بسمه تعالی

دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده مهندسی مکانیک و انرژی

فصل نهم: تغییرات ابعاد و اثرات آن

برگرفته ازکتاب مبانی و کاربردهای عملیات حرارتی فولادها و چدن ها

(نوشته دکتر محمد علی گلعذار)

دکتر محمود سمیع زاده

m_sameezadeh@sbu.ac.ir

یکی از مهم ترین مسایل و مشکلات عملیات حرارتی، تغییرات ابعادی و یا انقباضها و انبساط های نایکنواخت در ضمن گرم و سرد شدن قطعات است. بستگی به کمیت این پدیده، ممکن است قطعه در ضمن عملیات حرارتی شکسته شده، تاب برداشته، تغییر شکل داده و یا تنشهای داخلی درآن افزایش یابد.

در این فصل تغییرات ابعاد درضمن گرم و سرد شدن تعادلی، سریع سرد شدن و بازپخت دادن بررسی می گردد. در آخر روش هایی نظیر استفاده از فرآیندهای آستمپرینگ، مارتمپرینگ و پیشگرم کردن قطعه به منظور جلوگیری از اثرات مخرب تغییرات ابعاد توضیح داده خواهد شد.

هنگامی که یک قطعه فولادی از دمای اتاق تا ناحیه آستنیت گرم شده و یا از دمایی در ناحیه آستنیت تا دمای اتاق سرد شود دو نوع تغییر ابعاد در آن به وجود می آید:

- انقباض و انبساط حرارتی که به ترتیب ناشی از گرم و سرد شدن قطعه می باشد.
- انقباض و انبساط استحاله ای که به ترتیب ناشی از تشکیل و تجزیه آستنیت می باشد.

جدول ۹-۲ تغییر حجم در اثر دگرگونی بین فازهای مختلف [۶].

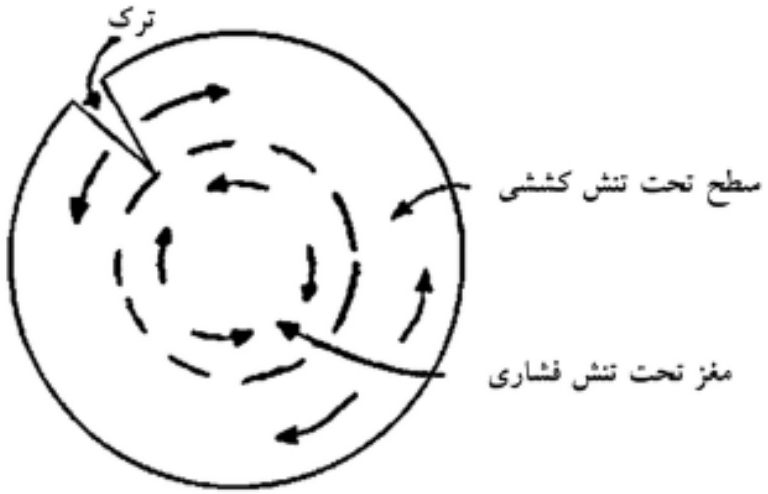
نوع دگرگونی	تغییر حجم (٪)
سمنتیت کروی ← آستنیت	-۴/۶۴+۲/۲۱(٪C)
آستنیت ←مارتنزیت	۴/۶۴+۰/۵۳(٪C)
سمنتیت کروی ← مارتنزیت	۱/۶۸(٪C)
آستنیت ←بینیت پایینی	۴/۶۴-۱/۴۳(٪C)
سمنتیت کروی ←بینیت پایینی	۰/۷۸(٪C)
آستنیت ←بینیت بالایی	۴/۶۴-۲/۲۱(٪C)
سمنتیت کروی ←بینیت بالایی	

انواع تنش های ناشی از تغییرات ابعاد

- **تنش های ناشی از انقباض و انبساط حرارتی: تنشهای حرارتی**
معمولا در عملیات حرارتی زیر دمای بحرانی Ae1 اهمیت دارند.

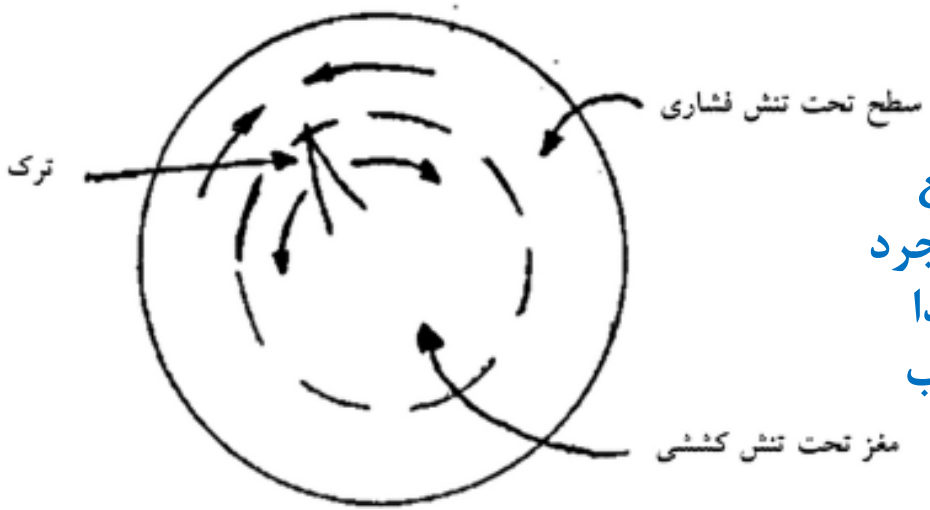
- **تنش های ناشی از انقباض و انبساط ناشی از تغییر فاز در قطعه: تنشهای استحاله ای**
معمولا درعملیات حرارتی که نیاز به گرم کردن به ناحیه آستنیت و سرد کردن از ناحیه آستنیت دارد اهمیت دارند.

یکی از مهم ترین دلایل ایجاد تنش در اثر تغییر حجم، انبساط وانقباض نایکنواخت در نقاط مختلف قطعه است. به بیان دیگر در صورتی که انقباض ها و انبساط ها به صورت یکسان درحجم قطعه توزیع شوند، امکان ایجاد تنش حذف و یا به حداقل می رسد.
علت همزمان منبسط و منقبض نشدن تمام قطعه، آهنگ های متفاوت سرد و یا گرم شدن در نقاط مختلف آن است.
این آهنگ ها تابع اندازه، ابعاد و یا موقعیت های مختلف در قطعه است.



ترک تا ناحیه تنش فشاری ادامه دارد و سپس پیشرفت آن متوقف می شود، این ترک قطعه را نمی تواند نصف کند.

شکل ۹-۷ شمایی از چگونگی شروع و پیشرفت ترک در شرایط سخت شدن سرتاسری [۳۷].



اگر بدون اطلاع از وجود ترکهای داخلی ناشی از سریع سردشدن، این قطعات مورد استفاده قرار گیرند، به مجرد اینکه تنش های کششی در سطح قطعه هم اشاعه پیدا کنند، ترک پیشرفت کرده و به سطح می رسد و موجب شکست قطعه می گردد.

شکل ۹-۹ شمایی از چگونگی شروع و پیشرفت ترک در شرایط سخت شدن پوسته‌ای [۳۷].

۹-۶ راه‌های جلوگیری از تغییر شکل، ترک برداشتن و یا ایجاد تنش‌های داخلی در ضمن عملیات حرارتی

برای جلوگیری از ایجاد تنش و اثرهای مخرب ناشی از آن در قطعه‌ها باید سعی شود که از به وجود آمدن شیب‌های حرارتی در ضمن گرم و سرد شدن قطعه جلوگیری شود. به بیان دیگر، روش‌های گرم و سرد شدن باید طوری انتخاب شوند که در هر لحظه، اختلاف دما در نقاط مختلف قطعه، کمترین مقدار باشد. در این شرایط، تمامی حجم قطعه تا حدودی هم‌زمان منقبض و یا منبسط می‌شود. به این ترتیب، تنش‌های ایجادشده در قطعه به کمترین مقدار خود می‌رسند و یا این که تنشی در قطعه به وجود نمی‌آید.

۹-۶-۱ کنترل نرخ گرم شدن

انجام عمل پیشگرم کردن در قطعات ناهمگون و نامتقارن پیش از گرم کردن به منظور یکسان کردن دمای نقاط مخصوصا در کوره نمک الزامی است.

۹-۶-۲ روش‌های سرد کردن کنترل‌شده

به طور کلی سه روش سرد کردن برای سخت کردن فولادها وجود دارند که عبارت‌اند از:
۱) سریع سرد کردن مستقیم[۳] یا سریع سرد کردن یک مرحله‌ای[۴]، ۲) مارتمپرینگ[۵] و ۳) آستمپرینگ[۶].

۳-Direct quenching ۴-One step quenching ۵-Martempering ۶-Austempering

عملیات حرارتی مارتمپرینگ یا سریع سرد کردن ناپیوسته که آن را مارکوئنچینگ نیز می نامند شامل مراحل زیر است:

۱-آستنیته کردن فولاد
۲- سریع سرد کردن فولاد در روغن داغ و یا نمک مذاب تا دمایی درست بالاتر ویادرست پایین تر از دمای مارتنزیت شدن (Ms)، سریع سرد کردن دراین مرحله باید طوری باشد که از تجزیه در دماهای بالاتر جلوگیری شود.
۳- نگه داشتن در محیط یادشده تا اینکه دمای قطعه در تمام قسمتهای آن یکنواخت شود.
۴-سرد کردن با آهنگی متوسط (معمولا در هوا) به نحوی که سطح و مرکز تقریبا همزمان سرد شده و به مارتنزیت تبدیل شوند.
۵-بازپخت دادن قطعه به منظور افزایش چقرمگی.
برای یک سختی یکسان مقاومت به ضربه فولاد مارتمپر وبازپخت شده به مراتب بیشتر از فولاد سریع سرد و بازپخت شده است.

جدول ۹-۳ خواص مکانیکی فولاد ۱۰۹۵ که به روش مارتمپرینگ و سریع سرد شدن یک مرحله‌ای (مستقیم) سخت شده باشد

نوع عملیات حرارتی	سختی (HRC)	مقاومت به ضربه (Fb-1b)
سرد شدن در آب و بازگشت	۵۳	۱۲
مارتمپر و بازگشت	۵۳	۲۸

آستمپرینک یکی دیگر از روش های جایگزین سریع و مستقیم سرد کردن به منظور کاهش تنش ها است:

۱- آستنیته کردن فولاد

۲- سریع سرد کردن فولاد در حمام نمک مذاب یا روغن داغ تا دمایی بلافاصله قبل از دمای شروع تشکیل مارتنزیت (Ms)

۳- نگه داشتن در محیط یادشده تا اینکه دگرگونی آستنیت به بینیت به طور کامل انجام شود. زمان نگهداری باتوجه به موقعیت نمودار IT مشخص می شود.

۴- سرد کردن در هوا تا دمای اتاق

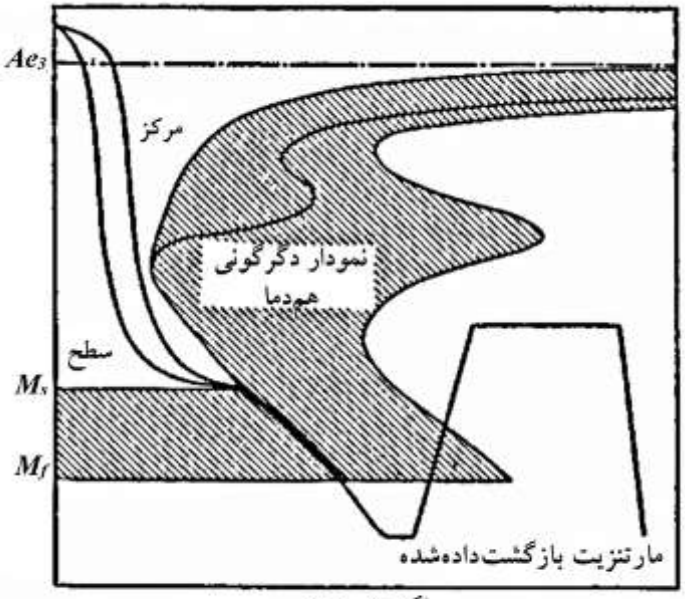
هدف از بکار گیری آستمپرینگ:

افزایش استحکام به ضربه (چقرمگی) برای یک سختی ثابت و مشخص

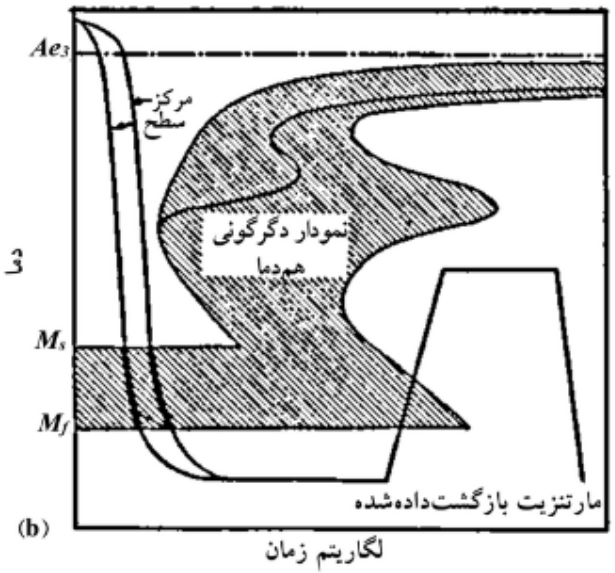
حذف و یا کاهش احتمال ترک برداشتن، تغییر شکل ویا ایجاد تنش های داخلی در ضمن عملیات حرارتی

جدول ۹-۵ مقایسه خواص مکانیکی فولاد ۱۰۹۵ که به روش‌های آستمپرینگ و سریع سرد کردن یک مرحله‌ای (مستقیم) عملیات حرارتی شده باشد

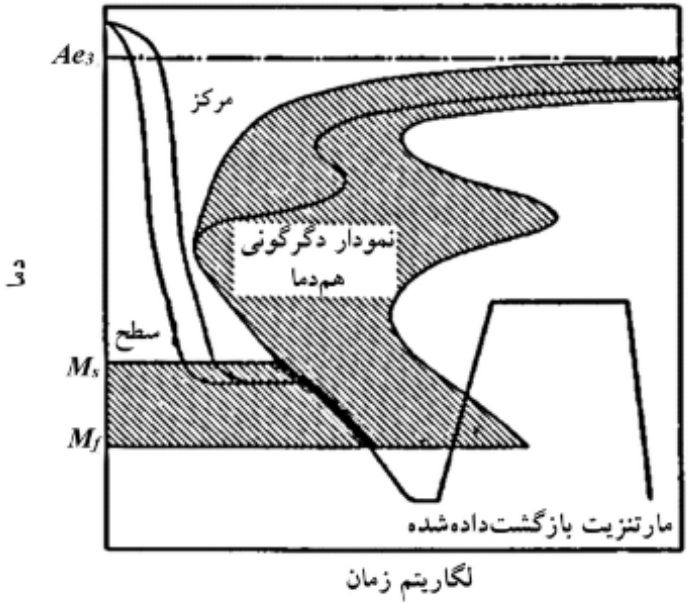
نوع عملیات حرارتی	سختی (HRC)	مقاومت به ضربه (ft-lb)
آستمپرشده	۵۲	۴۵
سردشده در آب و بازگشت‌داده‌شده	۵۳	۱۲



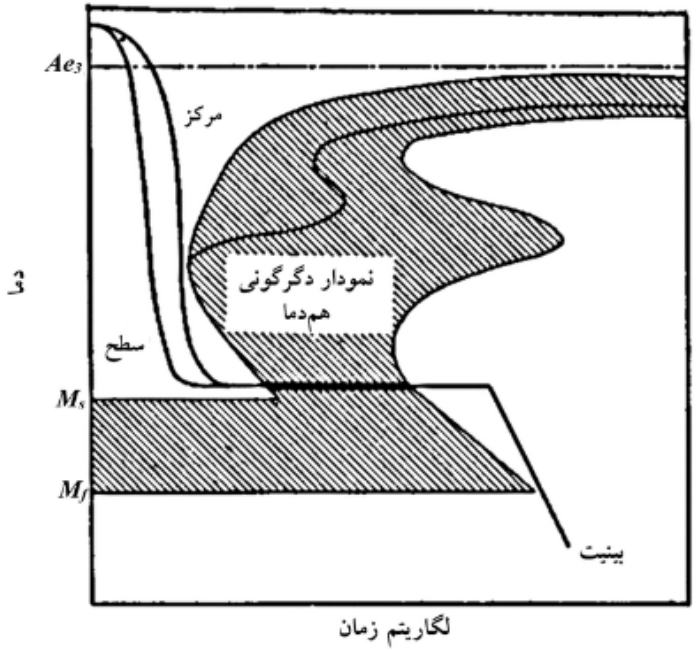
شکل ۹-۱۲ شمایی از عملیات حرارتی سریع سرد کردن یک مرحله‌ای (سریع سرد کردن مستقیم) منطبق بر نمودار TTT فولاد با کربن متوسط [رسم دوباره با استفاده از مرجع ۱].



شمایی از عملیات حرارتی مارتمپرینگ همراه با نمودار TTT برای یک فولاد با کربن متوسط [۱].



شکل ۹-۱۴ شمایی از عملیات حرارتی مارتمپرینگ اصلاح‌شده همراه با نمودار TTT برای یک فولاد با کربن متوسط [رسم دوباره با استفاده از مرجع ۱].



شکل ۹-۱۶ شمایی از عملیات حرارتی آستمپرینگ فولاد با کربن متوسط همراه با نمودار TTT [۱].

۹-۶-۳ عملیات حرارتی - مکانیکی[۱] (ترمومکانیکال)

عملیات حرارتی - مکانیکی، از جمله فرایندهای عملیاتی است که مجموعه‌ای از عملیات حرارتی یا گرمایش و تغییر شکل مومسان را در بر می‌گیرد. هدف از این عملیات، دستیابی به ریزساختارها و در نتیجه، خواصی است که توسط هر کدام از فرایندهای عملیات حرارتی و یا مکانیکی، به‌تنهایی امکان‌پذیر نیست. به طور کلی، افزایش استحکام همراه با بهبود انعطاف‌پذیری و یا چقرمگی، هدف اصلی عملیات حرارتی - مکانیکی است.

۱-Thermomechanical treatments

۹-۶-۴ عملیات حرارتی بین دماهای بحرانی[۱]

یک روش جدید برای گسترش ترکیب خوبی از استحکام و انعطاف‌پذیری در فولادهای کم‌کربن، آنیل کردن ورق‌های فولادی سرد و یا گرم نوردیده با ریزساختار اولیه فریت و پرلیت در بازه دمایی بین دماهای بحرانی A_3-A_1 است. شکل ۹-۲۰، بخشی از نمودار تعادلی آهن - کربن با چهار دمای مشخص‌شده بین A_1 و A_3 را نشان می‌دهد. هر چه دمای آنیل بین دماهای بحرانی بیشتر باشد، آستنیت بیشتری در ضمن آنیل تشکیل می‌شود. همان‌طور که در ادامه بحث خواهد شد، در ضمن سرد شدن، آستنیت می‌تواند به انواع مختلف ریزساختارها تبدیل شود. نوع ساختار حاصل بستگی به نرخ سرد شدن و سختی‌پذیری فولاد دارد.

۱-Intercritical heat treatment