



تمپر یا برگشت دادن (Tempering) یک عملیات حرارتی است که در آن فولاد سختکاری یا نرماله شده، معمولاً تا دمایی کمتر از دمای بحرانی پایین (AC1) گرم شده و با نرخ مناسبی خنک می شود. این کار عمدتاً برای افزایش شکل پذیری و جقرمگی انجام می شود. اما می تواند با هدف افزایش اندازه دانه های ماتریس نیز انجام شود. فولادها پس از سختکاری به این دلیل توسط گرمایش مجدد تمپر می شوند. که ترکیب خاصی از خواص مکانیکی ایجاد گردد. و همچنین تنش های ایجاد شده از عملیات کوئنچینگ آزاد شده و پایداری ابعادی ایجاد گردد. معمولاً اگر قطعه ای از دمای بالاتر از دمای بحرانی بالا کوئنچ شود آن را تمپر می کنند. با این حال ممکن است از این عملیات برای تنش زدایی قطعات جوشکاری شده یا آزاد سازی تنش های القا شده توسط فرایندهایی مانند شکل دهی و ماشینکاری نیز انجام شود.

در یک فولاد که توسط کوئنچ کردن ریزساختاری عمدتاً مارتنزیتی در آن ایجاد شده است. شبکه کریستالی آهن ساختاری مکعب مستطیلی مرکز-بدنی به شدت کشیده شده دارد (مارتنزیت) و دارای اتم های کربن بینابینی است. و همین موضوع باعث بالا رفتن سختی فولادهای کوئنچ شده، می شود. در هنگام گرم شدن، اتم های کربن به راحتی پخش شده و در مراحل مختلفی واکنش می دهند. تا در نهایت کاربید آهن (Fe<sub>3</sub>C) یا سایر کاربیدهای آلیاژی در یک ماتریس فریتی شکل بگیرد. که با گذشت زمان تنش آن کاهش می یابد. خواص فولاد تمپر شده در درجه اول از روی اندازه، شکل، ترکیب و توزیع کاربیدهای تشکیل شده، تعیین می شود. البته سختکاری محلول - جامد فریت نیز سهم نسبتاً کمی در خواص فولاد تمپر شده دارد. این تغییرات در میکروساختار باعث کاهش سختی، استحکام تسلیم، و استحکام نهایی شده. اما جقرمگی و شکل پذیری را افزایش می دهد.

در شرایط خاصی، سختی ممکن است تحت تأثیر تمپرینگ فرار نگیرد یا حتی ممکن است در اثر آن افزایش یابد. بعنوان مثال: تمپر کردن یک فولاد سخت شده در دمای تمپرینگ بسیار پایین ممکن است. تغییری در سختی ایجاد نکند اما باعث افزایش مطلوب مقاومت تسلیم شود.

همچنین آن دسته از فولادهای آلیاژی که حاوی یک یا چند عنصر تشکیل دهنده کاربید هستند) کروم، مولیبدن، وانادیم و تنگستن) قادر به سخت شدن ثانویه هستند. یعنی ممکن است در اثر تمپرینگ تا حدی سخت شوند.

#### تاریخچه برگشت دادن

برگشت دادن یک عملیات حرارتی باستانی است. قدیمی ترین نمونه مارتنزیت تمپر شده یک تبر است که در جلیل یافت شده است. که مربوط به ۱۱۰۰ تا ۱۲۰۰ سال قبل از میلاد است. این فرآیند در سراسر جهان، از آسیا تا آفریقا استفاده می شده است. در مدت زمان روش های بسیاری برای خنک کردن قطعه برای کوئنچ کردن آن امتحان شده اند. مانند کوئنچ کردن با پیشاب، خون یا فلزاتی مانند. جیوه یا سرب، اما فرآیند برگشت دادن نسبتاً در طول زمان تغییری نکرده است. این فرآیند اغلب با کوئنچ کردن اشتباه گرفته می شده. و یک اصطلاح برای توصیف هر دو فرآیند مورد استفاده بوده است. در سال ۱۸۸۹ میلادی، سر ویلیام چندلر رابرتز آستین نوشته است. هنوز لغات (آب دیدن، برگشت دادن، سخت کردن) حتی در نوشته های منابع برجسته، گیج کننده هستند. من برگشت دادن را بعنوان نرم کردن معرفی می کنم.

متغیرهای مرتبط با تمپرینگ که بر ریزساختار و خصوصیات مکانیکی یک فولاد تمپر شده تأثیر می‌گذارند عبارتند از:

- دمای تمپرینگ
- زمان نگهداری قطعه در دما
- نرخ خنک کاری از دمای تمپرینگ
- ترکیب شیمیایی فولاد، شامل درصد کربن، درصد عناصر آلیاژی و سایر عناصر

فرآیند تمپرینگ وابستگی زیادی به رابطه دما و زمان دارد. انتخاب نامناسب این متغیرهای فرآیند می‌تواند باعث تردی ناشی از تمپرینگ، تنش زدایی ناکارآمد، خواص مکانیکی نامطلوب، و تبدیل **آستنیت** باقی مانده شود. دما و زمان همچنین متغیرهای وابسته به هم هستند. در داخل محدوده، کاهش دما و افزایش زمان می‌تواند نتایج مشابهی با افزایش دما و کاهش زمان داشته باشد. با این حال باید توجه داشت که تغییرات جزئی در دما می‌تواند تأثیر زیادی بر روی فرآیند تمپرینگ داشته باشد. در حالیکه تغییرات جزئی در زمان تأثیر چندانی بر روی فرآیند ندارد.

مانند بسیاری از فرآیندهای عملیات حرارتی دیگر «درجه حرارت تمپرینگ» بسیار مهم تر از «دمای تمپرینگ» است. توزیع و اندازه کاربیدها به شرایط تمپرینگ بستگی دارد. به عنوان مثال: در دماهای تمپرینگ پایین، ریزساختار هنوز مارتنزیتی است. و ساختار سوزنی (Acicular needle) آن، با شروع کاربیدها، از نوک آن شروع به گرد شدن می‌کند. در مقابل، یک ماتریس فریتی با پراکندگی خوب کاربیدها نتیجه نهایی تمپرینگ دما - بالا است. از ریزساختار حاصل اغلب به عنوان «مارتنزیت تمپر شده» یاد می‌شود. با اینکه ریزساختار فولادهای تمپر شده معمولاً حاوی مارتنزیت نیست.

افزایش دمای تمپرینگ باعث کاهش سختی هم در فولادهای کربنی و هم در فولادهای آلیاژی می‌شود. بر خلاف مارتنزیت (که در آن فقط درصد کربن بر روی سختی مارتنزیت تأثیر می‌گذارد). سختی فولاد آلیاژی کوئچ و تمپر شده. بیشتر از سختی **فولاد کربنی** کوئچ و تمپر شده با همان درصد کربن است. تمپر کردن فولادهای آلیاژی خود می‌تواند باعث تولید کاربیدهای آلیاژی شود. که حتی از کاربید آهن ( $Fe_3C$ ) موجود در فولادهای کربنی نیز سخت تر هستند. چقرمگی در دمای تمپرینگ بالاتر نیز بهبود می‌یابد. اگرچه در درجه حرارت متوسط یک افت در چقرمگی برای فولادهای کربنی و آلیاژی کاملاً شناخته شده وجود دارد.

### نرخ خنک کاری

عامل دیگری که می‌تواند بر روی خواص فولاد تمپر شده تأثیر بگذارد، نرخ خنک سازی از دمای تمپرینگ است. با اینکه خصوصیات کششی با نرخ خنک سازی ارتباطی ندارد. در صورتی که فولاد به آهستگی از محدوده دمای ۴۵۰ - ۶۰۰ درجه سلسیوس خنک کاری شود. چقرمگی (که با آزمون ضربه میله شیاردار اندازه گرفته می‌شود). مخصوصاً در فولادهای حاوی عناصر تشکیل دهنده کاربید، ممکن است کاهش یابد. تغییر طول و کاهش در سطح مقطع نیز ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرد. به این پدیده "تردی ناشی از تمپرینگ" گفته می‌شود.

### دمای تمپرینگ و مراحل آن

همانطور که سالها شناخته شده است، دمای فاکتور اصلی در فرآیند تمپرینگ است. زیرا تغییرات در ریزساختار با افزایش دما تسریع می‌شوند. برای فولادهای کربنی یا کم آلیاژ، پنج محدوده دمایی عملی زیر که توسط Grossmann و Bain پیشنهاد شده اند. هنوز هم در بحث در مورد فرآیند تمپرینگ مناسب هستند.

- تبرید، که کم و بیش و معمولاً مقدار زیادی از آستنیت حفظ شده را به مارتنزیت تبدیل می‌کند.
- گرم کردن در محدوده ۹۵ تا ۲۰۵ درجه سلسیوس، که در آن، بسته به درجه دما، مارتنزیت به طور بیوسه شکل مکعب مستطیلی خود را از دست داده و تبدیل به مکعب مربعی می‌شود. و اولین رسوب کاربید انتقالی رخ می‌دهد. (غیر از کاربید آهن)
- گرم کردن در محدوده ۲۳۰ تا ۳۷۰ درجه سلسیوس، که در این محدوده آستنیت حفظ شده، تجزیه شده، و عمدتاً به صورت دما ثابت (ایزوترمال) به باینایت تبدیل می‌شود (مگر اینکه این آستنیت از قبل توسط تبرید به مارتنزیت تبدیل شده باشد).
- تمپرینگ در محدوده ۳۷۰ تا ۵۴۰ درجه سلسیوس. که باعث تولید کاربید از نوع کاربید آهن یا سمنتیت ( $Fe_3C$ ) می‌شود.

- تمپرینگ در محدوده ۵۴۰ الی ۷۰۵ درجه سلسیوس. در فولادهای کربنی ساده، در این محدوده دما، فقط تجمع بیشتر سمنتیت وجود دارد. اما در فولادهای آلیاژی که حاوی عناصر تشکیل دهنده کاربید هستند. تمپر کردن تا این محدوده دمایی باعث شکل گیری اولین پراکندگی های بسیار ریز. از کاربیدهای غنی از آلیاژ می شود. اعتقاد بر این است که این پدیده به دلیل انحلال مجدد سمنتیت. و رسوب همزمان کربن به عنوان کاربید خاص حاوی آلیاژ اتفاق می افتد. این واکنش اغلب منجر به تأثیر قابل توجه در روند نرم شدن می شود. گاهی حتی باعث افزایش سختی می شود. و معمولاً به آن «سخت شدن ثانویه» می گویند.

به محدوده های دمایی ذکر شده در بالا، گاهی "مرحله" نیز گفته می شود. که در اصل محدوده های نسبتاً متمایز تغییر در ریزساختارها است. این محدوده های دمایی تا حدودی فرضی است. چرا که امکان همپوشانی گسترده ای در آنها وجود دارد. این همپوشانی به این دلیل است که واکنش ها با گرمایش قطعه تا دماهای بالا. و بالاتر به صورت پیوسته رخ می دهند. با این حال مراحل توسط مقاله ها و تحقیقات مختلفی به صورت زیر از هم تفکیک شده اند.

- مرحله ۱: تشکیل کاربیدهای انتقالی و کاهش درصد کربن مارتنزیت به ۰٫۲۵ درصد. (بطور معمول از حدود ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سلسیوس).
- مرحله ۲: تبدیل آستنیت حفظ شده به فریت و سمنتیت (۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سلسیوس).
- مرحله ۳: جایگزینی کاربیدهای انتقالی و مارتنزیت دما - پایین با سمنتیت و فریت (۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سلسیوس).
- مرحله ۴: رسوب کاربیدهای آلیاژی ریز پراکنده در فولادهای آلیاژ - بالا یا سخت شدن ثانویه.

یافته های همچنین نشان می دهد که قبل از مرحله اول تمپرینگ. در هنگام کوئنچ کردن یا نگهداری در دمای محیط، باز آرای و توزیع دوباره اتم های کربن اتفاق می افتد. که به آن "خود تمپر شدن (autotempering)" یا "کوئنچ تمپرینگ" می گویند. سایر تغییرات ساختاری به دلیل باز آرای اتم های کربن قبل از مرحله ۱ تمپرینگ کلاسیک رخ می دهند.

#### دما و زمان تمپرینگ

زمان و دما هر دو بر بخش شدن کربن و عناصر آلیاژی. و در نتیجه میزان تشکیل و خواص کاربید و تمپرینگ تأثیر می گذارند. برای ثبات و وابستگی به تغییرات زمان، قطعات به طور کلی برای ۱ تا ۲ ساعت. در کوره های گازی یا برقی تمپر می شوند. یک قانون کلی که توسط Thelning پیشنهاد شده است. و استاندارد AMS 2759 نیز آن را برای فولادهای کربنی و کم آلیاژ توصیه شده است. ۱ ساعت به ازای هر ۲۵ میلیمتر (۱ اینچ) ضخامت مقطع است. پس از اینکه بار کوره به یک دمای از پیش تعیین شده برسد. اگر تمپرینگ با گرمایش القایی انجام شود. چرخه تمپرینگ هم به دما و هم به زمان ماندن در آن دما کاملاً حساس خواهد بود.

بطور کلی، سختی مورد نظر مشخص است. و دمای مورد نیاز از روی منحنی ها برای زمان تمپرینگ خاص تعیین می شود. با این حال، در نظر گرفتن «تمپرینگ معادل» در طیف گسترده ای از ترکیبات دما و زمان مفید است. غالباً، تمپرینگ را می توان با تمپرینگ کوتاه مدت در دمای بالاتر نیز انجام داد.

#### تغییرات ابعادی در حین تمپرینگ

شبهه کریستالی مکعب مستطیلی مرکز - بدنی مارتنزیت چگالی کمتری از ساختارهای مکعب مربعی مرکز - بدنی فریت دارد. در نتیجه، در حین عملیات تمپرینگ، با تجزیه مارتنزیت چگالی - کمتر به مخلوطی از سمنتیت و فریت. کاهش در حجم اتفاق می افتد. با این حال از آنجایی که پس از کوئنچ کردن قطعه همیشه یک ساختار ۱۰۰ درصد مارتنزیتی ایجاد نمی شود. با افزایش پیوسته دمای تمپرینگ، ممکن است. به دلیل تبدیل آستنیت حفظ شده به فازهای با چگالی کمتر، یک کاهش پیوسته در حجم اتفاق نیفتد.

در فولادهای کربنی ساده و فولادهای کم آلیاژ. آستنیت حفظ شده در تمپرینگ مرحله ۲ به باینیت یا فریت تبدیل می شود. این امر منجر به افزایش حجم می شود. زیرا آستنیت تراکم بیشتری نسبت به فریت و باینیت دارد. در هنگام تمپرینگ برخی از فولادهای آلیاژی خاص. مقداری از آستنیت حفظ شده در هنگام خنک سازی از دمای تمپرینگ ممکن است تبدیل به مارتنزیت شود. زمانیکه کاربیدهای آلیاژی در هنگام تمپرینگ رسوب می کنند. دمای شروع تبدیل آستنیت حفظ شده به مارتنزیت بالاتر رفته. و مقداری از آستنیت حفظ شده ممکن است تبدیل به مارتنزیت شود.

## فولاد رسول دلاکان

با سالها تجربه ارزشمند و گرانها در عرصه تأمین و توزیع انواع ورق آلیاژی و انواع فولاد آلیاژی. با گواهینامه ها و آنالیزهای معتبری که ضمیمه محصولاتش به مشتریان خویش ارائه داده است. توانسته رضایتمندی مشتریان خویش را همواره فراهم آورد.

صنعتگر شریف و گرامی از اینکه ما را جهت خرید کالا (فولاد آلیاژی) مورد نیاز خویش. انتخاب می نماید از شما سپاسگزاریم.

ارتباط با ما

09122136675 – 02128423820-09922704358

واتس آپ: ۰۹۱۲۲۱۳۶۶۷۵

اینستاگرام: fooladdalakan

ایمیل : fooladrasuldalakan@gmail.com

فولاد رسول دلاکان