



تعداد صفحات  
۶۲



آخرین بروزرسانی  
۲۹ بهمن ۱۴۰۳

## جزوه خلاصه

# عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۳۵

- ✓ حیطه تخصصی
- ✓ هنرآموز متالورژی
- ✓ خلاصه و نکات مهم.



## لینک های مفید آزمون استخدامی هنرآموز متالورژی

خرید سوالات هنرآموز متالورژی	جزوات خلاصه عمومی و اختصاصی آزمون
خرید گلچین سوالات عمومی و اختصاصی آزمون	خرید پکیج سوالات عمومی و اختصاصی آزمون
منابع عمومی و اختصاصی آزمون	منابع تخصصی آزمون
اخبار آزمون	شبکه های اجتماعی ایران عرضه (فایل های رایگان + تخفیفات هفتگی + اخبار)

(برای مشاهده هر بخش روی آن بزنید )

## فهرست مطالب

❖ فصل اول: خلاصه عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۳۵ تالیف

ایران عرضه صفحه {۴}

❖ فصل دوم: نکات مهم عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۳۵ تالیف

ایران عرضه صفحه {۵۸}



## ❖ فصل اول: خلاصه عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات پایه دوازدهم کد ۲۱۲۵۳۵ تالیف ایران عرضه

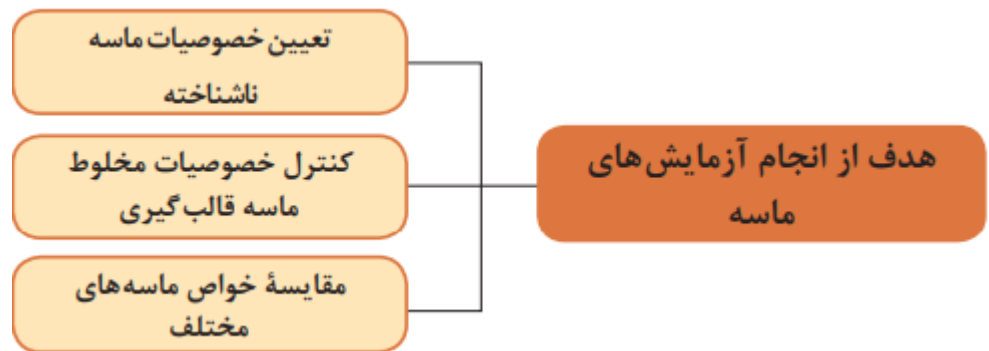
### خلاصه متالوژی ۶

#### عملیات تغییرخواص متالورژیکی فلزات

پودمان اول آزمایشگاه مواد قالب گیری (آزمایشهای ماسه)

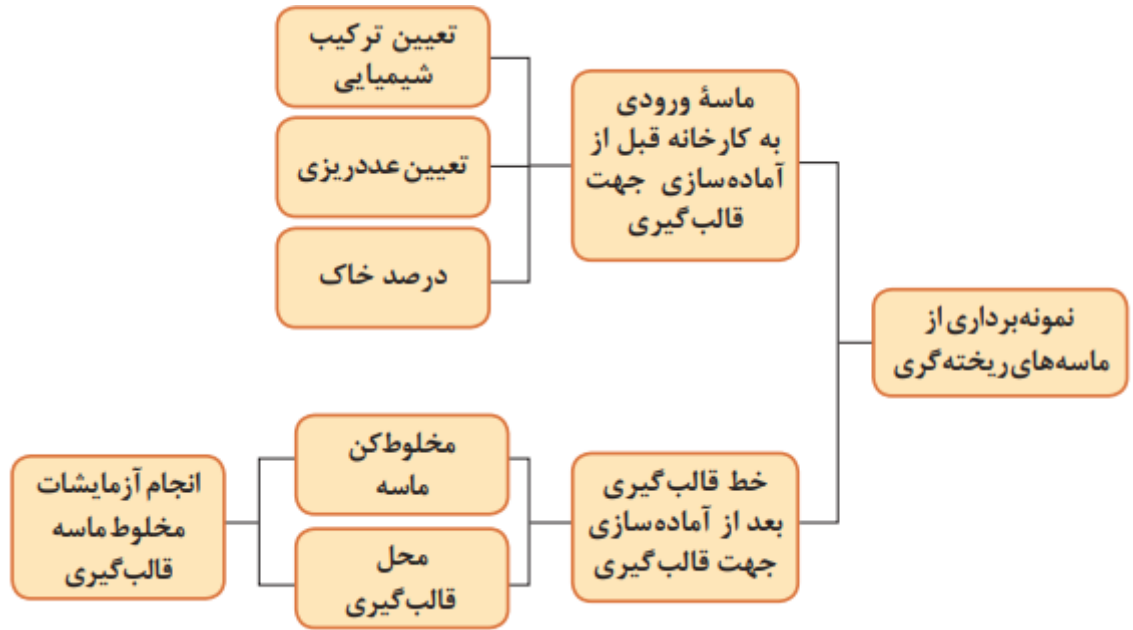
تعیین خواص و مشخصات ماسه ریخته گری (آزمایشهای ماسه قالب گیری)

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



#### نمونه برداری از ماسه های ریخته گری

قبل از انجام آزمایشها، نمونه برداری و تهیه نمونه از ماسه های ریخته گری صورت میپذیرد و برای این کار روشهای ویژه ای به اجرا در می آید. منظور از تهیه نمونه، به دست آوردن مقدار قابل توجهی از ماسه مورد نظر است تا با استفاده از آن آزمایش های متداول برای کنترل وضعیت ماسه مصرفی، بررسی توده ماسه و ارزیابی ماسه ای که در آینده مورد استفاده قرار خواهد گرفت، انجام شود.



مقدار ماسه ای که به عنوان نمونه مورد استفاده قرار میگیرد باید به اندازه ای باشد که برای انجام کلیه آزمایشهای مورد نظر کفایت کند.

نکته مهم دیگر اینکه نمونه های برداشته شده از توده ماسه باید به سرعت و در اولین فرصت تحت آزمایش قرار گیرند تا از ارتباط ما بین خواص نمونه ها و توده ماسه یا ماسه های که در سیستم قالب گیری به کار میرود اطمینان حاصل شود. از آنجا که رطوبت بر روی خواص ماسه اثر قطعی دارد، این نکته اهمیت دارد که میزان رطوبت نمونه ماسه معادل میزان رطوبت توده ماسه اولیه باشد.

**نکته:** نمونه برداری و آزمایش باید در حداقل زمان ممکن و پس از آماده کردن مخلوط ماسه قالب گیری انجام شود.

**تهیه نمونه استاندارد:** در کنترل کیفیت مخلوط ماسه قالب گیری آزمایشهای استحکام فشاریتر و خشک، استحکام کششی تر و خشک، استحکام برشی تر و خشک، قابلیت عبور گاز و تعیین متالشی شدن و خرد شونده گی ماسه نقش ویژه ای دارند. برای انجام کلیه آزمایشها نمونه استوانه ای به قطر و ارتفاع ۲ اینچ (۵/۸ سانتیمتر) از مخلوط ماسه قالب گیری تهیه میشود.

به دلیل اهمیت این نمونه استاندارد ضروری است که تهیه آن با دقت کافی صورت گیرد.

### آزمایشهای مخلوط ماسه قالب گیری

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

### آزمایش تعیین اندازه و پخش ذرات ماسه

هدف از این آزمایش تعیین عدد ریزی ماسه قالب گیری است، عدد ریزی ماسه ریخته گری توسط اندازه و توزیع ذرات آن تعیین میشود. به عبارت دیگر دو عامل اندازه دانه ها و نحوه توزیع دانه ها تعیین کننده عدد ریزی ماسه است. منظور از آزمایش ریزی تعیین درصد اندازه مختلف دانه های ماسه و مقدار خاک رسی است که در ماسه موجود است. مقدار ذراتی از ماسه که اندازه آنها از  $0.075$  میلیمتر کوچکتر باشند، خاک رس محسوب میشوند.

خاک رس موجود در ماسه را میتوان جداگانه و به روش خاص تعیین کرد و درصد اندازه مختلف دانه های ماسه نیز از طریق آزمایش ریزی قابل تعیین است.

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

استحکام

نفوذپذیری

کارپذیری

هزینه آماده سازی ماسه

سطح نهایی قطعات ریختگی.

وسایل مورد نیاز انجام آزمایش

۱. دستگاه تعیین دانه بندی ماسه: این دستگاهها معمولا برقی با عملکرد اتوماتیک است.

دارای حداقل شش الک هرکدام با یک مش جداگانه و یک عدد درپوش و یک عدد کفه تحتانی.

۲. ترازوی آزمایشگاهی: جهت توزین نمونه های مورد آزمایش از ترازوهای آزمایشگاهی استفاده میشود که معمولا در دو نوع مکانیکی و دیجیتالی هستند.

۳. برس مخصوص تمیز کردن الک های آزمایشگاهی: نگهداری صحیح از الک های 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 روزه های 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.

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



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

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

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

۴- توسط ترازوی دیجیتالی جرم ماسه های باقیمانده بر روی هر الک را تعیین کنید.

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

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

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

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

(درصد باقی مانده بر روی هر الک)

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

ج) مجموع حاصل ضرب های به دست آمده در بند (ب) را به دست آورید.

د) عدد به دست آمده در بند (ج) یا مجموع حاصل ضربها بر مجموع درصد باقیمانده روی کلیه الک ها و کفه تقسیم شود. (ص ۱۸)

مقدار عدد ریزی ماسه را میتوان توسط رابطه زیر به دست آورد:

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

$a_i$ : ضریب الک      $g_i$ : درصد جرم ماسه باقی مانده در هر الک      $a$ : عدد ریزی      $\sum$ : مجموع چند کمیت

## نتیجه گیری و بحث

روشهای مختلفی برای بیان نتایج و ارزیابی وضعیت عدد ریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پر کاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقیمانده به صورت ستونی است، بدین ترتیب که درصد باقیمانده بر روی هر الک محاسبه شده و ستونی متناسب با مقدار آن در نقطه شماره الک رسم میشود. از چنین نموداری، میتوان چند الکه بودن ماسه را تعیین کرد. هر یک از الک ها که درصد

باقیمانده ماسه بر روی آن بیش از ۱۰ درصد باشد یک الک محسوب میشود و مجموع تعداد اینگونه الکها مشخص کننده چند الک بودن ماسه مورد آزمایش است. به شرط آنکه مطابق استاندارد (AFS) مجموع درصد باقیمانده بر روی همه الک های نام برده شده بیش از ۷۵ درصد باشد.

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

عدد ریزی، اطلاعات مربوط به توزیع اندازه دانه ها در ماسه را ارایه نمیکند. بنابراین احتمال دارد دو ماسه که دارای یک عدد ریزی هستند، توزیع دانه متفاوت باشند و نفوذپذیری و قابلیت عبور گاز آنها نیز متفاوت باشد. گذشته از آن، خواص دو ماسه که عدد ریزی یکسانی دارند میتواند به واسطه تفاوت در شکل دانه های آنها یکسان نباشد.

اندازه و پخش ذرات ماسه بسیاری از خواص مخلوط ماسه قالب گیری را تحت تأثیر قرار میدهد. ذرات ریز ماسه در حالیکه سطوح صافی را در قالب به وجود میآورند باعث کاهش قابلیت نفوذ گاز میشوند. اما ذرات درشت از دیرگدازی و قابلیت نفوذ گاز بیشتری برخوردار هستند. از طرفی ذرات درشت از استحکام کمتری برخوردار میباشند. به همین دلیل اکثر ماسه های ریخته گری به منظور قابلیت نفوذ گاز و استحکام کافی و دیرگدازی مناسب از چند ماسه با اندازه دانه مختلف تشکیل میشوند.

### آزمایش تعیین مقدار خاک رس

خاک رس متداولترین چسب مورد استفاده در مخلوط های ماسه قالب گیری است. خاک دارای ماسه که عامل چسبندگی ذرات ماسه است تأثیر زیادی روی خواص ماسه از جمله استحکام تر، استحکام خشک و قابلیت نفوذ گاز دارد. خاک رس اساساً 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، شکل پذیری و چسبندگی در مخلوط ایجاد کند.
- پس از اتمام آزمایش ماسه های مورد آزمایش را از محیط آزمایشگاه جمع آوری کرده و به ماسه دان کارگاه بریزید و محل انجام آزمایش را تمیز و مرتب کنید.
- ب) خاک رس میتواند خشک شود و سپس با اضافه کردن آب، مجدد خاصیت شکل پذیری 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 شکل پذیر ساخت. دمای کلسینه شدن برای انواع مختلف خاک رس متفاوت است.

از نقطه نظر تهیه مخلوط ماسه قالب گیری، مهمترین خاصیت خاک رس تشکیل ساختمان لایه ای نازک و توانایی جذب یونهای فلزی و آب است. لایه های 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 لایه های 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. در حقیقت رطوبت کافی ماسه (آب فیزیکی) عامل یونیزه شدن آب تبلور (آب مولکولی) خاک رس میشود.

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

۱. **ترازوی دقیق دیجیتالی:** جهت توزین نمونه های 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 نمونه های مورد آزمایش استفاده میشود. این خشک کنها که معمولاً به آنها آون نیز گفته میشود در انواع و مدلهای مختلفی وجود دارند. این کوره ها دارای محفظه استیل بوده و مجهز به زمان سنج و چند عدد سینی استیل جهت قرار دادن نمونه ها هستند که توسط المنتهای اطراف محفظه، ایجاد حرارت قابل کنترل ۵۰ الی ۲۵۰ درجه سلسیوس با دقت  $\pm 10$  درجه سلسیوس کرده که جهت خشک کردن نمونه های آزمایش مورد استفاده قرار میگیرند.

۳. **دستگاه شستوشوی ماسه:** از این دستگاه جهت شست و شوی ماسه و جداسازی خاک رس از دانه های ماسه استفاده میشود که معمولاً در دو نوع معمولی و خودکار وجود دارد. که دستگاه شستوشوی خودکار به منظور جداسازی خاک رس از ماسه و خارج ساختن آن همراه با آب، طراحی و ساخته شده است. به طوری که عملیات جداسازی به طور خودکار انجام میگردد 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.

۴. **بشر یک لیتری به همراه سیفون:** بشر مورد استفاده در آزمایش تعیین خاک رس ماسه ریخته گری و وضعیت صحیح لوله سیفون مورد استفاده جهت تخلیه آب و جداسازی ذرات خاک رس از دانه های ماسه را نشان میدهد.

۵. **میله شیشه ای جهت هم زدن محلول آب و ماسه.**

۶. **قیف شیشه ای و کاغذ صافی.**

## نتیجه گیری و بحث

میزان خاک رس موجود در مخلوط های ماسه قالب گیری با چسب خاک رس بر روی بسیاری از خواص فیزیکی ماسه ریخته گری تأثیر دارد. به طوری که مقدار خاک رس موجود در ماسه به شرط آنکه رطوبت کافی برای فعال شدن خاک رس وجود داشته باشد، تعیین کننده استحکام و نفوذپذیری ماسه ریخته گری است. همچنین اطلاع از میزان خاک رس میتواند امکان پیش بینی خصوصیات ماسه را فراهم سازد.

بطورکلی ماسه های قالب گیری را میتوان براساس میزان خاک رسی که به همراه دارند به دو صورت **ماسه اشباع شده** از خاک رس یا ماسه اشباع نشده از خاک رس دسته بندی کرد.

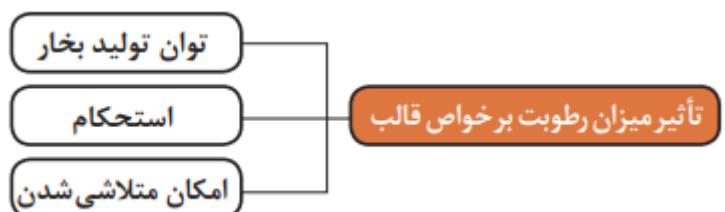
ماسه اشباع شده از خاک رس، ماسه ای است که حاوی مقدار بسیار زیادی از خاک رس است به طوریکه افزایش بیشتر خاک رس به آن باعث افزایش استحکام فشاری تر چنین ماسه ای نمیشود.

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

## آزمایشهای تعیین رطوبت

رطوبت عبارت است از آب ظاهری موجود در ماسه به میزان  $\frac{5}{3}$  تا ۸ درصد که با وجود خاک رس باعث بالا رفتن خاصیت شکل پذیری (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. به طور خلاصه میتوان گفت که وجود مقدار معینی آب در ماسه قابلیت شکل پذیری 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 قالب گیری تأثیر فراوانی دارد.



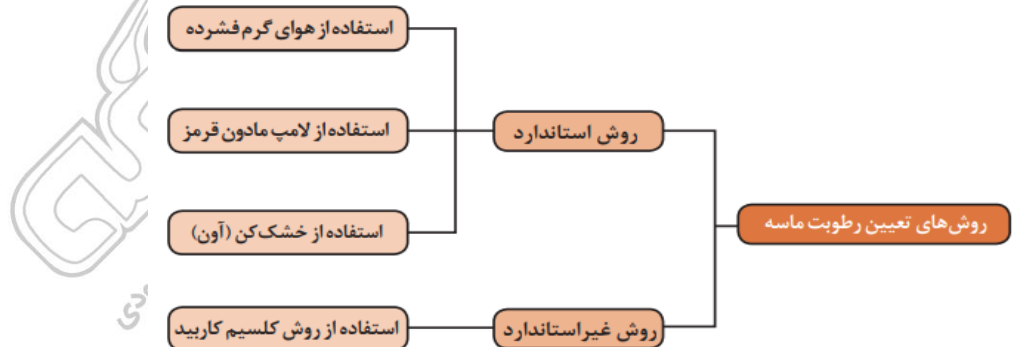
۱. اطمینان پیدا کردن از حصول خواص چسبندگی بالا: در صورت افزایش درصد آب، تمامی خواص استحکامی به شدت کاهش پیدا میکند. در صورت پایین بودن استحکام فشاری تر احتمال تخریب قالب در حین حمل و نقل بیشتر میشود.

۲. به دست آوردن قابلیت پلاستیسیته (شکل پذیری) مناسب در ماسه قالب گیری: با افزایش درصد آب، قابلیت پلاستیسیته ماسه قالب گیری 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 دانه های سیلیس به پلاستیسیته بالاتری نیاز است که باعث برطرف شدن عیوب ناشی از آن میشود.

۳. جلوگیری از به وجود آمدن قالبهایی با فشردگی بسیار زیاد: با افزایش درصد آب، سرعت فشرده شدن ماسه قالب گیری افزایش پیدا میکند.

۴. اطمینان از به حداقل رساندن گاز تولید شده در هنگام ریخته گری: حجم گاز تولید شده از ماسه تر و بعد از ریخته گری با درصد آب موجود در ماسه قالب رابطه مستقیم دارد. بطوریکه تعداد زیادی از عیوب به وجود آمده در قطعات ریخته گری نتیجه تولید گاز حاصل از رطوبت است مانند حفره های گازی.

به طور کلی مقدار رطوبت ماسه، نباید از حد معینی بیشتر شود، از طرفی کاهش مقدار رطوبت نیز باعث از هم پاشیدگی و کاهش شکل پذیری 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 مخلوط های ماسه قابل اجرا است، به جز مخلوط هایی که علاوه بر آب دارای مواد فرار و اکسید شدنی هستند. به طور کلی در این روش ماسه توسط تجهیزات مختلف خشک کن ماسه خشک میشود و اساس اندازه گیری میزان رطوبت ماسه بر مبنای کاهش وزن نمونه نسبت به وزن اولیه آن است و معمولاً برحسب درصد بیان میشود.

**تعیین میزان رطوبت ماسه به روش مادون قرمز:** در این روش یک لامپ اشعه مادون قرمز به عنوان منبع گرما برای تبخیر رطوبت از ماسه به کار میرود. به طوری که یک نمونه از ماسه مورد نظر وزن شده و بر روی کفه دستگاه قرار داده میشود (در برخی از دستگاهها کفه مستقیماً به سیستم ترازو متصل است و امکان توزین ماسه به سهولت وجود دارد)،

گرمای لازم توسط اشعه مادون قرمز که در بالای کفه قرار دارد فراهم میشود. پس از تبخیر کامل رطوبت ماسه، توزین دوباره صورت میگیرد و اختلاف دو وزن نمایانگر میزان رطوبت است.

**نحوه محاسبه درصد رطوبت مخلوط ماسه قالب گیری:** به طور کلی در هر دو روش خشک کردن چنانچه جرم های اندازه گیری شده، قبل و بعد از خشک کردن ماسه نمونه (برحسب گرم) به ترتیب برابر با  $m$  و  $m_1$  باشد در این صورت درصد رطوبت ماسه (%W) از رابطه زیر به دست میآید.

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

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

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

### بحث و نتیجه گیری

با توجه به اینکه مخلوط ماسه های قالب گیری دارای خاک رس و یا چسبهای خاکی جهت چسبندگی ذرات ماسه به یکدیگر میباشند و از آنجایی که از نقطه نظر قالب گیری مهمترین خاصیت خاک ها جذب رطوبت است که به دلیل جذب آب توسط خاک ذرات آن و ذرات ماسه به هم اتصال مییابند، که این عمل در داخل آب و رطوبت ماسه انجام میشود بنابراین کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب گیری جهت بالابردن قابلیت قالب گیری و تولید قطعات سالم و بدون عیب اهمیت فراوانی دارد.

به طور کلی میزان رطوبت مخلوط ماسه علاوه بر میزان چسب موجود در آن، با توجه به روشهای قالب گیری هم میتواند متغیر باشد به طوری که در قالب گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولا بین ۶ تا ۸ درصد است، در حالی که در قالب گیری های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین ۵/۳ تا ۵/۴ درصد است.

### روشهای تعیین استحکام مخلوط ماسه قالب گیری

استحکام مخلوط ماسه های قالب گیری 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 ماسه های قالب گیری و مبانی کنترل این خواص برای بهترین کاربرد و استفاده بهتر از ماسه های ریخته گری ضروری است. برای اندازه گیری استحکام، ماسه های ریخته گری دستگاههای مختلفی به صورت تجاری ارائه میشود.

### تعیین استحکام فشاری تر

**استحکام تر:** پس از آنکه ماسه با آب و چسب مخلوط شد، ماسه تر حاصل میشود. ماسه تر باید استحکام کافی و شکل پذیری مناسب را برای ساخت و نگهداری قالب داشته باشد. همچنین استحکام لازم به هنگام خارج کردن مدل از قالب و پس از آن را از خود نشان دهد. داشتن استحکام کافی به منظور حفظ شکل قالب پس از قالب گیری و در خلال جابجا کردن قالب ضروری است.

استحکام تر یک مخلوط قالب گیری به عوامل مختلفی چون میزان رطوبت، مقدار چسب، شکل و اندازه و عدد ریزی ماسه بستگی دارد.

استحکام فشاری تر عبارت است از بیشترین تنش فشاری بر حسب psi (پوند بر اینچ مربع) که یک نمونه ماسه تر با ابعاد استاندارد (2 in × 2 in) میتواند تحمل کند.

### نتیجه گیری و بحث

عواملی چون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری 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.

**نکته:** برای نتیجه گیری بهتر، هر گروه ۳ یا ۴ عدد نمونه استاندارد تهیه کند.

### تعیین استحکام فشاری خشک

استحکام خشک: وقتی مذاب فلز به داخل قالب ریخته میشود ماسه با فلز داغ تماس حاصل میکند و رطوبت موجود در آن به سرعت تبخیر میشود و به صورت بخار خارج میشود. ماسه خشک باید استحکام کافی برای مقاومت در برابر فرسایش و نیز استحکام کافی در برابر فشار متالواستاتیکی مذاب داشته باشد در 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 قالب گیری که در فرایند قالب گیری خشک شده و هم به ماسه قالب که پس از ورود مذاب به داخل آن خشک شده، به کار میرود.

### بحث و نتیجه گیری

در حالت کلی استحکام فشاری خشک ماسه بین ۲۰ تا ۲۵۰ psi که بستگی به نوع ماسه دارد تغییر میکند. در مورد ماسه های سخت شده توسط چسب سدیم سیلیکات و گاز ۲CO این استحکام در شرایط مناسب به ۳۰۰ psi تقریباً به ۲ مگاپاسکال نیز میرسد.

### تعیین استحکام کششی تر

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

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

### بحث و نتیجه گیری

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 ریخته گری به وجود می آید. استحکام قسمتی از ماسه که دارای غلظت آب بیشتر میباشد استحکام کششی تر نامیده میشود. وجود خاک فعال بیشتر به خصوص بنتونیت باعث بوجود آمدن استحکام بیشتر لایه تر و همچنین افزایش پلاستیسیته بیشتر لایه خشک خواهد شد. استحکام کششی تر همچنین اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد استفاده به ما میدهد.

### تعیین استحکام کششی خشک

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 ریخته گری به وجود می آید. استحکام قسمتی از ماسه که دارای غلظت آب بیشتر میباشد استحکام کششی تر نامیده میشود. وجود خاک فعال بیشتر به خصوص بنتونیت باعث به وجود آمدن استحکام بیشتر لایه تر و همچنین افزایش پلاستیسیته بیشتر لایه خشک خواهد شد. استحکام کششی تر همچنین اطلاعات خوبی در زمینه کیفیت بنتونیت مورد استفاده به ما میدهد.

### 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 ایجاد شود.



۳- نمونه تهیه شده را از جعبه ماهیچه فلزی خارج کرده روی یک صفحه فلزی صاف گذاشته و در داخل خشک کن (آون) قرار دهید و به مدت ۳۰ ثانیه در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس نگهدارید تا نمونه ها پخته شوند.

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

۵- فک های مربوط به آزمایش استحکام کششی خشک را روی دستگاه ببندید سپس نمونه را در بین فک های دستگاه قرار دهید.

۶- نمونه را توسط دستگاه تحت تنش کششی قرار دهید تا شکست در نمونه اتفاق بیفتد، عدد نشان داده شده توسط دستگاه نشان دهنده استحکام کششی خشک ماسه است.

### نتیجه گیری و بحث

کلیه عوامل مؤثر بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری مخصوصاً میزان خاک رس، بر روی استحکام کششی خشک تأثیرگذار هستند. بطوریکه 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.

### تعیین استحکام برشی ماسه

استحکام برشی ماسه عبارت است از حداکثر تنش برشی که یک نمونه استاندارد میتواند تا مرحله برش و گسیختگی تحمل کند. آزمایش استحکام برشی به دو صورت تر و خشک انجام میشود.

لازم به توضیح است که نمونه استاندارد با قطر و ارتفاع ۲ اینچ و فک های مورد استفاده در این آزمایش تخت و صاف نیست بلکه بر روی هر یک از فک ها یک پله وجود دارد .

### دستورکار انجام آزمایش

#### الف) استحکام برشی تر:

۱. ابتدا نمونه استاندارد استوانه ای با قطر و ارتفاع ۲ اینچ را توسط دستگاه کوبه استاندارد تهیه کنید.

۲. فک های مربوط به استحکام برشی را روی دستگاه اندازه گیری ماسه ببندید.

۳. پس از بستن فک ها، نمونه استاندارد تهیه شده را 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.

#### ب) استحکام برشی خشک:

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

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

۳. نمونه را 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.

### نتیجه گیری و بحث

به طور کلی اکثر عوامل تأثیرگذار بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری مانند اندازه ذرات ماسه، میزان خاک رس و رطوبت ... بر استحکام برشی تر و خشک نیز تأثیر گذار هستند.

لازم به ذکر است که استحکام برشی تر ماسه در حدود ۵/۱ تا ۷ psi است. همچنین نسبت استحکام برشی خشک به استحکام فشاری خشک کمیتی است که در تهیه و آماده سازی ماسه ریخته گری از اهمیت ویژه ای برخوردار است، به طوری که اگر این نسبت از حد معینی کمتر باشد نشان دهنده آماده نبودن و به عمل نیامدن ماسه است و اگر بیش از حد معین باشد، نشانگر بالا بودن درصد مواد افزودنی به ماسه است.

### تعیین استحکام قالب

استحکام قالب عبارت است از میزان فشاری که سطوح قالب بدون تخریب میتواند تحمل کند. یا به عبارتی میزان باری که سطح یک قالب به هنگام اعمال بار ناشی از یک نفوذ سنج فنی میتواند تحمل کند. وسیله ای که برای اندازه گیری استحکام قالب بکار میرود. واحد اندازه گیری استحکام در این وسیله برحسب PSI میباشد. به کمک این وسیله میتوان یکنواختی، فشردگی و استحکام قالب را در نقاط، سطوح و دیواره های قالب کنترل کرد.



دستور کار آزمایش:

۱. ابتدا یک مدل یک تکه انتخاب کرده سپس با رعایت کلیه اصول کار و استاندارد مربوطه آن را قالب گیری کنید.

۲. وسیله اندازه گیری استحکام قالب را به طور عمودی روی سطح قالب قرار دهید.

۳. پس از اطمینان از تماس صحیح فرورونده با سطح قالب، بار را توسط استحکام سنج اعمال کرده و استحکام قالب را بسنجید و مقدار آن را از روی صفحه مدرج یا نمایشگر دیجیتالی بخوانید.

### نتیجه گیری و بحث

افزایش مقدار کوبش و در نتیجه بالا رفتن میزان فشردگی مخلوط ماسه، باعث افزایش استحکام میشود. اگر میزان فشردگی ثابت باشد، افزایش مقدار خاک رس باعث بالا رفتن استحکام خواهد شد.

استحکام فشاری تر و خشک یک قالب بستگی به شرایط قالب گیری از جمله میزان کوبش و مقدار رطوبت دارد همچنین با افزایش میزان کوبش، استحکام فشاری تر و خشک قالب افزایش مییابد و با افزایش درصد رطوبت میزان استحکام فشاری خشک قالب بالا رفته ولی استحکام فشاری تر کاهش مییابد.

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

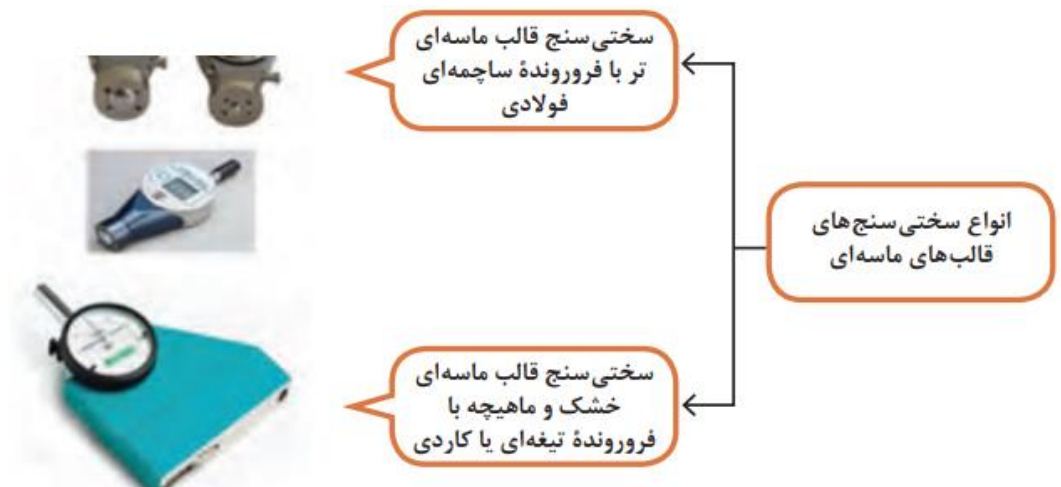
### تعیین سختی قالب

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

طبق تعریف سختی سطح قالب در واقع عبارت است از مقاومت سطح قالب در برابر نفوذ یک فرورونده فولادی (ساقمه یا تیغه کاردی) قابل تحرک و هر قدر مقاومت این سطح در برابر نفوذ قسمت فرورونده بیشتر باشد سختی آن بیشتر است.



سختی سنجی قالبهای ماسه ای بسته به نوع قالب، از سختی سنجهای مختلفی استفاده میشود که در دو نوع عقربه ای و دیجیتالی هستند.



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

### دستور کار انجام آزمایش:

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

### نتیجه گیری و بحث

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

### تعیین خرد شوندگی مخلوط ماسه تر

برای اندازه گیری و تعیین خرد شونده‌ی مخلوط ماسه تر از آزمایش ضریب خرد شونده‌ی (اندیس شاتر) استفاده می‌شود. این آزمایش معیاری از استحکام ماسه است به طوری که این استحکام با ضریب خرد شونده‌ی ماسه ارتباط مستقیم دارد. با استفاده از نتایج این آزمایش می‌توان قابلیت شکل پذیری ماسه را اندازه گیری و تعیین کرد.

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

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

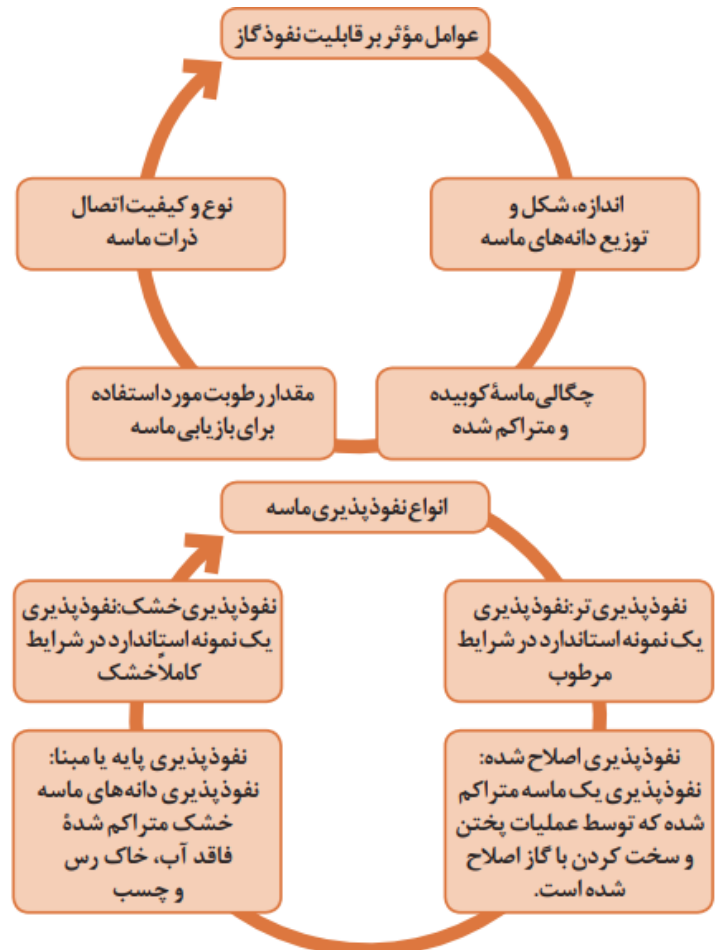
### نتیجه گیری و بحث

چقرمگی و ضریب خرد شونده‌ی یک مخلوط ماسه تر می‌تواند متأثر از عواملی مانند میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه باشد. به طور کلی ضریب خرد شونده‌ی (اندیس شاتر) در بدترین حالت صفر و در بهترین و ایده آل ترین حالت ۱۰۰ درصد است. دامنه خردشوندگی (اندیس شاتر) ماسه های قالب گیری در ریخته گری معمولاً بین ۸۰ تا ۹۰ درصد است. ص ۵۲ همچنین به کمک ضریب خرد شونده‌ی یا اندیس شاتر می‌توان کمیت دیگری به نام اندیس شکل پذیری را نیز به دست آورد، این اندیس نیز بر حسب درصد می‌باشد و رابطه آن به صورت زیر است:

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

### اندازه گیری قابلیت نفوذ گاز

نفوذپذیری میزان عبور گازها از میان فضای متخلخل ماسه قالب گیری است. مقدار هوا کشی و عبور گاز یک قالب ماسه ای 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 ریخته‌گری سالم قابلیت نفوذ گاز ماسه یا نفوذپذیری ماسه است. بنابراین کنترل و تعیین قابلیت نفوذ گاز می‌تواند نتایج بسیار مفیدی برای کیفیت قطعات ریخته‌گری داشته باشد.



به طور کلی برای تعیین قابلیت نفوذ گاز، معمولاً سرعت خروج هوا از یک نمونه ماسه ای را برحسب سانتیمتر مکعب در دقیقه در زمان معین و تحت فشار ثابت اندازه‌گیری میکنند. این سرعت در واقع میتواند مشخص کننده 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 سی سی آب) از درون یک نمونه ماسه‌ای به ارتفاع یک سانتی متر و سطح مقطع یک سانتی متر مربع عبور میکند را اندازه گیری می کنند.

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

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



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

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

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

### دستورکار انجام آزمایش:

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

۲. نمونه تهیه شده را به همراه استوانه استاندارد در محل مربوطه روی دستگاه تعیین قابلیت نفوذ گاز قرار دهید.

۳. دستگاه را مطابق دستورالعمل سازنده آن روشن کنید، پس از مدتی زمان و عدد قابلیت نفوذ گاز را از روی دستگاه بخوانید.

### نتیجه گیری و بحث

ماسه هایی که دانه های درشت تری دارند، فضای خالی مابین ذرات آنها بیشتر است و نفوذپذیری آنها از ماسه هایی با دانه های ریز بیشتر خواهد بود. گذشته از اندازه متوسط دانه ها، توزیع اندازه دانه ها نیز اثر قطعی بر نفوذپذیری دارد.

هر قدر اندازه دانه ها کمتر باشد و یا به عبارت دیگر عدد ریزی ماسه بیشتر باشد، فضای خالی مابین دانه ها کاهش پیدا میکند و نفوذپذیری و قابلیت عبور گاز کمتر میشود. نفوذپذیری قالب گذشته از عوامل دیگر به میزان متراکم سازی یا فشردگی بستگی دارد. اگرچه افزایش فشردگی قالب مقدار استحکام فشاری و سختی آن را بالا میبرد ولی قابلیت عبور گاز و نفوذپذیری کاهش پیدا میکند.

### پودمان دوم آزمایش های متالوگرافی

#### آشنایی با ساختار ریختگی فلزات و آلیاژها

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

به طور کلی فلزات ریختگی دارای سه ناحیه متمایز با ساختار دانه ای متفاوت میباشند که از سطح به مرکز قطعه عبارتند از:

ناحیه سریع سرد شده که در ناحیه تماس قطعه با جداره قالب ایجاد شده و به دلیل سرعت انجماد بالا دارای دانه‌های ریز می‌باشد.

ناحیه ستونی که در نواحی میانی قطعه ایجاد شده و دانه‌ها در خلاف جهت انتقال حرارت رشد کرده‌اند.

ناحیه دانه‌های هم محور مرکزی که در مرکز قطعه بوده و دانه‌ها در آن هم‌محور با جهت‌گیری نامنظم هستند.

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 با افزایش درصد عناصر آلیاژی و یا کاهش درجه حرارت ریختن مذاب وسعت ناحیه هم‌محور افزایش و وسعت ناحیه ستونی کاهش می‌یابد.

### ساختارهای کریستالی

در مواد جامد کریستالی اتمها هنگام انجماد با نظم و ترتیب و شکل هندسی خاصی قرار می‌گیرند، به طوری که یک ساختار شبکه‌های فضایی را به وجود می‌آورند که در همه جهتها تا سطح خارجی کریستال (دانه) تکرار میشوند. کوچکترین واحد از این شبکه فضایی را شبکه واحد یا سلول واحد مینامند. این سلول واحد که چگونگی قرار گرفتن اتمها یا یونها را نسبت به یکدیگر نشان میدهد میتواند از چند اتم تشکیل شده باشد و با تکرار سلولهای واحد در یک شبکه فضایی با مختصات معین در دمای محیط یک کریستال (دانه) به وجود می‌آید. در کریستالشناسی ۱۴ نوع شبکه واحد وجود دارد که به هفت سیستم تقسیمبندی شده و مهمترین آنها که مربوط به فلزات نیز است عبارتند از ساختار مکعبی با اتم در مرکز (Body-Centered Cubic)، ساختار مکعبی با وجوه مرکزدار (Face-Centered Cubic)، و شبکه هشت وجهی هگزاگونال (Hexagonal Close-Packed).

### انواع روشهای بررسی ساختمان داخلی فلزات و آلیاژها

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

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

**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.

**آنالیز توسط اشعه X:** با استفاده از این دستگاه میتوان ساختار شبکه ای فلزات را مطالعه کرد.

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

### متالوگرافی انواع روش های 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 دانه ها و سختی فلزات را بیابند، ارتباط بین ساختمان میکروسکوپی فولادهای سخت شده و خواص آنها پی ببرند. بنا به تعریف، متالوگرافی شاخه‌ای از علم مواد است که ساختار داخلی فلزات و آلیاژها و عیوب داخلی قطعات مثل ترک یا ناخالصی 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 و میکروسکوپی استفاده می شود.

**مطالعه ماکروسکوپی ساختار فلزات:** مطالعه ماکروسکوپی برای پی بردن به شکل انجماد (همه جانبه یا جهت دار)، اندازه دانه ها، وجود حفره های انقباضی، گازی و ترک ها به کار میرود. مشاهده در این روش معمولا با چشم غیر مسلح و یا با عدسی هایی با بزرگنمایی حداکثر ۲۰ برابر انجام میشود. این امر موجب میشود تا یک مطالعه اجمالی بر روی سطح وسیعی از نمونه مورد آزمایش انجام پذیرد و اغلب نیز اطلاعات اولیه ای راجع به کیفیت قطعه، یکپارچگی فلز و ساختار آن، انجماد و کیفیت عملیات نهایی (ریخته گری، کار مکانیکی، جوشکاری) به دست می آید.

### کاربردهای عمده ماکروسکوپی فلزات و آلیاژها

۱. مشاهده شکافها و حفره های بوجود آمده در اثر شرایط نامناسب ذوب، ریخته گری و انجماد.
۲. تعیین و تشخیص حفره های گازی و انقباضی در قطعات از یکدیگر.
۳. مشاهده شکل و اندازه دانه ها و تشخیص نوع انجماد.
۴. مشخص کردن ترک های به وجود آمده در قطعات آهنگری و نورد شده در هنگام کار مکانیکی یا عملیات حرارتی.
۵. تعیین مک های گازی ناشی از جوشکاری که در محل جوش به وجود می آید.

### مراحل آماده کردن نمونه برای مطالعه ماکروسکوپی



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

**ب) برش و سوهان کاری:** متداول ترین روش برای برش نمونه ها استفاده از اره دستی و یا کاتر (صفحه برنده از جنس اکسید آلومینیوم و یا سیلیسیم کاربید) همراه با مایع خنک کننده (آب) است و جهت صاف کردن مقطع برش آن را ابتدا سوهان درشت و سپس با سوهان ریز پرداخت و گونیا می کنند. در صورت امکان بعد از برش به جای سوهان کاری بهتر است با ماشینهای براده برداری مانند ماشین تراش مقطع برش خورده صاف و گونیا می شود. لازم به ذکر است در جریان برش و سوهان کاری باید دقت شود که نمونه بیش از حد گرم نشود.

**ج) سنباده کاری:** عملیات سنباده کاری معمولاً بر روی صفحات سنباده انجام میشود. این دستگاه دارای چند صفحه صاف و تخت که دارای شیب مشخص است. در هنگام سنباده زنی بر روی سنباده ها آب ریخته میشود تا از افزایش حرارت قطعه جلوگیری و براده های ایجاد شده، شسته شوند.

**د) آشکارسازی یا اچ کردن (حکاکي):** پس از آماده سازی نمونه برای آشکار کردن ساختار آن، نمونه را اچ میکنند. اچ کردن عبارت است از ایجاد خوردگی ضعیف توسط مواد خورنده در سطح نمونه. مواد اچ و روش اچ کردن برای فلزات و آلیاژهای مختلف متفاوت است. در جدول ۱ انواع محلولهای اچ و کاربردشان آمده است. فلزات خالص و آلیاژهای تک فاز که در ساختار خود ترکیب شیمیایی یکنواختی دارند و همگن هستند، به هنگام اچ کردن مرز دانه ها تحت خوردگی قرار میگیرند، زیرا به دلیل موقعیت نامنظم اتمها، انرژی بالاتری نسبت به خود دانه دارند.

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

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

#### روش حفظ و نگهداری از مواد اچ:

\_ جهت نگهداری اسیدها از ظروف شیشه ای تیره رنگ و در محلهایی که دور از نور خورشید باشد، استفاده شود.

بر روی ظروف نگهداری اسیدها و حلال ها، 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 به مرور زمان خاصیت خود را از دست می دهند.

#### مطالعه میکروسکوپی ساختار فلزات و آلیاژها

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

۱. کاربردهای عمده مطالعه میکروسکوپی فلزات و آلیاژها

۲. بررسی و شناسایی مک های گازی، انقباضی و ناخالصیها

۳. تعیین و تشخیص انواع فازهای تعادلی و غیر تعادلی موجود در آلیاژها

۴. تعیین روش تولید و عملیات انجام شده بر روی فلزات و آلیاژها

۵. متالوگرافی کمی.

مراحل تهیه نمونه برای مطالعه میکروسکوپی



**الف) انتخاب نمونه:** روش تهیه نمونه متالوگرافی میکروسکوپی شبیه نمونه متالوگرافی ماکروسکوپی است با این تفاوت که اندازه آنها معمولا  $1 \times 1 \times 1/5$  سانتیمتر در نظر گرفته میشود. برای جدا کردن نمونه ها با توجه به نوع آن از اره های دستی برای فلزات نرم مانند آلومینیوم، ضربات چکش برای فلزات و آلیاژهای سخت مانند چدن ها و از کاتر برای انواع فولادها استفاده میشود.

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

**ج) سنباده کاری:** در این مرحله نمونه ها به ترتیب توسط انواع سنباده های ریز تا درشت (از شماره ۱۲۰ تا ۲۴۰۰) به دقت و ظرافت تمام، سنباده کاری شده و آماده مرحله بعدی میشوند. سنباده کاری بر روی صفحات فلزی صاف به صورت دستی و یا صفحات فلزی گرد به وسیله دستگاه صفحه سنباده انجام میشود.



**د) صیقل کاری یا پولیش کردن:** حساسترین و مهمترین مراحل آماده سازی برای آزمایش متالوگرافی، پولیش کردن است. در این مرحله خراش های حاصل از سنباده زنی از بین رفته و سطحی کاملاً صاف و آینه ای به وجود می آید به طوری 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 پارچه های مناسب که مواد ساینده ای نظیر آلومینا، منیزیم اکسید، پودر الماسه یا سیلیسیم کاربید به آن اضافه شده، انجام میشود. پولیش کاری به وسیله دست و یا با استفاده از دستگاه پولیش همراه با مایع خنک کننده (آب) انجام میشود.

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

### مزایای الکتروپولیش در مقایسه با پولیش مکانیکی

یکنواختی و صافی سطوح

تسریع در پولیش نمونه ها

امکان استفاده از انواع نمونه ها

**ه) حک کاری یا اچ کردن:** درمورد اکثر فلزات و آلیاژها پس از پولیشکردن در زیر میکروسکوپ نوری متالورژی تصویری مشاهده نمیشود. چون زاویه تابش نور با زاویه بازتابش برابر است تصویری تشکیل نخواهد شد. به وسیله مواد خورنده فلزات، نظیر اسیدها با غلظتهای مختلف (محلول اچ) خوردگی روی سطح فلزات ایجاد میکنند، این خوردگی ضعیف باعث شکست نور شده و در نتیجه تصویر پدید می آید. برای اچ کردن معمولاً از مواد خاصی با درصد معینی استفاده میشود.

### میکروسکوپیهای نوری متالوگرافی

در بررسیهای متالوگرافی از میکروسکوپیهای نوری انعکاسی (بازتابی) جهت مشاهده سطح نمونه استفاده میشود. این میکروسکوپیها بطورکلی شامل عدسیهای چشمی و عدسی های شیئی و یک منبع نوری با شدت بالا هستند. در این میکروسکوپیها نور ایجاد شده به وسیله عدسیهای جمع کننده و توسط یک منعکس کننده به سطح نمونه مورد آزمایش تابانده میشود. در صورتی که در سطح قطعه فرورفتگی و برجستگی (در اثر اچ کردن) وجود داشته باشد، شعاع های نوری تابیده شده با بازتابش یکسان نخواهد بود، در نتیجه نور تابیده شده از محل فرورفتگیها شکسته شده و در همان نقاط محللهای تیره برای مشاهده تصویر به وجود می آیند.

میکروسکوپهای نوری متالوگرافی براساس قرارگرفتن نمونه روی میکروسکوپ به دو نوع معکوس و مستقیم تقسیم بندی میشوند. در نوع مستقیم نور از قسمت بالا به سطح قطعه تابیده شده و نمونه حتماً باید دارای دو سطح کاملاً موازی باشد و در نوع معکوس نمونه به طور معکوس روی میز دستگاه بالای عدسی شیئی قرار میگیرد و به موازی بودن دو سطح قطعه مورد آزمایش نیازی نیست.

برای به دست آوردن بزرگنمایی میکروسکوپ معمولاً عدد روی عدسی شیئی، در عدد عدسی چشمی ضرب میشود. به عنوان مثال اگر بزرگنمایی عدسی چشمی ۱۰ برابر و عدسی شیئی ۴۰ برابر باشد، بزرگنمایی میکروسکوپ  $10 \times 40 = 400$  برابر خواهد بود. به طور 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 بسته‌های که بر روی میکروسکوپها متصل است، استفاده میشود.

### انواع آلیاژها و نمودارهای فازی

ناحیه معینی از حالت فیزیکی یک ماده، که از نظر فیزیکی و شیمیایی همگن بوده و به وسیله سطحی مشخص از اجزای دیگر جدا میشود را یک فاز مینامند. به عبارت دیگر در موقع حرکت از یک نقطه به نقطه دیگر در ناحیه‌های از ماده، تغییر ناگهانی مشاهده نشود. به عنوان 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 به دست 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 در حالت مذاب و جامد کاملاً محلول بوده و یک فاز تشکیل بدهند، به آن محلول جامد میگویند. دو نوع محلول جامد وجود دارد که عبارتند از محلول جامد جانشینی و محلول جامد بین نشینی.

در محلول جامد جانشینی، اتمهای فلز حل شده جانشین اتمهای موجود در شبکه بلوری فلز حلال میشوند. مانند آلیاژ دوتایی مس - نیکل، که در این آلیاژ اتمهای نیکل بدون اینکه شبکه بلوری مس (FCC) به هم بخورد، جانشین اتمهای مس میشوند. در نهایت اتمهای مس و نیکل به صورت پراکنده در ساختمان بلوری توزیع میشوند. از دیگر محلولهای جامد میتوان به طلا - نقره، مس - روی تا حدود ۳۵ درصد (برنج) و غیره اشاره کرد.

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

دگرگونی یوتکتیک  
محلول جامد ( $\beta$ ) + محلول جامد ( $\alpha$ )  $\rightarrow$  مذاب

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

در اثر دگرگونی یوتکتیکی دو فاز با فاصله کم و دانه های بسیار ریز در کنار یکدیگر قرار میگیرند که این امر باعث شده ساختار یوتکتیکی از ساختارهای دو فازی ساده قابل تمایز باشد. به طور کلی آلیاژهایی با دگرگونی یوتکتیکی دارای خصوصیات و ویژگیهای زیر میباشند:

- نقطه ذوب آنها از عناصر تشکیل دهنده کمتر است.
  - از نظر شکل ساختاری دارای دو فاز مختلف بوده با توزیع یکنواخت است.
  - در نقطه یوتکتیک انجماد در دمای ثابت صورت میگیرد و پایین ترین دمای مذاب را دارد..
- آلیاژهای یوتکتوئیدی:** در دگرگونی یوتکتوئیدی یک فاز جامد به دو فاز جامد دیگر در دمای ثابت تبدیل میشود.

### ساختار متالوگرافی فولادها

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

### ساختار زمینه در فولادهای ساده کربنی:

الف) آستنیت ( $\gamma$ )

ب) فریت ( $\alpha$ )

ج) سمانتیت ( $Fe_3C$ )

### نمودار فازی آهن کربن

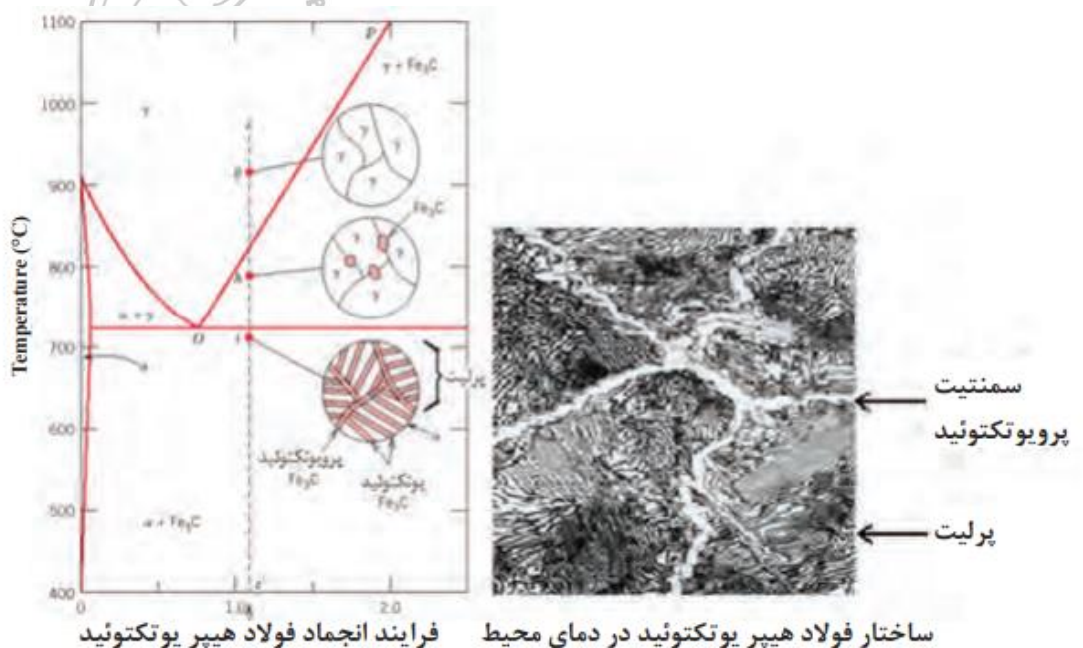
نمودار فازی آهن - کربن محدوده ترکیب شیمیایی و دمایی فازهای تعادلی را که در فولادهای ساده کربن پایدار میباشند را مشخص میکند و به دو صورت نمودار آهن - سمانتیت (نیمه تعادلی) و نمودار آهن - گرافیت (تعادلی) مورد بررسی و استفاده قرار میگیرد.

با توجه به اینکه در فولادها گرافیت به ندرت تشکیل میشود در نتیجه، نمودار تعادلی آهن - سمانتیت جهت مطالعه مناسب تر است.

**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 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.

**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 بزرگنمایی های کم به رنگ تیره و در بزرگنمایی های بزرگ به صورت اثر انگشت قابل مشاهده است.

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



ساختار متالوگرافی فولاد هیپر یوتکتوئید

آلیاژ آهن کربن که بیش از ۲/۰۶ درصد کربن دارند، چدن نامیده میشود. درصد بالای کربن و وجود عناصر آلیاژی مثل سیلیسیم باعث به وجود آمدن گرافیت در ساختار نهایی چدنها میشود. گرافیت حالتی از کربن است که پایدارتر از سمانتیت است.

با توجه به شکل، اندازه و توزیع گرافیت، چدنها به انواع چدنهای خاکستری (گرافیت لایه های)، نشکن یا داکتیل (گرافیت کرووی)، مالیبل یا چکشخوار (گرافیت برفکی)، چدن با گرافیت فشرده (بیضی شکل) و چدنهای خاص یا آلیاژی تقسیم بندی 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 می آید. به همین علت دو نمودار تعادلی آهن - سمانتیت و آهن - گرافیت در بررسی ساختار میکروسکوپی مورد استفاده قرار میگیرد.

#### ساختار چدن در سیستم تعادلی آهن - سمانتیت

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

الف) چدنهای هیپو یوتکتیک - ب) چدن یوتکتیک - ج) چدنهای هیپر یوتکتیک.

#### ساختار چدن در سیستم تعادلی آهن - گرافیت

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

الف) چدنهای هیپویوتکتیک - ب) چدن یوتکتیک - ج) چدنهای هیپر یوتکتیک.

#### ساختار میکروسکوپی چدن داکتیل (نشکن)



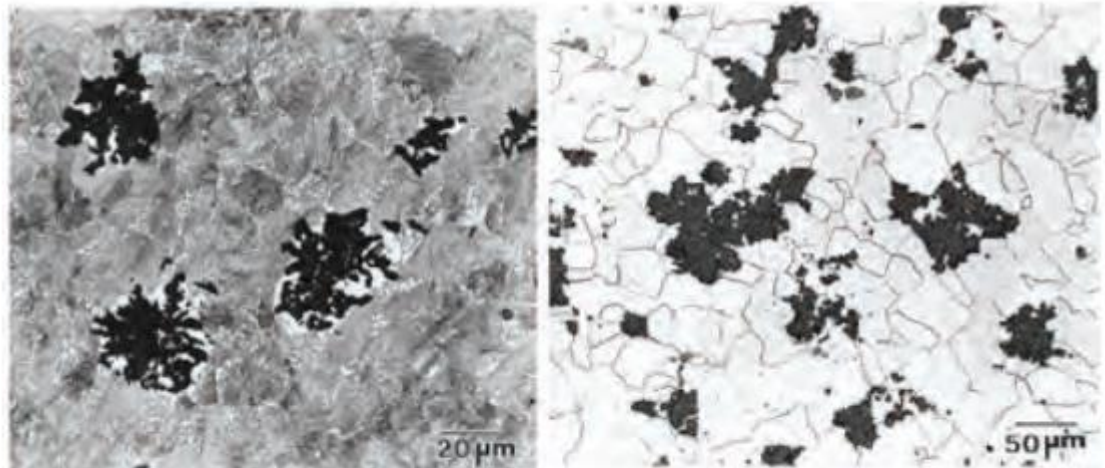
در چدن های داکتیل، گرافیت به صورت کروی شکل وجود دارد و به همین دلیل به این چدن‌ها، چدن با گرافیت کروی نیز گفته میشود. ترکیب شیمیایی چدن‌های داکتیل مشابه چدن های خاکستری بوده و کربن معادل آنها معمولا بالا است. درصد وزنی گوگرد در این چدن ها باید در حد بسیار پایین باشد. توزیع گرافیت ها از طریق شمارش آنها در هر میلیمتر مربع تعیین میشود. استاندارد

A ۲۴VASTM هفت نوع از توزیع گرافیت کروی را دسته بندی کرده است. چدن های داکتیل از استحکام بالاتری نسبت به چدن‌های خاکستری برخوردار بوده ولی ضریب انتقال حرارت آنها پایین تر است.

### ساختار میکروسکوپی چدن مالیبیل (چکش خوار)

چدن های مالیبیل از عملیات حرارتی چدن های سفید به دست می آیند. در چدن های سفید کربن به صورت گرافیت آزاد نبوده بلکه در ترکیب با آهن (Fe) فازمیان Fe<sub>3</sub>C را تشکیل میدهد. بر اساس ترکیب شیمیایی، زمان عملیات حرارتی، درجه حرارت سیکل عملیات حرارتی آنیل، چدن های مالیبیل را میتوان به دو دسته کلی تقسیم بندی کرد که عبارتند از چدن های مالیبیل فریتی و چدن‌های مالیبیل پرلیتی.

چدن های مالیبیل دارای خواص مکانیکی بهتری نسبت به چدن های خاکستری هستند. شکل زیر چدن مالیبیل نوع فریتی و پرلیتی را بعد از اچ نشان میدهد.



چدن مالیبیل پرلیتی

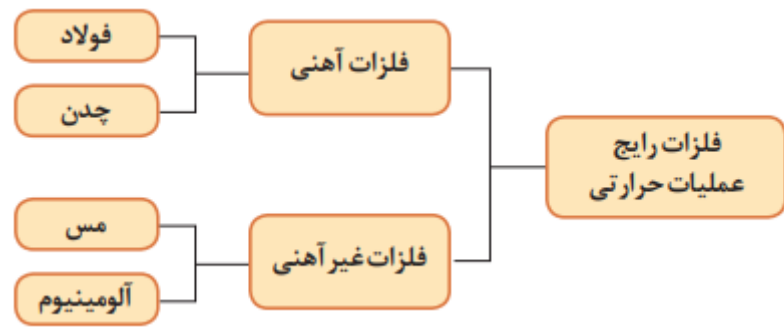
چدن مالیبیل فریتی

پودمان سوم سخت کاری

عملیات حرارتی



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، ریخته گری، 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 شگفت انگیز فولاد و کاربرد صنعتی آن بیش از ۸۰ درصد عملیات حرارتی به فولاد اختصاص داده شده است.



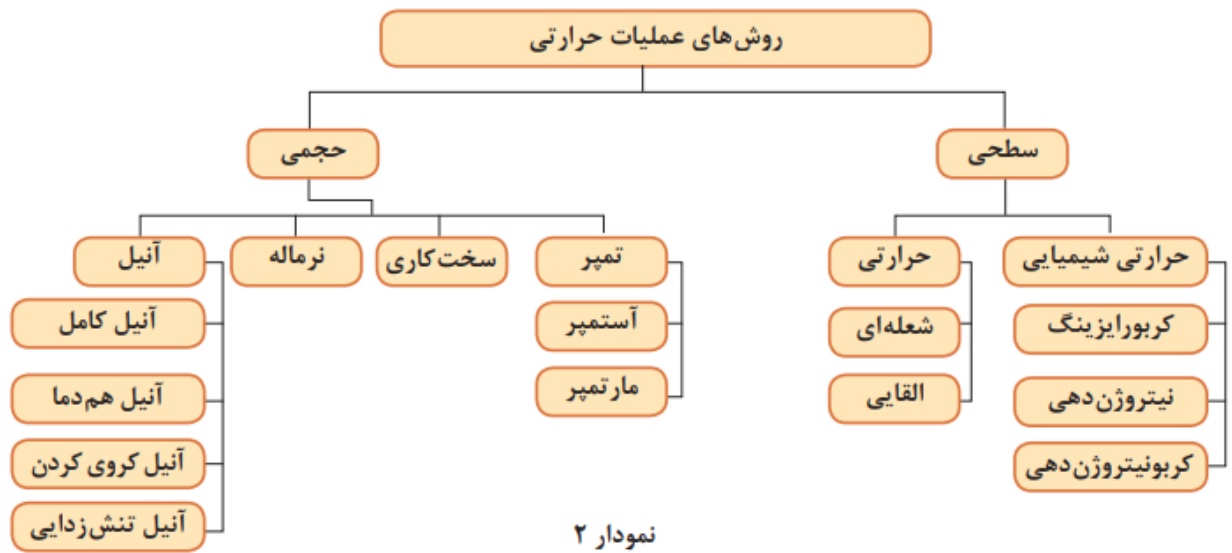
### اهداف عملیات حرارتی:

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

۱. افزایش سختی و استحکام
۲. نرم شدن و قابلیت شکل پذیری
۳. برگشت و یکنواخت کردن ساختار قطعات (حذف تغییرات ایجاد شده در ساخت یا شرایط کاری مثل جوشکاری، نورد، ماشینکاری و غیره)

### روش های عملیات حرارتی:

روشهای مختلفی برای عملیات حرارتی به منظور اهداف خاص صورت میگیرد که در نمودار ۲ نشان داده شده است.



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



### کوره های عملیات حرارتی

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

۱. **کوره های حمام نمک:** در ساده ترین حالت این کوره ها شامل یک پاتیل هستند که حاوی نمکی با نقطه ذوب پایین و المنتهای حرارتی غوطه ور در آن هستند. این نوع حمام ها فقط برای محدوده حرارتی (۳۴۵ - ۱۷۵) به کار برده میشوند. برای ایجاد دماهای بیشتر تجهیزات پیشرفته ترین لازم است.

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

باید محدوده دمایی کاری مناسب با توجه به دمای مورد نیاز داشته باشد.

نقطه ذوب مناسبی داشته باشد تا مانع از طولانی شدن زمان ذوب و گرمای لازم برای ذوب گردد.

نمک به کار رفته باید با سایر نمکها و سوختهایی که در فرایند عملیات حرارتی مورد نظر به کار میروند سازگار باشد.

نمک مورد نظر باید قابلیت جایگزینی و تغییر را داشته باشد. باید به آسانی شسته شود تا بتوان لایه ایجاد شده بر روی سطح قطعه را بعد از عملیات حرارتی به راحتی با شست و شو از بین برد.

**۲. کوره الکتریکی:** در این کوره ها گرمای لازم جهت آستنیتت کردن قطعات از المنت ها تأمین میشود در بیشتر کوره ها المنت ها در داخل کوره قرار دارد. ولی در بعضی کوره ها المنت ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره قرار دارند. اصولاً قرارگیری المنت ها در زیر دیرگداز (نسوز) کوره باعث افزایش کارکرد آنها میشود زیرا در صورتی که المنت ها در محفظه اصلی قرار گیرند، امکان برخورد قطعات به این المنت ها وجود دارد و این باعث آسیب رساندن به المنتها میشود. جهت یکنواختی بیشتر دمای کوره بهتر است در تمامی دیواره های کوره المنت قرارگیرد. کوره های الکتریکی به دوگونه مختلف تقسیم بندی میشوند:

الف) کوره های هوا درگردش - ب) کوره های بدون فن

**۳. کوره های شعله ای (سوخت گاز):** در این نوع کوره ها محفظه گرمایی و قطعاتی که باید عملیات حرارتی شوند توسط شعله گرم میشوند.

**۴. کوره خلأ:** گرم کردن قطعات در کوره های خلأ روش جدیدی است که در صنعت متالورژی کاربرد فراوانی پیدا کرده است. این کوره ها که هوای محفظه حرارتی آنها تا حد خلأ، تخلیه میشود اساساً برای عملیات حرارتی پیشرفته و موارد خاص که نیاز به حفظ ترکیب شیمیایی است به کار میروند.

**۵. کوره ها با اتمسفر کنترل شده:** برای رسیدن به بهترین خواص و حداقل آسیب به سطح قطعات نیاز به استفاده از اتمسفر محافظ در محیط کوره است. با توجه به اینکه فولادها دردمای بالا آمادگی لازم جهت اکسیداسیون را دارند در صورتی که کوره دارای اتمسفر محافظ نباشد هنگام عملیات حرارتی سطح قطعه به شدت پوسته کرده و سیاه میشود. برای جلوگیری از این مشکل از اتمسفر محافظ استفاده میشود. انواع گازهای محافظ عبارتند از:

۱. گاز خنثی

۲. گاز گرمازا (اگزوترمیک)

۶. **کوره های مداوم:** در بسیاری از کارخانجات و صنایع، کوره های عملیات حرارتی به دو نوع مداوم و غیر مداوم تقسیم بندی میشوند. کوره های غیر مداوم یا تک شارژ به کوره هایی اطلاق میشود که بعد از شارژ مواد و بسته شدن در کوره، سیکل از پیش تعیین شده عملیات اجرا میگردد. کوره های مداوم کوره هایی هستند که در آنها مواد از یک طرف شارژ و عملیات حرارتی صورت میگردد و از طرف دیگر تخلیه میشوند و اکثراً برای عملیات حرارتی قطعات ریز مانند پیچ و مهره استفاده میگردد.

### محیط های سردکننده

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

**آب:** یکی از متداول ترین محیط های سردکننده آب است. بیشترین قدرت سرد کنندگی آب در درجه حرارت بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس است. یادآوری میشود که با افزایش درجه حرارت تا بیش از ۶۰ درجه سلسیوس، قدرت سرد کنندگی آب به شدت کاهش می یابد. با اضافه کردن ۱۰ درصد سدیم کلرید (نمک طعام) و یا بی کربنات دو سود (جوش شیرین) به آب قدرت سرد کنندگی آب به میزان قابل ملاحظه ای افزایش مییابد. از طرفی شدت تلاطم نیز روی شدت سرد کنندگی محیط مؤثر است و باعث افزایش شدت سرد کنندگی میشود. زیرا موجب شکستن بخار آب حاصله و دور شدن حباب های بخار از اطراف قطعه میشود. در حالت کلی در فولادهای ساده کربنی جهت سرد کردن سریع (Quenching) و رسیدن به ساختارهای سخت میتوان از محیط های آبی استفاده کرد.

**روغن:** روغن نسبت به آب محیط سردکننده مناسب تری است. زیرا سرعت سرد کنندگی ملایم تری دارد. به همین دلیل استفاده از آن به عنوان محیط سردکننده برای فولادهای آلیاژی تا آلیاژ متوسط در ضخامت های کم استفاده میشود. در واقع روغن های عملیات حرارتی، روغن های صنعتی با پایه معدنی هستند که به عنوان سیال خنک کننده در عملیات سختکاری فلزات مورد استفاده قرار میگیرد.

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

### دستگاه سختی سنجی

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

**روش راکول:** در این روش که برای تمام فلزات به کار میرود بر اساس میزان فرورفتگی یک جسم سخت (ساچمه یا مخروط الماسه) در سطح قطعه مقدار سختی اندازه گیری میشود. در این روش سختی سنجی با توجه به نوع فرورونده و میزان نیروی اعمال شده به سه شیوه راکول A ، B و C انجام میشود.

**روش برینل:** روش سختی سنجی برینل برای تمام فلزات آهنی و غیر آهنی به کار میرود ولی این روش برای قطعات سخت کاری شده کاربرد ندارد و نمیتواند قطعات با سختی خیلی بالا را اندازه گیری نمود. در روش برینل یک ساچمه از جنس فولاد سخت شده (پرکربن یا سممانته شده) و یا تنگستن کاربید به قطر ۱، ۲، ۲/۵، ۵ و ۱۰ میلی متر با اعمال نیرو از ۱ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم نیرو بر سطح نمونه نفوذ میکند بعد از برداشتن نیرو قطر اثر ساچمه اندازه گیری میشود و سپس با مراجعه به جداول مخصوص با توجه به اندازه قطر اثر مقدار سختی از روی جدول به دست میآید.

**سختی سنجی به روش ویکرز:** سختی سنجی به روش ویکرز کمتر کاربرد صنعتی داشته و بیشتر یک روش آزمایشگاهی محسوب میشود. این روش دقت بالایی دارد و هزینه دستگاه نیز زیاد است. در این روش از یک هرم الماسی با قاعده مربع با زاویه رأس ۱۳۶ درجه، جهت تعیین میزان سختی مواد استفاده میشود. در روش ویکرز اثری که فرورونده ایجاد میکند به شکل لوزی متساوی الاضلاع بوده و توسط یک میکروسکوپ میکرومتردار قطرهای لوزی اندازه گیری میشود و همانند روش برینل بعد از اندازه گیری مساحت فرورفتگی با مراجعه به جداولی که برحسب نیروی مورد استفاده تنظیم شده است، میتوان عدد سختی ویکرز را به دست آورد.

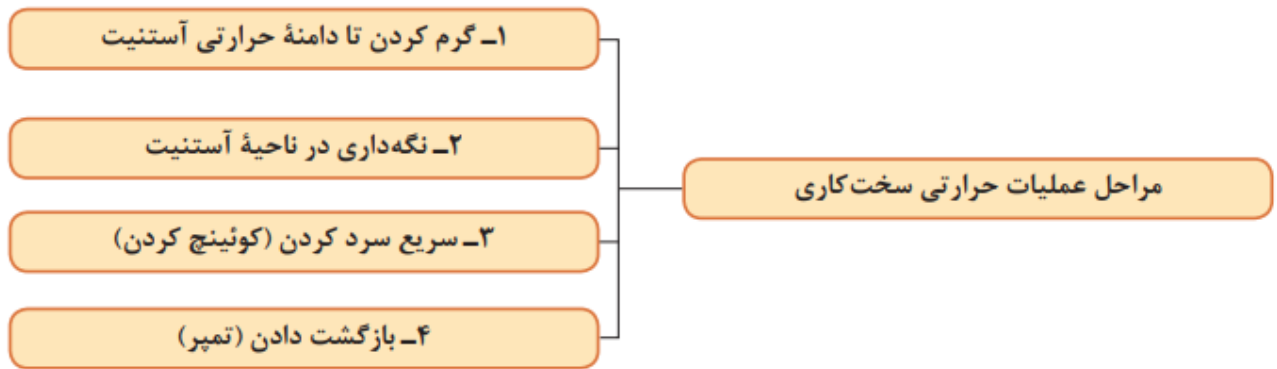
### عملیات حرارتی سخت کاری

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.

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

### مراحل عملیات سخت کاری

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



**نحوه تنظیم کردن دمای کوره جهت آستنیت کردن:** کوره های الکتریکی دارای سازوکاری هستند که میتوان دمای مورد نظر برای عملیات حرارتی را انتخاب و تنظیم کرد. دما در این کوره ها 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 کوره ها با محیط گازی (هوا، اتمسفر کنترل شده) در عمل نمونه ها به دو صورت در دامنه حرارتی آستنیت قرار میگیرند. اول اینکه نمونه در کوره قرار داده میشود و سپس کوره روشن شده و به دمای مورد نظر برسد. در این حالت نمونه و کوره با یکدیگر به دما میرسند و پس از رسیدن کوره به دمای مورد نظر زمان آستنیت کردن شروع میشود. در روش دوم کوره در دمای مورد نظر است و پس از آن نمونه در کوره قرار داده میشود. در این حالت نیاز به هم‌رنگ شدن داریم که در هنگام عملیات به طور مرتب از چشمی کوره، نمونه را مورد بررسی قرار میدهیم و هنگامی که نمونه در کوره محو شد عملاً دمای نمونه و کوره یکسان است. پس از این زمان، زمان قرارگیری در ناحیه آستنیت شروع میشود و همچنین در سقف این کوره ها از فن های گردش هوا جهت همگنی درجه دما (درجه سلسیوس) حرارت در داخل کوره استفاده شده است. **چیدمان قطعات داخل کوره:** بارگیری کوره و چیدمان قطعات با توجه به شکل و اندازه قطعه مورد نظر و کوره مورد استفاده انجام میشود. در عملیات حرارتی سختکاری چیدمان قطعات به دلایل زیر یک عمل بسیار مهم تلقی میشود.

۱. توزیع یکنواخت درجه حرارت بین قطعات

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

۳. جلوگیری از تاب برداشتن قطعات.

**نحوه قراردادن قطعات در کوره های حمام نمک**

۱. سیم بندی یا چیدن قطعات در نگهدارنده (fixture): در حمام های نمک به دلیل اینکه قطعات باید به صورت آویزان یا معلق در نمک مذاب قرار گیرند. قطعات در داخل نگهدارنده، سبد فلزی و یا سیم بندی هایی که به صورت دستی با سیم



فولادی بافته میشود قرار داده میشوند. هنگام قرار دادن قطعات در نگهدارنده یا سیم بندی باید به گونه ای عمل کرد که هنگام سریع سرد کردن باعث تاب برداشتن قطعات نشوند.

۲. **پیش گرم کردن سبد یا نگهدارنده های 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 کوره های پیش گرم با دمای حدود ۴۵۰ - ۳۰۰ درجه سلسیوس استفاده میکنند.

۳. **وارد کردن قطعات به کوره حمام نمک:** سبدها، نگهدارنده ها و قطعات سیم بندی شده پس از پیشگرم شدن برای آستنیته کردن وارد حمام نمک مذاب میشوند.

### نحوه وارد کردن قطعات به محیط سرد کننده

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

### برگشت دادن (Tempering)

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 ۲۰۰-۶۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده میشود و سپس به آرامی در هوا یا کوره سرد میشود. به طور کلی میتوان گفت تمپر کردن عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای A1، نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای محیط.

در اثر تمپر کردن تنش های داخلی کاهش یافته و یا حذف میشوند. بنابراین مقاومت در برابر ضربه (چقرمگی) افزایش مییابد اما استحکام و سختی قطعه کاهش مییابد.

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

### مراحل انجام فرایند:

۱. **قرارگیری قطعات در سبد:** در تمپر کردن به دلیل اینکه دمای عملیات بالا نیست نوع قرارگیری قطعات از اهمیت چندانی برخوردار نیست ولی تا حد امکان قطعات به صورت ایستاده عملیات 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 برنامه مورد نظر؛

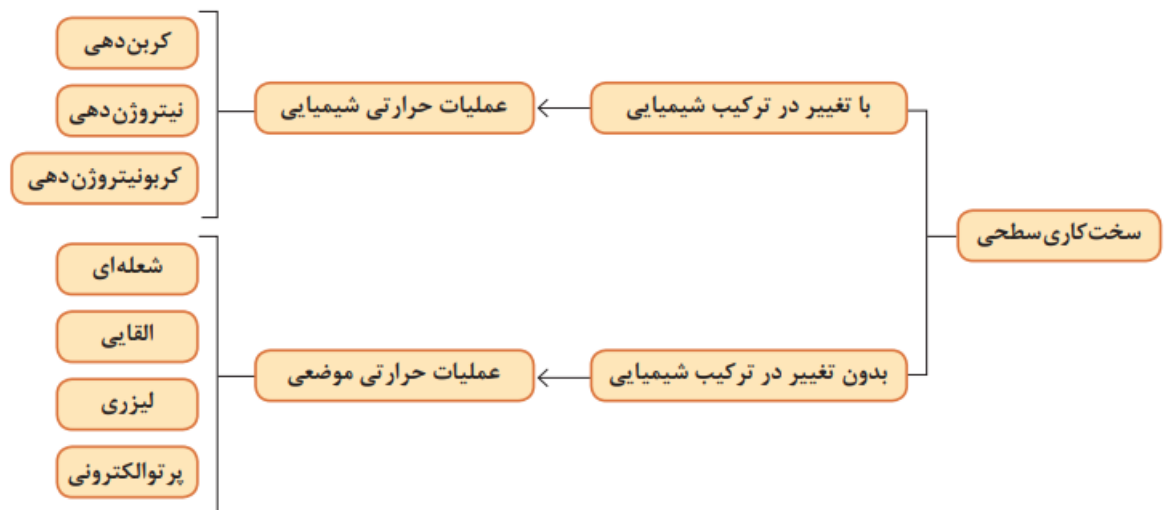
۵. سرد کردن قطعات در کوره یا هوا؛

۶. خروج قطعات از کوره.

### سخت کاری سطحی

برخی از قطعات در هنگام کار بر اثر وجود اصطکاک دچار سایش سطحی میشوند. این قطعات بهگون های 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.

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. دسته اول، عملیاتی که منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطح فولاد میشوند و به عملیات حرارتی شیمیایی مرسوم مانند کربوره کردن و نیتروبه کردن دسته دوم روشهایی که بدون تغییر در ترکیب شیمیایی سطح و فقط به کمک عملیات حرارتی که در لایه سطحی متمرکز شده است. باعث سخت شدن سطح میشوند و به عملیات حرارتی موضعی مرسوم اند، مانند سخت کردن شعله ای و سخت کردن القایی.



### فرایندهای تغییر در ترکیب شیمیایی

کربوره کردن: در صورتی که یک قطعه فولاد کم کربن (مثلاً ۰/۱۵ درصد) را در یک اتمسفر مناسب کربن قرار داده و در درجه حرارت بالایی نظیر ۹۲۵ درجه حرارت دهیم. کربن آزاد شده از محیط توسط سطح فولاد ابتدا جذب سطحی شده و

سپس به داخل آن نفوذ میکند. اگر چه این عملیات نیاز به زمان دارد ولی در مدت چند ساعت سطح قطعه مقدار قابل ملاحظه‌ای کربن تا ۱/۲ درصد جذب خواهد کرد.

**کربوره کردن جامد:** در روش کربوره کردن جامد از یک محیط جامد شامل مخلوطی از زغال و یک عامل انرژی زا استفاده میشود. عامل کربن زا (زغال چوب) و در حدود ۲۰-۶ درصد مواد انرژی زا است.

نمکهای کربناتی نظیر باریم کربنات، سدیم کربنات (سودا) و پتاسیم کربنات (پتاس) از عوامل انرژی زا هستند.

### نحوه چیدن قطعات فولادی در جعبه سمانتاسیون

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

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

شکل جعبه حتی الامکان باید طوری باشد که به عنوان یک دستگاه کربن دهنده عمل نماید جعبه‌های سمانتاسیون به شکل مکعب مستطیل و استوانه ای ساخته میشوند. عرض جعبه نباید از ۲۵ سانتیمتر تجاوز نماید تا انتقال سریع حرارت به داخل جعبه و همچنین برداشتن سریع جعبه از داخل کوره را امکان پذیر سازد.

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

**کربوره کردن مایع:** کربوره کردن مایع در مذاب مخلوط های نمک های سدیم سیانید (۲۰ تا ۵۰ درصد)، سدیم کربنات (۴۰ درصد) و مقادیر مشابهی از سدیم کلرید و یا باریم کلرید انجام میگردد. مخلوط مورد نظر را در بوتله هایی از جنس فولاد ریخته و ذوب میکنند و در دمایی بین ۸۷۰ درجه تا ۹۵۰ درجه سانتی گراد عملیات کربن دهی صورت میگیرد.

در این حمام عامل کربن زا نمک سدیم سیانید است و از نمکهای خنثی (سدیم کلرید و سدیم کربنات) به منظور به دست آوردن ترکیب شیمیایی مناسب، تنظیم غلظت سیانور، کنترل دمای ذوب و سیالیت حمام نمک استفاده میشود.

**کربن دهی گازی:** کربوره کردن گازی که نسبت به روش های جامد و مایع از قدمت کمتری برخوردار است به عنوان اقتصادی ترین و سریعترین روش برای تولید انبوه شناخته شده است. در کربوره کردن گازی قطعات کار را در ۹۰۰ درجه سلسیوس برای مدت ۳ الی ۴ ساعت، در اتمسفری که شامل گاز یا گازهایی باشد که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و تولید کربن اتمی کند، حرارت میدهند. معمولی ترین منبع کربن متان است و در صورتی که به تنهایی استفاده شود بر روی سطح قطعات دوده تشکیل میشود. از این رو گاز طبیعی را با گاز حامل که قابلیت کربن دهی بسیار کمی دارد مخلوط و استفاده میکنند. گاز حامل مخلوط گازی از نوع گرماگیر یا اندوترمیک (مخلوطی از نیتروژن، هیدروژن، و 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 محدوده ۱۰۴۱۲۰۰ درجه سلسیوس گرم کرده سپس از روی بستری از نیکل به عنوان کاتالیزور عبور میدهند. اتمسفر فوق معمولاً از هیدروکربنها نظیر گاز طبیعی متان (CH<sub>4</sub>) و یا پروپان (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) تشکیل شده است که به طور جزئی در کوره سوخته و یا اینکه با یک گاز رقیق کننده موسوم به گاز حامل مخلوط شده باشد.

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

عناصر فوق به محض تماس پیدا کردن با نیتروژن اتمی در سطح قطعه، با آن ترکیب شده و تشکیل نیتريدهای پایدار و سخت میدهند.

### سخت کردن شعله ای

در این روش سطح قطعه به کمک یک شعله گازی حرارت داده شده و پس از آستنیته شدن بلافاصله سریع سرد میشود. شعله مورد نیاز در این روش را میتوان از طریق مشعل اکسیژن و یک گاز قابل احتراق نظیر استیلن، پروپان و یا گاز طبیعی تهیه کرد. قطعات کوچک و یا مناطق موضعی نظیر لبه ابزارهای برش و یا انتهای آچارها را میتوان به کمک شعله دستی حرارت داد و سپس تمام قطعه را در آب سریع سرد کرد.

برای سخت کردن قطعات بزرگ و یا سطوح زیاد میتوان از دستگاه های خودکار که در آنها شعله و یک فواره آب تعبیه شده اند 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 فواره آب منطبق آستنیته شده را سریع سرد میکنند. قطعات با شکل های متقارن مانند میله های

استوانه ای شکل را میتوان در داخل یک مشعل حلقه‌ای شکل با حرکت دورانی ابتدا آستنیتته و سپس توسط فواره آبی که به دنبال مشعل و در فاصله نزدیکی از آن در حال حرکت است سریع سرد کرد.

### سخت کردن القایی

اصول این روش شبیه به سخت کردن شعله ای است، به این صورت که فقط سطح قطعه آستنیتته شده و سپس سریع سرد میشود اما در این روش حرارت دادن سطح به کمک سیم پیچ هادی که از آن جریان متناوب با فرکانس زیاد (در محدوده ۲ تا ۵۰ کیلوهرتز) عبور میکند انجام میگردد.

ضخامت سخت شده بستگی به فرکانس جریان دارد. هر چه فرکانس جریان بیشتر باشد عمق نفوذ جریان و بنابراین ضخامت لایه سخت شده کمتر خواهد بود. در این روش قطعه در مجاورت سیم پیچ حامل جریان قرار گرفته و پس از چند ثانیه به درجه حرارت آستنیتته میرسد و با فاصله سریع سرد میشود. در این روش میتوان سختی ۶۰ HRC را در برخی از فولادها تا عمق ۳ میلیمتر تولید کرد و به دلیل زمان کوتاهی که قطعه در درجه حرارت بحرانی بالایی قرار میگیرد، اکسید شدن، دی کربوره شدن و یا رشد دانه ها ناچیز است. مدت زمان حرارت دادن توسط جریان های القایی با فرکانس بالا بسیار کوتاه و اغلب در حدود چند ثانیه است.

### پودمان چهارم عملیات حرارتی آنیل و نرماله

#### آنیل

هنگامی که اپراتور دستگاه تراش یا دریل از نوع براده برداری 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 براده برداری بسیار آسان میشود و یا هنگامی که میخواهیم قطعات فولادی را تحت شکل دهی نورد و خم قرار دهیم جهت بهبود شرایط شکل دهی نیازمند فرایند آنیل هستیم. در واقع به هر گونه عملیات حرارتی که باعث تشکیل ساختارهای تعادلی با سختی کم و انعطاف پذیری 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 تنش های داخلی، سهولت کار سرد، بهبود چقرمگی، افزایش پایداری ابعادی، بازگشت فولاد به حالت قبل از کار سرد و تغییر خواص الکتریکی و مغناطیسی فولاد است. عملیات آنیل فولادها به یک سری فرایندهای مشخص و دقیق براساس دمای عملیات، روش سردکردن، ساختار و خواص نهایی به صورت زیر تقسیم بندی میشود.

۱. آنیل کامل

۲. آنیل هم دما

۳. آنیل تنش زدایی

۴. آنیل کروی سازی.

**آنیل کامل** آنیل کامل عبارت است از حرارت دادن فولاد در دامنه حرارتی آستنیت، نگهداری به مدت زمان لازم در این دما و سپس سرد کردن آهسته که معمولاً در کوره انجام میشود تا آستنیت به طور کامل تجزیه شود. دامنه حرارتی آستنیت کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن است.

**آنیل هم دما (Isothermal):** در این فرایند، ابتدا آستنیت کردن فولاد در همان دامنه حرارتی مربوط به آنیل کامل انجام می شود. سپس فولاد را سریعاً به زیر خط A1 می رسانند تا تجزیه 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 هم دما در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است ولی سختی نهایی بیشتر می باشد. از طرفی پرلیت حاصل ریزتر می باشد. از جمله اهداف کاربرد آنیل هم دما در رابطه با فولاد های آلیاژی برای به دست آوردن ساختار پرلیتی است.

**آنیل کروی کردن:** روش های متفاوتی برای فرایند کروی کردن به کار برده شده است که مهم ترین آنها عبارت اند از:

الف) حرارت دادن فولاد تا زیر دمای A1، نگه داشتن به مدت زمان کافی (۲۴-۵ ساعت) جهت کروی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط.

ب) حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فازی بین A1-A3 برای فولادهای هیپو یوتکتوئید و یا بین A1 - Ac1 برای فولادهای هایپر یوتکتوئید به منظور آستنیت کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای A1، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کروی شدن و سپس آهسته سرد کردن در هوا تا درجه حرارت محیط.

**آنیل تنش زدایی:** برخی از عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات، باعث ایجاد تنش های داخلی می شود که این تنش ها مخرب بوده و بر عملکرد قطعات تأثیر نامطلوب می گذارد. تنش های داخلی حاصل، ممکن است منجر به تاب برداشتن، ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنش هایی به مراتب کمتر از سطح تنش طراحی شده برای آنها شود. در واقع هدف از انجام تنش زدایی حذف یا کاهش تنش های باقیمانده از عملیات قبلی است.

**آنیل چدن**

از آنجا که قطعات چدنی عمدتاً به روش ریخته گری تولید می شوند پس از انجماد نیاز به فرایندهایی نظیر تمیزکاری سطح، عملیات حرارتی و ماشین کاری دارند در مورد چدن ها بررسی ها نشان داده اند که هر چه ساختار زمینه از فریت به سمت



پرلینت می رود عمر ابزار کاهش و توان مصرفی برای ماشین کاری افزایش می یابد به نحوی که زمینه فریتی بالاترین و زمینه پرلینتی ظریف یا دارای کاربید آزاد کمترین قابلیت ماشین کاری را دارد. قابلیت ماشین کاری به سختی و استحکام بسیار وابسته است به طوری که هر چه سختی و استحکام بالاتر باشد توانایی ماشین کاری پایین تر است. آنیل کردن چدن ها عبارت است از حرارت دادن قطعه در دمایی بالاتر از دمای بحرانی A1 و سپس سردکردن آهسته که معمولاً در کوره انجام می گیرد. در چدن ها فرایند آنیل برای از بین بردن تنش داخلی و به دست آوردن خواص ماشین کاری استفاده می گردد. روش های مختلفی برای آنیل کردن چدن ها وجود دارد.

## نرماله

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

## مراحل عملیات حرارتی نرماله

برای انجام عملیات حرارتی نرماله مراحل زیر طی میشود:

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

چند تفاوت عمده بین نرماله کردن و آنیل کردن وجود دارد. ۱. در نرماله کردن دمای آستنیتیزه کردن برای فولاد های هیپوپوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است. در حالی که برای فولادهای هیپر یوتکتوئید از گستره دمایی حدود ۵۰ درجه سلسیوس بالای ACM استفاده شده است. ۲. در عملیات نرماله کردن قطعات پس از آستنیتیزه شدن در هوا سرد می شوند. ۳. از آنجایی که در نرماله کردن فولادهای هیپوپوتکتوئید گستره دمایی آستنیتیزه کردن بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل است، ساختار آستنیت و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار است. ۴. با توجه به اینکه در نرماله کردن، قطعات در هوا سرد می شوند ریز ساختار های حاصل نسبت به آنیل ریزتر هستند بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرایند آنیل کردن، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف پذیری تا حدودی کاهش می یابد. در جدول صفحه بعد سختی فولاد های کربنی را در سه حالت نورد گرم، آنیل و نرماله نشان می دهد. همانطور که ذکر شد سختی در فرایند آنیل کمتر از فرایند نرماله است.

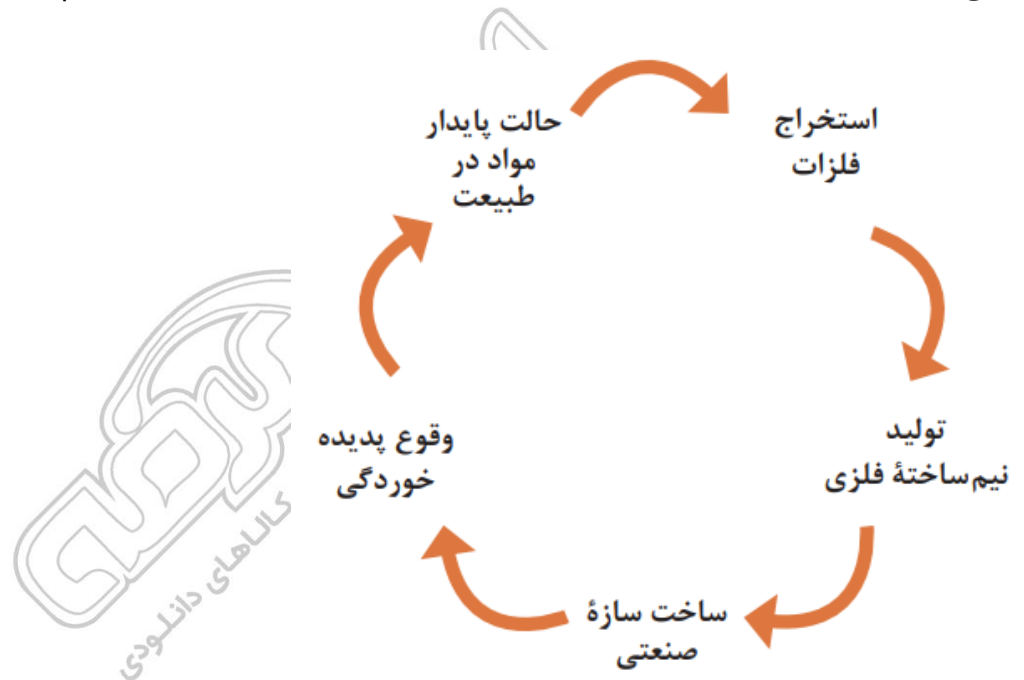
## خوردگی

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

– خوردگی به مفهوم تخریب تدریجی یا از بین رفتن تدریجی مواد در اثر فعل و انفعال با محیط اطراف خود است.

– از بین رفتن مواد در اثر عوامل شیمیایی و الکتروشیمیایی فرایند خوردگی عکس فرایند استخراج است.

هیچ فلزی در طبیعت تمایل ندارد به صورت فلز باقی بماند و تمایل به انجام واکنش با محیط اطراف خود دارد.

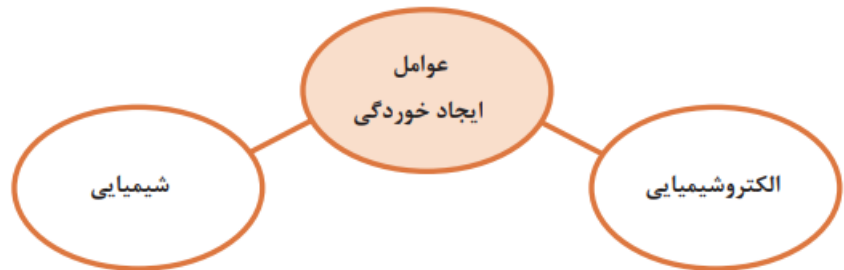


### اثرات زیانبار خوردگی:

۱. کاهش راندمان تولید و از کار افتادن خط تولید
۲. بال رفتن هزینه های تعمیر و نگهداری
۳. آلودگی محصولات صنعتی: اگر قوطی کنسرو خورده شود ماده غذایی داخل آن فاسد می شود.
۴. خطرات فاجعه آمیز: خوردگی لوله های سوخت در نیروگاه های اتمی
۵. آلودگی محیط زیست: هر تخریبی در نهایت منجر به آلودگی محیط زیست می شود.

### انواع خوردگی فلزات

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



شکل ۲- عوامل ایجاد خوردگی

### ۱. خوردگی شیمیایی

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

### ۲. خوردگی الکتروشیمیایی

الکتروشیمیایی واکنشی است که ۱- شیمیایی بوده و ۲- تبادل الکترون در آن صورت گیرد. به طوری که اگر یک مایع حاوی یون های مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهم جنس متصل به هم با یک هادی الکتروسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد.

آند: سطحی است که روی آن واکنش اکسیداسیون رخ می‌دهد و فلز تمایل به از دست دادن الکترون دارد. در نتیجه به طور معمول دچار انحال یا خوردگی می‌شود.

کاتد: سطحی است که روی آن واکنش احیا رخ می‌دهد و فلز تمایل به گرفتن الکترون دارد، در نتیجه دچار انحال یا خوردگی نمی‌شود.

الکترولیت: محلولی است که نقش آن هدایت جریان الکتریکی از طریق حرکت یون های مثبت و منفی در داخل آن می‌باشد.

## انواع خوردگی از نظر مکانیزم خوردگی

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

### خوردگی یکنواخت

خوردگی یکنواخت متداول ترین نوع خوردگی است. یکنواخت در سرتاسر سطحی که در تماس با محلول معمولاً به وسیله یک واکنش شیمیایی که به طور خورنده قرار دارد، مشخص میشود. فلز نازک و نازک تر شده و نهایتاً از بین می رود 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.

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

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

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

**۳ با استفاده از حفاظت کاتدی:** فلز وقتی خورده می شود که آند باشد. در حفاظت کاتدی فلز را از حالت آند درآورده و به کاتد تبدیل می کنیم.

سرعت خوردگی در خوردگی یکنواخت با استفاده از رابطه زیر به دست می آید:

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

### خوردگی گالوانیکی

در سال ۱۷۶۱ میلادی بررسی های تصادفی که بر روی کشتی های جنگی انجام شد واقعه ای جدی از نقش خوردگی را در تخریب مواد نمایان ساخت. کشتی های چوبی را با لایه ای نازک از مس می پوشاندند که برای این کار آنها را توسط میخ های فولادی محکم به بدنه کشتی نصب میکردند. بعد از چند مدت متوجه می شدند که ورقه ای مسی از بدنه کشتی در چندین

نقطه جدا شده است که به دلیل از بین رفتن میخ های فولادی بوده است ولی در بعضی نقاط که میخ های فولادی با لایه ای از کاغذ پوشانده شده بود، میخ ها دست نخورده باقی مانده بودند.

زمانی که دو فلز غیر هم جنس که در تماس الکتریکی با یکدیگر هستند، در معرض یک محلول هادی یا خورنده قرار بگیرند، خوردگی فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد، افزایش یافته و بر عکس، خوردگی فلز مقاوم تر، تقلیل می یابد. فلزی که مقاومت خوردگی کمتری دارد آندی شده و فلز مقاومتر (از نظر خوردگی) کاتدی می شود. این نوع خوردگی، خوردگی گالوانیکی یا دو فلزی نامیده می شود مکانیزم این نوع خوردگی، الکترو شیمیایی است.

### خوردگی شیاری یا شکافی

این نوع خوردگی معمولا در شیاریهایی که در معرض محیط خورنده قرار دارند منجر به خوردگی سوراخ، سطوح و اشرفا، محل روی هم قرار گرفتن دو فلز، رسوبات سطحی و شیاری های زیر پیچ موضعی شدیدی می شود و معمولا همراه با حجم های کوچک محلول ها یا مایعاتی که در اثر وجود مهره ها و میخ پرچ ها ساکن شده اند یا به اصطلاح حالت مرده پیدا کرده اند، ایجاد می شود.

این ساز و کار وقتی رخ می دهد که یک عامل خورنده در فاصله ای باریک، بین دو جزء وجود داشته باشد. با پیشرفت واکنش، غلظت عامل خورنده افزایش می یابد. بنابراین واکنش با نرخ فزاینده ای پیشروی می کند.

### خوردگی مرز دانه ای

این خوردگی میکروسکوپی است که گاهی خوردگی بین دانه ها و گاهی از داخل دانه شروع می شود که به ترتیب به آنها خوردگی بین دانه ای و درون دانه ای می گویند. این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که مرز دانه ها در یک فلز پلی کریستال به صورت ترجیحی مورد حمله قرار می گیرد.

چندین عامل می توانند آلیاژی مثل فولاد زنگ نزن آستنیتی را مستعد این نوع خوردگی کنند؛ از جمله حضور ناخالصی ها و غنی بودن یا تهی بودن مرزدانه از یکی از عناصر آلیاژی.

### خوردگی حفره ای

مخرب ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی است. این نوع خوردگی تقریباً همیشه به وسیله یون های کلر و کلرید ایجاد می شود و به ویژه برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است؛ چون در این خوردگی، قطعه با چند درصد کاهش وزن نسبت به وزن واقعی اش، به راحتی دچار شکست می شود. معمولا عمق این حفرات برابر یا بیشتر از قطر آنها است و با رشد حفرات، ماده سوراخ می شود. تفاوت آن با خوردگی شیاری در این است که در خوردگی شیاری، شیاری

از قبل روی قطعه وجود دارد ولی در این خوردگی معلوم نیست حفره از کجا و چه زمانی به وجود می آید پس خیلی خطرناک بوده و غیر قابل پیش بینی است. در محیط های شیمیایی و مرطوب همواره احتمال این نوع خوردگی وجود دارد.

### 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 به وجود می آید. در این فرایند یون های 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 می شوند.

این نوع خوردگی وقتی رخ می دهد که محیطی نسبت به یک محیط ثابت دیگر حرکت کند (به عنوان نمونه مایع یا دوغابی که درون یک لوله جریان دارد) یک پدیده مرتبط با این گونه خوردگی، سایش است که هنگام تماس دو ماده با یکدیگر و حرکت نسبی آنها از جمله ارتعاش به وجود می آید. این عمل می تواند پوشش های ضد خوردگی را از بین برده و باعث آغاز خوردگی شود.

### خوردگی تنش

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

خوردگی تنش عبارت است از ترک خوردن در اثر خوردگی توأم با تنش که نتیجه اعمال هم زمان تنش های کششی و محیط خورنده روی فلز است. در این شرایط ترکهای ریزی که ناشی از فرایند های خوردگی موضعی هستند، در داخل فلز یا آلیاژ پیشرفت می کنند.

### راهکار های جلوگیری از خوردگی

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

۱. طراحی مناسب

۲. انتخاب مواد مناسب

۳. تغییر شرایط محیط خورنده

۴. استفاده از پوشش محافظ.



به طور معمول ترکیبی از روش های مذکور برای حفاظت از مواد، مورد استفاده قرار می گیرد.

## پوشش دهی

یکی از دلایل اصلی استفاده از پوشش در سازه های صنعتی حفاظت آنها در برابر خوردگی می باشد.

پوشش به عنوان سدی در برابر حمله عوامل خورنده به سطح قطعه یا سازه عمل می کنند و مانع از تماس این عوامل با سطح می شوند.

پوشش ها عاوه 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 می روند. در انتخاب ماده پوشش عاوه بر توجه به خواص مورد نظر در ارتباط با کاربرد آن باید عوامل اقتصادی هم مورد توجه قرار بگیرد. پوشش دهی به فرایندی گفته می شود که در آن سطح یک ماده را با لایه ای از ماده دیگر بپوشانند.

## آبکاری الکترولیتی:

امروزه پوشش دهی الکتریکی (آبکاری) تا حدی توسعه یافته است که نه تنها مرحله نهایی تولید بعضی محصولات است بلکه برای ایجاد پوشش های محافظی مثل کادمیم، کروم یا اکسید آلومینیوم روی قطعات به کار می رود. پوشش دهی الکتریکی می تواند با فلزاتی نظیر نیکل، کروم، مس، روی، کادمیم، قلع، نقره، طلا و پاتین انجام پذیرد.

اساس پوشش دهی الکتریکی به این صورت است که در اثر عبور جریان مستقیم از یک الکترولیت فلز محلول در آن روی کاتد رسوب کرده و سپس مقداری از فلز آند وارد محلول می شود به این ترتیب ترکیب الکترولیت ثابت می ماند.

با استفاده از برق جریان مستقیم و یک مایع الکترولیت می توان لایه نازک و یکنواختی از یک فلز را بر روی فلزی دیگر قرار داد.

**پاشیدن فلز مذاب به کمک پیستوله (Metal spray):** در این روش به کمک پیستوله، فلز پوشش را که به صورت مفتول و یا پودر است از طریق حرارتی که به وسیله گاز قابل اشتعال و یا قوس الکتریکی تأمین میشود به صورت مایع درمی آورند و سپس به کمک هوای فشرده به صورت ذرات ریزی بر روی قطعه مورد نظر میپاشند

با این روش می توان فلزاتی مانند روی، آلومینیوم و فولادهای آلیاژی را نیز به عنوان پوشش بر روی فلز مورد نظر اعمال کرد. استفاده از روش پاشیدن به کمک پیستوله، همیشه به عنوان پوشش محافظ در مقابل خوردگی مورد استفاده نیست بلکه در تعمیرات نیز ممکن است به کار گرفته شود.

## آلیاژ کردن سطحی:

این روش بر مبنای انتقال حرارت از طریق برخورد سطحی مولکول هایی بنا شده است که باعث ایجاد اختلاط ذرات در محل برخورد میشوند. به عنوان مثال میتوان از کرومدار کردن سطح فولاد ها نام برد که در این روش لایه نازکی از سطح خارجی قطعات را به وسیله کروم آلیاژ میکنند. از محاسن کرومدار کردن می توان 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 مقایسه اند.

### روکش فلزی:

نیمه ساخته ها، مانند ورق یا پروفیل را که از فلزات سنگین و یا فلزات سبک ساخته شده باشند میتوان به وسیله کشیدن یک صفحه فلزی مقاوم در برابر خوردگی بر روی آنها به کمک نورد پوشش داد. موادی که برای روکش فولاد ها انتخاب میشوند معمولا عبارت اند از:

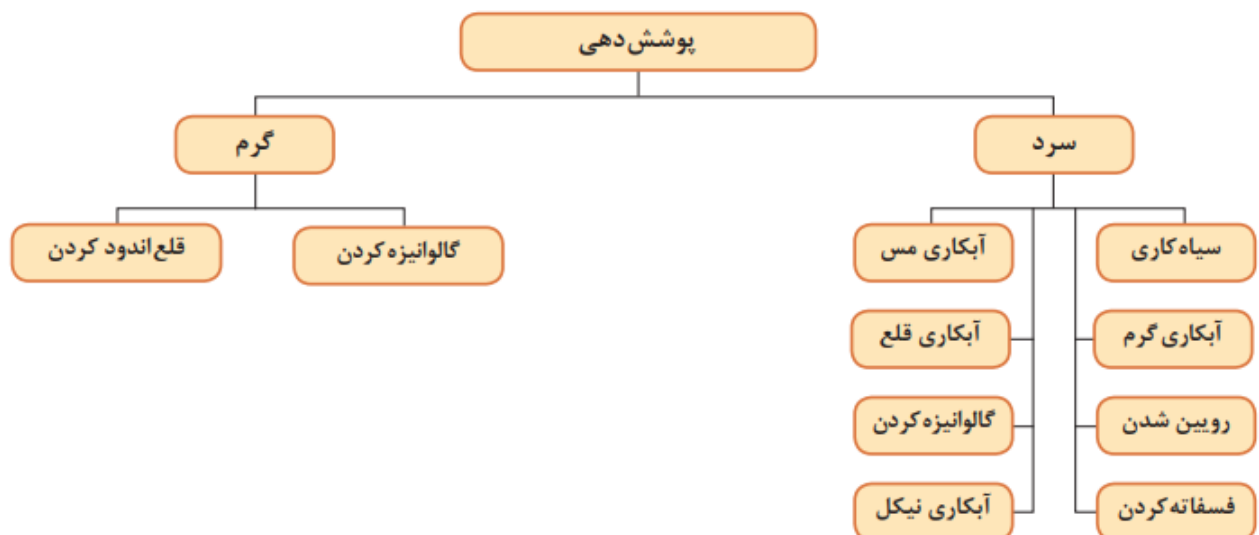
مس، برنج، نیکل و آلومینیوم.

### آماده سازی سطح قطعات برای پوشش دهی

جهت آماده سازی سطح فلزات برای پوشش دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارت اند از: ۱. سنباده زنی، ۲. چربی زدایی و ۳. اکسیدزدایی.

### عملیات پوشش دهی

پوشش دهی فلزات به دو صورت سرد و گرم می تواند انجام شود.



### فسفاته کردن

هرساله صد ها هزار دستگاه خودرو در کارخانجات مختلف خودروسازی تولید می شوند. بدنه کلیه خودروها تحت عملیات رنگ کاری قرار می گیرند و از آن جایی که بدنه اتومبیل تحت سخت ترین شرایط جوّی و محیطی قرار دارد دستیابی به پوشش رنگ نهایی که بالاترین مقاومت در برابر خوردگی و تنش های 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.

سه پوشش عمده فسفاته در صنعت عبارت اند از:

۱. **روی فسفات:** این نوع پوشش فسفاته جهت افزایش مقاومت سایشی، به عنوان ضد زنگ پایه رنگ و روغن، کمک به شکل دهی سرد و کشش سیم و تیوب به کار می رود.

۲. **آهن فسفات:** به عنوان پایه رنگ به کار می رود. به دلیل چسبندگی خوب این پوشش، رنگ در مقابل پوسته ای شدن ضربه ای به خوبی مقاومت می کند. مقاومت خوردگی آهن فسفات از روی فسفات کمتر است.

۳. **منگنز فسفات:** بر روی قطعات آهنی برای جلوگیری از کنده شدن سطحی و قفل شدن قطعات با یکدیگر در هنگام کار اعمال می شود.

### سیاه کاری

سیاه کاری به فرایند ایجاد یک لایه اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی است که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نام گذاری آن به فرایند سیاه کاری شده است.

هدف از ایجاد این لایه بر سطح قطعات، به دلیل مقاومت بالای پوشش به خوردگی اتمسفری خصوصاً در محیط های مرطوب است و بیشتر در مقاصد انبارداری قطعات و ورقه ای فولادی، کاربرد دارد. هرچند در ابتدا، مهم ترین جنبه استفاده از این پوشش ها در صنایع نظامی و جهت پوشش بدنه اسلحه ها، بوده است.

### مزایای سیاه کاری

مقاومت خوردگی - مقاومت به سایش مداوم - ضد چسبندگی - روانکاری - زیبایی ظاهری پوشش - کاهش براقیت قطعه - آماده سازی سطحی - رسانایی.

### مس اندود کردن فولاد

به علت اینکه بعضی از فلزات بر روی فولاد ها چسبندگی بالایی ندارند و هنگام پوشش دهی کیفیت و عمر لایه پوششی در برخی از فلزات پایین است، ابتدا یک لایه واسطه از فلزی را که چسبندگی خوبی هم با فولاد و هم با فلز پوششی مورد

نظر دارد، بر روی فولاد پوشش می دهند تا چسبندگی عالی داشته باشد. در پوشش دهی قلع نیز ابتدا فولاد را مس اندود می کنند تا پوشش قلع کیفیت بالایی داشته باشد. در این بخش نحوه مس اندود کردن فولاد و آماده سازی سطح آن برای پوشش دهی قلع گفته شده است و فرایند آبرکاری مس نیز به طور کامل در بخش های بعدی آورده شده است.

### پوشش دهی قلع

قلع اندود کردن فرایندی است که بر روی فولاد یا آهن کار شده لایه نازکی از قلع پوشیده می شود، محصول نهایی به دست آمده از این فرایند ورق قلع اندود است. این ورق اغلب برای جلوگیری از زنگ زدگی استفاده می شود.

قلع از فلزاتی است که ذاتاً به راحتی اکسید می شود و از طریق ایجاد اکسید در مقابل اتمسفر مقاوم می شود و در محیط های بسیار خورنده مثل اسید ها و نمک ها، به خوبی پایداری می کند. به همین دلیل در موارد حساس که خوردگی قابل کنترل است از قطعات قلع یا پوشش های قلع استفاده می شود. پوشش های قلع را به روش های غوطه وری در مذاب، آبرکاری، پاششی و جابه جایی شیمیایی تهیه می کنند.

### آبرکاری نیکل

نیکل اولین فلزی است که در صنعت از طریق آبرکاری به عنوان پوشش به کار گرفته شده است. نیکل فلزی است سفید رنگ که رنگ پوشش آن نقره ای روشن و متمایل به زرد است. برای اینکه از زرد یا کدر شدن نیکل در فضای آزاد جلوگیری شود از سال ۱۹۲۵ بر روی پوشش های نیکل لایه نازکی از کروم به صورت الکترولیتی پوشش داده می شود که این روش بعد ها به پوشش های چند لایه نیکل منجر گشت.

آبرکاری نیکل برای کاربرد های تزیینی، با افزودن مواد مناسب به محلول آبرکاری پوشش هموار و براق رسوب می کند. با اعمال پوشش نهایی کروم، طا یا نقره سطح قطعات بسیار جذاب و بادوام می شود

### گالوانیزه سرد

آهن گالوانیزه آهنی است که با فلز روی پوشانده شده است. این آهن، حتی اگر پوشش آن هم شکستگی پیدا کند، از زنگ زدن محفوظ 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 به کار 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.

از کاربردهای آهن گالوانیزه در ساختن لوازمی مانند لوله بخاری، کانال کولر، کابینت آشپزخانه، شیروانی منازل، لوله های آب و هر جا که احتمال خوردگی آهن و خسارت وجود دارد، استفاده میشود.

### آندایزینگ آلومینیوم

به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل یک لایه نازک اکسیدی بر روی قطعات آلومینیومی شده و باعث افزایش سختی، مقاومت در برابر خوردگی، ایجاد نمای تزئینی و تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی می‌گردد آندایزینگ اطاق می‌شود. در این روش لایه متخلخل و سختی از آلومینیوم اکسید بر سطح فلز ایجاد می‌شود. مکانیزم کلی عمل به این صورت است که جریان مستقیم برق از مایع الکتrolیت مناسبی می‌گذرد که در آن آلومینیوم آند بوده و فلز مناسب دیگری مثل سرب به عنوان کاتد است. در این صورت بر سطح آلومینیوم یک لایه نازک از اکسید ایجاد می‌شود که ضخامت آن به عوامل گوناگونی بستگی دارد.

### از مزایای آندایز کردن آلومینیوم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

افزایش مقاومت فلز به خوردگی؛ افزایش خاصیت عایق بودن نسبت به الکتروسیته؛ بهبود چسبندگی رنگ بر سطح فلز؛ افزایش مقاومت سایشی ماده؛ افزایش روانکاری سطح فلز؛ بهبود ظاهری و براق شدن سطح و در نتیجه امکان پذیر شدن انجام رنگ کاری های مختلف.

### مراحل آندایزینگ آلومینیوم

پرداخت کاری مکانیکی؛ اتصال قطعه به قاب؛ تمیزکاری قلیایی؛ شست و شو با آب؛ غوطه وری در نیتریک اسید ۵۰٪ حجمی؛ شست و شو با آب؛

### گالوانیزه گرم

گالوانیزه گرم فرایندی است که در طی آن پوشش چسبنده و محافظی از فلز روی یا ترکیبات آن توسط فروبردن قطعات فولادی و چدنی در روی مذاب بر روی این قطعات تشکیل می‌شود. پوشش محافظ معمولاً از لایه های مختلفی تشکیل شده است. لایه هایی از پوشش که به فلز پایه نزدیک ترند، در واقع آلیاژهایی از آهن و روی هستند که به نوبه خود توسط لایه خارجی که تقریباً از روی خالص تشکیل شده است پوشیده شده اند.

ساختمان پیچیده این لایه که تشکیل یک پوشش گالوانیزه را می‌دهند از نقطه نظر ترکیب شیمیایی تفاوت های زیادی باهم دارند و خواص فیزیکی و شیمیایی یکسانی ندارند. خواص مذکور در این لایه ها تحت تأثیر فعالیت شیمیایی، نفوذ و نحوه خنک شدن بعدی قرار دارد. همچنین تفاوت های جزئی در ترکیب شیمیایی حمام مذاب (پوشش)، دمای حمام، زمان غوطه وری در حمام، سرعت خنک شدن و حرارت دهی مجدد (در موارد خاص و به منظور مقاصد خاص انجام می‌شود) می‌تواند سبب تغییرات چشمگیری در ظاهر و خواص پوشش گردد.

### کاربرد پوشش های گالوانیزه گرم

پوشش های گالوانیزه اساساً به منظور ایجاد حفاظت در برابر خوردگی بر قطعات فولادی و چدنی اعمال می شوند. موارد استفاده از پوشش های گالوانیزه گرم بسیارند که برخی از آنها عبارت اند از:

۱. فولاد های ساختمانی به کار رفته در نیروگاه ها، تأسیسات پتروشیمی، مبدل های حرارتی، کویل های خنک کننده و دکل ها و تیر های انتقال نیرو.
۲. قطعات سازه پل ها، کانال ها، لوله های فولادی کرکره شده و قوس های دیگر.
۳. مقاوم کردن فولاد به کار رفته در برج های خنک کننده، بتن های پیش ساخته، معماری و قسمت های مسطح پل ها که در معرض خوردگی کلرید ها قرار دارند.
۴. سخت افزار به کار رفته در سازه های برق رسانی، خطوط انتقال نیرو و خط آهن.
۵. حفاظ های بزرگراه ها، روشنایی های در سطوح بالا و پل های ساخته شده جهت نصب تابلو های عایم.
۶. ستون ها و ریل های واقع در نواحی دریایی.
۷. شبکه ها، نردبان ها و محفظه های ایمنی.

#### 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 غوطه وری که ضخامت لایه آلیاژ را کنترل می کند.
- ۲- سرعت بیرون کشیدن قطعات از حمام مذاب که کنترل کننده ضخامت الیه روی خالص چسبیده بر سطح قطعات است.
- ۳- دمای حمام مذاب که هم ضخامت لایه آلیاژ و هم ضخامت لایه روی خالص را کنترل می کند.

#### حمام گالوانیزاسیون

حمام روی مذاب معمولاً در دمای بین ۴۴۵ تا ۴۶۵ درجه سلسیوس جهت کار تولیدی کنترل می شود. بسته به ترکیب شیمیایی فولاد یا چدن، دمای حمام مذاب روی می تواند تأثیرات بسیار زیادی بر روی خواص متالورژیکی پوشش داشته باشد.



استفاده از حمام روی خالص مشکلاتی به همراه دارد که برای رفع آن حمام را به صورت آلیاژی از فلز روی تهیه می کنند که به فرایند پلیگالوا معروف است. پلیگالوا اساسا آلیاژی از روی است که دارای مقادیر کمی تأخیر انداختن تشکیل لایه بین فلزی و سایر عناصر به منظور حصول اطمینان از یکنواختی پوشش به کار گرفته شده است.

### 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 اختال در کارایی آنها شود، در سبد های مخصوص، گالوانیزه می شوند و بافاصله بعد از خروج از مذاب به داخل دستگاه سانتریفیوژ منتقل و چرخانده می شوند. برطرف شدن روی موجود در سطح قطعه، موجب نازک شدن پوشش باقی مانده بر سطح، نسبت به حالت عادی می شود که این نازک شدن می تواند روی بسیاری از مشخصات پوشش تأثیر بگذارد.

بعد از سانتریفیوژ، قطعات را به سرعت به داخل آب فرو می برند تا پوشش گالوانیزه ثابت شود و قطعات به یکدیگر نچسبند. پس از انجماد نیز روی، در دمای زیاد می تواند به نفوذ خود در آهن ادامه دهد و همچنین آهن به خارج نفوذ می کند، در نتیجه زیاد شدن لایه آلیاژی و رسیدن آن به سطح، رنگ پوشش متمایل به خاکستری می شود. این موضوع ممکن است خریدار را به مرغوبیت محصول مشکوک کند اما ثابت شده است که اگر ضخامت آن یکسان باشد این پوشش خاکستری تقریبا همان مقاومت به خوردگی پوشش شفاف را دارد و تنها اختاف در سرعت سرد کردن است که رنگ شفاف و یا مات (خاکستری) را ایجاد می کند.

برای جلوگیری از این مشکل و شفاف شدن پوشش باید بافاصله بعد از خارج کردن قطعات از مذاب، آنها را با یک کمپرسور هوا تا حدود ۳۵۰ درجه سرد کرد و بلافاصله در آب سرد کرد. سرد کردن در آب مزایایی دارد مانند زدودن بقایای فاکس و حفاظت در مقابل خوردگی. همچنین برای شفاف کردن پوشش مقادیر کمی روغن و یا صابون برای براق شدن لایه سطحی به آب اضافه می شود. آبی که برای سرد کردن قطعات به کار می رود به علت وارد شدن بقایای فاکس در آن الزم است به طور متناوب عوض شود.

## ❖ فصل دوم: نکات مهم عملیات تغییر خواص متالورژیکی فلزات پایه دوازدهم کد

### ۲۱۲۵۳۵ تالیف ایران عرضه

- ۱- روش های مختلفی برای بیان نتایج و ارائه وضعیت عدد ریزی ماسه وجود دارد، که یکی از پر کاربردترین آنها رسم نمودار درصد باقی مانده به صورت ستونی است.
- ۲- عدد ریزی ماسه راهی سریع برای بیان متوسط اندازه دانه های یک ماسه است و مقدار آن میتواند برای مقایسه درجه ماسه با ماسه های دیگر به کار رود یا برای کنترل ماسه ذخیره یا ماسه در گردش یک کارگاه ریخته گری مورد استفاده قرار گیرد.
- ۳- اندازه و پخش ذرات ماسه بسیاری از خواص مخلوط ماسه قالب گیری را تحت تأثیر قرار میدهد. ذرات ریز ماسه در حالیکه سطوح صافی را در قالب به وجود میآورند باعث کاهش قابلیت نفوذ گاز میشوند. اما ذرات درشت از دیرگدازی و قابلیت نفوذ گاز بیشتری برخوردار هستند.
- ۴- خاک رس متداولترین چسب مورد استفاده در مخلوط های ماسه قالب گیری است.
- ۵- مهمترین خاصیت خاک رس تشکیل ساختمان لایه ای نازک و توانایی جذب یون های فلزی و آب است.
- ۶- میزان خاک رس موجود در مخلوط های ماسه قالب گیری با چسب خاک رس بر روی بسیاری از خواص فیزیکی ماسه ریخته گری تأثیر دارد.
- ۷- ماسه های قالب گیری را میتوان براساس میزان خاک رسی که به همراه دارند به دو صورت ماسه اشباع شده از خاک رس یا ماسه اشباع نشده از خاک رس دسته بندی کرد.
- ۸- رطوبت عبارت است از آب ظاهری موجود در ماسه به میزان  $\frac{5}{3}$  تا ۸ درصد که با وجود خاک رس باعث بالا رفتن خاصیت شکل پذیری (پلاستیسیته) و استحکام تر ماسه میشود.
- ۹- به طور کلی میزان رطوبت مخلوط ماسه علاوه بر میزان چسب موجود در آن، با توجه به روشهای قالب گیری هم میتواند متغیر باشد به طوریکه در قالب گیری دستی میزان رطوبت ماسه معمولاً بین ۶ تا ۸ درصد است، در حالی که در قالب گیری های ماشینی و تحت فشار بالا میزان رطوبت بین  $\frac{5}{3}$  تا  $\frac{5}{4}$  درصد است.
- ۱۰- کنترل میزان رطوبت مخلوط ماسه قالب گیری جهت بالابردن قابلیت قالب گیری و تولید قطعات سالم و بدون عیب اهمیت فراوانی دارد.

- ۱۱- عواملی چون میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه بر استحکام مخلوط ماسه قالب گیری اثر میگذارد. افزایش کوبش و در نتیجه بالا رفتن میزان فشردگی مخلوط ماسه، باعث افزایش استحکام فشاری میشود.
- ۱۲- 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 ریخته گری به وجود می آید.
- ۱۳- استحکام برشی ماسه عبارت است از حداکثر تنش برشی که یک نمونه استاندارد می تواند تا مرحله برش و گسیختگی تحمل کند.
- ۱۴- طبق تعریف سختی سطح قالب در واقع عبارت است از مقاومت سطح قالب در برابر نفوذ یک فرورونده فولادی (ساجمه یا تیغه کاردی) قابل تحرک و هر قدر مقاومت این سطح در برابر نفوذ قسمت فرورونده بیشتر باشد سختی آن بیشتر است.
- ۱۵- استحکام قالب عبارت است از میزان فشاری که سطوح قالب بدون تخریب میتواند تحمل کند. یا به عبارتی میزان باری که سطح یک قالب به هنگام اعمال بار ناشی از یک نفوذ سنج فنی میتواند تحمل کند. وسیله ای که برای اندازه گیری استحکام قالب بکار میرود. واحد اندازه گیری استحکام در این وسیله برحسب PSI میباشد.
- ۱۶- سختی سنجی قالبهای ماسه ای بسته به نوع قالب، از سختی سنجهای مختلفی استفاده میشود که در دو نوع عقربه ای و دیجیتالی هستند.
- ۱۷- چقرمگی و ضریب خرد شونده یک مخلوط ماسه تر میتواند متأثر از عواملی مانند میزان فشردگی، مقدار خاک رس، مقدار رطوبت و اندازه ذرات ماسه باشد.
- ۱۸- نفوذپذیری میزان عبور گازها از میان فضای متخلخل ماسه قالب گیری است. مقدار هوا کشی و عبور گاز یک قالب ماسه ای به این کیفیت بستگی دارد.
- ۱۹- مطالعه ساختار فلزات و آلیاژها به روش میکروسکوپی به منظور پدید آمدن به شکل، نوع و اندازه دانه ها و فازها و همچنین نحوه پخش فازها در ساختار صورت می گیرد.
- ۲۰- برای به دست آوردن بزرگنمایی میکروسکوپ معمولاً عدد روی عدسی شیئی، در عدد عدسی چشمی ضرب می شود.
- ۲۱- ناحیه معینی از حالت فیزیکی یک ماده، که از نظر فیزیکی و شیمیایی همگن بوده و به وسیله سطحی مشخص از اجزای دیگر جدا می شود را یک فاز می نامند.

۲۲- در محلول جامد جانشینی، اتم های فلز حل شده جانشین اتم های موجود در شبکه بلوری فلز حلال می شوند.

۲۳- درصد بالای کربن و وجود عناصر آلیاژی مثل سیلیسیم باعث به وجود آمدن گرافیت در ساختار نهایی چدن ها می شود.

۲۴- مطابق با نمودار آهن - سمانتیت، با توجه به وجود درصد کربن نسبت به نقطه یوتکتیک، چدن ها به سه دسته کلی تقسیم بندی میشوند که عبارتند از:

الف) چدن های هیپو یوتکتیک - ب) چدن یوتکتیک - ج) چدن های هیپر یوتکتیک.

۲۵- چدن های داکتیل از استحکام بالاتری نسبت به چدن های خاکستری برخوردار بوده ولی ضریب انتقال حرارت آنها پایین تر است.

۲۶- برای رسیدن به بهترین خواص و حداقل آسیب به سطح قطعات نیاز به استفاده از اتمسفر محافظ در محیط کوره است.

۲۷- کوره های مداوم کوره هایی هستند که در آنها مواد از یک طرف شارژ و عملیات حرارتی صورت می گیرد و از طرف دیگر تخلیه می شوند و اکثراً برای عملیات حرارتی قطعات ریز مانند پیچ و مهره استفاده می گردد.

۲۸- برخی از قطعات در هنگام کار بر اثر وجود اصطکاک دچار سایش سطحی میشوند. این قطعات به گونه ای 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.

۲۹- کار میله شاهد در جعبه سمانتاسیون تعیین عمق نفوذ کربن است. قطر میله شاهد بین ۶ تا ۱۰ میلیمتر است و جنس آن میتواند از همان فولادی باشد که قرار است کربن دهی گردد. در غیر این صورت میتوان از فولادهای ساختمانی کربنی استفاده کرد.

۳۰- نیتزیده کردن عبارت است از وارد کردن نیتروژن اتمی در لایه سطحی فولاد.

۳۱- آنیل فولادها: عبارت است از حرارت دادن فولاد در یک درجه حرارت مناسب و سپس سرد کردن کنترل شده که معمولاً آهسته و در کوره انجام میشود. هدف از انجام این پروسه در فولادها کاهش سختی، بهبود قابلیت ماشینکاری، حذف تنش های داخلی، سهولت کار سرد، بهبود چقرمگی، افزایش پایداری ابعادی، بازگشت فولاد به حالت قبل از کار سرد و تغییر خواص الکتریکی و مغناطیسی فولاد است.

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

۳۳- مواد صنعتی بر اثر عوامل فیزیکی، شیمیایی و یا مکانیکی پیرامون خود مثل گرما، سرما، اشعه خورشید، رطوبت، اکسیژن موجود در هوا، باکتری های موجود در خاک، نیروهای مکانیکی و غیره مورد حمله قرار می گیرند.

۳۴- الکتروشیمیایی واکنشی است که ۱- شیمیایی بوده و ۲- تبادل الکترون در آن صورت گیرد. به طوری که اگر یک مایع حاوی یون های مثبت و منفی (الکترولیت) مابین دو فلز غیرهم جنس متصل به هم با یک هادی الکتروسیته قرار گیرد باعث ایجاد خوردگی در یکی از آنها خواهد شد.

۳۵- خوردگی مرز دانه ای : مخرب ترین نوع خوردگی در صنعت است و از نوع موضعی است. این نوع خوردگی تقریباً همیشه به وسیله یون های کلر و کلرید ایجاد می شود و به ویژه برای فولاد ضد زنگ بسیار مخرب است.

۳۶- جهت آماده سازی سطح فلزات برای پوشش دهی مراحل زیر باید قبل از پوشش دهی بر روی فلزات انجام گیرد که عبارت اند از: ۱. سنباده زنی، ۲. چربی زدایی و ۳. اکسیدزدایی

۳۷- سیاه کاری به فرایند ایجاد یک لایه اکسیدی از آهن به کمک مواد اکسیدکننده، بر سطح قطعات فولاد کربنی است که ظاهر سیاه رنگ سطح حاصل، باعث نام گذاری آن به فرایند سیاه کاری شده است.

۳۸- به مجموعه عملیاتی که منجر به تشکیل یک لایه نازک اکسیدی بر روی قطعات آلومینیومی شده و باعث افزایش سختی، مقاومت در برابر خوردگی، ایجاد نمای تزئینی و تغییر برخی از خصوصیات فیزیکی می گردد آندایزینگ اطاق می شود.

۳۹- گالوانیزه گرم فرایندی است که در طی آن پوشش چسبنده و محافظی از فلز روی یا ترکیبات آن توسط فروبردن قطعات فولادی و چدنی در روی مذاب بر روی این قطعات تشکیل می شود.

۴۰- پوشش های گالوانیزه اساساً به منظور ایجاد حفاظت در برابر خوردگی بر قطعات فولادی و چدنی اعمال می شوند.