

## عملیات حرارتی چدن ها :

در میان آلیاژهای صنعتی، چدن‌ها متنوعترین خواص مکانیکی را با ارزانترین 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:

(۱) برطرف کردن تنشهای داخلی

(۲) بهبود قابلیت ماشینکاری

(۳) افزایش انعطاف پذیری و تافنس ضربه.

(۴) افزایش استحکام و مقاومت به سایش.

روشهای مختلف عملیات حرارتی چدن‌ها و فولادها، همچنین واژه های استفاده شده در مورد آنها بسیار شبیه به یکدیگر می باشند، اما پنج اختلاف اساسی و مهم بین آنها وجود دارد که عبارتند از:

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 حرارت های 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 چدن به دست می آید.

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 چدن مورد بررسی قرار گرفته و سپس عملیات حرارتی انواع چدن، نظیر چدن خاکستری، چدن نشکن و ... مطالعه خواهند شد.

### تنش گیری :

قطعات چدنی ریخته گری شده با شکل های نسبتاً پیچیده، معمولاً دارای تنش های داخلی می باشند. گرچه تنش های فوق در بیشتر حالات کم بوده و اثرات مخربی ندارند ولی در مواردی نیز می توانند منجر به تاب برداشتن و یا حتی شکسته شدن قطعه شوند. این امر مخصوصاً در موقع ماشینکاری قطعات ریخته گری دیده شده است. اگر قسمتهائی از قطعه که تحت تنش باشند با ماشینکاری حذف شوند، برای بحالت تعادل در آمدن تنش های داخلی، قطعه تغییر شکل و یا تغییر ابعاد خواهد داد. بطور کلی، تنش های داخلی ناشی از طراحی و یا عملیات مربوط به فرآیند تولید قطعه خواهد بود و می تواند از یکی از منابع زیر به وجود آید:

- ۱- شیب حرارتی در داخل قطعه، که ناشی از اختلاف سرعت سرد شدن سطح و منطقه داخلی آن می باشد.
- ۲- وجود مقاطع غیر یکنواخت، که منجر به ایجاد شیب حرارتی بین مقاطع نازک (که سریع سرد می شوند) و مقاطع ضخیم (که آهسته سرد می شوند) خواهد شد.
- ۳- عوامل مکانیکی بازدارنده انقباض های حرارتی قطعه در ضمن انجماد و سرد شدن. به عنوان مثال، تحت شرایطی که بعضی از قسمتها بعلت شکل خاص قطعه براحتی منقبض می شوند ولی نواحی دیگر سعی در جلوگیری از انقباض این قسمتها دارند.

۴- ساچمه زنی سطح در ضمن تمیزکاری آن. تحت شرایط فوق تنشهای فشاری سطحی نه تنها مضر نیستند، بلکه می توانند مفید نیز باشند، ولی در صورتی که توزیع تنشهای مزبور در قسمتهای مختلف یکسان نباشد، خطر تاب برداشتن قطعه وجود دارد.

۵- تنشهای حاصل از عملیات حرارتی و یا عملیات ماشینکاری قطعه در تنش گیری، درجه حرارت و زمان عملیات باید بنحوی انتخاب شوند که در عین حالی که تنشهای داخلی بحد کافی حذف می شوند، استحکام و سختی بیش از حد کاهش نیابند. قابلیت نرم شدن و یا حذف شدن تنشهای داخلی چدن در اثر حرارت دیدن، عمدتاً بستگی به ترکیب شیمیائی آنها دارد. عناصر آلیاژی، مخصوصاً منگنز، کرم و مولیبدن، استحکام چدن در دماهای بالا را افزایش می دهد. از اینرو، درجه حرارت تنش گیری برای چدنهای آلیاژی در مقایسه با چدنهای غیرآلیاژی بمراتب بالاتر می باشد.

### آنیل کردن :

هدف از آنیل کردن چدن عبارت است از حرارت دادن قطعه در دمائی بالاتر از درجه حرارت بحرانی (a1) و سپس آهسته سرد کردن (معمولاً در کوره) به منظور کاهش سختی و استحکام و افزایش انعطاف پذیری آن. تفاوت عمده ای که بین نتایج حاصل از آنیل فولادها و چدنها وجود دارد، عبارت است از: تجزیه سمنتیت در چدن، بنحوی که ساختمان میکروسکوپی آنیل شده آنها می توان شامل فریت و گرافیت باشد. روشهای مختلفی برای آنیل کردن چدن وجود دارد که عبارتند از:

### آنیل کردن در درجه حرارت بالا (آنیل کامل - گرافیت زائی) :

برای این کار قطعات را در درجه حرارتی بین ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد حرارت می دهند. در نتیجه کاربید اولیه و کاربید یوتکتیکی به آستنیت و گرافیت تجزیه می شوند. اگر از درجه حرارت فوق تا زیر دمای یوتکتوئیدی قطعات به آهستگی (در کوره) سرد شوند، ساختمان نهائی شامل فریت و گرافیت با حداقل سختی خواهد بود. عملیات مزبور، همان عملیات حرارتی مالیبل کردن، به منظور تهیه چدن چکشخوار فریتی از چدن سفید می باشد. اگر هدف فقط حذف سمنتیت اولیه از چدن سفید و داشتن زمینه پرلیتی باشد، پس از پایان عملیات آنیل در درجه حرارت بالا، قطعات را از کوره خارج کرده و در هوا سرد می کنند.

### آنیل کردن در درجه حرارت متوسط (آنیل کامل) :

این عملیات محدود می شود به قطعات چدنی که فاقد سمنتیت اولیه بوده، به بیان دیگر سمنتیت موجود نسبتاً کم و به صورت ریز و کاملاً پراکنده در ساختمان توزیع شده باشند. در این روش قطعات چدنی را تا درست بالاتر از درجه حرارت بحرانی (یعنی بین ۸۲۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد) گرم کرده و سپس به آهستگی سرد می کنند. درجه حرارت آنیل عمدتاً بستگی به درصد سیلیسیم دارد، زیرا افزایش درصد سیلیسیم درجه حرارت بحرانی را افزایش می دهد. این عملیات برای فریتی کردن کامل زمینه در چدنهای غیر آلیاژی و یا تهیه چدن با زمینه پرلیتی از آلیاژهایی که دارای مقادیر متوسطی از کرم، مولیبدن، وانادیم و

یا مقدار زیادی منگنز باشند استفاده می شود. در هر یک از حالات فوق، باید توجه داشت که چدن مورد استفاده باید دارای سمنتیت آزاد باشد.

### آنیل کردن در درجه حرارت پائین (فریتی کردن) :

چدنهایی که فقط شامل سمنتیت در پرلیت باشند را با حرارت دادن در دمائی درست زیر درجه حرارت بحرانی و سپس آهسته سرد کردن به نحو موفقیت آمیزی می توان آنیل کرد. در این روش، زمینه پرلیتی در اثر دیفوزیون تدریجی به مجموعه ای از فریت و گرافیت تبدیل می شود. در واقع، در این عملیات، تعبیر فازی نخواهیم داشت. در مورد چدنهای غیر آلیاژی، عملیات فوق شامل حرارت دادن قطعات تا درجه حرارتی در حدود ۷۳۰ تا ۷۹۰ درجه سانتیگراد و سپس نگهداشتن برای مدتی در حدود یک ساعت برای هر اینچ ضخامت و سرد کردن آهسته (تقریباً ۵۰ درجه سانتیگراد در ساعت) می باشد. سرعت فریتی شدن چدنهای غیر آلیاژی تابعی از درصد سیلیسیم، درجه حرارت آنیل، ساختمان و توزیع گرافیت اولیه می باشد. در این روش، چدنهایی که دارای ۲ درصد سیلیسیم باشند خیلی سریع فریتی می شوند، بنحوی که در ۷۶۰ درجه سانتیگراد و در مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه تا حدود ۹۰ درصد از پرلیت در مقاطع نازک را به فریت و گرافیت می توان تبدیل کرد. معهذاً باید توجه داشت که واکنش فوق در حضور عناصر آلیاژی و یا بیشتر از ۰٫۷ درصد منگنز به تأخیر می افتد. گرچه همانگونه که بحث شد، در این روش می توان ساختمان صددرد درصد فریتی گرفت، ولی از نظر اقتصادی و صرف وقت، عملیات آنیل در درجه حرارت متوسط مناسبتر می باشد.

### آنیل دو مرحله ای :

گرچه نتایج حاصل از روشهای معمولی آنیل کردن کاملاً رضایتبخش می باشند، ولی تحقیقات انجام شده بر روی چدنبا گرافیت کروی نشان داده اند که عملیات آنیل دو مرحله ای در زمان نسبتاً کوتاهتری، نتایج مشابه و یا حتی بهتری را می دهد. چگونگی آنیل دو مرحله ای برای یک نمونه چدنی به ضخامت ۱۲٫۵ میلیمتر (۰٫۵ اینچ) به صورت زیر می باشد: آستنیته کردن برای مدتی در حدود ۲۰ دقیقه در ۹۰۰ درجه سانتیگراد به منظور انجام استحاله آستنیت به پرلیت. سپس گرم کردن مجدد تا ۷۶۰ درجه سانتیگراد به منظور تجزیه پرلیت به فریت و گرافیت. به روش فوق در مدتی در حدود ۱۰ دقیقه، در حدود ۹۰ درصد پرلیت به فریت تبدیل می شود.

### نرماله کردن :

هدف از نرماله کردن عبارت است از سرد کردن در هوا از درجه حرارتی بالاتر از محدوده حرارتی بحرانی. سرعت سرد شدن قطعات چدنی عاری از ماسه در هوا، معمولاً سریعتر از سرعت سرد شدن آنها در قالب می باشد. به این ترتیب ساختمان میکروسکوپی نهائی چنین قطعاتی معمولاً شامل زمینه پرلیتی ریز بوده و در نتیجه در مقایسه با قطعات سرد شده در قالب و یا آنیل شده از سختی و استحکام بیشتری برخوردار می

باشند. قطعات چدنی را به سه روش مختلف می توان نرماله کرد. انتخاب هر یک از روشها، که در اینجا مختصراً توضیح داده می شوند، بستگی به شرایط موجود دارد.

**روش اول:** به عنوان عملیات حرارتی کاملاً مستقل و به منظور افزایش سختی و استحکام قطعات چدنی که در قالبهای ماسه ای سرد شده اند استفاده می شود.

**روش دوم:** پس از عملیات آنیل در دماهای بالا که به منظور حذف سمنتیت آزاد انجام می گیرد، برای جلوگیری از تشکیل فریت نرم، قطعات مورد نظر را در هوا سرد می کنند. در نتیجه ساختمان پرلیتی ریز با سختی و استحکام نسبتاً بالا به دست می آید.

**روش سوم:** پس از انجماد ولی قبل از سرد شدن تا درجه حرارت بحرانی، قطعات را از قالب خارج کرده، از ماسه تمیز می کنند و در هوا سرد می نمایند. با توجه به اینکه سرعت سرد شدن در هوا بیشتر از سرعت سرد شدن در قالب می باشد. قطعاتی که به این ترتیب سرد می شوند از سختی و استحکام بالاتری برخوردارند. نکته قابل توجه این است که، قطعاتی که دارای شکلهای پیچیده بوده و به این ترتیب سرد شوند. نیاز به تنش گیری دارند.

بجز در مورد قطعاتی که دارای شکلهای پیچیده باشند، سرعت حرارت دادن در عملیات نرماله کردن چدنها، با توجه به امکانات موجود انتخاب می شود. در قطعات با شکلهای پیچیده، اختلاف زیاد در درجه حرارت در قسمتهای مختلف که ناشی از گرم کردن سریع می باشد، می تواند منجر به تغییر شکل و یا شکسته شدن قطعه شود. از اینرو در مورد قطعات مزبور سعی می شود از سرعت گرم کردن نسبتاً کم استفاده شود. زمان نگهداری در درجه حرارت نرماله کردن بستگی به ابعاد و حداکثر ضخامت قطعه داشته و باید در حدی باشد که تمام قسمتهای آن هم دما شود. درجه حرارت نرماله کردن بستگی به ترکیب شیمیائی و عمدتاً درصد سیلیسیم دارد. زیرا افزایش درصد سیلیسیم، موجب افزایش وسعت محدوده حرارتی بحرانی خواهد شد. بطور کلی درجه حرارت نرماله کردن باید در حدود ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۰۰ درجه فارنهایت) بالاتر از محدوده حرارتی بحرانی انتخاب شود. این محدوده حرارتی برای چدندهای چکشخوار ۸۰۰ الی ۸۳۰ درجه سانتیگراد (۱۴۷۵ الی ۱۵۲۵ درجه فارنهایت)، برای چدندهای خاکستری با استحکام زیاد ۸۱۰ الی ۸۷۰ درجه سانتیگراد (۱۵۰۰ الی ۱۶۰۰ درجه فارنهایت)، برای چدندهای خاکستری با استحکام کم ۸۴۰ الی ۹۰۰ درجه سانتیگراد (۱۵۵۰ الی ۱۶۵۰ درجه فارنهایت) و برای چدندهای نشکن ۸۷۰ الی ۹۴۰ درجه سانتیگراد (۱۶۰۰ الی ۱۷۲۵ درجه فارنهایت) می باشد.

برای سرد کردن قطعات در عملیات نرماله کردن، از هوای آرام و یا هوای فشرده استفاده می شود. هرچه قطعات حجیمتر بوده و یا ضخامت قسمتهای مختلف آن بیشتر باشد، سرعت سرد کردن نیز باید بیشتر باشد. معمولاً قطعات بزرگ با شکلهای پیچیده مناسب برای نرماله شدن نیستند. از سوی دیگر چدندهای آلیاژی و چدندهای پرمنگنز که در محدوده حرارتی استحاله پرلیتی از سختی پذیری نسبتاً بالایی برخوردارند

را با استفاده از سرعت‌های سرد شدن آهسته براحتی می توان نرماله کرد. همچنین، در مقایسه با چدنهای غیر آلیاژی، مقاطع ضخیمتری از این چدن‌ها را می توان نرماله کرد.

### سخت کردن :

عملیات سخت کردن چدن‌ها، شامل حرارت دادن درجه حرارتی بالاتر از محدوده حرارتی بحرانی و سپس سریع سرد کردن (کوئنچ کردن) می باشد. همانگونه که در فصل سوم در مورد فولادهای بحث شد، با کوئنچ کردن استحاله به دست می آید. برای حذف تنشهای داخلی و در نتیجه جلوگیری از احتمال تاب برداشتن و یا ترک خوردن، قطعات را پس از کوئنچ کردن معمولاً بازگشت می دهند. زمان بازگشت معمولاً یک ساعت و درجه حرارت بازگشت بستگی به سختی و استحکام نهائی مورد نظر دارد. در یک سختی یکسان، قابلیت ماشینکاری ساختمان میکروسکوپی حاصل از کوئنچ و تمپر شده نسبت به ساختمان میکروسکوپی پرلیتی معمولاً بیشتر می باشد همانند فولادها، قابلیت سخت شدن چدن‌ها را نیز توسط پارامتر سختی پذیری مشخص می کنند. سختی پذیری را می توان با استفاده از ترکیب شیمیائی و یا به کمک آزمایش جیمینی تعیین کرد.

اثرات عناصر آلیاژی مختلف بر روی سختی پذیری چدن‌ها با گرافیت کروی در شکل زیر نشان داده شده است. برای محاسبه سختی پذیری با استفاده از ترکیب شیمیائی، به صورت زیر عمل می شود. ابتدا با استفاده از درصد کربن و منحنی زیر عددی موسوم به سختی پذیری مطلق (Absolute hardenability) (DA) که فقط براساس درصد کربن می باشد را به دست می آورند.

### تمپر کردن - بازگشت دادن :

عملیات تمپر کردن شامل حرارت دادن و نگهداری قطعات سخت و یا نرماله شده در درجه حرارتی زیر محدوده حرارتی بحرانی و سپس سرد کردن در هوا می باشد. به منظور کاهش تنشهای داخلی احتمال تاب برداشتن و یا ترک خوردن، همچنین کاهش میزان آستنیت باقیمانده، توصیه می شود که قطعات را بلافاصله پس از کوئنچ کردن بازگشت دهند. حتی در شرایطی که حداکثر سختی مورد نظر باشد، تمپر کردن درجه حرارتی بین ۱۵۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد (۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه فارنهایت) مفید می باشد. گرچه عملیات فوق اثر چندانی بر روی سختی قطعه نخواهد داشت. از آنجائی که عملیات بازگشت مستلزم دیفوزیون می باشد، هر دو پارامتر زمان و درجه حرارت از اهمیت ویژه ای برخوردارند، ولی درجه حرارت نقش مهمتری را در این رابطه بازی می کند. به منظور یکنواخت شدن ساختمان میکروسکوپی، معمولاً زمان نگهداری در درجه حرارت بازگشت را در حدود دو برابر زمان لازم برای رسیدن به درجه حرارت بازگشت انتخاب می کنند. مهمترین پارامترهای موثر در انتخاب درجه حرارت بازگشت مناسب برای سختی مورد نظر، عبارتند از:

ترکیب شیمیائی چدن و توزیع لایه ها یا کره های گرافیت، برای سختی یکسان، چدنهای آلیاژی و چدنهای غیر آلیاژی، مقایسه با چدنهای غیر آلیاژی در درجه حرارتی بالاتر

بازگشت داده شوند. از سوی دیگر هر چه کره های گرافیت بیشتر بوده و یا فاصله ورقه های گرافیت از یکدیگر کمتر باشد، بازگشت سریع تر انجام می گیرد. برای سختی یشکان ، قطعات کوئنچ شده در مقایسه با قطعات نرماله شده نیاز به درجه حرارت بازگشت کمتری دارند. شکل زیر اثرات درجه حرارت بازگشت بر روی خواص چدنهای خاکستری غیرآلیاژی با استحکام بالا را پس از کوئنچ و تمپر کردن نشان می دهد.

### آستمپرینگ :

در مواردی که شرایط ایجاب کند ، از عملیات آستمپرینگ و یا مارتمپرینگ نیز برای افزایش سختی و استحکام کشش چدنهای خاکستری می توان استفاده کرد. شکل زیر سیکل عملیات حرارتی آستمپرینگ را برای چدن خاکستری نشان می دهد. در این عملیات درجه حرارت آستنیته کردن و زمان نگهداری در آن دما، مشابه با درجه حرارت و زمان لازم در عملیات سخت کردن می باشد (درجه حرارت بین ۷۶۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد و زمان در حدود ۲۰ دقیقه برای هر ۲۵ میلیمتر ضخامت).

در عملیات آستمپرینگ، قطعات چدن خاکستری را پس از آستنیته کردن، معمولاً در حمام نمک مذاب، روغن داغ و با سرب مذاب با درجه حرارتی در حدود ۲۳۰ تا ۴۲۵ درجه سانتیگراد (۴۵۰ تا ۸۰۰ درجه فارنهایت) کوئنچ می کنند. شکل زیر اثر درجه حرارت استحاله ایزوترمال (درجه حرارت حمام) را بر روی سختی نهائی نشان می دهد. در مواردی که عمدتاً سختی زیاد و مقاومت به سایش مورد نظر باشد، درجه حرارت حمام را در حدود ۲۳۰ تا ۲۹۰ درجه سانتیگراد (۴۵۰ تا ۵۵۰ درجه فارنهایت) انتخاب می کنند. زمان لازم برای نگهداری در درجه حرارت استحاله ایزوترمال بستگی به درجه حرارت حمام و ترکیب شیمیائی چدن دارد. اثر اندازه دانه های آستنیت بر روی زمان نگهداری معمولاً ناچیز می باشد. عناصر آلیاژی نظیر نیکل، کرم و مولیبدن، زمان لازم برای نگهداری در حمام را افزایش می دهند. از جمله پارامترهای محدود کننده کاربرد آستمپرینگ در رابطه با عملیات حرارتی چدنهای خاکستری، ضخامت قطعه و شکل آن می باشد.

### مارتمپرینگ :

از عملیات حرارتی مارتمپرینگ به منظور حصول ساختمان مارتنزیتی عاری از تنشهای زیاد استفاده می شود. معهذاً، طبیعت تردی و شکنندگی مارتنزیت همچنان حفظ می شود. از اینرو قطعات چدنی را پس از مارتمپر کردن معمولاً تمپر نیز می نمایند. عملیات مارتمپرینگ شامل حرارت دادن قطعه در درجه حرارتی در محدوده حرارتی سخت کردن، کوئنچ کردن در حمام نمک مذاب، روغن و یا سرب مذاب با درجه حرارتی بالاتر از درجه حرارت تشکیل مارتنزیت (۲۰۵ تا ۲۶۰ درجه سانتیگراد و یا ۴۰۰ تا ۵۰۰ درجه فارنهایت، برای چدنهای غیرآلیاژی)، نگهداشتن برای مدت زمان کافی جهت هم دما شدن قطعه با حمام و سپس سرد کردن در هوا یا روغن تا درجه حرارت اتاق می باشد.

شکل بالا سیکل عملیات حرارتی ماتمپرینگ چدنهای خاکستری را بطور شماتیک نشان می دهد. همانگونه که اشاره شد برای اطمینان از حذف یا به حداقل رساندن تنشهای داخلی در این نوع قطعات و در نتیجه جلوگیری از انهدام زودرس آنها، معمولاً پس از مارتمپرینگ قطعات را بازگشت می دهند (شکل بالا). زمان و درجه حرارت بازگشت باید توجه به سختی نهائی مورد نظر انتخاب شوند. بعلت سرعت کم انتقال حرارت در ضمن سرد کردن قطعات در محیط داغ (نمک مذاب، روغن داغ و یا سرب مذاب)، عملیات آستمپرینگ و مارتمپرینگ چدنهای نیز محدود می شود به ضخامتهای کم از چدنهای غیر آلیاژی و یا ضخامتهای متوسط از چدنهای آلیاژی با سختی پذیری زیاد.

### سخت کردن سطحی :

سخت کردن شعله ای معمولترین روش سخت کردن سطحی است که در رابطه با چدنهای خاکستری استفاده می شود. به کمک این روش، هر نوع چدنهای خاکستری آلیاژی و غیرآلیاژی را بنحو موفقیت آمیزی می توان سخت کرد. یکی از مهمترین جنبه های ترکیب شیمیائی برای سخت کردن شعله ای، عبارت است از درصد کربن ترکیبی چدن، که باید در حدود ۰,۵ تا ۰,۷ درصد باشد. در حالت کلی، سخت کردن شعله ای برای چدنهای با درصد کربن ترکیبی کمتر از ۰,۴ و یا بیشتر از ۰,۸ درصد توصیه نمی شود. همچنین چدنهای خاکستری با ورقه های درشت و ضخیم گرافیت، که از جمله مشخصه های چدنهای خاکستری با ورقه های درشت و ضخیم گرافیت، که از جمله مشخصه های چدنهای پرکربن می باشد، برای سخت کردن شعله ای مناسب نیستند. زیرا گرافیتها سوخته و موجب متخلخل شدن سطح می شوند.

از آنجائی که سیلیسیم موجب کاهش درصد کربن ترکیبی چدن شده و تمایل به گرافیت زائی را زیاد می کند، توصیه می شود که قطعاتی که قرار است توسط این روش سخت شوند، حداکثر ۲ تا ۲,۴ درصد سیلیسیم داشته باشند. همچنین سفارش شده، که برای افزایش ضخامت سخت شده، درصد منگنز بین ۰,۸ تا ۱ درصد حفظ شود. بطور کلی، توسط سخت کردن شعله ای، چدنهای آلیاژی را در مقایسه با چدنهای غیر آلیاژی بنحو مطلوبتری می توان سخت کرد.