

اصول انجام عملیات حرارتی فولاد

امروزه با صنعتی شدن روز افزون جوامع و گسترش استفاده از فلزات در مصارف متفاوت، این نیاز به وجود آمده که کیفیت فلزات بالاتر برده شود. در واقع عملیات حرارتی به سری فرآیندهایی گفته می شود که طی آن خواص مکانیکی فلزات مورد نظر تغییر یافته و اصلاح می شود. این عملیات دارای انواع مختلفی است که به روش های مختلفی انجام می گیرد و اهداف مختلفی نیز دارد که در این مقاله سعی کرده ایم به بررسی عملیات حرارتی فولاد، انواع آن، مزایا و اهمیت و دیگر مسائل مربوط به این حوزه بپردازیم.

انواع عملیات حرارتی فولاد چیست؟

در طی عملیات حرارتی فولاد، خواص فیزیکی، شیمیایی و متالورژیکی فولاد طی فرآیندهایی خاص تغییر می یابد و از این فولاد برای مصارف مختلف استفاده می شود. در واقع عملیات حرارتی فولاد به این منظور انجام می شود که خواص فیزیکی و شیمیایی قطعه فولادی به تعادل مورد نظر برسد و قطعه مورد نظر برای کاربردی که مدنظر است بهترین کارایی ممکن را داشته باشد. عملیات حرارتی فولاد انواع متفاوتی داشته که طی هر کدام از آن ها، فلزات و خواص آن تغییرات خاصی می کنند و برای مصارف مختلفی استفاده می شود. از جمله این عملیات، می توان به موارد زیر اشاره کرد:



عملیات گرم کردن فلزات تا دمای بالاتر از دمای ۷۲۳ درجه سانتی گراد

این سری از عملیات حرارتی فلزات خود به موارد زیر تقسیم بندی می‌شود:

- آنیل کردن (باز پخت)
- نرماله کردن
- سخت کردن یا کوئینچ کردن
- آستمپر کردن
- مارتمپر کردن

عملیات گرم کردن فلزات تا دمای کمتر از دمای ۷۲۳ درجه سانتی گراد

این سری از عملیات حرارتی فولاد شامل موارد زیر است:

- آنیل کردن ضمن عملیات
- تنش زدایی
- کروی کردن

عملیات حرارتی فولاد دیگری نیز وجود دارد، مانند کربن دهی سطحی، نیتروژن دهی و غیره.

هدف آنیل کردن چیست؟

آنیل کردن فولاد و سایر فلزات، دلایل و اهداف متفاوتی دارد. عملیات حرارتی آنیل کردن در واقع اکثراً برای نرم کردن فلزات و افزایش انعطاف پذیری آن‌ها استفاده می‌شود و در پی آن، قابلیت ماشین کاری، پایداری ابعاد، بازگرداندن قابلیت شکل پذیری، خواص الکتریکی و سایر خصوصیات فلز یا آلیاژ بهبود می‌یابد. در فرآیند آنیل کردن یا باز پخت، فولاد را تا دمای استحاله گرم می‌کنند، مدت معینی در آن دما نگه می‌دارند و سپس تحت سرعت مشخصی (معمولاً سرعت پایین) تا رسیدن به دمای محیط، در داخل کوره سرد می‌کنند. ماندن فلز فولاد در دمای

بالا باعث می شود که نفوذ اتم ها راحت تر شود و نابجایی ها کاهش یابد. کاهش این نابجایی ها باعث می شود که شکل پذیری قطعه بالاتر رود و مقاومت آن در مقابل ضربه افزایش یابد و چقرمه تر شود. از فرآیند آنیل کردن به جز در قطعات فولادی، در قطعات مسی، برنجی و آلومینیومی هم استفاده می شود. عملیات حرارتی فولاد از نوع آنیل کردن، خود به دو دسته زیر طبقه بندی می شود:

۱. آنیل کامل

۲. آنیل هم دما



نرماله کردن فولاد چیست؟

نرماله کردن یکی از انواع عملیات حرارتی فولاد است. طی این پروسه، ساختار فولاد یکنواخت تر و ریز دانه تر می شود. در این عملیات حرارتی، فولاد را تا دمایی حدود ۸۰ درجه سانتی گراد گرم می کنند و برای مدت زمان معینی (تکمیل فرآیند تبدیل شدن به آستینیت)، فولادهای هیپو یوتکتوئیدی را بالاتر از خط AC3 نگه می دارند. سپس فولادهای هایپر یوتکتوئیدی را بالاتر از خط Ac_m نگه داشته و آن را در هوا سرد می کنند. نرماله کردن معمولاً جزو عملیات حرارتی نهایی است و طی آن، استحکام و سختی فولاد افزایش یافته و انعطاف پذیری آن کاهش می یابد.

هدف از نرماله کردن فولاد، تبدیل ساختار دانه درشت به ساختار دانه ریز است که این ساختار دانه درشت ماحصل سایر عملیاتی می باشد که قبلاً روی فولاد انجام شده است. بعد از عملیات حرارتی نرماله کردن فولاد، ساختار همگن حاصل شده به مصارف زیر می رسد:

- باعث بهبود خواص مکانیکی فلز فولاد می شود.
- در فولادهای کم کربن باعث خاصیت ماشین کاری بهتر خواهد شد.
- قبل از سخت کاری یا آنیل کامل به عنوان عملیات حرارتی پایه به کار می رود.

از فرآیند نرماله کردن در مواقعی استفاده می شود که قطعه فولادی پس از نورد گرم، به جهت کشیده شدن نورد، دارای خواص مکانیکی مختلف در جهت های مختلف می شود و با نرماله کردن این تفاوت ها از بین می رود؛ و یا وقتی که قطعه فولادی دارای ابعاد و زوایای مختلف است، هنگام سرد شدن با سرعت یکنواخت سرد نمی شود و یک حالت ناهمگن بودن در ساختارش رخ می دهد. در این هنگام می توان با استفاده از فرآیند عملیات حرارتی فولاد از نوع نرماله کردن، این همگنی را مجدداً برقرار کرد. در واقع عملیات نرماله کردن فولاد، می تواند عیوب حاصله از عملیات قبلی انجام شده روی فولاد را تصحیح کند و فولاد را برای انجام عملیات بعدی آماده کند.

فرق بین آنیل کردن و نرماله کردن فولاد

قطعه فولادی در فرآیند نرماله کردن، تا دمایی بالاتر نسبت به فرآیند آنیل کردن، حرارت می بیند. در مرحله مربوط به سرد کردن قطعه فولادی نیز، در روش آنیل کردن فولاد، قطعه در کوره سرد می شود ولی در روش نرماله کردن، قطعه در هوا سرد می شود. فولادهایی که تحت عملیات نرماله شدن قرار گرفته اند نسبت به فولادهایی که آنیله شده اند، دانه ریزتر بوده و استحکام بالاتری دارند. در نقطه مقابل، انعطاف پذیری فولادهای آنیله شده نسبت به فولادهای نرماله شده بیشتر است.

به طور کلی برای سخت کردن قطعات فولادی از یکی از این روش های کوئینچ کردن، آستمپر و یا مارتمپر کردن استفاده می کنند. عملیات حرارتی فولاد به روش کوئینچ کردن، در ابتدا فلز را تا دمای آستنینه شدن یعنی چیزی حدود بین ۸۱۵ الی ۹۰۰ درجه سانتی گراد گرم کرده سپس آن را به سرعت خنک می کنند. خنک کردن قطعه فولادی می تواند به وسیله سیل آب یا آب نمک، فرو بردن در روغن مخصوص یا آب، اسپری کردن محلول های خاص روی فولاد، قرار گیری در معرض هوای فشرده و مرطوب و غیره انجام گیرد. عملیات کوئینچ کردن یا سخت کردن به این منظور انجام می شود که استحکام و مقاومت فولاد یا هر آلیاژ دیگر بالاتر برده شود و مقاومت آن در برابر فشار و فرسایش افزایش یابد. باید توجه داشت که فقط زمانی از عملیات حرارتی کوئینچ کردن استفاده می شود که به سختی خیلی بالایی نیاز داشته باشیم، زیرا عملیات حرارتی کوئینچ باعث تردی و شکنندگی بیشتر قطعه خواهد شد.

نکته ای که باید در عملیات کوئینچ دقت کرد این است که تمام نقاط قطعه باید به طور یکنواخت گرم و سپس سرد شود که این برای قطعاتی که ابعاد نامنظم دارند حائز اهمیت بیشتر است. اگر از آب برای سرد کردن استفاده شود، ممکن است موجب بروز ترک های ریز شود و اگر از روغن استفاده شود، ممکن است رسوبی را روی قطعه ایجاد کند که باعث کند شدن زمان سرد شدن فولاد و در نتیجه کاهش سختی فولاد در مقایسه با فولادی که با آب سرد شده است، می شود.

آستمپرینگ چیست؟

یکی دیگر از عملیات حرارتی فولاد، آستمپر کردن است. این عملیات برای کاهش تنش هایی استفاده می شود که در حین عملیات سخت کردن فولاد ایجاد شده اند. هدف از عملیات حرارتی آستمپر کردن فولاد، افزایش انعطاف پذیری و استحکام در برابر ضربه و همین طور، کاهش یا حذف تنش های داخلی، تاب برداشتن، تغییر شکل و ترک های حاصل از عملیات کوئینچ کردن است. عملیات حرارتی آستمپر کردن شامل مراحل زیر است:

۱. فولاد را بسته به نوعی که دارد تا دمایی حدود ۷۹۰-۹۵۰ درجه سانتی گراد حرارت داده و آستنیته می کنند.
۲. آن را در حمام نمک مذاب با دمایی بین ۲۶۰-۴۰۰ درجه سانتی گراد، سریع سرد می کنند.
۳. مدتی در این دما نگه می دارند.
۴. آن را در هوا تا رسیدن به دمای اتاق سرد می کنند.



تعریف عملیات مارتمپرینگ فولاد

به عملیات مارتمپرینگ فولاد، سریع سرد کردن غیر پیوسته یا مار کوئینچینگ هم می گویند. در طی این نوع از عملیات حرارتی، فولاد را تا دمای آستنیته گرم می کنند و در مرحله بعد، آن را به سرعت درون روغن داغ که دمای ۱۷۵ درجه سانتی گراد دارد سرد می کنند. باید توجه شود که به ازای هر ۱ سانتی متر ضخامت در قطعه، قطعه فولادی باید حدود ۲ تا ۴ دقیقه درون روغن داغ قرار بگیرد تا تمامی قسمت های قطعه فولادی به طور یکنواخت خنک شود. سرد کردن قطعه فولادی در روش مارتمپر کردن باید به گونه ای باشد که مرکز قطعه و سطح آن به طور هم زمان سرد شوند. در مرحله آخر، قطعه را تمپر می کنند.

دستورالعمل تنش زدایی فولاد

عملیات تنش زدایی یکی دیگر از عملیات حرارتی فولاد است که طی آن تنش های به وجود آمده در قطعه فولادی در طی روند تولید را از بین می برند. به عملیات تنش زدایی فولاد، عملیات تنش گیری یا باز پخت هم می گویند. اهمیت عملیات تنش زدایی از آن جهت است که قطعات فولادی یا آلیاژها ممکن است طی تغییرات دمایی یا تحت فشار دچار تنش هایی شوند که اصطلاحاً به آن ها، تنش های پس ماند گفته می شود و در دراز مدت اثرات زیان باری را از قبیل ترک برداشتن، تاب برداشتن، شکسته شدن قطعه در حین کار و غیره را ایجاد کند. عملیات تنش زدایی می تواند مانع از این اثرات زیان بار شود. این عملیات معمولاً پس از جوشکاری انجام می شود و به اصطلاح عملیات پس گرم هم نامیده می شود. در طی این عملیات فلز را به صورت یکنواخت گرم می کنند و سپس به همین صورت یکنواخت آن را سرد می نمایند. عملیات حرارتی تنش زدایی جوش به دو صورت زیر انجام می شود:

- تنش زدایی کل قطعه: که برای قطعات فولادی با ابعاد کوچک تر استفاده می شود و کل قطعه در ابتدا تا دمای مشخصی گرم و سپس تحت کنترل سرد می شود.
- تنش زدایی موضعی: که تنها بخشی از قطعه را گرم و سپس تحت شرایط کنترل شده سرد می کنند.

هدف از [عملیات حرارتی](#) کروی کردن فولاد، افزایش قابلیت ماشین کاری و شکل پذیری قطعه فولادی است. فاز سمنتیت یا کاربید آهن (Fe_3C) در طی این مرحله از حالت لایه مانند به حالت کروی تغییر شکل می دهد. این امر به این خاطر است که نرم ترین حالتی که ساختار فولاد می تواند داشته باشد، حالت کروی است. ساختار کروی در عین حال که نرم ترین حالت ساختاری فولاد است، پایدارترین حالت نیز به حساب می آید. بنابراین قطعه فولادی که تحت عملیات کروی کردن قرار گرفته است، بسیار انعطاف پذیر خواهد بود. برای کروی کردن قطعه فولادی عملیاتی را انجام می دهند که تحت آن، ساختار پیوسته لایه های سمنتیت شکسته می شود و

به صورت کرووی درون زمینه رسوب می کنند. از جمله فواید عملیات حرارتی کرووی کردن فولاد این است که فولاد کرووی شده قابلیت شکل پذیری بالا و همچنین قابلیت ماشین کاری بالایی (به خصوص در نوع پرکربن فولادها) دارند. همین طور، کرووی کردن فولاد باعث کاهش مصرف انرژی برای عملیات بعدی می شود.

طریقه کربن دهی سطحی فولاد

در این روش، لایه سطحی فولاد کم کربن را با استفاده از موادی که کربن دهی هستند، به طور سطحی کربن دهی و سخت می کنند. قطعه فولاد حاصله از این نوع از عملیات حرارتی به گونه ای است که سطحی سخت ولی حجم و درونی نرم دارد، یعنی سطح قطعه فولادی از فولاد پرکربن است و درون آن از فولاد کم کربن تشکیل شده است. عملیات حرارتی کربن دهی به پنج صورت زیر انجام می گیرد:

- کربن دهی جامد (پودری)
- کربن دهی مایع (کربن دهی در حمام نمک)
- کربن دهی گازی
- کربن دهی خلأ
- کربن دهی پلاسما

نیتروژن دهی فولاد چیست؟

نیتروژن دهی فولاد، نوع دیگری از عملیات حرارتی فولاد بوده که طی آن، قطعات فولادی در محیط سرشار و غنی از نیتروژن تا دمای خاصی گرم می شوند و تا مدت معینی در این دما می مانند تا نیتروژن جذب کرده و سپس سرد می شوند. نفوذ نیتروژن به فولاد باعث ایجاد لایه ای سخت خواهد شد و دیگر نیازی به سخت کاری نیست. نیتروژن دهی فولاد نیز مانند کربن دهی دارای انواع نیتروژن دهی جامد، مایع، گازی و پلاسمایی است.

جمع بندی

عملیات حرارتی فولاد به مجموعه عملیاتی گفته می‌شود که طی آن قطعه فولادی را تحت شرایط خاص تحت تأثیر قرار می‌دهند تا طی فرآیندهای کنترل‌شده گرمایش و سرمایش، قطعه فولادی دارای خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و متالورژیکی دلخواه و بهبودیافته شود و کارایی بهتری پیدا کند. در این مقاله انواع این عملیات و ویژگی‌های هر یک معرفی شد تا با رمز و راز این متریال پرکاربرد آشنا شوید.