**[فرایندهای عملیات حرارتی](http://www.namic.blogsky.com/1392/07/05/post-135/%D9%81%D8%B1%D8%A7%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87%D8%A7%DB%8C-%D8%B9%D9%85%D9%84%DB%8C%D8%A7%D8%AA-%D8%AD%D8%B1%D8%A7%D8%B1%D8%AA%DB%8C)**

عملیات حرارتی، فرایند گرم کردن و سرد کردن فلزی جامد برای رسیدن به خواص مطلوب و دلخواه می‌باشد. دلایلی که باعث انجام عملیات حرارتی می‌شوند به شرح زیر است:
- تنش‌زدایی، تنش‌های ناشی از عملیات و فرایندهای تولید
- ریز کردن دانه‌بندی
- افزایش مقاومت به سایش با ایجاد لایه سخت بر سطح و در عین حال افزایش مقاومت به ضربه با به‌وجود آوردن مرکز نرم‌تر در داخل قطعه
- بهبود خواص فولاد به منظور اقتصادی کردن جایگزینی بعضی از انواع ارزان‌تر فولاد به جای انواع گران آن
- افزایش جذب انرژی ضربه فولاد
- بهبود خصوصیات برش در فولادهای ابزار
- بهبود خواص الکتریکی
- تغییر یا بهبود خواص مغناطیسی
در این مقاله فرایندهای عملیات حرارتی به اختصار معرفی خواهند شد.

**فرایندهای عملیات حرارتی1. نرمالایزینگ**1
این عملیات برای همگن کردن و ریز کردن دانه‌ها انجام می‌شود. فولاد در عملیات نرمالایزینگ بعد از قرار گرفتن در دمای آستنیته شدن در هوای آرام یا با دمش اندک هوا خنک می‌شود. به خاطر خصوصیات ذاتی فرایند ریخته‌گری، عملیات نرماله برای بلوم‌های ریخته شده پیش از انجام هر فرایند دیگری انجام می‌شود. همچنین به‌طور معمول برای قطعات ریخته شده و فورج شده پیش از عملیات آب دادن، عملیات نرماله انجام می‌شود.

**2. آنیلینگ2**عنوان آنیلینگ به‌طور کلی به فرایندی اطلاق می‌شود که در آن فلز تا دمای خاصی گرم می‌شود، سپس در آن دما برای مدتی نگهداری شده و با سرعت مشخص سرد می‌شود. این عملیات برای به دست آوردن فلزی نرم‌تر از حالت شروع عملیات یا ایجاد تغییرات دلخواه در ساختار فلز انجام می‌شود.
دلایل انجام آنیلینگ به شرح زیر است:
- بهبود قابلیت ماشینکاری
- امکان انجام راحت‌تر عملیات کار سرد
- بهبود خواص مکانیکی یا الکتریکی
- افزایش پایداری ابعادی

**3. تنش‌زدایی3**تنش پس‌ماند به دلایل مختلف در قطعات ایجاد می‌شود. نورد، ریخته‌گری، آهنگری، خمکاری، آب دادن، سنگ زدن و جوشکاری از جمله منابع ایجاد تنش پس‌ماند در قطعه می‌باشند. در این عملیات، قطعه تا دمای حدود c595 حرارت داده می‌شود و سپس به آرامی تا دمای اتاق سرد می‌شود. قسمت‌های درون قطعه نیز باید به دمای مذکور رسیده باشند. در هنگام سرد کردن به این نکته توجه کنید که تمام نقاط قطعه به‌طور یکنواخت سرد شود خصوصاً در مورد قطعاتی که پیچیدگی ابعادی دارند. در غیر این صورت مجدداً تنش پس ماند در قطعه ایجاد خواهد شد.

|  |
| --- |
| http://old.sanatekhodro.com/CrThumb.aspx?Pic=sanatekh\Images\39\184917671209671.jpg&X=411&Y=606 |

**4. سخت‌کاری سطحی4**در این عملیات سطح سخت و با مقاومت بالای سایشی بر روی قطعه ایجاد می‌شود و در عین حال ساختار داخلی قطعه نرم باقی می‌‌ماند که در برابر ضربه کاملاً مقاومت دارد. سطح سخت شده به عنوان پوسته (Case) و داخل قطعه با عنوان مغز (Core) شناخته می‌شود. معمولاً بعد از عملیات سخت‌کاری سطحی باید عملیات برگشت برای بهبود خواص پوسته انجام شود. یکی از روش‌های سخت‌کاری سطحی، کربوراسیون است. این روش به 3 صورت کربوره گازی، کربوره مذاب و کربوره جامد انجام می‌شود. در هر روش کربن از محیط اطراف قطعه که گاز، مذاب یا جامدات است به داخل سطح فولاد که در دمای حدود 850 تا 950 درجه سانتیگراد قرار دارد نفوذ کرده و بعد از انجام عملیات آب دادن با ایجاد فاز سخت مارتنزیت باعث افزایش سختی سطح قطعه می‌شود. فولاد مناسب برای انجام عملیات کربوره در حدود 2/0 درصد کربن دارد و بعد از انجام عملیات کربوره، میزان کربن در سطح به مقدار 8/0 تا 1 درصد خواهد رسید.

**5. آب دادن5**اصطلاح آب دادن به فرایند ایجاد ساختار مارتنزیتی در فولاد اطلاق می‌شود. در این حالت فولاد بعد از قرار گرفتن در دمای آستنیته که معمولاً در حدود 815 تا 870 درجه سانتیگراد می‌باشد به سرعت سرد می‌شود.

**شکل 1: نمایش محدوده انجام عملیات حرارتی با توجه به دیاگرام فازی آهن- کربن6. محیط خنک‌کننده6**انتخاب شرایط سرد شدن و محیط مناسب برای هر فولاد بستگی به میزان سختی‌پذیری آن دارد. ضخامت مقاطع و شکل و پیچیدگی قطعه و سرعت مناسب سرد شدن از عوامل مؤثر بر ایجاد ساختارهای متفاوت در حین عملیات آب دادن می‌باشند. محیط‌های خنک‌کننده غالباً گازی یا مایع می‌باشند. بعضی از انواع آن عبارتند از:
- روغن
- آب
- پلیمرهای مذاب
- آب به تنهایی یا همراه با نمک
- گازهای خنثی نظیر هلیم، آرگون و نیتروژن که به عنوان محیط‌های خنک‌کننده گازی بعد از عملیات آستنیته کردن در خلاء، استفاده می‌شوند.
**7. بازگشت دادن7**این عملیات بر روی فولادها یا قطعاتی که تحت عملیات آب دادن یا نرمالایزینگ قرار گرفته‌اند به منظور افزایش چقرمگی8 و کاهش سختی انجام می‌شود. عملیات بازگشت برای اغلب فولادها با حرارت دادن آنها در محدوده دمایی 205 تا 595 درجه سانتیگراد و نگه داشتن در آن دما برای مدت یک ساعت یا بیشتر انجام می‌شود. دما یا زمان بیشتر باعث کاهش سختی و استحکام بیشتر فولاد خواهد شد. ساختار ایجاد شده بعد از عملیات بازگشت در فولاد به عنوان مارتنزیت برگردانیده شده یا Tempered Martensitic شناخته می‌شود.
در شکل یک، محدود دمایی انجام عملیات حرارتی با توجه به دیاگرام فازی آهن- کربن نشان داده شده است.

**پانوشت‌ها:**1. Normalizing
2. Annealing
3. Stress Relieving
4. Surface H ardening
5. Quenching
6. Quenching Media
7. Tempering

**منبع:**1. Heat treater's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels- 2nd Edition- 1995- ASM
---------

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 سازندة 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 زمینة 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 مطالعة 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 برروی میکروساختار و خواص فلزات و آلیاژها به دست آمد. در اواخر سالها ی ۱۹۵۰ میکروسکوپهای الکترونیکی از نوع عبوری برای مطالعة تغییرات میکرو ساختار درونی در اثر عملیات حرارتی و سپس تکنیکهای جدید به منظور آنالیز در مقیاس میکروسکوپی نظیر استفاده از میکروسکوپهای اوژه به طور وسیعی به کار گرفته شدند.

در مرحلة 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، معا یب 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 گسترة 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 وعناصر دیگرند که بیشترین کاربرد را در صنعت و فناوری دارند. یکی از دلایل کاربرد وسیع فولاد ها عبارتست از خواص کاملا ً متنوعی که میتوان به کمک روشهای مختلف عملیات حرارتی در آنها بوجود آورد. نوع عملیات حرارتی انجام شده روی فولاد وهمچنین 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 وسمنتیت در دماهای بالا جلوگیری شود. مارتنزیت دقیقاً همان تر کیب شمیایی آستنیت اولیه را دارد .

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

بینیت درفولادها در گستره دمایی بین پاینترین دمای تشکیل پرلیت وبالاترین 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.

**آستنیته کردن:**

بررسی اثر دما و زمان آستنیته کردن 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 آستنیته کردن. ۳- زمان آستنیته کردن.

از نقطه نظر دگرگونی ، مرزدانه 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 شوداطلاق می شود. از آنجایی که این مفهوم بسیار کلی است، عملیات حرارتی آنیل به یک سری فرایندهای 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 ۰٫۰۲درجه سانتیگراد بر ثانیه است . همچنان که در شکل دیده می شود، گستره دمایی آستنیته کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن فولاد است. بدین صورت که ، برای فولادهای هیپویوتکتویید حدود ۵۰ درجه سانیگراد بالای خط و برای فولادهای هایپریوتکتویید 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 هیپویوتکتویید را در ناحیه تکفاز آستنیت و فولادهای هایپر یوتکتویید را در ناحیه دوفازی آستنیت- سمنتیت حرارت می دهند.

علت آستنیته کردن فولادهای هایپر یوتکتویید در ناحیه دوفازی آستنیت- سمنتیت این است که سمنتیت پرویوتکتویید در این فولاد به صورت کروی و مجتمع شده در آید.اگر چنین فولادی تا بالای خط حرارت داده شود ،درضمن آهسته سرد شدن سمنتیت پرویوتکتویید به صورت شبکه پیوسته ای در مرز دانه های آستنیت رسوب می کندو در نتیجه منجر به ترد وشکننده شدن فولاد می شود.در عملیات آنیل کامل ، هدف ازآستنیته کردن فولادهای هایپر یوتکتویید در ناحیه دو فازی 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 آستنیته کردن که در همان گستره دمایی مربوط به آنیل کامل انجام می شود و سپس سرد کردن سریع تا دمای دگر گونی و نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت انجام دگر گونی .

پس از پایان دگر گونی ، 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 همدما برای یک فولاد هیپو یوتکتوییدنشان می دهد.

زمان لازم برای آنیل همدما 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 همدما در فولادهای هیپو یوتکتویید، یو تکتوییدو هایپر یوتکتوییدبه ترتیب عبارت است از فریت-پرلیت، پرلیت و پرلیت – سمنتیت است . ولی پرلیت حاصل نسبتاً ظریفتر و در صد فریت و سمنتیت پرویوتکتویید تا حدودی کمتر است.از جمله موارد عمده کاربرد آنیل همدما 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 اسفرودایز

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

**روش های کروی کردن سمنتیت:**

**عملیات حرارتی طولانی مدت زیر خط :**

عملیات حرارتی فولاد هیپو دررنج وفولاد هایپر و سپس سرد کردن تا دمایی زیر و سپس نگه داشتن در این دما به منظور کروی شدن سمنتیت.

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 h5/0 و تکرار عمل فوق الذکر در چند مرتبه.

**سختی پذیری:**

بررسی و تعیین سختی پذیری فولاد ها با استفاده از تست جمینی ( JominHardenability 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 وبه مدت تقریبا ۲۰ دقیقه در آن دما نگه داشته و پس ازآن 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 ۵/۱۲ میلی متر ( ۵/۰ 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 ۴/۰ 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 .

**عملیات حرارتی درمتالورژی**

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 با شد 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 Ae1 ، 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 تنشی 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 تنشی 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 برروی 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 اپسیلن و یا کاربید اتا و در نتیجه کاهش درصد کربن زمینه مارتنزیتی تا حدود ۲۵/۰ درصد .

مرحله دوم : تبدیل آستنیت باقیمانده به فریت و سمنتیت .

مرحله سوم : جایگزین شدن کاربید های انتقالی ومارتنزیت 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 باز گشت 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 سریع فولاد هاست ، کاملا سخت ودر 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 باز گشت هر دمایی در گستره دمای اتاق تا دمای Ae1 را می توان استفاده کرد ، بنا براین میکرو ساختار و در نتیجه خواص مکانیکی کاملا متنوعی از مارتنزیت تا سمنتیت کروی در زمینه فریت را می توان بدست آورد . عملا دما و زمان بازگشت با توجه به خواص مکانیکی یعنی میزان سختی ، استحکام و چقرمگی که در عمل لارم 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 عمدتاًساخاتر 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 باز گشت به سانتیگراد تبدیل شود فرمول فوق به صورت زیر در می آید :

T = 16.67 ( Hc – Ha ) – ۱۷٫۸

ارتباط دما وزمان بازگشت

در عملیات بازگشت هنگامی که به زمان باز گشت اشاره ای نشود منظور زمان ی\*\*\*\*\*اعت است . برای حصول سختی مورد نظر می توان زمان بازگشت را تغییر داد . به شرط اینکه دمای بازگشت تغییر داده شود . رابطه دما وزمان 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 مالیبل

مطالعه و بررسی عملیات حرارتی ، خواص و ساختار چدن مالیبل .

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 دوارد استثنایی نظیر هنگامی که به سختی فوق العاده زیادی نیاز با شد 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 Ae1 ، 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 تنشی ناشی از وجود نابجایی ها و دوقلو های بسیار زیاد در ساختار بلوری صفحات مارتنزیتی ، انرژی سطحی ناشی ازفصل 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 تنشی 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 برروی 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 اپسیلن و یا کاربید اتا و در نتیجه کاهش درصد کربن زمینه مارتنزیتی تا حدود ۲۵/۰ درصد .

مرحله دوم : تبدیل آستنیت باقیمانده به فریت و سمنتیت .

مرحله سوم : جایگزین شدن کاربید های انتقالی ومارتنزیت 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 باز گشت 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 سریع فولاد هاست ، کاملا سخت ودر 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 باز گشت هر دمایی در گستره دمای اتاق تا دمای Ae1 را می توان استفاده کرد ، بنا براین میکرو ساختار و در نتیجه خواص مکانیکی کاملا متنوعی از مارتنزیت تا سمنتیت کروی در زمینه فریت را می توان بدست آورد . عملا دما و زمان بازگشت با توجه به خواص مکانیکی یعنی میزان سختی ، استحکام و چقرمگی که در عمل لارم 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 عمدتاًساخاتر 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 باز گشت به سانتیگراد تبدیل شود فرمول فوق به صورت زیر در می آید :

T = 16.67 ( Hc – Ha ) – ۱۷٫۸

ارتباط دما وزمان بازگشت

در عملیات بازگشت هنگامی که به زمان باز گشت اشاره ای نشود منظور زمان ی\*\*\*\*\*اعت است . برای حصول سختی مورد نظر می توان زمان بازگشت را تغییر داد . به شرط اینکه دمای بازگشت تغییر داده شود . رابطه دما وزمان 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 .

تست خستگی حرارتی فولاد ابزار گرم کار مارتنزیت

پس از بعمل آوری های آستنیتیی مختلف

ابزارهای استفاده شده در ریختگی حدیده، نورد گرم، اکستروژن و آهنگری گرم دربرابر درجه حرارت های دوره ای بالا و بارهای مکانیکی قرارگرفته اند. بالاخص فولادهای ابزار گرم کار طراحی شده غالباً برای برآورده کردن الزامات کاربردی مصرف می شوند، با درنظرگرفتن یک مقاومت خستگی حرارتی بالا بعنوان یک خصوصیت ابزارمهم. برای افزایش عملکرد ابزار، مثلاً طول عمرابزار، شرایط ریزساختاری فولاد ابزارمی توانند بهینه سازی شوند. در مطالعه کنونی، خواص خستگی حرارتی یک آلیاژ فولاد ابزار گرم کار مارتنزیت کرم جدید در ارتباط با بعمل آوری آستنیتیی ارزیابی شده اند. با استفاده از ۴ درجه حرارت مختلف آستنیتیی، آن ماده آب داده شده و با همان سختی ۴۷۰ اچ وی پخت شد. خستگی حرارتی با استفاده از یک سیستم گرم کنندگی القای فرکانس بالا اجرا شد، که برای شبیه سازی شرایط بعمل آوری گرم کار طراحی شد، درحالی که کرنش سطحی آن نمونه را با یک تکنیک لکه ای لیزری ثبت می کند. معلوم شد که رشد شکاف خستگی حرارتی درفولاد ابزارقویاً وابسته بر درجه حرارت های آستنیتیی مختلف ، و همچنین درجه حرارت تست حداکثر بود. مقاومت خستگی حرارتی مفروض بود که بستگی بر مقاومت پخت دهنده در درجه حرارت دور حداکثر بالا و بر چقرمگی و رسانایی در درجه حرارت پایین تر دارد. مقاومت به خستگی حرارتی می تواند با بهینه سازی بعمل آوری حرارتی اضافه شود. کرنش مکانیکی سطحی درطول دور حرارتی از اندازه گیری های لکه لیزری تخمین زده شد.

------------------

**[بازیابی و تبلور مجدد Recovery and Recrystallization](http://www.wikipg.com/topic/16885/48296/%D8%A8%D8%A7%D8%B2%DB%8C%D8%A7%D8%A8%DB%8C%20%D9%88%20%D8%AA%D8%A8%D9%84%D9%88%D8%B1%20%D9%85%D8%AC%D8%AF%D8%AF%20Recovery%20and%20Recrystallization)**

|  |  |
| --- | --- |
| الف - شبکه ای که در آن نابجایی ها در جهات مختلف وجود دارند | http://www.wikipg.com/images/context/images/alef2.jpg |
| ب - ادغام نابجایی با یکدیگر و حذف و ادغام آنها | http://www.wikipg.com/images/context/images/b%283%29.jpg |
| ج- تشکیل مرزهای فریع (چند وجهی شدن) | http://www.wikipg.com/images/context/images/c%282%29.jpg |

انجام کار سرد برروی فولادها ( تقریباً تمامی فلزات و آلیاژها ) باعث افزایش استحکام و سختی و کاهش انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری آنها می‌شود. این پدیده که به کارسختی موسوم است ناشی از افزایش پیوسته معایب بلوری در اثر ادامه انجام کار سرد است. در اثر کار سرد انرژی داخلی افزایش یافته و بنابراین از نظر ترمودینامیکی ناپایدار خواهد شد. حرارت دادن چنین قطعه‌ای باعث از بین رفتن معایب موجود و بازیابی میکروساختار می‌شود. درعملیات بازیابی خواص فیزیکی تقریباً به طور کامل بازیابی شده و تا حدودی به خواص فیزیکی قطعه قبل از کار سرد برمی‌گردد. در حالی که، تغییرات خواص مکانیکی چندان محسوس نیست. در حقیقت عملیات حرارتی تبلور مجدد است که باعث بازیابی خواص مکانیکی قطعه کارسرد شده می‌شود. در اینجا تذکر این نکته لازم است که تغییراتی که در ساختار بلوری در ضمن عملیات بازیابی به وجود می‌آید را نمی‌توان به کمک میکروسکوپ نوری مطالعه کرد و نیاز به میکروسکوپ الکترونی دارد.

**[تبلور مجدد Recrystallization](http://www.wikipg.com/topic/16885/48393/%D8%AA%D8%A8%D9%84%D9%88%D8%B1%20%D9%85%D8%AC%D8%AF%D8%AF%20Recrystallization)**

**تبلور مجدد (recrystallization)** به عملیات حرارتی گفته می‌شود که در آن در اثر حرارت دادن دانه‌های جدید هم‌ محور و عاری از تنش در فلز کار سرد شده به وجود می‌آید. از جمله اثرات کار سرد عبارت از تغییر شکل دانه‌ها در جهت اعمال نیرو و ایجاد تنش‌های داخلی است. در ضمن عملیات‌ تبلور مجدد، تغییراتی که در اثر انجام کار سرد در خواص فیزیکی و مکانیکی به وجود آمده، از بین می‌رود و قطعه به حالت قبل از کار سرد برمی‌گردد. در حقیقت، تبلور مجدد ادامه عملیات حرارتی بازیابی است و در آن دانه‌های عاری از تنش می توانند از دانه‌های فرعی حاصل از عملیات بازیابی به وجود آیند. اساسا فرایند تبلور مجدد شامل جوانه‌زنی و رشد بوده که نیروی محرکه برای این عملیات، ناشی از کاهش انرژی آزاد حجمی در اثر کاهش نابجایی هاست.

از آنجایی که عملیات حرارتی تبلور مجدد فولادها در ناحیه دوفازی فریت‌ - آستنیت انجام می‌شود، تغییرات ایجاد شده در ساختار همراه با تغییر فاز نخواهد بود. به طور کلی میکروساختار فولادهای کم کربن و کربن متوسط قبل از کار سرد شامل سمنتیت کروی و یا عمدتاً فریت با مقدار کمی پرلیت است، که هر دو از انعطاف‌پذیری خوبی برخوردارند. فریت موجود در این ساختار عاری از تنش بوده و دارای دانه‌های هم محور است.کار سرد، دانه‌های فریت را در جهت انجام کار مکانیکی تغییر شکل داده و معایب بلوری را در آن افزایش می‌دهد. در این حالت انجام عملیات حرارتی تبلور مجدد باعث می‌شود که دانه‌های جدید هم محور و عاری از تنش در زمینه فریت تغییر شکل یافته و رشد کند. در نتیجه میکروساختار اولیه دوباره به وجود می‌آید. اگر حرارت دهی در دمای مناسب و به مدت زمان کافی در این فرایند صورت گیرد، هیچ گونه اثری از انجام کار سرد در ساختار دیده نخواهد

مراحل مختلف در تبلور مجدد فلز در شکل زیر نشان داده شده است.

الف) میکروساختار فلز در حالت کارسرد شده

ب) با تشکیل جوانه هایی از دانه های هم محور و عاری از تنش، تبلور مجدد آغاز میشود.

ج -ه ) با رشد دانه های جدید، تبلور مجدد ادامه می یابد.

و) تبلور مجدد به طور کامل انجام شده است. خطوط منقطع در شکل (و) برای نشان دادن موقعیت مرز دانه در قطعه کارسرد شده است.



**[دمای تبلور مجدد Temperature of Recrystallization](http://www.wikipg.com/topic/16885/48405/%D8%AF%D9%85%D8%A7%DB%8C%20%D8%AA%D8%A8%D9%84%D9%88%D8%B1%20%D9%85%D8%AC%D8%AF%D8%AF%20Temperature%20of%20Recrystallization)**

[ویرایش] یکی از اصطلاحات متالورژیکی که مکررا به کار می‌رود، دمای تبلور مجدد است. این دمایی است که در آن فلزی خاص با مقدار خاصی تغییر شکل سرد در دوره زمانی محدودی، معمولا 1 ساعت تبلور مجدد می‌یابد. البته دمای تبلور مجدد مفهومی ندارد، مگر آنکه زمان مجاز برای تبلور مجدد نیز مشخص گردد. فرایند تبلور مجدد به تغییرات جزئی دما بسیار حساس است. این حساسیت نشانه آن است که در دمای کمتر از آن، فلز تبلور مجدد نمی‌یابد و به همین دلیل است که دمای تبلور مجدد یکی از خواص فلز تلقی شده و همچنین از عامل زمان نیز در فرایند تبلور مجدد نبایدغافل شد.

**[عوامل موثر بر تبلور مجدد](http://www.wikipg.com/topic/16885/48406/%D8%B9%D9%88%D8%A7%D9%85%D9%84%20%D9%85%D9%88%D8%AB%D8%B1%20%D8%A8%D8%B1%20%D8%AA%D8%A8%D9%84%D9%88%D8%B1%20%D9%85%D8%AC%D8%AF%D8%AF)**

پس از اینکه تبلور مجدد به پایان رسید ( ساختار تغییر شکل یافته به طور کامل توسط دانه‌های هم‌محور و عاری از تنش جایگزین شد)، اگر باز هم حرارت دادن قطعه را ادامه دهیم، دانه‌های هم‌محور موجود شروع به درشت شدن می‌کنند. این عملیات به رشد دانه ( grain growth ) موسوم است و تا هنگامی که قطعه در دمای بالا قرار دارد، رشد دانه‌ها هم ادامه خواهد داشت. در حقیقت رشد دانه‌ها به این صورت انجام می‌گیرد که با مهاجرت مرز دانه‌ها، دانه‌های ریز به ترتیب به دانه‌های درشت مجاور ملحق می‌شوند. در این حالت نیروی محرکه یا عامل ترمودینامیکی رشد دانه‌ها همان انرژی مرز دانه‌هاست؛ بدین صورت که با درشت شدن دانه‌ها، مرز دانه‌ها کاهش می‌یابد و بنابراین انرژی داخلی فلز نیز کاهش خواهد یافت. در شکل زیر خلاصه‌ای ازنیرومحرکه، مکانیزم و نتایج حاصل از بازیابی، تبلور مجدد و رشد دانه‌ها نشان داده شده است.



**بازیابی و تبلور مجدد (Recovery and Recrystallization) از**مباحث بسیار مهم در علم و مهندسی مواد می باشد. **عملیات حرارتی بازیابی (recovery heat treatment)**به عملیاتی گفته می‌شود که در آن تغییرات عمده‌ای در ساختار بلوری فلز نظیر کاهش و یا از بین رفتن معایب بلوری که از قدرت تحرک زیادی برخوردار هستند، به وجود می‌آید. در این عملیات، معایب نقطه‌ای نظیر جاهای خالی و اتم‌های اضافی یکدیگر را خنثی می‌کنند. همچنین نابجایی‌های پیچی (screw dislocation) چپ‌گرد و راست‌گرد و نابجایی‌های لبه‌ای (edge dislocation) مثبت و منفی به ترتیب در این فرآیند با یکدیگر ادغام شده و حذف می‌شوند. در نتیجه در مجموع انرژی داخلی کاهش می‌یابد. ادامه عملیات حرارتی بازیابی همراه با لغزش و صعود نابجایی‌هایی ‌های باقیمانده و ردیف قرار گرفتن آنها است. به این ترتیب مرزهای فرعی ( sub grain boundary) تشکیل می‌شوند. تشکیل مرزهای فرعی که به چند وجهی شدن (polyganization) موسوم است، عملی خودبه‌خود است، زیرا انرژی داخلی میکروساختار با دانه‌های فرعی در مقایسه با قطعه کارسرد شده به مراتب کمتر است. در حقیقت با ردیف قرار گرفتن نابجایی‌ها در زیر هم ( به منظور تشکیل مرزهای فرعی) میدان تنش کششی هر نابجایی بر میدان تنش فشاری نابجایی دیگر اثر گذاشته و آن را کاهش داده و یا خنثی می‌کند. بدین ترتیب بدون آن که تعداد نابجایی‌ها تغییر کند، فقط با آرایش مجدد و مرتب شدن آنها انرژی داخلی کاهش می‌یابد.بنابراین، نیروی محرکه در عملیات حرارتی بازیابی همان کاهش انرژی داخلی ناشی از حذف یا آرایش مجدد معایب بلوری حاصل در ضمن کارسختی است.