صفر تا صد عملیات حرارتی فولاد مارتنزیتی

همان‌طور که میدانید فولاد ساخته شده از آهن یکی از مهمترین آلیاژهای مورد استفاده در سرتاسر جهان است. امروزه محصولات بسیار متنوعی از طریق فولاد تولید می شود که در صنایع بزرگ و کوچک، سازه ها و موارد دیگر به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. مارتنزیت نیز یکی از محصولات فولادی است که یک ساختار نامتعادل دارد و در مرحله ای از فرایند تولیدش به سرعت سرد می شود. در واقع این عملیات حرارتی روی مارتنزیت باعث افزایش سختی و استحکام آن می شود. به این عملیات ساخت، مارتنپر کردن نیز می گویند که در نتیجه ی آن از ایجاد نواقص در مارتنزیت جلوگیری می کند.

مارتنزیت چیست ؟

مارتنزیت محصولی خاص است که از فولاد تولید می شود و برای تولید آن از عملیات حرارتی سرد کردن استفاده می کنند. ساختار ظاهری آن حالت ریز و سوزنی شکل دارد. اصطلاحاً عملیات ساخت مارتنزیت را استحاله می گویند. استحاله مارتنزیت در دماهای پایین تر از دگرگونی پرلیتی و بدون نفوذ انجام می شود. البته این نوع ساختار تنها در فولاد نیست و در آلیاژهای غیر آهنی مانند آلومینیوم، طلا، کادمیم و مس نیز میتوان این نوع ساختار را ایجاد کرد؛ اما خواص ایجاد شده در مارتنزیت حاصل از فولاد با بقیه آلیاژها متفاوت است. شرایط سرد شدن سریع آن نیز به عواملی مانند درصد کربن، اندازه دانه های آستنیت و عناصر آلیاژی بستگی دارد.

به لحاظ ساختاری زمانی که آستنیت سریعاً سرد می شود، اتم های کربن دیگر فرصتی برای خروج از ساختار پیدا نمی کنند و در نتیجه بین فضاهای هشت وجهی شبکه BCC محبوس خواهند شد. در این شرایط شبکه BCC از یک وجه کشیده خواهد شد و شبکه بلوری جدید به وجود می آید که به آن BCT یا Body Centered Tetragonalمیگویند. توجه داشته باشید که هر چه میزان درصد عنصر آلیاژی بیشتر باشد، بلور مارتنزیت نیز کشیده تر می شود.

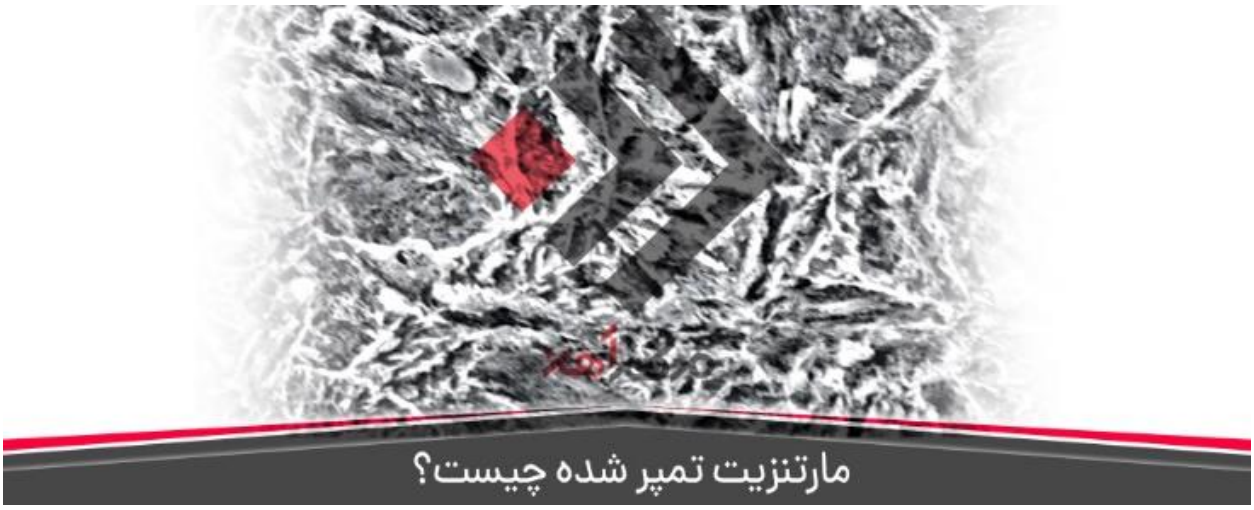
استحاله مارتنزیتی چیست ؟

ساختار مارتنزیت از طریق جابجایی گروهی اتم ها روی یک صفحه رابط به وجود می آید. توجه داشته باشید که استحاله مارتنزیت کاملاً برشی و غیر نفوذی است، بنابراین به دلیل اینکه استحاله مارتنزیت بدون نفوذ بوده و ترکیب شیمیایی مورد استفاده در آن شامل ۲ درصد کربن می باشد که همان آستنیت است. در فرایند ساخت مارتنزیت در طول فرایند کاهش دما به صورت پیوسته و جابجایی اتم ها به شکل گروهی مارتنزیت تشکیل می شود. انتقال گروهی اتم ها باعث ایجاد تغییر شکل پلاستیکی در ماده خواهد شد. نکته مهم در تولید مارتنزیت این است که اگر فاز آستنیت نتواند تغییر شکل ناشی از تشکیل فاز مارتنزیت را تحمل کند در بین این دو فصل مشترک ترک ایجاد خواهد شد؛ اما به دلیل اینکه فولاد دارای انعطاف پذیری خوبی برای تغییر شکل های مومسان است زیاد دچار ترک نمیشود.

شایان ذکر است منظور از دمای پایین برای فولاد با آنچه ما آن را دمای پایین می پنداریم متفاوت است. در واقع ساختار ذکر شده در فولاد در دماهایی بین ۲۰۰ الی ۳۲۰ درجه سانتیگراد تشکیل خواهد شد و در میانه دماهای تبدیل پرلیت به مارتنزیت ساختاری به نام بینیت تشکیل میگردد که باز مبحثی جداگانه داشته و در این مقاله نمیگنجد.

در طول این فرایند همه کارها باید به دقت انجام شود و کوچکترین تغییر میتواند در خواص ساختار به دست آمده تغییر ایجاد کند؛ مثلاً اگر سرعت سرد شدن بیشتر از مقداری باشد که از تشکیل بینیت و پرلیت جلوگیری نماید سختی آن افزایش پیدا خواهد کرد. در این صورت ساختاری با نام مارتنزیت شکل می گیرد که سختی آن به میزان درصد کربن بستگی دارد. به طور کلی هدف از انجام فرایند استحاله مارتنزیت افزایش سختی، استحکام، مقاومت در برابر سایش و خستگی است؛ بنابراین حداکثر سختی در ساختارهای صد در صد مارتنزیت ایجاد می شود.

مارتنزیت تمپر شده چیست ؟



در قسمت های قبلی نیز به عملیات مارتمپر اشاره کردیم. هدف از مارتمپر کردن جلوگیری از ترک و شکست قطعه در طول استحاله مارتنزیت است. در واقع میتوان با استفاده از روش های مهندسی مارتمپرینگ و یا مارکوئنچینگ کاری کرد که از ایجاد عیوب مختلف در ساختار مارتنزیت جلوگیری شود. برای سخت کردن قطعات مارتنزیتی با روش مارتمپر باید مراحل زیر انجام شوند:

۱. ابتدا قطعات تا دمای بالاتر از تبلور ماده حرارت داده می شوند.
۲. سپس مواد در این دما نگهداشته می شوند و آستنیته فولاد انجام خواهد شد.
۳. بعد از آستنیت کردن قطعات را در روغن داغ یا نمک مذاب تا دمایی بالاتر از دمای شروع فرایند استحاله مارتنزیت به سرعت سرد می کنند.
٤. مواد در این دما نگهداشته می شود تا ساختار ماده کاملاً یکنواخت شود. البته بسته به ضخامت ماده زمان نگهداری در این دما متفاوت است.
٥. سپس قطعات در مجاورت هوا طوری سرد می شوند که تمام بخش های ماده به طور یکنواخت سرد شده و در نهایت ساختار مارتنزیت تشکیل شود.
٦. زمانی که فرایند مارتمپر کردن انجام می شود احتمال مشکلاتی مانند ترک برداشتن در ساختار مارتنزیت به حداقل میرسد. البته این روش برای فولادهایی مناسب است که سختی پذیری مناسبی دارند. همچنین نباید هنگام سرد شدن در نمک و روغن داغ فرایند پرلیت شدن صورت گیرد.

سختی مارتنزیت به چه عواملی بستگی دارد؟

سختی مارتنزیت به دو عامل درصد کربن و نوع ساختارهای فرعی وابسته است. ساختار فرعی به ساختارهایی گفته می شود که در بین فرایند تولید در فاز استحاله مارتنزیت ایجاد شده و گاهاً باعث بروز عیب جابجایی خطی و پدیده دو قلویی در ساختار ماده خواهد شد. همان‌طور که در ابتدا هم به آن اشاره کردیم ساختار مارتنزیتی یکی ساختار نامتعادل است. به همین دلیل با استفاده از عملیات حرارتی تمپرینگ آن را به یک ساختار تعادلی تبدیل خواهند کرد که به روش مورد استفاده برای این کار، مارتمپر کردن گفته می شود.

انواع ساختار مارتنزیت

انواع استحاله های مارتنزیت به دو نوع مارتنزیت لایه ای و مارتنزیت بشقابی تقسیم می شوند که شکل واحد آن در تصویر سه بعدی بستگی دارد. با استفاده از فولادهای کم کربن و یا دارای کربن متوسط مارتنزیت لایه ای، با استفاده از فولادهای پرکربن مارتنزیت بشقابی تولید می شوند. توجه داشته باشید که واحدهای ساختاری مارتنزیت با چشم غیرمسلح قابل دیدن نیستند و تنها با میکروسکوپ های نوری قابل تشخیص می باشند.

- **مارتنزیت لایه ای**

زمانی که میزان کربن موجود در فولاد کم باشد در فرایند استحاله مواد تمایل به تشکیل لایه های مارتنزیتی دارند. در نتیجه در فولادهای کم کربن مارتنزیت لایه ای تشکیل می شود. البته در این نوع هم برای استحاله مارتنزیت حداقل کربن مورد نیاز ۰/۳ درصد کربن است؛ زیرا مارتنزیت هایی که در مواد دارای کربن پایین تر از ۰/۳ درصد تشکیل می شوند سختی بسیار کمی دارند. در واقع سختی آن ها کمتر از ۲۰ راکول سی می شود که دیگر از نظر مکانیکی ارزشی نخواهند داشت و نمیتوان از آن ها استفاده کرد.

- **مارتنزیت بشقابی**

فاز مارتنزیت بشقابی در طول عملیات استحاله برای فولادهای پرکربن و حتی آلیاژهای آهنی دیگر مانند آهن- نیکل ایجاد می شود. توجه داشته باشید که تیغه های درشت و سوزنی شکل که توسط آستنیت باقی مانده احاطه می شوند، اگر به صورت متقاطع باشند باعث ترک خواهند شد. در فولادهای ریزدانه احتمال تشکیل ترک مویی کمتر است. این امر به این دلیل است که تیغه های ایجاد شده ظریف تر می باشند. به طور کلی تیغه های پرکربن حساس و شکننده هستند؛ اما در ساختارهایی نظیر آهن و نیکل حالت مواد منعطف تر بوده و ترک ایجاد نمی شود. برای جلوگیری از این ترک ها از عملیات مارتمپر استفاده می شود.

- **مارتنزیت مخلوط**

نوع دیگری از مارتنزیت نیز وجود دارد که ویژگی های ساختار مارتنزیت لایه ای و بشقابی را با هم در ساختار خود دارد و درصد کربن آن بین ۰/٦ الی ۱ درصد می باشد. در این حالت هر چه مقدار کربن بیشتر شود مارتنزیت تولید شده بیشتر خصوصیات مارتنزیت بشقابی را در خود نشان میدهد؛ یعنی ضخامت تیغه های مارتنزیتی بیشتر و ضخامت مارتنزیت لایه ای کمتر می شود. عکس این قضیه نیز در صورت کاهش کربن اتفاق می افتد.

کاربرد فولاد زنگ نزن مارتنزیتی

فولادهایی که دارای ساختارهای مارتنزیتی هستند به دلیل روند تولیدی و شکل کریستالی که دارند از مقاومت بالایی در برابر سایش و سختی برخوردار هستند. به همین دلیل از این نوع فولاد بیشتر برای ساخت ابزارآلات برنده مانند تیغه های چاقو، قیچی و سایر تجهیزات برشی استفاده می شود. همچنین در صورتی که تنها ۱۲ الی ۱۸ درصد از عنصر کروم به این نوع فولادها اضافه شود، تا حد زیادی در برابر خوردگی مقاوم می شوند که به آنها فولادهای ضدزنگ مارتنزیتی نیز می گویند. از این فولادها برای ساخت تیغه های ریش تراش، پره های توربین ها، لوله تفنگ و ابزار جراحی استفاده می کنند.

ریز ساختار مارتنزیت

به میزان توانایی استحاله مارتنزیت در اثر سرد شدن سریع در فاز آستنیت سختی پذیری مارتنزیت می گویند. عوامل مختلفی بر میزان سختی پذیری تأثیر می گذارد. نمودارهای سختی پذیری در نقاط مختلف ماده نیز با سختی سنجی استخراج می شوند. از جمله موارد مؤثر بر این ویژگی عبارتند از:

- اندازه دانه ی آستنیت: هر چه دانه های آستنیت درشت تر باشند، قابلیت سختی پذیری بیشتر خواهد شد.
- درصد کربن: بالا بردن درصد کربن محلول در آستنیت، سختی پذیری را افزایش خواهد داد.
- عناصر آلیاژی: اگر عناصر آلیاژی در آستنیت قبل از سریع سرد شدن به خوبی حل نشوند، سختی پذیری کم می شود.
- ناخالصی های غیرفلزی: هر چه مقدار ناخالصی در این ساختار بیشتر باشد متعاقباً سختی پذیری آن کاهش پیدا می کند.
- همگن بودن میکرو ساختار: هرچه میزان همگن بودن ساختار بیشتر شود سختی پذیری ماده کاهش پیدا می کند.

به طور کلی فولادهای کم کربن و دارای کربن متوسط با ساختارهای مارتنزیت لایه ای، سختی پذیری بالایی دارند. اغلب فولادهای کم کربن و کربن متوسط با ساختار مارتنزیت لایه ای، از سختی پذیری بالایی برخوردار هستند. همچنین هر چه آستینت اولیه ریزدانه تر باشد، چگالی صفحات مارتنزیتی بیشتر می شود که سختی آن را افزایش می دهد. نکته ی دیگری که باید در نظر داشته باشید پیر شدن ساختار مارتنزیت است. زمانی که قطعات مارتنزیتی در دمای اتاق قرار می گیرند دچار پیر شدن خواهد شد. هرچه پیر شدن در طول زمان بیشتر شود سختی آن نیز افزایش پیدا می کند.

آب نگرفتن فولاد در ساختار مارتنزیتی به چه معناست؟

اصطلاح تخصصی آب نگرفتن در تولید فولادهای مارتنزیتی برای فولادهایی به کار میرود که دارای کربنی کمتر از ۰/۳ درصد باشند. در این نوع فولادها به دلیل پایین بودن بیش از حد میزان کربن، ساختار مارتنزیت به طور کامل ایجاد نمی شود و دارای نواقصی است که یکی از آن ها سختی پایین و نامطلوب مارتنزیت تولید شده است. به همین دلیل اصطلاحاً می گویند این نوع فولادها آب نمی گیرند.

سخن آخر

مارتنزیت ساختاری است که در تولید نوعی فولاد به وجود می آید. این ساختار باعث افزایش مقاومت فولاد در برابر سایش و در صورت اضافه کردن برخی آلیاژها باعث مقاومت زیاد در برابر خوردگی می شود. به همین دلیل در وسایل بسیار حساس مانند انواع تیغه ها تنها از این نوع ساختار استفاده می کنند. کیفیت ابزار تولید شده به کیفیت و دقت در تولید ساختار مارتنزیتی بستگی دارد. هر چه میزان ترکیبات بیشتر بوده و مراحل استحاله و مارتمپرکردن با دقت تر انجام شود، محصول نهایی به دست آمده با این نوع فولاد نیز از کیفیت بالاتر برخوردار خواهد بود.