

بسمه تعالی

گزارش کار های آزمایشگاه عملیات حرارتی

نام و نام خانوادگی: مهدی خدایی (۳۱۱۰۸)

نام استاد: احمد پور



گروه متالورژی دانشکده فنی انقلاب اسلامی

فهرست مطالب:

**آزمایش اول: انواع عملیات حرارتی و مطالعه محیط های خنک
کننده بر خواص فولاد ها**

آزمایش دوم: اثر کربن بر سختی فولاد ها

**آزمایش سوم: بررسی اثر زمان تمپر بر خواص مکانیکی (سختی) در
فولاد های ساده کربنی**

آزمایش چهارم: عملیات حرارتی چدن ها

**آزمایش پنجم: سختی سطحی فولاد ها (سخت کردن سطح فولاد به
روش کربن دهی جامد و بررسی ساختار و سختی حاصل)**

گزارش کار شماره ۱

عنوان آزمایش: انواع عملیات حرارتی و مطالعه محیط های
خنک کننده بر خواص فولادها

نام خانوادگی دانشجو: مهدی خدایی ۳۱۱۰۸

تاریخ انجام آزمایش: ۹۰/۷/۱۲

ساعت انجام آزمایش: ساعت ۹

انواع محیط های کوئنچ:

۱- آب:

شاید آب قدیمی ترین محیط سرد کننده برای سخت کردن فولاد ها بوده و برای قرن ها مهم ترین محیط سخت کننده همچنان باقی مانده است. اما آب خالص محیط نامناسبی است. زیرا بیشترین نرخ سرد کنندگی آب در حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد است. یعنی دمایی که در اکثر فولاد ها مارتنزیت شروع به تشکیل شدن می کند. با اضافه کردن ۱۰٪ کلرید سدیم (نمک طعام) و یا بی کربنات در سود (جوش شیرین) به آب قدرت سرد کنندگی آن به نحو قابل ملاحظه ای افزایش یافته و در عین حال حداکثر قدرت سرد کنندگی آن از ۳۰۰ به ۵۰۰ درجه سانتی گراد افزایش می یابد.

در آخر می توان گفت که بهترین نتیجه را (بیشترین قدرت سرد کنندگی) هنگامی خواهیم داشت که دمای آب بین ۲۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد باشد.

۲- روغن:

روغن در مقایسه با آب محیط بسیار ملایمتری است. آهنگ سرد شدن در روغن در حوالی ۶۰۰ درجه سانتی گراد حداکثر بوده و در گستره دمایی مارتنزیت نسبتا کم است. یکی از مطمئن ترین روش ها برای افزایش قدرت سرد کنندگی روغن ها ایجاد تلاطم در مخزن روغن و یا حرکت دادن قطعه در آن است.

یکی دیگر از روش های افزایش قدرت سرد کنندگی روغن، گرم کردن آن تا گستره دمایی ۴۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد. این افزایش دما باعث افزایش گرانبوی روغن شده و به این ترتیب قدرت سرد کنندگی آن را افزایش می دهد.

معمولا چدن ها و فولاد های ساده کربنی را در روغن کوئنچ می کنند.

در فولاد های حاوی عناصر آلیاژی کاربرد را بهتر است در روغن کوئنچ شوند.

۳ - مخلوط آب و روغن :

با مخلوط آب و روغن به نسبت های مختلف امکان تهیه محیط های سرد کننده با قدرت های سرد کنندگی مختلف وجود دارد.

محلول ۹۰٪ روغن ، و ۱۰٪ آب از کیفیت و خواص سرد کنندگی بهتری برخوردار است.

۴ - هوا:

ضخامت های نازک از فولاد کم آلیاژ و همچنین ضخامت های ضخیم از فولاد پر آلیاژ را با استفاده از هوای فشرده و با هوای آرام به نحو موفقیت آمیزی می توان سخت کرد.

از جمله مزایای سخت کردن در هوا عبارت است از قابل چشم پوش بودن تغییر شکل و تاب برداشتن احتمالی قطعه است.

از جمله معایب سخت کردن در هوا احتمال اکسایش سطوح قطعه است.

۵ - حمام نمک:

جهت کاهش خطر تاب برداشتن قطعات در حین سرد کردن می توان از فرایندهای سخت کاری آستمپر و یا مارتمپر استفاده کرد. در این فرایندها با توجه به اینکه نیاز به سرد کردن قطعات در محدوده دمایی حدود A1 می باشد، یکی از محیط های مورد استفاده جهت انجام کوئنچ برای این فرایند، حمام نمک می باشد. البته استفاده از حمام نمک در فرایندهای مختلف عملیات حرارتی نظیر آنیل ، سخت کاری ، تنش زدایی ، تمپر و غیره ...متداول می باشد. با توجه به نوع عملیات مورد نظر ، ترکیب حمام عوض می شود. شاید یکی از متداول ترین حمام های نمک ترکیبی از نیتريد سدیم و نیترات پتاسیم باشد که دمای کاری آن بین ۵۰۰ - ۱۶۰ درجه سانتی گراد است. استفاده از این حمام

ها معمولا در فولاد های با سختی پذیری بالا متداول است. مدت زمات توصیه شده برای نگهداری قطعات در حمام نمک ، برای هر یک سانتی متر ضخامت ۲ تا ۴ دقیقه ذکر شده است. با اضافه کردن آب به حمام نمک می توان قدرت سرد کنندگی حمام را افزایش داد. البته باید به این نکته توجه کرد که آب اضافه شده را بلافاصله هم زد تا کاملا در نمک مخروط شود و خطر انفجار به حداقل برسد . مقدار آب اضافه شده معمولا بین ۰/۳ تا ۰/۵ درصد باشد. با توجه به تبخیر آب در حین انجام فرایند، بهتر است که هر چند روز یک بار مقداری آب به حمام اضافه کرد . از عیوب حمام های نمک وجود لایه های اکسیدی و یا یک لایه بسیار ضخیم از نمک روی قطعات می باشد که پس از عملیات حرارتی نیاز به حذف آن می باشد.

مشخصات محیط های سرد کننده:

۱ - کنترل دما:

بهترین دما برای آب و روغن به عنوان محیط سرد کننده به ترتیب ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی گراد و ۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی گراد است.

۲ - هم زدن محیط: ایجاد تلاطم در محیط برای سخت کردن قطعات حجیم، ایجاد تلاطم در محیط

سرد کننده به کمک حرکت دادن قطعات در آن اغلب امکان پذیر نیست. بنابراین برای ایجاد تلاطم در مخازن آب و روغن از پروانه یا پمپ استفاده می کنند و برای محیط هوا از کانال (تونل) که در آن هوا دمیده می شود، استفاده می کنند.

مشخصات نمک های خنثی مورد استفاده در حمام های نمک عملیات حرارتی

ردیف	نوع نمک	درصد وزنی	دمای ذوب (درجه سانتی گراد)	دمای کار (درجه سانتی گراد)
۱	کلرید سدیم	۵۰	۵۶۵	۹۰۰-۵۹۰
	کربنات سدیم	۵۰		
۲	کلرید سدیم	۵۰	۵۹۰	۸۵۰-۶۳۰
	کلرید کلسیم	۵۰		
۳	کلرید سدیم	۲۰	۶۳۵	۱۰۶۰-۶۷۵
	کلرید باریوم	۸۰		
۴	کلرید سدیم	۴۵	۶۶۰	۹۰۰-۶۷۵
	کلرید پتاسیم	۵۵		
۵	نیترات پتاسیم	۵۵	۱۵۳	۵۰۰-۱۷۰
	نیترات سدیم	۴۵		
۶	نیترات پتاسیم	۵۰	۲۲۰	۵۰۰-۲۴۰
	نیترات سدیم	۵۰		
۷	کلرید سدیم	۱۰۰	۸۰۰	۱۱۰۰-۸۳۰
۸	کلرید باریوم	۱۰۰	۹۶۰	۱۰۲۵-۱۴۵
۹	نیترات سدیم	۱۰۰	۳۱۵	۵۰۰-۳۲۵
۱۰	نیترات پتاسیم	۱۰۰	۳۳۵	۵۰۰-۳۵۰
۱۱	کربنات سدیم	۱۰۰	۳۲۲	۷۰۰-۳۵۰
۱۲	کربنات پتاسیم	۱۰۰	۳۶۰	۶۵۰-۴۰۰
۱۳	کربنات سدیم	۳۷	۱۵۹	۳۵۰-۱۸۰
	کربنات پتاسیم	۶۳		

انواع کوره های عملیات حرارتی:

در ضمن گرم کردن قطعات در عملیات حرارتی باید از هر گونه تغییر ترکیب شیمیایی ناخواسته نظیر کاهش کربن، افزایش کربن و یا اکسیده شدن سطح جلوگیری شود. زیرا تغییر ترکیب شیمیایی سطح می تواند باعث گمراه کردن شخص عملیات حرارتی کننده و یا حتی معیوب شدن قطعات شود. به عنوان مثال تحت شرایطی که هدف سخت کردن قطعه ای باشد در صورتی که ترکیب شیمیایی سطح تغییر کند سختی اندازه گیری شده پس از سخت کردن می تواند گمراه کننده باشد. به این صورت که منجر به انتخاب عملیات نامناسب بازپخت برای قطعه شود. به علاوه، تغییر درصد کربن لایه سطحی می تواند باعث ترک خوردن آن در ضمن سخت شدن شود. اگر اکسایش سطحی بسیار شدید باشد، پس از پوسته زدایی و ماشین کاری نهایی رواداری (تلرانس) منظور شده برای قطعه ممکن است تغییر کند. روش مناسب برای حفاظت سطح در برابر تغییر ترکیب شیمیایی بستگی به نوع کوره عملیات حرارتی دارد. از این رو در این قسمت انواع کوره عملیات حرارتی و محیط داخلی آنها بررسی خواهد شد.

۱ - کوره های حمام نمک:

از آنجایی که زمان لازم برای آستنیته کردن قطعت در محلول های نمک نسبتاً کوتاه بوده و به علاوه نمک مورد استفاده خنثی است. استفاده از این نوع کوره ها بهترین راه برای جلوگیری از تغییر ترکیب شیمیایی فولاد است. در صورتی که حمام نمک حاوی اکسیژن باشد، امکان اکسایش و یا کاهش کربن سطوح قطعات وجود دارد. از این رو قبل از وارد کردن قطعات در حمام نمک، باید مذاب اکسیژن زدایی شود. عملیات اکسیژن زدایی کوره های عملیات حمام نمک به کمک ذغال چوب انجام می شود. بدین صورت که ذغال چوب را در سبد های فلزی قرار داده وارد حمام نمک می کنند، ذغال چوب با اکسیژن موجود در حمام نمک سوخته و باعث حذف اکسیژن می شود. وجود اکسیژن در حمام با خارج شدن شعله از آن، هنگام وارد کردن ذغال به داخل مذاب مشخص می شود تمام شدن شعله نشان دهنده پایان مرحله اکسیژن زدایی است.

۲ - کوره موفلی برقی:

برای استفاده از این کوره ها در صورتی که مجهز به به محیط کنترل شده نباشد باید از جعبه های آنیل که به جعبه های سمانتاسیون نیز موسومند استفاده شود. این جعبه ها معمولا از جنس فولاد مقاوم به حرارت که فولاد نسوز معروف است ساخته می شوند.

برای جلوگیری از کاهش کربن ، سطح قطعاتی که از فولاد های پر کربن ساخته شده اند می توان آنان را ابتدا در محلول غلیظ بوراکس (brox) به فرمول شیمیایی B4O7NA2 فرو برده و سپس حرارت داده شده در اثر حرارت، پودر بوراکس ذوب شده و تشکیل یک لایه پوشش محافظ می دهد. که می تواند از کاهش کربن سطح قطعه جلوگیری نمود.

مهم: عمر یک کوره عملیات حرارتی در اثر خرابی المنت به پایان میرسد.

۳ - کوره با اتمسفر کنترل شده:

استفاده از این کوره ها که از گاز های محافظ استفاده می کنند هم از نظر اقتصادی و هم از جنبه کاربردی یکی از بهترین روش ها برای عملیات حرارتی ابزار ها و قطعات گران قیمت است.

انواع عملیات حرارتی :

در این قسمت به تشریح روش های مختلف عملیات حرارتی که باعث تشکیل ریز ساختار های تعادلی می شوند خواهیم پرداخت. عموما این ساختار ها شامل فریت ، سمنتیت و کاربید های آلیاژی می باشند. این عملیات حرارتی ها در دماهای نسبتا بالا و برای مدت زمان های طولانی انجام می شوند. بنابراین علاوه بر ترکیب شیمیایی و ساختار اولیه، دما و زمان عملیات، جزء پارامتر های کنترل کننده ریز ساختار و خواص مکانیکی خواهند بود معمولا پس از انجام این عملیات حرارتی ها به خواصی از جمله:

انعطاف پذیری ، کاهش تنش های داخلی، یکنواختی در ساختار، بهبود خواص ماشین کاری و غیره خواهیم رسید.

۱ - عملیات حرارتی آنیل:

آنیل عبارت است از حرارت دادن فولاد در یک درجه حرارت مناسب و سپس سرد کردن کنترل شده که معمولا آهسته و در کوره انجام می شود. هدف از آنیل کاری، افزایش قابلیت ماشین کاری - سهولت کار سرد - بهبود در خواص الکتریکی - خواص مکانیکی و یا افزایش پایداری ابعادی می شود. ساختار بدست آمده از آنیل یک ساختار دانه درشت می باشد.

۲ - عملیات حرارتی نرماله:

این عملیات شامل حرارت دادن فولاد هیپو در منطقه دمایی حدود ۵۰ درجه سانتی گراد بالا تر از دامنه حرارتی مربوط به آنیل و برای فولاد هایپر در حدود ۵۰ درجه سانتی گراد بالاتر از خط ACM می باشد پس از نگهداری در این دما به مدت زمان مناسب و سپس خنک کردن در هوای آرام تا حداقل زیر دمای تبدیل (دمای A1) یکی از اهداف مهم نرماله کردن عبارت است از ریز کردن دانه های درشتی که اغلب هنگام کار گرم و در درجه حرارت بالا و یا در ضمن ریخته گری و انجماد به وجود آمده است.

مباحث مربوط به فیزیک حرارت: (انتقال حرارت)

۱ - رسانش:

یکی از راه های انتقال گرما رسانش است. ذره ای تشکیل دهنده هر ماده دائما در حال جنبش و نوسان هستند. و هر چه ماده بیشتر باشد، سرعت نوسان مولکول های آن بیشتر می شود.

گرما به روش رسانش در جامدات بهتر منتقل می شود. زیرا فاصله ذره های جسم کمتر است. در جامد ذره ها، به هم نزدیک ترند. و گرما بهتر و زود تر منتقل می شود.

در انتقال گرما به روش رسانش انرژی گرمایی از طریق جنبش مولکول های ماده و ضربه زدن هر مولکول به مولکول های مجاور خود، به تدریج به تمام ماده منتقل می شود. روشن است که هر چه فاصله مولکول ها از هم کمتر باشد، یعنی مولکول ها به هم نزدیکتر باشند گرما با سرعت بیشتری در ماده منتقل می شود. به همین دلیل است که رسانایی گرمایی جامدات بیش از مایعات و مایعات بیش از گاز ها است.

۲- همرفت:

یکی دیگر از راه های انتقال گرما همرفت یا جابجایی است. در انتقال گرما به روش همرفت قسمتی از ماده که گرم شده است به طرف بالا حرکت می کند و قسمت های اطراف آن که هنوز گرم نشده اند جای آن را می گیرند. به ای نترتیب انرژی گرمایی از یک نقطه به نقطه دیگر منتقل شده و به تدریج تمام ماده گرم می شود.

وقتی ماده ای گرم می شود منبسط می شود یعنی فاصله مولکول های آن از هم بیشتر می گردد. در نتیجه چگالی آن کاهش می یابد. به همین دلیل است که وقتی یک قسمت از مایع را گرم می کنیم چگالی آن قسمت از مایع کمتر می شود برای ایجاد همرفتی در یک ماده ۳ شرط لازم است.

۱- ماده باید مایع یا گاز باشد.

۲- بین ۲ نقطه آن باید اختلاف دما وجود داشته باشد. یعنی قسمتی از ماده گرم و قسمت دیگر سرد باشد.

۳- قسمت گرم پایین تر از قسمت سرد باشد.

۳ - تابش:

سومین راه انتقال گرما تابش است. در انتقال گرما به روش تابش، نیازی به وجود ماده نیست. گرمای خورشید به همین شیوه در فضای خالی از ماده (خلاء) منتقل می شود و به زمین می رسد. اگر تا به حال در مقابل یک بخاری برقی قرار گرفته باشید، گرما به این روش را به راحتی حس کرده اید.

به طور کلی هر جسمی در هر دمایی که باشد، همواره مقداری انرژی تابشی از محیط اطراف خود دریافت می کند و مقداری انرژی تابشی در محیط منتشر می سازد وقتی یک جسم گرم و یک جسم سرد در کنار هم قرار گیرند مقدار انرژی که جسم سرد می گیرد، بیشتر از مقداری است که به محیط می دهد. بنابراین گرما به تدریج از جسم گرم به سرد منتقل می شود تا اینکه ۲ جسم به دمای تعادل برسند یعنی با هم، هم دما شوند.

نتیجه گیری آزمایش:

انتقال حرارت:

- ۱ - سرد شدن در هوا (نرماله کردن): در این عملیات حرارتی ما شاهد انتقال حرارت جابجایی و تابش می باشیم.
- ۲ - سرد شدن در کوره (آنیل کردن): در این عملیات حرارتی هم در آنیل کامل و هم در آنیل جزئی ما شاهد انتقال حرارت جابجایی هستیم.
- ۳ - سرد شد در مایعات (کوئنچ): در این عملیات حرارتی ما شاهد انتقال حرارت جابجایی و رسانش می باشیم.

آزمایش عملیات حرارتی آنیل

۱ - آنیل کامل: به طور کلی به هر نوع عملیات حرارتی که منجر به تشکیل ساختار های تعادلی غیر مارتنزیتی گردد آنیل گفته می شود.

آنیل کامل: آنیل کامل به صورت گرم کردن فولاد در محدوده دمایی مشخص (بالا)، نگهداری در این دما و سپس سرد کردن بسیار آهسته (در کوره) انجام می شود.

ساختار حاصل از این عملیات فریت و سمنتیت می باشد. پرلیتی که از این عملیات به دست می آید پرلیت درشت می باشد.

محدوده دمایی آنیل کامل برای فولاد های $A1+50$ درجه سانتی گراد

محدوده دمایی برای فولاد هیپو $A3+50$ می باشد.

علت آنیل کردن فولاد هایپر در منطقه $Y+CEM$ جلوگیری از تشکیل شبکه به هم پیوسته کاربید که منجر به ترد شدن فولاد می گردد.

آنیل کردن فولاد هایپر در منطقه $A1+50$ باعث شکسته شدن لایه سمنتیت به ذرات ریز و کروی و در نتیجه نرم شدن ساختار می گردد.

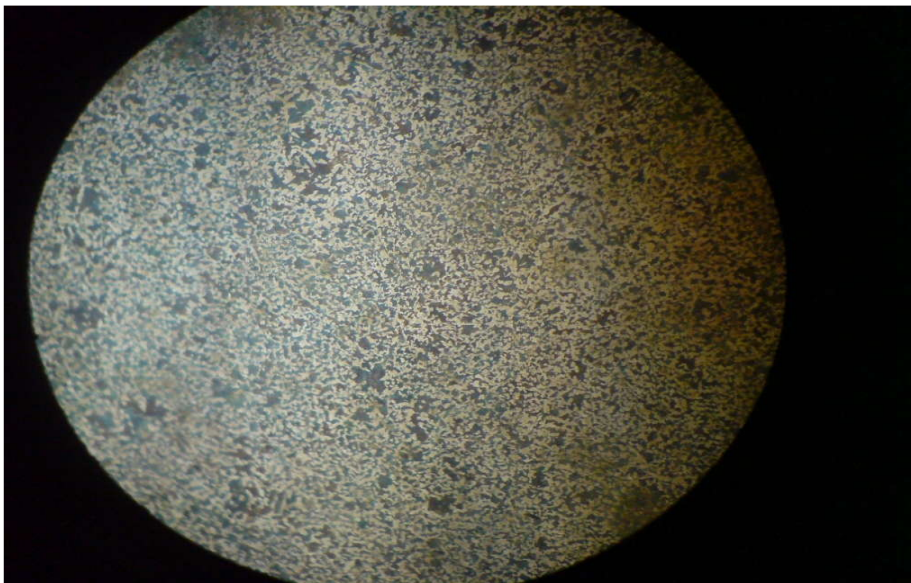
آنیل همدما:

به صورت آستنیته کردن در دامنه حرارتی مربوط به آنیل کامل، نگهداری در این دما، سرد کردن سریع تا زیر خط $A1$ و نگهداری تا تشکیل پرلیت کامل و سپس سرد کردن آهسته تا دمای محیط انجام می شود.

کاربرد: فولاد های آلیاژی با سختی پذیری بالا اگر به صورت کامل آنیل شوند (در کوره سرد شوند) ممکن است در ساختار نهایی آنها علاوه بر پرلیت درشت مقداری پرلیت ریز و بینیت هم تشکیل شود. برای جلوگیری از این پدیده از آنیل همدما استفاده می شود.

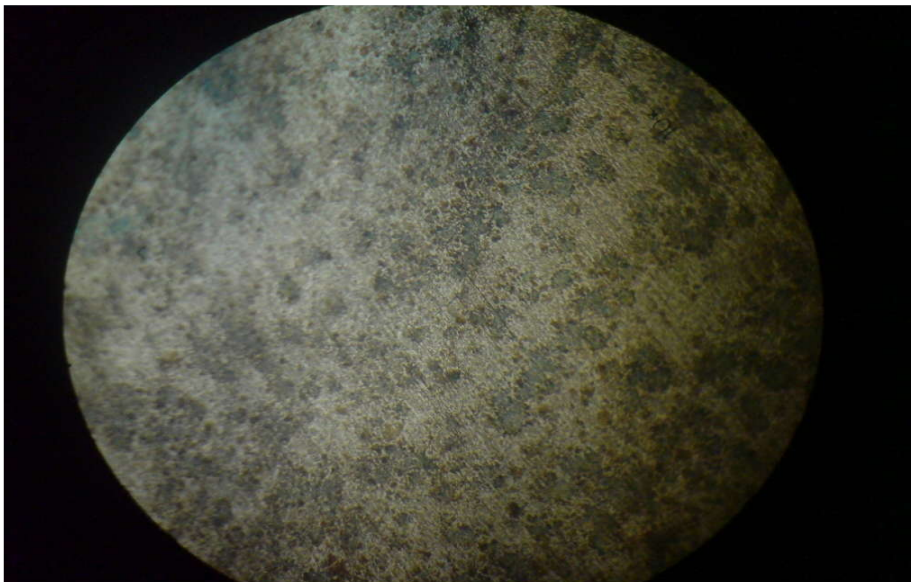
ساختار نهایی آنیل همدمما مشابه با آنیل کامل می باشد. (البته کمی ریزتر) و فاز های پرویوتکتوئیدی کمتر میباشد.

عکس های حاصل از عملیات حرارتی آنیل:



ساختار اولیه:

☒ نمونه اولیه



☒ نمونه آنیل شده:

گزارش کار شماره ۲

عنوان آزمایش: آزمایش اثر کربن بر سختی فولادها

نام خانوادگی دانشجو: مهدی خدایی ۳۱۱۰۸

تاریخ انجام آزمایش: ۹۰/۸/۳

ساعت انجام آزمایش: ساعت ۹

تئوری آزمایش:

در اثر سرد کردن سریع و غیر تعالی فولاد مارتنزیت یا بینیت تشکیل می شود. در اثر سرد کردن سریع امکان انجام نفوذ و در نتیجه استحاله های نفوذی از فولاد صلب می شود و نهایتاً تشکیل پرلیت منتفی می شود.

ماتنزیت:

فازی است بسیار سخت و با استحکام بالا که در اثر سرد کردن غیر تعادلی فولاد از دمای بالا ایجاد شده ، در تشکیل مارتنزیت نفوذ (جابجایی انفرادی اتم ها) نقشی نداشته بلکه مکانیزم تشکیل این فاز برشی است.

که با حرکت دسته جمعی اتم ها همراه است.

مارتنزیت باعث ایجاد زمینه سخت و استحکام بالا در فولادها می شود.

امروزه به محصول هر تحول فازی که بدون نفوذ تشکیل شود که ترکیب شیمیایی ثابت داشته مارتنزیت گویند.

از آنجایی که مارتنزیت بدون انجام نفوذ انجام می شود ترکیب شیمیایی آن نسبت به آستنیت اولیه تغییر پیدا نمی کند. اگر نفوذ داشته باشیم ترکیب شیمیایی تغییر می کند.

در هنگام سرد کردن آستنیت از دمای بالا اتم های کربن در فضای اکتاهدرال (۸ وجهی) محبوس می شوند.

و در اثر اعوجاج (کج شدن) ایجاد شده شبکه از BCC به BCT تغییر می کند.

تتراگونال شبکه کریستالی مارتنزیت آهن خالص است.

افزایش درصد کربن باعث افزایش تترراگونالیتته می شود.

مارتنزیت به صورت غیر تعادلی تشکیل می شود و در نتیجه فازی است ناپایدار بنابراین در اثر حرارت دادن ، اتم های کربن اضافی آن به بیرون نفوذ می کند و فریت و سمنتیت تشکیل می شود.(بازپخت یا تمپر)

یکی از مشخصه های استحاله برشی تغییر شکل پلاستیک است.

صفحاتی که از کریستال آستنیت که کریستال های مارتنزیت ترجیحا روی آنها تشکیل می شوند به صفحه رابط موسومند.

کریستال های مارتنزیت به صورت صفحه یا تیغه هستند و سطح مقطع آنها زیر میکروسکوپ به صورت سوزنی دیده می شود.درصد مارتنزیت تشکیل شده ارتباطی به سرعت سرد کردن ندارد.بلکه برای شروع استحاله لازم است که فولاد تا دمای MS به سرعت سرد شود میزان مارتنزیت تشکیل شده زیر دمای MS نه به سرعت سرد کردن بلکه تنها به میزان کاهش دما بستگی دارد.

دمای MS در واقع بیانگر نیرو محرکه لازم برای تشکیل مارتنزیت است.

مقدار مارتنزیت تشکیل شده تابع میزان تحت تبرید (ΔT) نسبت به دمای MS است.

در فولاد کربنی و آلیاژی با افزایش درصد کربن دمای MS و MF کاهش می یابد. زیرا مقاومت برشی شبکه آستنیت با افزایش کربن بیشتر می شود.

افزایش درصد کربن:

۱ - کاهش MS و MF

۲ - افزایش آستنیت باقیمانده

✓ کربن زیاد موجب افزایش مقاوت برشی آستنیت

✓ افزایش کربن باعث سختی مارتنزیت می شود.

✓ آستنیت باقیمانده باعث کاهش سختی میشود.

تمامی عناصر آلیاژی به جر کبالت دماهای MS و MF را کاهش می دهند.

ساختار ویدمن اشتاتن:

دانه های ستونی یا صفحه ای شکل که در مرز دانه های آستنیت شروع شده و به داخل دانه ها رشد می کنند که به چنین ساختاری ساختار ویدمن اشتاتن گفته می شود. صفحات ویدمن اشتاتن معمولا زمانی تشکیل می شوند که فولاد سریع تر از حالت تعادلی سرد شده و یا تحت تبرید ΔT فوق العاده ای نسبت به A1 و Acem داشته باشد.

ویدمن اشتاتن در محدوده دمایی بین A1 و A3 در اثر سرد شدن سریع در این محدوده تشکیل می شود. مکانیزم تشکیل آن عمدتا برشی است. و البته نفوذ هم در آن نقشی دارد. (ترکیبی از استحاله نفوذی و برشی)

سختی پذیری:

قابلیت فولاد برای تشکیل مارتنزیت (معیاری است برای توزیع سهولت تشکیل مارتنزیت).

مهمترین هدف از تشکیل مارتنزیت در فولادها ایجاد سختی و استحکام بالا و افزایش مقاومت در برابر سایش و خستگی است.

عملیات حرارتی جهت تشکیل مارتنزیت (سخت کاری) معمولاً روی فولادهایی که حداقل ۰/۳٪ کربن داشته باشد انجام پذیر است.

با افزایش درصد کربن تا ۰/۸٪ سختی مارتنزیت افزایش می یابد و در درصد های کربن بیش از آن به خاطر تشکیل مارتنزیت باقی مانده مجدداً سختی کم می شود. در چنین فولادهایی می توان با سرد کردن در محیط های نیتروژن (۲۰۰- درجه سانتی گراد) یا هلیوم مایع (۲۷۰- درجه سانتی گراد) و رسیدن به زیر دمای اتاق اثر آستنیت باقی مانده را کاهش داد.

مرزدانه آستنیت می تواند به عنوان مانعی در برابر رشد صفحات مارتنزیت عمل کرده و مارتنزیت را ریزتر بکند. در نتیجه هر چه دانه آستنیت ریزتر باشد مارتنزیت ریزتر و با چگالی بالاتر و سختی بیشتر، به طور کلی کاهش اندازه دانه آستنیت اولیه باعث بهبود خواص مارتنزیت حاصل از آن می شود.

سختی پذیری:

عبارت است از توانایی تشکیل مارتنزیت در اثر سرد شدن سریع از ناحیه آستنیت و در واقع معیاری است برای توزیع سهولت تشکیل مارتنزیت و نیز ارتباط بین ابعاد قطعه و نرخ سرد شدن و ترکیب شیمیایی.

✓ سختی پذیری توسط ضخامت یا عمق لایه سخت شده تعیین می گردد.

ضخامت پوسته یا همان لایه سخت شده عبارت است از فاصله سطح تا محلی در داخل نمونه که ۵۰٪ مارتنزیت داشته باشد. هر چه سختی پذیری بیشتر باشد عمق پوسته سخت شده افزایش می یابد.

هرچه شدت سرد کنندگی محیط بیشتر باشد سختی نقاط مختلف افزایش می یابد.

نتایج آزمایش اثر کربن بر سختی فولاد (آزمایش شماره ۲)

میل گرد آج دار	MS 60	RTS	St 37	
۳ HRC	۲ HRC	۲۰ HRC	صفر HRC	سختی اولیه
۶۳ HRC	۱۸ HRC	۶۵ HRC	۸ HRC	سختی ثانویه
۲۱ برابر	۹ برابر	۳ برابر	صفر	درصد افزایش سختی
۰/۴	—	—	۰/۱۷	درصد کربن

دمای آستنیته کردن: ۸۵۰ درجه سانتی گراد

تمام فولاد های ذکر شده در روغن کوئنچ شدند. ولی فولاد RTS در آب کوئنچ شد.

گزارش کار شماره ۳

عنوان آزمایش: بررسی زمان تمپر بر خواص مکانیکی (سختی)
در فولاد های ساده کربنی

نام خانوادگی دانشجو: مهدی خدایی ۳۱۱۰۸

تاریخ انجام آزمایش: ۹۰/۹/۱

ساعت انجام آزمایش: ساعت ۹:۳۰

تئوری آزمایش:

به علت وجود کربن فوق اشباع در شبکه bct، مارتنزیت، انرژی تنش حاصل از نابجایی ها و دوقلوهای بسیار زیاد، انرژی سطحی ناشی از فصل مشترک های بسیار زیاد صفحات مارتنزیتی و همچنین وجود آستنیت باقی مانده مارتنزیت ناپایدار می باشد.

در هنگام سرد کردن سریع فولاد در یک محیط کوئنچ مانند آب یا روغن، به دلیل ایجاد شوک حرارتی و محبوس کردن کربن در شبکه ساختار به دست آمده یک ساختار پر تنش است. این ساختار از نظر استحکام در حد بالایی می باشد ولی ترد و شکننده است.

جهت کاهش تردی این ساختار از عملیات حرارتی تمپر پس از انجام عملیات سخت کاری استفاده می شود.

در این فراین ما حق ورود به منطقه آستنیت را نداریم.

عملیات تمپر عبارت است از:

حرارت دادن فولاد در منطقه حرارتی زیر A1، نگهداشتن در این دما به مدت زمان مناسب و سپس سرد کردن آهسته تا دمای محیط که در کوره یا هوا انجام می شود.

هر چه دمای تمپر افزایش یابد استحکام تسلیم و کششی کاهش یافته و انعطاف پذیری افزایش می یابد.

دما و زمان تمپر به ۳ عامل بستگی دارد:

۱- ترکیب شیمیایی (جنس قطعه)

۲- ابعاد یا ضخامت قطعه

۳- خواص مکانیکی مورد نظر مشتری

با توجه به اینکه عملیات تمپر یک عملیات نفوذی است جهت انجام نیاز به زمان دارد با افزایش ضخامت قطعه زمان عملیات تمپر افزایش می یابد.

اصولا به ازای هر یک اینچ ضخامت یک ساعت زمان تمپر را در نظر می گیرند. و حداق زمان تمپر را یک ساعت قرار می دهند.

تغییر ریز ساختار مارتنزیت در حین تمپر:

۱- تشکیل کاربید های انتقالی (در دمای ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی گراد)

۲- تبدیل آستنیت باقی مانده به فریت و سمنتیت (در دمای ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی گراد)

۳- تبدیل کاربید های انتقالی و مارتنزیت کم کربن به فریت و سمنتیت (در دمای ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی راد)

۴- تشکیل کاربید های آلیاژی و ایجاد سختی ثانویه

انواع تردی:

تردی حاصل از بازپخت:

در حین عملیات تمپر بر اثر عواملی ممکن است قطعه ترد شود که اثر خود را روی کاهش مقاومت به ضربه (انتقال دمای تبدیل به سمت دماهای بالاتر) نشان خواهد داد.

۱- تردی مارتنزیت بازپخت شده یا تردی ۳۵۰ درجه سانتی گراد یا TME

این تردی بیشتر در فولاد های ساده کربنی و کم آلیاژ که در محدوده دمایی ۲۶۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد بازپخت می شوند (گستره دمایی تجزیه آستنیت) دیده می شود. کاهش تافنس در اینجا ناشی از رسوب اتم های فسفر یا ترکیبات آن در مرزدانه های آستنیت است. این اتم ها در هنگام تجزیه آستنیت

به فریت و سمنتیت در مرزدانه های آستنیت باقی مانده و به همراه نوار نازک و پیوسته سمنتیت تشکیل یک فاز ترد می دهد. اگر یک فولاد ترد شونده در محدوده دمایی فوق (۲۶۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد) را تا دمایی بالاتر حرارت دهیم تردی آن رفع می شود و تافنس به مقدار اولیه بر می گردد. حرارت دادن فولاد در این محدوده دمایی منجر به تردی مجدد نمی گردد و این تردی یک تردی برگشت ناپذیر است.

۲- تردی بازپختی یا حرارتی:

در اثر نگهداشتن یا آرام سرد کردن فولاد در محدوده دمایی ۳۷۵ - ۵۷۵ درجه سانتی گراد به وجود می آید.

کاهش تافنس ناشی از تشکیل یک فاز ثانویه ترد نظیر فسفید و یا افزایش غلظت ناخالصی هایی چون آنتیموان ، قلع ، آرسنیک و فسفر به صورت نوار پیوسته در مرزدانه های آستنیت اولیه است. (این تردی برگشت پذیر است).

۳- تردی نیتريد آلومینیم:

رسوب ذرات ریز نیتريد آلومینیم، در مرزدانه های آستنیت اولیه می تواند موجب تردی شود. این ذرات در حین سرد شدن از دمای انجماد و یا آستنیتته کردن در دمای بالا تشکیل می شود.

هدف از عملیات تمپر چیست؟

افزایش تافنس و داکتلیته مارتنزیت است. در اثر این عملیات تنش های داخلی کم ، تافنس زیاد، و سختی و استحکام کم می شود.

مارتنزیت به دلایل زیر فازی است ناپایدار:

۱- وجود کربن به صورت فوق اشباع در شبکه BCT

۲- انرژی ناشی از تشکیل نابجایی ها و دوقلویی ها در ساختمان کریستالی مارتنزیت.

۳- وجود آستنیت باقی مانده.

این عوامل در حین تمپر نقش نیرو محرکه تغییر ساختمان کریستالی را بازی می کنند.

اگر فولادهای آلیاژی سختکاری شده با ساختار مارتنزیتی دارای عناصر کاربید زا مثل کرم - مولیبدن - وانادیم - تیتانیم - تنگستن به صورت محلول جامد باشند و در محدوده دمایی حرارتی ۵۰۰ - ۶۰۰ درجه سانتی گراد تمپر شوند در حین تمپر سختی آنها افزایش یافته این امر ناشی از تشکیل کاربید های عناصر آلیاژی است و به سختی ثانویه موسوم است.

نکته: اگر در فولاد آستنیت باقی مانده وجود داشته باشد در حین تمپر ممکن است به بینیت تبدیل شود.

تأثیر عناصر آلیاژی بر نمودار بازپخت و سختی ثانویه:

به طور کلی عناصر آلیاژی تا حد کمی سختی مارتنزیت حاصل از کوئنچ را افزایش دهند. با افزایش درصد کربن به دلیل کاهش دمای شروع تشکیل مارتنزیت، درصد آستنیت باقیمانده در فولاد افزایش یافته و احتمال کاهش سختی حاصل از کوئنچ افزایش می یابد. حتی در فولادهای آلیاژی با درصد بالای آستنیت باقیمانده، سختی می تواند کمتر از فولاد کربنی نیز بشود.

البته حضور عناصر آلیاژی در هنگام بازپخت می تواند باعث به تعویق افتادن کاهش سختی و استحکام شود عناصری همچون سیلیسیم - نیکل - منگنز به دلیل انحراف در فریت و عدم تشکیل کاربید، باعث به تاخیر افتادن کاهش سختی و استحکام در هنگام بازپخت شود زیرا پس از سرسرد شدن مقادیر زیادی آستنیت در کنار ساختار مارتنزیت وجود دارد. بیان شده است که کرم نیز می تواند باعث

افزایش سختی در دماهای بالا بازپخت شود. علت این افزایش سختی تشکیل کاربید کرم می باشد به

این افزایش سختی ، **سختی ثانویه** گویند.

در یک جمله نیز می توان گفت حضور عناصر آلیاژی در فولاد ها باعث افزایش سختی نمونه های کوئنچ و بازپخت شده نسبت به فولاد های ساده کربنی با کربن مشابه خواهد شد.

در فولاد های پر کربن به ویژه در هنگامی که نیکل و منزن نیز در فولاد وجود داشته باشد. به علت پایین بودن دمای شروع و پایان تشکیل مارتنزیت پس از کوئنچ در کنار تشکیل مارتنزیت درصد بالایی آستنیت باقی مانده می ماند.

با تشکیل کاربید های آلیاژی، درصد کربن آستنیت باقیمانده کاهش یافته و دمای شروع و پایان تشکیل مارتنزیت این آستنیت ها افزایش می یابد.

پس در هنگام سرد شدن از دمای تمپر ، آستنیت های فقیر از کربن به مارتنزیت تبدیل می شوند. یعنی پس از پایان عملیات تمپر ساختار شامل : مارتنزیت بازپخت شده – مارتنزیت – کاربید های آلیاژی – و احتمالا بینیت است.

**نتایج گزارش کار آزمایش تمپرینگ: بررسی اثر زمان تمپر بر خواص مکانیکی
(سختی) در فولادهای ساده کربنی**

قطعه ۴	قطعه ۳	قطعه ۲	قطعه ۱	
۴۵/۵ HRC	۴۸ HRC	۴۹/۵ HRC	۴۶/۵ HRC	سختی حاصل از کوئنچ
۲۳ HRC	۳۴ HRC	۳۶ HRC	۳۱ HRC	سختی حاصل از تمپر
۹۰ دقیقه	۳۰ دقیقه	۱۲۰ دقیقه	۶۰ دقیقه	زمان تمپر
%۵۰	%۳۰	%۲۸	%۴۴	درصد کاهش سختی

دمای آستنیت: ۸۵۰ درجه سانتی گراد محلول خنک کاری: آب

دمای تمپرینگ: ۳۰۰ درجه سانتی گراد

(در این آزمایش زمان را متغیر گرفتیم و دما را ثابت نگهداشتیم)

در این آزمایش ابتدا قطعات در دمای ۸۵۰ درجه سانتی گراد آستنیت کرده و سپس قطعات را در داخل آب کوئنچ کرده و پس از گرفتن سختی اولیه عملیات تمپر را روی قطعات انجام دادیم. که در این عملیات قطعات را در زمان های متغیر (۳۰ - ۶۰ - ۹۰ - ۱۲۰ دقیقه) در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده و سختی ثانویه قطعات را اندازه گیری کردیم.

گزارش کار شماره ۴

عنوان آزمایش: عملیات حرارتی چدن ها

نام خانوادگی دانشجو: مهدی خدایی ۳۱۱۰۸

تاریخ انجام آزمایش: ۹۰/۹/۲۹

ساعت انجام آزمایش: ساعت ۹:۳۰

تئوری آزمایش:

عملیات حرارتی چدن ها:

در میان آلیاژهای صنعتی، چدن‌ها متنوعترین خواص مکانیکی را با ارزانهترین قیمت دارا می باشند. استفاده کامل از دامنه وسیع خواص مزبور مستلزم بررسی دقیق اثرات و نتایج حاصل از اعمال روشهای

مختلف عملیات حرارتی بر روی ساختمان و خواص چدن‌ها می باشد. **از جمله اهداف عملیات**

حرارتی چدن‌ها عبارتند از:

برطرف کردن تنشهای داخلی

بهبود قابلیت ماشینکاری

افزایش انعطاف پذیری و تافنس ضربه.

افزایش استحکام و مقاومت به سایش.

اختلاف عملیات حرارتی چدن‌ها نسبت به فولادها:

۱- در فولادها، درصد کربن مهمترین پارامتر تعیین کننده درجه حرارت سخت کردن است، درحالی که در چدن‌ها، سیلیسیم عنصر اصلی تعیین کننده محدوده حرارتی فوق می باشد. سیلیسیم محدوده حرارتی بحرانی چدن‌ها را در مقایسه با فولادهای پرکربن افزایش می دهد. از اینرو، به منظور آستنیت‌شدن کامل درجه حرارت سخت کردن چدن‌ها باید نسبتاً بالا و با توجه به درصد کربن زمینه و درصد سیلیسیم انتخاب شود.

۲- چدن‌ها اغلب حاوی مقدار قابل ملاحظه ای منگنز و عناصر آلیاژی دیگر می باشند. در نتیجه از سختی پذیری بالائی برخوردار بوده، بنحوی که اغلب به جای کوئنچ کردن در آب، آنها را در روغن و یا هوا

سرد می کنند.

۳- قطعات ریختگی اغلب دارای اشکال پیچیده ای بوده که می تواند موجب مشکلات در عملیات حرارتی آنها شود. بر خلاف مقاطع نازک و قسمتهای خارجی که سریع گرم می شوند، مقاطع ضخیم و قسمتهای داخلی براحتی گرم نمی شوند. از اینرو سرعت گرم کردن و زمان نگهداری در درجه حرارت سخت کردن باید بنحوی تنظیم شود که مناسب با شکل پیچیده قطعه باشد.

۴- همچنین در ضمن سریع سرد کردن، شکل پیچیده قطعه می تواند منجر به خسارت دیدن آن شود، بدین صورت که تنشهای داخلی زیادی در قطعه به وجود آید و یا اینکه حتی قطعه بشکند. به منظور حذف تنشهای داخلی و احتمال ترک خوردن، بلافاصله پس از کوئنچ کردن باید عملیات حرارتی تمپر کردن بر روی قطعه انجام گیرد.

۵- در موقع عملیات حرارتی در کوره های الکتریکی با اتمسفر خنثی نظیر نیتروژن، اکثر قطعات چدنی قادر هستند که اتمسفر محافظ مورد نیاز برای خود را تولید کنند. معهذاً در کوره های شعله ای، قطعات چدنی براحتی اکسیده و یا دی کربوره می شوند. قطعات چدنی که شدیداً اکسیده شده باشند می توانند مسئله آفرین باشند، زیرا اکسید تشکیل شده بر روی چدن معمولاً بسیار چسبنده بوده و موجب سایش و خسارت دیدن ابزارهای برش خواهد شد.

همانگونه که اشاره شد، سیلیسیم در چدن، اثر قابل ملاحظه ای بر روی درجه حرارتی بحرانی دارد، این مطلب برای حالت سرد شدن در شکل زیر نشان داده شده است. در حقیقت سیلیسیم باعث می شود که انجماد، ذوب و نحوه سرد و گرم شدن چدن از سیستم سه تایی Fe-C-Si پیروی کند. از اینرو استحاله یوتکتوئیدی در چدن به جای درجه حرارت ثابت، در یک محدوده حرارتی انجام می گیرد. وسعت محدوده حرارتی فوق بستگی به درصد سیلیسیم چدن دارد. در صورتی که منحنیهای شکل زیر به اندازه ۳۳ درجه سانتیگراد (۶۰ درجه فارنهایت) به بالا تغییر مکان داده شوند، منحنیهای مربوط به

گرم کردن چدن‌ها به دست می آید.

اثر درصد سیلیسیم بر روی محدود حرارتی بحرانی برای چدن‌های چکشخوار، خاکستری و نشکن در شرایطی که با سرعتی معادل ۵ درجه سانتیگراد (۹ درجه فارنهایت) بر ساعت سرد شوند.

علاوه بر سیلیسیم عناصر آلیاژی دیگر نظیر منگنز، فسفر، نیکل، مس و ... دماهای بحرانی را تغییر می دهند. فسفر و کرم همانند سیلیسیم عمل می کنند، در حالی که نیکل و منگنز باعث کاهش دماهای بحرانی خواهند شد. در این بخش ابتدا اصول کلی و کاربرد روشهای مختلف عملیات حرارتی چدن‌ها مورد بررسی قرار گرفته و سپس عملیات حرارتی انواع چدن‌ها، نظیر چدن خاکستری، چدن نشکن و ... مطالعه خواهند شد.

مهمترین عملیات حرارتی چدن نشکن

حرارتی که روی چدن نشکن انجام می شود و هدف از انجام آنها عملیات حرارتی که در دمای پایین برای کاهش یا آزاد کردن تنش های داخلی باقی مانده پس از ریخته گری انجام می شود .

● آنیل کردن

عملیات حرارتی که برای بهبود انعطاف پذیری و چقرمگی ، کاهش سختی و حذف کاربیدها انجام می شود .

● نرماله کردن

عملیات حرارتی که به منظور بهبود استحکام به همراه کمی انعطاف پذیری انجام می شود.

● سخت کردن و تمپر کردن

عملیات حرارتی که به منظور افزایش سختی یا بهبود استحکام و بالا بردن نسبت تنش (تنش تسلیم) انجام می شود .

● آستمپر کردن

عملیات حرارتی که به منظور بدست آمدن ساختاری با استحکام بالا به همراه کمی انعطاف پذیری و

مقاومت به سایش عالی انجام می شود .

● سخت کردن سطحی به وسیله ی القاء ، شعله یا لیزر

عملیات حرارتی که به منظور مقاوم به سایش ساختن و سخت کردن موضعی سطح انتخاب شده انجام می شود .

در این مقاله عملیات آنیلینگ ، نرماله کردن ، آستمپر کردن ، کونچ کردن و تمپر کردن چدن نشکن شرح داده می شود .

آستنیته کردن چدن نشکن:

هدف معمول آستنیته کردن این است که تا حد امکان زمینه ی آستنیته با مقدار کربن یکسان قبل از پروسه ی حرارتی تولید شود. به عنوان مثال در چدن نشکن هیپریوتکتیک برای آستنیته کردن باید از دمای بحرانی کمی بالاتر برویم به طوری که دمای آستنیته در منطقه ی دو فازی (آستنیته و گرافیت) باشد. دمای آستنیته کردن به وسیله ی عناصر آلیاژی موجود در با افزایش دمای آستنیته کردن می توان آستنیته تعادلی حاوی کربن که در حال تعادل با گرافیت است را افزایش داد. که این پارامتر قابل انتخاب است(در زمان محدود) کربن موجود در زمینه ی آستنیته کنترل دمای آستنیته کردن را مهم ساخته که این دما به منظور جلو بردن واکنش به مقدار زیادی به کربن موجود در زمینه ی آستنیته بستگی دارد ، این ساختار مخصوصاً برای آستمپر کردن ساخته می شود ، سختی پذیری (قابلیت آستمپر کردن) به میزان زیادی به کربن موجود در زمینه و در واقع به عناصر الیازی موجود در چدن نشکن بستگی دارد ، میکرو ساختار اصلی و سطح مقطع قطعه تعیین کننده ی زمان مورد نیاز برای آستنیته کردن می باشند.

مراحل بعد از آستنیته کردن هنگامی که مورد اهمیت باشند عبارتند از : آنیل کردن ، نرماله کردن ، کونچ و تمپر کردن و آستمپر کردن

آنیلینگ چدن نشکن:

هنگامی که حداکثر انعطاف پذیری و قابلیت ماشینکاری عالی مورد نیاز باشد و استحکام بالا مورد نیاز نباشد ، عموماً چدن نشکن آنیل فریتی می شود . بدین گونه که میکروساختار به فریت متحول می شود

و کربن اضافی به صورت می باشد، اگر ماشینکاری عالی مورد ۶۰-۴۰-۱۸ نوع ASTM کروی رسوب می کند. این عملیات حرارتی ساخته ی نیاز باشد باید مقدار منگنز ، فسفر و عناصر آلیاژی از قبیل کرم و مولیبدن در حد امکان پایین باشد زیرا باعث آهسته کردن پروسه ی آنیل می شوند .
نحوه ی آنیل کردن توصیه شده برای چدن نشکن آلیاژی و چدن نشکن با کاربید یوتکتیک و بدون کاربید یوتکتیک در پایین شرح داده شده است :
آنیل کامل برای چدن نشکن با ۲٪-۳٪ سیلیسیم و بدون کاربید یوتکتیک :
گرم کردن تا دمای ۸۷۰-۹۰۰ درجه ی سانتی گراد و نگهداری در این دما به مدت ۱ ساعت در ازای هر اینچ ضخامت ، سپس سرد کردن در کوره با سرعت ۵۵ درجه سانتی گراد در ساعت تا دمای ۳۴۵ درجه ی سانتی گراد سپس سرد کردن در هوا .

سختی پذیری چدن نشکن:

سختی پذیری چدن نشکن یک پارامتر مهم تعیین کننده ی واکنش ثابت آهن برای نرماله کردن ، کونچ کردن و تمپر کردن یا آستنیته کردن می باشد .
سختی پذیری معمولاً به وسیله ی آزمایش جامینی تعیین می شود ، که در آن از یک میله با اندازه ی استاندارد (قطر ۱ اینچ و ارتفاع ۴ اینچ) استفاده می شود که آن را آستنیته می کنند سپس یک سر آن را به وسیله ی آب سرد می کنند ، نوسان در سرعت سرد کردن باعث بی ثباتی (متفاوت بودن) در میکروساختار می شود که سختی آنها تغییر می کند سپس آنها را تعیین و ثبت می کنند .
زمینه ی با کربن بالا باعث بالا رفتن دمای آستنیته کردن و در نتیجه ی آن باعث افزایش سختی پذیری می شود (منحنی جامینی فاصله ی زیادی تا پایان سرد کردن پیدا می کند) و همچنین قطعه حداکثر سختی بالاتری پیدا می کند .
هدف از اضافه کردن عناصر آلیاژی به چدن نشکن افزایش سختی پذیری است ، منگنز و مولیبدن برحسب وزن اضافه شده به چدن نشکن نسبت به مس و نیکل عناصر بسیار موثری در افزایش سختی هستند .

در هر حال همانند فولاد افزودن ترکیب نیکل - مولیبدن یا مس - مولیبدن یا مس - نیکل - منگنز نسبت به اینکه این عناصر را به صورت جداگانه به چدن اضافه کنیم ، تاثیر بیشتری خواهند داشت .
بنابراین برای ریخته گری مقاطع زیاد که نیاز به سختی و آستمر زیاد دارند معمولاً از ترکیب ان عنصر استفاده می کنند . سیلیسیم صرف نظر از تاثیری که روی زمینه ی حاوی کربن دارد تاثیر زیادی روی

سختی پذیری ندارد .

نرماله کردن چدن نشکن:

نرماله کردن (سرد کردن در هوا در جریان آستنیتته کردن) به طور قابل توجهی می تواند باعث بهبود استحکام کششی شود. و امکان استفاده در ساخت چدن نشکن ASTM نوع ۳۰-۷۰-۱۰۰ وجود دارد . میکروساختار حاصل از نرماله کردن به ترکیب شیمیایی چدن و سرعت سرد کردن بستگی دارد سختی تحمیل شده به وسیله ی ترکیب شیمیایی قطعه به موقعیت منطقه ی زمان - دمای دیاگرام CCT بستگی دارد .

سرعت سرد کردن به حجم قطعه ی ریختگی بستگی دارد ولی شاید بیشتر تحت تاثیر دما و جریان هوای اطراف قطعه ی در حال سرد شدن باشد .

اگر چدن حاوی مقدار زیادی سیلیسیم نباشد و دست کم حاوی مقدار مناسبی منگنز (یا بالاتر ۰.۵٪) - ۰.۳٪ باشد به طور کلی نرماله کردن ، ساختار پرلیت ظریف تولید خواهد کرد . قطعات سنگین در صورتی که نیاز به نرماله شدن داشته باشند برای بدست آوردن ساختاری کاملاً پرلیتی و سختی پذیری بیشتر بعد از نرماله کردن حاوی عناصر آلیاژی از قبیل مولیبدن و نیکل و منگنز اضافی هستند . قطعات سبک چدن های آلیاژی ممکن است بعد از نرماله کردن حاوی ساختار مارتنزیتی یا بینیتی باشند . دمای نرماله کردن معمولاً بین ۸۷۰ C-940 می باشد و زمان استاندارد نگهداری 1h برای هر اینچ ضخامت و نگهداری به مدت 1 h به عنوان حداقل در این دما کافی است . برای چدن های حاوی عناصر آلیاژی به دلیل کاهش نفوذ کربن در آستنیت زمان بیشتری نیاز است به عنوان مثال قلع و آنتیموان برای گرافیت های کروی ، به طور موثری از حل شدن کربن در زمینه ی حاوی گرافیت کروی جلوگیری می کنند .

گاهی اوقات بعد از نرماله کردن ، قطعات را به منظور دست یافتن به سختی مورد نظر و حذف تنش های باقی مانده در اثر تفاوت سرعت سرد کردن در قسمت های مختلف قطعه به دلیل اختلاف اندازه ی مقطع ، قطعه ی ریختگی را تمپری می کنند .

تمپر کردن قطعات بعد از نرماله کردن برای دستیابی به چقرمگی بالا و مقاومت به ضربه می باشد. تاثیر تمپر کردن در سختی و استحکام کششی به ترکیب شیمیایی چدن و میزان سختی بدست آمده از نرماله کردن بستگی دارد .

تمپر کردن شامل حرارت دادن مجدد تا دمای ۴۲۵ C-650 و نگهداری در این دما به مدت 1 h برای هر

اینچ ضخامت از مقطع می باشد. این دما برای دستیابی به مشخصات گوناگون در مدت بالای رنج معمول، متفاوت می باشد.

کونچ و تمپر کردن چدن داکتیل:

قطعات تجاری قبل از کونچ و تمپر کردن معمولاً در دمایی بین 845°C - 925°C آستنیت می شوند. برای به حداقل رساندن تنش و جلوگیری از ترک خوردن قطعه برای کونچ متوسط روغن ترجیحاً از روغن استفاده میشود ولی برای قطعات با اشکال ساده از آب یا آب نمک استفاده می شود و قطعات پیچیده را به منظور جلوگیری از ترک خوردن در حین کونچ، در روغن پیش گرم شده تا دمای 100°C - 80°C کونچ می کنند.

تاثیر کونچ کردن در آب مکعبی از جنس چدن نشکن که تا دمای آستنیت گرم شده بود بدست آمدن سختی بالایی (۵۵-۷۵ HRC) بوده است. دمای آستنیت کردن در این مکعب بین 845°C - 870°C بوده است. در دمایی بالاتر از 870°C مقدار زمینه ی حاوی کربن (آستنیت) بیشتری بدست خواهد آمد به همین دلیل مقدار آستنیت بیشتری (پس از کونچ کردن) حفظ خواهد شد که در نتیجه ی این امر سختی کاهش پیدا می کند.

قطعات بعد از کونچ شدن باید تمپر شوند تا تنش حاصل از کونچ شدن آزاد گردد. سختی حاصله بعد از تمپر کردن به عناصر آلیاژی موجود، دمای تمپر کردن و به همان اندازه زمان تمپر کردن بستگی دارد. تمپر کردن در دمای 450°C - 600°C باعث کاهش سختی می شود که میزان آن به عناصر آلیاژی موجود، سختی اولیه و زمان تمپر بستگی دارد. سختی ویکرز چدن نشکن کونچ شده به وسیله ی دما و زمان تمپر کردن تغییر می کند.

تمپر کردن چدن نشکن از یک فرآیند دو مرحله ای تشکیل می شود. مرحله ی اول همانند فرآیند فولادها رسوب دادن کاربیدها است. مرحله ی دوم (معمولاً به وسیله ی کاهش سختی در زمان طولانی تر مشخص می شود) جوانه زنی و رشد گرافیت ثانویه که حاصل از مصرف شدن کاربیدها می باشد. کاهش سختی به همراه تشکیل گرافیت ثانویه همانند کاهش استحکام کششی و به همان اندازه کاهش استحکام خستگی می باشد. هر آلیاژی با در صد مشخص (عناصر) داری درجه حرارت تمپر مفید خواهد بود.

آستمپر کردن چدن نشکن:

هنگامی که استحکام مناسب به همراه انعطاف پذیری مورد نظر باشد، عملیات حرارتی کننده اجازه می دهد ساختار آستمپر شده از آستنیت و فریت تولید گردد. زمینه ی آستمپر شده باعث بهبود قابل توجه استحکام کششی و انعطاف پذیری می شود که در هر نوع چدن داکتیل ممکن می باشد. برای بدست آوردن آن خواص مطلوب نیاز است که به اندازه ی سطح مقطع ، زمان و درجه حرارت داده شده به قطعه در خلال آستنیت و آستمپر کردن دقت و توجه کافی شود .

اندازه سطح مقطع و عناصر آلیاژی:

با افزایش سطح مقطع سرعت کاهش درجه حرارت بین دمای آستنیت و دمای آستمپر کردن تغییر می کند . آستمپر کردن یا شامل کونچ کردن در روغن داغ ۲۴۰ C، کونچ کردن به وسیله ی جریان نیتريت / نیترات، کونچ کردن توسط جریان هوا (فقط برای قطعات نازک یا قسمت های کوچک) و برای نوع ابزار کونچ کردن در حمام سرب به منظور جلوگیری از واکنش محصولات در درجه حرارت بالا (مثل پرلیت در مقاطع ضخیم) باید آنها را در حمام نمک کونچ کرد . سختی به وسیله ی کونچ کردن در آب یا افزودن عناصر آلیاژی (مثل مس ، نیکل ، منگنز ، یا مولیبدن) که باعث تسهیل سختی پذیری پرلیت می شوند . این نکته مهم است که بدانیم عناصر فوق باعث به وجود آمدن جدایش در هنگام انجماد می شوند که این امر برای قابلیت آستمپر شدن و در نتیجه ی آن برای خواص مکانیکی مضر خواهد بود . انعطاف پذیری و مقاومت به ضربه پارامترهایی هستند که شدیداً تحت تاثیر قرار می گیرند . منگنز و مولیبدن بیشترین تاثیر را در سختی پذیری پرلیت دارند اما به منظور افزایش آهن یا تعدیل کاربیدها همیشه موجب سگرگاسیون و سرد شدن ناحیه ی بین سلولی در قطعه می شوند . در صورتیکه مس و نیکله همان اندازه تاثیری در سختی پذیری ندارند ولی باعث جدا شدن گرافیت کروی در زمینه میشوند و از به وجود آمدن کاربیدهای مضر جلوگیری می کنند. ترکیبی از این عناصر به اندازه ی مساوی به دلیل تاثیر آنها در سختی پذیری به قطعه افزوده می شود .

دما و زمان آستنیت کردن

معمولاً با افزایش دمای استنیته کردن ، زمینه ی حاوی کربن (آستنیت) نیز افزایش می یابد. زمینه ی فعلی حاوی کربن ، به شکل مخلوط شدن عناصر موجود در زمینه ، مقدار آنها و موقعیت آنها در زمینه بستگی دارد (سگر گاسیون)

مهمترین عامل تعیین کننده در زمینه ی حاوی کربن در چدن داکتیل سیلیسیم موجود در آن است ، با افزایش سیلیسیم برای دمای آستنیته ی معین مقدار کربن موجود در زمینه کاهش می یابد. دمای آستنیته بین ۸۴۵ C-925 معمولاً مناسب است و زمان آستنیته کردن برای کربن گیری مجدد تمام زمینه تقریباً ۲ ساعت کافی می باشد .

دمای استنیته کردن کاملاً تحت تاثیر مقدار کربن موجود در زمینه می باشد که اثر مهم آن در سختی پذیری می باشد. دمای آستنیته ی بالا و مقدار کربن بالا باعث افزایش سختی پذیری می شود . که باعث کاهش سرعت دگرگونی آستنیت هم دما می شود .

زمان و دمای آستیمپر کردن:

دمای آستیمپر کردن اولین پارامتر تعیین کننده ی میکروساختار نهایی در قطعه و در نتیجه ی آن سختی و استحکام محصول آستیمپر شده است . با افزایش دمای آستیمپر کردن ، سختی و مقاومت به ضربه ی متفاوتی خواهیم داشت .

دستیابی به حداکثر انعطاف پذیری در دمای معین آستیمپر کردن ، تابع حساس زمان می باشد . افزایش اولیه ی از یاد طول نسبی در مرحله ی (۱) رخ می دهد و پیشرفت از یاد طول نسبی در مرحله ی نهایی اتفاق می افتد که در آن نقطه ی شکست آستنیت حداکثر می باشد . آستیمپر کردن مجدد فقط به منظور کاهش انعطاف پذیری در مرحله ی (۲) واکنش که در نتیجه ی تجزیه ی ساختار به تعادل بینیت . زمان آستیمپر کردن از ۴-۱ ساعت متفاوت می باشد.

روش انجام آزمایش:

در این آزمایش ابتدا قطعات چدنی را متالوگرافی کرده و سپس بوسیله دستگاه اندازه گیری سختی ، سختی اولیه قطعات را گرفته و بعد از اندازه گیری سختی اولیه قطعات را در داخل کوره عملیات حرارتی قرار داده و در دمای ۸۵۰ درجه سانتی گراد (دمای آستنیته کردن چدن ها نسبت به فولاد ها

بالا می باشد) قرار داده و بعد از مدت ۳۰ دقیقه قطعات را از داخل کوره بر داشته و در داخل روغن کوئنچ کردیم.

نکته: (چدن‌ها را به دلیل اینکه دارای تنش های زیاد داخلی می باشند و احتمال شکست در آنها بیشتر از فولاد ها می باشد همیشه در روغن کوئنچ می کنند.) و بعد از خنک شدن قطعه ، سختی ثانویه آنها را اندازه گیری کردیم.

نتیجه گیری کلی در آزمایش عملیات حرارتی چدن ها:

در یک نتیجه گیری کلی می توان گفت که چدن می تواند در کاربرد های بسیار فراوانی مورد استفاده قرار گیرد. در چدن ها یک دامنه وسیعی از خواص توسط کنترل فرایند تولید ، کنترل ترکیب شیمیایی و عملیات حرارتی های مختلف به وجود می آید.

گروه اول	گروه دوم	گروه سوم	گروه چهارم	
۳۵	۴۰	۳۸	۴۱	سختی اولیه
HRC	HRC	HRC	HRC	
۷۵	۸۰	۷۹	۸۰	سختی ثانویه
HRC	HRC	HRC	HRC	
%۴۶	%۵۰	%۴۸	%۵۱	درصد افزایش سختی

توضیحات:

دمای آستنیت کردن: ۸۵۰ درجه سانتی گراد

مدت نگهداری در کوره : ۳۰ دقیقه

محیط کوئنچ کردن: روغن

گزارش کار شماره ۵

عنوان آزمایش: آزمایش سختی سطحی فولاد های ساده کم
کربنی

نام خانوادگی دانشجو: مهدی خدایی ۳۱۱۰۸

تاریخ انجام آزمایش: ۹۰/۱۰/۶

ساعت انجام آزمایش: ساعت ۱۰

تئوری آزمایش:

در بسیاری از کاربردهای صنعتی نیاز به قطعاتی است که دارای سطحی سخت و مقاوم به سایش بوده و در عین حال از تافنس و مقاومت به ضربه ی خوبی برخوردار باشند مثل میل بادامک و چرخ دنده ها . برای رسیدن به چنین ساختاری از عملیات حرارتی سختی سطحی استفاده می شود.

روش های سختی سطحی:

۱- روش های ترموشیمی: (در سطح قطعه)

۲- روش های موضعی: (در سطح)

۱- روش های ترموشیمی منجر به تغییر ترکیب شیمیایی سطحی می گردند. (کربوره کردن و نیترووره کردن)

۲- در روش های موضعی ترکیب شیمیایی عوض نمی شود و تنها متمرکز کردن عملیات بر روی قطعه است.

سطح قطعه است که باعث سخت شدن لایه سطحی آن می گردد مثل سخت کردن شعله ای یا القایی

کربوره کردن (سمانتاسیون):

وقتی یک فولاد کم کربن (مثلا ۰/۱۵٪) را در مواد کربن دار مثل زغال چوب قرار داده و در دمای بالای (مثلا ۹۲۵ درجه سانتی گراد) نگهداری می کنیم . کربن از زغال به سطح قطعه نفوذ کرده و پس از مدتی درصد کربن در سطح به مقدار بالایی (مثلا ۱/۲۵٪) می رسد بنابراین سطح قطعه پر کربن و مغز آن کم کربن می شود.

سخت کاری چنین قطعه ای منجر به تشکیل مارتنزیت پر کربن در سطح با سختی بالا و وجود تافنس و مقاومت به ضربه در مغز قطعه می گردد.

کربوراسیون جامد:

قطعه به همراه زغال چوب و یک ماده انرژی زا مثل (کربنات سدیم - باریم سدیم) در محفظه ای از جنس فولاد نسوز حبس می شود. محدوده دمایی کربوره کردن ۸۷۵ - ۹۲۵ درجه سانتی گراد در منطقه پایداری آستنیت.

نکته: نقش مواد انرژی زا: افزایش سرعت کربوره شدن

نکته ۲: عامل اصلی کربوره شدن انتقال گاز کربن CO می باشد. عامل اصلی گاز CO یا CO₂ می باشد.

کربوره کردن مایع:

در این سختی سطحی از سیاند سدیم - کلرید سدیم - کلرید باریم - کارید سدیم استفاده می شود.

کربوره کردن گازی:

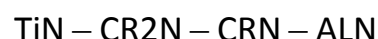
قطعات را در دمای ۹۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳ - ۴ ساعت در اتمسفری شامل گاز یا گاز هایی که بتواند در سطح فولاد تجزیه شده و کربن اتمی ایجاد کنند حرارت می دهند. اتمسفر فوق معمولاً از سوختن ناقص گاز هایی مثل CH₄ یا C₃H₈ ایجاد می شود که بوسیله گاز هایی چون نیتروژن و هیدروژن رقیق شده است.

نکته مهم: روش کربوره کردن گازی سریع ترین و اقتصادی ترین روش است.

در کربوراسیون جامد قطعات فولادی پس از کربوره کردن معمولاً به صورت مستقیم کوئنچ نمی شوند زیرا امکان ترک و شکسته شدن آن وجود دارد از این رو آنها را در هوا یا قوطی سمانتاسیون (کربوره اسیدی) سرد می کنند بعد دوباره قطعات را در محدوده مناسب آستنیت و سپس کوئنچ می کنند.

نیتراسیون: (نیتروره کردن)

عبارت است از، نیتروژن به صورت اتمی به لایه سطحی فولاد نفوذ کرده و سختی را در سطح به وجود می آورد. سختی در این روش بستگی به تشکیل نیتريد های عناصر آلیاژی دارد. با این عملیات فقط می توان سختی زیادی در سطح ایجاد کرد که فولاد دارای عناصر نیتريد زای قوی نظیر (آلومینیم - کرم - مولیبدن - وانادیم - تیتانیم) شد. این عناصر ترکیبات نیتريد سخت و پایداری تشکیل می دهند.



نکته مهم: نیتروره کردن در منطقه پایداری فریت در ۵۵۰ - ۶۵۰ درجه سانتی گراد انجام می شود. زیر خط A1 پس از نیتروره کردن نیاز به سرد کردن سریع قطعات نیست و آنها را در هوا سرد می کنند.

کربونیتراسیون: (کربونیترووره)

در این روش نیتروژن و کربن هر دو جذب لایه سطحی فولاد می شوند معمولا در دمای ۸۰۰ - ۸۷۵ درجه سانتی گراد و در یک اتمسفر گازی مخلوطی از CO و هیدرو کربن ۳ - ۸ درصد آمونیاک NH3 است. صورت می گیرد.

این عملیات در مقایسه با نیتروره کردن و کربوره کردن مقاومت به سایش را بیشتر افزایش می دهد. اگر کربن دهی و نیتروژن دهی همزمان در محدوده دمایی نیتراسیون (۵۵۰ - ۶۵۰ درجه سانتی گراد) انجام شود عملیات به نیتروکربوراسیون موسوم است.

عملیات حرارتی سختی سطحی موضعی:

در این روش مغز و سطح قطعه دارای ترکیب شیمیایی یکسان هستند و سطح باید کربن اضافی برای سخت کاری را داشته باشد. از این رو عملیات در مورد فولاد های با درصد کربن ۰/۵ - ۰/۳۵ انجام می شود.

این عملیات معمولاً بر روی فولاد های کم آلیاژ صورت می گیرد.

در این روش تنش های فشاری حاصل از تشکیل مارتنزیت در سطح قطعه باعث افزایش مقاومت به خستگی می شود.

شیوه عملیات به این صورت است که ابتدا قطعات را کوئنچ و تمپر و یا نرماله می کنند و سپس با حرارت دادن موضعی سطح قطعات را آستنیته و بلافاصله کوئنچ می کنند. بنابراین در حالی که مغز قطعه مارتنزیت تمپر شده و یا فریت و پرلیت با تافنس خوب است سطح آن مارتنزیت با سختی نسبتاً بالا می باشد.

معمولاً بین مغز و سطح قطعه یک لایه بینیتی وجود دارد.

۱ - سخت کردن شعله ای:

مقدار کربن مناسب جهت این روش $0/5 - 0/4$ درصد می باشد. مشکل این روش اکسید شدن سطح قطعه و دکربوراسیون (از دست رفتن کربن) و رشد دانه می باشد. مشعل آن گاز طبیعی یا استیلن می باشد.

۲ - سخت کردن القایی:

از طریق جریان های القایی در سطح قطعه، سطح آن به سرعت سرد شده (پس از آستنیته شدن سطح آن را به سرعت سرد می کنند) در چندین ثانیه سطح آن را آستنیته می شود.

نکته مهم: مشکلات اکسیداسیون و دکربوره شدن و رشد دانه در این روش کمتر دیده می شود یا معمولاً دیده نمی شود زیرا زمان آستنیته کردن کوتاه است.

تهیه و تنظیم کننده: مهدی خدایی

آزمایشگاه عملیات حرارتی - دانشکده فنی انقلاب اسلامی تهران