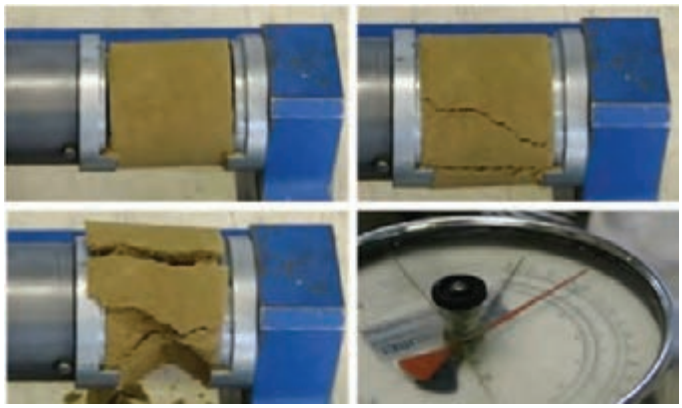
دستورکار انجام آزمایش

الف) استحکام برشی تر:

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

نکته

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



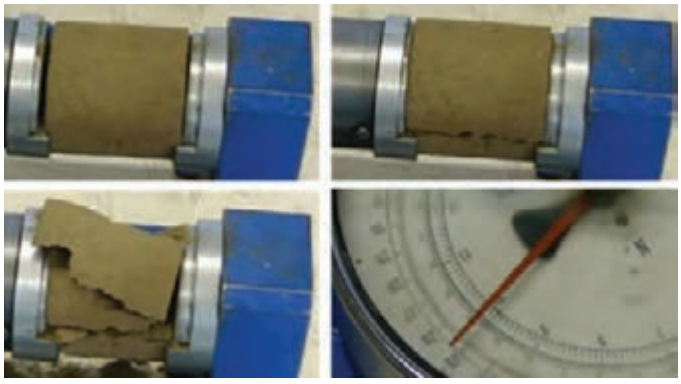
شکل ۲۴

ب) استحکام برشی خشک:

۱ ابتدا پس از آماده کردن نمونهٔ استاندارد آن را روی یک صفحه فلزی صاف گذاشته و در داخل خشک‌کن قرار داده و به مدت ۲ ساعت در درجه حرارت ۱۰۵ الی ۱۱۰ درجهٔ سلسیوس خشک کنید.

۲ نمونهٔ خشک شده را در داخل یک دسیکاتور قرار دهید تا در دمای محیط خنک شود.

۳ نمونه را مطابق شکل (۲۵) بین دو فک دستگاه قرار داده و تا مرحله شکست و گسیخته شدن به نمونه نیرو وارد کنید. عدد نشان داده شده در دستگاه نشان‌دهنده استحکام برشی خشک ماسه است.



شکل ۲۵

نتیجه‌گیری و بحث

به‌طور کلی اکثر عوامل تأثیرگذار بر استحکام مخلوط ماسه قالب‌گیری مانند اندازهٔ ذرات ماسه، میزان خاک رس و رطوبت ... بر استحکام برشی تر و خشک نیز تأثیر گذار هستند.

لازم به ذکر است که استحکام برشی تر ماسه در حدود ۱/۵ تا ۷ psi است. همچنین نسبت استحکام برشی خشک به استحکام فشاری خشک کمیتی است که در تهیه و آماده‌سازی ماسهٔ ریخته‌گری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به‌طوری که اگر این نسبت از حد معینی کمتر باشد نشان‌دهنده آماده نبودن و به‌عمل نیامدن ماسه است و اگر بیش از حد معین باشد، نشانگر بالا بودن درصد مواد افزودنی به ماسه است.

فعالیت کارگاهی ۱۲

تعیین استحکام برشی تر و خشک

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

بحث گروهی

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

تعیین استحکام قالب

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



شکل ۲۶ــ دو نوع استحکام‌سنج الف) دیجیتالی و ب) عقربه‌ای



وسایل مورد نیاز:

- وسایل مورد نیاز قالب‌گیری
- وسیله اندازه‌گیری استحکام قالب

دستور کار آزمایش:

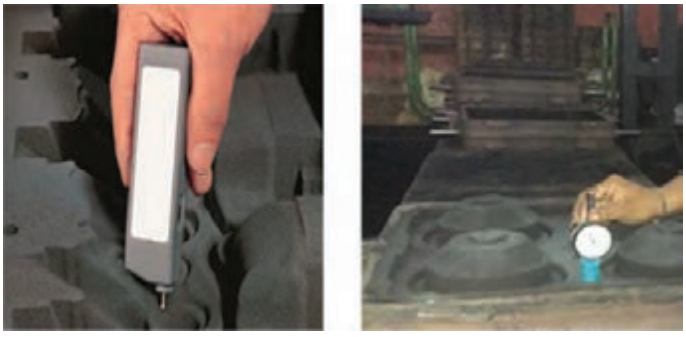
۱ ابتـدا یـک مـدل یـک تکـه انتخـاب کرده سـپس بـا رعایـت کلیـه اصـول کار و اسـتاندارد مربوطـه آن را قالب‌گیـری کنیـد.

۲ وسیلهٔ اندازه‌گیری استحکام قالب را به‌طور عمودی روی سطح قالب قرار دهید.

۳ پـس از اطمینـان از تمـاس صحیـح فرورونـده با سـطح قالب، بار را توسـط استحکام‌سـنج اعمـال کرده و اسـتحکام قالـب را بسـنجید و مقـدار آن را از روی صفحـهٔ مدرج یا نمایشـگر دیجیتالـی بخوانید.

نکته

توجه داشـته باشـید که برای اطمینان از یکنواختی، اسـتحکام و فشـردگی قالب در نقاط، سطوح و دیواره‌های آن ایـن آزمایـش را بـر روی قسـمت‌های مختلف قالب انجـام دهید. شـکل (۲۷) نحوهٔ اندازه‌گیری اسـتحکام قالـب، با استحکام‌سـنج عقربه‌ای و دیجیتالی را نشـان می‌دهد.



شکل ۲۷ـ نحوه اندازه‌گیری استحکام قالب با استحکام‌سنج عقربه‌ای و دیجیتالی

نتیجه‌گیری و بحث

افزایـش مقـدار کوبـش و در نتیجـه بـالا رفتـن میـزان فشـردگی مخلـوط ماسـه، باعـث افزایـش اسـتحکام می‌شـود. اگـر میـزان فشـردگی ثابت باشـد، افزایش مقدار خـاک رس باعث بالا رفتن اسـتحکام خواهد شـد. اسـتحکام فشـاری تـر و خشـک یـک قالب بسـتگی بـه شـرایط قالب‌گیـری از جمله میـزان کوبـش و مقدار رطوبـت دارد همچنیـن بـا افزایـش میزان کوبش، اسـتحکام فشـاری تر و خشـک قالـب افزایـش می‌یابد و با افزایـش درصـد رطوبـت میزان اسـتحکام فشـاری خشـک قالـب بالا رفته ولی اسـتحکام فشـاری تـر کاهش می‌یابـد.

به‌طـور کلـی نتایـج حاصـل از این آزمایـش برای تعییـن اسـتحکام و یکنواختی سـطوح قالب بـه‌کار می‌رود کـه نقش مهمی در سـالم بـودن قطعـات ریختگی دارد.

فعالیت کارگاهی ۱۳

آزمایش استحکام قالب

پـس از تشـکیل چهـار گـروه ۴ عـدد مـدل یـک تکـه را بـا ۲/۵، ۵، ۷/۵ و ۱۰ درصد چسـب بنتونیت (هر گـروه یـک قالـب بـا درصد چسـب مشـخص) با میـزان رطوبت یکسـان ۶ تـا ۸ درصد با شـرایط یکسـان قالب‌گیـری کـرده و آزمایـش را به‌صـورت زیـر انجـام دهید:

۱ اسـتحکام سـطوح، نقـاط و دیواره‌هـای قالب‌هـای تهیـه شـده را در حالـت تـر مطابق روش ذکر شـده در دسـتور کار آزمایـش توسـط استحکام‌سـنجِ قالـب اندازه‌گیـری کـرده و یادداشـت کنید.

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

۳ نتایج به‌دست آمده از استحکام قالب‌ها در هر دو حالت تر و خشک را در جدول ثبت و نمودار زیر را رسم کنید و نتیجه را به‌صورت گزارش کار ارایه دهید.

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



نکته

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

نکته ایمنی

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.

نکته زیست محیطی

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.

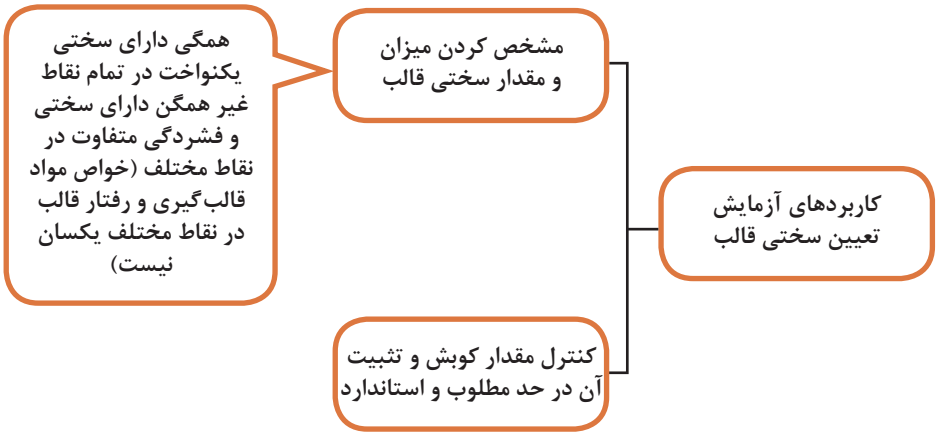
بحث گروهی

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

تعیین سختی قالب

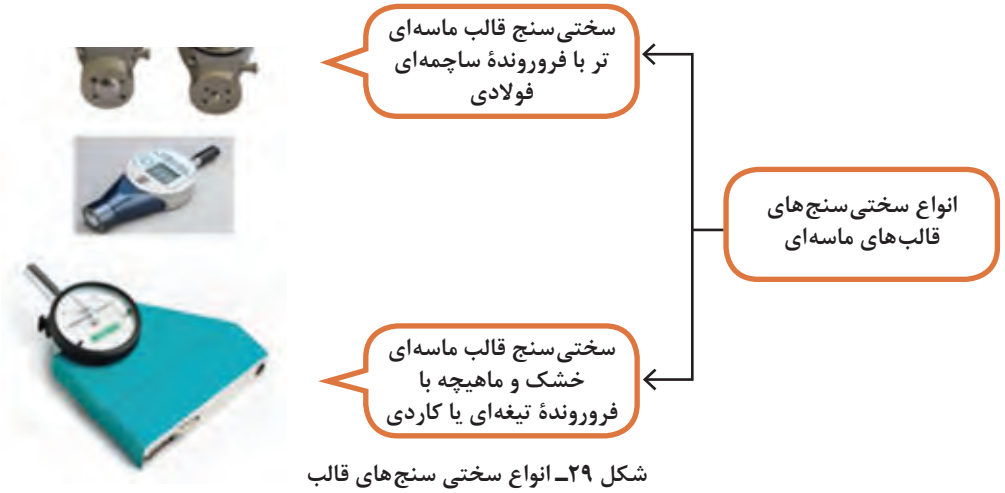
سختی سطح یک قالب (در حالت تر و خشک) به کمک این آزمایش تعیین می‌شود. این مشخصه با دستگاه سختی‌سنج قالب اندازه‌گیری و تعیین می‌شود.

طبق تعریف سختی سطح قالب در واقع عبارت است از مقاومت سطح قالب در برابر نفوذ یک فروروندهٔ فولادی (ساچمه یا تیغه کاردی) قابل تحرک و هر قدر مقاومت این سطح در برابر نفوذ قسمت فرورونده بیشتر باشد سختی آن بیشتر است. در نمودار شکل (۲۸) کاربردهای آزمایش تعیین سختی قالب نشان داده شده است.



شکل ۲۸

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



شکل ۲۹ـ انواع سختی سنج‌های قالب

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

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



سختی‌سنج مقیاس (B)

سختی‌سنجی براساس مقیاس (B)

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

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



سختی‌سنج مقیاس (C)

سختی‌سنجی براساس مقیاس (C)

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

- این وسیله برای سختی‌سنجی دقیق قالب‌هایی که به روش قالب‌گیری تحت فشار بالا آماده شده‌اند به‌کار 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 قالب‌گیری
- سختی سنج قالب

دستور کار انجام آزمایش:

۱ ابتدا یک مدل یک تکه انتخاب کرده سپس با رعایت کلیه اصول، آن را قالب‌گیری کنید.

۲ سپس فرورونده سختی‌سنج قالب را با زاویه ۹۰ درجه با سطح قالب تماس بدهید.در این شرایط هیچ‌گونه باری به‌فرورونده 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 سختی‌سنج بخوانید.

نکته

اگر سختی‌سنجی نمونه آزمایشگاهی یا نمونه‌ای که از قالب موردنظر تهیه شده است مدنظر باشد لازم است عملیات به سرعت پس از آماده شدن نمونه انجام شود.

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



شکل ۳۰ـ نحوهٔ سختی‌سنجی سطح قالب

نتیجه‌گیری و بحث

بسیاری از خصوصیات مخلوط‌های ماسه قالب‌گیری با یکدیگر ارتباط دارند. به‌عنوان مثال افزایش برخی از خواص باعث کاهش خاصیت دیگر می‌شود و یا افزایش برخی از خصوصیات باعث افزایش خاصیت دیگر می‌شود به‌عنوان مثال استحکام فشاری‌تر که مخلوط قالبگیری با مقدار سختی آن رابطه مستقیم دارد. هرقدر سختی مخلوط ماسه قالبگیری بیشتر شود استحکام آن نیز افزایش می‌یابد و بالعکس.

فعالیت کارگاهی ۱۴

انجام آزمایش تعیین سختی سطح قالب

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

نکته

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

بحث گروهی

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

تعیین خُرد شوندگی مخلوط ماسه تر

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

وسایل مورد نیاز:

- دستگاه کوبهٔ آزمایشگاهی
- ترازوی دیجیتالی دقیق
- دستگاه اندازه‌گیری ضریب خرد شوندگی ماسه

دستور کار انجام آزمایش:

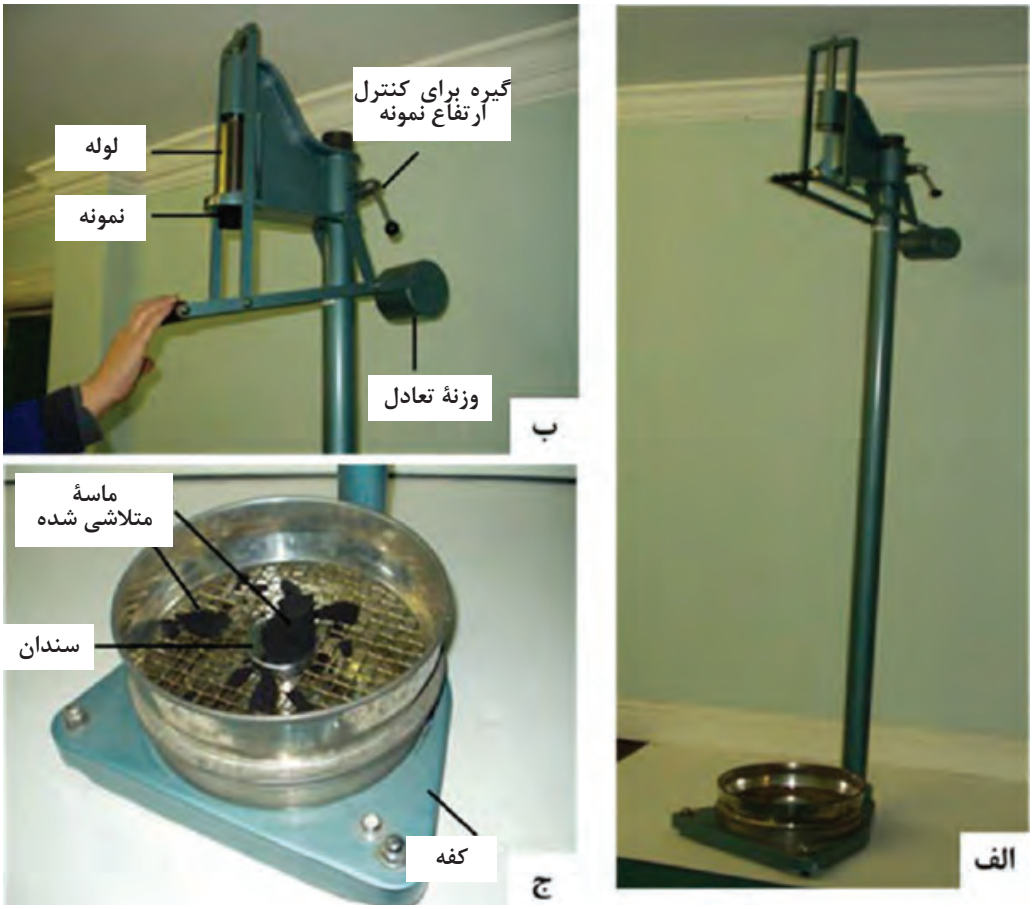
۱ ابتدا نمونهٔ استوانه‌ای استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط کوبهٔ آزمایشگاهی مطابق با دستورالعمل ساخت نمونه تهیه کرده و آن را وزن کنید.

۲ سپس نمونه را از ارتفاع معین و ثابت ۶ فوت (۱۸۲٫۹cm) بدون سرعت اولیه روی یک الک استاندارد با مش (۰٫۵ اینچ)، که بر روی پایهٔ 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 رابطهٔ زیر ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) را بدست آورید.

$$\text{(ضریب خُردشوندگی) } Sh_i = \frac{\text{وزن ماسهٔ باقی‌مانده روی الک}}{\text{وزن نمونهٔ استاندارد}} \times ۱۰۰$$

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



شکل ۳۱ـ مراحل مختلف آزمایش تعیین ضریب خردشوندگی ماسه

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

- نمونهٔ استاندارد قبل از آزمایش از لوله خارج نشود.
- خروج نمونهٔ 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 نمونهٔ استاندارد به‌کار گرفته می‌شود باید تمیز و خشک باشد.
- مراکز میله استوانه‌ای باید همواره روی یک خط قرار داشته باشد.

نتیجه‌گیری و بحث

چقرمگی و ضریب خرد شوندگی یک مخلوط ماسه تر می‌تواند متأثر از عواملی مانند میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه باشد.

به‌طور کلی ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) در بدترین حالت صفر و در بهترین و ایدئال‌ترین حالت ۱۰۰ درصد است. دامنه خُردشوندگی (اندیس شاتر) ماسه‌های قالب‌گیری در ریخته‌گری معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است.

همچنین به کمک ضریب خرد شوندگی یا اندیس شاتر می‌توان کمیت دیگری به نام اندیس شکل‌پذیری را نیز به‌دست آورد، این اندیس نیز بر حسب درصد می‌باشد و رابطهٔ آن به‌صورت زیر است:

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

که در این رابطه D_i اندیس شکل‌پذیری، Sh_i اندیس شاتر و σc استحکام فشاری تر بر حسب (psi)، می‌باشد.
مثال زیر نحوهٔ محاسبهٔ اندیس شکل‌پذیری ماسه را نشان می‌دهد:
در یک آزمایش استحکام فشاری تر برای یک ماسه قالب گیری، ماکزیمم تنش فشاری نمونهٔ استاندارد برابر ۱۸ psi (۰/۱۲ مگاپاسکال) است. اگر اندیس شاتر این ماسه ۸۴٪ باشد مطلوب است محاسبه و تعیین اندیس شکل‌پذیری آن:
حل: ماکزیمم تنش فشاری نمونه در واقع همان استحکام فشاری است که برابر با ۱۸ psi است. از طرفی اندیس شاتر این ماسه ۸۴ درصد است بنابراین می‌توان نوشت:

$$D_i = \frac{sh_i}{\sigma c} = \frac{\%۸۴}{۱۸} = \%۴/۶۷ \quad \text{(اندیس شکل پذیری)}$$

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

فعالیت کارگاهی ۱۵

انجام آزمایش تعیین ضریب خُرد شوندگی و اندیس شکل‌پذیری مخلوط ماسه تر

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

۱ هر گروه ۲ عدد نمونهٔ استاندارد استوانه‌ای شکل را مطابق با دستورالعمل ساخت آن توسط دستگاه کوبهٔ آزمایشگاهی تهیه کند. (یک نمونه برای تعیین ضریب خرد شوندگی و یک نمونه برای تعیین استحکام فشاری تر)

۲ یکی از نمونه‌ها را در داخل لولهٔ دستگاه تعیین ضریب خردشوندگی ماسه قرار داده و مطابق با دستورالعمل گفته شده در دستورکار آزمایش ضریب خردشوندگی یا اندیس شاتر آن را به‌دست آورید.

۳ با استفاده از دستگاه اندازه گیری استحکام ماسه استحکام فشاری نمونهٔ دیگر را تعیین کنید.

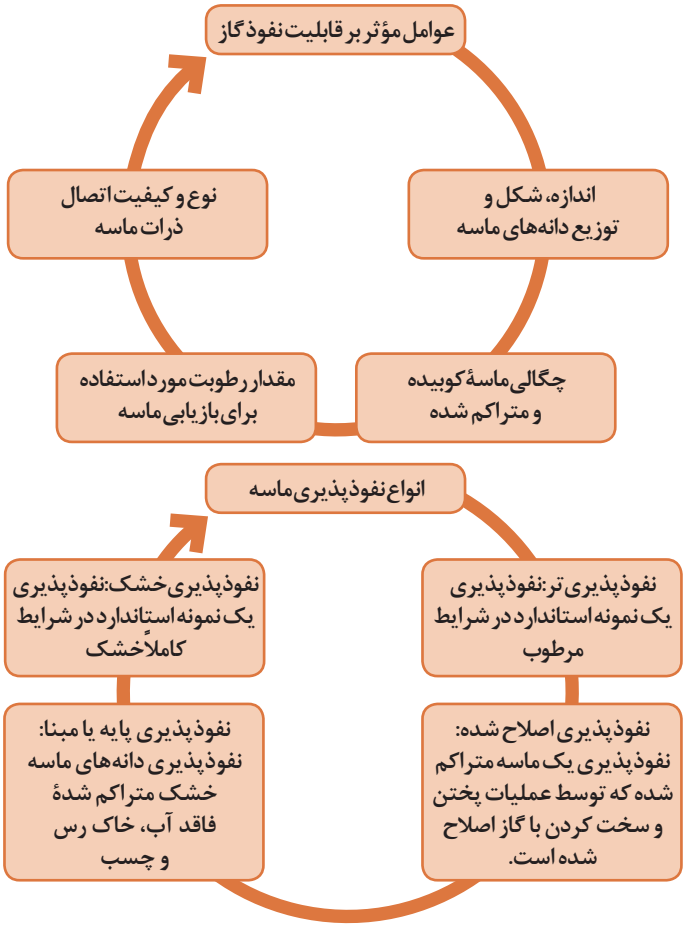
۴ با توجه به نتایج بدست آمده از هر دو آزمایش فوق و با استفاده از روابط موجود، ضریب خرد شوندگی (اندیس شاتر) و اندیس شکل‌پذیری را بدست آورده و در گزارش کار تحویل هنرآموز دهید.

بحث گروهی

چه عواملی می‌تواند برروی ضریب خُردشوندگی و اندیس شکل‌پذیری ماسه تأثیرگذار باشد؟ در مورد هرکدام از آنها بحث و گفت‌وگو کنید و پاسخ تحلیلی خود را به همراه گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

اندازه گیری قابلیت نفوذ گاز

نفوذپذیری میزان عبورگازها از میان فضای متخلخل ماسه قالب‌گیری است. مقدار هوا کشی و عبورگاز 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 اندازه‌گیری می‌شود. یکی از عوامل مهم در تولید قطعات ریختگی سالم قابلیت نفوذ گاز ماسه یا نفوذپذیری ماسه است. بنابراین کنترل و تعیین قابلیت نفوذ گاز می‌تواند نتایج بسیار مفیدی برای کیفیت قطعات ریختگی داشته باشد.



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

در روش آزمایش استاندارد، حجم هوایی (بر حسب CC) که در مدت یک دقیقه با فشار یک گرم نیرو بر سانتی متر مربع (۱۰ سی‌سی آب) از درون یک نمونهٔ ماسه‌ای به ارتفاع یک سانتی متر و سطح مقطع یک سانتی متر مربع عبور می‌کند را اندازه گیری می‌کنند.

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

فشـار وارد بـر هـوای عبـوری P و مـدت زمـان عبور هـوا T (دقیقـه) باشـد، در این صـورت قابلیـت نفوذگاز در ایـن ماسـه (K)، بـا H و V نسـبت مسـتقیم، ولـی بـا P، A و T نسـبت معکـوس دارد. به عبـارت ریاضی می‌توان نوشـت:

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

در اسـتاندارد جامعـه ریخته‌گـران آمریـکا (AFS) بـا درنظر گرفتـن مقادیر اسـتاندارد، می‌تـوان رابطه اخیر را به‌صـورت زیـر سـاده کـرد: چـون قطـر و ارتفـاع اسـتوانه اسـتاندارد نمونـه برابـر ۲ اینـچ اسـت بنابرایـن خواهیم داشـت:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3/14 \times (2 \times 2/54)^2}{4} = 20/68$$ سطح مقطع استوانهٔ نمونه

$$H = 2 \times 2/54 = 5/08\ cm$$ ارتفاع استوانهٔ نمونه

از طرفـی مطابـق اسـتاندارد مذکـور (AFS) Vبرابـر اسـت بـا ۱۲۲ اینـچ مکعـب و فشـار هـوای عبـوری نیز برابر:

$P = 10\ cmH_2O$

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

$$V = 122\ in^3 = 122 \times (2/54)^3 = 1999/22\ cm^3 = 2000\ cm^3\ (2\ lit)$$ حجم هوای عبوری از ماسه

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

$$K = \frac{V.H}{P.A.T} = \frac{2000 \times 5/08}{10 \times 20/286 \times T} \times \frac{1}{T} = \frac{50/12}{T}$$ حجم هوای عبوری از ماسه

چنانچه T بر حسب ثانیه بیان شود رابطهٔ K چنین است:

$$K = \frac{50/12}{T} \times 60 = K = \frac{3007/2}{T}$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود قابلیت نفوذگاز تابعی است از زمان T، بنابراین در دستگاه تعیین قابلیت نفوذگاز صفحهٔ اندازه‌گیری برحسب معکوس زمان T در مقدار ثابت۳۰۰۷/۲ (مطابق استاندارد AFS) مدرج شده است. بنابراین پس از قرار دادن نمونهٔ استاندارد در دستگاه قابلیت نفوذ گاز، زمان لازم و عدد قابلیت نفوذ گاز در ماسه به‌صورت خودکار روی دستگاه خوانده می‌شود.

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



شکل ۳۲ـ دستگاه تعیین نفوذ گاز ماسه

وسایل مورد نیاز:

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

دستورکار انجام آزمایش:

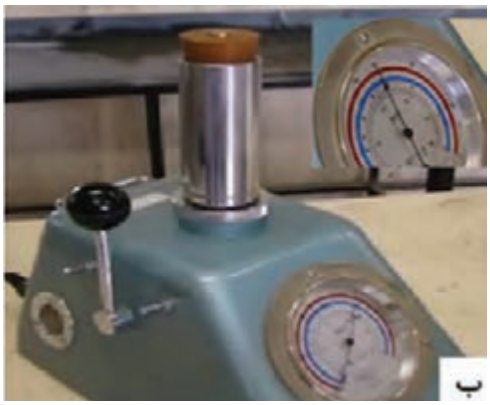
۱ ابتدا نمونهٔ استوانه‌ای استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط کوبه آزمایشگاهی مطابق با دستورالعمل ساخت نمونه تهیه کنید.

۲ نمونهٔ تهیه شده را به همراه استوانهٔ 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 نفوذگاز را از روی دستگاه بخوانید.

شکل ۳۳ مراحل انجام آزمایش تعیین قابلیت نفوذگاز ماسه را نشان می‌دهد.


الف


ب

شکل ۳۳ـ مراحل انجام آزمایش قابلیت نفوذ گاز

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. هرقدر اندازه دانه‌ها کمتر باشد و یا به‌عبارت 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 به‌میزان 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.

فعالیت کارگاهی ۱۶

انجام آزمایش قابلیت نفوذ گاز

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

بحث گروهی

۱ عوامل تأثیرگذار بر روی قابلیت نفوذگاز را نام برده و در مورد هرکدام بحث و گفتگو کنید.

۲ به‌نظر شما پایین بودن میزان قابلیت نفوذگاز ماسه ممکن است باعث بروز چه عیوبی در قطعات ریختگی شود؟ بحث و گفتگو کنید.

ارزشیابی پایانی

نقشه کار: انجام آزمایش‌های ماسه

شاخص عملکرد: ۱ـ تهیه نمونه ۲ـ تعیین خواص ماسه

شرایط انجام کار:

۱ـ انجام کار در محیط آزمایشگاه ماسه ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویهٔ استاندارد و دمای $20C^{\circ} \pm 3^{\circ}$ ۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۱۲۰ دقیقه

مواد مصرفی: تتراسدیم‌تری‌فسفات ـ سود ـ آب مقطر ـ ماسه

ابزار و تجهیزات :

دستگاه رطوبت‌سنج ـ دستگاه استحکام ماسه تر و خشک ـ دستگاه تعیین عبور گاز ـ دستگاه تعیین فشردگی ـ دستگاه زمان‌سنج ـ دستگاه تعیین دانه‌بندی ـ ترازوی دیجیتال ـ کوبه ـ بشر ـ لولهٔ آزمایشگاهی ـ خشک‌کن ـ زمان‌سنج ـ قالب‌های نمونه ظروف حمل ماسه ـ همزن ـ دستگاه تعیین درصد خاک ـ لولهٔ تخلیه آب (سیفون) ـ پوآر ـ استوانه مدرج

نمونه و نقشه کار:

۱ـ نمونه‌برداری مناسب از ماسه به مقدار موردنیاز و از محل مناسب و آماده کردن آنها جهت آزمایش‌های ماسه

۲ـ کار با دستگاه‌های تعیین استحکام و فشردگی و رطوبت، انجام دادن صحیح آزمایش و ثبت نتایج

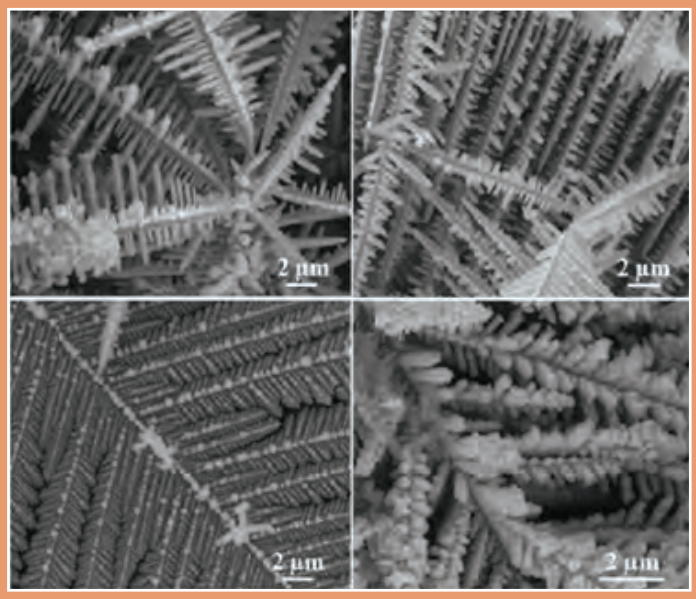
معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمرهٔ قبولی	نمرهٔ هنرجو
۱	نمونه‌برداری	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	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس کار و کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیز کردن وسایل محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان دوم

آزمایش‌های متالوگرافی



واحد یادگیری: آزمایش‌های متالوگرافی

فلـزات و آلیاژهـای مختلـف دارای خـواص متفاوتـی هسـتند، کـه ایـن خـواص ناشـی از تغییرات شـکل، انـدازه و ترکیـب فازهایـی اسـت کـه مجموعـهٔ آنهـا سـاختار قطعـات ریختگـی را تشـکیل می‌دهنـد. به‌طـور کلـی در صنایـع، تنهـا ترکیـب شـیمیایی و نسـبت‌های ترکیبـی مـلاک نبـوده و توزیـع عناصـر تشـکیل‌دهنده نیـز نقـش مهمـی در درشـت یـا ریز شـدن سـاختار قطعـات تولیـدی و در نتیجه خواص آنهـا دارنـد، به‌طـوری کـه امـروزه بـدون بررسـی سـاختار درونـی مـواد، پیشـرفت صنایع قابـل تصور نیسـت. برایـن اسـاس آشـنایی بـا انـواع روش‌هـای شناسـایی و بررسـی سـاختارهای درونـی فلـزات و آلیاژهـای مختلـف لازم و ضـروری به‌نظـر می‌رسـد. در ایـن واحـد یادگیـری مـا بـا انـواع روش‌هـای مختلـف مطالعه و بررسـی سـاختار فلـزات و آلیاژها، روش مطالعـه ماکروسـکوپی و میکروسـکوپی، تهیـه نمونـهٔ متالوگرافـی[1]، انـواع محلول‌هـای اچ[2] و روش آمـاده کـردن آنهـا، روش کار بـا میکروسـکوپ‌های متالوگرافـی، تشـخیص فازهـای موجـود در سـاختار قطعـات ریختگـی به‌ویـژه در فولادهـا و چدن‌هـا آشـنا می‌شـویم.

استانداردعملکرد

متالوگرافـی نمونـه بـا اسـتفاده از ابـزارآلات و تجهیـزات مربوطـه براسـاس دسـتورالعمل‌ها و اسـتانداردهای مرتبط.

پیش‌نیاز

آشـنایی بـا فرایندهـای قالب‌گیـری و ذوب فلـزات و آلیاژهـا، ترکیـب و درصـد وزنـی آلیاژهـا، فرایندهـای انجمـاد فلـزات و آلیاژهـا و مک‌هـای گازی و انقباضـی.

۱ـ Metallography

۲ـ Etch

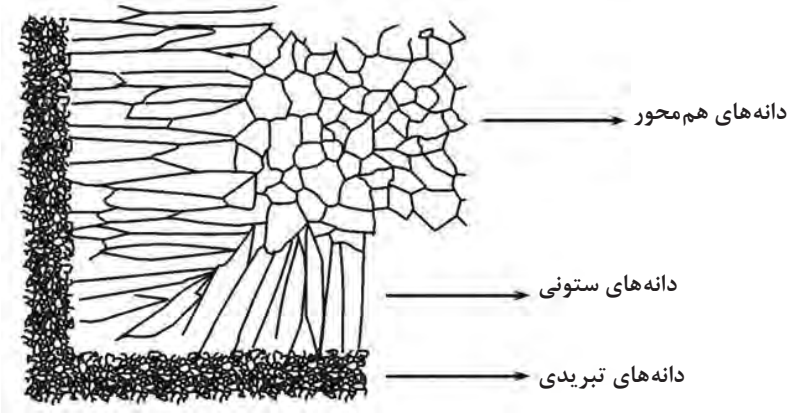
آشنایی با ساختار ریختگی فلزات و آلیاژها

ریزساختار قطعه ریختگی شامل نوع، اندازه دانه و شکل دانه است که تأثیر قابل توجهی بر خواص فیزیکی و مکانیکی قطعات دارند. به‌همین دلیل بررسی آن در قطعات ریختگی اهمیت فراوانی دارد.

به‌طور کلی فلزات ریختگی دارای سه ناحیه متمایز با ساختار دانه‌ای متفاوت می‌باشند که از سطح به مرکز قطعه عبارت‌اند از:

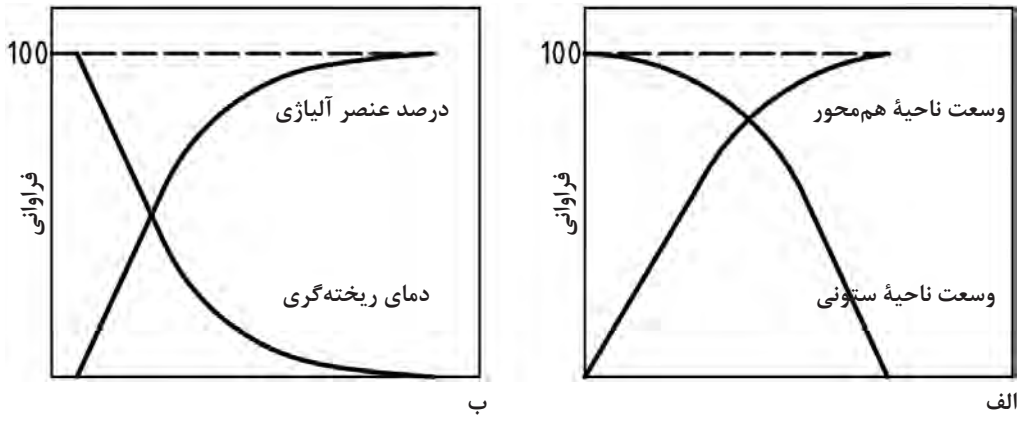
- ناحیهٔ سریع سرد شده که در ناحیه تماس قطعه با جدارهٔ قالب ایجاد شده و به‌دلیل سرعت انجماد بالا دارای دانه‌های ریز می‌باشد.
- ناحیهٔ ستونی که در نواحی میانی قطعه ایجاد شده و دانه‌ها درخلاف جهت انتقال حرارت رشد کرده‌اند.
- ناحیهٔ دانه‌های هم محور مرکزی که در مرکز قطعه بوده و دانه‌ها در آن هم‌محور با جهت‌گیری نامنظم هستند.

شکل (۱) انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم‌محور را برای فلزات خالص به‌صورت شماتیک نشان می‌دهد.



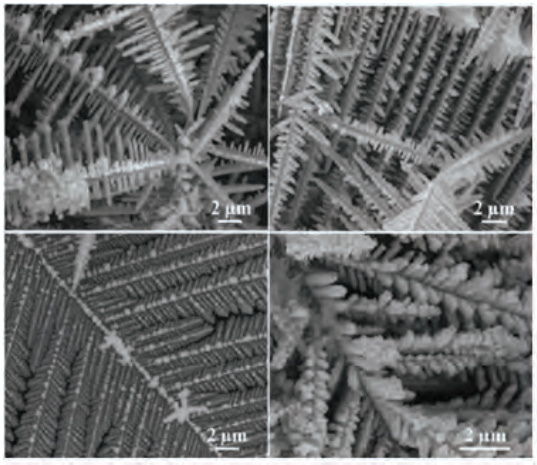
شکل ۱ــ انواع دانه‌های تبریدی، ستونی و هم محور در فلزات خالص

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 ناحیهٔ هم‌محور افزایش و وسعت ناحیهٔ ستونی کاهش می‌یابد.



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

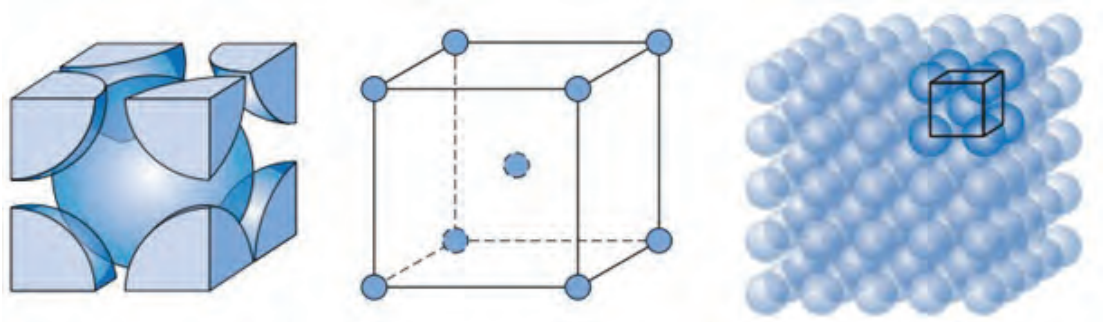
ریـز سـاختار دیگـر قابـل مشـاهده در قطعـات ریختگـی آلیـاژی، سـاختار شـاخه‌ای (دندریتـی) اسـت کـه در آلیاژهایـی بـا دامنـه انجمـاد بـالا، شـیب دمایـی کـم و سـرعت‌های رشـد بـالا در فصـل مشـترک مـذاب ـ جامـد به‌وجـود می‌آیـد و باعـث عیـب تغییـر ترکیـب شـیمیایی از سـطح بـه مرکـز قطعـه شـده کـه بـا عملیـات حرارتـی آنیـل در دمـای بـالا قابـل رفـع شـدن اسـت.
شـکل (۳) تصاویـر میکروسـکوپ الکترونـی از سـاختار دندریتـی انواعـی از آلیاژهـای قلـع را نشـان می دهـد.



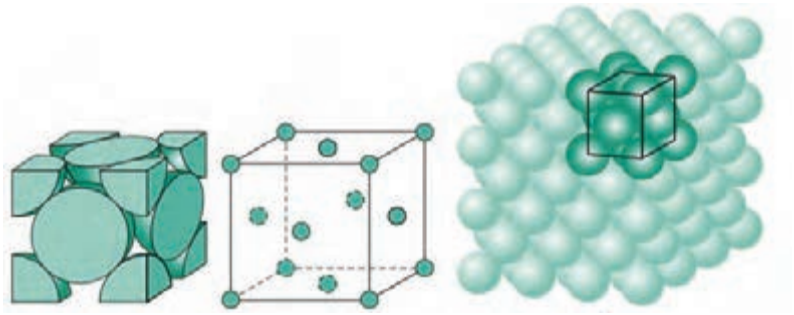
شکل ۳ـ تصویر میکروسکوپ الکترونی از ساختار دندریتی آلیاژهایی از قلع

ساختارهای کریستالی

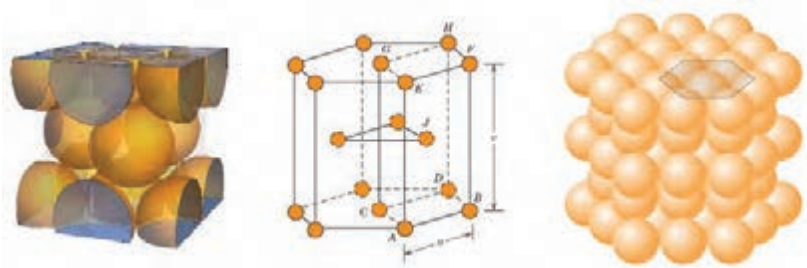
در مـواد جامد کریسـتالی اتم‌ها هنـگام انجماد با نظم و ترتیـب و شـکل هندسـی خاصـی قـرار می‌گیرنـد، به‌طوری که یک سـاختار شـبکه‌ای فضایی را به وجود می‌آورنـد کـه در همـه جهت‌هـا تـا سـطح خارجـی کریسـتال (دانـه) تکـرار می‌شـوند. کوچک‌ترین واحد از ایـن شـبکه فضایـی را شـبکه واحـد یا سـلول‌واحد می‌نامنـد. ایـن سـلول واحـد کـه چگونگـی قـرار گرفتـن اتم‌هـا یـا یون‌هـا را نسـبت به‌یکدیگـر نشـان می‌دهـد می‌توانـد از چنـد اتـم تشـکیل شـده باشـد و بـا تکـرار سـلول‌های واحـد در یـک شـبکه فضایـی بـا مختصـات معیـن در دمـای محیط یک کریسـتال (دانـه) به‌وجـود می‌آیـد. در کریستال‌شناسـی ۱۴ نـوع شـبکه واحـد وجـود دارد کـه بـه هفت سیسـتم تقسـیم‌بندی شـده و مهم‌تریـن آنهـا کـه مربـوط بـه فلزات نیز اسـت عبارت‌اند از سـاختار مکعبی با اتم در مرکز (Body - Centered Cubic)، ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (Face - Centered Cubic) و شبکه هشت‌وجهی هگزاگونـال (Hexagonal Close - Packed)، در شـکل‌های (۴ تـا ۶) این سـاختار بلوری نشـان داده شـده است.



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



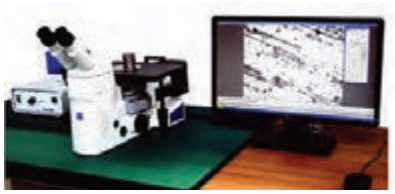
شکل ۵ـ ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (FCC) مربوط به فلزاتی مانند آلومینیوم، مس، سرب، طلا، نیکل و غیره



شکل ۶ ـ ساختار شش وجهی هگزاگونال (HCP) مربوط به فلزاتی مانند روی، برلیم، زیرکنیم، کبالت و غیره

انواع روش‌های بررسی ساختمان داخلی فلزات و آلیاژها

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



شکل ۷ـ نمونه‌ای از میکروسکوپ نوری مورد استفاده در متالوگرافی

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

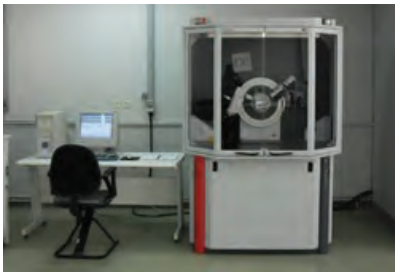


شکل ۸ـ میکروسکوپ‌های الکترونی با قدرت بزرگ‌نمایی بالا جهت بررسی ساختار درونی فلزات و آلیاژها

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

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

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



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

تحقیق

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

متالوگرافی و انواع روش‌های آن

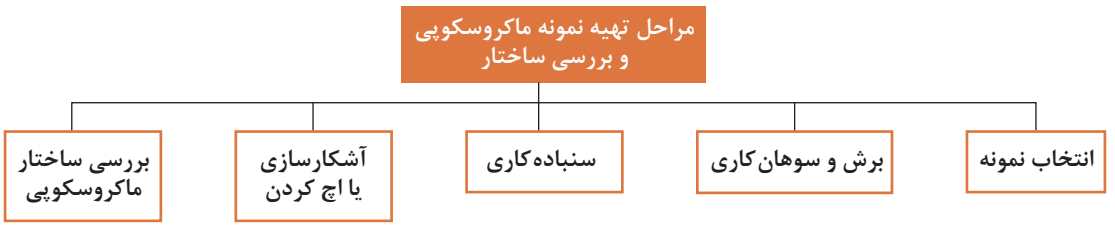
متالوگرافی به حدود ۲۰۰ سال پیش (۱۸۰۰ میلادی) برمی‌گردد که دانشمندان مطالعه فلزات را در زیر میکروسکوپ آغاز کردند و توانستند ارتباط بین اندازه دانه‌ها و سختی فلزات را بیابند، ارتباط بین ساختمان میکروسکوپی فولادهای سخت شده و خواص آنها پی‌ببرند. بنا به تعریف، متالوگرافی شاخه‌ای از علم مواد است که ساختار داخلی فلزات و آلیاژها و عیوب داخلی قطعات مثل ترک یا ناخالصی را مورد مطالعه قرار می‌دهد. با توجه به اینکه نوع ساختار درونی در خواص فیزیکی و مکانیکی فلزات و آلیاژها تأثیر زیادی دارد، بنابراین با آگاهی از علم متالوگرافی می‌توان خواص مواد را درجهت مورد نظر تغییر داد.جهت بررسی و مطالعه ساختار داخلی فلزات و آلیاژها از دو روش ماکروسکوپی[1] و میکروسکوپی[2] استفاده می‌شود.

مطالعهٔ ماکروسکوپی ساختار فلزات: مطالعهٔ ماکروسکوپی برای پی‌بردن به شکل انجماد (همه جانبه یا جهت‌دار)، اندازهٔ دانه‌ها، وجودحفره‌های 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 مطالعهٔ اجمالی بر روی سطح وسیعی از نمونه مورد آزمایش انجام پذیرد و اغلب نیز اطلاعات اولیه‌ای راجع به کیفیت قطعه، یک‌پارچگی فلز و ساختار آن، انجماد و کیفیت عملیات نهایی (ریخته‌گری، کار مکانیکی، جوشکاری) به‌دست 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 مشاهدهٔ شکل و اندازهٔ دانه‌ها و تشخیص نوع انجماد.
۴ مشخص کردن ترک‌های به‌وجود آمده در قطعات آهنگری و نورد شده در هنگام کار مکانیکی یا عملیات حرارتی.
۵ تعیین مک‌های گازی ناشی از جوشکاری که در محل جوش به‌وجود می‌آید.

مراحل آماده کردن نمونه برای مطالعهٔ ماکروسکوپی



۱ـ macroscopic ۲ـ microscopic

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



شکل ۱۰ــ نمونهٔ ماکروسکوپی از فلز خالص آلومینیوم

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



شکل ۱۱ــ کاتر مخصوص برای برش نمونه‌ها

ج) سنباده‌کاری: عملیات سنباده‌کاری 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 نشان دهندهٔ نرم‌تر بودن سنباده است. نمونه باید با فشار متوسط دست از بالا به‌طرف پایین حرکت داده شود. هنگامی که نمونه از یک کاغذ سنباده به کاغذ سنباده ظریف‌تر منتقل می‌شود، سطح نمونه به‌حدی ساییده می‌شود که خراش‌هایی با اندازهٔ جدید قابل رویت شده و خراش‌های سنباده قبلی از بین بروند. در جابه‌جایی به سنبادهٔ ظریف‌تر، نمونه 90° چرخانده شده و فشار دست نیز کاهش می یابد. سنباده‌کاری را می‌توان با استفاده از سنباده دوار برقی نیز انجام داد. این دستگاه دارای یک صفحهٔ دوار است که روی آن سنباده گِرد چسبیده و توسط الکتروموتور به چرخش در می‌آید و در هنگام سنباده‌کاری آب توسط افشانک‌های قابل تنظیم به‌محل تماس قطعه و صفحه سنباده پاشیده می‌شود.



شکل ۱۲ــ صفحه‌های صاف سنباده‌کاری نمونه‌های متالوگرافی

د) آشکارسازی یا اچ کردن (حکاکی): پس از آماده‌سازی نمونه برای آشکارکردن ساختار آن، نمونه را اچ می‌کنند. اچ کردن عبارت است ازایجاد خوردگی ضعیف توسط مواد خورنده درسطح نمونه. مواد اچ وروش 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 به‌خود 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.

جدول۱ـ انواع محلول‌های اچ ماکروسکوپی فلزات و آلیاژهای مختلف پرکاربرد

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

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

نکته ایمنی

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 تهیهٔ مواد اچ برای آلیاژهای آلومینیوم که از فلوریدریک اسید (HF) استفاده می‌شود، از به کار بردن ظرف‌های شیشه‌ای جداً خودداری کرده و به‌جای آن از ظروف پلاستیکی استفاده شود، چون این اسید باعث خوردگی شیشه‌ها می‌شود.
- جهت فرو بردن نمونه در محلول اچ از انبرهای آزمایشگاهی استفاده شود.
- نمونه‌ها بعد از اچ با الکل شسته و خشک شود.
- در هنگام رقیق کردن اسیدها با آب و یا مخلوط کردن اسیدها با یکدیگر نکات ایمنی حتماً رعایت شود.

روش حفظ و نگهداری از مواد اچ:

- جهت نگهداری اسیدها از ظروف شیشه‌ای تیره رنگ ودر محل‌هایی که دور از نور خورشید باشد، استفاده شود.

بر روی ظروف نگهداری اسیدها و حلال‌ها، نام، میزان غلظت، تاریخ تولید، تاریخ انقضا و علایم هشداردهنده برچسب گردد.

همواره مقدار لازم از مواد اچ تهیه شده و در ظرف کوچک مانند شیشه ساعت ریخته شود، چون مواد اچ به‌مرور زمان خاصیت خود را از دست می دهند.

فعالیت کارگاهی ۱

بررسی ساختار آلومینیوم ریختگی در قالب فلزی و ماسه ای

نمونه‌هایی از فلز آلومینیوم که در قالب فلزی و ماسه‌ای ریخته‌گری شده‌اند را تهیه کرده قبل و بعد از اچ به‌صورت 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 ماسهٔ ریخته‌گری با قطر داخلی حدود

۳-۴ سانتی‌متر و به ارتفاع ۸-۱۰ سانتی‌متر تهیه کنید.
۲ ۵-۱۰ کیلوگرم مذاب آلومینیوم با استفاده از یک کورهٔ مناسب تهیه و سرباره‌گیری و گاززدایی کنید.
۳ قالب‌ها را پیش‌گرم کرده و مذاب را با فوق ذوب یکسان به درون محفظه قالب بریزید (۲ تا ۳ نمونه ریخته‌گری کنید).
۴ بعد از انجماد کامل و قبل از سرد شدن، نمونهٔ قالب فلزی را با استفاده از انبر مناسب از قالب خارج کنید (درصورت سرد شدن قالب، خارج کردن نمونه مشکل خواهد شد) و نمونه قالب ماسه‌ای را بعد از انجماد و سرد شدن کامل تخلیه کنید.
۵ نمونه‌های استوانه‌ای ریخته شده را به‌صورت مقطعی و طولی با دقت برش داده و سوهان‌کاری کنید.
۶ مراحل سنباده‌کاری از سنباده ۱۲۰ تا ۱۵۰۰ را به دقت انجام دهید.
۷ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول (۱)، اچ کرده و مورد بررسی چشمی قرار دهید.

نکته ایمنی

۱ در هنگام تهیهٔ 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 کورهٔ الکتریکی مقاومتی به جای کوره‌های با سوخت فسیلی استفاده کرد.
۳ قبل از مذاب‌ریزی قالب‌ها را پیش‌گرم کنید.
۴ از سرریز شدن قالب‌ها در هنگام مذاب‌ریزی جلوگیری شود.
۵ قبل از انجماد از خارج کردن نمونه‌های ریخته شده از قالب خودداری شود.
۶ هنگام خارج کردن نمونه‌ها از دستکش نسوز و انبرهای مناسب استفاده شود.
۷ هنگام برش دادن نمونه با اره یا هر دستگاه کاتر، سوهان‌کاری و سنباده‌کاری نکات ایمنی رعایت شود.
۸ در هنگام استفاده از محلول‌های اچ، نکات ایمنی ارائه شده رعایت شود.

نکته زیست محیطی

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

بحث گروهی

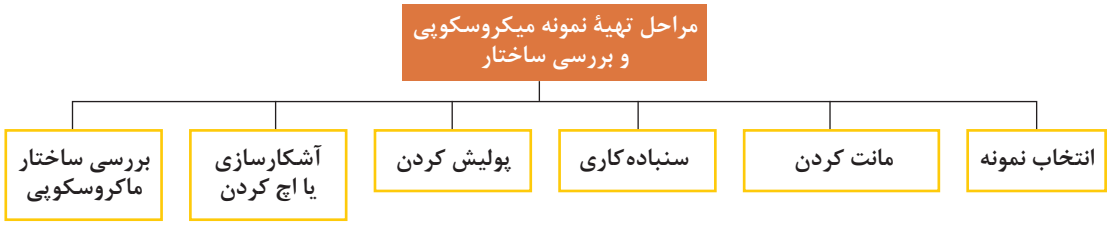
پس از انجام فعالیت به پرسش‌های زیر پاسخ داده و دربارهٔ نتایج با سایر گروه‌ها بحث و تبادل نظر کنید. سپس از روند کار گزارشی را تهیه و به هنرآموز خود تحویل دهید.	
۱	چه تفاوت‌هایی بین نمونه‌های اچ شده و اچ نشده در هر دو نمونه قالب فلزی و ماسه‌ای وجود دارد؟
۲	نمونه‌های ریخته شده در قالب فلزی و ماسه‌ای را درحالت 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 اندازهٔ دانه‌های قابل مشاهده با یکدیگر مقایسه نموده و به صورت شماتیک ترسیم نمایید.

مطالعه میکروسکوپی ساختار فلزات و آلیاژها

مطالعهٔ ساختار فلزات و آلیاژها به‌روش میکروسکوپی به‌منظور پی‌بردن به شکل، نوع و اندازهٔ دانه‌ها و فازها و همچنین نحوهٔ پخش فازها در ساختار صورت می‌گیرد. در بررسی میکروسکوپی معمولاً از میکروسکوپ‌هایی با بزرگ‌نمایی ۵۰ تا ۱۵۰۰ برابر استفاده می‌شود.

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

مراحل تهیهٔ نمونه برای مطالعهٔ میکروسکوپی



الف) انتخاب نمونه: روش تهیهٔ نمونه متالوگرافی میکروسکوپی شبیه نمونه متالوگرافی ماکروسکوپی است با این تفاوت که اندازهٔ آنها معمولاً ۱×۱×۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود. برای جدا کردن نمونه‌ها با توجه به نوع آن از اره‌های دستی برای فلزات نرم مانند آلومینیوم، ضربات چکش برای فلزات و آلیاژهای سخت مانند چدن‌ها و از کاتر برای انواع فولادها استفاده می‌شود. در انتخاب نمونهٔ متالوگرافی میکروسکوپی باید دقت شود تا نمونه تمام مشخصات قطعهٔ 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.

نکته

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.

ب) مانت کردن نمونه: برای آنکه بتوان نمونه‌های کوچک و با شکل‌های مختلف را به‌راحتی در دست گرفته و عملیات بعدی را روی آنها انجام داد، قالبی تهیه شده و نمونه را در داخل قالب قرارداده و با پرکردن فضای‌های خالی از رزین نمونه را تثبیت می‌کنند، که این عمل را مانت کردن می‌گویند. مانت‌کردن به‌روش 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. به‌صورتی که ابتدا قطعه در داخل

قالـب، روی صفحـهٔ صافـی گذاشـته شـده و از بـالا رزیـن روی آن ریختـه می‌شـود، پـس از مدتی نمونه آمـاده اسـت. و در مانـت گرم از دسـتگاهی اسـتفاده می‌شـود کـه هم‌زمـان می‌توانـد فشـار و گرمـا تولید کنـد (شـکل۱۳). نمونـه بـه همـراه پـودری پلیمری داخـل دسـتگاه قـرار می‌گیـرد و بـا ایجـاد فشـار و افزایـش دما پـودر مایع شـده دور قطعـه را می‌گیرد و بـا فشـار ایجاد شـده محکم می‌شـود. تماس خوب و دقیـق نمونـه و پلیمـر و ایجاد قالبی صـاف و بدون تخلخـل از ویژگی‌هـای مانت گرم اسـت.



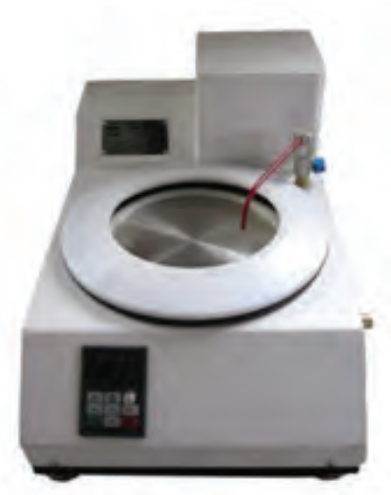
شکل ۱۳ــ دستگاه مانت گرم و نمونه‌های مانت شده



شکل۱۴ــ انواع کاغذهای سنباده و مواد مانت سرد و گرم مورد استفاده در متالوگرافی

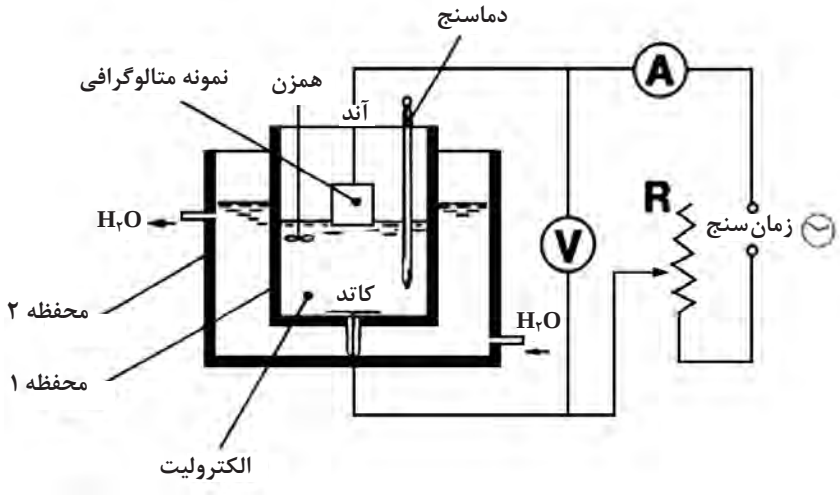
ج) سـنباده کاری: در ایـن مرحلـه نمونه‌هـا به ترتیب توسـط انواع سـنباده‌های ریـز تـا درشـت (از شـماره ۱۲۰ تـا ۲۴۰۰) بـه دقت و ظرافـت تمـام، سـنباده‌کاری شـده و آمـادهٔ مرحله بعدی می‌شـوند. سـنباده‌کاری بـرروی صفحـات فلـزی صـاف به‌صـورت دسـتی و یـا صفحـات فلـزی گـرد به‌وسـیله دسـتگاه صفحـه سـنباده انجـام می‌شـود. در هریـک از مراحـل سـایش، نمونه به‌شـکلی حرکت داده می‌شـود کـه خراش‌هـا فقـط در یک جهت ایجاد شـود و در سـایش بعـدی، جهـت آن عـوض می‌شـود (شـکل ۱۴).

د) صیقل کاری یا پولیش کردن: حساس‌ترین و مهم‌ترین مراحل آماده‌سازی برای آزمایش متالوگرافی، پولیش کردن است. در این مرحله خراش‌های حاصل از سنباده‌زنی از بین رفته و سطحی کاملاً صاف و آینه‌ای به‌وجود می‌آید به‌طوری که ساختمان واقعی فلز در معرض اچ قرار می‌گیرد. عمل پولیش کردن به دوصورت مکانیکی و الکتروپولیش قابل انجام است. در روش مکانیکی، پولیش کردن بر روی پارچه‌های مناسب که مواد ساینده‌ای نظیر آلومینا، منیزیم اکسید، پودر الماسه یا سیلیسیم کاربید به آن اضافه شده، انجام می‌شود. پولیش کاری به‌وسیلهٔ دست و یا با استفاده از دستگاه پولیش همراه با مایع خنک‌کننده (آب) انجام می‌شود. کیفیت سطح پولیش شده نمونه به عواملی مانند نوع پارچه، نوع پودر، سرعت پولیش‌کاری، زمان پولیش‌کاری، فشار قطعه بر روی صفحهٔ پولیش و روش پولیش‌کاری بستگی دارد. (شکل۱۵)



شکل ۱۵ــ دستگاه پولیش یک صفحه‌ای

در روش الکتروپولیـش از جریـان الکتریسـیته و محلول‌هـای الکترولیـت اسـتفاده می‌شـود. به‌ایـن صـورت کـه برجسـتگی‌هایی کـه بـرروی سـطح قطعـه وجود دارنـد به وسـیلهٔ جریـان الکتریسـیته همراه بـا محلول الکترولیـت خـورده می‌شـود. عواملـی مانند شـدت جریـان الکتریسـیته، ولتاژ، زمـان، درجه حـرارت محلول الکترولیـت و نـوع محلـول بـر روی پولیش کـردن مؤثرند (شـکل۱۶).



شکل ۱۶ـ 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) حک‌کاری یا اچ کردن: درمورد اکثر فلزات و آلیاژها پس از پولیش‌کردن در زیر میکروسکوپ نوری متالورژی تصویری مشاهده نمی‌شود. چون زاویهٔ تابش نور با زاویهٔ بازتابش برابر است تصویری تشکیل نخواهد شد. به‌وسیلهٔ مواد خورندهٔ فلزات، نظیر اسیدها با غلظت‌های مختلف (محلول اچ) خوردگی روی سطح فلزات ایجاد می‌کنند، این خوردگی ضعیف باعث شکست نورشده ودر 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 به‌عواملی مانند غلظت مواد شیمیایی، درصد عناصر آلیاژ نمونه، دمای قطعه کار و محلول بستگی دارد.

جدول ۲ـ انواع محلول‌های اچ میکروسکوپی فلزات و آلیاژهای مختلف پرکاربرد

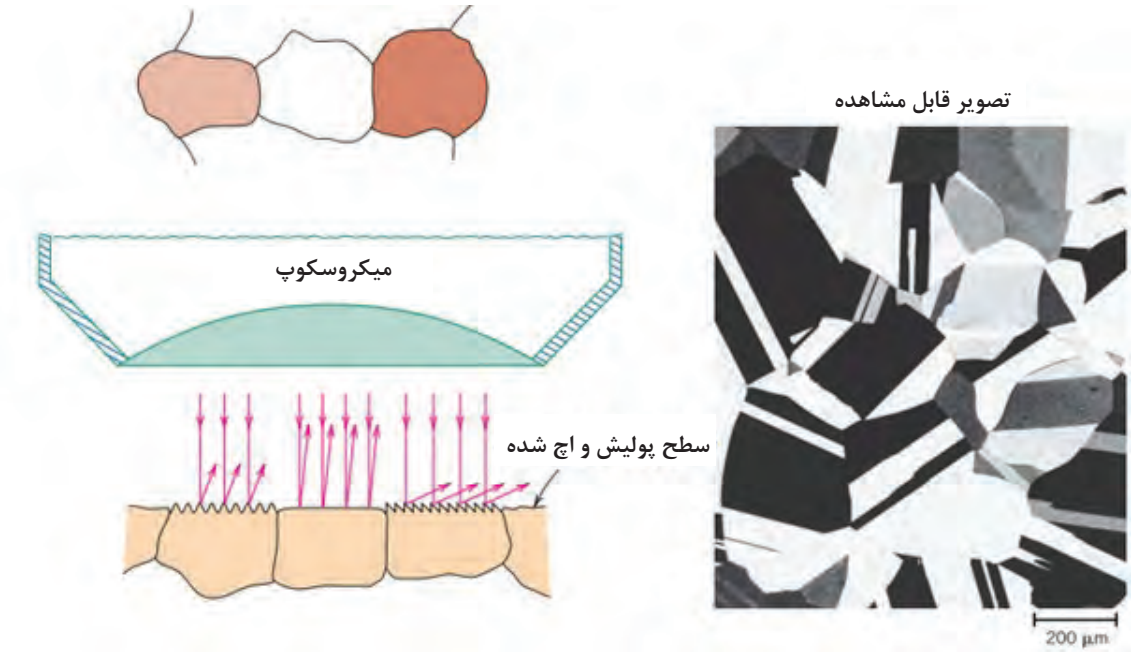
فلزها	محلول اچ	ترکیب	کاربرد
فولاد و چدن	نایتال	۵ درصد نیتریک اسید ۹۵ تا ۹۹ درصد متیل الکل	فولادها و چدن‌ها پرلیت را تیره می‌کند و مرز دانه‌ها را نشان می‌دهد.
	پیکرال	۴ گرم پیکریک اسید ۱۰۰ میلی‌گرم متیل الکل	در فولادها و چدن‌ها پرلیت را تیره و مرز دانه‌ها را نشان می‌دهد. در فولادهای عملیات حرارتی شده نیز کاربرد دارد.
	کلرورفریک	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	آمونیوم هیدروکسید و هیدروژن پیروکسید	۰/۵ NH_4OH (وزن مخصوص ۰/۸۸) ۰/۵ آب، ۲۵ درصد H_2O_2 ۳ درصد	محلول اچ برای اکثر آلیاژهای مس
	کرومیک اسید	محلول رقیق شده کلریدریک اسید Cr_2O_3	مس ـ برنز ـ برنج و نقره نیکلی
آلومینیوم و آلیاژهای آن	فلوریدریک اسید	۰/۵ میلی‌لیتر HF ۹۹/۵ میلی‌لیتر آب	ظاهرکنندهٔ عمومی برای آلیاژهای آلومینیوم
	سدیم هیدروکسید	۱۵ گرم سود ۹۰ میلی‌گرم آب	محلول اچ میکرو و ماکرو برای آلیاژهای آلومینیوم

پرسش

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

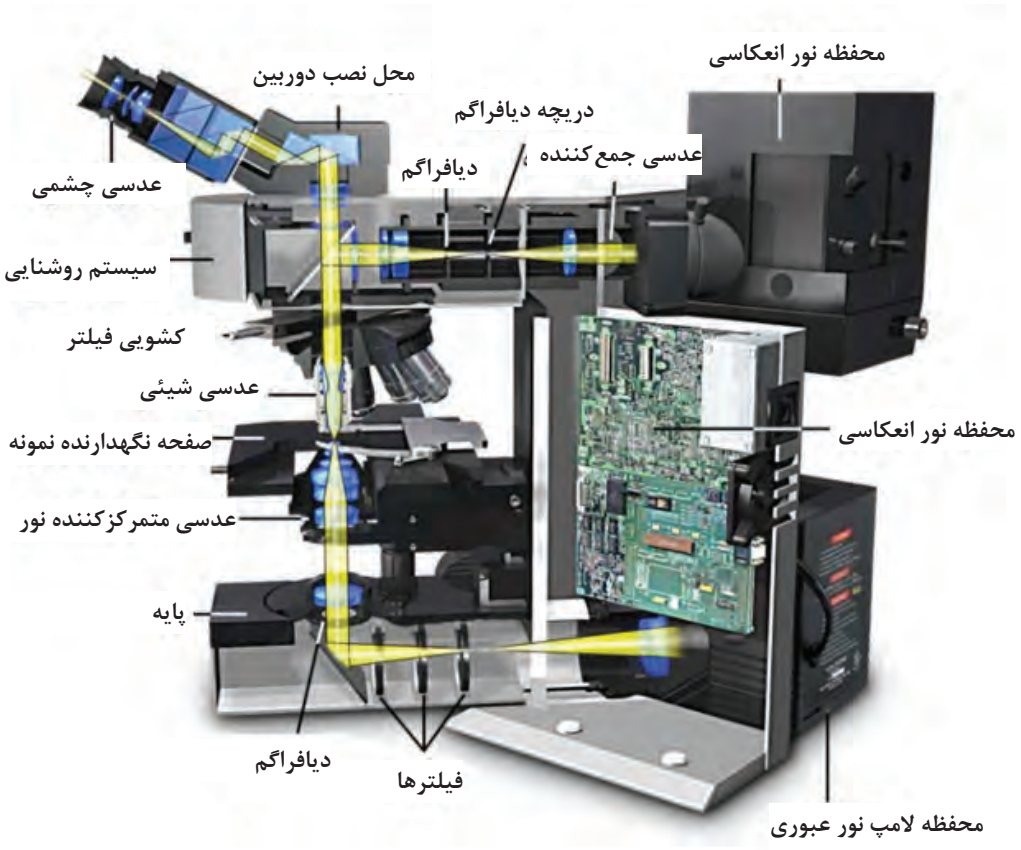
میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی

در بررسی‌های متالوگرافی از میکروسکوپ‌های نوری انعکاسی (بازتابی) جهت مشاهدهٔ سطح نمونه استفاده می‌شود. این میکروسکوپ‌ها به‌طورکلی شامل عدسی‌های چشمی و عدسی‌های شیئی و یک منبع نوری با شدت بالا هستند. در این میکروسکوپ‌ها نور ایجاد شده به‌وسیله عدسی‌های جمع‌کننده و توسط یک منعکس‌کننده به سطح نمونه مورد آزمایش تابانده می‌شود. درصورتی که در سطح قطعه فرورفتگی و برجستگی (در اثر اچ کردن) وجود داشته باشد، شعاع‌های نوری تابیده شده با بازتابش یکسان نخواهد بود، درنتیجه نور تابیده شده از محل فرورفتگی‌ها شکسته شده ودر همان نقاط محل‌های تیره برای مشاهدهٔ 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 ۱۷ــ نمایشی از نحوهٔ 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 به‌وسیلهٔ پیچ تنظیم بزرگ نمونه را به عدسی شیئی نزدیک کرده و سپس با پیچ تنظیم ظریف‌تر تصویر را ظاهر می‌کنند.



شکل ۱۸ــ اجزای مختلف میکروسکوپ نوری متالوگرافی

میکروسکوپ‌های نوری متالوگرافی براساس قرارگرفتن نمونه روی میکروسکوپ به دو نوع معکوس و مستقیم تقسیم‌بندی می‌شوند. در نوع مستقیم نور از قسمت بالا به‌سطح 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 قطعهٔ مورد آزمایش نیازی نیست. شکل (۱۹) هر دو نوع میکروسکوپ را نشان می‌دهد.



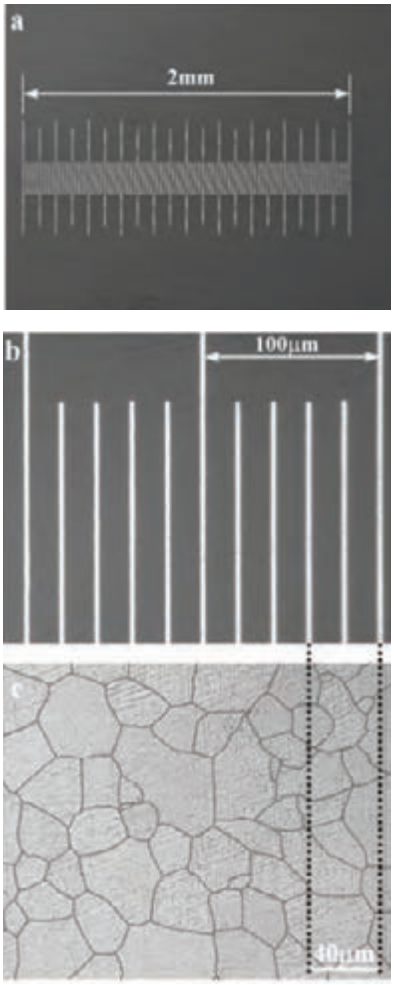
ب) نوع مستقیم　　الف) نوع معکوس

شکل ۱۹ــ انواع میکروسکوپ نوری متالوگرافی

برای به دست آوردن بزرگ‌نمایی میکروسکوپ معمولاً عدد روی عدسی شیئی، در عدد عدسی چشمی ضرب می‌شود. به‌عنوان مثال اگر بزرگ‌نمایی عدسی چشمی ۱۰ برابر و عدسی شیئی ۴۰ برابر باشد، بزرگ‌نمایی میکروسکوپ ۴۰۰ = ۴۰ × ۱۰ 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 دیجیتالی و یا دوربین‌های مدار بسته‌ای که برروی میکروسکوپ‌ها متصل است، استفاده می‌شود. مانند شکل قسمت (ب)

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



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

فعالیت کارگاهی ۲

بررسی ساختاری آلیاژ آلومینیوم ـ سیلیسیم:

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

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

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

نکات ایمنی

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

بحث گروهی

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

انواع آلیاژها و نمودارهای فازی

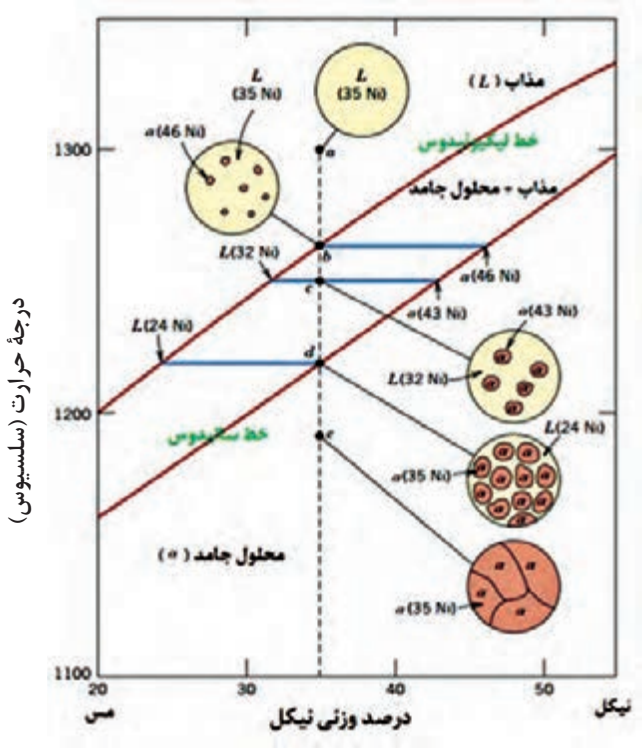
ناحیه معینی از حالت فیزیکی یک ماده، که از نظر فیزیکی و شیمیایی همگن بوده و به‌وسیلهٔ سطحی مشخص از اجزای دیگر جدا می‌شود را یک فاز می‌نامند. به عبارت دیگر در موقع حرکت از یک نقطه به‌نقطه دیگر در ناحیه‌ای از ماده، تغییر ناگهانی مشاهده نشود. به‌عنوان مثال وجود هم زمان مایع و جامد نشان دهنده یک سیستم ناهمگن بوده که از دو فاز تشکیل شده است. با استفاده از تغییرات فیزیکی مانند چگالی، 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، بنابر این نمودارها، ارتباط و مشخصات فازها را در شرایط تعادل (تحت شرایط تعادل با گذشت زمان تغییری در فازها رخ نمی‌دهد) نشان می‌دهند.

آلیاژهای محلول جامد (solid solution)

اگر دو یا چند عنصر درحالت 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 بین نشینی.

در محلول جامد جانشینی، اتم‌های فلز حل شده جانشین اتم‌های موجود در شبکهٔ بلوری فلز حلال می‌شوند. مانند آلیاژ دوتایی مس ـ نیکل، که در این آلیاژ اتم‌های نیکل بدون اینکه شبکهٔ بلوری مس(FCC) به هم بخورد، جانشین اتم‌های مس می‌شوند. در نهایت اتم‌های مس و نیکل به‌صورت پراکنده در ساختمان بلوری توزیع می‌شوند. از دیگر محلول‌های جامد می‌توان به طلا ـ نقره، مس ـ روی تا حدود ۳۵ درصد (برنج) و غیره اشاره کرد. در شکل ۲۱ نمودار فازی مس -۳۵٪نیکل به‌همراه فرایند انجماد و تشکیل محلول جامد نشان داده شده است.



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

فعالیت کارگاهی ۳

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

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

قطعه یا نمونهٔ ریخته شده از آلیاژ مورد نظردر قالب CO_2، اره یا دستگاه کاتر، سوهان با آج درشت و ریز، صفحه سنباده و سنباده‌های ۱۲۰ تا ۲۰۰۰، دستگاه پولیش و محلول اچ مناسب، دستگاه خشک‌کردن نمونه و وسایل ایمنی آزمایشگاهی.

مراحل انجام کار:

۱ پس از برش‌کاری، سوهان‌کاری و سنباده‌کاری با سنباده‌های مختلف، پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 با اندازه دانه ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.

۲ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول۲، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

۳ نتیجه به‌دست آمده را به‌صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه کنید.

نکته ایمنی

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

بحث گروهی

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

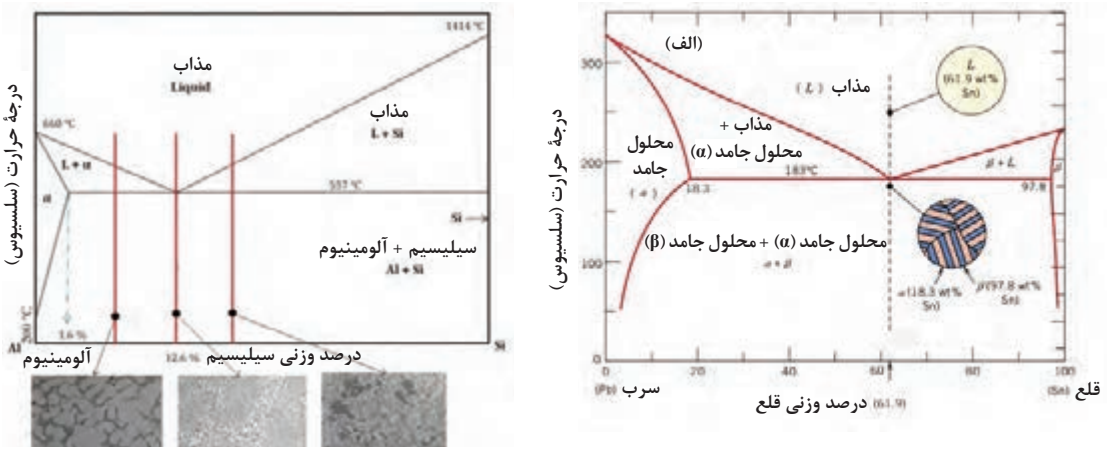
آلیاژهای یوتکتیک(Eutectic Alloys): آلیاژ یوتکتیک، آلیاژی است از دو فلز مختلف، که درحال مذاب با هم محلول بوده و پس از انجماد (در یک دمای ثابت) به دو محلول جامد تبدیل می‌شود.

دگرگونی یوتکتیک

$$\text{مذاب} \rightarrow \text{محلول جامد } (\alpha) + \text{محلول جامد } (\beta)$$

از جمله آلیاژهای دوتایی که دارای تحول یوتکتیک هستند می‌توان به آلیاژهای نقره ـ مس، قلع ـ سرب، آهن ـ کربن، آلومینیوم ـ سیلیسیم و غیره اشاره کرد. هرکدام از این آلیاژها در صنعت مصارف خاص خود را دارند. به‌طور مثال آلیاژ نقره ـ مس جهت وسایل تزیینی، قلع ـ سرب جهت لحیم‌کاری، آهن ـ کربن و آلومینیوم ـ سیلیسیم در قطعات خودرو به کار می‌روند.

در شکل(۲۲) نمودار فازی سرب ـ قلع (سمت راست) و آلومینیوم ـ سیلیسیم (سمت چپ) با دگرگونی یوتکتیک به همراه ساختار متالوگرافی در دمای محیط، نشان داده شده است.



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

در اثـر دگرگونـی یوتکتیکـی دو فـاز بـا فاصلـه کـم و دانه‌هـای بسـیار ریـز در کنـار یکدیگـر قـرار می‌گیرند کـه ایـن امـر باعـث شـده سـاختار یوتکتیکـی از سـاختارهای دو فـازی سـاده قابل تمایـز باشـد. به‌طورکلی آلیاژهایـی بـا دگرگونـی یوتکتیکـی دارای خصوصیـات و ویژگی‌هـای زیـر می‌باشـند:

- نقطهٔ ذوب آنها از عناصر تشکیل‌دهنده 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:

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

مراحل انجام کار:

پس از بریدن وآماده‌سازی نمونه شامل سوهان‌کاری و سنباده‌کاری، مراحل زیر را انجام دهید.

۱ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 با اندازه دانهٔ ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.

۲ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

۳ نتیجه را به‌صورت گزارش کار به هنرآموز ارائه کنید.

بحث گروهی

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

تحقیق

بـا افـزودن عناصـر آلیـاژی ماننـد سیلیسـیم بـه آلومینیـوم درخـواص مکانیکـی چـه تغییراتـی به‌وجـود می‌آیـد؟ پـس از بررسـی دقیـق سـاختار پاسـخ را بـه همـراه گـزارش کار تحویـل هنرآمـوز خـود دهیـد.

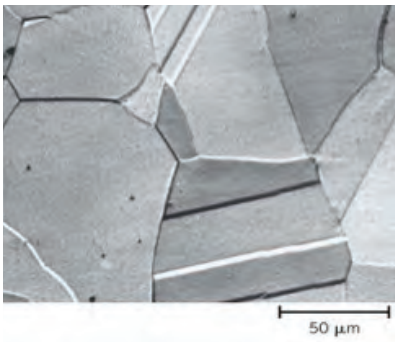
آلیاژهای یوتکتوئیدی: در دگرگونی یوتکتوئیدی یک فاز جامد به دو فاز جامد دیگر در دمای ثابت تبدیل می‌شود. این دگرگونی بیشتر در آلیاژهای آهن ـ کربن (فولادها و چدن‌ها) مطرح می‌باشد که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود.

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 تقسیم بندی می‌شوند که تقسیم‌بندی آنها می‌تواند براساس روش تولید، روش ساخت، شکل محصول، روش اکسیژن‌زدایی، استحکام، ریزساختار، ترکیب شیمیایی و غیره باشد.

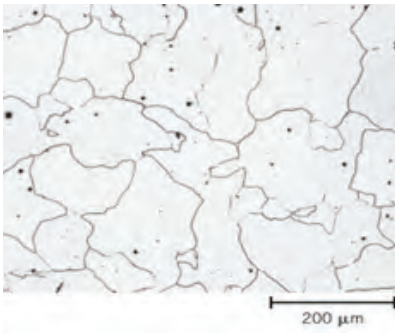
ساختار زمینه در فولادهای ساده کربنی:

الف) آستنیت (γ): محلول جامد آهن و کربن است که دارای ساختمان مکعبی FCC بوده و در جریان سرد شدن و انجماد به‌وجود می‌آید (شکل۲۳). این فاز در فرایند سرد شدن ناپایدار بوده ودر اثر تحول یوتکتوئید به فریت و پرلیت و یا مخلوطی از آنها تجزیه می‌گردد. منطقه پایدار آستنیت از ۷۲۳ درجهٔ سلسیوس به بالا است لذا در دمای محیط در شرایط تعادلی در فولادهای ساده کربنی قابل مشاهده نیست.



شکل ۲۳ـ تصویر میکروسکوپی آستنیت
(بزرگ‌نمایی ۴۰۰×)

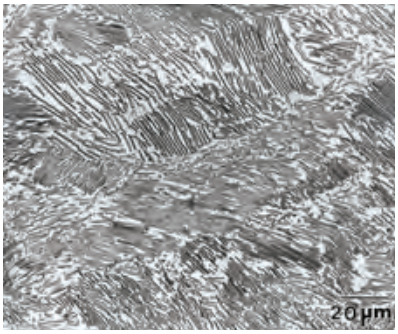
ب) فریت (α): محلول جامد کربن در آهن با شبکه کریستالی BCC می‌باشد که حداکثر مقدار کربن ۰/۰۲ درصد در ۷۲۳ درجهٔ سلسیوس بوده و در دمای محیط این فاز پایدار است و در زیر میکروسکوپ به رنگ سفید مشاهده می‌گردد (شکل ۲۴).



شکل ۲۴ـ تصویر میکروسکوپی فریت
(بزرگ‌نمایی ۱۰۰×)

ج) سمانتیت (Fe_3C): درصورتی که درصد کربن در فولادها و یا آلیاژهای آهن-کربن بیش از حد حلالیت آن در آستنیت یا فریت باشد فازی به نام آهن کاربید یا سمنتیت به‌وجود می‌آید. این فاز یک ترکیب بین فلزی بوده که هنگام سردکردن تعادلی از دمای بالا دراثر تحول یوتکتیک و یوتکتوئید به‌وجود می‌آید.

د) پرلیت (P): ترکیبی از لایه‌های متناوب فریت و سمانتیت می‌باشد که در اثر تحول یوتکتوئید از آستنیت به‌وجود می‌آید که در زیر میکروسکوپ در بزرگ‌نمایی‌های بالای ۵۰۰ برابر به صورت اثر انگشت است (شکل۲۵).



شکل ۲۵ـ تصویر میکروسکوپی پرلیت
(بزرگ‌نمایی ۸۰۰×)

نکته

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.

نمودار فازی آهن ـ کربن

نمودار فازی آهن ـ کربن محدودهٔ ترکیب شیمیایی و دمایی فازهای تعادلی را که در فولادهای سادهٔ کربن پایدار می‌باشند را مشخص می‌کند و به دو صورت نمودار آهن ـ سمانتیت (نیمه تعادلی) و نمودار آهن ـ گرافیت (تعادلی) مورد بررسی و استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به اینکه در فولادها گرافیت به ندرت تشکیل می‌شود در نتیجه، نمودار تعادلی آهن ـ سمانتیت جهت مطالعه مناسب‌تر است. در شکل ۲۶ نمودار آهن ـ سمانتیت و آهن ـ گرافیت همراه با محدودهٔ 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 درجهٔ سلسیوس است.

در نمودار آهن ـ 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 ـ آستنیت، مذاب ـ سمنتیت، آستنیت ـ سمنتیت (لدبوریت)، فریت ـ سمنتیت (پرلیت) است. در این نمودار تحول یا دگرگونی‌های مهم (به‌غیر از تحول پریتکتیک)، به‌صورت‌های زیر مطرح است.

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

مذاب ⟵ آستنیت + سمنتیت

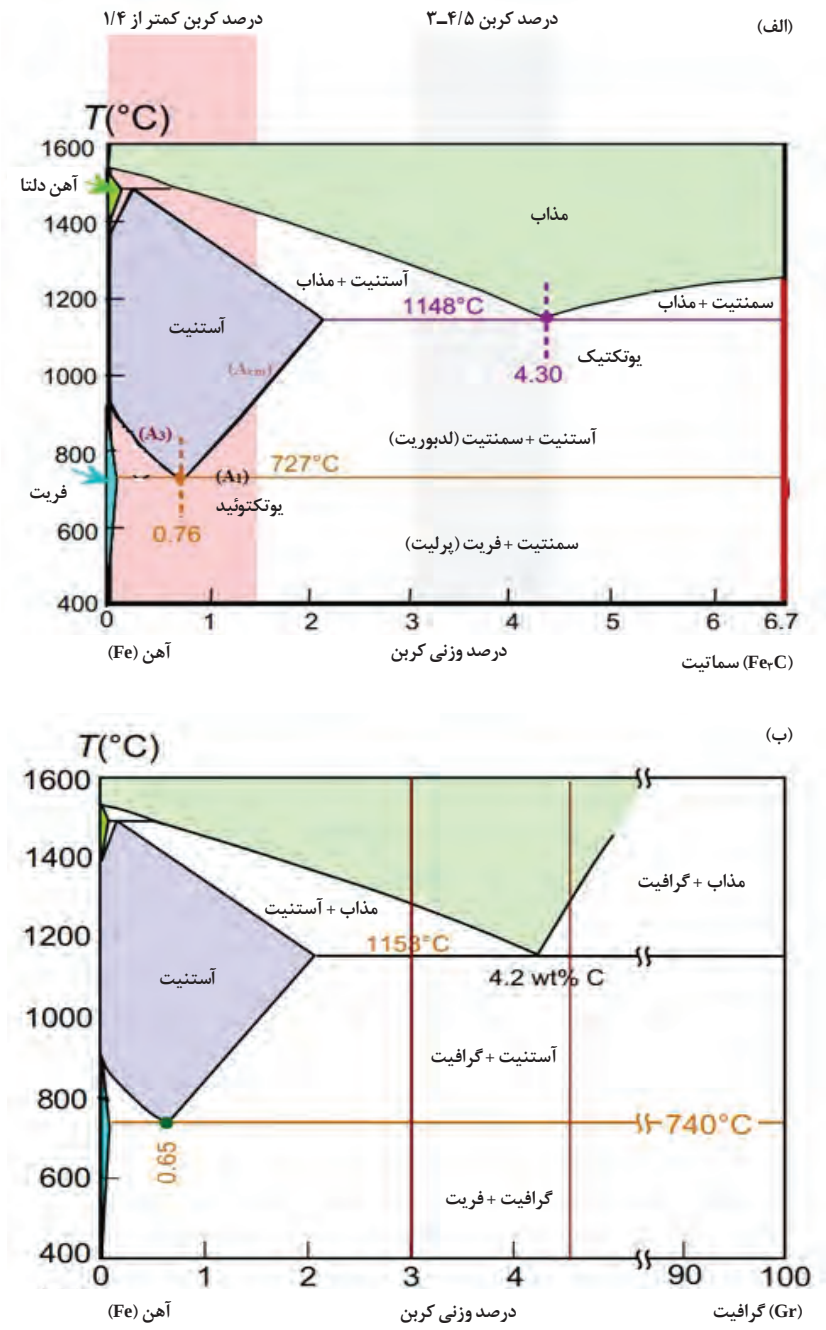
- تحول یوتکتوئید در دمای $727^{\circ}C$ که فاز جامد آستنیت به دو فاز جامد فریت و سمنتیت (پرلیت) تبدیل می‌شود.

آستنیت (۰/۷۷ ٪C) ⟵ فریت (۰/۰۲ ٪C) + سمنتیت (۶/۶۷ ٪C)

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

- فصل مشترک منطقه دو فازی فریت ـ سمنتیت و یکی از مناطق دو فازی فریت ـ آستنیت و یا سمنتیت ـ آستنیت (A_1).
- فصل مشترک منطقه دو فازی فریت ـ آستنیت با منطقه تک فازی آستنیت (A_3).
- فصل مشترک منطقه تک فازی آستنیت با منطقه دو فازی آستنیت ـ سمنتیت (A_{cm}).

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

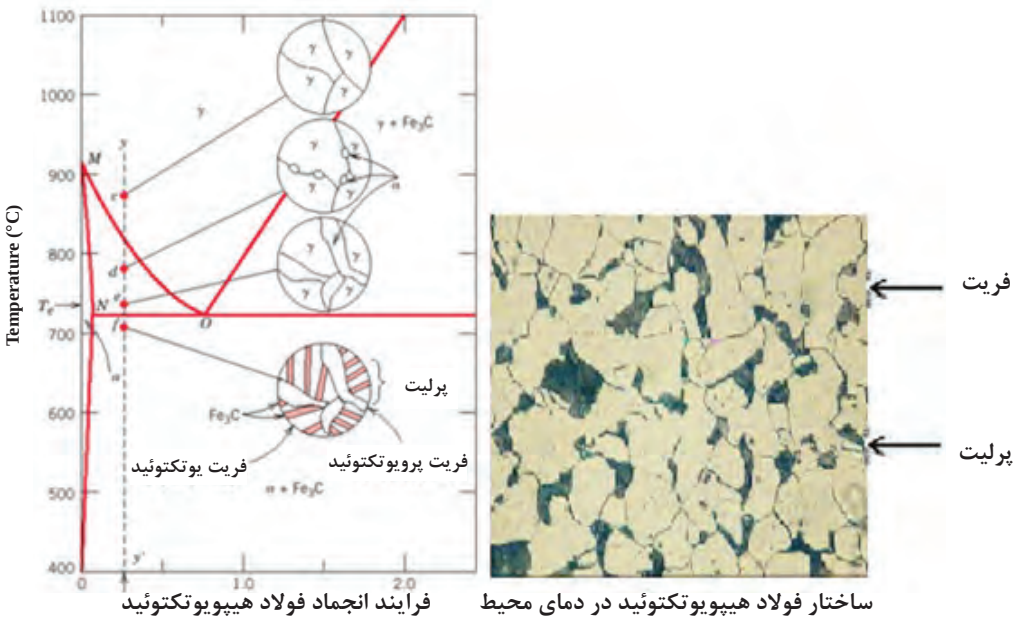


شکل ۲۶ـ نمودار آهن ـ کربن الف) در حالت نیمه تعادلی (آهن ـ سمانتیت) ب) در حالت تعادلی (آهن ـ گرافیت)

بحث گروهی

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

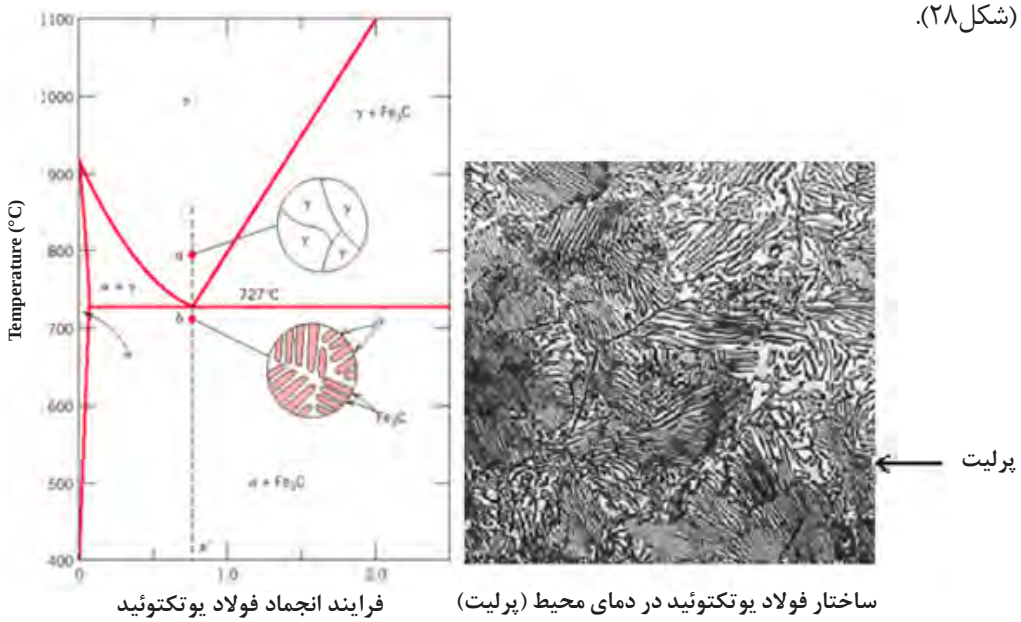
الف) فولادهای هیپویوتکتوئید: این فولادها دارای ۰/۰۲ تا ۰/۷۷ درصد کربن دارند و ساختار متالوگرافی آنها شامل فریت و پرلیت است که با افزایش درصد کربن بر میزان پرلیت اضافه شده و از فریت کاسته می‌شود. شکل (۲۷) فرایند تشکیل فازهای مختلف را در حین انجماد تعادلی نشان می‌دهد. در ساختار نهایی (دمای محیط) در زیر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



فرایند انجماد فولاد هیپویوتکتوئید — ساختار فولاد هیپویوتکتوئید در دمای محیط

شکل ۲۷ــ ساختار متالوگرافی فولاد هیپویوتکتوئید

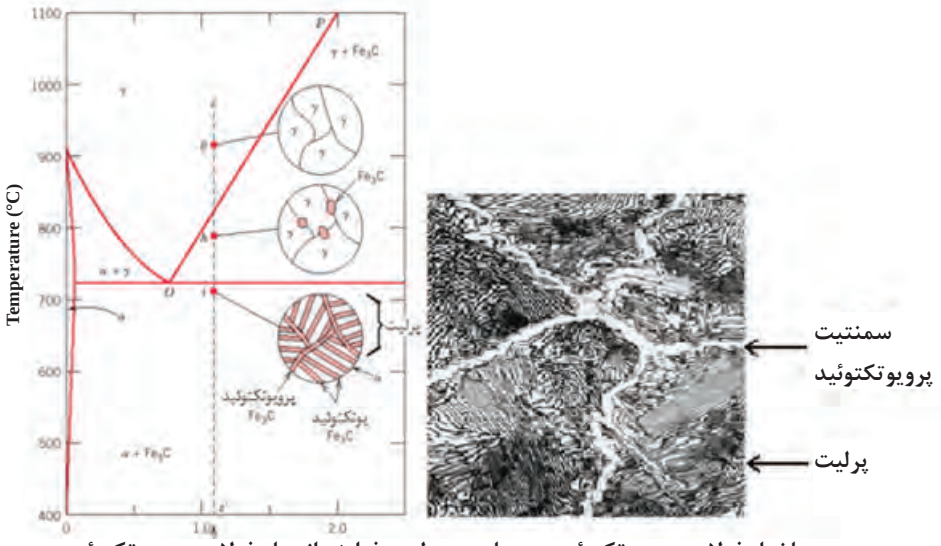
ب) فولادهای یوتکتوئید: کربن این فولاد حدود ۰/۷۷ درصد بوده و ساختار آن در دمای محیط کاملاً پرلیتی است. پرلیت در زیر میکروسکوپ در بزرگ‌نمایی‌های کم به رنگ تیره ودر بزرگ‌نمایی‌های بزرگ به‌صورت اثر انگشت قابل مشاهده است (شکل۲۸).



فرایند انجماد فولاد یوتکتوئید — ساختار فولاد یوتکتوئید در دمای محیط (پرلیت)

شکل ۲۸ــ ساختار متالوگرافی فولاد یوتکتوئید

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



ساختار فولاد هیپر یوتکتوئید در دمای محیط فرایند انجماد فولاد هیپر یوتکتوئید

شکل ۲۹ــ ساختار متالوگرافی فولاد هیپریوتکتوئید

فعالیت کارگاهی ۵

سه نوع فولاد ۱۰۱۰، ۱۰۴۰ و ۱۰۸۰ یا فولادهای CK15، CK45 و CK80 تهیه و بعد از آماده‌سازی 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 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 ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.

نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۱، اچ کرده و مورد بررسی میکروسکوپی قرار دهید.

نکات ایمنی

۱ هنگام برش نمونه‌ها با دستگاه کاتر از محافظ دستگاه استفاده شود.

۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان کاری، گوشه‌های تیز و برنده نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده‌کاری آسیبی به‌دست وارد نشود.

۳ هنگام تهیه و استفاده از محلول‌های اچ نکات ایمنی رعایت شده و باقی‌مانده محلول به‌طور مناسب و همراه با آب کافی دور ریخته شود.

بحث گروهی

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

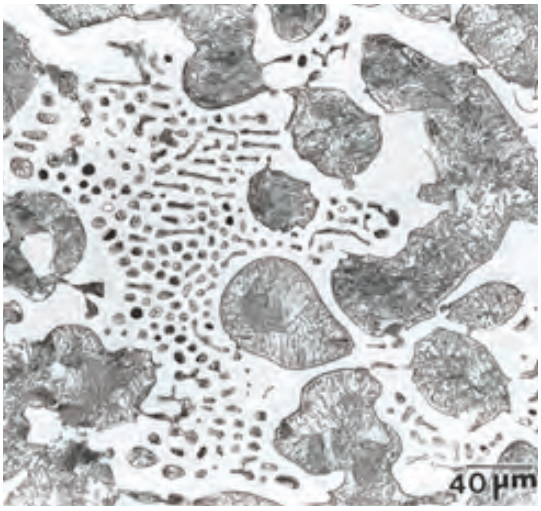
آلیاژ آهن ـ کربن که بیش از ۲/۰۶ درصد کربن دارند، چدن نامیده می‌شود. درصد بالای کربن و وجود عناصر آلیاژی مثل سیلیسیم باعث به وجود آمدن گرافیت در ساختار نهایی چدن‌ها می‌شود. گرافیت حالتی از کربن است که پایدارتر از سمانتیت است. با توجه به شکل، اندازه و توزیع گرافیت، چدن‌ها به انواع چدن‌های خاکستری (گرافیت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

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

ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن ـ سمانتیت

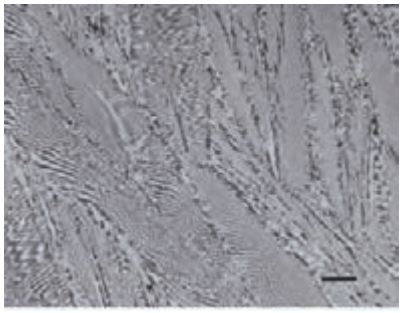
در سرعت سرد شدن زیاد هنگام انجماد، سمانتیت (Fe_3C) به‌وجود می‌آید و ساختار نهایی چدن مجموعه‌های شامل فریت و سمانتیت است. به علت وجود فاز سفید رنگ سمانتیت در مقطع شکست، به آن چدن سفید گفته می‌شود. مطابق با نمودار آهن ـ سمانتیت، با توجه به وجود درصد کربن نسبت به نقطه یوتکتیک، چدن‌ها به سه دسته کلی تقسیم‌بندی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

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 آستنیت‌های اولیه جوانه زده و تا کمی بالاتر از دمای یوتکتیک شروع به رشد می‌کنند، سپس در اثر تحول یوتکتیک فاز مذاب باقی مانده به ساختار لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) منجمد می‌شود و همچنان با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید تمامی آستنیت‌ها به پرلیت (فریت + سمانتیت) تبدیل می‌شوند که در نهایت در دمای محیط ساختار چدن‌های هیپو یوتکتیک شامل دو فاز پرلیت (درشت و ریز) در زمینه سمانتیت می‌شود. شکل (۳۰) ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپویوتکتیک 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.



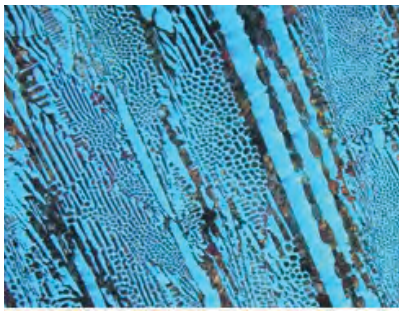
شکل ۳۰ـ ساختار میکروسکوپی چدن سفید هیپویوتکتیک در بزرگ‌نمایی ۴۰۰×

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) تبدیل می‌شود و با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید فاز آستنیت به پرلیت تبدیل می‌شود و در نهایت در دمای محیط ساختار چدن یوتکتیک شامل فازهای پرلیت (ریز) در زمینه سمانتیت می‌شود (شکل ۳۱).



شکل ۳۱ـ ساختار چدن یوتکتیک (لدبوریت در بزرگ‌نمایی ۸۰۰×)

ج) چدن‌های هیپر یوتکتیک: درصد کربن این چدن‌ها مطابق نمودار آهن ـ سمانتیت از ۴٫۳ تا ۶٫۶۷ است. در فرایند انجماد از نقطه ذوب ابتدا تیغه‌های سمانتیت جوانه زده و شروع به رشد می‌کنند و با کاهش دما در اثر تحول یوتکتیک مذاب باقی مانده به لدبوریت (سمانتیت + آستنیت) منجمد می‌شود و همچنان با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید فاز آستنیت به پرلیت (فریت + سمانتیت) تبدیل می‌شوند و در نهایت در دمای محیط چدن شامل فاز پرلیت (ریز) به همراه تیغه‌های سمانتیت در زمینه سمانتیت می‌شود. شکل (۳۲) ساختار میکروسکوپی چدن سفید هایپریوتکتیک را نشان می‌دهد در این شکل سمانتیت اولیه (نواحی سفید رنگ و طویل) همراه با یوتکتیک لدبوریتی کاملاً مشخص است.



شکل ۳۲ـ ساختار چدن هیپویوتکتیک (سمنتیت پرویوتکتیک در زمینه لدبوریت)

فعالیت کارگاهی ۶

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

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 سوهان‌کاری و سنباده‌کاری 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 میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.

۳ نمونه‌ها را بعد از پولیش با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید.

۴ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و بعد از شستن و خشک کردن در زیر میکروسکوپ از نظر فازی مورد بررسی قرار دهید.

۵ نتایج را به همراه پاسخ پرسش در گزارش کار به هنرآموز خود تحویل دهید.

نکات ایمنی

۱ هنگام تهیهٔ نمونه توسط ضربه زدن، از پرتاب شدن قطعات شکسته شده ممانعت گردد.
۲ بعد از برش نمونه‌ها و سوهان‌کاری، گوشه‌های تیز و برندهٔ نمونه‌ها قوس داده شود تا هنگام گرفتن آنها با دست و سنباده‌کاری آسیبی به‌دست وارد نشود.
۳ جهت براده‌برداری سطوح قطعات از سنگ سنباده استفاده نشود.

پرسش

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

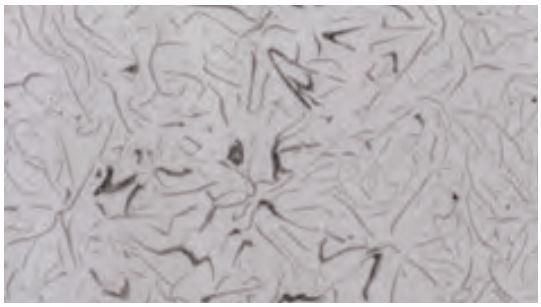
ساختار چدن‌ها در سیستم تعادلی آهن ـ گرافیت

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

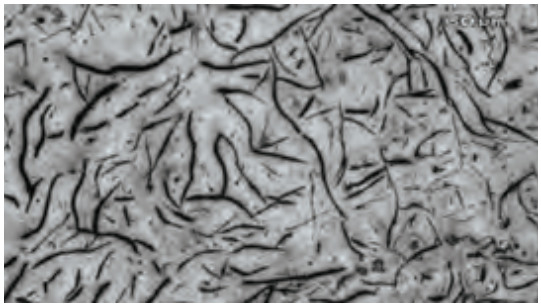
الف) چدن‌های هیپویوتکتیک: درصد کربن این چدن‌ها ۲ تا ۴/۳ درصد بوده و فرایند انجماد آنها با جدا شدن دندریت‌های آستنیت اولیه از مذاب شروع می‌شود. که با کاهش دما در اثر تحول یوتکتیک مذاب باقی‌مانده به گرافیت و آستنیت یوتکتیک (ساختار یوتکتیک) تبدیل می‌شود و همچنین با کاهش دما در اثر تحول یوتکتوئید تمامی آستنیت‌ها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

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

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

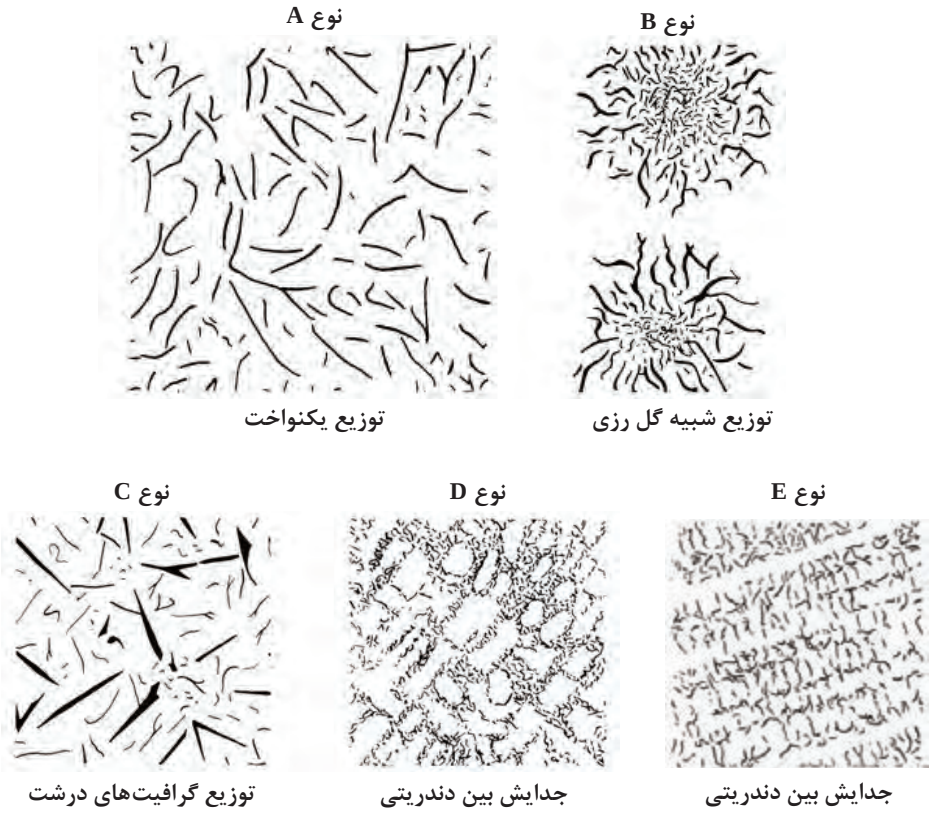


شکل ۳۳ـ ساختار چدن هیپو یوتکتیک (فریت به همراه گرافیت لایه‌ای)



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

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



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

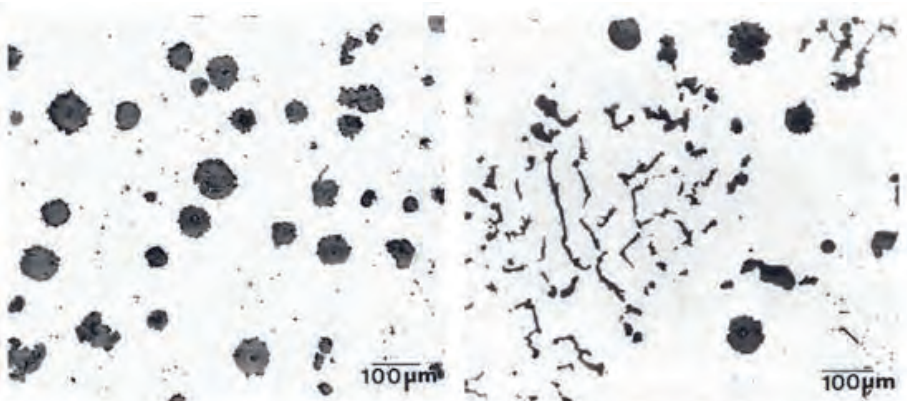
فعالیت کارگاهی ۷

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

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

ساختار میکروسکوپی چدن داکتیل (نشکن)

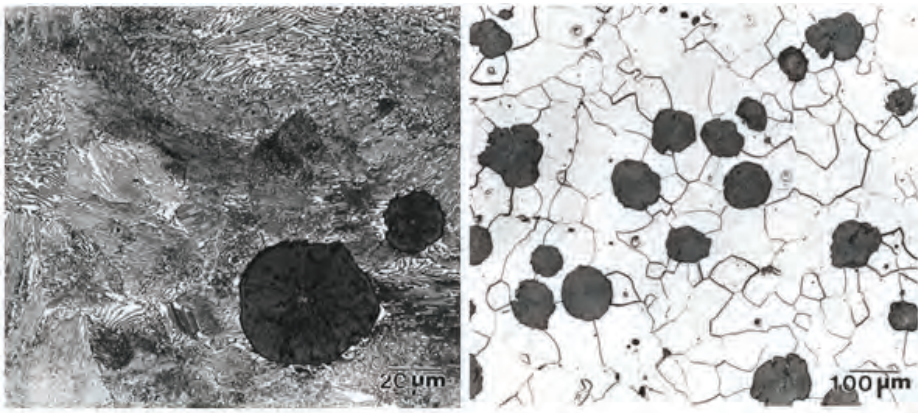
در چدن‌های داکتیل، گرافیت به صورت کروی شکل وجود دارد و به همین دلیل به این چدن‌ها، چدن با گرافیت کروی نیز گفته می‌شود. ترکیب شیمیایی چدن‌های داکتیل مشابه چدن‌های خاکستری بوده و کربن معادل آنها معمولاً بالا است. درصد وزنی گوگرد در این چدن‌ها باید در حد بسیار پایین باشد. توزیع گرافیت‌ها از طریق شمارش آنها در هر میلی‌متر مربع تعیین می‌شود. استاندارد ASTM A۲۴۷ هفت نوع از توزیع گرافیت کروی را دسته‌بندی کرده است. چدن‌های داکتیل از استحکام بالاتری نسبت به چدن‌های خاکستری برخوردار بوده ولی ضریب انتقال حرارت آنها پایین‌تر است. شکل (۳۶) ساختارهای میکروسکوپی چدن‌های داکتیل در حالت پولیش شده را نشان می‌دهد.



چدن داکتیل با کمتر از ۲۰ درصد کروی　　چدن داکتیل با بیشتر از ۹۰ درصد کروی شدن

شکل ۳۶ـ ساختارهای میکروسکوپی چدن‌های داکتیل بدون اچ ۱۰۰×

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 ساختارِ چدنِ داکتیل اصطلاحاً چشم گاوی گفته می‌شود.



چدن داکتیل پرلیتی　　چدن داکتیل فریتی

شکل ۳۷ـ ساختار چدن داکتیل با زمینه پرلیتی و فریتی

فعالیت کارگاهی ۸

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

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.

مراحل انجام کار:

۱ تهیه قطعات چدن داکتیل (ذوب کردن شمش چدن خاکستری گوگرد زدایی شده، افزودن ۲ـ۱ درصد فروسیلیسیم منیزیم به روش فروبری، 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 اندازهٔ ۲ـ ۱/۵ سانتی‌متر از مقاطع مختلف قطعه ریختگی (نمونه‌ها را می‌توان به‌جای بریدن به‌وسیله ضربه و شکستن نیز تهیه کرد).

۳ آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از سوهان‌کاری و سنباده‌کاری

۴ پولیش نمونه‌ها با سوسپانسیون Al_2O_3 با اندازه دانه ۰/۰۵ میکرون (با ترکیب ۵۰ گرم پودر در ۵۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر) بر روی نمدی از جنس پارچه ماهوتی توسط دستگاه پولیش.

۵ نمونه‌ها را بعد از پولیش با الکل شسته و بعد از خشک کردن در زیر میکروسکوپ با بزرگ‌نمایی‌های مختلف مشاهده کنید.

۶ نمونه‌ها را با استفاده از محلول‌های اچ جدول ۲، اچ کرده و بعد از شستن و خشک کردن در زیر میکروسکوپ از نظر فازی مورد بررسی قرار دهید.

۷ ساختار میکروسکوپی نمونه‌ها را قبل و بعد از اچ در بزرگ‌نمایی یکسان بررسی و به‌صورت شماتیک در گزارش کار رسم کنید.

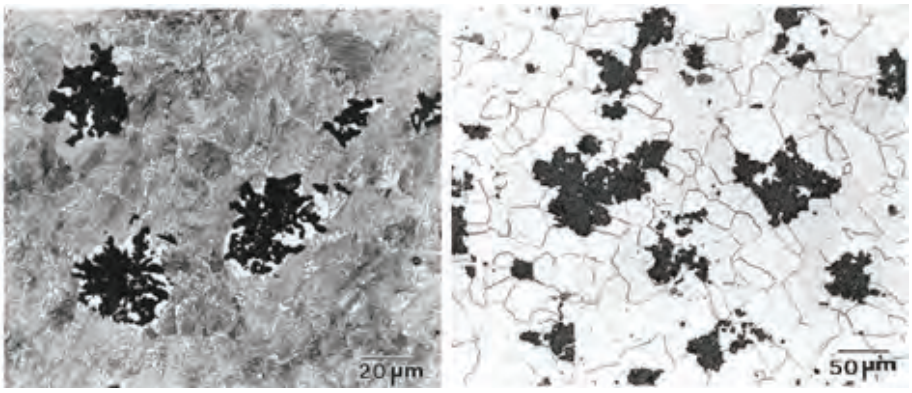
نکته ایمنی

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

ساختار میکروسکوپی چدن مالیبل (چکش خوار)

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

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



چدن مالیبل پرلیتی　　چدن مالیبل فریتی

شکل ۳۸ـ چدن مالیبل فریتی و پرلیتی بعد از اچ ۲۰۰×

فعالیت کارگاهی ۹

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

ارزشیابی پایانی

نقشه کار: انجام آزمایش‌های متالوگرافی

شاخص عملکرد: ۱ـ تهیه نمونه ۲ـ آماده سازی سطح ۳ـ اچ کردن ۴ـ شناسایی ساختار

شرایط انجام کار:

۱ـ انجام کار در محیط آزمایشگاه متالورژی ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویه استاندارد و دمای $20\ ^{\circ}C \pm 3^{\circ}$

۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۹۰ دقیقه

مواد مصرفی: سنباده ـ محلول اچ ـ مواد مانت ـ خمیر الماسه و نمد پولیش ـ الکل ـ آب مقطر ـ سنگ تراش ـ تیغه کاتر ـ سنگ‌ساب ـ پودر آلومینا ـ پودر منیزیم‌اکسید

ابزار و تجهیزات :

دستگاه برش ـ دستگاه سنگ ـ دستگاه مانت ـ دستگاه پولیش ـ میکروسکوپ ـ دستگاه خشک‌کن و شیشه ساعت

نمونه و نقشه کار:

۱ـ برشکاری نمونه در ابعاد مورد نظر، تمیزکاری و سنگ زدن سطح نمونه به طرز صحیح و در صورت نیاز مانت کردن

۲ـ سنباده زدن سطح نمونه با استفاده از سنباده‌های خشن تا نرم به طوری که اثر سنباده قبلی از بین رفته باشد و سپس پولیش کردن نمونه با استفاده از دستگاه پولیش و مواد ساینده مانند پودر آلومینا AL_2O_3

۳ـ آماده کردن محلول اچ متناسب با جنس فلز و اچ کردن نمونه در زمان مشخص توسط محلول اچ و سپس شست‌وشو با الکل و آب مقطر و خشک کردن

۴ـ کار با میکروسکوپ نوری جهت مشاهده دانه‌بندی 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	نمونه‌برداری	۱	
۲	آماده‌سازی سطح	۲	
۳	اچ کردن	۲	
۴	بررسی ساختار	۲	
	شایستگی‌های غیر فنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس کار و کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیز کردن وسایل محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان سوم

سخت‌کاری





واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی سخت‌کاری حجمی

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

استاندارد عملکرد کار

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

پیش‌نیاز

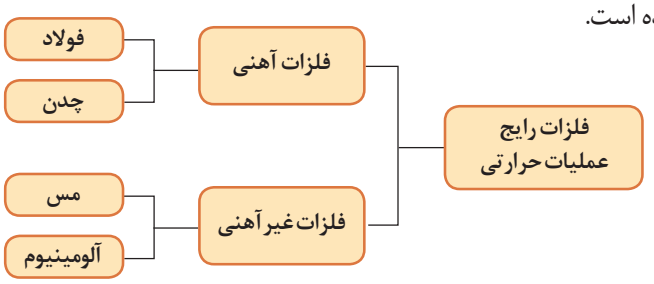
آشنایی با انواع فولادها، دیاگرام آهن ـ کربن، متالوگرافی

عملیات حرارتی

پرسش

عملیات حرارتی چیست و چگونه انجام می‌گیرد؟

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



نمودار ۱

اهداف عملیات حرارتی:

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

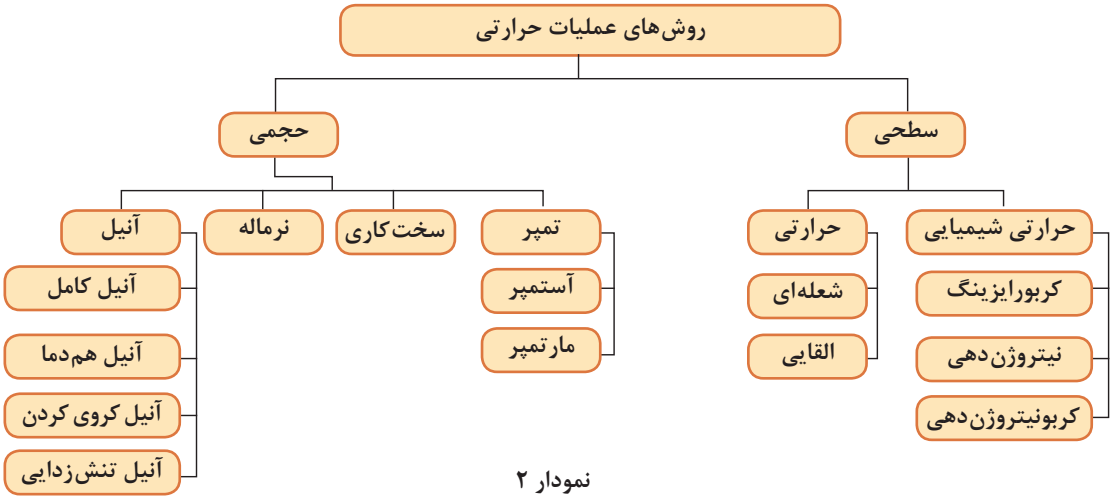
۱ افزایش سختی و استحکام

۲ نرم شدن و قابلیت شکل‌پذیری

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

روش‌های عملیات حرارتی:

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



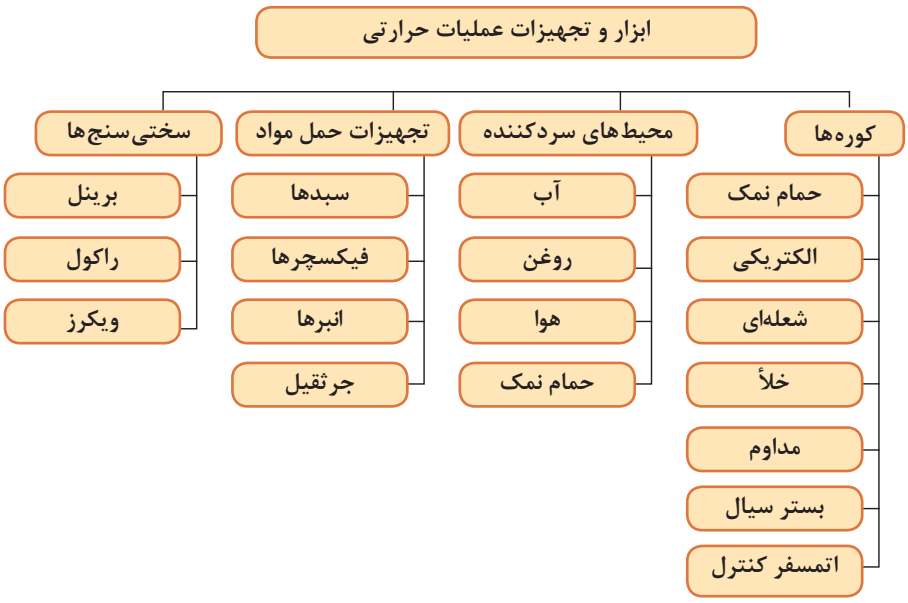
نمودار ۲

ابزار و تجهیزات مورد نیاز در عملیات حرارتی

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

تصویر			
نام			
کاربرد			
تصویر			
نام			
کاربرد			

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



نمودار ۳

کوره‌های عملیات حرارتی

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

۱ کوره‌های حمام نمک: در ساده‌ترین حالت این کوره‌ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطهٔ ذوب پایین و المنت‌های حرارتی غوطه‌ور در آن هستند. این نوع حمام‌ها فقط برای محدودهٔ حرارتی (۱۷۵ ـ ۳۴۵°C) به‌کار برده می‌شوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته‌تری لازم است. شکل ۱ـ الف نوع کورهٔ پاتیلی گاز سوز (شعله‌ای) را نشان می‌دهد این کوره‌ها برای گرم کردن قطعات تا دمای ۹۰۰°C قابل استفاده است.برای دماهای بالاتر نیز می‌توان از این کوره‌ها استفاده کرد، ولی باید توجه داشت که در این صورت پاتیل و دیگر متعلقات به دلیل تماس مستقیم با محیط اکسیدکننده خیلی زود تخریب خواهند شد. کوره‌ای که در شکل ۱ـ 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.

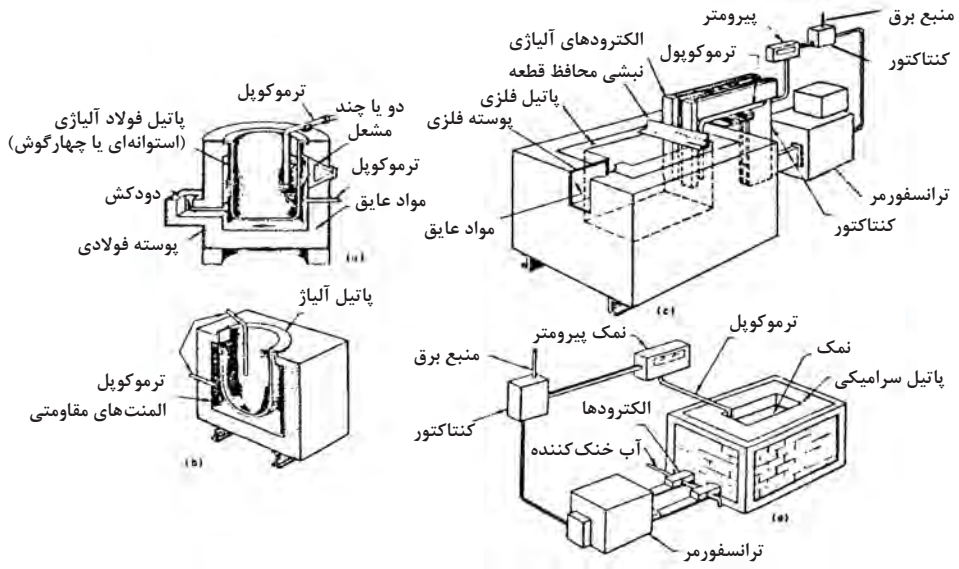
بسیاری از حمام‌های نمک که در محدودهٔ حرارتی (۷۶۰ تا ۱۲۶۰°C) به‌کار می‌روند مشابه کوره‌های نشان داده شده در شکل‌های ۱ـ ج و ۱ـ د هستند. این کوره‌ها به ترتیب از نوع المنت غوطه‌ور و کف خوابیده هستند. در هر دو نوع مقاومت نمک در برابر جریانی از یک الکترود به الکترود دیگر باعث گرم شدن آن می‌شود. این حالت باعث به‌هم خوردن مذاب و در نتیجه یکنواختی دمای حمام است. از معایب کوره‌ها با الکترود غوطه‌ور در مذاب این است که الکترودها از قسمتی که در بالای مذاب قرار گرفته‌اند در اثر حرارت معیوب می‌شوند که این مورد 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 اینکه نمک مورد استفاده خنثی است، باعث جلوگیری از تغییر ترکیب شیمیایی قطعه می‌شود. از جمله مشخصات دیگر این کوره‌ها حفاظت سطحی قطعه و جلوگیری از پیچش و تاب برداشتن آن است. این فرایند، فرایندی سریع با انتقال حرارت یکنواخت و بازده بالا است. حمام‌های نمک در بسیاری از عملیات حرارتی از جمله سخت کردن عمومی و تمپر کردن قطعات به‌کار می‌روند.

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

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

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

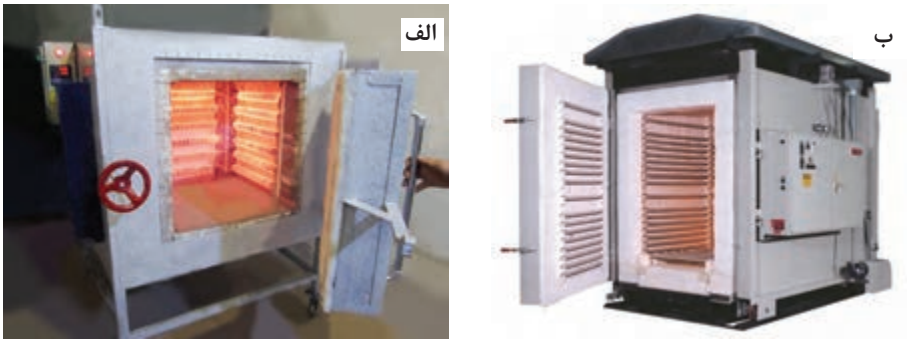
جدول ۱ ــ مشخصات نمک‌های مورد استفاده در حمام نمک					
ردیف	نوع نمک	فرمول شیمیایی	درصد وزنی	درجه حرارت ذوب °C	درجه حرارت کاری °C
۱	سدیم کلرید سدیم کربنات	$NaCl$ Na_2CO_3	۵۰ ۵۰	۵۶۵	۵۹۰ ـ ۹۰۰
۲	سدیم کلرید کلسیم کلرید	$NaCl$ $CaCl_2$	۵۰ ۵۰	۵۹۰	۶۳۰ ـ ۸۵۰
۳	سدیم کلرید باریم کلرید	$NaCl$ $BaCl_2$	۲۰ ۸۰	۶۳۵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



شکل ۱ــ انواع کوره‌های حمام نمک، الف) کورهٔ پاتیلی گاز سوز، ب) کوره با گرمایش مقاومتی، ج) کوره با الکترود غوطه ور، د) کوره با الکترود کف خوابیده.

۲ کورهٔ الکتریکی: در این کوره‌ها گرمای لازم جهت آستنیته کردن قطعات از المنت‌ها تأمین می‌شود در بیشتر کوره‌ها المنت‌ها در داخل کوره قرار دارد. ولی در بعضی کوره‌ها المنت‌ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره قرار دارند. اصولاً قرارگیری المنت‌ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره باعث افزایش کارکرد آنها می‌شود زیرا درصورتی‌که المنت‌ها در محفظهٔ 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 قرارگیرد. کوره‌های الکتریکی به دوگونه مختلف تقسیم‌بندی می‌شوند:

الف) کوره‌های هوا در گردش: در این کوره‌ها یک فن گردش هوا در قسمت سقف کوره قرار گرفته است حضور این فن باعث یکنواخت شدن دما در کلیه قسمت‌های کوره می‌شود.
ب) کوره‌های بدون فن: در این کوره‌ها فن گردش هوا وجود ندارد بنابراین یکنواختی دما در حد کوره‌های قبلی نیست. شکل ۲ نمونه‌هایی از کوره‌های الکتریکی عملیات حرارتی را نشان می‌دهد.



شکل ۲ـ انواع کوره‌های الکتریکی، الف) بدون فن، ب) فن‌دار



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

شکل ۳ـ کورهٔ شعله‌ای



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

شکل ۴ـ کورهٔ خلأ

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



شکل ۵ـ کوره با اتمسفر کنترل شده

۶ **کوره‌هـای مـداوم:** در بسـیاری از کارخانجـات و صنایـع، کوره‌های عملیـات حرارتی به دو نـوع مداوم و غیـر مـداوم تقسـیم‌بندی می‌شـوند. کوره‌هـای غیـر مـداوم یـا تک شـارژ بـه کوره‌هایـی اطلاق می‌شـود که بعـد از شـارژ مـواد و بسـته شـدن در کوره، سـیکل از پیـش تعیین شـده عملیات اجـرا می‌گـردد. کوره‌های مـداوم کوره‌هایـی هسـتند کـه در آنهـا مـواد از یـک طـرف شـارژ و عملیـات حرارتـی صـورت می‌گیـرد و از طـرف دیگـر تخلیـه می‌شـوند و اکثـراً بـرای عملیـات حرارتـی قطعـات ریـز ماننـد پیـچ و مهره اسـتفاده می‌گـردد. بـه همیـن دلیـل ایـن کـوره بـرای عملیـات انبوهـی از قطعـات مشـابه مناسـب اسـت. شـکل ۶ نمونـه‌ای از ایـن کـوره را نشـان می‌دهد.





شکل ۶ـ کوره عملیات حرارتی مداوم

کورهٔ حمام نمک آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس؛

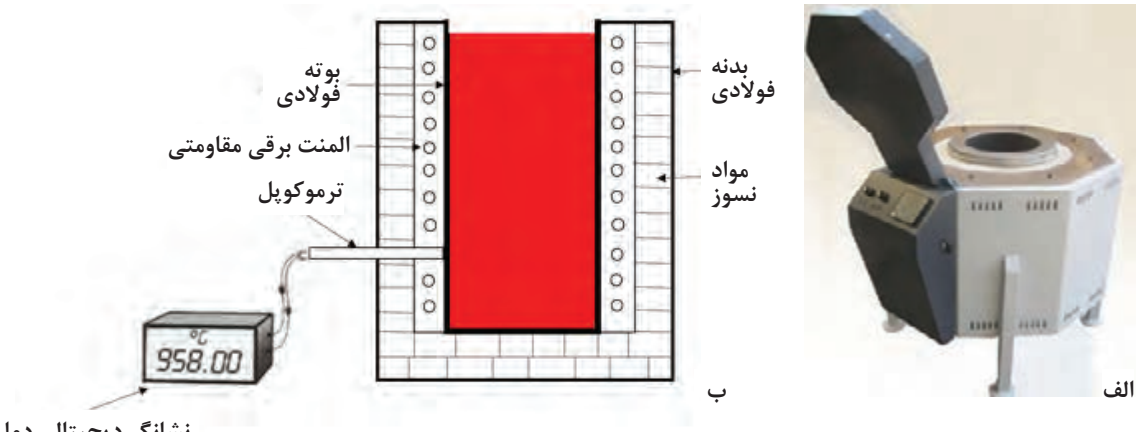
۲ اتمسفر کوره: معمولی؛

۳ سیستم گرم‌کننده: برقی از نوع المنتی؛

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

۵ سیستم کنترل زمان: دستی

شکل ۷ یک کورهٔ آزمایشگاهی حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۷ـ الف) کوره حمام نمک آزمایشگاهی، ب) شماتیک کوره حمام نمک

کورهٔ الکتریکی آزمایشگاهی

مشخصات کوره:

۱ دمای کاری: حداکثر ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس؛

۲ اتمسفر کوره: معمولی؛

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

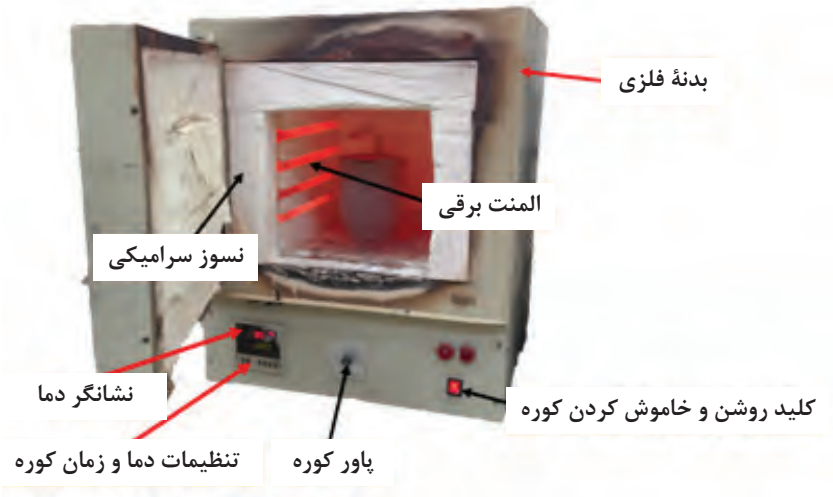
۴ سیستم گردش هوا: بدون فن؛

۵ سیستم در: دستی؛

۶ سیستم کنترل دما: دیجیتالی؛

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

شکل ۸ قسمت‌های مختلف یک کوره مقاومتی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۸ـ کوره مقاومتی آزمایشگاهی

فعالیت کارگاهی ۱

راه اندازی کورهٔ الکتریکی

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

نکات ایمنی

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

محیط‌های سردکننده

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

آب: یکی از متداول‌ترین محیط‌های سردکننده آب است. بیشترین قدرت سردکنندگی آب در درجه حرارت بین ۲۰ تا ۴۰ درجهٔ سلسیوس است. یادآوری می‌شود که با افزایش درجهٔ حرارت تا بیش از ۶۰ درجهٔ سلسیوس، قدرت سردکنندگی آب به شدت کاهش می‌یابد. با اضافه کردن ۱۰ درصد سدیم کلرید (نمک طعام) و یا بی کربنات دو سود (جوش شیرین) به آب قدرت سردکنندگی آب به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. از طرفی شدت تلاطم نیز روی شدت سردکنندگی محیط مؤثر است و باعث افزایش شدت سردکنندگی می‌شود. زیرا موجب شکستن بخار آب حاصله و دور شدن حباب‌های بخار از اطراف قطعه می‌شود. در حالت کلی در فولادهای ساده کربنی جهت سرد کردن سریع (Quenching) و رسیدن به ساختارهای سخت می‌توان از محیط‌های آبی استفاده کرد. شکل ۹ مخزن آب را نشان می‌دهد.



شکل ۹ـ مخزن آب

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

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

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



شکل ۱۰ــ مخزن روغن

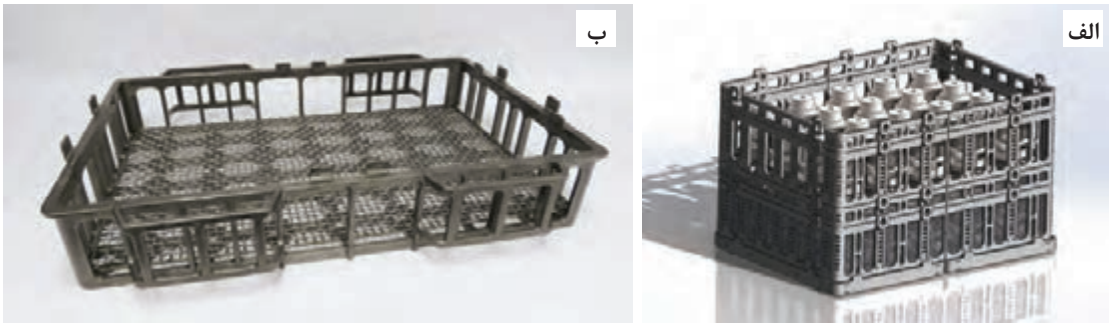
هـوا: یکـی از مهم‌تریـن محیط‌هـای خنک‌کننـده هـوا اسـت. زیـرا این محیـط کمتریـن شـوک حرارتی را بـه قطعـه وارد کـرده و تـاب برداشـتن قطعـات را بـه حداقـل می‌رسـاند. قطعـات بـا ضخامـت کـم از جنس فولادهـای کـم آلیـاژ و یـا قطعـات با ضخامت متوسـط از جنـس فولادهـای آلیاژی بـا سـختی‌پذیری بالا را می‌تـوان در هـوا سـخت کرد.

تجهیزات حمل مواد

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

سـبدهای فلـزی و نگهدارنده‌ها: از سـبدها و نگهدارنده‌هـا جهت چیدن قطعـات داخل آنها و قـرار دادن آنها در داخل کوره اسـتفاده می‌شـود. شـکل ۱۱ سـبد و نگهدارنده‌های مختلف را نشـان می‌دهد.

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



شکل ۱۱ــ الف) نگهدارنده، ب) سبد فلزی

دستگاه سختی‌سنج

پرسش

سختی اجسام را چگونه اندازه می‌گیرند؟

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

جدول ۲ــ انواع روش‌های سختی‌سنجی رایج

روش‌های سختی‌سنجی		نماد	شکل و جنس فرورونده	میزان بار اعمالی (کیلوگرم نیرو)	محدوده سختی قابل قبول	کاربردها
راکول	راکول A	HRA	مخروط الماسی	۶۰	۲۰ ـ ۸۸ HRA	فولاد نازک و فولادهای سخت شده سطحی، کاربیدها
	راکول B	HRB	ساچمه فولادی	۱۰۰	۲۰ـ۱۰۰ HRB	آلومینیوم و آلیاژهای آن، مس و آلیاژهای آن، فولادهای نرم و چدن‌مالیبل
	راکول C	HRC	مخروط الماسی	۱۵۰	۲۰ ـ ۷۰ HRC	انواع فولادها و چدن‌ها و آلیاژهای غیرآهنی سخت
برینل		HB	ساچمه: فولاد؛ تنگستن کاربید	۱ ـ ۳۰۰۰	۲۰ ـ ۷۳۹ HB	کلیهٔ فلزات با سختی کم و متوسط (برای فلزات با سختی بالا کاربرد ندارد)
ویکرز		HV	هرم الماسی	۱ ـ ۱۲۰	۸۰ـ۱۰۷۶ HV	تمامی فلزات آهنی و غیرآهنی، ورق‌های فولادی، پوشش‌های سطحی

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

بحث گروهی

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

فعالیت کارگاهی ۲

تعیین میزان سختی با استفاده از دستگاه راکول

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه سختی‌سنجی راکول، نمونه فولادی، اره، سوهان.

مراحل کار:

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

نکات مهم:

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

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

۳ دستگاه را بسته به شیوهٔ سختی‌سنجی آماده‌سازی کنید.

نکته کلیدی:

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

۴ نمونه را بر روی سندان قرار دهید.

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

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

نکات مهم:

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

بحث گروهی

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

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

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

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

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

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

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

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

فعالیت کارگاهی ۳

اندازه‌گیری سختی به روش برینل

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

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

مراحل کار:

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

نکته مهم:

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

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

۳ نمونه را به‌طور مناسب بر روی سندان قرار دهید.

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

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

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

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

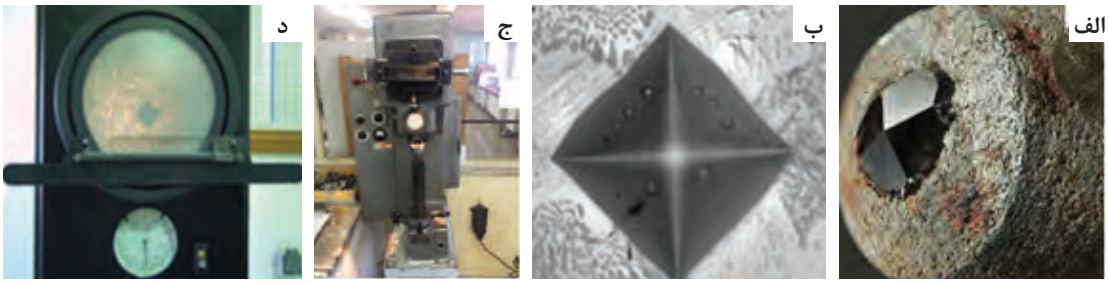
۸ قطر اثر نیرو ایجاد شده بر روی نمونه را اندازه‌گیری کنید.

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

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

جنس نمونه	چدن	آلومینیوم	مس
میانگین سختی (سختی نهایی)			

سختی‌سنجی به روش ویکرز: سختی‌سنجی به روش ویکرز کمتر کاربرد صنعتی داشته و بیشتر یک روش آزمایشگاهی محسوب می‌شود. این روش دقت بالایی دارد و هزینه دستگاه نیز زیاد است. در این روش از یک هرم الماسی با قاعدهٔ مربع با زاویه رأس ۱۳۶° جهت تعیین میزان سختی مواد استفاده می‌شود. در روش ویکرز اثری که فرورونده ایجاد می‌کند به شکل لوزی متساوی‌الاضلاع بوده و توسط یک میکروسکوپ میکرومتردار قطرهای لوزی اندازه‌گیری می‌شود و همانند روش برینل بعد از اندازه‌گیری مساحت فرورفتگی با مراجعه به جداولی که برحسب نیروی مورد استفاده تنظیم شده است، می‌توان عدد سختی ویکرز را به‌دست آورد. در شکل ۱۲ تصاویری از فرورونده مربوط به روش ویکرز، شکل اثر فرورونده، دستگاه سختی‌سنج و نیز نحوهٔ اندازه‌گیری قطر اثر توسط صفحه مدرج، نشان داده شده است.



شکل ۱۲ـ الف) فرورونده هرم الماسی مربع‌القاعده مربوط به سختی‌سنجی ویکرز (ب) اثر فرورونده ایجاد شده بر روی سطح نمونه فولادی (ج) دستگاه سختی‌سنجی ویکرز و برینل (د) نحوهٔ اندازه‌گیری قطر اثر نیرو

نکته

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

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

فعالیت کارگاهی ۴

اندازه‌گیری سختی به روش ویکرز

ابزار و تجهیزات مورد نیاز:

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

مراحل کار:

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

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

$$VHN = ۱/۸۵۴\frac{P}{d^۲}$$

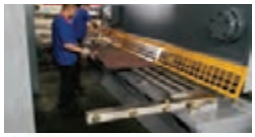
عملیات حرارتی سخت‌کاری

پرسش

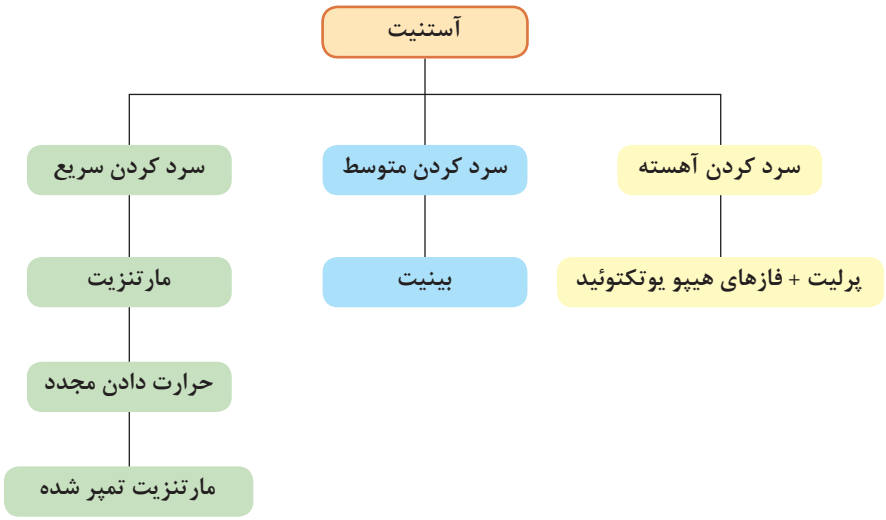
به نظر شما چرا قطعات را سخت‌کاری می‌کنند؟

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

جدول ۴ـ نمونه‌ای از قطعات سخت‌کاری شده

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

در پودمـان آزمایشـگاه متالوگرافی سـاختارها و فازهای تشـکیل شـده بر اسـاس دیاگرام تعادلـی آهن-کربن بـه تفصیـل بیـان شـده و بـه این موضوع اشـاره شـده اسـت که سـرعت سـرد کـردن روی سـاختار و خواص فولاد اثرگذار اسـت. درصورتی‌که سـرعت سـرد کردن از یک حدی بیشـتر شـود ریزسـاختارهای غیرتعادلی مارتنزیـت و بینیـت به‌دسـت خواهـد آمـد. نمودار ۴ ایـن موضوع را نشـان می‌دهد.

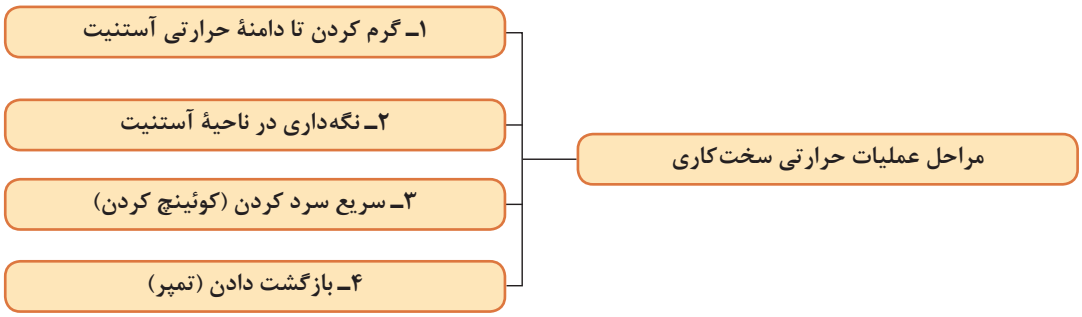


نمودار ۴ــ تأثیر سرعت سرد کردن بر ریز ساختارهای به‌دست آمده از آستنیت

از جملـه مهـم تریـن اهـداف تشـکیل مارتنزیـت در فولادهـا عبارت اسـت از سـختی زیـاد، اسـتحکام بالا و مقاومـت در مقابـل سـایش. عملیـات حرارتـی جهـت تشـکیل مارتنزیـت معمـولاً بـر روی فولادهایـی انجام می‌شـود کـه حداقـل ۰/۳ درصـد کربن داشـته باشـند.

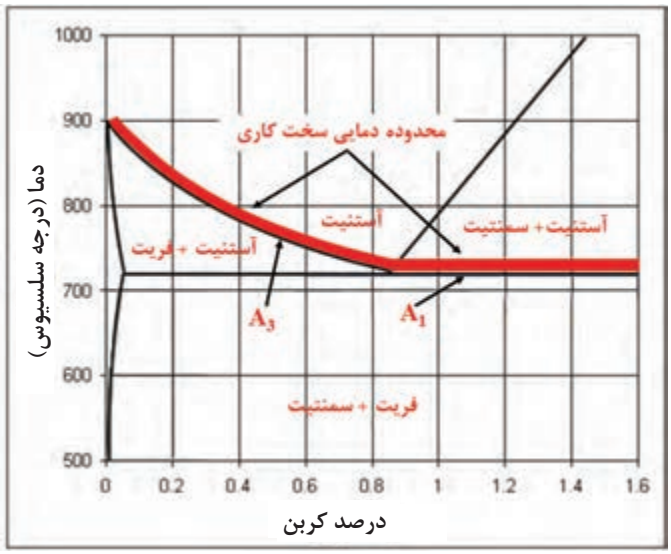
مراحل عملیات سخت‌کاری

در حالت کلی عملیات حرارتی سخت‌کاری شامل مراحل زیر می‌باشد:



نمودار ۵

الف) گرم کردن قطعه تا دامنه حرارتی آستنیت: دمای آستنیته کردن با توجه به ترکیب شیمیایی فولاد (درصد کربن و عناصر آلیاژی) مشخص می‌شود. برای فولادهای هیپویوتکتوئید در حدود ۵۰ـ۳۰ درجهٔ سلسیوس بالای خط A_3 و برای فولادهای هیپریوتکتوئید حدود ۷۰ـ ۵۰ درجهٔ سلسیوس بالای خط A_1 است. در شکل ۱۳ محدوده دمایی سخت‌کاری برای فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید نشان داده شده است.



شکل ۱۳ـ محدوده دمایی سخت‌کاری فولادهای هیپو و هیپریوتکتوئید.

فعالیت کلاسی

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

الف) CK۴۵ ب) Cm۵ ج) BOZ

نحوهٔ تنظیم کردن دمای کوره جهت آستنیته کردن: کوره‌های الکتریکی دارای سازوکاری هستند که می‌توان دمای مورد نظر برای عملیات حرارتی را انتخاب و تنظیم کرد. دما در این کوره‌ها توسط ترموکوپل کنترل می‌شود. انتخاب دمای بالاتر از دمای مورد نظر موجب کاهش سختی فولاد به دلیل اکسیداسیون سطحی و کربورزدایی و تاب برداشتن می‌شود.در کوره‌ها با محیط گازی (هوا، اتمسفر کنترل شده) در عمل نمونه‌ها به دو صورت در دامنهٔ حرارتی آستنیت قرار می‌گیرند. اول اینکه نمونه در کوره قرار داده می‌شود و سپس کوره روشن شده و به دمای مورد نظر برسد. دراین حالت نمونه و کوره با یکدیگر به دما می‌رسند و پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر زمان آستنیته کردن شروع می‌شود. در روش دوم کوره در دمای مورد نظر است و پس از آن نمونه در کوره قرار داده می‌شود. در این حالت نیاز به هم‌رنگ شدن داریم که در هنگام عملیات به‌طور مرتب از چشمیِ کوره، نمونه را مورد بررسی قرار می‌دهیم و هنگامی که نمونه در کوره محو شد عملاً دمای نمونه و کوره یکسان است. پس از این زمان، زمان قرارگیری در ناحیهٔ آستنیت شروع می‌شود و همچنین در سقف این کوره‌ها از فن‌های گردش هوا جهت همگنی درجه حرارت در داخل کوره استفاده شده است که در

شـکل ۱۴ نشـان داده شـده اسـت. در کوره‌های حاوی حمـام نمـک برای تنظیم کـردن دمای کـوره به دمای آسـتنیته کـردن ابتدا حمـام نمک ذوب می‌شـود و به دمـای مـورد نظـر می‌رسـد و سـپس قطعـات پـس از پیش‌گـرم شـدن وارد حمـام نمک مذاب می‌شـوند. به منظـور جلوگیری از اعوجاج و تـرک، گرم کردن قطعه تا رسـیدن به دمای مورد نظر باید با سـرعت مناسـبی انجـام شـود. سـرعت گرم کـردن قطعـات فـولادی به پارامترهایـی ماننـد ترکیب شـیمیایی، اندازه و سـطح مقطـع قطعـات بسـتگی دارد. به‌طوری‌کـه فولادهـای آلیـاژی باید سـرعت کمتری نسـبت بـه فولادهای کم آلیاژ داشـته باشند.



شکل ۱۴ــ فن گردش هوا در داخل کوره

چیدمـان قطعـات داخل کوره: بارگیـری کـوره و چیدمان قطعات بـا توجه به شـکل و انـدازه قطعه مورد نظـر و کـوره مـورد اسـتفاده انجام می‌شـود. در عملیـات حرارتی سـخت‌کاری چیدمان قطعات بـه دلایل زیر یـک عمل بسـیار مهم تلقی می‌شـود.

۱ توزیع یکنواخت درجه حرارت بین قطعات
۲ سهولت در خارج کردن قطعات از کوره و سریع سردکردن آنها
۳ جلوگیری از تاب برداشتن قطعات.

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

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

۱ قرارگیری قطعات در سبد



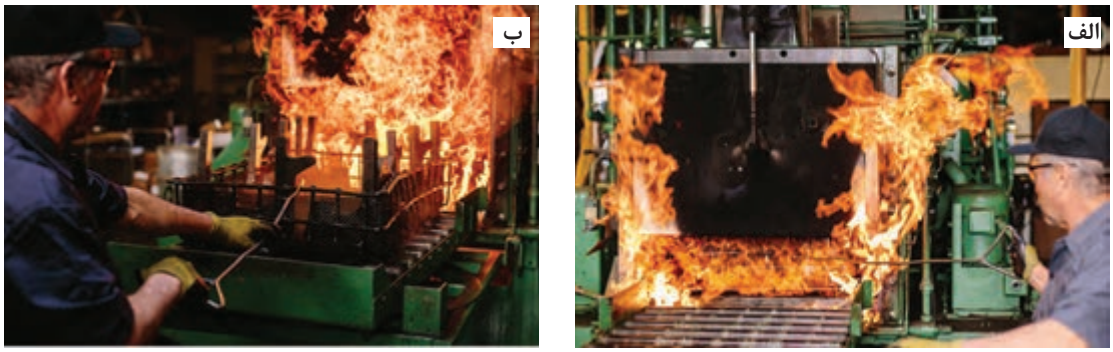
شکل ۱۵ــ انواع چیدمان قطعات در سبدها و روی صفحه فولادی

۲ قرارگیری سبد قطعات در مقابل در کوره



شکل ۱۶ـ قرارگیری سبد حاوی قطعات جلوی در کوره

۳ قرارگیری سبد داخل کوره



شکل ۱۷ـ نمونه‌ای از ورود قطعات در کوره‌ها با اتمسفر کنترل شده، الف) روشن شدن مشعل در کوره هنگام وارد کردن قطعات، ب) بسته شدن در کوره بعد از وارد شدن قطعات

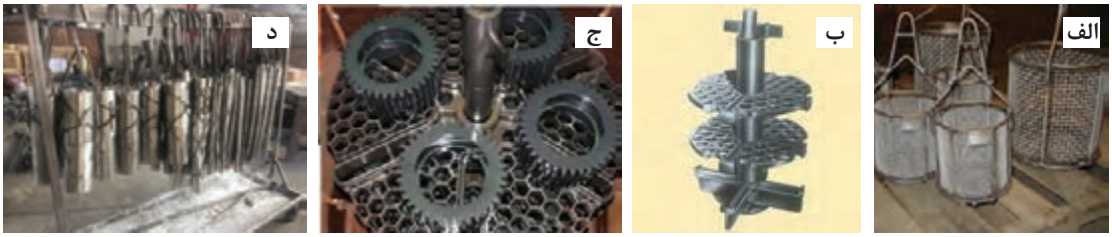
نحوهٔ قراردادن قطعات در کوره‌های حمام نمک

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

در سیم‌بندی قطعات، وزن و تعداد قطعات موجود در هرسیم‌بندی باید به اندازه‌ای باشد که ۱ـ هنگام آویزان کردن قطعات در حمام نمک، قطعات به‌صورت معلق در حمام نمک مذاب قرار بگیرند و به انتهای بوته برخورد نکنند ۲ـ سیم‌های فولادی توانایی نگهداری وزن قطعات را داشته باشند در غیر این‌صورت سیم‌های فولادی در حین عملیات گسسته شده و قطعات فولادی به داخل بوته حمام نمک سقوط می‌کنند و قطعات تغییر شکل می‌دهند.

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

می‌شود. مهم‌ترین محدودیت این روش زمان‌بر بودن و نیاز به مهارت فردی است. چنانچه قطعات مشابه هم دارای وزن زیاد باشند از نگهدارنده‌ها استفاده می‌گردد. نگهدارنده‌ها با توجه به شکل ظاهری قطعات و نحوهٔ قرارگیری آن در محیط خنک‌کننده، ساخته می‌شود.
مهم‌ترین محدودیت نگهدارنده‌ها هزینهٔ ساخت بالای آنها و همچنین تاب برداشتن آنها بعد از چند بار استفاده است. از سبدهای فلزی برای قطعات کوچک و ریز استفاده می‌شود به‌طوری‌که قطعات داخل سبد فلزی قرار داده شده و سپس وارد حمام نمک مذاب می‌گردند. شکل ۱۸ انواع روش‌های وارد کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



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

۲ پیش گرم کردن سبد یا نگهدارنده‌های حاوی قطعات: به منظور جلوگیری از ترک برداشتن، ایجاد عیوب سطحی قطعات، دوام ابزار و پاشش نمک مذاب به بیرون، قطعات و ابزار قبل از ورود به داخل نمک مذاب حتماً باید پیش‌گرم شوند. برای پیش‌گرم کردن قطعات از کوره‌های پیش گرم با دمای حدود ۴۵۰ ـ ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس استفاده می‌کنند. شکل ۱۹ یک نوع کورهٔ پیش‌گرم قطعات را نشان می‌دهد.



شکل ۱۹ـ کورهٔ پیش‌گرم قطعات

۳ وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک
سبدها، نگهدارنده‌ها و قطعات سیم‌بندی شده پس از پیش‌گرم شدن برای آستنیته کردن وارد حمام نمک مذاب می‌شوند و مطابق شکل ۲۰ به صورت معلق در حمام مذاب قرار می‌گیرند.



شکل ۲۰ـ وارد کردن قطعات سیم‌بندی شده در حمام نمک

ب) نگهـداری در ناحیـه آسـتنیت: پـس از چیـدن قطعـات و قـرار دادن آنهـا داخـل کـوره زمانـی کـه سـبد حـاوی قطعـات هـم رنـگ محیط کوره شـد یعنـی قطعات بـه دمای مـورد نظر رسـیده‌اند. پـس از آن می‌تـوان زمـان قرارگیـری در منطقـه آسـتنیتی را محاسـبه کـرد. شـکل ۲۱ هم‌دما شـدن قطعـات در کوره حمـام نمـک و کـوره الکتریکـی را نشـان می‌دهد.



شکل ۲۱ـ هم‌دما کردن قطعات در کوره‌ها

زمـان آسـتنیته کـردن در به‌دسـت آوردن خواص مکانیکی بسـیار مؤثر اسـت. ایـن زمان با توجـه به ترکیب شـیمیایی، شـکل و ضخامـت قطعـه انتخـاب می‌شـود. جـدول ۴ مـدت زمـان نگهـداری قطعـات در ناحیـه آسـتنیت را بـر حسـب قطـر یا ضخامـت نشـان می‌دهد.

جدول ۴ـ مدت زمان نگهداری قطعات در ناحیه آستنیت

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

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

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

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

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

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

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

ج) سریع سرد کردن

نحـوهٔ خـارج کـردن قطعـات از کـوره: پـس از رسـیدن بـه زمـان مـورد نظـر در کوره‌هـای با اتمسـفر معمولـی در کـوره بـاز می‌شـود و بلافاصلـه قطعـات وارد محیـط خنک‌کننـده می‌شـوند. در کوره‌هـا بـا

اتمسفرکنترل شده محیط خنک‌کننده در نزدیکی کوره واقع شده است. شکل ۲۲ انواع روش‌های خارج کردن قطعات از کوره را نشان می‌دهد. در هنگام خارج کردن کوره به‌دلیل اینکه قطعات در دمای بالایی در کوره قرار گرفته‌اند و مستعد تاب برداشتن هستند باید با احتیاط از کوره خارج شوند.



شکل ۲۲ــ روش‌های مختلف خارج کردن قطعه از کوره

نحوهٔ وارد کردن قطعات به محیط سردکننده

پرسش

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

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

نکات کارگاهی

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

شکل ۲۳ انواع روش خارج کردن قطعات از کوره حمام نمک و کوره‌های (الکتریکی و گازی) و نحوهٔ سریع سردکردن آنها را نشان می‌دهد.


الف


ب

شکل ۲۳ـ وارد کردن قطعات به محیط خنک‌کننده

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

فعالیت کارگاهی ۵

بررسی تأثیر محیط خنک‌کننده بر روی فولادهای ساده کربنی

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

۱ پس از تشکیل گروه‌های ۵ نفره، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کنید. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره گذاری، از ۱ تا ۵ شماره‌گذاری کنید.

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

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

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

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

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

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

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

پرسش

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

نکات کلیدی



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

نکات ایمنی

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

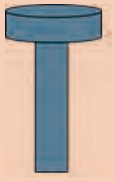
فعالیت کارگاهی ۶

آشنایی با نحوهٔ سخت‌کاری قطعات در حمام نمک

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)



شکل ۲۴ـ نمونهٔ مورد آزمایش

مراحل انجام آزمایش:

۱ چهار نمونه مطابق شکل ۲۴ انتخاب کرده سپس یک عدد را به عنوان نمونه شاهد نگه داشته و سختی آنها را توسط سختی‌سنج راکول اندازه‌گیری کرده و یادداشت کنید.



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

نکات فنی:

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

نکته‌ایمنی: هنگام سیم‌بندی نمونه‌ها از دستکش استفاده کنید.

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

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

نکات‌ایمنی:

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



شکل ۲۵ــ وارد کردن نمونه‌ها در حمام نمک

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس پیش‌گرم کنید.

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

۶ پس از ذوب شدن کامل نمک و رسیدن دمای آن به ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس یک میله به‌صورت افقی روی سطح کوره قرار داده و سپس نمونه‌های سیم‌بندی پیش گرم شده را مطابق شکل ۲۵ به قلاب وصل کرده و به آرامی به داخل حمام نمک وارد کنید.

۷ پس از نگهداری نمونه‌ها به مدت زمان ۲۰ دقیقه در حمام مذاب، با انبر قطعات را از داخل حمام نمک خارج کرده و در داخل آب سرد کنید.
۸ پس از سرد شدن، نمونه‌ها را از مخزن خارج کرده و از سیم‌بندی جدا کنید.
۹ قطعات جدا شده که حاوی نمک هستند را شست‌وشو دهید و یک طرف همهٔ نمونه‌ها را سنباده بزنید.
۱۰ پس از اندازه‌گیری سختی قطعات، جدول زیر را کامل کنید.

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

پرسش‌ها

۱ آیا سختی هر سه قطعه با هم برابر است؟
۲ آیا ساختار هر سه قطعه با هم یکی است؟
۳ سختی و ریزساختار قطعه‌ها را با نمونه شاهد مقایسه کنید.
۴ نتایج را به‌صورت دقیق همراه با پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

فعالیت کارگاهی ۷

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

وسایل مورد نیاز:

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

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

مراحل انجام آزمایش

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

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

نمونهٔ شاهد	St۳۷	CK۴۵	SPK
درصد کربن			
سختی			

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

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

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

نکات فنی:

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

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

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

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

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

نکته فنی:

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

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

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

نمونه‌ها	St۳۷	CK۴۵	SPK
سختی			

بحث گروهی

● بیشترین سختی مربوط به کدام فولاد است؟

● درصد کربن چه تأثیری بر روی سختی فولاد دارد؟

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

برگشت دادن (Tempering)

پرسش

عملیات برگشت چیست و به چه منظوری انجام می‌شود؟

بر اثر سریع سرد شدن در فرایند سخت‌کاری فولاد تردی آن افزایش یافته و بسیار شکننده می‌شود. به همین دلیل به ندرت می‌توان از آن در کارهای صنعتی استفاده کرد، به این دلیل که مارتنزیت تشکیل شده در اثر سریع سرد کردن بسیار سخت و شکننده است. به منظور بهبود خواص مکانیکی فولاد پس از سخت‌کاری در دمایی بین ۶۰۰ـ۲۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت داده می‌شود و سپس به آرامی در هوا یا کوره سرد می‌شود. به‌طور کلی می‌توان گفت تمپر کردن عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای A_1، نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای محیط. در اثر تمپر کردن تنش‌های داخلی کاهش یافته و یا حذف می‌شوند. بنابراین مقاومت در برابر ضربه (چقرمگی) افزایش می‌یابد اما استحکام و سختی قطعه کاهش می‌یابد.

دما و زمان عملیات تمپر: دما و زمان عملیات تمپر به سه عامل ترکیب شیمیایی، ابعاد قطعه وخواص 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 سخت‌کاری این فولادها با یکدیگر متفاوت هستند. از طرفی بعضی عناصر آلیاژی مقاومت فولاد به دمای برگشت دادن را افزایش داده و جهت برگشت داده شدن فولاد و رسیدن به یک خواص مشخص، نیاز به دمای برگشت دادن بالایی می‌باشد.

۲ **ابعاد یا ضخامت قطعه:** با توجه به اینکه در عملیات برگشت دادن باید حرارت به لایه‌های عمقی نفوذ کند، نیاز به زمان وجود دارد. با افزایش ضخامت قطعه زمان عملیات برگشت دادن افزایش می‌یابد. اصولاً به ازای هر یک اینچ ضخامت یک ساعت زمان برگشت دادن در نظر می‌گیرند و حداقل زمان جهت انجام این عملیات را یک ساعت در نظر می‌گیرند. باید به این نکته دقت کرد که منظور از زمان عملیات، زمان قرارگیری قطعات در دمای برگشت دادن است.

۳ **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 سخت‌کاری ما به حداکثر سختی یک فولاد دست پیدا می‌کنیم درصورتی‌که 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 درجهٔ سلسیوس است. ولی در فولادهای آلیاژی این دما به حدود ۲۵۰ درجهٔ سلسیوس می‌رسد.

چیدمان قطعات درداخل کورهٔ تمپر

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

مشخصات کوره تمپر

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

مراحل انجام فرایند:

۱ قرارگیری قطعات در سبد: در تمپر کردن به دلیل اینکه دمای عملیات بالا نیست نوع قرارگیری قطعات از اهمیت چندانی برخوردار نیست ولی تا حد امکان قطعات به‌صورت ایستاده عملیات می‌شوند.

۲ قرارگیری قطعات در مقابل در کوره؛

۳ باز کردن در کوره و ورود سبد حامل قطعات به داخل محفظه و بسته شدن در کوره؛

۴ ارائه برنامهٔ مورد نظر؛

۵ سرد کردن قطعات در کوره یا هوا؛

۶ خروج قطعات از کوره.

عملیات تمپر در روغن و حمام‌های نمک نیز انجام می‌گیرد به صورتی که قطعات داخل سبدهای فلزی قرار داده می‌شود و پس از تنظیم دمای روغن یا کوره حمام نمک قطعات در سبد به‌صورت معلق در داخل آنها قرار داده می‌شود. شکل ۲۶ نمونه‌ای از تمپر کردن قطعات در حمام نمک را نشان می‌دهد.



شکل ۲۶ــ تمپر کردن قطعات

فعالیت کارگاهی ۸

تمپر کردن قطعات سخت‌کاری شده

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات سخت‌کاری شده در محیط‌های سردکنندهٔ متفاوت

مراحل انجام آزمایش

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

۱ کوره را روشن کرده و بر روی دمای $500^{\circ}C$ تنظیم کنید.

۲ پس از رسیدن دمای کوره به دمای مورد نظر در را باز کرده و چهار عدد از نمونه‌های سخت‌کاری شده در محیط‌های متفاوت را در داخل کوره روی صفحهٔ مشبک قرار دهید.

۳ پس از قرار دادن نمونه‌ها داخل کوره در کوره را بسته و زمان تمپر کردن را اعمال کنید و تمامی نمونه‌ها را

یک ساعت در این دما نگهداری کنید.

۴ نمونه‌ها را داخل کوره یا در هوا سرد کنید.

۵ سطح نمونه‌های برگشت داده شده را تمیز کرده و یک طرف همهٔ نمونه‌ها را سنباده زده و سختی آنها را توسط سختی سنج راکول اندازه‌گیری کرده و در جدول زیر بنویسید.

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

بحث گروهی

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

فعالیت کارگاهی ۹

اثر دمای تمپر در سختی فولادهای سخت‌کاری شده

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: قطعات فولادی پر کربن(SPK)

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۴ نفره، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (SPK) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کند. دو سطح نمونه‌ها را سنباده زده و یک طرف آنها را با سنبه شماره‌گذاری کنید. طبق دستورالعمل‌های عملیات سخت‌کاری تمامی نمونه‌ها را در ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت داده و در آب سرد کنید. سختی نمونه‌های سخت‌کاری شده را اندازه گرفته و یک نمونه را به عنوان شاهد نگه داشته و آزمایش را مطابق زیر ادامه دهید: یک نمونه را در دمای ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت در کوره نگهداری و سپس در هوا سرد کنید. عملیات تمپر را برای نمونهٔ دوم در دمای ۵۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت و نمونهٔ سوم را در ۷۰۰ درجهٔ سلسیوس به مدت یک ساعت مطابق روش بالا انجام دهید. سختی نمونه‌ها را پس در جدول زیر یادداشت کنید.

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

بحث گروهی

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

واحد یادگیری ۲: سخت‌کاری سطحی

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

استاندارد عملکرد کار

سخت‌کاری سطحی انواع فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه.

پیش‌نیاز

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

سخت‌کاری سطحی

پرسش

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

برخی از قطعات در هنگام کار بر اثر وجود اصطکاک دچار سایش سطحی می‌شوند. این قطعات به‌گونه‌ای هستند که اگر سخت‌کاری عمقی هم شوند ممکن است که در هنگام کار در اثر نیروهای پیچشی دچار شکست شوند. برای این قطعات باید عملیات سخت‌کاری طوری انجام شود که سطح قطعه سخت و مغز آن نرم باشد. شکل ۲۷ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت‌کاری سطحی قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.



شکل ۲۷ــ انواع قطعاتی که تحت عملیات سخت‌کاری سطحی قرار می‌گیرند.

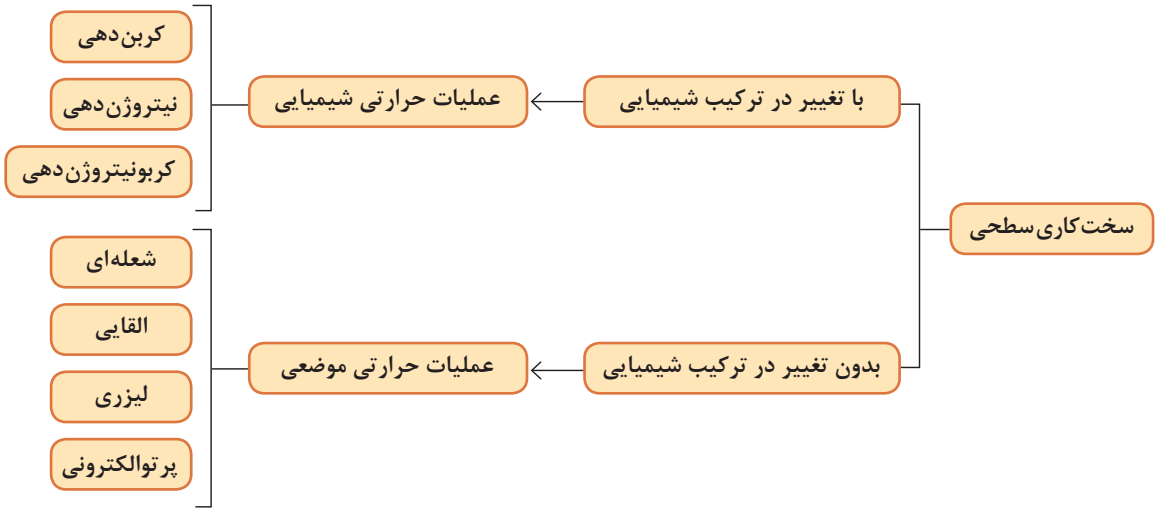
روش‌های مختلف عملیات حرارتی که به کمک آنها می‌توان سطح قطعات را سخت کرد عمدتاً به دو دسته تقسیم می‌شوند که در نمودار ۱ نشان داده شده است. دستهٔ اول، عملیاتی که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد می‌شوند و به عملیات حرارتی شیمیایی مرسوم‌اند مانند کربوره‌کردن و نیتروره کردن دستهٔ دوم روش‌هایی که بدون تغییر در ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی که در لایهٔ سطحی متمرکز شده است. باعث سخت‌شدن سطح می‌شوند و به عملیات حرارتی موضعی مرسوم‌اند، مانند سخت کردن شعله‌ای و سخت‌کردن القایی.

فرایندهای تغییر در ترکیب شیمیایی

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

مـورد نظـر تعییـن می‌گـردد و ماکزیمـم عمـق نفـوذ کربن در سـطح در صنعت ۱/۵ میلی‌متر اسـت. فرایند کربوره‌کـردن در سـه محیـط جامد، مایـع و گاز انجام می‌گیـرد.

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



نمودار ۱

فعالیت کلاسی

ترکیب شیمیایی فولاد سمانته ۷۱۳۱ و ۱۱۴۱ را از کتاب همراه هنرجو استخراج کرده و بنویسید.

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

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

ناگفتـه نمانـد نمک‌هـای مورد اسـتفاده (انـرژی‌زا) نیز باید ریز باشـند تا باعـث خوردگی سـطح قطعه نگردد مـواد انـرژی‌زا در شـرایطی بیشـترین اثـر را دارنـد کـه بـا زغـال چـوب به خوبـی مخلـوط شـده و در داخل جعبـه سمانتاسـیون به‌طـور یکنواخـت توزیـع گردند تـا مؤثر واقع شـوند.

جدول ۵ـ ترکیب مواد کربوره‌کننده در سمانتاسیون جامد

ردیف	زغال چوب	باریم کربنات	کلسیم کربنات	سود خشک	کک	سدیم کربنات
۱	۸۷	ـ	۳	۱۰	ـ	ـ
۲	۸۵ـ۹۰	ـ	ـ	۱۰ـ۱۵	ـ	ـ
۳	۹۰	۱۰	ـ	ـ	ـ	ـ
۴	۶۰	۴۰	ـ	ـ	ـ	ـ
۵	۴۵	۱۲	ـ	ـ	۴۳	ـ
۶	۵۵	۱۰ـ۱۲	ـ	ـ	۳۰	۳ـ۵
۷	۸۷	۱۰	۲	ـ	ـ	۱

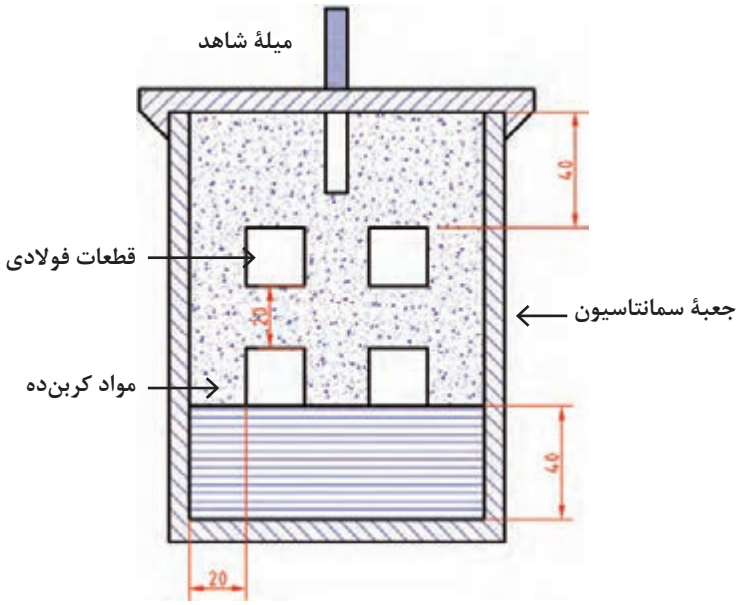
نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

ابتدا مقداری از مخلوط مواد کربن ده وانرژی‌زا را مطابق شکل ۲۸ داخل جعبه‌ای به نام جعبه سمانتاسیون از جنس فولاد کم کربن و یا فولاد نسوز حاوی ۲۵٪ کرم و ۲۰٪ نیکل ریخته و تحت کوبش قرار می‌دهند و آن را متراکم می‌کنند تا ارتفاع آن به ۴۰ میلی‌متر برسد. سپس قطعات فولادی داخل جعبه سمانته با فواصلی در حدود ۲۰ میلی‌متر از یکدیگر و ۲۰ میلی‌متر از دیواره قرار می‌دهند و دوباره عمل کوبش صورت می‌گیرد تا مواد کربن ده سطح قطعات را پوشانده و به اندازه ۲۰ میلی‌متر از قطعات پایینی فاصله داشته باشد و کار به همین ترتیب انجام می‌شود و در آخرین مرحله کوبش باید قطعات به اندازهٔ ۴۰ میلی‌متر با لبهٔ جعبه سمانته فاصله داشته باشد.

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

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

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



شکل ۲۸ـ جعبه سمانتاسیون

مکانیزم کربوراسیون جامد

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

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

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

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

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

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

گاز CO_2 حاصل از تجزیه باریم کربنات با زغال ترکیب و CO فعال تولید می‌کند که باعث تسریع عمل کربن‌دهی می‌شود.

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

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

فعالیت کارگاهی ۱۰

سخت‌کردن سطحی فولاد به روش کربن‌دهی جامد

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)

مراحل انجام آزمایش:

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

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

ترکیب	زغال چوب	کلسیم کربنات	سود خشک
مقدار	۸۷	۳	۱۰

۲ زغال چوب‌های مورد نیاز را با توجه به حجم جعبه سمانتاسیون وزن کرده و سپس خرد کنید و به اندازهٔ ۵ـ۳ میلی‌متر برسانید.

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

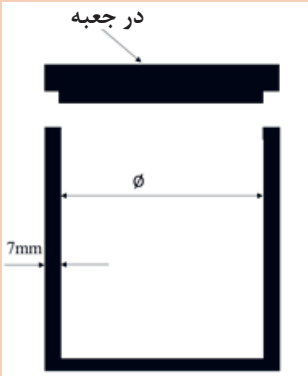
۳ مواد انرژی‌زا را که به‌صورت نمک بوده با توجه به جدول وزن کرده و آنها را خرد کنید و به‌صورت پودر درآورید.

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

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

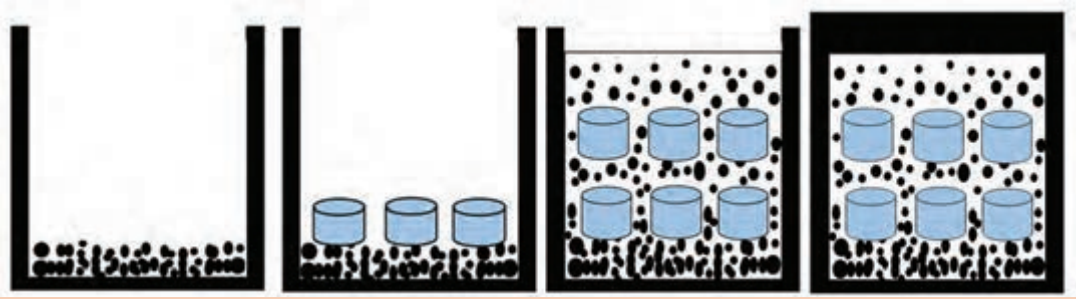
۶ مقداری از ترکیب مواد کربن ده را داخل جعبه سمانته ریخته و به ارتفاع ۲cm از کف جعبه تحت کوبش قرار دهید.

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

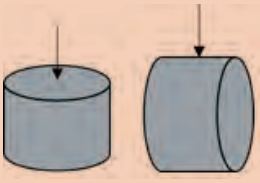


شکل ۲۹ـ تصویر جعبه سمانتاسیون

۸ کوره را روشن کرده و جعبه را در داخل کوره قرار دهید. جعبه‌ها را به مدت ۶ساعت در دمای ۹۵۰ درجهٔ سلسیوس 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 اینکه قطعاتی که کربن‌دهی جامد می‌شوند عمل خنک‌شدن به کندی صورت می‌گیرد. ادامه فعالیت را در جلسه بعد به‌صورت زیر ادامه دهید.

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

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

۱۲ سختی نمونه‌ها را درسطح و عمق اندازه‌گیری کنید.

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)		نمونهٔ کربوره شده و سریع سرد شده در روغن		نمونهٔ کربوره شده و سریع سرد شده در آب	
سختی	مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح	مغز	سطح

بحث گروهی

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

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

در ایـن حمـام عامـل کربـن‌زا نمک سـدیم سـیانید اسـت و از نمک‌هـای خنثی (سـدیم کلرید و سـدیم کربنات) به‌منظور به‌دسـت آوردن ترکیب شـیمیایی مناسـب، تنظیـم غلظت سـیانور، کنتـرل دمای ذوب و سـیالیت حمـام نمـک اسـتفاده می‌شـود. قطعـات مـورد نظـر را در سـبدهای فلـزی ریخته و یا توسـط سـیم‌های فلـزی به‌طور معلـق در مذاب بـرای مدت زمـان معینی کربـوره می‌کننـد. زمـان کربوره‌کردن بـه عمـق نفوذ مورد نظر بسـتگی دارد. پـس از پایان عملیـات سـبد حـاوی قطعات کربوره شـده را در آب یـا روغـن فـرو می‌برند.

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

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

نکته

نمک‌هـای سـیانید و بخـارات حاصـل از مـذاب آنهـا بسـیار سـمی بـوده و هنـگام کار کـردن با آنهـا باید کلیـهٔ نـکات ایمنـی مربـوط بـه‌کار گرفته شـوند. شـکل ۳۰ نمونـه‌ای از کربوره‌کـردن قطعـات در حمام نمـک را نشـان می‌دهد.





شکل ۳۰ـ کربوره‌کردن مایع در حمام نمک

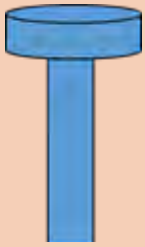
فعالیت کارگاهی ۱۱

کربوره‌کردن مایع در کوره حمام نمک

وسایل مورد نیاز:

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

نمونه‌های مورد آزمایش: فولاد سمانتاسیون (CK۱۵)



روش انجام آزمایش:

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



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

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

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

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

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



● **نکتهٔ ایمنی:** هنگام سیم‌بندی نمونه حتماً از دستکش استفاده کنید.

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

۴ کورهٔ حمام نمک را روشن کنید و دمای آن را بر روی دمای ۸۵۰ °C تنظیم کنید.

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

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

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

۵ نمونه‌های سیم‌بندی شده را با استفاده از کپسول گاز با مشعل به آرامی تا دمای ۳۰۰ درجهٔ سلسیوس پیش گرم کنید.

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

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

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

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

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

● **نکته‌ایمنی:** هنگام وارد کردن نمونه‌ها به داخل محیط خنک‌کننده از ماسک صورت استفاده کنید .

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

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

نمونه	شاهد	سرد شده در آب	سرد شده در روغن
سختی			

بحث گروهی

● در مورد سختی نمونهٔ شاهد و نمونهٔ سخت‌کاری شده در روغن و آب بحث و گفت‌وگو کنید.
● در مورد دلایل اختلاف سختی سطح و مغز قطعه بحث و گفت‌وگو کنید.

کربن‌دهی گازی: کربوره‌کردن گازی که نسبت به روش‌های جامد و مایع از قدمت کمتری برخوردار است به عنوان اقتصادی‌ترین و سریع‌ترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است. در کربوره‌کردن گازی قطعات کار را در ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس برای مدت ۳ الی ۴ ساعت، در اتمسفری که شامل گاز یا گازهایی باشد که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و تولید کربن اتمی کند، حرارت می‌دهند. معمولی‌ترین منبع کربن متان است و در صورتی که به تنهایی استفاده شود بر روی سطح قطعات دوده تشکیل می‌شود. از این رو گاز طبیعی را با گاز حامل که قابلیت کربن‌دهی بسیار کمی دارد مخلوط و استفاده می‌کنند. گاز حامل مخلوط گازی از نوع گرماگیر یا اندوترمیک (مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن، و کربن‌مونوکسید) 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 محدودهٔ ۱۲۰۰ـ۱۰۴ درجهٔ سلسیوس گرم کرده سپس از



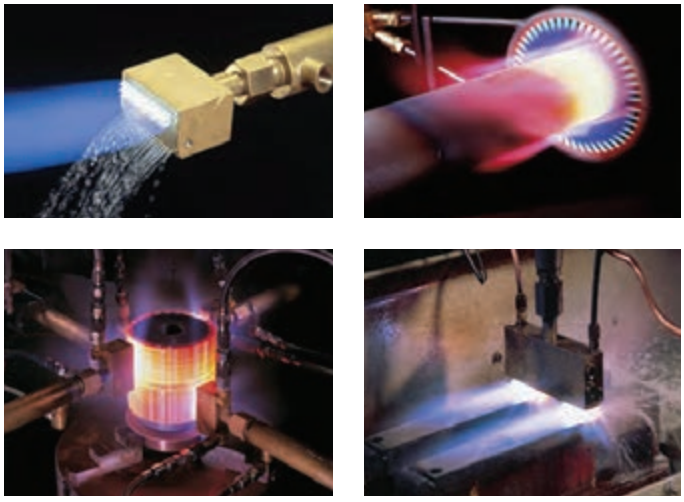
شکل ۳۱ـ کورهٔ کربورایزینگ گازی

روی بستری از نیکل به عنوان کاتالیزور عبور می‌دهند. اتمسفر فوق معمولاً از هیدروکربن‌ها نظیر گاز طبیعی متان (CH_4) و یا پروپان (C_3H_8) تشکیل شده است که به‌طور جزئی در کوره سوخته و یا اینکه با یک گاز رقیق‌کننده موسوم به گاز حامل مخلوط شده باشد.
سوختن ناقص و یا استفاده از گاز حامل به‌منظور به‌دست آوردن پتانسیل کربن مورد نظر در سطح فولاد می‌باشد. گازهای حامل معمولاً شامل مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن و کربن‌مونواکسید هستند. بنابراین همانند روش‌های جامد و مایع در این روش نیز عامل فعال کربن‌مونواکسید می‌باشد. شکل ۳۳ کوره کربورایزینگ گازی را نشان می‌دهد.

نیتریده‌کردن: نیتریده‌کردن عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایهٔ سطحی فولاد. بنابراین سختی سطح در این روش بستگی به نیترید فلزی تشکیل شده دارد. قطعات فولادی را که به‌این 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 نیتریدهای پایدار و سخت می‌دهند. همچنین نیتروژن با برخی از عناصر آلیاژی ترکیب شده و تشکیل نیترید آلیاژی می‌دهد، مانند نیتریدهای کرم و نیتریدهای تیتانیوم (TiN). در حقیقت سختی زیاد لایهٔ سطحی فولادهای نیترید شده، ناشی از وجود همین ذرات بسیار ریز و پراکندهٔ نیتریدهای آلیاژی است.
نیتریده کردن در دمای ۵۵۰°C تا ۶۵۰°C انجام می‌گیرد و پس از نیتریده‌کردن نیازی به سریع سرد کردن قطعه نیست و معمولاً قطعات را در هوا سرد می‌کنند.

سخت‌کردن شعله‌ای

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعلهٔ گازی حرارت داده شده و پس از آستنیته‌شدن بلافاصله سریع سرد می‌شود. شعلهٔ مورد نیاز در این روش را می‌توان از طریق مشعل اکسیژن و یک گاز قابل احتراق نظیر استیلن، پروپان و یا گاز طبیعی تهیه کرد. قطعات کوچک و یا مناطق موضعی نظیر لبه ابزارهای برش و یا انتهای آچارها را می‌توان به کمک شعلهٔ دستی حرارت داد و سپس تمام قطعه را در آب سریع سرد کرد.
برای سخت‌کردن قطعات بزرگ و یا سطوح زیاد می‌توان از دستگاه‌های خودکار که در آنها شعله و یک فوارهٔ آب تعبیه شده‌اند استفاده کرد.
در این روش مشعل با سرعت مناسب بر روی سطح قطعه به نحوی حرکت می‌کند که تا عمق مشخصی از آن را آستنیته کرده و به همراه آن فوارهٔ آب منطقهٔ آستنیته شده را سریع سرد می‌کنند. قطعات با شکل‌های متقارن مانند میله‌های استوانه‌ای شکل را می‌توان در داخل یک مشعل حلقه‌ای شکل با حرکت دورانی ابتدا آستنیته و سپس توسط فوارهٔ آبی که به دنبال مشعل و در فاصلهٔ نزدیکی از آن در حال حرکت است سریع سرد کرد. ازجمله معایب عمدهٔ سخت‌کردن شعله‌ای، اکسیده و یا دی کربوره شدن سطح قطعه است. با استفاده از شعله‌های اکسیدکنندهٔ ضعیف و یا احیا کننده عیب مزبور را تا حدودی می‌توان کاهش داد و یا حذف کرد. مقدارکربن توصیه شده و مناسب برای فولادهایی که قرار است به روش سخت‌کردن شعله‌ای سخت شوند در حدود۰/۴ تا ۰/۵ درصد است. معمولاً ضخامت پوسته‌های سخت شده بین ۳ تا ۱۲ میلی‌متر متغیر است (شکل ۳۲).



شکل ۳۲ـ سخت‌کاری سطحی

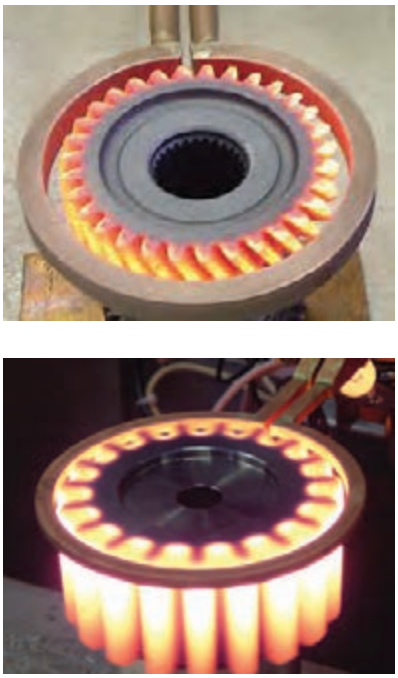
فعالیت کارگاهی ۱۲

سخت‌کردن شعله‌ای ابزارهای دستی فولادی

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

سخت‌کردن القایی

اصول این روش شبیه به سخت‌کردن شعله‌ای است، به این صورت که فقط سطح قطعه آستنیته شده و سپس سریع سرد می‌شود اما در این روش حرارت دادن سطح به کمک سیم‌پیچ هادی که از آن جریان متناوب با فرکانس زیاد (در محدوده ۲ تا ۵۰ کیلوهرتز) عبور می‌کند انجام می‌گیرد. ضخامت سخت شده بستگی به فرکانس جریان دارد. هر چه فرکانس جریان بیشتر باشد عمق نفوذ جریان و بنابراین ضخامت لایهٔ سخت شده کمتر خواهد بود. در این روش قطعه در مجاورت سیم پیچ حامل جریان قرار گرفته و پس از چند ثانیه به درجه حرارت آستنیته می‌رسد و بلافاصله سریع سرد می‌شود. در این روش می‌توان سختی HRC ۶۰ را در برخی از فولادها تا عمق ۳ میلی‌متر تولید کرد و به دلیل زمان کوتاهی که قطعه در درجه حرارت بحرانی بالایی قرار می‌گیرد، اکسیده‌شدن، دی کربوره شدن و یا رشد دانه‌ها ناچیز است. مدت زمان حرارت دادن توسط جریان‌های القایی با فرکانس بالا بسیار کوتاه و اغلب در حدود چند ثانیه است. شکل ۳۳ نحوهٔ گرم کردن چرخ دنده‌ها توسط کویل به وسیله القا را نشان می‌دهد.



شکل ۳۳ـ سخت‌کردن چرخ دنده به روش القا

ارزشیابی پایانی سخت‌کاری حجمی

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

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

مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی

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

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

معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	آماده کردن کورهٔ 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 سخت‌کاری در محیط خنک‌کننده	۲	
۶	تمپر کردن قطعات	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس‌کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیزکردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

ارزشیابی پایانی سخت‌کاری سطحی

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

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

مواد مصرفی: آب، روغن عملیات حرارتی

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

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

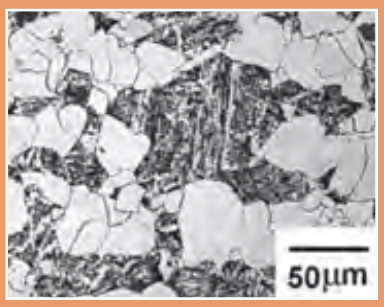
معیار شایستگی :

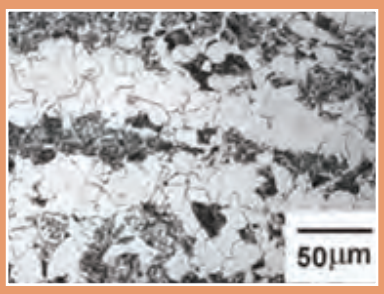
ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	وارد کردن قطعات به داخل کوره	۱	
۳	کنترل کردن دمای کوره	۲	
۴	خارج کردن قطعات از کوره	۱	
۵	سخت کردن سطحی قطعات بدون تغییر ترکیب شیمیایی	۲	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس‌کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیزکردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان چهارم

عملیات حرارتی آنیل و نرماله





واحد یادگیری ۱: عملیات حرارتی آنیل

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

استاندارد عملکرد کار

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

پیش‌نیاز

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

آنیل

پرسش

برای افزایش قابلیت ماشین‌کاری قطعات چه راهکاری پیشنهاد می‌کنید؟

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

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

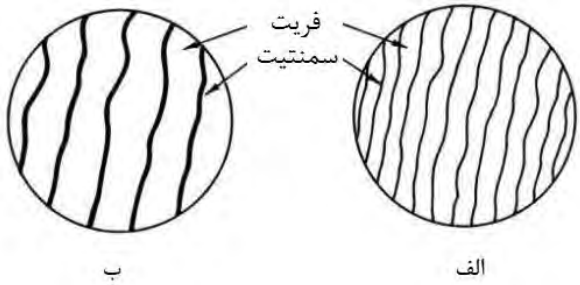
آنیل فولادها

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

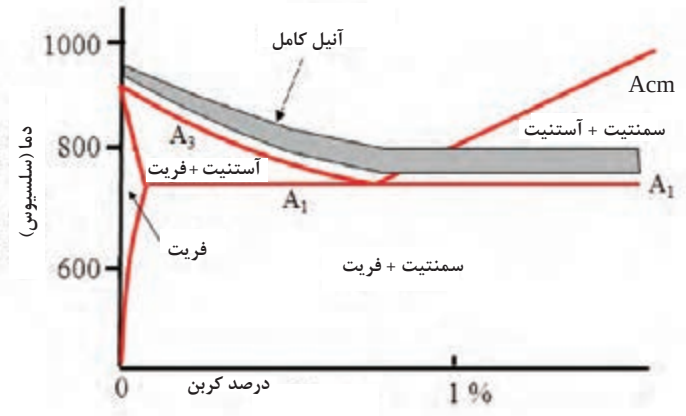
که هر کدام از فرایندها توضیح داده خواهد شد.

- آنیل کامل
- آنیل هم دما (ایزوترم)
- آنیل تنش‌زدایی
- آنیل کروی‌سازی

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



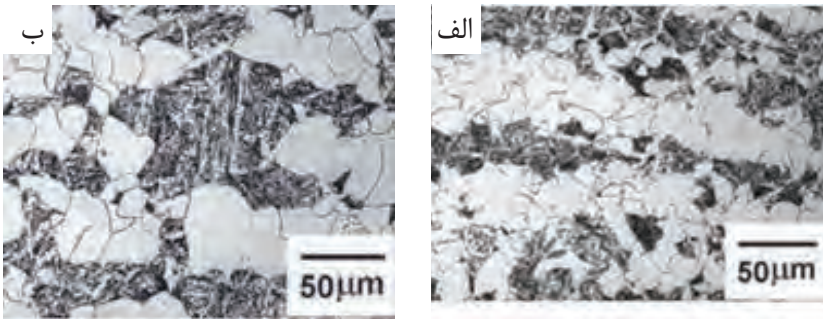
آنیل کامل عبارت است از حرارت دادن فولاد در دامنهٔ حرارتی آستنیت، نگهداری به مدت زمان لازم (یک ساعت به ازای هر اینچ ضخامت) در این دما و سپس سرد کردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می‌شود تا آستنیت به‌طور کامل تجزیه شود. دامنهٔ حرارتی آستنیته‌کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن است به این صورت که برای فولادهای هیپو یوتکتوئید، حدود $50^{\circ}C$ بالای خط A_3 و برای فولادهای هایپر یوتکتوئید حدود $50^{\circ}C$ بالای خط A_1 است. در شکل (۱) محدودهٔ دمایی آنیل کامل برای فولادها نشان داده شده است. در نظر داشته باشید که یک منطقه محدودهٔ از دیاگرام آهن ـ کربن آورده شده است که در این شکل درصد کربن حدود ۲ درصد و دما تا دمای ۱۰۰۰ درجهٔ سلسیوس است که منطقه خاکستری رنگ مربوط به منطقهٔ آنیل کامل است.



شکل ۱ـ محدودهٔ دمایی آنیل کامل در فولادها (منطقهٔ خاکستری رنگ)

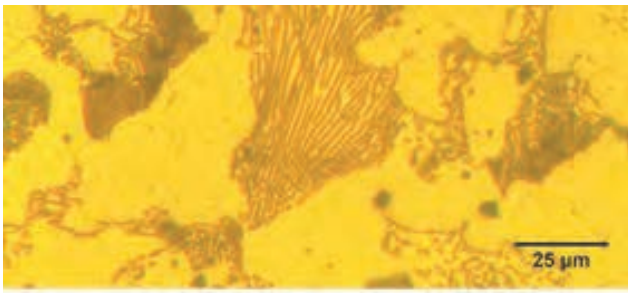
ولی با توجه به اینکه عناصر آلیاژی روی دمای آنیل کامل تأثیر می‌گذارند بهتر است برای انتخاب دمای آنیل از جدول‌های سازندهٔ فولاد با ترکیب شیمیایی معیّن استفاده شود. هدف از انجام این فرایند بهبود قابلیت ماشین‌کاری و مقاومت به ضربهٔ فولاد با ایجاد یک زمینه یکنواخت فریتی به همراه پرلیت ضخیم است. در واقع در فرایند آنیل کامل پرلیت ریز به پرلیت خشن یا درشت تغییر پیدا می‌کند و میزان فریت افزایش می‌یابد. در شکل (۲) تصاویری از ریزساختار فولاد کربن متوسط (۱۰۴۰) قبل و بعد از عملیات آنیل کامل نشان داده شده است.

آنیـل کامـل عمومـاً بـر روی قطعـات بـا ابعاد بـزرگ و آهنگری شـده صـورت می‌گیرد. بـا انجام ایـن فرایند بـه حداکثـر نرمـی و همچنین کاهش سـختی و اسـتحکام می‌رسـیم.



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

شـکل (۳) تصویـری از ریزسـاختار فـولاد Ck۴۵ کـه تحـت عملیـات حرارتـی آنیل کامـل قرار گرفته اسـت را نشـان می‌دهد. همان‌طـور که مشـاهده می‌شـود بـا توجه به اینکه سـرعت سـرد شـدن نمونه بسیار آهسـته بـوده، پرلیـت درشـت و خشـن به‌دسـت آمده اسـت.



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

فعالیت کارگاهی ۱

آنیل کامل

وسایل مورد نیاز:

۱ کورهٔ عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

ابتـدا هنرجویـان در گروه‌های پنج نفری تقسـیم شـده، هر گـروه یک نمونه از فولاد کربن متوسـط (CK۴۵) بـه قطـر و ارتفـاع ۱cm را آمـاده نماییـد. دو سـطح نمونه‌هـا را سـنباده زده و یـک طـرف آنهـا را بـا سـنبه شـماره‌گذاری نماییـد. یـک نمونـه را بـه عنـوان شـاهد نگه داشـته و آزمایـش را به‌صـورت زیر ادامـه دهید.

۱ سـختی نمونـه شـاهد را بـا اسـتفاده از سـختی سـنج برینـل انـدازه گرفتـه و یادداشـت کنیـد و ریـز سـاختار آن را در جـدول صفحـهٔ بعـد رسـم کنیـد.

- **نکات ایمنی:** قبل از روشن‌کردن کوره اتصالات کوره را کنترل کنید.
- هنگام روشن‌کردن کوره از دستورالعمل‌های سازنده استفاده کنید.
- از سلامت نشانگر دیجیتالی دما اطمینان حاصل کنید.
- حتمـاً از محافـظ صـورت، کلاه و عینـک ایمنـی، دسـتکش مخصـوص و در مواقعـی کـه با فلـز داغ کار می‌کنیـد از لبـاس ضـد آتـش اسـتفاده کنید.

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

نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در کوره
سختی		
شکل ریز ساختار		

پرسش

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 نمونهٔ شاهد مشاهده می کنید.

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

فعالیت کارگاهی ۲

آشنایی با آنیل هم دما

وسایل مورد نیاز:
۱ کوره عملیات حرارتی آزمایشگاهی (۲ عدد) ۲ انبر ۳ سختی‌سنج ۴ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

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

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

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

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

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

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

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

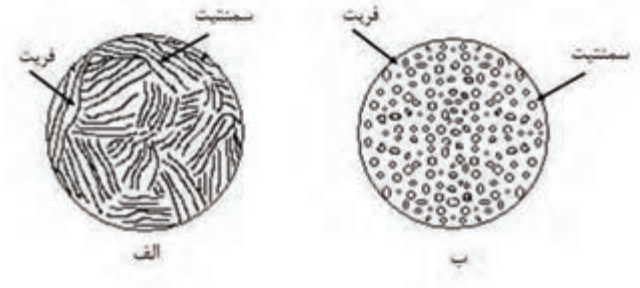
۵ سختی نمونه‌های سرد شده را با استفاده از سختی سنج برینل اندازه گرفته و یادداشت کنید و ریز ساختار آن را در جدول رسم کرده به همراه گزارش کار تحویل هنرآموز خود دهید.

نمونه	شاهد	نمونه سرد شده در هوا
سختی		
شکل ریز ساختار		

بحث گروهی

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

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

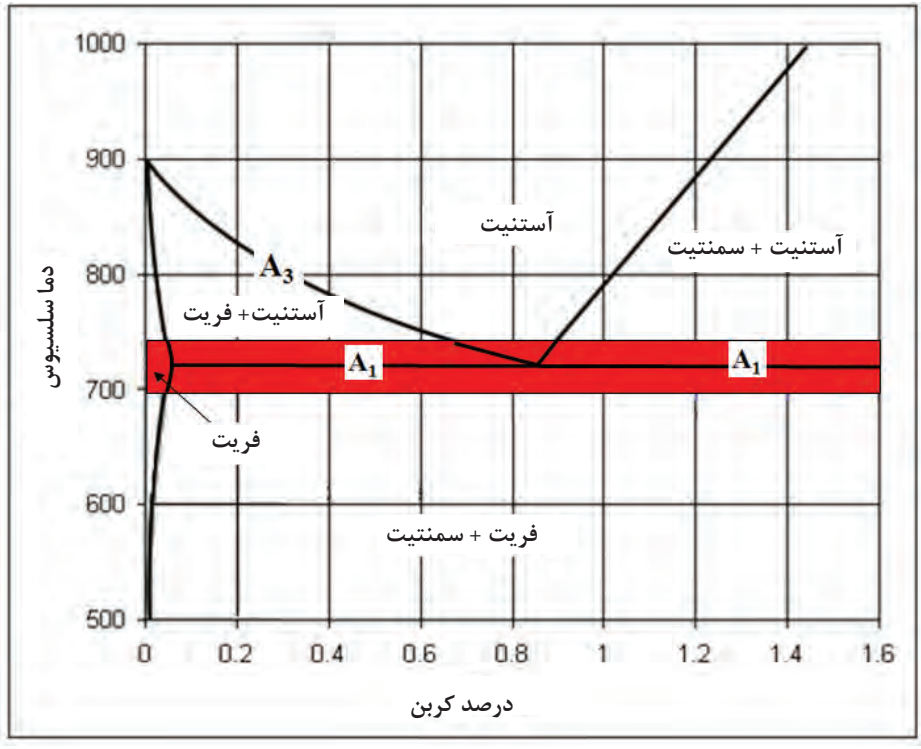


روش‌های متفاوتی برای فرایند کروی‌کردن به‌کار برده شده است که مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از:

الف) حرارت دادن فولاد تا زیر دمای A_1، نگه داشتن به مدت زمان کافی (۲۴ـ۵ ساعت) جهت کروی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط. (شکل ۴)

ب) حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فازی بین A_1ـA_3 برای فولادهای هیپو یوتکتوئید و یا بین A_1 ـ A_{cm} برای فولادهای هایپریوتکتوئید به‌منظور آستنیته‌کردن 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 است. در حقیقت هدف از فرایند کروی‌کردن، دستیابی به ساختاری تشکیل شده از سمنتیت کروی در زمینه فریتی است. به‌طور کلی با انجام فرایند آنیل کروی‌کردن، 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 فرایند کروی‌کردن راحت‌تر خواهد بود. هدف از انجام این عملیات، بهبود قابلیت ماشین‌کاری و شکل‌پذیری سرد در فولادها می‌باشد.



شکل ۴ـ محدودهٔ عملیات حرارتی آنیل کروی‌کردن

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



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

فعالیت کارگاهی ۳

آنیل کروی سازی

وسایل مورد نیاز:

۱ کورهٔ عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونه مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش

پس از تشکیل گروه‌های ۵ نفری، هر گروه یک نمونه از فولاد کربن متوسط (CK۴۵) به قطر و ارتفاع ۱cm را آماده کنید. سپس برای سرعت در عملیات کروی‌سازی دو نمونه فولاد کربن متوسط را مطابق سیکل عملیات سخت‌کاری در دمای ۸۵۰ درجهٔ سلسیوس در آب سریع سرد کنید. یکی از نمونه‌های سخت‌کاری شده را به‌عنوان شاهد نگه داشته و بقیهٔ آزمایش را به‌صورت زیر انجام دهید:

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

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

۲ کوره را روشن کرده و به دمای ۷۰۰ درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید.

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

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

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

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

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

بحث گروهی

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

آنیل تنش‌زدایی: برخی از عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات، باعث ایجاد تنش‌های داخلی می‌شود که‌این 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 تنش زدایی 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 تنش گیری دارد که معمولاً با افزایش دمای تنش‌گیری مدت زمان لازم جهت عملیات کاهش می‌یابد.

آنیل چدن

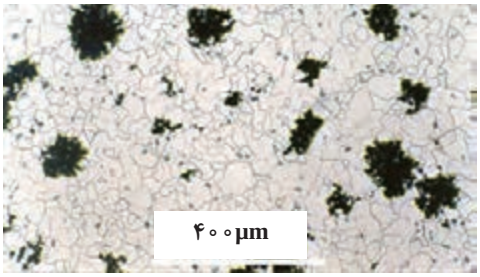
از آنجا که قطعات چدنی عمدتاً به روش ریخته‌گری تولید می‌شوند پس از انجماد نیاز به فرایندهایی نظیر تمیزکاری سطح، عملیات حرارتی و ماشین‌کاری دارند در مورد چدن‌ها بررسی‌ها نشان داده‌اند که هرچه ساختار زمینه از فریت به سمت پرلیت می‌رود عمر ابزار کاهش و توان مصرفی برای ماشین‌کاری افزایش می‌یابد به نحوی که زمینهٔ فریتی بالاترین و زمینه پرلیتی ظریف یا دارای کاربید آزاد کمترین قابلیت ماشین‌کاری را دارد. قابلیت ماشین‌کاری به سختی و استحکام بسیار وابسته است به طوری که هر چه سختی و استحکام بالاتر باشد توانایی ماشین‌کاری پایین‌تر است. آنیل‌کردن چدن‌ها عبارت است از حرارت دادن قطعه در دمایی بالاتر از دمای بحرانی A_1 و سپس سردکردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می‌گیرد. در چدن‌ها فرایند آنیل برای از بین بردن تنش داخلی و به‌دست آوردن خواص ماشین‌کاری استفاده می‌گردد. روش‌های مختلفی برای آنیل کردن چدن‌ها وجود دارد.

آنیل‌کردن در درجه حرارت بالا

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

(در کوره) تا دمای محیط سرد می‌شود. هدف از انجام این عملیات تهیهٔ چدن چکش خوار از چدن سفید است. این نوع از چدن به وسیله عملیات حرارتی چدن سفید به‌دست می‌آید.

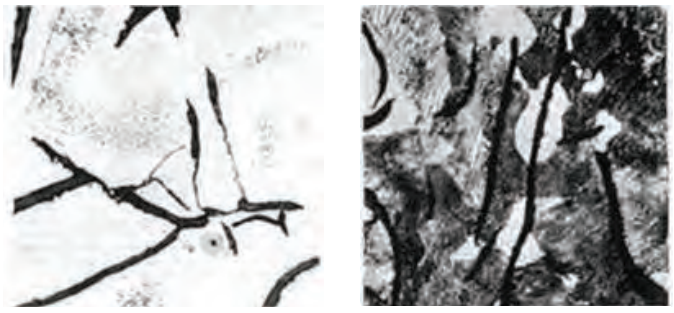
چدن سفید سخت و شکننده است و تنها چدنی است که گرافیت آزاد ندارد. با اعمال عملیات حرارتی سمنتیت تجزیه شده و کربن به شکل گرافیت برفکی در ساختار چدن به وجود می‌آید. گرافیت در چدن مالیبل با عناوین گرافیت برفکی، تمپر شده، کُره از هم پاشیده و یا شبه کروی یاد می‌شود. زمینه چدن مالیبل می‌تواند فریتی یا پرلیتی باشد. در شکل (۶) تصویری از ریزساختار چدن مالیبل یا چدن با گرافیت تمپر شده در زمینه فریتی مشاهده می‌شود.



شکل ۶ـ ریزساختار چدن مالیبل

آنیل کردن در درجه حرارت متوسط (آنیل کامل): در این روش قطعات چدنی را تا درجه حرارت ۸۲۰ـ۹۰۰ درجهٔ سلسیوس حرارت می‌دهند و به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مقطع یک ساعت در این دما نگهداری می‌کنند و سپس به آهستگی سرد می‌کنند. این عملیات برای فریتی کردن کامل زمینه در چدن‌های غیر آلیاژی استفاده می‌شود.

آنیل در درجه حرارت پایین (فریتی کردن): در این روش قطعات چدنی را تا درجه حرارت ۷۳۰ تا ۷۹۰ درجهٔ سلسیوس حرارت می‌دهند و سپس به ازای هر ۲۵ میلی‌متر ضخامت مقطع ۴۵دقیقه در این دما نگهداری کرده و سپس به آرامی سرد می‌کنند. در این روش زمینهٔ پرلیتی در اثر نفوذ تدریجی، به مجموعه‌ای از فریت و گرافیت تبدیل می‌شود. شکل۷ نمونه‌ای از چدن خاکستری غیر آلیاژی را قبل و بعد از عملیات آنیل فریتی نشان می‌دهد.



الف ب

شکل ۷ـ 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 درجهٔ سلسیوس به مدت زمان یک ساعت

فعالیت کارگاهی ۴

آنیل فریتی

وسایل مورد نیاز:

۱ کورهٔ عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنجی ۴ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونهٔ مورد آزمایش: چدن خاکستری با زمینه پرلیتی

مراحل انجام آزمایش:

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

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

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

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

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

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

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

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

نمونه	شاهد	آنیل شده
سختی		
شکل ریز ساختار		

بحث گروهی

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

واحد یادگیری ۲: عملیات حرارتی نرماله

نرماله‌کردن یکی دیگر از انواع روش‌های عملیات حرارتی است که ریز ساختار حاصل از آن همانند فرایند عملیات حرارتی آنیل است. یکی از اهداف مهم نرماله‌کردن ریز کردن دانه‌های درشتی است که اغلب هنگام کار گرم در درجه حرارت بالا و یا هنگام ریخته‌گری و انجماد به‌وجود آمده است.

استاندارد عملکرد کار

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

پیش‌نیاز

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

نرماله

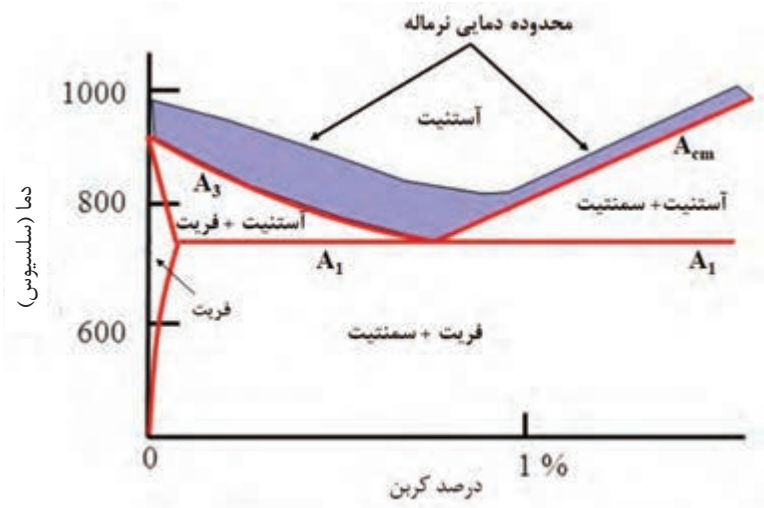
نرماله‌کـردن یکـی دیگـر از انـواع روش‌هـای عملیات حرارتی اسـت که بـا این فرایند می‌تـوان تمـام تغییراتی که در نتیجـه عملیـات قبلی بر روی فولاد در سـاختار دانـه‌ای و در خواص معین ظاهر گشـته را برطرف کرد. همچنین این عملیـات بـرای انجـام عملیات حرارتی بعدی اسـت. به منظور اهـداف زیـر در فولادها فرایند نرماله انجـام می‌گیرد.

۱ تولید فولادی با استحکام و سختی بالاتر نسبت به فرایند آنیل؛
۲ بهبود قابلیت ماشین‌کاری؛
۳ ریز کردن دانه‌ها؛
۴ بهبود میزان انعطاف‌پذیری؛
۵ یکنواخت‌کردن ریز ساختار؛
۶ عملیات حرارتی اولیه برای ایجاد ساختار دانه ریز برای عملیات سخت‌کاری.

مراحل عملیات حرارتی نرماله

برای انجام عملیات حرارتی نرماله مراحل زیر طی می‌شود:
۱ مشخص‌کردن درصد کربن فولاد و محاسبهٔ دمای آستنیته کردن فولاد براساس نمودار یا جدول‌های استاندارد؛
۲ محاسبهٔ زمان نگهداری قطعه در کوره؛
۳ سرد کردن در هوا؛

مراحـل آسـتنیته‌کردن در فراینـد نرمالـه بـرای فولادهای هیپویوتکتوئیـد در منطقه دمایـی حـدود $100^{\circ}C$ بالای خـط A_3 و بـرای فولادهـای هیپـر یوتکتوئیـد حـدود $50^{\circ}C$ بـالای خـط A_{cm} می‌باشـد کـه در شـکل (۸) محدوده دمایـی نرماله‌کـردن در فولادهـا بـر روی قسـمتی از منحنـی آهـن ـ کربـن نشـان داده شـده اسـت. و همچنیـن از جدول‌هـای اسـتاندارد نیـز برای محاسـبه دمای آسـتنیته‌کردن اسـتفاده می‌شـود. جـدول ۱ دمای آسـتنیته‌کردن فولادهـای کربنـی بـرای فراینـد نرمالـه را نشـان می‌دهد.



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

جدول ۱ــ دمای آستنیته‌کردن فولادهای کربنی

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

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

$$t = ۶۰ + D$$

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

پس از نگهداری به مدت زمان تعیین شده قطعات از کوره خارج شده و مطابق شکل۹ در هوای آرام تا دمای محیط خنک می‌شوند.



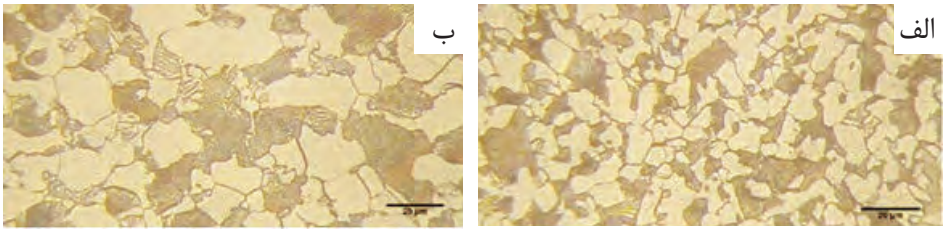
شکل ۹ــ خارج کردن قطعات از کوره و سرد شدن در هوای ساکن

چند تفاوت عمده بین نرماله‌کردن و آنیل‌کردن وجود دارد ۱ــ در نرماله‌کردن دمای آستنیته‌کردن برای فولادهای هیپویوتکتوئید کمی بالاتر از گسترهٔ دمایی مربوط به آنیل کردن است. در حالی‌که برای فولادهای هیپر یوتکتوئید از گستره دمایی حدود ۵۰ درجهٔ سلسیوس بالای A_{cm} استفاده شده است. ۲ــ در عملیات نرماله‌کردن قطعات پس از آستنیته شدن در هوا سرد می‌شوند. ۳ــ از آنجایی‌که در نرماله‌کردن فولادهای هیپو یوتکتوئید گسترهٔ دمایی آستنیته‌کردن بالاتر از گسترهٔ دمایی مربوط به آنیل است، ساختار آستنیت و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار است. ۴ــ با توجه به‌اینکه در نرماله‌کردن، قطعات در هوا سرد می‌شوند ریز ساختارهای حاصل نسبت به آنیل ریزتر هستند بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرایند آنیل‌کردن، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف‌پذیری تا حدودی کاهش می‌یابد. در جدول صفحه بعد سختی فولادهای کربنی را در سه حالت نورد گرم، آنیل و نرماله نشان می‌دهد. همان‌طور که ذکر شد سختی در فرایند آنیل کمتر از فرایند نرماله است.

جدول۲ـ سختی فولادهای کربنی در سه فرایند، الف) نورد گرم، ب) نرمالیزه، ج) آنیل

نوع فولاد	نوع عملیات	سختی (برینل)
۱۰۲۰	نورد شده	۱۴۳
	نرمالیزه در دمای ۸۷۰°C	۱۳۱
	آنیل در دمای ۸۷۰°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 درجهٔ سلسیوس و به مدت ۱ ساعت نگهداری شده و سپس یک نمونه در کوره و نمونهٔ دیگر در هوا خنک گردیده است. نمونهٔ آنیل که در کورهٔ سرد شده دارای دانه‌های درشت تر و پرلیت خشن‌تری است.



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

فعالیت کارگاهی ۵

نرماله‌کردن فولاد

وسایل مورد نیاز:

۱ کورهٔ عملیات حرارتی آزمایشگاهی ۲ انبر ۳ دستگاه سختی‌سنج ۴ نمونه‌های مورد آزمایش

نمونهٔ مورد آزمایش: قطعات فولاد کربن متوسط (CK۴۵)

مراحل انجام آزمایش:

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

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

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

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

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

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

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

بحث گروهی

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

نقشه کار: انجام عملیات حرارتی آنیل
شاخص عملکرد: ۱ـ تنظیم دمای کوره ۲ـ قرار دادن قطعات داخل کوره ۳ـ زمان نگهداری قطعات داخل کوره ۴ـ خارج‌کردن قطعات از کوره در دمای مناسب

شرایط انجام کار:
۱ـ انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویه استاندارد و دمای $۲۰^{\circ}C \pm ۳^{\circ}$ ۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۲۳۰ دقیقه

مواد مصرفی:

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

نمونه و نقشه کار:
۱ـ راه‌اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی آنیل فلز و آلیاژ موردنظر طبق دستورالعمل
۲ـ واردکردن قطعات داخلی کوره مطابق برنامه زمان‌بندی سیکل عملیات حرارتی آنیل و چیدمان صحیح قطعات داخل کوره
۳ـ نگهداری قطعات در کوره جهت عملیات آنیل در زمان مشخص شده سیکل عملیات حرارتی طبق دستورالعمل
۴ـ خارج‌کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی آنیل در دمای مناسب طبق دستورالعمل

معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	واردکردن 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	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیز کردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

ارزشیابی پایانی نرماله

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

شرایط انجام کار:
۱ـ انجام کار در محیط کارگاه عملیات حرارتی ۲ـ نور یکنواخت با شدت ۴۰۰ لوکس ۳ـ تهویه استاندارد و دمای $20^{\circ}C \pm 3^{\circ}$ ۴ـ ابزارآلات و تجهیزات استاندارد و آماده به کار ۵ـ وسایل ایمنی استاندارد ۶ـ زمان ۱۱۰ دقیقه

مواد مصرفی:

ابزار و تجهیزات : کوره عملیات حرارتی ـ ترمومتر ـ زمان‌سنج ـ انواع انبر ـ سبد فلزی نسوز ـ گاری ـ جرثقیل
نمونه و نقشه کار:
۱ـ راه‌اندازی و تنظیم دمای کوره مطابق با سیکل عملیات حرارتی نرماله فلز و آلیاژ موردنظر طبق دستورالعمل
۲ـ واردکردن قطعات داخل کوره مطابق برنامه زمان‌بندی سیکل عملیات حرارتی نرماله و چیدمان صحیح قطعات در داخل کوره
۳ـ نگهداری قطعات در کوره جهت عملیات نرماله‌کردن در زمان مشخص شده سیکل حرارتی طبق دستورالعمل
۴ـ خارج‌کردن صحیح قطعات از کوره مطابق سیکل عملیات حرارتی نرماله‌کردن در دمای مناسب طبق دستورالعمل

معیار شایستگی :

ردیف	مرحله کار	حداقل نمره قبولی	نمره هنرجو
۱	تنظیم کردن دمای کوره	۲	
۲	واردکردن قطعات به داخل کوره	۱	
۳	کنترل کردن دمای کوره	۲	
۴	خارج‌کردن قطعات از کوره	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیز کردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

پودمان پنجم

خوردگی و پوشش‌دهی





واحد یادگیری ۱: خوردگی

خوردگی یک پدیدهٔ طبیعی است که در اثر واکنش الکتروشیمیایی فلز با محیط اطراف اتفاق می‌افتد. خوردگی فلزات از زمانی که بشر به سمت تولید فلزات رفت شروع شد. فلزات به غیر از طلا که به‌صورت خالص هم در طبیعت وجود دارد، به‌صورت ترکیبات اکسیدی، سولفیدی، کربناتی و غیره یافت می‌شوند. نوع ترکیب فلزات (سنگ‌های معدن) با توجه به ترکیبات شیمیایی و شرایط محیطی تغییر می‌کند. پایدارترین شکل یک عنصر شکل موجود آنها در طبیعت می‌باشد و مواد زمانی که از این ترکیبات جدا می‌شوند تا در صنعت مورد استفاده قرار گیرند، تمایل دارند تا به حالت اولیه خود برگردند و با ترکیبات محیط اطراف خود واکنش می‌دهند که اکثراً باعث خوردگی آنها می‌شود. همهٔ مواد دچار پدیده خوردگی و تخریب ناشی از واکنش با عوامل محیط پیرامون خود می‌شوند، ولی با توجه به‌اینکه فلزات نسبت به مواد پلیمری و سرامیکی سریع‌تر دچار پدیده خوردگی می‌شوند، بنابراین اصطلاح خوردگی را بیشتر برای تخریب فلزات به‌کار می‌برند. براساس برآوردها در سطح بین‌المللی هزینه‌های ناشی از خوردگی در هر سال معادل ۴ الی ۵ درصد تولید ناخالص ملی کشورها است.

استاندارد عملکرد کار

انجام آزمایش‌های خوردگی بر روی فولادها براساس استانداردها و دستورالعمل‌های مربوطه

پیش‌نیاز

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

خوردگی

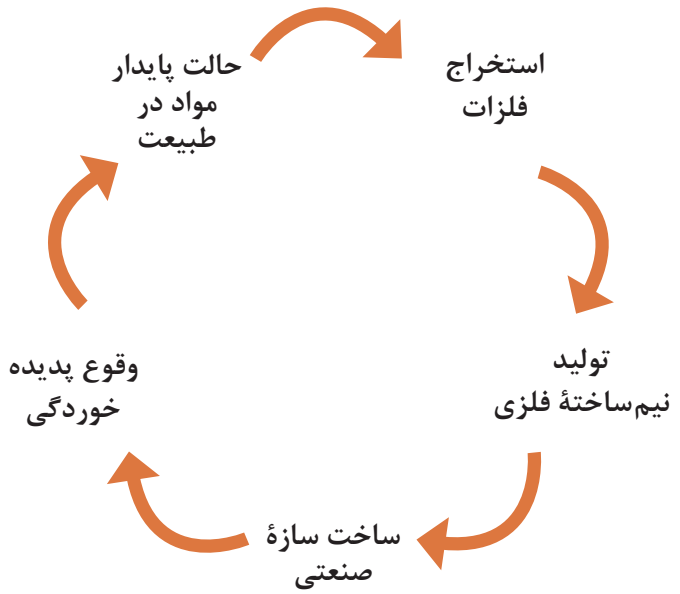
پرسش

خوردگی چیست و چرا فلزات خورده می‌شوند؟

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

- خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.
- از بین رفتن مواد در اثر عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی
- فرایند خوردگی عکس فرایند استخراج است.

هیچ فلزی در طبیعت تمایل ندارد به‌صورت 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 ۱ــ نمودار چرخهٔ گردش مواد فلزی در طبیعت

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

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

در ۱۵۰ سال پیش بشر بدون استفاده از فلزات و آلیاژها به‌خصوص فولاد، چدن، آلومینیوم و مس نمی‌توانست به حیات صنعتی خود ادامه دهد. استفادهٔ 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 مادهٔ غذایی داخل آن فاسد می‌شود.
۴ خطرات فاجعه آمیز: خوردگی لوله‌های سوخت در نیروگاه‌های اتمی
۵ آلودگی محیط‌زیست: هر تخریبی در نهایت منجر به آلودگی محیط‌زیست می‌شود.

استفاده از واکنش‌های خوردگی:

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

۱ آبکاری یا پوشش‌دهی
۲ آنُدایز کردن Al برای به‌دست آوردن ظاهر مطلوب و پوستهٔ اکسیدی مقاوم در برابر خوردگی
۳ الکترواچ یا الکتروپولیش
۴ ماشین‌کاری الکتروشیمیایی: این روش در مواردی اقتصادی‌تر است که قطعات سخت بوده و به‌وسیلهٔ روش‌های معمول به سختی ماشین‌کاری می‌شوند. خالی کردن استوانهٔ توپ به منظور ساخت لولهٔ تانک
۵ باطری 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 به‌صورت توأم سبب خوردگی و تخریب فلزات شوند. بنابراین مکانیزم خوردگی مواد فلزی بستگی به عوامل خورندهٔ موجود در محیط دارد.



شکل ۲ـ عوامل ایجاد خوردگی

۱ خوردگی شیمیایی

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

۲ خوردگی الکتروشیمیایی

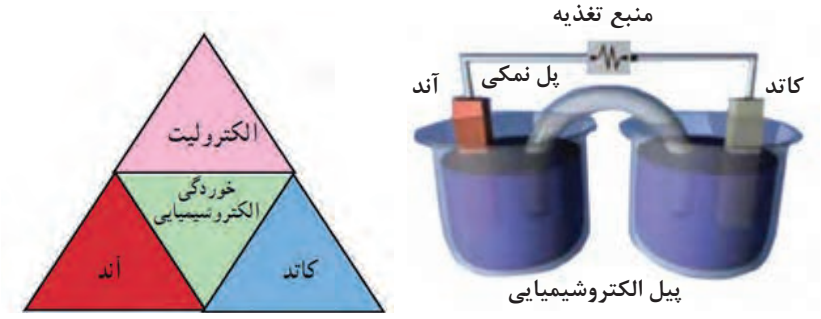
الکتروشیمیایی واکنشی است که ۱ـ شیمیایی بوده و ۲ـ تبادل الکترون در آن صورت گیرد. به‌طوری که اگر یک مایع حاوی یون‌های مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهم‌جنس متصل به هم با یک هادی الکتریسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد.

آند: سطحی است که روی آن واکنش اکسیداسیون رخ می‌دهد و فلز تمایل به از دست دادن الکترون دارد. در نتیجه به‌طور 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 تشکیل‌دهنده پیل الکتروشیمیایی را نشان می‌دهد.



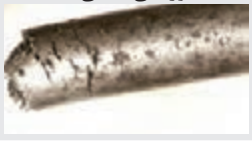
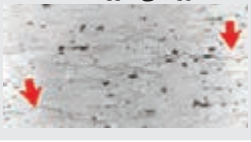
شکل ۳ـ اجزای اصلی پیل الکتروشیمیایی خوردگی

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

انواع خوردگی از نظر مکانیزم خوردگی

خوردگی را می‌توان به روش‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. اساسی که در این کتاب مورد استفاده قرار گرفته است، ظاهر وشکل فلز خورده شده است. به این روش که فقط با مشاهده فلز خورده شده می‌توان نوع خوردگی را مشخص کرد. برای تشخیص نوع خوردگی در اکثر موارد چشم غیر مسلح کافی است، اما گاهی اوقات بزرگ نمایی ذره بین یا میکروسکوپ‌هایی با بزرگ نمایی‌های کم، مفید خواهد بود. در جدول ۱ تصاویری از انواع خوردگی آورده شده است.

جدول ۱ـ انواع خوردگی

شکل	نوع خوردگی
خوردگی یکنواخت 	خوردگی گالوانیکی 
خوردگی فرسایشی 	خوردگی شیاری 
خوردگی هیدروژنی 	خوردگی حفره‌ای 
خوردگی تنشی 	خوردگی مرزدانه‌ای 

خوردگی یکنواخت

خوردگی یکنواخت متداول‌ترین نوع خوردگی است. معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی که به‌طور یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول خورنده قرار دارد، مشخص می‌شود. فلز نازک و نازک‌تر شده و نهایتاً از بین می‌رود یا تجهیزات مورد نظر تخریب می‌شود. مثلاً یک قطعه فولاد یا روی در داخل یک محلول رقیق سولفوریک اسید معمولاً با سرعت یکسانی در تمام نقاط قطعه خورده خواهد شد (شکل۴). تصویری از لوله فولادی که در محیط مرطوب تحت خوردگی یکنواخت قرار گرفته است را نشان می‌دهد.



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

با استفاده از روش‌های زیر می‌توان قطعات را در برابر خوردگی یکنواخت حفاظت کرد.

۱ **پوشش‌دادن:** با پوشش سطح فلز را از عوامل محیطی جدا می‌کنیم. که پوشش‌ها می‌توانند به‌صورت فلزی و یا پوشش آلی (رنگ) باشند.

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

۳ **با استفاده از حفاظت کاتدی:** فلز وقتی خورده می شود که آند باشد. در حفاظت کاتدی فلز را از حالت آند درآورده و به کاتد تبدیل می کنیم.

سرعت خوردگی در خوردگی یکنواخت با استفاده از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$\text{سرعت خوردگی (سال/ اینچ)} = \frac{۵۳۴\Delta W}{\rho.A.T} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه ΔW اختلاف وزن نمونهٔ قبل و بعد از وارد کردن در داخل محلول بر حسب میلی گرم، ρ چگالی نمونه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، A مساحت نمونه بر حسب اینچ مربع و T زمان بر حسب ساعت می‌باشد. عدد ۵۳۴ ضریب تبدیل واحد است که در نهایت سرعت خوردگی بر حسب اینچ بر سال به‌دست می‌آید.

فعالیت کارگاهی ۱



خوردگی پیچ فولادی

مواد و تجهیزات مورد نیاز: پیچ فولادی بدون پوشش، بشر۲۵۰cc، پیپت، پیپت پر کن یا پمپ مکنده، خشک‌کن، سنباده، اره، کلریدریک اسید ۱۰٪

مراحل انجام کار:

۱ پیچ فولادی بدون پوشش را به طول ۵۰ میلی‌متر انتخاب کنید.

۲ محلول HCl ۱۰٪ را آماده کرده و نمونه را در داخل آن به مدت ۱ هفته قرار دهید.

برای آماده‌سازی محلول HCl ۱۰٪ باید به ازای هر ۱۰ میلی لیتر اسید ۹۰ میلی لیتر آب مقطر اضافه کرد. در این آزمایش۲۰۰cc محلول تهیه کنید. ابتدا ۱۰۰cc آب مقطر داخل بشر بریزید و سپس مقدار ۲۰cc کلریدریک اسید را توسط پیپت به آن اضافه کنید و بعد از آن تا اندازه‌ای آب مقطر به آن اضافه کنید تا محلول به حجم۲۰۰cc برسد.

۳ بعد از گذشت زمان مشخص شده نمونه را از داخل محلول خارج کرده و با آب شست‌وشو داده و خشک کنید. نتایج را به همراه پاسخ سؤالات در گزارش کار تحویل هنرآموز محترم دهید.

نکات ایمنی



- حتماً از وسایل ایمنی مانند ماسک تنفسی، دستکش، عینک، روپوش آزمایشگاهی و کفش ایمنی استفاده کنید.
- از استشمام، چشیدن یا لمس کردن مواد شیمیایی جداً خودداری کنید.
- توجه داشته باشید که همیشه اسید را به آب اضافه کنید و به هیچ عنوان آب را به اسید غلیظ اضافه نکنید.
- هرگاه ماده شیمیایی مانند اسید یا باز، روی میز، زمین یا لباس شما بریزد، در اسرع وقت آن را با مقدار زیادی آب بشویید.
- هنگام کار با پیپت از مکیدن پیپت برای بالا کشیدن مایعات خودداری کنید و از پیپت پرکن استفاده کنید.
- برای تهیهٔ 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 از اثرات تخریبی تبخیر محلول‌های شیمیایی، پس از تهیه محلول آن را در ظرف‌های در بسته نگهداری کنید. توجه داشته باشید که کلریدریک اسید، سبب اسیدی شدن آب و خاک می‌شود. برای بیرون ریختن آن ابتدا با مقداری مواد قلیایی آن را خنثی کنید و سپس آن را در سیستم فاضلاب آزمایشگاه بریزید.

بحث گروهی



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

فعالیت کارگاهی ۲

اندازه‌گیری سرعت خوردگی

مـواد و تجهیزات مورد نیاز: نمونه‌های فولادی و مسـی و آلومینیومی، بشـر ۲۵۰ cc، کلریدریک‌اسـید ۱۰٪ پیپت، پیپت پرکن، ترازوی آزمایشـگاهی، خشـک‌کن، سـنباده

مراحل انجام آزمایش:

۱ مکعب‌هایی از جنس فولاد، مس و آلومینیوم در ابعاد ۱۰×۲۰×۳۰ میلی‌متر را انتخاب کنید.

۲ سطح مکعب‌ها را سنباده بزنید تا اکسیدها و سایر ناخالصی‌ها از روی آنها تمیز گردند.

۳ وزن مکعب‌هـای تمیـز شـده را توسـط تـرازوی دیجیتالـی اندازه‌گیـری کرده و سـپس سـطح کل آنها را محاسـبه کنید.

۴ محلـول HCl ۱۰٪ را طبـق اصـول فعالیـت شـماره (۱) آمـاده کـرده و نمونه‌هـا را در داخـل آن بـه مـدت ۱ هفتـه قـرار دهید.

۵ بعـد از گذشـت زمـان مشـخص شـده نمونه‌هـا را از داخـل محلـول خـارج کـرده و بـا آب شست‌وشـو داده و خشـک کنیـد.

۶ نمونه‌های خشک شده را وزن کرده و میزان کاهش وزن آنها را یادداشت کنید.

۷ نتایـج و اعـداد بـه دسـت آمـده را در رابطـه (۱) قـرار داده و سـرعت خوردگـی نمونه‌هـای مختلـف را به‌دسـت آوریـد.

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

پرسش

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

خوردگی گالوانیکی

پرسش

- وقتـی دو فلـز غیرهمجنـس در محیـط مرطـوب در اتصال باهم باشـند، خوردگی در کدام یک سـریع‌تر اتفـاق می‌افتـد؟ چرا؟
- چنانچـه دو فلـز بـا جنـس متفـاوت در محیـط مرطـوب در تماس بـا یکدیگر قـرار گیرند،کـدام یک به عنـوان آنـد و کـدام یـک بـه عنوان کاتـد عمـل می‌کنند؟

بحث گروهی

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

در سال ۱۷۶۱ میلادی بررسی‌های تصادفی که بر روی کشتی‌های جنگی انجام شد 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 باقی‌مانده بودند.

گفت‌وگو

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

زمانی که دو فلز غیر هم‌جنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند، در معرض یک محلول هادی یا خورنده قراربگیرند، 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.

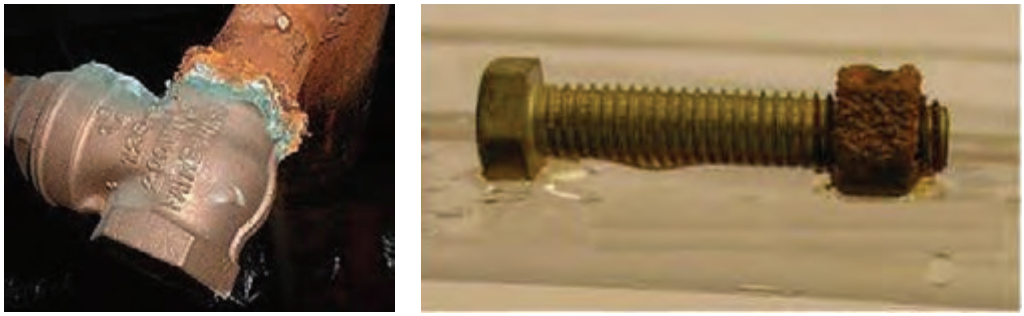


شکل ۵ـ تشکیل پیل گالوانیک به دلیل نصب پلاک و قفل از جنس آلیاژ مس روی ستون فولاد کربنی

گفت‌وگو

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

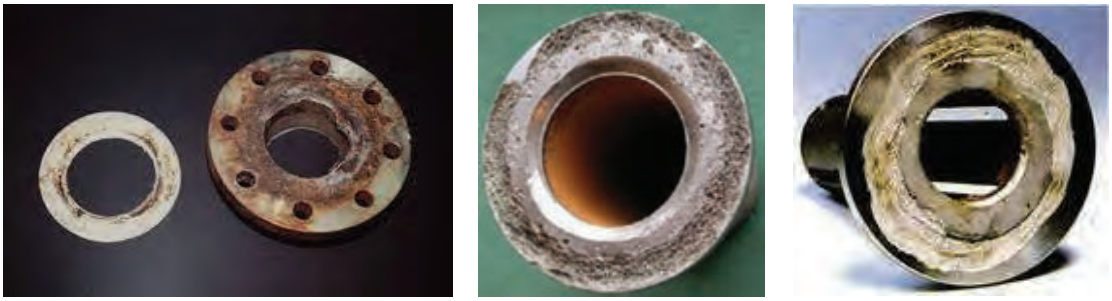
در صنعت فلزات کنار هم قرار دارند، پس خوردگی گالوانیکی داریم. معمولاً در اتصالات خوردگی گالوانیکی به شدت وجود دارد، مانند اتصالات پیچ و مهره، لحیم‌کاری و جوشکاری. معمولاً اولین جایی که در اتصالات خورده می‌شود پیچ و مهره است و برای این کار، مهره از فولاد ساده کربنی است و پیچ را با کرم یا نیکل پوشش می‌دهند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



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

خوردگی شیاری یا شکافی

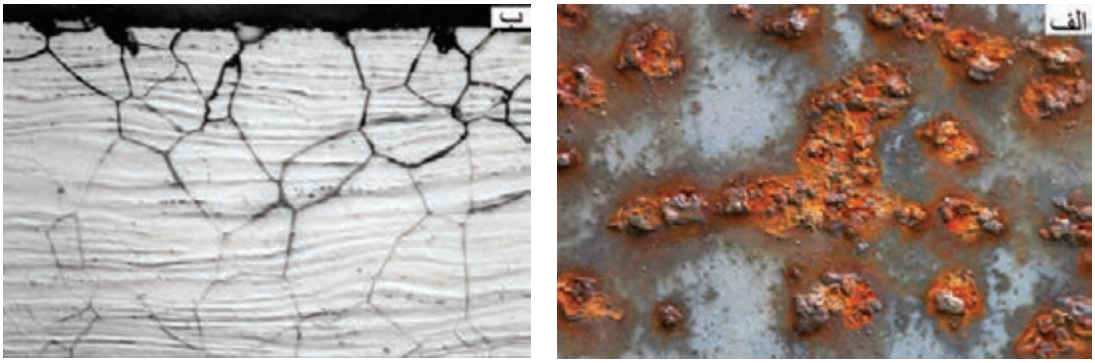
این نوع خوردگی معمولاً در شیارهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی موضعی شدیدی می‌شود و معمولاً همراه با حجم‌های کوچک محلول‌ها یا مایعاتی که در اثر وجود سوراخ، سطوح واشرها، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیارهای زیر پیچ، مهره‌ها و میخ پرچ‌ها ساکن شده‌اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده‌اند، ایجاد می‌شود.
این سازوکار وقتی رخ می‌دهد که یک عامل خورنده در فاصله‌ای باریک، بین دو جزء وجود داشته باشد. با پیشرفت واکنش، غلظت عامل خورنده افزایش می‌یابد. بنابراین واکنش با نرخ فزاینده‌ای پیشروی می‌کند. شکل (۷) نمونه‌هایی از خوردگی شیاری را نشان می‌دهد.



شکل ۷ــ نمونه‌هایی از خوردگی شیاری

خوردگی مرز دانه‌ای

این خوردگی میکروسکوپی است که گاهی خوردگی بین دانه‌ها و گاهی از داخل دانه شروع می‌شود که به ترتیب به آنها خوردگی بین دانه‌ای و درون دانه‌ای می‌گویند. این نوع خوردگی وقتی رخ می‌دهد که مرز دانه‌ها در یک فلز پلی کریستال به‌صورت ترجیحی مورد حمله قرار می‌گیرد. چندین عامل می‌توانند آلیاژی مثل فولاد زنگ نزن آستنیتی را مستعد این نوع خوردگی کنند؛ از جمله حضور ناخالصی‌ها و غنی بودن یا تهی بودن مرزدانه از یکی از عناصر آلیاژی. شکل (۸) خوردگی مرز دانه‌ای را نشان می‌دهد، همان‌طور که در شکل(۸) (ب) زیر میکروسکوپ دیده می‌شود، قطعات از سطح بالایی، دچار خوردگی می‌شوند و به سطوح پایین نمی‌رسد.



شکل ۸ــ (الف) تصویر ماکروسکوپی و (ب) تصویر میکروسکوپی از خوردگی مرزدانه‌ای

خوردگی حفره‌ای

مخرب‌ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی است. این نوع خوردگی تقریباً همیشه به‌وسیلهٔ 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 آنها است 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 به‌وجود می‌آید پس خیلی خطرناک بوده و غیر قابل پیش‌بینی است. در محیط‌های شیمیایی و مرطوب همواره احتمال این نوع خوردگی وجود دارد. خوردگی حفره‌ای سیستم را از کار می‌اندازد و عامل بسیاری از تخریب‌ها است، پس نباید منبع و منشأ حفره را در فلز ایجاد کرد. باید سطح فلز را صیقلی کنیم چرا که وجود حفره، جوانه‌ای برای شروع خوردگی حفره‌ای است. شکل (۹) نمونه‌هایی از خوردگی حفره‌ای را نشان می‌دهد.

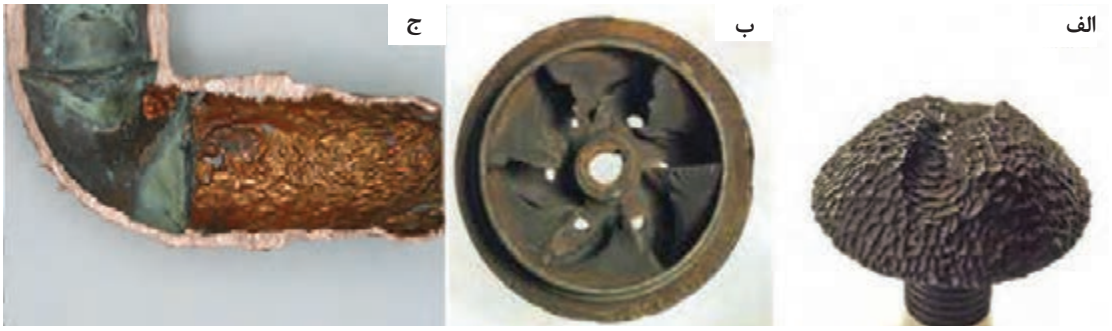


شکل ۹ـ خوردگی حفره‌ای

خوردگی سایشی یا فرسایشی

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 به‌وجود می‌آید. در این فرایند یون‌های فلزی حل شده روی سطح فلز، در اثر حرکت سیال روی سطح باقی نمانده و یا محصولات جامد حاصل از خوردگی از سطح فلز به طریق مکانیکی جدا می‌شوند.

این نوع خوردگی وقتی رخ می‌دهد که محیطی نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیدهٔ مرتبط با این گونه خوردگی، سایش است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به‌وجود 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.

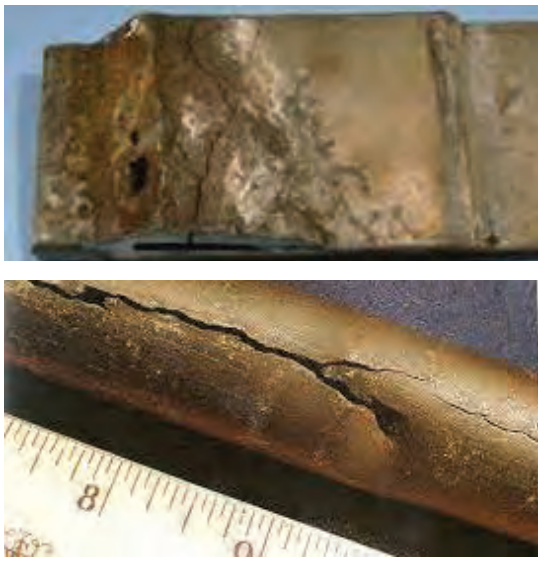


شکل ۱۰ــ (الف) پیچ در محلول خورنده حاوی ذرات ساینده دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ب) پره پمپ به دلیل قرار گرفتن در محلول خورنده حاوی ذرات ماسه دچار خوردگی فرسایشی شده است. (ج) لوله فولادی که در اثر وجود سیال داخل آن دچار خوردگی فرسایشی شده است.

خوردگی 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.

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



شکل ۱۱ــ خوردگی تنشی

خوردگی هیدروژنی

این نوع خوردگی در دمای کمتر از $200^{\circ}C$ 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) تصاویری از خوردگی هیدروژنی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۲ــ 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:
۱ـ طراحی مناسب ۲ـ انتخاب مواد مناسب ۳ـ تغییر شرایط محیط خورنده ۴ـ استفاده از پوشش محافظ.
به‌طور معمول ترکیبی از روش‌های مذکور برای حفاظت از مواد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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

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

۱ـ حذف یا کاهش عوامل خورنده از طریق فیلترکردن مواد مضر و جلوگیری از ورود آنها به محیط مثل فیلتراسیون گازهای خروجی از دودکش واحدهای صنعتی.

۲ـ اضافه کردن مواد شیمیایی به محیط پیرامون سازه فلزی جهت خنثی کردن اثر مواد خورنده است. در این خصوص می‌توان به عملیات بهسازی و تصفیهٔ آب‌های صنعتی مورد استفاده در صنایع مختلف مثل نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها اشاره کرد. به منظور کاهش اثرات خوردگی روی سازه‌های صنعتی، مواد خورنده و مضر موجود در آب قبل از استفاده حذف می‌شوند.

۳ـ با استفاده از حفاظت کاتدی

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

فعالیت کارگاهی ۳

بررسی خوردگی شیاری در فولاد زنگ نزن

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

مراحل انجام آزمایش

۱ ابتدا ورق فولادی زنگ نزن را در ابعاد ۵۰×۲۵ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کنید.
۲ نمونه را سنباده بزنید تا اکسیدها و ناخالصی‌های دیگر از بین بروند.
۳ محلول فریک کلرید را در حجم ۷۵۰ cc آماده کنید. برای آماده‌سازی این محلول مقدار ۱۲۲/۲۵ گرم فریک کلرید را در ۷۵۰ 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.

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



نکته ایمنی

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

نکته زیست محیطی

- 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.

پرسش

- خوردگی شیاری جزءکدام یک از خوردگی‌ها است؟
- برای جلوگیری از خوردگی شیاری چه راه‌حل‌هایی پیشنهاد می‌کنید.

واحد یادگیری ۲: عملیات پوشش‌دهی

پوشش‌ها برای مقاصد گوناگون به‌کار گرفته می‌شوند: برای زیبایی بخشیدن به قطعات تزیینی و صنعتی، جلوگیری از خوردگی و افزایش عمر قطعات در محیط‌های مختلف کاری، بهبود خواص سطحی، هدایت الکتریکی و همچنین از لحاظ خواص بهداشتی. از لحاظ اقتصادی نیز برخی از فلزات مقاوم در برابر محیط‌های خورنده گران قیمت هستند و یا برخی خواص مکانیکی آنها پایین است و نمی‌توان به عنوان جنس قطعه اصلی از آن استفاده کرد بنابراین توسط عملیات پوشش دادن می‌توان یک لایه نازک از آن فلز را بر روی فلزی دیگر که هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ خواص مکانیکی مناسب است استفاده کرد. در بسیاری از موارد کاربرد آلیاژهای گران‌قیمت 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.

استاندارد عملکرد کار

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

پیش‌نیاز

آشنایی با انواع اسیدها و بازها، نحوهٔ 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 خورنده به سطح قطعه یا سازه عمل می‌کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می‌شوند.

فعالیت کلاسی

جدول زیر را کامل کنید.

نوع محصولات	شکل	اهداف پوشش‌دهی	جنس فلز پایه	جنس لایهٔ پوششی	روش پوشش‌دهی
شیر آب					
پیچ و مهره					
قوطی کنسرو					

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

فرایند پوشش‌دهی فلزات به روش‌های مختلف پوشش‌دهی سرد و گرم انجام می‌گیرد که در اینجا چند روش از این فرایندها با یا بدون استفاده از جریان برق آورده شده است. برای انجام فرایند پوشش‌دهی فلزات نیاز است تا مراحل آماده‌سازی سطحی فلزات برای پوشش‌دهی به خوبی انجام شود تا یک پوشش چه به‌صورت سرد و چه به‌صورت گرم با کیفیت عالی بر روی 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 به‌وسیلهٔ اسید کاملاً تمیز کرده و چربی آن‌را برطرف کرد، سپس قطعه را در فلز مذاب (به عنوان مثال روی، سرب و یا قلع مذاب) غوطه ور 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.



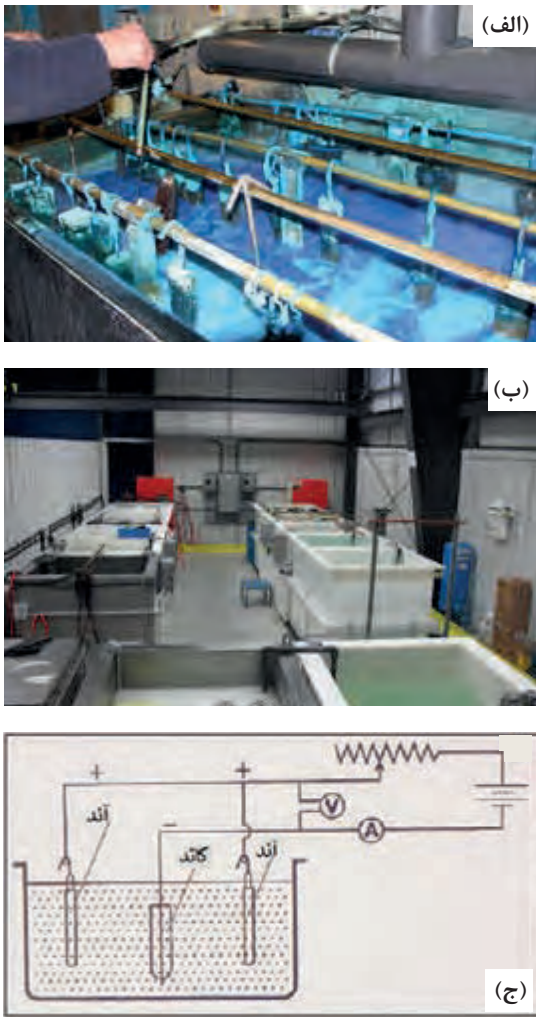


شکل ۱۳ـ پوشش‌دهی فلزات به روش غوطه‌وری داخل روی مذاب.

آبکاری الکترولیتی:

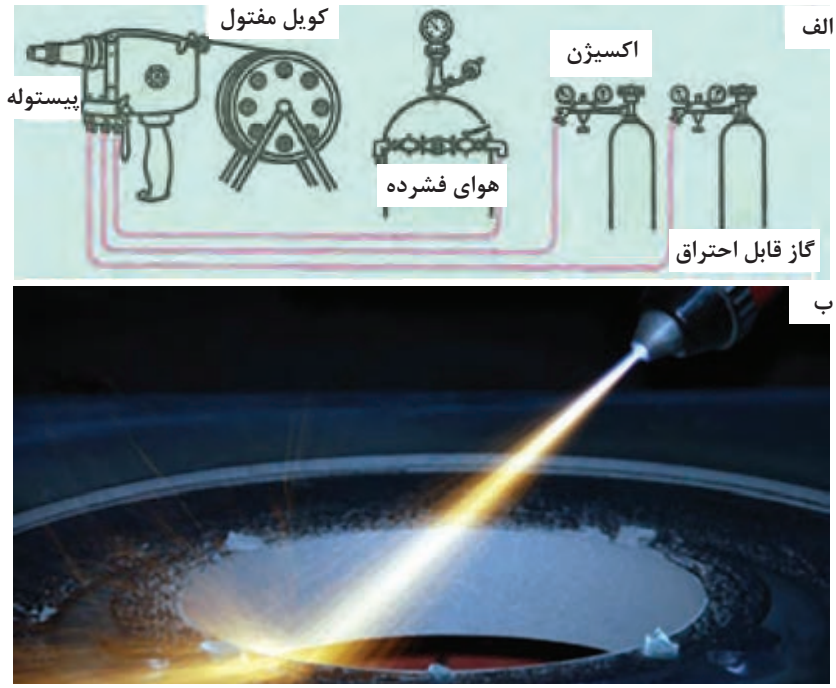
امروزه پوشش‌دهی الکتریکی (آبکاری) تا حدی توسعه یافته است که نه تنها مرحلهٔ نهایی تولید بعضی محصولات است بلکه برای ایجاد پوشش‌های محافظی مثل کادمیم، کروم یا اکسید آلومینیوم روی قطعات به کار می‌رود. پوشش‌دهی الکتریکی می‌تواند با فلزاتی نظیر نیکل، کروم، مس، روی، کادمیم، قلع، نقره، طلا و پلاتین انجام پذیرد.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

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



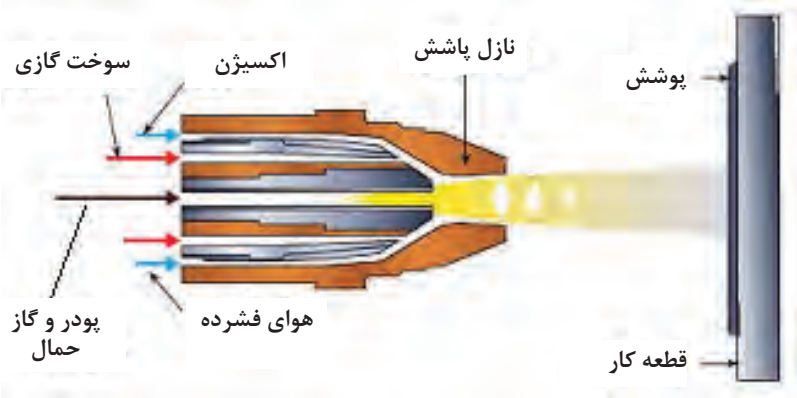
شکل ۱۴ـ (الف و ب) قسمت‌هایی از خطوط آبکاری نیکل در صنعت، (ج) شماتیکی از اجزا و نحوه آبکاری نیکل با جریان برق

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



شکل ۱۵ـ (الف) شماتیکی از اجزای اصلی در پوشش‌دهی به روش پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله
(ب) پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله

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



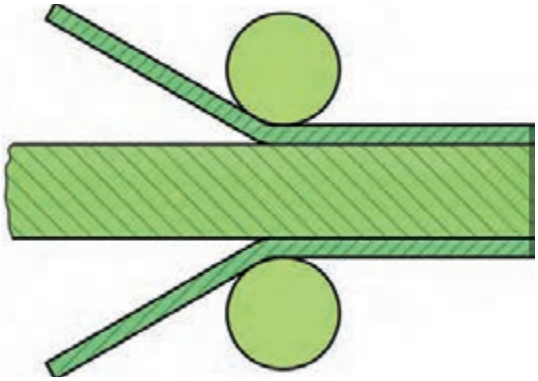
شکل ۱۶ـ نحوهٔ ترکیب شدن مواد در داخل پیستوله

آلیاژ کردن سطحی:

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

روکش فلزی:

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



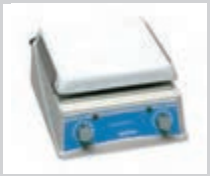
شکل ۱۷ـ پوشش‌دهی به روش روکش فلزی

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

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

تجهیزات مورد استفاده در عملیات پوشش‌دهی

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

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

آماده‌سازی سطح قطعات برای پوشش‌دهی

چگونه می‌توانیم چربی‌های روی سطح فلزات را از بین ببریم؟

مهم‌ترین عامل در 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 آماده‌سازی سطح فلز اصلی بستگی دارد. کیفیت سطحی که آبکاری می‌شود باید بهتر از سطحی باشد که رنگ شده است.جهت آماده‌سازی سطح فلزات برای پوشش‌دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش‌دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارت‌اند از: ۱ـ سنباده‌زنی، ۲ـ چربی زدایی و ۳ـ اکسیدزدایی

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

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

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

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

فعالیت کارگاهی ۴

آماده‌سازی سطح فولاد زنگ زده برای پوشش‌دهی

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

مراحل انجام آزمایش

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

۲ تهیه محلول چربی زدایی (سود ۱۰%): برای تهیهٔ حمام چربی زدایی 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 اندازهٔ ۲۰۰cc 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 گرم کن آزمایشگاهی (هیتر) را روشن کرده و بر روی دمای ۶۰ درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید و بشر را روی آن بگذارید. سپس مگنت را داخل بشر بیندازید و دستگاه را در دور کند آن تنظیم کنید تا محلول را به هم بزند و سود سوزآور به‌صورت 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 درجهٔ سلسیوس قرار دهید.

نکته:

- ابتدا توسط دماسنج دمای محلول را کنترل کنید تا دمای ۶۰ درجهٔ سلسیوس باشد.
- هنگام انجام فرایند نیز دما و زمان توسط دماسنج و زمان سنج کنترل شود.
- در انجام این مرحله می‌توانید مگنت داخل بشر را بیرون بیاورید. این کار را می‌توانید توسط یک قطعهٔ کوچک فولادی انجام دهید که مگنت به آن می‌چسبد و به راحتی بیرون می‌آید.

۵ بعد از چربی زدایی نمونه را دو مرحله آبکشی کنید (داخل آب راکد).

- **نکته:** منظور از دو مرحله آبکشی یعنی تعداد ۲ عدد بشر ۲۵۰cc را با آب مقطر پر کرده و ابتدا در یکی

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

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

نکته:

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

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

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

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

- **نکته:** برای آبکشی در این مرحله از بشرهای آبکشی مرحله چربی زدایی استفاده نکنید و حتماً از بشرهای جداگانه استفاده شود.
- **نکته:** می‌توانید نمونه‌های آماده شده را در یک محیط مناسب نگهداری کنید تا برای فعالیت‌های بعدی که پوشش‌دهی است از آنها استفاده کنید. نمونه‌ها حتماً باید تمیز نگهداری شود. در غیر این صورت باید این مراحل در هنگام پوشش‌دهی از مرحلهٔ اول دوباره بر روی نمونه انجام گیرد.
- **نکته:** به جای خشک‌کن می‌توانید از سشوار نیز استفاده کنید.

نکات ایمنی:

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

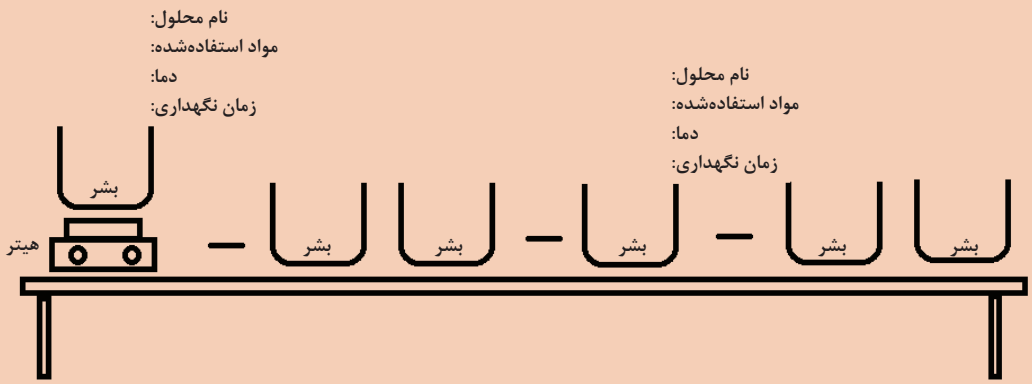
نکته زیست محیطی

- برای دفع مواد پسماند شیمیایی استفاده شده، حتماً آنها را ابتدا خنثی کنید و توسط کاغذ pH سنج یا هر نوع شناساگر دیگر کنترل کنید تا خنثی شده باشند و سپس از سیستم فاضلاب آزمایشگاه آنها را بیرون بریزید.
- بهتر است محلول سودسوزآور تهیه شده را در ظرف مخصوصی نگهداری کنید تا در صورت نیاز دوباره از آن استفاده شود چرا که در فعالیت‌های دیگر این پودمان نیز کاربرد دارد. همچنین با این کار اتلاف مواد کم شده و خطرات زیست‌محیطی آن کاهش می‌یابد.
- هیچ‌گاه مواد آلوده شده و سود ضایعاتی را مستقیماً وارد سیستم فاضلاب یا رودخانه‌ها نکنید. ابتدا آن را خنثی کنید یا با اضافه کردن مقدار زیاد آب به آن، غلظت را کاهش دهید و سپس بیرون بریزید.

پرسش

۱ چه تفاوت‌هایی بر روی سطح نمونهٔ مورد آزمایش مشاهده می‌شود؟

۲ تمامی مراحل آماده‌سازی را در شکل زیر تکمیل کنید.



تحقیق

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.

فعالیت کارگاهی ۵

آماده‌سازی سطح نمونه مسی برای پوشش‌دهی

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

مراحل انجام آزمایش:

۱ ورق مسی را در ابعاد ۵ × ۱۰ سانتی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر برش دهید.

۲ نمونه را تا شماره ۱۲۰۰ سنباده‌زنی کنید.

نکته: اگر سطح نمونه‌ها صاف باشد نیاز به سنباده‌زنی نیست.

۳ مقدار ۲۰۰cc اسید نیتریک را در یک بشر ۲۵۰cc بریزید و به آن ۲cc کلریدریک اسید توسط پیپت اضافه کنید.

۴ نمونهٔ مسی را توسط پنس چوبی گرفته و داخل محلول آماده‌سازی به مدت ۱ دقیقه نگهداری کنید.

۵ دو مرحله آبکشی کنید و سپس با خشک کن خشک کنید.

نکته:

- حتماً بر روی بشر نام محلول‌ها نوشته شود.
- برای نمونه‌های مسی و برنجی هم چربی‌زدایی و هم اکسیدزدایی بعد از پرداخت‌کاری 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 لایهٔ پوششی بالا باشد.
- در هنگام آزمایش استفاده از عینک، ماسک تنفسی، دستکش و روپوش آزمایشگاهی الزامی است.
- آزمایش زیر هود انجام شود.
- محلول خنثی شده را می‌توان در سیستم فاضلاب آزمایشگاه تخلیه کرد.

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

فعالیت کارگاهی ۶

آماده‌سازی سطح آلومینیوم برای پوشش‌دهی

هدف از انجام آزمایش: افزایش کیفیت و چسبندگی لایه پوشش بر روی سطح آلومینیوم

مواد و وسایل مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۶ عدد، سودسوزآور ۱۰%، نیتریک اسید (HNO_3) 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 درجهٔ سلسیوس برسانید و دستگاه را در دور کُند تنظیم کنید تا خوب حل شود.

۴ مقدار ۱۰۰ cc آب مقطر را در داخل بشر ۲۵۰ cc بریزید و ۱۰۰ cc نیتریک اسید را اندک اندک به آن اضافه کنید.

۵ نمونه آلومینیومی مورد آزمایش را توسط پنس چوبی به مدت ۳۰ ثانیه در سود ۱۰% با دمای ۷۰ درجهٔ سلسیوس قرار دهید.

نکته:

● ابتدا توسط دماسنج دمای محلول کنترل شود تا دما ۷۰ درجهٔ سلسیوس باشد.

● حین آزمایش دما و زمان کنترل شود.

۶ دو مرحله آبکشی انجام شود.

۷ نمونه را بعد از آبکشی به مدت ۱ دقیقه در محلول نیتریک اسید ۵۰% در دمای محیط قرار دهید.

۸ دو مرحله آبکشی انجام دهید.

۹ بلافاصله نمونه را توسط خشک‌کن خشک کنید.

گفت‌وگو کنید

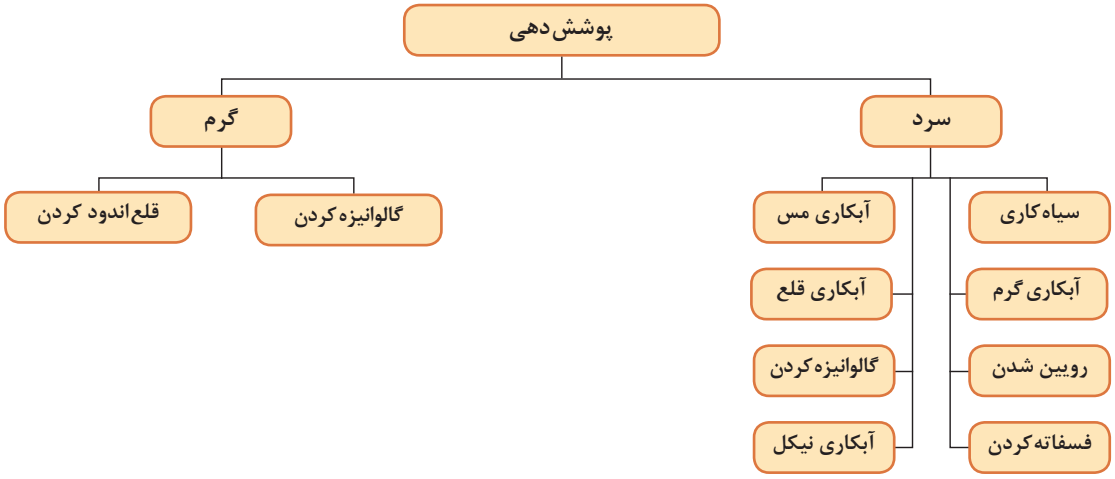
۱ چه تغییراتی بر روی سطح نمونه‌ایجاد شد؟

۲ مهم‌ترین پوششی که بر روی فلز آلومینیوم انجام می‌شود کدام است؟

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

عملیات پوشش‌دهی

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



نمودار ۱ـ انواع پوشش‌دهی

فسفاته‌کردن

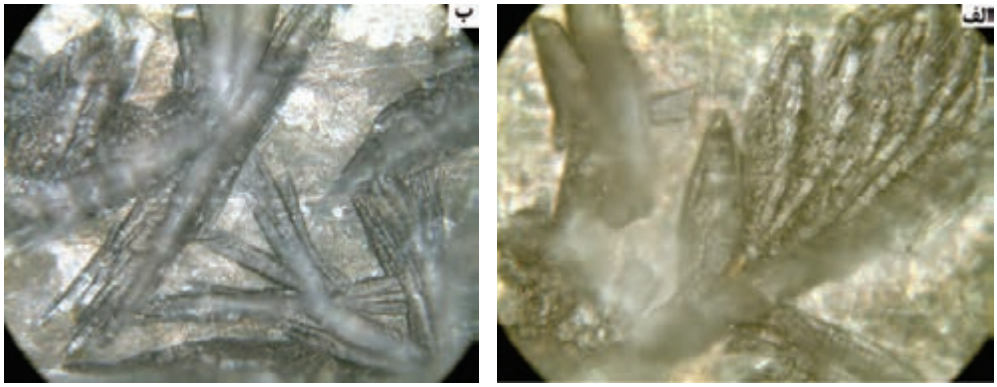
هرساله صدها هزار دستگاه خودرو در کارخانجات مختلف خودروسازی تولید می‌شوند. بدنهٔ کلیه خودروها تحت عملیات رنگ‌کاری قرار می‌گیرند و از آن‌جایی که بدنه اتومبیل تحت سخت‌ترین شرایط جوّی و محیطی قرار دارد دستیابی به پوشش رنگ نهایی که بالاترین مقاومت در برابرخوردگی و تنش‌های مکانیکی را داشته باشد، مطلوب است.

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

فرایند فسفاته‌کردن بیشتر برای زیرکاری و قبل از انجام فرایند رنگ‌کاری 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 می‌شود که در هنگام رنگ کردن، مادهٔ رنگی در داخل این حفرات و شیارها گیر می‌کنند و چسبندگی بهتر صورت می‌گیرد.

پوشش‌دهی فسفاته، عملیاتی بر روی چدن، فولاد، فولاد گالوانیزه شده یا آلومینیوم، در محلول رقیق فسفریک اسید و دیگر ترکیبات است که در آن سطح فلز در محیط فسفریک اسید به‌طور شیمیایی فعال شده است و به لایه‌ای محکم و تقریباً محافظ از کریستال‌های غیرقابل حل فسفات تبدیل می‌شود. فرایند فسفاته کردن از حساسیت بالایی برخوردار است و عوامل مختلفی از قبیل شرایط آماده‌سازی سطح فلز، ترکیبات شیمیایی حمام، pH، دما، زمان فسفاته‌کاری، اندازهٔ 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 به‌صورت شکل (۱۸) دیده می‌شود.



شکل ۱۸ـ (الف) فولاد St۳۷ بعد از یک بار عملیات فسفاته‌کردن در بزرگ‌نمایی ۵۰۰ و (ب) همان نمونه بعد از دوبار عملیات فسفاته‌کردن در بزرگ‌نمایی ۵۰۰.

بیشترین کاربرد پوشش‌های فسفاته به عنوان پوشش زیر رنگ است. علاوه بر آن از پوشش فسفاته 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 پایهٔ چسبندگی ورق‌های پلاستیکی ـ فلزی یا لاستیکی به فلز

سه پوشش عمدهٔ فسفاته در صنعت عبارت‌اند از:

۱ـ روی فسفات: این نوع پوشش فسفاته جهت افزایش مقاومت سایشی, به عنوان ضد زنگ پایهٔ رنگ و روغن، کمک به شکل‌دهی سرد و کشش سیم و تیوب به‌کار می‌رود.

۲ـ آهن فسفات: به عنوان پایهٔ رنگ به‌کار می‌رود. به دلیل چسبندگی خوب این پوشش، رنگ در مقابل پوسته‌ای شدن ضربه‌ای به‌خوبی مقاومت می‌کند. مقاومت خوردگی آهن فسفات از روی فسفات کمتر است.

۳ـ منگنز فسفات: بر روی قطعات آهنی برای جلوگیری از کنده شدن سطحی و قفل شدن قطعات با یکدیگر در هنگام کار اعمال می‌شود.

فعالیت کارگاهی ۷

فسفاته‌کردن فولاد

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

۱ ابتـدا ورق فـولادی را در ابعـاد ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متـر بـه ضخامـت ۲ میلی‌متـر آمـاده کـرده و توسـط سـنباده‌ها از شـماره ۱۰۰ تـا ۱۲۰۰ سـنباده‌کاری کنیـد تا سـطح صـاف و تمیزی از فولاد به دسـت آید.
۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰% انجام دهید.
۳ بعد از چربی زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
۴ بـا اسـتفاده از کلریدریـک اسـید ۳۰% و رعایـت اصول کلی اکسـیدزدایی فولاد، نمونه را اکسـیدزدایی کنید.
۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
۶ برای تهیه حمام فسفاته‌کردن مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
ـ فسفریک اسید $۱۱ cc/lit$
ـ سدیم نیترات $۱ g/lit$
ـ روی اکسید $۵/۶ g/lit$
ـ نیتریک اسید $۲/۵ cc/lit$
مقـدار ۲/۲ سی‌سـی فسـفریک اسـید را توسـط پیپـت بـه داخل یـک بشـر ۲۵۰ cc بریزید سـپس مقدار ۰/۲ گـرم سـدیم نیتـرات را وزن کـرده و بـه آن اضافه کنید و بـه هم بزنید. مقدار ۱/۱۲ گرم روی اکسـید را وزن کـرده و بـه آن اضافـه کنیـد و دوبـاره بـه هم بزنید. همچنین ۰/۵ سی‌سـی نیتریک اسـید توسـط پیپـت بـه آن اضافـه کنیـد. دمـای این حمـام باید ۸۰ـ۷۰ درجهٔ سلسـیوس باشـد. خشـک‌کن را در این دمـا تنظیـم کـرده و بشـر حمـام فسـفاته‌کردن را بـر روی آن قرار دهید و توسـط دماسـنج، دمـای آن را کنتـرل کنیـد. بعـد از رسـیدن بـه دمای مـورد نظر ورق فـولادی آماده شـده را در داخل آن توسـط پنس چوبـی به مـدت زمـان ۱۰ دقیقه قـرار دهید.
۷ دو مرحله آبکشی شود.
۸ توسط پنس چوبی نمونه را بردارید و بلافاصله با استفاده از خشک‌کن خشک کنید.

نکته

- بـه هیـچ عنـوان آب را بـه اسـید اضافـه نکنید چـرا که امکان پاشـش اسـید در این صورت وجـود دارد و بـه جـای آن اسـید را بـه آب اضافه کنید.
- ترکیـب اصلـی محلول‌هـا بـرای یـک لیتر اسـت که در ایـن آزمایـش ۲۵۰ cc محلـول مورد نیاز اسـت. مقادیـر اسـتفاده شـده از هـر ماده بـه مقدار ترکیب اصلی آن نسـبت بـه حجم مورد نظر انتخاب می‌شـود.
- در تمامـی مراحـل می‌توانیـد از آب معمولـی نیـز بـه جـای آب مقطـر اسـتفاده کنیـد ولـی جهـت بالا بـردن کیفیـت پوشـش انجـام گرفته بهتر اسـت از آب مقطر اسـتفاده شـود. اگـر از آب معمولی اسـتفاده شـود لکه‌هـای سـفید رنگـی بـر روی پوشـش می‌تواند رسـوب کند.
- فراینـد فسـفاته‌کردن تـا ارتفاعـی از نمونـه کـه در داخـل حمـام قـرار دارد انجـام می‌گیـرد و در صورت نیـاز به‌اینکـه تمـام قطعـه داخـل حمام قرار گیـرد، باید در بـالای آن سـوراخ کوچکی با متـهٔ ۳ میلی‌متری ایجـاد کـرد و توسـط سـیم تمامـی آن را در داخـل حمام وارد کـرد. برای مشـاهدهٔ تفاوت ایجاد شـده بهتر اسـت مقداری از آن داخل حمام باشـد تا تفاوت ایجاد شـده قبل از انجام کار و بعد از آن مشـخص باشـد.

نکته ایمنی

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

نکته زیست محیطی

- توجه داشته باشید که فسفریک اسید آلوده‌کنندهٔ محیط‌زیست است. در اندازهٔ مناسب استفاده شود و قبل ازدفع، حتماً خنثی گردد و سپس از طریق سیستم فاضلاب، دفع شود.
- می‌توان فسفریک اسید را ابتدا با مواد بازی مانند سودسوزآور خنثی کنید، سپس با موادی مانند شن، ماسه یا خاک آن را جمع‌آوری کنید و آن را در ظرف مخصوص زباله‌های شیمیایی بریزید.
- از مواد آتش‌گیر مانند خاک اره برای جمع‌آوری اسید هرگز استفاده نکنید.
- برای دفع زباله‌های آلوده به اسید، می‌توان آن را در خاک دفن کرد تا فسفات به عنوان کود در زمین جذب شود.

پرسش

۱ بعد از انجام فرایند فسفاته‌کردن چه تفاوتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌کنید؟ نتایج به‌دست آمده را مورد بررسی قرار دهید.
۲ این فرایند تا چه اندازه‌ای عمر لایهٔ رنگ‌کاری را افزایش می‌دهد؟
۳ توسط میکروسکوپ نوری در بزرگنمایی‌های مختلف سطح نمونه را مشاهده کرده و در یک دایره رسم کنید و تفاوت ایجاد شده را قبل و بعد از فسفاته‌کردن بنویسید.
۴ چند نوع فرایند فسفاته‌کردن وجود دارد؟ تفاوت آنها در چیست؟
پاسخ پرسش‌ها را به همراه نتایج فعالیت در گزارش کار به هنرآموز تحویل دهید.

سیاه‌کاری

سیاه‌کاری به فرایند ایجاد یک لایهٔ اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی است که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نام‌گذاری آن به فرایند سیاه‌کاری شده‌است.
هدف از ایجاد این لایه بر سطح قطعات، به دلیل مقاومت بالای پوشش به خوردگی اتمسفری خصوصاً در محیط‌های مرطوب است و بیشتر در مقاصد انبارداری قطعات و ورق‌های فولادی، کاربرد دارد. هرچند در ابتدا، مهم‌ترین جنبهٔ استفاده از این پوشش‌ها در صنایع نظامی و جهت پوشش بدنه اسلحه‌ها، بوده است.
در شکل (۱۹) نمونه‌هایی از قطعات صنعتی که تحت عملیات سیاه‌کاری قرار گرفته‌اند را مشاهده کنید.



شکل ۱۹ـ تصاویری از قطعات سیاه‌کاری شده

روش‌های مختلفی به منظور ایجاد این لایه بر سطح قطعات فولادی وجود دارند که هم به‌صورت گرم و هم به‌صورت سرد انجام می‌گیرد ولی در حالت کلی روش معمول، استفاده از فرایند غوطه‌وری در حمام قلیایی گرم، شامل ترکیبات سدیم نیترات، سدیم نیتریت، سودسوزآور و مواد افزودنی دیگر است. در شکل (۲۰) قسمتی از خط عملیات سیاه‌کاری را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۰ـ عملیات سیاه‌کاری

مزایای سیاه‌کاری

- **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 است، پوشش سیاه و لایهٔ روانکار مانع چسبندگی سطوح شده و هنگام تماس قطعات در اثر سایش فدا شده و سطح قطعه را سالم نگه می‌دارند.
- **روانکاری:** عملیات نهایی پایه روغن که بعد از فرایند سیاه‌کاری مرسوم می‌باشد، علاوه بر حفاظت سطح در برابر خوردگی، حرکت سطوح در تماس با یکدیگر را راحت‌تر 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 کرد.
- **رسانایی:** سیاه‌کاری، پوششی مناسب برای قطعات الکتریکی است، زیرا فقط در حدود ۱% رسانایی قطعه بعد از اعمال این پوشش کاهش می‌یابد.

فعالیت کارگاهی ۸

سیاه‌کاری فولاد

مـواد و تجهیـزات مورد نیـاز: خشک‌کن آزمایشـگاهی مگنـت‌دار، مگنـت هـم‌زن، دماسـنج، پیپت، پمـپ مکنـده یـا پیپـت پـر کـن، اسـپاتول، پنـس چوبـی، دسـتکش، ماسـک، خشـک‌کن، زمـان سـنج، تـرازوی آزمایشـگاهی، میکروسـکوپ نـوری، ورق فـولادی، اره، سـنباده بـه شـماره ۱۰۰تـا ۱۲۰۰، بشـر ۲۵۰cc بـه تعـداد ۹ عـدد، حمـام چربی‌زدایـی (سودسـوزآور ۱۰%)، حمـام اکسـیدزدایی (کلریدریـک اسـید ۳۰ %)، حمـام سـیاه‌کاری

۱ ابتـدا ورق فـولادی را در ابعـاد ۵ ×۱۰ سـانتی‌متر بـه ضخامـت ۲ میلی‌متـر آمـاده کـرده و توسـط سـنباده‌های ۱۰۰ تـا ۱۲۰۰ سـنباده‌کاری کنیـد تـا سـطح صـاف و تمیـزی از فـولاد به‌دسـت آیـد.
۲ چربی زدایی را طبق اصول چربی زدایی توسط سودسوزآور ۱۰% انجام دهید.
۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
۴ بـا اسـتفاده از کلریدریـک اسـید ۳۰% و رعایـت اصول کلی اکسـیدزدایی فولاد، نمونه را اکسـیدزدایی کنید.
۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
۶ برای تهیهٔ حمام سیاه‌کاری مواد شیمیایی زیر مورد نیاز است:
ـ سود سوزآور ۶۰۰ g/lit
ـ سدیم نیترات ۳۰ g/lit
ـ سدیم نیتریت ۲۰ g/lit
مقـدار ۱۲۰ گـرم سودسـوزآور را داخـل ۵۰cc آب مقطـر در یـک بشـر ۲۵۰cc حل کنید سـپس ۶ گرم سـدیم نیتـرات را وزن کـرده و بـه آن اضافـه کنید و به هـم بزنید. همچنیـن مقدار ۴ گرم سـدیم نیتریت را بـه آن اضافـه کنیـد و دوبـاره بـه هـم بزنید. گرم‌کـن آزمایشـگاهی مگنـت‌دار را در دمـای ۱۲۰ درجهٔ سلسـیوس تنظیـم کنیـد و بشـر حاوی محلول را بـر روی آن بگذارید و دماسـنج را داخل بشـر قرار دهید و دمـای آن را کنتـرل کنیـد تـا به دمای مورد نظر برسـد. مگنت هـم‌زن را داخل بشـر بیندازید و گرم‌کن آزمایشـگاهی را در دور کنـد تنظیـم کنیـد تا محلـول را هم بزند.
۷ بعـد از اینکـه محلـول بـه دمـای مـورد نظر رسـید، ورق فـولادی را به مـدت ۲۰ دقیقه داخـل محلول قـرار دهید.
۸ ورق فولادی را توسط پنس چوبی بیرون آورده و در دو مرحله آبکشی کنید.
۹ بلافاصله بعد از آبکشی نمونه را با استفاده از خشک‌کن خشک کنید.

نکته

● بـه هیـچ عنـوان آب را بـه اسـید اضافـه نکنید چـرا که امکان پاشـش اسـید در این صورت وجـود دارد و بـه جـای آن اسـید را بـه آب اضافه کنید.

نکته ایمنی

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

نکته زیست محیطی

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

پرسش

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

بحث گروهی

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

مس اندود کردن فولاد

به علت اینکه بعضی از فلزات بر روی فولادها چسبندگی بالایی ندارند و هنگام پوشش‌دهی کیفیت و عمر لایهٔ پوششی در برخی از فلزات پایین است، ابتدا یک لایهٔ 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 نحوهٔ مس اندود کردن فولاد و آماده‌سازی سطح آن برای پوشش‌دهی قلع گفته شده است و فرایند آبکاری مس نیز به‌طور کامل در بخش‌های بعدی آورده شده است.

فعالیت کارگاهی ۹

مس اندود کردن فولاد

مواد و تجهیزات مورد نیاز: گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰ cc به تعداد ۹ عدد، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰%)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰%)، حمام مس اندود کردن (مس سولفات، سولفوریک اسید)

۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به‌دست آید.
۲ چربی‌زدایی را طبق اصول چربی‌زدایی توسط سودسوزآور ۱۰% انجام دهید.
۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.
۴ با استفاده از کلریدریک اسید ۳۰% و رعایت اصول کلی اکسیدزدایی فولاد، نمونه را اکسیدزدایی کنید.
۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.
۶ حمام مس اندود را تهیه کنید. برای تهیه حمام مواد زیر مورد نیاز است که طبق مراحل زیر اقدام کنید:

- مس سولفات ۱۵ g/lit
- سولفوریک اسید ۱۰ cc/lit

محلول را در اندازهٔ ۲۰۰ cc آماده کنید. برای انجام این کار ابتدا مقدار ۳ گرم مس سولفات را در ۱۰۰ cc آب مقطر خوب به هم بزنید. سپس ۲cc سولفوریک اسید به آن اضافه کنید و خوب به هم بزنید. آب مقطر را تا اندازه‌ای به آن اضافه کنید که به حجم ۲۰۰ cc برسد.
۷ نمونه را به مدت ۱۰ ثانیه توسط پنس چوبی داخل حمام وارد کنید.
۸ دو مرحله آبکشی کنید و بلافاصله با خشک‌کن خشک کنید.
نمونه را برای انجام فعالیت‌های بعدی نگه دارید.

نکته

دمای انجام فرایند دمای محیط می‌باشد.

نکته ایمنی

رعایت تمامی نکات ایمنی فعالیت‌های قبل الزامی است.

نکته زیست محیطی

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

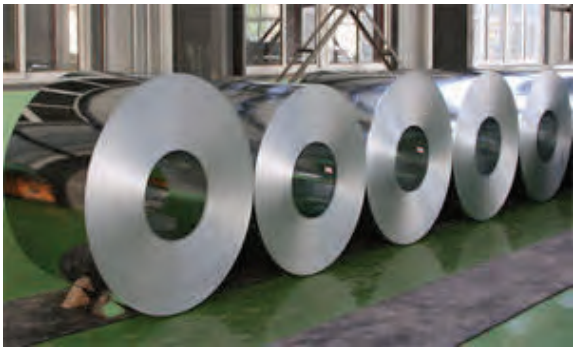
پرسش

چه تغییراتی بر روی سطح نمونه مشاهده می‌کنید.

پوشش‌دهی قلع

قلع‌انـدود کـردن فراینـدی اسـت کـه بر روی فـولاد یا آهـن کارشـده لایـهٔ نازکـی از قلـع پوشـیده می‌شـود، محصـول نهایـی به‌دسـت آمـده از ایـن فراینـد ورق قلع‌انـدود اسـت. ایـن ورق اغلـب بـرای جلوگیـری از زنـگ زدگـی اسـتفاده می‌شـود.

قلع از فلزاتی اسـت که ذاتاً به راحتی اکسـید می‌شـود و از طریـق ایجـاد اکسـید در مقابـل اتمسـفر مقـاوم می‌شـود و در محیط‌های بسـیار خورنده مثل اسـیدها و نمک‌هـا، بـه خوبـی پایـداری می‌کنـد. بـه همیـن دلیـل در مـوارد حسـاس کـه خورندگـی قابـل کنترل اسـت از قطعـات قلـع یـا پوشـش‌های قلـع اسـتفاده می‌شـود. پوشـش‌های قلـع را به روش‌هـای غوطه‌وری در مـذاب، آبـکاری، پاششـی و جابه‌جایـی شـیمیایی تهیـه می‌کننـد. هر سـاله میلیون‌ها تـن ورقه‌های قلع انـدود یـا حلبـی تولید می‌شـود کـه اغلب در سـاخت ظـروف مـواد غذایـی بـه کار می‌روند. غیر سـمی بودن ترکیبـات قلـع سـبب اسـتفاده از آنهـا در ظـروف مواد غذایـی شـده اسـت و اولیـن و گسـترده‌ترین کاربـرد ورق‌هـای قلع‌انـدود تولیـد قوطی‌های کنسـرو اسـت. چـون آهـن فلـزی فعال‌تـر از قلـع اسـت و پتانسـیل احیـای قلـع بیشـتر از آهن اسـت و به عنـوان کاتد در حلبـی بـه کار مـی‌رود و آهن آنـد می‌شـود. به همین دلیـل در صورتی‌کـه پوشـش قلـع بشـکند، خوردگـی آهـن در زیـر ایـن پوشـش پیش مـی‌رود در غیـر این صـورت قلـع فلـزی مقـاوم در برابـر خوردگـی اسـت. شـکل (۲۱) ورق قلع اندود شـده را نشـان می‌دهد که قلـع به عنـوان زیرلایه بـوده و بعد از آن پوشـش کروم داده شـده اسـت تا قلع چسـبندگی آن را افزایش دهد.



شکل ۲۱ــ ورق قلع اندود شده با پوشش کروم

ورق قلـع انـدود دارای کاربردهـای زیـادی اسـت و غالبـاً در صنایـع بسـته‌بندی مـواد غذایـی، شـیمیایی، دارویـی، رنگ‌هـا و بـا درصـد اندکـی نیـز در سـاخت سـایر مصنوعات از قبیـل فیلتر روغـن، گازوئیـل، هوا و آب بـرای کامیـون، اتوبـوس، تراکتـور و ماشـین‌آلات سـنگین، اتومبیل‌هـای سـواری، صنایـع اسـباب‌بازی و باتری‌سـازی بـه کار مـی‌رود.

فعالیت کارگاهی ۱۰

پوشش‌دهی قلع بر روی فولاد بدون استفاده از جریان برق

نکته

به دلیل خطرات احتمالی این فعالیت تنها توسط هنرآموز در حضور هنرجویان انجام شود.

آبکاری نیکل

نیکل اولین فلزی است که در صنعت از طریق آبکاری به عنوان پوشش به کار گرفته شده است. نیکل فلزی است سفید رنگ که رنگ پوشش آن نقره‌ای روشن و متمایل به زرد است. برای اینکه از زرد یا کدر شدن نیکل در فضای آزاد جلوگیری شود از سال ۱۹۲۵ بر روی پوشش‌های نیکل لایهٔ نازکی از کروم به‌صورت الکترولیتی پوشش داده می‌شود که این روش بعدها به پوشش‌های چند لایهٔ نیکل منجر گشت.

آبکاری نیکل برای کاربردهای تزیینی، با افزودن مواد مناسب به محلول آبکاری پوشش هموار و براق رسوب می‌کند. با اعمال پوشش نهایی کروم، طلا یا نقره سطح قطعات بسیار جذاب و بادوام می‌شود. در آبکاری صنعتی نیکل، براقی ظاهری پوشش مورد نظر نیست. در این موارد پوشش‌های نیکل معمولاً فاقد گوگرد بوده و ظاهری کدر دارند. این پوشش‌ها برای بالا بردن مقاومت به خوردگی و مقاومت در برابر سایش، بازسازی قطعات ساییده شده، تغییر خواص مغناطیسی و آماده‌سازی برای لعاب‌کاری به‌کار می‌رود که این موارد عمدتاً در صنایع الکتریکی، رایانه، مخابرات و شیمی به کار می‌رود.

فعالیت کارگاهی ۱۱

پوشش‌دهی نیکل بر روی فولاد

مواد و تجهیزات مورد نیاز: منبع جریان DC یا رکتی‌فایر (تراکم جریان ۳ـ۰/۵ آمپر بر دسی‌متر مربع)، ۲عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پرکن، اسپاتول، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، ورق فولادی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰cc به تعداد ۹ عدد، ورق نیکل یا در صورت نبودن ورق سرب (به عنوان آند)، حمام چربی زدایی (سودسوزآور ۱۰%)، حمام اکسیدزدایی (کلریدریک اسید ۳۰%)، حمام نیکل (نیکل سولفات، نیکل کلرید، بوریک اسید)

مراحل انجام آزمایش

۱ ابتدا ورق فولادی را در ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر آماده کرده و توسط سنباده‌های ۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سنباده‌کاری کنید تا سطح صاف و تمیزی از فولاد به‌دست آید.

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

۳ بعد از چربی‌زدایی نمونه را در دو مرحله آبکشی کنید.

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

۵ دو مرحله آبکشی انجام دهید.

۶ حمام پوشش‌دهی نیکل را تهیه کنید. برای تهیهٔ این حمام مواد زیر مورد نیاز بوده و طبق اصول آورده شده آن را انجام دهید.

- نیکل سولفات ۳۱۰ g/lit
- نیکل کلرید ۵۰ g/lit
- بوریک اسید ۴۰ g/lit

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

سپس بر روی هیتر بگذارید و در دمای ۴۰ الی ۷۰ درجهٔ سلسیوس تنظیم کنید و همزن آن را روی دور کند بگذارید تا کاملاً حل شود.

۷ رکتی فایر (یکسوکننده) را روشن کنید و ولتاژ آن را در $۳\ V/dm^۲$ تنظیم کنید. توجه داشته باشید که در این آزمایش ولتاژ مهم است و نیازی نیست جریان در مقدار مشخصی باشد. جریان خود نسبت به ولتاژ تنظیم خواهد شد.

۸ نمونهٔ فولادی را توسط سیم به قطب منفی منبع تغذیه و نیکل یا سرب را به قطب مثبت آن وصل کنید و هردو را در داخل حمام نیکل قرار دهید.

۹ بعد از ۲۰ دقیقه نمونه را بردارید.

۱۰ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله با خشک‌کن آن را خشک کنید.

نکته

در این فعالیت فقط یک طرف نمونه فولادی تحت پوشش قرار می‌گیرد و اگر بخواهیم دو طرف آن نیز پوشش‌دهی شود باید نمونه فولادی در وسط دو تا آند قرار گیرد.

نکته ایمنی

- رعایت تمامی نکات ایمنی حفاظتی فعالیت‌های قبل الزامی است.
- محل اتصال دستگاه به پریز برق را با دست مرطوب نگیرید.

نکته زیست محیطی

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

پرسش

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

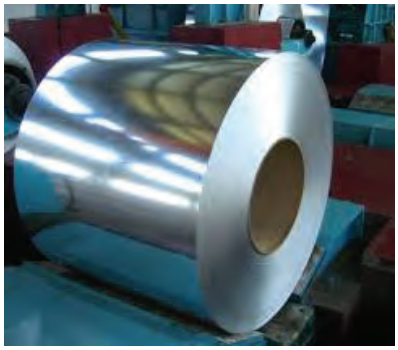
۲ آیا فاصله آند و کاتد بر روی کیفیت پوشش تأثیرگذار است؟ چطور می‌توان بهترین فاصله را برای آن پیدا کرد؟

۳ مراحل انجام فعالیت پوشش‌دهی نیکل را به‌طور کامل بنویسید.

۴ نمونه‌های خود را بعد از اینکه پوشش دادید به‌صورت عرضی ببرید و مانت کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایهٔ پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید.

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

گالوانیزهٔ سرد



شکل ۲۲ـ ورق آهن گالوانیزه

آهن گالوانیزه آهنی است که با فلز روی پوشانده شده است. این آهن، حتی اگر پوشش آن هم شکستگی پیدا کند، از زنگ‌زدن محفوظ می‌ماند. به این دلیل که بین آهن و روی، پیل الکتروشیمیایی تشکیل می‌شود که در آن روی به جای آهن به عنوان آند و آهن به عنوان کاتد به‌کار می‌رود. روی چون فلزی پست‌تر یا فعال‌تر از آهن است و دارای پتانسیل احیا کمتری از آهن است و پتانسیل اکسید بیشتری از آن دارد، در آند اکسید می‌شود. شکل (۲۲) ورق آهن گالوانیزه را نشان می‌دهد.

از کاربردهای آهن گالوانیزه در ساختن لوازمی مانند لولهٔ بخاری، کانال کولر، کابینت آشپزخانه، شیروانی منازل، لوله‌های آب و هر جا که احتمال خوردگی آهن و خسارت وجود دارد، استفاده می‌شود. همچنین مواردی نظیر:

۱ دکل‌ها و خطوط انتقال نیرو
۲ پل‌ها، سوله‌ها و مخازن
۳ سازه‌های فلزی.
۴ پروژه‌های ساخت و تجهیز نیروگاهی، صنایع نفت، گاز و پتروشیمی.
۵ گلخانه‌ها
۶ شناورهای دریایی
۷ شاسی خودروهای سبک و سنگین

به غیر از محیط‌های دریایی که کادمیوم مناسب تر است، زمانی‌که لایهٔ نازکی از روی بر فولاد رسوب داده شود نسبت به نیکل و سایر پوشش‌های کاتدی هم ضخامت، در برابر خوردگی محافظت بهتری ارائه می‌دهد. عنصر روی ارزان‌تر است اما دوام پوشش آن در مقایسه با نیکل و کروم کمتر است اما از نظر محافظت در برابر خوردگی در مقایسه با آنها کارایی بیشتری دارد.

فعالیت کارگاهی ۱۲

گالوانیزه سرد

مواد و تجهیزات مورد نیاز: منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳ـ ۰/۵ آمپر بر دسی‌متر مربع)، ۲ عدد سیم رابط یکسر گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت دار، مگنت هم زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق فولادی، اره، سنباده به شمارهٔ ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰cc چند عدد، سودسوزآور ۱۰% (چربی زدایی)، کلریدریک اسید ۳۰% (اکسیدزدایی)، روی سولفات، آمونیم کلرید یا سدیم کلرید، آلومینیوم کلرید، بوریک اسید.

۱ ورق فولادی در اندازه ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده زنی انجام دهید.
۲ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، نمونه را در سود سوزآور ۱۰% چربی‌زدایی کنید.

۳ طبق اصول آماده‌سازی نمونه‌های فولادی، اکسید زدایی در کلریدریک اسید ۳۰% انجام دهید.
۴ محلول گالوانیزه سرد را تهیه کنید. مواد و مراحل تهیهٔ محلول به‌صورت زیر است:
■ **روی سولفات:** ابتدا ۶۰ گرم روی سولفات را با استفاده از اسپاتول و ترازو بکشید و در مقدار کمی آب مقطر در داخل بشر هم بزنید.
■ **آمونیم کلرید یا سدیم‌کلرید:** مقدار ۳ گرم آمونیم کلرید و یا در صورت نبودن آن ۳ گرم سدیم کلرید (نمک طعام) به آن اضافه کنید و هم بزنید.
■ **آلومینیوم کلرید:** سپس ۶ گرم آلومینیوم کلرید به آن اضافه کنید.
■ **بوریک اسید:** ۳ گرم بوریک اسید نیز به آن اضافه کنید.
● **نکته:** تمامی مواد را توسط اسپاتول تمیز و با استفاده از دستکش بردارید.
● **نکته:** دمای مورد نیاز برای انجام فرایند گالوانیزه سرد دمای محیط است که باید توسط دماسنج کنترل شود.
● **نکته:** برای هم زدن محلول می‌توانید گرم‌کن را خاموش کرده و فقط همزن آن را در دور کُند تنظیم کنید و بشر را بر روی آن بگذارید تا خوب حل شود.
● **نکته:** pH محلول حدود ۳٫۸ تا ۴٫۶ است که توسط دستگاه pH سنج کنترل می‌شود.
سپس به محلول آماده شده آب مقطر اضافه کنید تا به اندازهٔ ۲۰۰cc برسد.
۵ منبع جریان DC (رکتی فایر) را روشن کنید و آمپر آن را در ۱٫۰۵ آمپر تنظیم کنید.
● **نکته:** برای پیدا کردن شدت جریان مورد استفاده در فرایند، باید مساحت پوشش را در تراکم جریان مورداستفاده ضرب کرد تا مقدار شدت جریان به‌دست آید. تراکم جریان بسته به میزان کیفیت سطح موردنظر از ۰٫۵ تا ۳ آمپر بر دسی‌متر مربع متغیر است که در این فعالیت انتخاب به‌صورت تجربی مقدار ۱٫۵ آمپر بر دسی‌متر 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 خشک‌کن 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 به‌صورت عرضی ببرید و مانت کنید و سپس آنها را خوب سنباده زده و زیر میکروسکوپ لایهٔ پوشش داده شده را اندازه‌گیری کنید و گزارش کار را تحویل هنرآموز خود دهید.

آندایزینگ آلومینیوم

به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل یک لایهٔ نازک اکسیدی بر روی قطعات آلومینیومی شده و باعث افزایش سختی، مقاومت در برابر خوردگی، ایجاد نمای تزیینی و تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی می‌گردد آندایزینگ اطلاق می‌شود. در این روش لایهٔ متخلخل و سختی از آلومینیوم اکسید بر سطح فلز ایجاد می‌شود. مکانیزم کلی عمل به‌این صورت است که جریان مستقیم برق از مایع الکترولیت مناسبی می‌گذرد که در آن آلومینیوم آند بوده و فلز مناسب دیگری مثل سرب به عنوان کاتد است. در این صورت بر سطح آلومینیوم یک لایهٔ نازک از اکسید ایجاد می‌شود که ضخامت آن به عوامل گوناگونی بستگی دارد.

آلومینیوم در شرایط معمولی نیز اکسید می‌شود به طوری که در مجاورت هوا به‌طور معمول لایه‌ای از اکسید به ضخامت یک سوم میکرون و به‌صورت غیرمتخلخل بر روی سطح قطعات آلومینیومی تشکیل می‌گردد که وظیفهٔ حفاظت از سطح فلز را بر عهده دارد اما برتری و مزیت اکسید ایجاد شده در روش آندایزینگ نسبت به شرایط طبیعی مقاومت در برابر خوردگی است.

از مزایای آندایز کردن آلومینیوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:
- افزایش مقاومت فلز به خوردگی؛
- افزایش خاصیت عایق بودن نسبت به الکتریسیته؛
- بهبود چسبندگی رنگ بر سطح فلز؛
- افزایش مقاومت سایشی ماده؛
- افزایش روانکاری سطح فلز؛
- بهبود ظاهری و براق شدن سطح و در نتیجه امکان‌پذیر شدن انجام رنگ کاری‌های مختلف.

مراحل آندایزینگ آلومینیوم
- پرداخت کاری مکانیکی؛
- اتصال قطعه به قلاب؛
- تمیزکاری قلیایی؛
- شست‌وشو با آب؛
- غوطه‌وری در نیتریک اسید ۵۰% حجمی؛
- شست‌وشو با آب؛

عملیات آندایزینگ در شرایط سولفوریک اسید با غلظت ۱۵% وزنی و دانسیته جریان ۱ـ۲/۵ آمپر بر دسی متر مربع و دمای ۱۸ تا ۲۵ درجهٔ سلسیوس و فلز سرب به عنوان کاتد در زمان ۲۰ـ۴۰ دقیقه است.

فعالیت کارگاهی ۱۳

آندایزینگ آلومینیوم
مواد و وسایل مورد نیاز: منبع جریان DC یا رکتیفایر (تراکم جریان ۳ـ۰/۵ آمپر بر دسی‌متر مربع)، ۲عدد سیم رابط یکسر، گیره، گرم‌کن آزمایشگاهی مگنت‌دار، مگنت هم‌زن، دماسنج، پیپت، پمپ مکنده یا پیپت پر کن، پنس چوبی، دستکش، ماسک، خشک‌کن، زمان سنج، ترازوی آزمایشگاهی، اسپاتول، ورق آلومینیومی، اره، سنباده به شماره ۱۰۰ تا ۱۲۰۰، بشر ۲۵۰cc به تعداد ۹ عدد، سودسوزآور ۱۰%، نیتریک اسید ۵۰%، حمام آندایزینگ (سولفوریک اسید)

مراحل انجام آزمایش
۱ ورق آلومینیومی در اندازهٔ ۵ × ۱۰ سانتی متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.

طبـق اصـول آماده‌سـازی نمونه‌های آلومینیومی، نمونه را در سـود سـوزآور ۱۰% و نیتریک اسـید ۵۰% چربی‌زدایی و اکسـیدزدایی کنید.

۲ حمام آندایزینگ که سولفوریک اسید ۹۰ cc/lit است را به‌صورت زیر تهیه کنید:

۳ حمـام را بـه مقـدار ۲۰۰ cc آمـاده می‌کنیـم. ابتـدا ۱۸cc سـولفوریک اسـید را در ۱۰۰ cc آب مقطر بریزیـد و بـه هـم بزنیـد. سـپس بـه انـدازه مـورد نظـر (۸۲cc) آب مقطر بـه آن اضافـه کنید تـا به حجم ۲۰۰ cc برسد.

۴ منبع جریان DC (رکتیفایر) را روشن کرده و ولتاژ آن را در حدود ۱۵ V/dm^2 تنظیم کنید.

۵ ورق آلومینیومـی را بـه قطـب مثبـت (آنـد) و سـرب را بـه قطـب منفی (کاتد) توسـط سـیم‌های رابط وصـل کنیـد و در داخـل حمـام آندایزینگ قـرار دهید.

۶ نمونه را به مدت ۲۰ دقیقه در داخل حمام و در دمای محیط قرار دهید.

● **نکتـه:** دمـای حمـام باید کنترل شـود تا از ۲۵ درجهٔ سلسـیوس بیشـتر نشـود زیرا عملیـات آندایزینگ متوقف می‌شـود.

۷ دو مرحله آبکشی انجام دهید و بلافاصله نمونه را خشک کنید.

پرسش

چه تغییراتی در سطح نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

تحقیق کنید

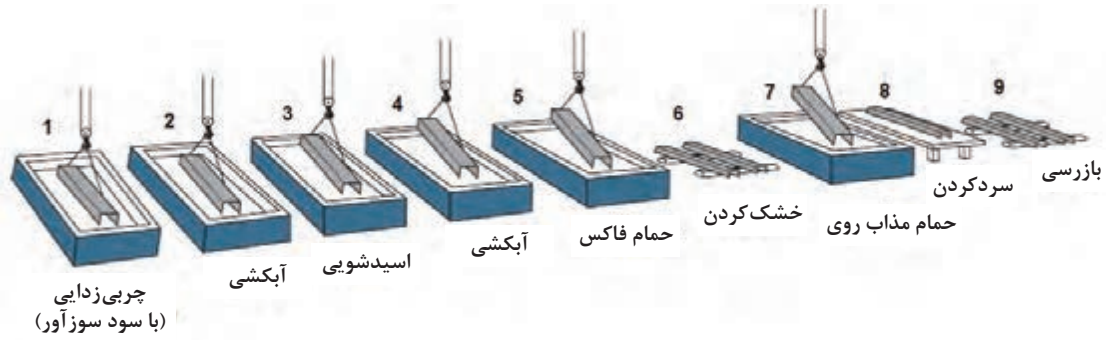
آلومینیوم رنگی موجود در بازار به چه روشی رنگ کاری می‌شود؟

گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم فرایندی اسـت که در طی آن پوشـش چسـبنده و محافظی از فلز روی یا ترکیبات آن توسـط فروبـردن قطعـات فـولادی و چدنـی در روی مـذاب بـر روی ایـن قطعات تشـکیل می‌شـود. پوشـش محافظ معمـولاً از لایه‌هـای مختلفی تشـکیل شـده اسـت. لایه‌هایی از پوشـش که به فلـز پایه نزدیک‌ترنـد، در واقع آلیاژهایـی از آهـن و روی هسـتند کـه بـه نوبـهٔ خود توسـط لایهٔ خارجـی که تقریبـاً از روی خالص تشـکیل شده اسـت پوشیده شـده‌اند.

سـاختمان پیچیـده ایـن لایـه که تشـکیل یک پوشـش گالوانیـزه را می‌دهنـد از نقطه نظر ترکیب شـیمیایی تفاوت‌هـای زیـادی باهـم دارند و خواص فیزیکی و شـیمیایی یکسـانی ندارنـد. خواص مذکـور در این لایه‌ها تحـت تأثیـر فعالیـت شـیمیایی، نفـوذ و نحوه خنک شـدن بعـدی قـرار دارد. همچنین تفاوت‌هـای جزئی در ترکیـب شـیمیایی حمـام مـذاب (پوشـش)، دمـای حمام، زمـان غوطه‌وری در حمام، سـرعت خنک شـدن و حرارت‌دهـی مجـدد (در مـوارد خـاص و بـه منظـور مقاصـد خاص انجـام می‌شـود) می‌تواند سـبب تغییرات چشـمگیری در ظاهـر و خواص پوشـش گردد.

پوشـش‌های گالوانیـزه گـرم کـه قابـل اعمـال بـر روی انـواع قطعات فـولادی تولید شـده هسـتند را می‌توان توسـط روش‌هـای کامـلاً مکانیـزه خـودکار، نیمـه خـودکار و دسـتی در کمیت‌هـای بـالا و پاییـن به‌صورت مـداوم و غیـر مـداوم بـه انجـام رسـاند. در شـکل (۲۳) مراحل گالوانیزه گرم نشـان داده شـده اسـت.



شکل ۲۳ــ 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 از پوشش‌های گالوانیزه گرم بسیارند که برخی از آنها عبارت‌اند از:

۱ فولادهای ساختمانی به کار رفته در نیروگاه‌ها، تأسیسات پتروشیمی، مبدل‌های حرارتی، کویل‌های خنک‌کننده و دکل‌ها و تیرهای انتقال نیرو.

۲ قطعات سازهٔ 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 آلیاژ کننده حمام مذاب

کادمیم و آهن معمولاً به عنوان آلوده‌کننده‌های حمام حضور دارند که به عنوان عناصر ناخواسته موجود در فلز روی هستند. فلز آلومینیوم در غلظت‌های بسیار کم و حدوداً ۰/۰۲ درصد مذاب می‌تواند سبب تخلیهٔ بهتر مذاب از سطح قطعات و افزایش درخشش پوشش‌های حاصله گردد. مقادیر جزئی سرب در حمام می‌تواند به منظور گلدار شدن پوشش، تخلیه بهتر ذرات ناخالصی و تفاله‌های ته حمام مذاب به‌کار 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 لایهٔ مسطحی متشکل از تفالهٔ 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 تابعی است از:

۱ زمان غوطه‌وری که ضخامت لایهٔ آلیاژ را کنترل می‌کند.
۲ سرعت بیرون کشیدن قطعات از حمام مذاب که کنترل‌کنندهٔ ضخامت لایه روی خالص چسبیده بر سطح قطعات است.
۳ دمای حمام مذاب که هم ضخامت لایهٔ آلیاژ و هم ضخامت لایه روی خالص را کنترل می‌کند.

زمان حفاظت در برابر خوردگی که توسط پوشش روی تأمین می‌شود، توسط ضخامت پوشش تعیین می‌شود. مطالعات جامع بسیاری که در این زمینه انجام گرفته است نشان می‌دهد، تمامی عوامل دیگر نظیر روش اعمال پوشش، خلوص فلز روی مصرفی و میزان آلیاژ شدن در مقایسه با ضخامت پوشش، تأثیر بسیار جزئی بر عمر حفاظت پوشش از قطعه را دارند. معمولاً مقدار پوشش روی را بر حسب گرم بر متر مربع مساحت قطعه کار اندازه‌گیری می‌کنند. در مورد ورق‌های گالوانیزه مقدار پوشش در یک طرف ورق تقریباً نصف وزن متوسط برحسب گرم بر متر مربع بیان شده است. گاهی ضخامت پوشش بر حسب هزارم اینچ یا برحسب میکرومتر داده می‌شود و گاهی به‌صورت درصدی از وزن فولاد پایه بیان می‌شود.

تمیزکاری قطعات قبل از گالوانیزه کردن

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 پوستهٔ 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 درجهٔ سلسیوس چربی‌گیری می‌شوند و سپس توسط محلول‌های آبی سولفوریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۰ درصد وزنی در دمای ۶۰ الی ۸۰ درجهٔ سلسیوس یا کلریدریک اسید در غلظت‌های ۳ تا ۱۵ درصد وزنی و در دمای محیط (۲۴ تا ۳۸ درجهٔ سلسیوس و اگر بالای این دما باشد بخارات آن باعث آلودگی محیط خواهد شد)، جهت زدودن پوستهٔ اکسیدی و زنگ‌زدگی قطعات فولادی، اسیدشویی می‌شوند. از آن‌جایی که هرگونه نمک آهن و یا ذرات آن در صورتی که بر روی سطح ورق یا قطعات باشد باعث ایجاد تفاله در حوضچه مذاب می‌شود، بنابراین پس از هر یک از این 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 بمانند. 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 مورداستفاده قرار می‌گیرد که باید پایداری

شیمیایی کافی جهت تشکیل یک کف فعال در دمای گالوانیزاسیون (۴۴۵ درجهٔ سلسیوس) را داشته باشد و بتواند عمل تمیزسازی را به درستی انجام دهد. یا اینکه حمام فلاکس به طور جداگانه وجود دارد و قبل از وارد شدن به روی مذاب ابتدا وارد فلاکس می‌کنند که‌این روش بیشتر کاربرد دارد. میزان مصرف فلاکس حدود ۳ کیلوگرم به ازای یک تن محصول می‌باشد.

حمام گالوانیزاسیون

حمام روی مذاب معمولاً در دمای بین ۴۴۵ تا ۴۶۵ درجهٔ سلسیوس 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 به‌صورت آلیاژی از فلز روی تهیه می‌کنند که به فرایند پلیگالوا معروف است. پلیگالوا اساساً آلیاژی از روی است که دارای مقادیر معیّن و کنترل شده‌ای از فلزات آلومینیوم، منیزیم، قلع و سرب است. آلومینیوم به منظور به تأخیر انداختن تشکیل لایهٔ بین فلزی و سایر عناصر به منظور حصول اطمینان از یکنواختی پوشش به‌کار گرفته شده است.

زمان وارد و خارج کردن ورق یا قطعات از حمام مذاب

در گالوانیزاسیون قطعات پیش‌ساخته، ضخامت معمولاً توسط زمان غوطه‌وری کنترل می‌شود. به‌طور معمول زمان غوطه‌وری در محدوده ۱ الی ۵ دقیقه است که سریع غوطه‌ور کردن (فروبری) تأثیر زیادی در یکنواختی پوشش دارد. این امر در مورد قطعات طویل که اختلاف زمانی در فروبری ما بین نقاط ابتدایی و انتهایی آن زیاد است مهم‌تر بوده و باید بیشتر رعایت شود. به منظور ایجاد یک پوشش یکنواخت و با حداقل ضخامت، قطعات معمولاً با سرعت کم از درون حمام مذاب بیرون کشیده می‌شوند. سرعت بیرون کشیدن که کنترل‌کنندهٔ ضخامت لایهٔ غیرآلیاژی (روی خالص) باقی‌مانده بر روی قطعات است، نسبت به نوع فرایند به‌کار گرفته شده متفاوت است و زمان مناسب برای بیرون کشیدن قطعات معمولاً در حدود ۱/۵ متر بر دقیقه است. در صنعت برای این منظور از جرثقیل‌های دو سرعته استفاده می‌شود که توسط این جرثقیل‌ها می‌توان قطعه کار را با سرعت زیاد وارد مذاب کرد و با سرعت کم از مذاب بیرون کشید. در مورد قطعات طویل که زمان بیرون کشیدن خیلی طولانی است، 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. برطرف شدن روی موجود در سطح قطعه، موجب نازک شدن پوشش باقی‌مانده بر سطح، نسبت به حالت عادی می‌شود که‌این 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

قطعـات بـه یکدیگـر نچسـبند. پـس از انجماد نیـز روی، در دمای زیـاد می‌تواند بـه نفوذ خـود در آهن ادامه دهـد و همچنیـن آهـن بـه خـارج نفـوذ می‌کنـد، در نتیجهٔ زیاد شـدن لایـهٔ آلیاژی و رسـیدن آن به سـطح، رنـگ پوشـش متمایـل به خاکسـتری می‌شـود. ایـن موضـوع ممکن اسـت خریدار را بـه مرغوبیـت محصول مشـکوک کند اما ثابت شـده اسـت که اگر ضخامت آن یکسـان باشـد این پوشـش خاکسـتری تقریباً همان مقاومـت بـه خوردگـی پوشـش شـفاف را دارد و تنهـا اختلاف در سـرعت سـرد کردن اسـت که رنگ شـفاف و یـا مـات (خاکسـتری) را ایجـاد می‌کند.

بـرای جلوگیـری از این مشـکل و شـفاف شـدن پوشـش بایـد بلافاصله بعد از خـارج کردن قطعـات از مذاب، آنهـا را بـا یـک کمپرسـور هوا تـا حدود ۳۵۰ °C سـرد کرد و بلافاصله در آب سـرد کرد. سـرد کـردن در آب مزایایـی دارد ماننـد زدودن بقایـای فلاکـس و حفاظـت در مقابـل خوردگـی. همچنیـن بـرای شـفاف کردن پوشـش مقادیـر کمـی روغـن و یـا صابـون بـرای بـراق شـدن لایهٔ سـطحی بـه آب اضافـه می‌شـود. آبی که بـرای سـرد کـردن قطعـات بـه‌کار مـی‌رود بـه علـت وارد شـدن بقایـای فلاکـس در آن لازم اسـت به‌طـور متنـاوب عوض شـود.

فعالیت کارگاهی ۱۴

گالوانیزه گرم

مـواد و وسـایل مـورد نیاز: کـورهٔ آزمایشـگاهی، بوتـهٔ نمـره ۵، حمـام چربی‌زدایـی (سودسـوزآور ۱۰%)، حمـام اسیدشـویی (کلریدریـک اسـید ۱۵%)، گیـره، گرم‌کـن، فـولاد ST۳۷،

مراحل انجام آزمایش:

۱ ورق فولادی در اندازهٔ ۵۰ × ۱۰۰ میلی‌متر به ضخامت ۲ میلی‌متر را بریده و سنباده‌زنی انجام دهید.

۲ طبـق اصـول آماده‌سـازی نمونه‌هـای فـولادی، نمونـه را در سـود سـوزآور ۱۰% و نیتریـک اسـید ۵۰% چربی‌زدایـی و اکسـیدزدایی کنیـد.

● **نکته:** بین هر مرحله، دو مرحله آبکشی انجام شود.

۳ روی خالـص را بـه مقـدار ۱ کیلوگـرم در بوتـه قرار داده و سـپس مقدار ۱% وزنی نیز سـرب بـه آن اضافه کنید و توسـط کـوره ذوب کنید.

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 ۵۰ الی ۶۰ درجهٔ سلسیوس باشد.

۵ سپس ورق فولادی را تا دمای ۵۰ الی ۸۰ درجهٔ سلسیوس پیش‌گرم کنید.

● **نکتـه ایمنـی:** در صورتـی کـه دمـای پیش‌گـرم کافی نباشـد هنـگام فروبری در مذاب سـبب پاشـش قطره‌هـای روی بـه اطـراف و ایجـاد حادثه می‌شـود.

۶ ورق فولادی را به مدت ۱ دقیقه در حمام مذاب روی وارد کنید.

● **نکته:** نمونه را سریع وارد حمام کنید تا یکنواختی پوشش بهتر باشد.

۷ نمونـه را سـپس از حمام آهسـته بیـرون آورده و ضربه‌ای بـه نگهدارندهٔ ورق بزنید تا روی اضافی از سـطح ورق تخلیـه شـود و بلافاصله وارد آب کنید.

● **نکتـه:** دمـای آب بایـد بیـن ۶۰ الی ۹۰ درجهٔ سلسـیوس باشـد تا احتمـال پیچیدگی یا پارگـی قطعه در اثـر خنک شـدن بیـش از حد زیاد نباشـد.

۸ بعد از خارج کردن از آب، نمونه را در جای مناسبی قرار دهید.
- **نکته:** از نگهدارندهٔ مناسب و لباس ایمنی استفاده شود.
- **نکته:** از انبر در اندازهٔ مناسب استفاده کنید و در انجام کار دقت لازم را داشته باشید.
- **نکته:** وجود جعبهٔ کمک‌های اولیه، کپسول آتش‌نشانی و سایر موارد در آزمایشگاه الزامی است.

نکته ایمنی

از وسایل ایمنی جهت ذوب استفاده کنید.

نکته زیست محیطی

عملیات پوشش‌دهی 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 محیط‌زیست وارد کند. لذا در استفاده از مواد و انجام کارها دقت کافی را داشته باشید تا دورریز مواد کم باشد.

پرسش

چه تغییراتی در سطح نمونه‌ایجاد شده است؟

فعالیت کارگاهی ۱۵

این فعالیت را برای نمونه‌های مشابه در زمان غوطه‌وری ۱ ، ۳ و ۵ دقیقه انجام دهید و باهم مقایسه کنید. چه تفاوتی با افزایش زمان غوطه‌وری در نمونه‌ها مشاهده می‌کنید؟

کنترل کیفیت پوشش‌های انجام شده

آزمایش‌های کنترل کیفیت در چند دستهٔ مختلف مانند مشاهدات عینی، ترکیب شیمیایی، ضخامت، تخلخل، چسبندگی، تنش، قابلیت انعطاف، استحکام، سختی و مقاومت سایشی تقسیم‌بندی شده‌اند که در زیر چند مورد از آنها به‌طور مختصر توضیح داده شده است.

مشاهدات عینی

مشاهدات عینی روشی ابتدایی برای کنترل است و برای بازرسی ظاهر پوشش قطعات مفید است. با این روش که بسیار سریع است، افراد با تجربهٔ 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 به‌این عیوب را نیز می‌توان دید.

ترکیب شیمیایی پوشش

برای به‌دست آوردن پوشش‌های مناسب، لازم است ترکیب شیمیایی آن را دقیقاً تنظیم کنیم. در عمل آزمایش ترکیب شیمیایی پوشش به علت نازک بودن پوشش و تماس آن با پوشش‌های دیگر و فلز زمینه مشکل است.

اندازه‌گیری ضخامت پوشش

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

بهتر است که ضخامت پوشش را با روش‌های غیرمخرب اندازه بگیریم تا پوشش تخریب نشود و بعد از آزمایش قطعه را بتوان به کار برد. با استفاده از دستگاه مانومتر یا ضخامت سنج نیز که تصویر آن در شکل (۲۴) آورده شده است می‌توان ضخامت پوشش را اندازه‌گیری کرد.



شکل ۲۴ـ دستگاه‌های ضخامت‌سنج

اندازه‌گیری مستقیم ضخامت پوشش زیر میکروسکوپ، روشی است که معمولاً برای تمامی پوشش‌ها قابل اجرا است. به نحوی که نمونه را به‌صورت عرضی و عمود بر سطح پوشش برش داده و مانت می‌کنند و بعد از صیقل‌کاری در زیر میکروسکوپ با دقت بالا لایه‌های آلیاژی بین فلز و پوشش و ضخامت آنها را اندازه‌گیری می‌کنند.

روش وزنی نیز یکی دیگر از روش‌های پرکاربرد در صنعت است. روش وزنی یعنی زدودن پوشش و وزن کردن برای طیف وسیعی از پوشش به کار می‌رود و دقت آن ۵% است. این روش کاملاً تخریب‌کننده است و تنها متوسط مقدار پوشش را بر روی سطح نمونه می‌دهند. اصول کلی ساده است و عبارت است از وزن کردن نمونه‌ای با سطح معلوم قبل و بعد از شست‌وشو در محلول شیمیایی مناسب که فلز پوشش را از بین می‌برد ولی با فلز اصلی هیچ واکنشی نمی‌دهد. برای مثال پوشش‌های کادمیم، قلع یا روی را می‌توان در کلریدریک اسید حاوی تری‌اکسید آنتیموان و یا تری‌کلرور (که به عنوان ممانعت‌کننده عمل می‌کند) را از روی فولاد زدود. برای ورق‌های فولادی بزرگ نیز قطعهٔ کوچکی از آن را می‌برند و بر روی آن آزمایش را انجام می‌دهند.

ارزشیابی پایانی

نقشه کار: انجام آزمایش‌های خوردگی و پوشش‌دهی
شاخص عملکرد: ۱ـ پارامترهای اعمال پوشش سرد (آبکاری) ۲ـ پارامترهای اعمال پوشش گرم ۳ـ کیفیت نهایی پوشش

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

مواد مصرفی: انواع اسید و محلول‌های شیمیایی ـ آند از جنس فلزات آبکاری ـ شمش روی ـ شمش قلع و ....

ابزار و تجهیزات : رکتیفایر ـ وان آبکاری ـ پ هاش متر (PHm)ـ دماسنج ـ مولتی‌مترـ ضخامت سنج ـ زمان‌سنج ـ زبری‌سنج ـ کورهٔ ذوب ـ بوته ـ وسایل اندازه‌گیری حجم و وزن و تجهیزات آزمایشگاهی (شامل بشر، لوله آزمایش و ...)...
نمونه و نقشه کار:
۱ـ اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر در وان آبکاری شامل دما، غلظت، زمان، پتانسیل، شدت جریان ... و تنظیم آنها جهت رسیدن به پوشش با ضخامت و کیفیت مطلوب
۲ـ اندازه‌گیری 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
۳ـ بررسی کیفی پوشش نهایی از لحاظ یکنواختی ضخامت، پیوستگی، چسبندگی و ... و عدم وجود عیوبی نظیر عدم پیوستگی پوشش، زبری سطح و ...

معیار شایستگی :

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمره قبولی	نمرهٔ 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	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی و نگرش: ۱ـ رعایت قواعد و اصول در مراحل کار ۲ـ مسئولیت‌پذیری ۳ـ مدیریت مواد و تجهیزات ۴ـ استفاده از لباس کار نسوز، دستکش نسوز، کفش ایمنی و عینک محافظ ۵ـ تمیز کردن وسایل و محیط کار	۲	
	میانگین نمرات		*

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

منابع

۱ـ برنامهٔ درسی رشته متالورژی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و کاردانش، سال ۱۳۹۵.
۲ـ جی.ا. رینولدز، ترجمه فرهاد رهبری، ۱۹۸۱، ریزساختار قطعات ریختگی، انتشارات جامعه ریخته‌گران ایران.
۳ـ ا.تومر. ترجمه داود خرازیکار، ۱۳۷۶، ساختار فلزات زیر میکروسکوپ نوری، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند تبریز.
۴ـ ساعتچی، احمد. ۱۳۷۲، اصول و کاربرد عملیات حرارتی فولادها و چدن‌ها، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۵ـ تویسرکانی، حسین. ۱۳۸۸، اصول علم مواد (ساختار، خواص و مهندسی مواد)، ویرایش سوم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۶ـ کمیسیون تخصصی رشته متالورژی، ۱۳۸۷، آزمایشگاه متالورژی، شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
۷ـ آ.آر. بایلی. ترجمه احمد ساعتچی، ۱۳۷۰، مقدمه‌ای بر متالوگرافی، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان.
۸ـ قربانعلی، محمد. ۱۳۸۵، پوشش دادن فلزات جلد ۱، مؤسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
۹ـ ساعتچی، احمد. ۱۳۷۸، مهندسی خوردگی، انتشارات مرکز جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
۱۰ـ فتحی، محمد حسین. ۱۳۸۶، مواد قالب‌گیری برای ریخته‌گری فلزات، انتشارات ارکان دانش اصفهان.

۱۱ـ William D. Callister, Jr David G. Rethwisch.2014. Materials Science and Engineering. Printed in the United States of America.
۱۲ـ George F. Vander Voort. 1986. Applied metallography. Van Nostrand Rfinhold Company Inc.
۱۳ـ ASM Handbook, Volume 3. 1992. Alloy Phase Diagram. Printed in the United States of America.
۱۴ـ Bruce L. Bramfitt, Arlan O. Benscoter. 2002. Metallographer’s Guide (Practices and Procedures for Irons and Steels). ASM International.
۱۵ـ Janina M. Radzikowska. 1998. Metallography and Microstructures of Cast Iron. The Foundry Research Institute, Krako´w, Poland.
۱۶ـ Vander Voort, George F.1999. Metallography, principles and practice. ASM International.
۱۷ـ Małgorzata Warmuzek. 2004. Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas of Microfractographs. ASM International.
۱۸ـ Michael W. Davidson and Mortimer Abramowitz.2004. optical microscopy. National High Magnetic Field Laboratory, The Florida State University.

Www.IranEstekhdam.Ir

«لینک‌های مفید و مرتبط»

دانلود منابع آزمون استخدامی هنرآموز متالورژی

خرید و دانلود

دانلود نمونه سوالات آزمون استخدامی هنرآموز متالورژی

خرید و دانلود

سرویس خصوصی خدمات عام المنفعه اخبار شغل و استخدام

Www.IranEstekhdam.Ir

خواننده گرامی؛ در جهت بهبود کیفیت این فایل؛ لطفاً هرگونه انتقاد و پیشنهاد خود در مورد مطالب آن

و یا گزارش مشکل را به آدرس ایمیل و یا با شماره تلفن زیر مطرح نمایید:

شماره تلفن تماس: ۰۲۱-۹۱۳۰۰۱۱۳ آدرس ایمیل: soal@iranestekhdam.ir