

به نام خدا

عملیات حرارتی برای تشکیل ساختار تعادلی

دانشگاه هرمزگان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش
مهندسی صنایع

مقدمه

⇒ در این فصل روشهای مختلف عملیات حرارتی که منجر به تشکیل میکروساختارهای تعادلی می شوند، بررسی خواهد شد. این ساختارها که تماماً شامل فریت و سمنتیت ولی با توزیعهای متفاوت اند، اکثراً به کمک حرارت دادن فولاد در دماهای نسبتاً بالا و/یا برای مدت زمان نسبتاً طولانی و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق به دست می آیند.

⇒ از جمله خواص مورد نظر در این عملیات عبارت اند از: بهبود انعطاف پذیری، کاهش تنشهای داخلی و باقیمانده از عملیاتهای قبلی، بهبود قابلیت ماشینکاری و ایجاد یکنواختی در میکروساختارها

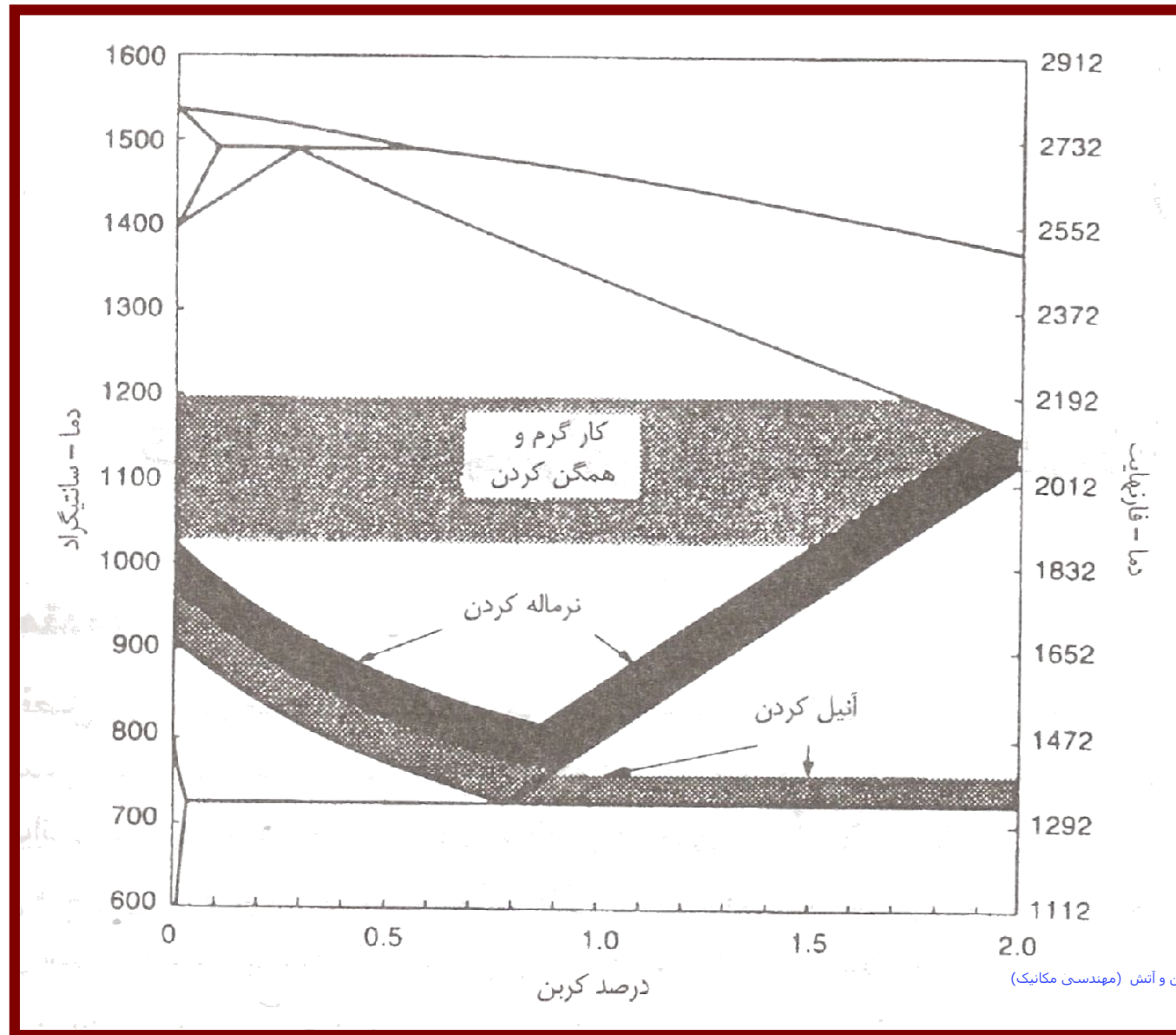
همگن کردن (یکنواخت کردن)

از جمله مشخصه های فولاد ریخته گری شده عبارت است از ساختار شاخه ای، جدایش موضعی و نایکنواختی در ترکیب شیمیایی است. پدیده های مزبور ناشی از ناعادلی سرد شدن در ضمن انجماد و عدم نفوذ کامل عناصر آلیاژی است، که باعث افت شدید خواص مکانیکی فولاد و همچنین کاهش کیفیت و کارایی عملیات حرارتی مختلف می شود.

از اینرو ساختار و ترکیب شیمیایی فولاد ریخته گری شده باید به کمک عملیات حرارتی مناسب یکنواخت شود.

برای این منظور قطعات مورد نظر را در دمای نسبتاً بالا برای مدت زمان نسبتاً طولانی (زمان حرارت دادن بستگی به ابعاد و ترکیب شیمیایی قطعه دارد) حرارت داده و سپس به آهستگی تا دمای اتاق سرد می کنند. این عملیات به همگن کردن و یا آنیل نفوذی موسوم است.

نواحی عملیاتی مختلف همراه با گستره دمایی آن



آنیل کردن

⇒ واژه آنیل دارای معنی، مفهوم و کاربرد وسیعی است، بدین صورت که، به هر نوع عملیات حرارتی که منجر به ساختاری بجز مارتنزیت و با سختی کم و انعطاف پذیری زیاد شود اطلاق می شود.

⇒ تقسیم بندی عملیات آنیل کردن بر اساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی است.

۱. آنیل کامل
۲. آنیل ناقص
۳. آنیل تکدما
۴. آنیل فرآیند
۵. آنیل تبلور مجدد
۶. آنیل کروی کردن

آنیل کامل

⇒ آنیل کامل عبارت از حرارت دادن فولاد در گستره دمایی نشان داده شده در نمودار پیشین و سپس سرد کردن آهسته، معمولاً در کوره است. تحت شرایط فوق آهنگ سرد شدن در حدود $0.2/0$ درجه سانتیگراد بر ثانیه است.

⇒ گستره دمایی آستنیت‌دهی برای آنیل کامل، تابع درصد کربن فولاد است. بدین صورت که برای فولادهای هیپریوتکتوئید حدود 50 درجه سانتیگراد بالای خط A_3 و برای فولادهای هایپریوتکتوئید حدود 50 درجه سانتیگراد بالای خط A_1 است.

⇒ علت آستنیت‌دهی فولادهای هایپریوتکتوئید در ناحیه دوفازی آستنیت-سمنتیت چیست؟

⇒ اگر فولاد هایپریوتکتوئید را تا دمای بالای A_3 ببریم، فولاد مورد نظر کاملاً آستنیتی شده و در ضمن آهسته سرد کردن سمنتیت تشکیل می‌شود و این سمنتیت در مرز دانه‌ها می‌باشد و سبب ترد و شکننده شدن فولاد می‌شود که مطلوب نمی‌باشد. در این حالت که فولاد آهسته سرد می‌شود، رشد فازها زیاد است و در نتیجه سمنتیت ضخیم می‌شود.

آنیل فولادهای آلیاژی

⇒ عناصر آلیاژی یا منطقه آستنیت را بزرگ می کنند و یا منطقه آستنیت را کم می کنند و کاربیدزا هستند. لذا به همین نسبت دمای آنیل بالا یا پایین می آید. ضمن آنکه دمای آنیل که بالاتر می رود، زمان نگهداری نیز بیشتر می شود زیرا در ساختار کاربید ایجاد شده است.

⇒ به عنوان مثال اگر کرم در شبکه فولاد آلیاژی وارد شود تشکیل کاربید کرم می دهد که فاز بسیار سختتری از سمنتیت است که در این حالت دما را باید آنقدر افزایش دهیم تا اتمهای کرم از کربن جدا شوند.

آنیل ناقص

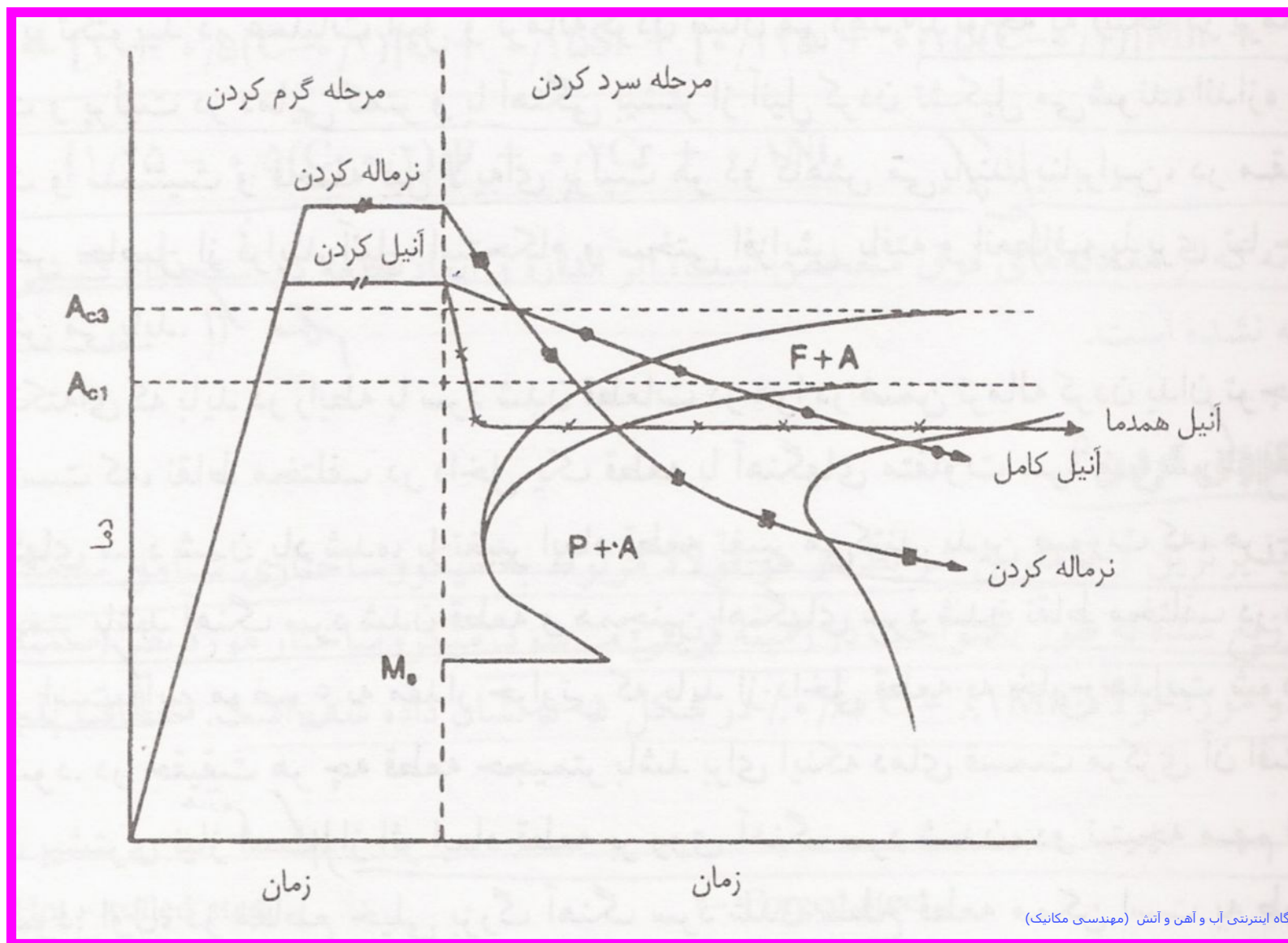
- ⇒ در آنیل کامل فولاد کاملاً آستنیتی می شود. پس آنیلی که برای فولاد هایپریتکتوئید در ناحیه دوفازی آستنیت - سمنتیت انجام می شود، آنیل ناقص می باشد.
- ⇒ معمولاً فولادهای هایپریتکتوئید خواص ماشینکاری خوبی ندارند لذا برای بهبود خواص ماشینکاری اینگونه فولادها را آنیل ناقص می کنند.
- ⇒ چه فولادهایی را نمی توان آنیل ناقص کرد؟
- ⇒ فولادهایی که ساختار درشت فریتی دارند اینها را نمی توان آنیل ناقص کرد، چون اگر بخواهیم ساختار ساختار درشت را از بین ببریم مجبوریم دما را بالا برده تا تبدیل به آستنیت شوند.

آنیل همدما

- ⇒ آنیل کامل برای فولادهای هیپوئوتکتوئید وقت زیادی را می برد و عمدتاً برای این فولادها آنیل همدما انجام می دهند.
- ⇒ در این نوع آنیل کردن فولاد به طور همدما خنک می شود و معمولاً دمای کاری آنیل همدما در گستره دمایی آنیل کامل است.
- ⇒ تفاوت ساختار آنیل تکدما با آنیل کامل در این است که در آنیل کامل فریت و پرلیت در دماهای مختلف تشکیل می شود. در نتیجه پرلیت از یکنواختی کمتری برخوردار است. اما با آنیل تکدما پرلیت کاملاً یکنواخت می شود.
- ⇒ از جمله موارد کاربرد آنیل همدما در رابطه با فولادهای آلیاژی است که دارای سختی پذیری بالایی هستند. 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 مخلوطی از پرلیت ظریف و بینیت بالایی باشد.
- ⇒ این نوع آنیل کردن در پولیش کاری کاربرد دارد. هر چه ساختار یکنواختتر باشد برای ماشینکاری، سنگ زنی و پولیش کاری بهتر است.
- ⇒ آنیل تکدما نسبت به آنیل کامل از نظر زمانی کمتر است ولی محدودیت عمده آن این است که از این آنیل برای قطعات بزرگ نمی توان استفاده کرد زیرا قطعات بزرگ را نمی توان به طور یکنواخت خنک کرد. لذا آنیل تکدما تنها برای قطعات کوچک استفاده می شود.



تغییرات دما-زمان برای عملیاتهای مختلف



نرماله کردن

- ⇒ نرماله کردن یکی دیگر از انواع روشهای عملیات حرارتی است که میکروساختار حاصل همانند آنیل کردن شامل پرلایت، مخلوطی از پرلایت و فریت و یا مخلوطی از پرلایت و سمنتیت است با این که در نرماله کردن فولاد به دمایی حدود ۴۰ تا ۵۰ درجه سانتیگراد بالای دمای بحرانی A_3 و A_{cm} برده شده و در آنجا برای مدت زمان مناسب نگهداری و سپس در دمای اتاق (هوا) سرد می شود تا به دمای محیط برسد.
- ⇒ با توجه به اینکه دمای عملیات بیشتر از آنیل کردن است لذا آستنیت حاصل یکنواختتر بوده، به همین دلیل توزیع پرلایت و فریت یا به عبارتی توزیع فریت سمنتیت یکنواختتر بوده و چون سریعتر از آنیل سرد می شود، ساختار حاصل پرلایت ریزتری نسبت به آنیل دارد.
- ⇒ به علت تشکیل ۱-پرلایت ریز ۲- ساختار یکنواخت و توزیع فریت و پرلایت به طور یکنواخت. خواص مکانیکی فولاد پس از نرماله کردن بهتر از آنیل کردن است.
- ⇒ یکی از مهمترین اهداف نرماله کردن ریز کردن دانه ها می باشد. معمولاً قطعات فولادی نورد و فورج و ریخته گری دارای دانه های درشت هستند و تحت این عملیات قرار می گیرند.
- ⇒ در نرماله کردن خواص مکانیکی در حد متوسط حاصل می شود.

اثر ابعاد قطعه بر آهنگ سرد شدن

در مقاطع خیلی بزرگ آهنگ سرد شدن سطح قطعه ممکن است به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از ناحیه داخلی باشد و در نتیجه باعث ایجاد تنش در آن می شود.

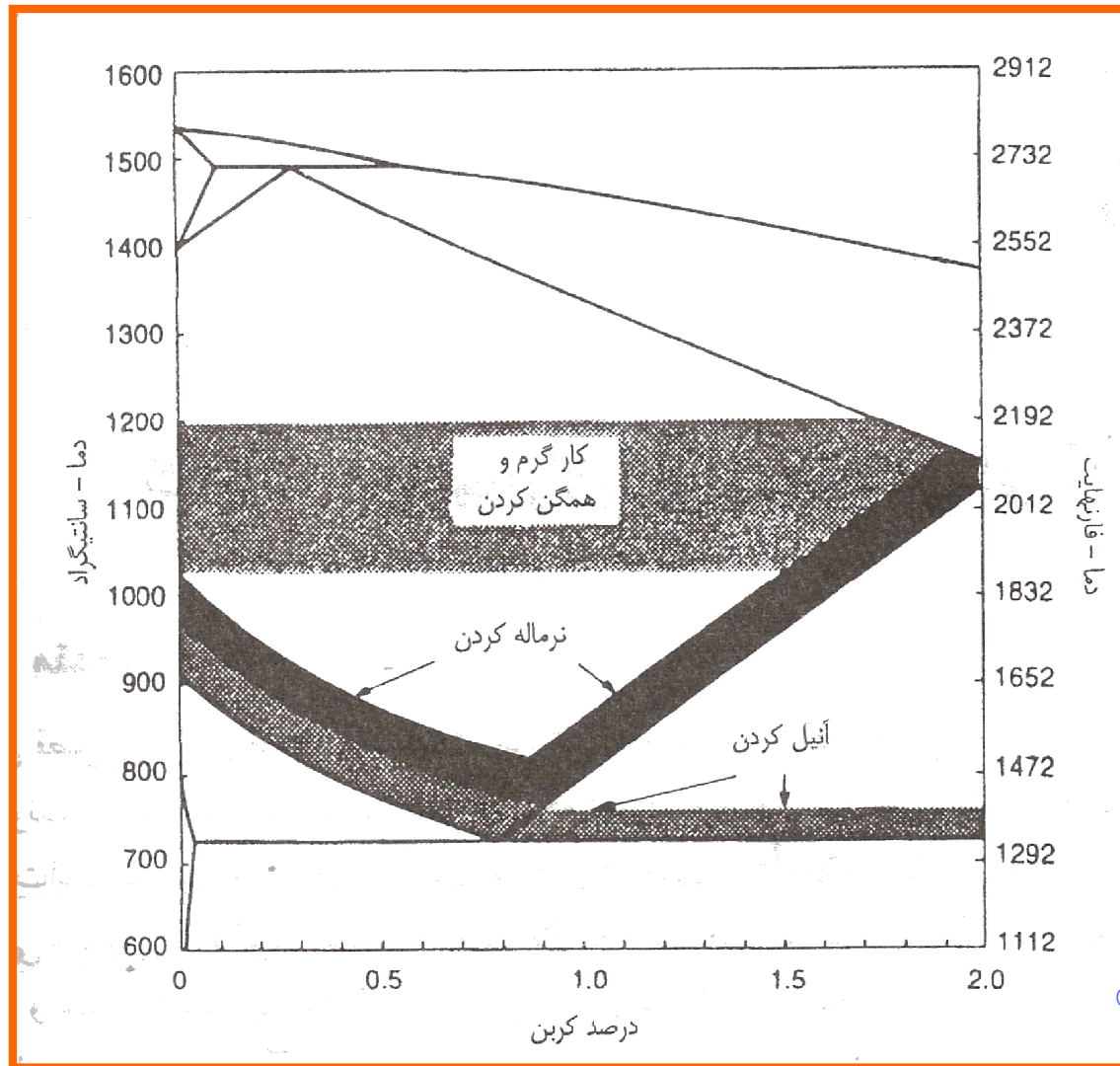
در قطعات خیلی کوچک به خصوص در مورد فولادهای آلیاژی؛ سرد شدن در هوا ممکن است منجر به تشکیل بینیت و یا حتی مارتنزیت به جای مخلوط فریت و پرلایت شود. با توجه به این نکته توصیه می شود که عملیات نرماله کردن بر روی فولادهای آلیاژی اعمال نشود.

از جمله پارامترهای مهم که بر روی خواص مکانیکی فولادهای نرماله و آنیل شده اثر می گذارد؛ درصد کربن فولاد است. هر چه درصد کربن فولاد بیشتر باشد (تا حد یوکتوئید) پرلایت بیشتری تشکیل شده و در نتیجه استحکام و سختی فولاد زیادتیر و انعطاف پذیری آن کمتر می شود.

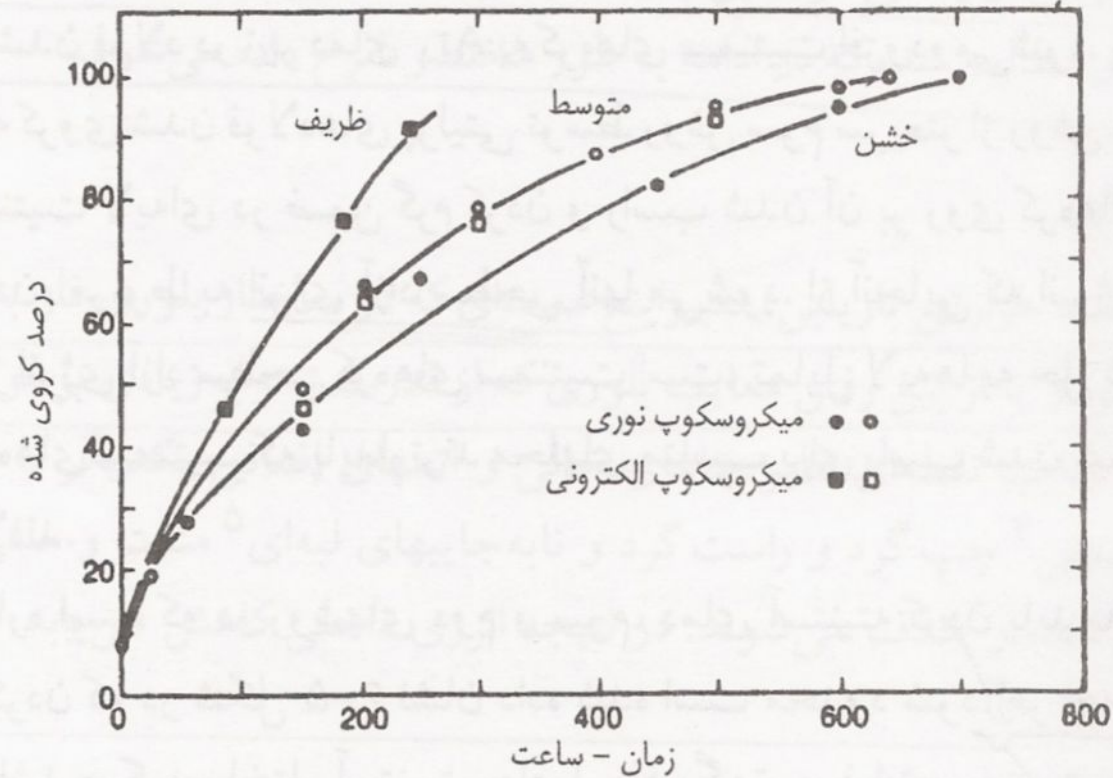
چرا قدرت خنک کنندگی آب نمک بیشتر از آب معمولی است؟
افزودن ۱۰٪ نمک به آب موجب افزایش قدرت خنک کنندگی آب می شود. علت این است که نمک، لایه بخار اطراف قطعه را کم اثر می کند. زیرا به هنگام ورود قطعه به داخل آب، چون قطعه داغ است اطراف آنرا لایه ای از بخار فرا می گیرد و این لایه بخار باعث می شود که انتقال حرارت به آب کاهش پیدا کند و نرخ سرمایش پایین آمده و آب نتواند به فلز برسد. در این حالت نمک به داخل بخار نفوذ کرده به همین دلیل همواره سطح فلز در تماس با آب باقی می ماند.

کروی کردن

انعطاف پذیرترین و نرمترین شرایط در هر فولاد مربوط به میکروساختاری است شامل سمنتیت کروی توزیع شده به طور یکنواخت در زمینه فریتی است.



پیشرفت عملیات کروی شدن



شکل ۵-۷ پیشرفت عملیات کروی شدن سمنتیت مربوط به پرلیت ظریف، متوسط و خشن در فولاد $7\text{Si} - 0.74\text{C} - 0.7\text{Fe}$ در 700°C سانتیگراد (۱۲۹۲ درجه فارنهایت) [۱].

کروی کردن...

⇒ این آنیل به منظور دستیابی به حداکثر نرمی فولاد انجام می شود. ساختار حاصل از این فرآیند که به پرلایت کروی معروف است، شامل ذرات کروی شکل سمنتیت در زمینه فریتی است. به عبارت دیگر سمنتیت لایه لایه مخصوصا در فولادهای هیپوئوتکتوئید و سمنتیت اولیه در فولادهای هایپر یوتکتوئید تبدیل به ذرات کروی می شوند.

⇒ درجه کروی شدن سمنتیت به دمای عملیات حرارتی و زمان نگهداری بستگی دارد. که با افزایش دمای عملیات، سرعت کروی شدن بیشتر می شود. با این حال انتخاب دما در این فرآیند بسیار مهم است.

⇒ از نظر میکروساختار، پرلایت بیشترین زمان را برای کروی شدن نیاز دارد و در بین میکروساختارهای مختلف پرلیتی زمان لازم برای کروی شدن به ترتیب از پرلایت خشن به پرلایت متوسط و سپس پرلایت ظریف کاهش می یابد.

⇒ هر چه لایه های سمنتیت درشتتر باشند زمان کروی شدن هم بیشتر است، چون این لایه ها باید شکسته شده و تبدیل به ذرات کروی سمنتیت شوند.

روشهای عملیات حرارتی کروی کردن

۱. حرارت دادن فولاد تا درست زیر دمای A1 (۶۷۰-۶۹۰)، نگه داشتن برای مدت زمان نسبتاً طولانی جهت کروی شدن و سپس سرد کردن آن در هوا تا دمای اتاق.
 ۲. حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فازی بین A1 و A3 برای فولادهای هیپوئوتکتوئید و یا بین A1 و Acm برای فولادهای هایپر یوتکتوئید به منظور آستنیت کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای A1، نگه داشتن برای مدت زمان کافی جهت کروی شدن و سپس سرد کردن در هوا تا دمای اتاق.
 ۳. حرارت دادن فولاد تا بالای دمای A1 و آستنیت کردن جزئی، سرد کردن تا زیر دمای A1 و نگه داشتن برای مدت زمانی در حدود ۳۰ دقیقه، گرم کردن مجدد تا بالای دمای A1 و تکرار عملیات تا اینکه میکروساختاری با سمنتیت کاملاً کروی شده به دست آید. پس از کروی شدن سمنتیت، قطعه را تا دمای اتاق در هوا سرد می کنند.
- ⇒ لازم به ذکر است که پس از پایان سیکل عملیات حرارتی کروی کردن، آهنگ سرد شدن تا دمای اتاق اثری بر روی درصد سمنتیت کروی و یا ساختار زمینه ندارد.

کروی کردن...

- ⇒ نکته: پرلایت ریز قابلیت کروی شدن بیشتری از پرلایت خشن دارد و فولادهای کار سرد شده (مانند فولاد نورد یا غلتک کاری شده) سریعتر کروی می شوند.
- ⇒ اگر دمای عملیات تولیدی بالاتر از 300°C نقطه ذوب باشد به آن کار گرم می گویند و اگر دمای عملیات کاری، کمتر از 300°C نقطه ذوب باشد به آن کار سرد می گویند.
- ⇒ نکته: در عملیات کروی کردن، عکس دیگر عملیاتهای حرارتی است و اگر دما بالاتر رود سختی بیشتر می شود و اگر دما پایین باشد فولاد نرمتر خواهد بود.
- ⇒ سوال: آیا می توانیم فولادهای هایپر یوکتوئید را زیر دمای A1 کروی کنیم؟ علت را توزیع دهید.