

عملیات حرارتی :

قبل از ظهور متالوژی به عنوان یک علم، بسیاری از عملیات مربوط به سخت کردن فولادها، افزایش قابلیت شکل پذیری آنها و یا عملیات مشابه دیگر، در پرده ای از ابهام و اسرار نهفته بود. به بیان دیگر، تبدیل یک قطعه آهن نرم و انعطاف پذیر به یک ابزار و اسلحه فلزی مقاوم، سخت و برنده نظیر شمشیر، ویا چاقو، اساس و راز صنعتگران به حساب می آمد و هیچگونه علم و دانشی برای روشن کردن چگونگی این تغییر حالتها وجود نداشت. به عنوان مثال، برای مدتها تصور می شد که، کیفیت بسیار بالای فولادهای ساخته شده توسط صنعتگران شفلید در انگلستان، ناشی از خواص سحر آمیز آب این شهر است. در همین رابطه، گفته شده است که زمانی یک تاجر از ایالت یورک در انگلستان، مقادیر بسیار زیادی از آب شهر شفلیدر را به قیمت گزافی به ژاپن صادر نمود.

در گزارشها آمده است که در زمان بسیار قدیم، صنعتگران دمشق برای سخت کردن شمشیرهای فولادی، آنها را ابتدا حرارت داده، کاملاً داغ کرده، و سپس در شکم برده های اسیر شده فرو برده، به شدت حرکت داده و می چرخاندند. از جمله عوامل موثر در سخت شدن فولاد در این روش وحشتناک عملیات حرارتی، می تواند جذب نیتروژن خون باشد. در یادداشتهای مربوط به تاریخچه عملیات حرارتی آمده است که جیمز باوی سازنده اصلی چاقوی باوی در دوران غرب وحشی به منظور سخت کردن چاقوهای خود آنها را پس از حرارت دادن و سرخ شدن، نه مرتبه پشت سر هم در روغن پلنگ فرو می برده است.

گرچه از زمان باستان، عملیات حرارتی به عنوان یکی از مهمترین مراحل تولید ابزارهای فولادی (به طور فلزی) استفاده می شده است، ولی ظهور آن به عنوان یک علم به اواسط قرن نوزدهم بر می گردد. تا آن زمان، دانش بشر در زمینه عملیات حرارتی به مجموعه هایی از دستورالعملهای به دست آمده از قرنهای متوالی تجربه منحصر می شود.

این دستورالعملها که اغلب ارزش بسیار زیادی داشته، از پدر به پسر به ارث می رسید. در این میان، بسیاری از اسرار گم شده و دو مرتبه کشف می شد، ولی طبیعت و ماهیت واقعی عملیات حرارتی همچنان در پرده ابهام باقی بود. در قرن نوزدهم، با پیشرفت سریع علم، عملیات حرارتی نیز به جرگه علوم پیوست، جهش اولیه و ناگهانی که در این زمینه به وقوع پیوست، ناشی از مطالعات انجام شده توسط میکروسکوپ نوری داده شد، "تکنیک متالوگرافی" برای مشاهده و مطالعه ساختار فلزات و آلیاژها ارائه شد. این تکنیک که شامل پولیش و حکاکی با محلول شیمیایی مناسب و مشاهده ساختار سطح نمونه توسط میکروسکوپ نوری است، هنوز هم یکی از مهمترین ابزارهای دانشمندان متالوژی برای مطالعه و تعیین میکروساختار فلزات و آلیاژها محسوب می شود.

پیشرفتهای وسیع نظریه های عملیات حرارتی پس از سالهای ۱۹۲۰، مدیون دستگاه آنالیزکننده با پرتو ایکس است. به کمک این دستگاه مطالعات عمیق در رابطه با طبیعت، مکانیزم و سینتیک دگرگونیهای

حالت جامد انجام شد. در مدت دو یا سه دهه، اطلاعات بسیار و جامعی در رابطه با قوانین اثرات حرارتی بر روی میکروساختار و خواص فلزات و آلیاژها به دست آمد. در اواخر سالها ی ۱۹۵۰ میکروسکوپیهای الکترونیکی از نوع عبوری برای مطالعه تغییرات میکرو ساختار درونی در اثر عملیات حرارتی و سپس تکنیکهای جدید به منظور آنالیز در مقیاس میکروسکوپی نظیر استفاده از میکروسکوپیهای اوزه به طور وسیعی به کار گرفته شدند.

در مرحله جدید مطالعات، اثرات و نقش معایب شبکه های بلوری در فلزات بر روی چگونگی تغییرات میکروساختار در اثر عملیات حرارتی مختلف بررسی شد. اهمیت این امر با توجه به این نکته مشخص می شود که، در بسیاری از موارد، معایب بلوری اثرات بسیار شدید و حتی در برخی موارد اثرات تعیین کننده ای بر روی مکانیزم تغییرات ساختار و در نتیجه تغییرات خواص در ضمن عملیات حرارتی دارند. ارایه نظریه های جدید، بسط و گسترش آنها، بهبود روشهای عملیات حرارتی موجود و ارائه روشهای نوین نظیر عملیات حرارتی - شیمیایی (ترموشیمی) (و بالاخره به کارگیری روشهای جدید نظیر القای یونی به منظور سخت کردن سطحی، موجب گسترش هر چه وسیعتر گستره عملیات حرارتی در دهه اخیر شده است.

محیط سرد کننده :

بررسی اثر درصد کربن و محیط سرد کننده بر سختی و ریز ساختار فولادهای ساده کربنی . فولادها گروهی از آلیاژهای آهن-کربن و عناصر دیگرند که بیشترین کاربرد را در صنعت و فناوری دارند. یکی از دلایل کاربرد وسیع فولاد ها عبارتست از خواص کاملاً متنوعی که میتوان به کمک روشهای مختلف عملیات حرارتی در آنها بوجود آورد. نوع عملیات حرارتی انجام شده روی فولاد و همچنین مقدار درصد کربن فولاد عامل اصلی تاثیر گزار بر میکرو ساختار نهایی فولاد می باشد . بسته به نوع عملیات حرارتی انجام شده میتوان یکی از میکرو ساختارهای مارتنزیتی ، بینیتی ، پرلیتی را بدست آورد.

میکروساختار مارتنزیت سخت ترین میکرو ساختاری است که میتوان در یک فولاد کربنی ساده بوجود آورد. تشکیل میکرو ساختار مارتنزیتی در صورتی امکانپذیر است که از دگرگونی آستنیت به مخلوط فریت و سمنتیت در دماهای بالا جلوگیری شود . مارتنزیت دقیقاً همان تر کیب شیمیایی آستنیت اولیه را دارد.

محصول دگرگونی یونکتویید در فولادها، میکروساختار منحصر به فردی موسوم به پرلیت است . پرلیت از لایه های متناوب فریت و سمنتیت تشکیل شده و مشابه اثر انگشت بر روی کاغذ است . به بیان دیگر، ساختار پرلیت توسط دسته هایی از لایه های متناوب فریت و سمنتیت با فواصل و جهات مختلف مشخص می شود..

بینیت در فولادها در گستره دمایی بین پایینترین دمای تشکیل پرلیت و بالاترین دمای تشکیل مارتنزیت، تشکیل می شود. از جمله مشخصه های عمده دگرگونی بینیتی این است که از بعضی از جنبه ها شبیه به دگرگونی پرلیتی واز برخی جنبه ها مشابه دگرگونی مارتنزیتی است.

آستنیت‌پختن کردن :

بررسی اثر دما و زمان آستنیت‌پختن بر سختی و ریز ساختار فولاد های ساده کربنی. تشکیل آستنیت و کنترل اندازه دانه های آن از جمله پارامتر های مهم در رابطه با بسیاری از روشهای عملیات حرارتی فولاد هاست. چگونگی دگرگونی آستنیت (ریز ساختار) و خواص مکانیکی (سختی و...) ساختارهای حاصل از آن به شدت تحت تاثیر اندازه دانه های آستنیت ، درصد کربن و عناصر آلیاژی که به صورت محلول در آستنیت وجود دارند قرار دارد. مهم ترین پارامتر های مؤثر بر روی اندازه دانه ها ، درصد کربن و همچنین درصد

عناصر آلیاژی محلول در آستنیت عبارتند از:

۱- ساختار اولیه.

۲- دمای آستنیت‌پختن.

۳- زمان آستنیت‌پختن.

از نقطه نظر دگرگونی ، مرز دانه های آستنیت محل های مناسبی برای جوانه زنی فاز های پرویوتکتوئید و پرلیت است. از این رو، در آستنیت درشت دانه ، محلهای مناسب برای جوانه زنی کمتر بوده و در نتیجه دگرگونی نفوذی آستنیت به تعویق می افتد. این پدیده باعث می شود که سختی پذیری فولاد افزایش یابد. همچنین اندازه دانه ها آستنیت با تغییر دادن دمای Ms بر روی دگرگونی تشکیل مارتنزیت اثر می گذارد.

آنیل کردن :

بررسی فرآیندهای آنیل کردن شامل آنیل کامل، آنیل ایزوترمال و آنیل اسفرودایز. واژه آنیل دارای معنی، مفهوم و کاربرد وسیعی است، بدین صورت که، به هر نوع عملیات حرارتی که منجر به تشکیل ساختاری بجز مارتنزیت و با سختی کم و انعطاف پذیری زیاد شود اطلاق می شود. از آنجایی که این مفهوم بسیار کلی است، عملیات حرارتی آنیل به یک سری فرآیندهای مشخصتر و دقیقتر تقسیم می شود. این تقسیم بندی بر اساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی است .

آنیل کامل :

آنیل کامل عبارتست از حرارت دادن فولاد در گستره دمایی نشان داده شده در شکل زیر و سپس سرد کردن آهسته، معمولاً در کوره است. تحت شرایط فوق آهنگ سرد شدن در حدود ۰,۰۲ درجه سانتیگراد بر ثانیه است . همچنان که در شکل دیده می شود، گستره دمایی آستنیت‌پختن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن فولاد است . بدین صورت که ، برای فولادهای هیپویوتکتوئید حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بالای خط و برای فولادهای هایپریوتکتوئید حدود ۵۰ درجه سانتیگراد بالای خط است . دماهای بحرانی و تا حدودی تحت تاثیر عناصر آلیاژی در فولادهای تغییر می کند. بنابر این، به طور کلی در عملیات آنیل کامل ، فولادهای هیپویوتکتوئید را در ناحیه تکفاز آستنیت و فولادهای هایپریوتکتوئید را در ناحیه دوفازی آستنیت- سمنتیت حرارت می دهند.

علت آستنیت‌زدن فولادهای هایپر یوتکتوئید در ناحیه دوفازی آستنیت- سمنتیت این است که سمنتیت پرویوتکتوئید در این فولاد به صورت کروی و مجتمع شده در آید. اگر چنین فولادی تا بالای خط حرارت داده شود، در ضمن آهسته سرد شدن سمنتیت پرویوتکتوئید به صورت شبکه پیوسته ای در مرز دانه های آستنیت رسوب می کند و در نتیجه منجر به ترد و شکننده شدن فولاد می شود. در عملیات آنیل کامل، هدف از آستنیت‌زدن فولادهای هایپر یوتکتوئید در ناحیه دوفازی آستنیت - سمنتیت، عبارت است از شکستن شبکه پیوسته کاربید یاد شده و تبدیل آن به زرات ریز و کروی شکل مجزا از یکدیگر است. نیروی محرکه در این عملیات عبارت است از کاهش انرژی فصل مشترک ناشی از کروی شدن ذرات کاربید و در نتیجه کاهش مقدار فصل مشترک آستنیت- کاربید است.

آنیل ایزو ترمال :

این عملیات شامل حرارت دادن فولاد در دو دمای مختلف است، ابتدا عملیات آستنیت‌زدن که در همان گستره دمایی مربوط به آنیل کامل انجام می شود و سپس سرد کردن سریع تا دمای دگرگونی و نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت انجام دگرگونی.

پس از پایان دگرگونی، فولاد را با هر آهنگ سرد شدن دلخواهی می توان سرد کرد. منحنی زیر شمایی از مراحل گرم کردن و سرد شدن را در عملیات آنیل همدمای یک فولاد هیپو یوتکتوئید نشان می دهد.

زمان لازم برای آنیل همدمای در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است، در حالی که سختی نهایی کمی بیشتر خواهد بود. همانند آنیل کامل، میکروساختار حاصل از آنیل همدمای فولادهای هیپو یوتکتوئید، یوتکتوئید و هایپر یوتکتوئید به ترتیب عبارت است از فریت-پرلیت، پرلیت و پرلیت - سمنتیت است. ولی پرلیت حاصل نسبتاً ظریفتر و در صد فریت و سمنتیت پرویوتکتوئید تا حدودی کمتر است. از جمله موارد عمده کاربرد آنیل همدمای در رابطه با فولادهای آلیاژی است که دارای سختی پذیری بالایی اند. در صورتی که بر روی این فولادها عملیات حرارتی آنیل کامل انجام شود به علت سختی پذیری زیاد، ساختار نهایی حاصل به جای پرلیت خشن، ممکن است پرلیت ظریف و یا حتی مخلوط از پرلیت ظریف و بینیت بالایی باشد.

آنیل اسفرو دایز :

تعادلی ترین ساختار در بین ساختارهای تعادلی ایجاد زمینه ای از فریت همراه با کره های ریز سمنتیت در آن است این ساختار دارای بالاترین خواص می باشد.

روش های کروی کردن سمنتیت :

- 1- عملیات حرارتی طولانی مدت زیر خط A_1
- 2- عملیات حرارتی فولاد هیپو در رنج و فولاد هایپر و سپس سرد کردن تا دمایی زیر و سپس نگه داشتن در این دما به منظور کروی شدن سمنتیت.

۳- حرارت دادن فولاد هیپو در رنج و فولاد هایپر در رنج و سپس سرد کردن آهسته تا زیر و نگه داشتن در این دما به مدت زمان $0.5h$ و تکرار عمل فوق الذکر در چند مرتبه.

سختی پذیری :

بررسی و تعیین سختی پذیری فولاد ها با استفاده از تست جمینی (Jomihardenability Test) برای این منظور از یک نمونه ی استوانه ای به قطر ۲۵ میلی متر (۱ اینچ) و طول ۱۰۰ میلی متر (۴ اینچ) استفاده می شود.

از آنجایی که ساختار اولیه فولاد اثر قابل توجهی بر روی سختی پذیری آن دارد ، بهتر است که نمونه ها قبل از آزمایش نرماله شوند . در این روش نمونه مورد نظر را تا دمای سخت کردن فولاد حرارت داده و به مدت تقریبا ۲۰ دقیقه در آن دما نگه داشته و پس از آن به کمک یک فواره آب با فشار و دبی مشخص ، نمونه را از یک انتها توسط آب ۲۵ درجه سانتیگراد سرد می کنند . فاصله ی فواره از انتهای نمونه در حدود $12/5$ میلی متر (0.5 اینچ) است .

تحت این شرایط ، آهنگ سرد نقاط مختلف نمونه از انتهای سریع سرد شده (آب پاشیده شده) به سمت دیگر کاهش می یابد . پس از سرد شدن دو طرف نمونه موازی طول آن به اندازه 0.4 میلی متر از هر طرف سنگ زده و سختی نمونه در امتداد محور طولی از یک انتها به انتهای دیگر و به فواصل ۲ میلی متر اندازه گیری می شود . به این ترتیب منحنی تغییرات سختی بر حسب فاصله از انتهای سرد شده که به نمودار جمینی مرسوم است را رسم می کنند . البته در این آزمایش برای سختی سنجی ما از روش راکول A استفاده کردیم و نیز سختی سختی را در ۱۵ نقطه انجام دادیم.

بازگشت :

مطالعه بازگشت (Tempering) فولاد های آبدیده و بررسی دما و زمان بازگشت بر سختی و ریز ساختار آن ها.

به علت تنش های داخلی ایجاد شده در ضمن سریع سرد شدن ، تقریبا تمامی قطعات سخت شده نسبتا ترد و شکننده اند . از این رو به ندرت فولاد ها پس از سریع سرد شدن و در شرایط سخت (مارتنزیت) شده استفاده می شوند ، مگر در موارد استثنایی نظیر هنگامی که به سختی فوق العاده زیادی نیاز باشد و یا در رابطه با فولاد های کم کربن . معمولا فولاد پس از سرد شدن و قبل از استفاده باید بازگشت شود. بازگشت عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای Ae_1 ، نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق . دما و زمان حرارت دادن به ترکیب شیمیایی فولاد ، ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر بستگی دارد . در اثر باز پخت تنش های داخلی کاهش یافته و یا حذف

می شوند و بنابراین استحکام ضربه ای افزایش می یابد (شکنندگی کم می شود). در عوض سختی و استحکام قطعه سخت شده تا حدودی کاهش خواهد یافت.

تغییرات میکرو ساختار :

ساختار یک فولاد سریع سرد (مارتنزیت) شده ، ناپایدار است . دلایل ناپایداری عبارتند از : وجود کربن به صورت فوق اشباع در شبکه بلوری مارتنزیت ، انرژی تنش ناشی از وجود نابجایی ها و دوقلو های بسیار زیاد در ساختار بلوری صفحات مارتنزیتی ، انرژی سطحی ناشی از فصل مشترک های بسیار زیاد بین صفحات مارتنزیتی و بالاخره وجود آستنیت باقیمانده که حتی در فولاد های کم کربن نیز اجتناب ناپذیر است . هنگامی که یک فولاد مارتنزیت شده به منظور بازگشت دادن حرارت داده می شود ، هر کدام از پارامتر های فوق نقش نیروی محرکه ای را برای تغییر ساختار در مراحل مختلف بازی می کند ، که عبارتند از : کربن فوق اشباع در شبکه مارتنزیت نیروی محرکه جهت تشکیل کاربید .

انرژی تنش نیروی محرکه برای بازیابی ، انرژی فصل مشترک نیروی محرکه برای رشد دانه ها و یا افزایش پیوستگی و وسعت زمینه فریتی و بالاخره آستنیت باقیمانده نیروی محرکه برای تشکیل مخلوط فریت و سمنتیت در ضمن بازگشت .

بررسیهای سیستماتیک که به کمک پراش پرتو ایکس بر روی میکروساختار فولاد های سریع سرد و بازگشت شده انجام شده است ، سه مرحله کاملا مشخص و مجزا از یکدیگر را در رابطه با تغییر میکروساختار مارتنزیت در ضمن بازگشت نشان می دهد . این سه مرحله عبارتند از :

مرحله اول : تشکیل کاربید های انتقالی نظیر کاربید اپسیلین و یا کاربید اتا و در نتیجه کاهش درصد کربن زمینه مارتنزیتی تا حدود ۰/۲۵ درصد .

مرحله دوم : تبدیل آستنیت باقیمانده به فریت و سمنتیت .

مرحله سوم : جایگزین شدن کاربید های انتقالی و مارتنزیت کم کربن توسط فریت و سمنتیت .

در این جا تذکر این نکته ضروری است که به جز موارد اشاره شده در مراحل سه گانه فوق تغییرات ساختاری دیگری نیز در ضمن بازگشت فولاد های سریع سرد شده گزارش شده است . از آن جمله تشکیل کاربید های آلیاژی و ایجاد سختی ثانویه است ، که می توان آن را مرحله چهارم بازگشت نامید . مطالعات و گزارشات دیگری در همین رابطه نشان است که در ضمن سریع سرد شده یا نگه داشتن فولاد سریع سرد شده در دمای اتاق احتمال رسوب اتمهای کربن بر روی نابجاییها و محل های پر انرژی دیگر نظیر فصل مشترک های بین صفحات مارتنزیتی وجود دارد . تحت شرایط فوق رسوب و تجمع اتمهای کربن می تواند تشکیل کاربید را به دنبال داشته باشد . در حقیقت در چنین شرایطی مرحله اول بازگشت در ضمن سریع سرد شدن یا نگه داشتن در دمای اتاق انجام می شود . به این ترتیب ملاحظه می شود که تغییرات ساختار

یک فولاد سریع سرد شده را در ضمن بازگشت به بیشتر از سه مرحله می توان تقسیم کرد . با این حال نظر به اهمیت موضوع و سهولت مطالعه مطالعه رفتار فولاد های بازگشت شده ، اثرات بازگشت بر روی تغییرات میکرو ساختار در چهارچوب مراحل اول ، دوم و سوم بررسی می شود.

تغییرات خواص مکانیکی :

مارتنزیت که میکرو ساختار مورد نظر در عملیات سریع سرد کردن فولاد هاست ، کاملاً سخت و در عین حال بسیار ترد و شکننده است . برخی پارامتر ها که منجر به ترد و شکننده شدن مارتنزیت می شوند عبارت اند از:

➤ خارج شدن شبکه بلوری فولاد از شکل طبیعی خود در اثر محبوس شدن کربن اضافی در فضای هشت وجهی .

➤ رسوب اتم های ناخالصی در مرز دانه آستنیت اولیه .

➤ تشکیل کاربید در ضمن سرد شدن .

➤ تنش های حاصل از سریع سرد شدن .

هدف اصلی از عملیات حرارتی بازگشت کاهش تردی و شکنندگی و یا به بیان دیگر افزایش چقرمگی و مقاومت فولاد در برابر ضربه است . از آن جایی که در عملیات بازگشت هر دمایی در گستره دمایی اتاق تا Ae_1 را می توان استفاده کرد ، بنا براین میکرو ساختار و در نتیجه خواص مکانیکی کاملاً متنوعی از مارتنزیت تا سمنتیت کروی در زمینه فریت را می توان بدست آورد . عملاً دما و زمان بازگشت با توجه به خواص مکانیکی یعنی میزان سختی ، استحکام و چقرمگی که در عمل لازم است انتخاب می شود .

دمای مناسب برای بازگشت فولاد های کربنی ساده و کم آلیاژ را می توان با توجه به ترکیب شیمیایی آن ها و سختی نهایی مورد نظر به طور تقریب مشخص کرد . این روش بر اساس فرمول ارائه شده توسط گرون و جف است که فرض می کند فولاد پس از سریع سرد شدن عمدتاً ساختار مارتنزیتی داشته باشد . فرمول ارائه شده به صورت زیر است:

$$T = 30 (Hc - Ha)$$

در این فرمول:

T : دمای بازگشت بر حسب فارنهایت ،

Hc : سختی محاسبه شده از ترکیب شیمیایی ،

Ha : سختی مورد نظر پس از بازگشت است .

اگر دمای بازگشت به سانتیگراد تبدیل شود فرمول فوق به صورت زیر در می آید:

$$T = 16,67 (Hc - Ha) - 17,8$$

ارتباط دما و زمان بازگشت :

در عملیات بازگشت هنگامی که به زمان بازگشت اشاره ای نشود منظور زمان ساعت است . برای حصول سختی مورد نظر می توان زمان بازگشت را تغییر داد . به شرط اینکه دمای بازگشت تغییر داده شود . رابطه دما و زمان بازگشت توسط پارامتر بازگشت مشخص می شود { $T(C+\log t)$ } در این رابطه T دمای بازگشت بر حسب درجه کلوین و t زمان بازگشت بر حسب ساعت و C ثابت بازپخت است . لازم به اشاره است که C تابع درصد کربن فولاد بوده و عناصر آلیاژی بر روی آن اثر قابل ملاحظه ای ندارند . مقدار C را تقریباً برابر با ۱۸ پیشنهاد داده اند .

چدن مالیل :

مطالعه و بررسی عملیات حرارتی ، خواص و ساختار چدن مالیل .
به علت تنش های داخلی ایجاد شده در ضمن سریع سرد شدن ، تقریباً تمامی قطعات سخت شده نسبتاً ترد و شکننده اند . از این رو به ندرت فولاد ها پس از سریع سرد شدن و در شرایط سخت (مارتنزیت) شده استفاده می شوند ، مگر در موارد استثنایی نظیر هنگامی که به سختی فوق العاده زیادی نیاز باشد و یا در رابطه با فولاد های کم کربن . معمولاً فولاد پس از سرد شدن و قبل از استفاده باید بازگشت شود . بازگشت عبارت است از حرارت دادن فولاد سخت شده تا دمایی زیر دمای Ae_1 ، نگه داشتن برای مدت زمان مشخص و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق . دما و زمان حرارت دادن به ترکیب شیمیایی فولاد ، ابعاد قطعه و خواص مکانیکی مورد نظر بستگی دارد . در اثر باز پخت تنش های داخلی کاهش یافته و یا حذف می شوند و بنابراین استحکام ضربه ای افزایش می یابد (شکنندگی کم می شود) . در عوض سختی و استحکام قطعه سخت شده تا حدودی کاهش خواهد یافت .

تغییرات میکرو ساختار :

ساختار یک فولاد سریع سرد (مارتنزیت) شده ، ناپایدار است . دلایل ناپایداری عبارتند از :
وجود کربن به صورت فوق اشباع در شبکه بلوری مارتنزیت ، انرژی تنش ناشی از وجود نابجایی ها و دوقلو های بسیار زیاد در ساختار بلوری صفحات مارتنزیتی ، انرژی سطحی ناشی از فصل مشترک های بسیار زیاد بین صفحات مارتنزیتی و بالاخره وجود آستنیت باقیمانده که حتی در فولاد های کم کربن نیز اجتناب ناپذیر است . هنگامی که یک فولاد مارتنزیت شده به منظور بازگشت دادن حرارت داده می شود ، هر کدام از پارامتر های فوق نقش نیروی محرکه ای را برای تغییر ساختار در مراحل مختلف بازی می کند ، که عبارتند از : کربن فوق اشباع در شبکه مارتنزیت نیروی محرکه جهت تشکیل کاربید . انرژی تنش نیروی محرکه برای بازیابی . انرژی فصل مشترک نیروی محرکه برای رشد دانه ها و یا افزایش پیوستگی و وسعت زمینه فریتی و بالاخره آستنیت باقیمانده نیروی محرکه برای تشکیل مخلوط فریت و سمنتیت در ضمن بازگشت .

بررسیهای سیستماتیک که به کمک پراش پرتو ایکس بر روی میکروساختار فولاد های سریع سرد و بازگشت شده انجام شده است ، سه مرحله کاملا مشخص و مجزا از یکدیگر را در رابطه با تغییر میکروساختار مارتنزیت در ضمن بازگشت نشان می دهد . این سه مرحله عبارتند از :

مرحله اول : تشکیل کاربید های انتقالی نظیر کاربید اپسین و یا کاربید اتا و در نتیجه کاهش درصد کربن زمینه مارتنزیتی تا حدود ۰/۲۵ درصد.

مرحله دوم : تبدیل آستنیت باقیمانده به فریت و سمنتیت.

مرحله سوم : جایگزین شدن کاربید های انتقالی و مارتنزیت کم کربن توسط فریت و سمنتیت.

در این جا تذکر این نکته ضروری است که به جز موارد اشاره شده در مراحل سه گانه فوق تغییرات ساختاری دیگری نیز در ضمن بازگشت فولاد های سریع سرد شده گزارش شده است . از آن جمله تشکیل کاربید های آلیاژی و ایجاد سختی ثانویه است ، که می توان آن را مرحله چهارم بازگشت نامید . مطالعات و گزارشات دیگری در همین رابطه نشان است که در ضمن سریع سرد شده یا نگه داشتن فولاد سریع سرد شده در دمای اتاق احتمال رسوب اتمهای کربن بر روی نابجاییها و محل های پر انرژی دیگر نظیر فصل مشترک های بین صفحات مارتنزیتی وجود دارد . تحت شرایط فوق رسوب و تجمع اتمهای کربن می تواند تشکیل کاربید را به دنبال داشته باشد . در حقیقت در چنین شرایطی مرحله اول بازگشت در ضمن سریع سرد شدن یا نگه داشتن در دمای اتاق انجام می شود . به این ترتیب ملاحظه می شود که تغییرات ساختار یک فولاد سریع سرد شده را در ضمن بازگشت به بیشتر از سه مرحله می توان تقسیم کرد . با این حال نظر به اهمیت موضوع و سهولت مطالعه رفتار فولاد های بازگشت شده ، اثرات بازگشت بر روی تغییرات میکرو ساختار در چهارچوب مراحل اول ، دوم و سوم بررسی می شود .

تغییرات خواص مکانیکی :

مارتنزیت که میکرو ساختار مورد نظر در عملیات سریع سرد کردن فولاد هاست ، کاملا سخت و در عین حال بسیار ترد و شکننده است . برخی پارامتر ها که منجر به ترد و شکننده شدن مارتنزیت می شوند عبارت اند از :

➤ خارج شدن شبکه بلوری فولاد از شکل طبیعی خود در اثر محبوس شدن کربن اضافی در فضای هشت وجهی .

➤ رسوب اتم های ناخالصی در مرز دانه آستنیت اولیه .

➤ تشکیل کاربید در ضمن سرد شدن .

➤ تنش های حاصل از سریع سرد شدن .

هدف اصلی از عملیات حرارتی بازگشت کاهش تردی و شکنندگی و یا به بیان دیگر افزایش چقرمگی و مقاومت فولاد در برابر ضربه است. از آن جایی که در عملیات بازگشت هر دمایی در گستره دمای اتاق تا دمای Ae1 را می توان استفاده کرد، بنا براین میکرو ساختار و در نتیجه خواص مکانیکی کاملاً متنوعی از مارتنزیت تا سمنتیت کروی در زمینه فریت را می توان بدست آورد. عملاً دما و زمان بازگشت با توجه به خواص مکانیکی یعنی میزان سختی، استحکام و چقرمگی که در عمل لازم است انتخاب می شود.

دمای مناسب برای بازگشت فولاد های کربنی ساده و کم آلیاژ را می توان با توجه به ترکیب شیمیایی آن ها و سختی نهایی مورد نظر به طور تقریب مشخص کرد. این روش بر اساس فرمول ارائه شده توسط گرون وجف است که فرض می کند فولاد پس از سریع سرد شدن عمدتاً ساختار مارتنزیتی داشته باشد. فرمول ارائه شده به صورت زیر است:

$$T = 30 (Hc - Ha)$$

در این فرمول:

T: دمای بازگشت بر حسب فارنهایت،

Hc: سختی محاسبه شده از ترکیب شیمیایی،

Ha: سختی مورد نظر پس از بازگشت است.

اگر دمای بازگشت به سانتیگراد تبدیل شود فرمول فوق به صورت زیر در می آید:

$$T = 16,67 (Hc - Ha) - 17,8$$

پدیده تردی هیدروژنی:

تردی هیدروژنی (Hydrogen Embrittlement) فرآیندی است که در آن هیدروژن با نفوذ به ماده فلزی منجر به ایجاد ترک، کاهش انعطاف پذیری و در نهایت شکست و تخریب آن می شود. شکست مواد فلزی در اثر پدیده تردی هیدروژنی اغلب غیرقابل پیش بینی و گاه فاجعه بار است. دلیل آن این است که برای وقوع شکست، اعمال نیروی خارجی نیاز نیست و وجود تنش های پس ماند (Residual Stress) می تواند به عنوان منبع اعمال تنش عمل کند. آستانه تنش هایی که سبب ترک می شود معمولاً کمتر از تنش تسلیم ماده است بنابراین ماده بدون اینکه تغییر شکل کافی دهد یا صدمات ظاهری آن قابل رویت باشد به صورت ناگهانی و در حقیقت در اثر یک شکست درونی تخریب می شود. حد تردی هیدروژنی به مقدار هیدروژن و مدت زمانی که ماده در معرض آن قرار گرفته وابسته است. هیدروژن که از لحاظ شعاع اتمی بسیار کوچک است می تواند در طی فرآیند ساخت یا عملیات انجام گرفته روی فلز و یا در حین کاربرد قطعه فلزی به درون آن نفوذ کند. فرآیندهائی نظیر اسیدشوئی، پوشش دهی الکتریکی (Electroplating)، جوشکاری و بطور کلی تمامی فرآیندهای مائی پوشش دهی که سطح فولاد را در معرض هیدروژن آزاد قرار می دهد ماده را مستعد جذب و

نفوذ هیدروژن می‌کند. وجود مقادیر بسیار کم هیدروژن می‌تواند منجر به بروز پرونده هیدروژنی در مواد و فولادهای استحکام بالا شود.

منابع تنش :

تنشی که در حضور هیدروژن می‌تواند منجر به بروز پدیده تردی هیدروژنی شود ممکن است از طریق منابع زیر اعمال شود:

۱. نیروی خارجی و باری که در حین عملیات کاری به فلز اعمال می‌شود مانند ماشین‌کاری، ارتعاش و نظیر آن.

۲. تنش‌های درونی یا پسماند که پس از فرآیندهای ساخت قطعه نظیر جوشکاری، تغییر شکل مکانیکی و مانند آن در درون قطعه باقی می‌ماند.

باید توجه داشت که فرآیند تردی یا خوردگی ناشی از هیدروژن در فلز با مواردی نظیر خوردگی خستگی یا خوردگی فرسایشی متفاوت است. اگر تنش اعمالی در حین عملیات تغییر کند و جسم در محیط خوردگی باشد، خوردگی خستگی اتفاق می‌افتد و اگر تنش عمدتاً در مناطق سطحی متمرکز باشد خوردگی فرسایشی صورت می‌گیرد. اما تردی هیدروژنی ممکن است تنها با وجود تنش‌های پس ماند در قطعه و یا با اعمال تنش خارجی کمتر از تنش تسلیم قطعه و به هنگامی که قطعه در معرض نفوذ هیدروژن قرار دارد اتفاق بیفتد.

منابع هیدروژن :

هیدروژن از راه‌های گوناگون به درون فلز نفوذ می‌کند. گاه ممکن است هیدروژن در حین فرآیند فولادسازی و هنگامی که فلز به صورت مذاب است در آن نفوذ کند و بلافاصله پس از انجماد به صورت فوق اشباع در آن باقی بماند. در این حالت بدون اینکه قطعه در حین کار بعدی در معرض محیط هیدروژن قرار گیرد بدلیل نفوذ ابتدائی هیدروژن مستعد تردی هیدروژنی می‌شود. با انجام عملیات هیدروژن زدائی بویژه در مورد فولادهای خاص، مقدار هیدروژن را به کمتر از ۳ واحد در میلیون (ppm) می‌رسانند. بیشترین خطر بروز تردی هیدروژنی ناشی از جذب هیدروژن توسط فلز جامد است که می‌توان آن را "تردی هیدروژنی محیطی" نامید. راه‌های نفوذ به فلز عبارتست از:

۱. برخی فرآیندهای ساخت و عملیات تکمیلی بر روی قطعات نظیر جوشکاری، اسیدشوئی، فسفات‌دهی و پوشش‌دهی الکتریکی.

۲. استفاده از حفاظت کاتدی برای محافظت خوردگی قطعات در صورتی که فرآیند بخوبی کنترل نشود.

۳. به عنوان یک محصول جنبی واکنشی خوردگی نظیر شرایطی که واکنش تولید هیدروژن به عنوان واکنش کاتدی عمل می‌کند و هیدروژن تولید شده به صورت اتمی در فلز نفوذ می‌نماید.

۴. انبار کردن قطعات در محیط‌های حاوی هیدروژن

مکانیسم تردی هیدروژنی :

پوشش‌دهی فلزات فرآیندی است که می‌تواند زمینه‌ساز تردی هیدروژنی در قطعه شود. موفقیت‌آمیز بودن عملیات پوشش‌دهی به تمیز بودن سطح قطعات بستگی دارد. وقتی قطعات فلزی اسیدشوئی می‌شوند شدیدترین منبع هیدروژن برای نفوذ به فلز پایه فراهم می‌شود. خود فرآیند پوشش‌دهی منبع دیگر حضور و نفوذ هیدروژن است. با توجه به واکنش زیر، هیدروژن اتمی تولید شده و در ماده فلزی نفوذ می‌کند و جذب می‌شود:

هیدروژن اتمی معمولاً به مناطقی نفوذ می‌کند که بیشترین تنش سه بعدی در آن متمرکز شده است. هیدروژن در تله‌هایی نظیر مرز دانه‌ها، مرز تیغه‌های مارتنزیت، فصل مشترک‌های کاربید و نظیر آن در ساختار فولاد نفوذ می‌کند. با افزایش غلظت هیدروژن در این تله‌ها به حد بحرانی، شکست سریع و ترد اتفاق می‌افتد زیرا نیروی ناشی از حضور هیدروژن مولکولی در دروین این تله‌ها بسیار زیاد و گاه در حد چند هزار psi است که به آسانی می‌تواند قطعات بسیار حجیم را نیز ویران نماید.

اگر نیروی خارجی به فلز اعمال نشود و یا تنش‌های پسماند وجود نداشته باشد، تردی هیدروژنی محیطی ممکن است به شکل‌های مختلف نظیر تاول، ترک داخلی، تشکیل هیدرید و کاهش انعطاف‌پذیری نمود یابد. اما اگر تنش کششی وجود داشته باشد و میزان آن حتی از تنش تسلیم فلز کمتر باشد، ترک ناشی از حضور هیدروژن مستعد اشاعه ترک و در نهایت شکست قطعه می‌گردد.

هیدروژن از منابع مختلف شیمیائی یا محیطی می‌تواند به مواد فلزی نفوذ کند. اگر محیط خوردگی فعال باشد، هیدروژن ناشی از واکنش خوردگی به شکل اتمی در فلز نفوذ کرده و اگر قطعه فلزی تحت تنش باشد، خوردگی و شکست ناشی از این حالت SCC یا "ایجاد ترک تحت تنش ناشی از خوردگی (Stress)" (Corrosion Cracking) نامیده می‌شود. اگر حضور سولفید هیدروژن سبب ورود هیدروژن به فلز شود فرآیند ایجاد ترک در این حالت "ایجاد ترک تحت تنش ناشی از سولفید" یا SSC (Sulphide Stress Cracking) نامیده می‌شود. البته SCC پدیده‌ای است که صرفاً به هیدروژن متکی نیست و از مواد خورنده مختلف ناشی می‌شود که به ترک‌های زیر نفوذ کرده و به اشاعه آنها و رسیدن به آستانه شکست کمک می‌کند. به این دلیل اگر پای هیدروژن در میان باشد و شرایط خوردگی تحت تنش فراهم باشد و فرآیند را HSCC یا "ایجاد ترک تحت تنش ناشی از خوردگی در حضور هیدروژن" می‌نامند. به هر صورت، تردی هیدروژنی و SCC هر دو از نوع شکست تأخیری هستند که باعث ایجاد ترک، کاهش انعطاف‌پذیری و ضربه‌پذیری فلز و در نهایت شکست ناگهانی‌تر در تنش‌های کمتر از تنش تسلیم فلز می‌شوند.

تردی هیدروژنی در مواد استحکام بالا :

پدیده تردی هیدروژنی مشکل همه مواد فلزی نیست، بلکه عمدتاً فولادهای استحکام بالا، آلیاژهای کونچ تمپر شده، فولادهای نرم کار سخت شده، آلیاژهای تیتانیوم در شکل هیدریدی و آلیاژهای آلومنیوم کاملاً

پیر سخت شده در معرض بروز آن هستند. تردی هیدروژنی پاشنه آشیل فولادهای استحکام بالاست. با وجود سال‌ها پژوهش، هنوز نکات بسیاری در این زمینه بی‌پاسخ مانده است. در اتصالات فولادهای کربنی استحکام بالا که عمدتاً دارای پوشش نیز هستند و در صنایع خودروسازی یا هوا - فضا مورد استفاده قرار می‌گیرند پدیده تردی هیدروژنی به وفور دیده می‌شود. با توجه به اینکه وقوع شکست با هیچگونه سابقه یا نشانه‌ای از گلوئی شدن (Necking) یا خوردگی همراه نیست و به صورت یک پدیده شکست تاخیری اتفاق می‌افتد، خطرات ناشی از آن بسیار زیاد است بویژه آنکه این نوع اتصالات رزوه دار اغلب در کاربردهای بحرانی مصرف می‌شوند. به عنوان نمونه در قطعات خودرو، اتصالات فولاد کونچ تمپر استحکام بالا تا سختی ۳۸ HRC که به صورت سرد سخت کاری شده و دارای پوشش کادمیم بوده و تحت گشتاور زیاد قرار داشته، شکست آن با تاخیر چند روز روی داده است. مهره‌های بحرانی در هلیکوپتر که کونچ تمپر استحکام بالا تا سختی ۵۰ HRC بوده و پوشش فیزیکی بخار کادمیم داشته و در عمل تحت بار شدید بوده پس از چند سال تاخیر در آنها شکست اتفاق افتاده است. پیچ‌های بحرانی در هواپیما از نوع کونچ تمپر استحکام بالا تا ۴۵ HRC با پوشش کادمیم و تحت گشتاور زیاد با شکست تاخیری چند ساعته مواجه بوده‌اند. تمامی این موارد حاکی از حساسیت موضوع است زیرا وقوع شکست چه بسا از چند لحظه تا چند سال پس از نصب اتصالات صورت گیرد. این در حالی است که این اتصالات ممکن است تمامی مشخصه‌ها و آزمایش‌های مربوطه را پاسخ دهند اما پس از نصب دچار پدیده تردی هیدروژنی شوند. در مورد مواد استحکام بالا تنها حضور چند ppm هیدروژن نفوذ کرده در فلز می‌تواند باعث ایجاد ترک شود.

اتصالات رزوه دار :

بطور کلی اتصالات نظیر پیچ و مهره‌ها، پرچ‌ها، پین‌ها، میخ‌ها و بست‌ها مستعد خوردگی محیطی هستند. دو مشخصه شرایط مونتاژ و تنش‌های اعمالی، شرایط شکست و تخریب آنها را فراهم می‌آورد. از آنجا که اتصالات با مواد مختلف به هم متصل می‌شوند، خوردگی دو فلزی می‌تواند منجر به تخریب اجزا اتصال شود. خوردگی شکافی نیز ممکن است در اثر نفوذ آب غلیظ به فصل مشترک اجزا مونتاژ شده مثل پیچ و مهره منجر به تخریب در شکاف گردد. اما عامل مهم در انتخاب مواد یا پوشش اتصالات استحکام بالا پدیده تردی هیدروژنی است.

اتصالات ممکن است تحت بار استاتیکی یا خستگی قرار داشته باشند. بار استاتیکی می‌تواند از نوع کششی، برشی، خمشی یا پیچشی باشد. شرایط بارگذاری گاه به صورت ترکیبی اتفاق می‌افتد. دلایل دیگری نیز برای شکست اتصالات وجود دارد نظیر مسائل محیطی، مسائل تولید، نصب یا استفاده غیر صحیح. خوردگی به شکل‌های مختلف مثل خوردگی محیطی، خوردگی غوطه‌وری در مایع، خوردگی گالوانیک، خوردگی شکافی، SCC و بالاخره تردی هیدروژنی در شکست اتصالات سهم دارد. بنابراین در کنار انتخاب صحیح مواد، به موضوع عملیات حرارتی، ماشینکاری یا نورد رزوه‌ها، ساخت، مونتاژ و طراحی نیز به عنوان عوامل

موثر بر شکست اتصالات نیز باید توجه داشت. از طریق تجزیه و تحلیل شکست می‌توان سهم عوامل موثر را در بروز شکست تعیین کرد. وجود برخی عناصر در فولاد نظیر آرسنیک، سلنیم، تلوریم، آنتیموان و فسفر، نفوذ هیدروژن به فلز را تسریع می‌بخشد. سم‌های کاتدی در محلول‌های مائی یعنی سیانیدها نیز این روند را تشدید می‌کند. هر چه بازدهی حمام‌های پوشش‌دهی الکتریکی نیز کمتر باشد هیدروژن بیشتری تولید می‌شود و خطر بروز تردی هیدروژنی در فلز افزایش می‌یابد. گرچه تعیین حد سختی قطعه برای بروز خطر تردی هیدروژنی به صورت دقیق ممکن نیست اما معمولاً قطعات و اتصالاتی که تا سختی ۳۵ HRC و بیشتر عملیات حرارتی شوند در معرض این تهدید هستند.

روش‌های جلوگیری از تردی هیدروژنی :

برای جلوگیری از بروز پدیده تردی هیدروژنی باید به گونه‌ای عمل نمود که اتصالات و قطعات قبل از استفاده شدن و ورود به سیکل عملیات کاری، هیدروژن جذب ننمایند. به صورت مشخص، درمورد عملیات پوشش‌دهی اتصالات، استفاده از حمام‌های شستشو و پوشش‌دهی با هیدروژن کم توصیه می‌شود. اما در هر حال در مورد فولادهای استحکام بالا که دارای سختی بیشتر از ۴۰ HRC هستند عملیات تنش‌زدائی در دمای ۲۳۰-۱۵۰ درجه سانتی گراد قبل از فرآیند پوشش‌دهی لازم است. بعد از پوشش‌دهی نیز بلافاصله قطعات باید حداقل در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۴ ساعت در کوره گرم شوند. در جدول (۱) مدت زمان مورد نیاز برای عملیات هیدروژن زدائی قطعات در ۲۱۰-۱۹۰ درجه سانتی گراد بسته به استحکام کششی قطعه ارائه شده است.

گرم کردن قطعات تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به منظور خارج شدن هیدروژن جذب شده در فلز صورت می‌گیرد. مدت زمان عملیات به استحکام فلز بستگی دارد. از آنجا که فرآیند حرکت هیدروژن اتمی از درون فلز نوعی فرآیند دیفیوژنی است و به دما و زمان بستگی دارد، هر چه استحکام فلز بیشتر باشد به دما و زمان بیشتری برای نفوذ نیاز است. برخی معتقدند عمل گرمایش برای رهایی از تردی هیدروژنی معمولاً هیدروژن را از بین نمی‌برد. یا آزاد نمی‌سازد بلکه آرایش و توزیع مجدد هیدروژن را در تله‌های عمیق که خطر کمتری دارد صورت می‌دهد. عملیات گرمایش برای هیدروژن زدائی باید حداکثر ظرف مدت یک ساعت بعد از فرآیند پوشش‌دهی و قبل از بروز هر گونه ترک در اثر وجود تنش‌های باقیمانده صورت گیرد.

شکل گیری مارتنزیت :

مارتنزیت فولادهای ماریچینگ معمولاً مکعب مرکز دار (bcc) کم کربن است که این مارتنزیت شامل چگالی بالای نابجایی می‌باشد اما نه به صورت دوقلویی. در حین سرد شدن بعد از تابکاری انحلالی آستنیت FCC بوسیله بازگشت برشی کم نفوذ تجزیه به ساختارهای متعادل به ساختار bcc تبدیل میشود. این تبدیل آستنیت به مارتنزیت ناپایدار اتفاق نمی‌افتد تا دمای شروع مارتنزیت (Ms) بدست آید

ودمای شروع مارتنزیت باید به اندازه کافی بالا باشد بنابراین یک تبدیل کامل به مارتنزیت قبل از خنک شدن فولاد تا دمای اتاق اتفاق می افتد.

بیشتر انواع فولادهای ماریچینگ دمای شروع مارتنزیت حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتیگراد را دارند و در دمای اتاق به طور کامل مارتنزیت هستند. نتیجه ساختار مارتنزیت یک فولاد نسبتاً قوی و فوق العاده انعطاف پذیر میباشد.

عناصر آلیاژی دمای شروع مارتنزیت را بطور قابل ملاحظه ای تغییر می دهد اما تغییر مشخصه این استحاله به مقدار زیادی بستگی به سرعت سرد شدن دارد.

اغلب عناصر آلیاژی اضافه شده در فولادهای ماریچینگ (به استثناء کبالت) درجه حرارت شروع مارتنزیت را کاهش می دهند. یکی از دونه ممکن مارتنزیت که در سیستم آلیاژی آهن-نیکل ممکن است شکل بگیرد بستگی به مقدار نیکل در ماده مورد سوال میباشد. در سرعتهای سرد کردن بالا در فولادهای شامل ۵ تا ۱۰ درصد نیکل، و بیش از ۱۰ درصد پایین آوردن سرعت سرد کردن، لازمه شکل گیری مارتنزیت در فولادها می انجامد و شکل گیری کامل ساختار مارتنزیتی را تعیین می کند. در فولادهای شامل ۲۵ درصد نیکل، مارتنزیت لایه ای و بالای ۲۵ درصد مارتنزیت دو قلوبی داریم. مطالعه بر روی آلیاژهای مارجینگ آهن - ۷ درصد کبالت ۵ درصد مولیبدن و ۰/۴ درصد تیتانیوم در (ماریچینگ ۱۸ درصد نیکل ۲۵۰) شامل مقادیر متفاوت نیکل نشان می دهد که یک ساختار مارتنزیتی لایه ای با مقادیر نیکل بیش از ۲۳ درصد بدست می آید. اگر چه مقادیر نیکل بیش از ۲۳ درصد شکل گیری مارتنزیت دو قلوبی را نتیجه داده است. معمولاً یک ساختار مارتنزیتی لایه ای در فولادهای ماریچینگ ترجیح داده می شود زیرا در مدت پیر سازی این ساختار سخت تر از یک ساختار مارتنزیتی دو قلوبی میباشد.

پیر سختی:

نوعی پیر سختی بعد از تابکاری انحلالی معمولاً شامل حرارت دادن آلیاژ تا رنج دمایی ۴۵۵ تا ۵۱۰ درجه سانتیگراد و نگاه داشتن در این دما به مدت ۳ الی ۱۲ ساعت و خنک کردن آن در معرض هوا تا دمای اتاق می باشد. استفاده از فولادهای ماریچینگ در کاربردهای مانند ابزارآلات دایکست لازم است استفاده از یک حرارت پیر سازی تقریباً ۵۳۰ درجه سانتیگراد که ساختار متعادلی را فراهم می کند و از نظر حرارتی تثبیت شده است. هنگامی که زمان پیرسازی افزایش پیدا میکند تا جاییکه به نقطه ای می رسیم که سختی واستحکام شروع به کاهش میکند به علت شکل گیری بازگشت آستنیت که معمولاً از ذرات ریز باندهای آستنیت دور دانه ای قبلی شروع میشود.

کار سرد و پیر سازی:

استحکام تسلیم واستحکام نهایی کششی فولادهای ماریچینگ می توانند بوسیله کار سرد قبل از پیر سازی تا ۱۵ درصد افزایش پیدا کنند. بوسیله کار سرد قبل از تابکاری انحلالی ماده بالای ۵۰ درصد کاهش قبل از

پیر سازی، نتیجه رسیده است. این سازگاری کمی با انعطاف پذیری و چقرمگی است. از کاهش سرما بیش از ۵۰ درصد باید خوداری شود زیرا ممکن است که پوسته پوسته شدن تولیدات بوجود آید.

h-daneshmand.ir