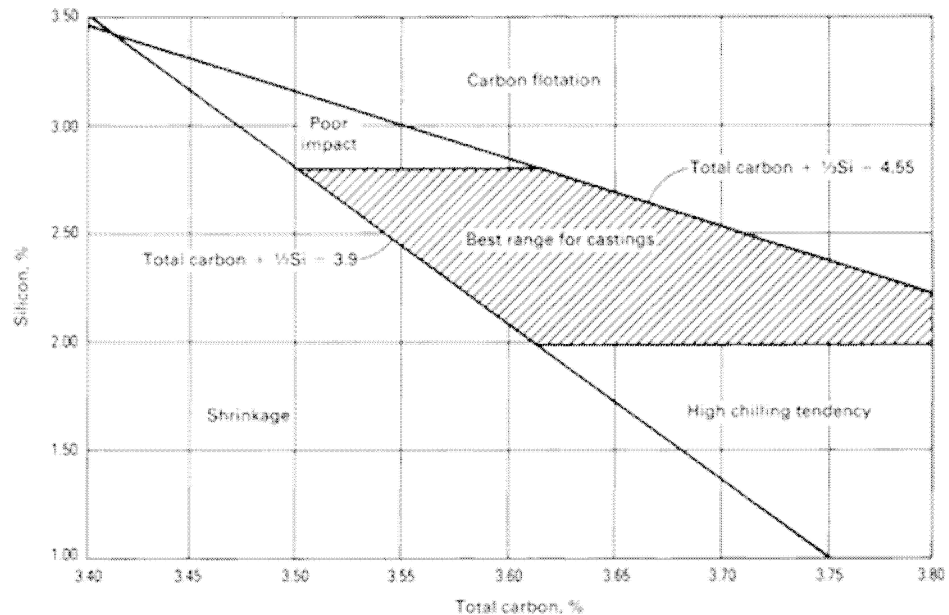


ترکیب چدن نشکن :

$$CE = C\% + 1.3(\%Si + \%P)$$



دلایل جایگزینی چدن نشکن به جای فولاد :

- 1- در این چدن ها عمدتاً گرافیت به صورت کروی و با زمینه پرلیتی بوده و برخلاف چدن مالیل این نوع چدن ها قابلیت چکشخواری و انعطاف پذیری بالایی دارند .
- 2- در مقایسه با چدن های مالیل این نوع چدن ها نیاز به سیکل عملیات حرارتی ندارند لذا از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر می باشند همچنین با اضافه کردن عناصر آلیاژی در ضمن ذوب ریزی گرافیت های ورقه ای به گرافیت های کروی تبدیل می شود . در ترکیب شیمیایی این چدن ها حدود 0.03 درصد تا 0.05 درصد منیزیم وجود داشته و مقدار گوگرد موجود در این چدن ها کمتر از 0.01 درصد می باشد طرز تهیه و ریخته گری این نوع چدن ها مشابه چدن ها خاکستری می باشد با این تفاوت که در فرآیند ذوب ریزی با استفاده از عناصر آلیاژی نظیر

منیزیم ، گرافیت ورقه ای تبدیل به گرافیت کروی می شود .
 نکته : مقدار انبساط مذاب چدن نشکن از چدن خاکستری بیشتر بوده و به همین دلیل در ریخته گری آن تغذیه های کوچکتری به کار می رود و همچنین در بعضی موارد بدون تغذیه نیز می توان ریخته گری را انجام داد .

انواع کوره های جهت تولید چدن داکتیل (نشکن) :

کوره کوپل و کوره های شعله ای و کوره های الکتریکی را می توان جهت تولید چدن نشکن استفاده کرد:

1- کوره کوپل : در روش کوره کوپل چون نیاز است که مقدار گوگرد را کاهش دهیم و دیگر این که کوره کوپل یکی از روش هایی می باشد که به علت استفاده از زغال سنگ بیشترین گوگرد را در مذاب ایجاد می نماید لذا باید گوگرد زدایی را قبل از کروی کردن گرافیت ها انجام داد .

مزایای کوره کوپل :

کاهش قیمت تمام شده ذوب و عملیات ذوب

دوبله کردن کوره کوپل : در این روش ابتدا مذاب تهیه شده در کوره های کوپل مقرون به صرفه می باشد اما به علت بالا بودن میزان گوگرد یک مرحله گوگرد زدایی و یک مرحله اضافه کردن کربن در صورت کم بودن میزان کربن انجام می شود سپس مذاب را داخل کوره القایی ریخته و مذاب را از نظر ترکیبات شیمیایی کنترل می کنند

مواد شارژ برای تهیه چدن نشکن در کوره های القایی :

معمولا موادی مانند شمش چدن – قراضه فولاد – فرو آلیاژ ها – آهن اسفنجی – برگشتی های چدن نشکن – در کوره های القایی به عنوان شارژ استفاده می کنند .

شمش چدن : این شمش معمولاً تفاوت‌هایی با شمش چدن خاکستری داشته . معمولاً در تهیه چدن خاکستری از شمش کوره بلند استفاده می‌شود که معمولاً دارای گوگرد تقریباً زیادی می‌باشد . شمش چدن جهت تهیه چدن داکتیل معمولاً دارای درصد گوگرد پایین‌تری نسبت به شمش چدن‌های خاکستری می‌باشد که این درصد معمولاً کمتر از 0.02 درصد می‌باشد این شمش معمولاً به شکل سوزن برزیلی و سوری کانادایی ریخته می‌شود در این شمش‌های معمولاً منیزیم به عنوان عنصر تلقیحی استفاده می‌شود و درصد گوگرد را پایین در نظر می‌گیرند تا از تلفات منیزیم جلوگیری شود .

قراضه فولاد : به علت وجود گوگرد کم در تولید چدن‌های داکتیل کاربرد این نوع چدن‌ها در صنعت بین 40 تا 50 درصد می‌باشد و عیب آن بالا بودن نقطه ذوب و کربن آن می‌باشد که جهت صرفه جویی در انرژی قراضه‌ها را قبل از ریخته‌گری پیش‌گرم می‌کنند

آهن اسفنجی : محصول کوره‌های غیر مستقیم بوده که از آن در صنعت بین 10 الی 15 درصد استفاده می‌کنند و علت استفاده آن کاهش قیمت تمام شده آن می‌باشد . و عیب کلی آن افزایش درجه حرارت و افزایش مصرف مواد نسوز می‌باشد

برگشتی‌ها : این نوع مواد در صنعت در حدود 30 درصد در شارژ کوره استفاده می‌شود

فرو آلیاژها : عموماً این نوع مواد شامل فرو سیلیکوم منیزیم و فرو سیلیس می‌باشند که در این مواد فروسیلیکوم منیزیم به عنوان ماده کروی کننده استفاده می‌شود و فرو سیلیسیم به عنوان ماده جوانه‌زا استفاده می‌شود .

مزایا فرو آلیاژها :

- 1- عموماً از تلفات عناصر آلیاژی جلوگیری می کنند .
 - 2- فرو سیلیس باعث افزایش سیالیت مذاب می شود . و جلوگیری از تشکیل کاربید می شود .
 - 3- باعث افزایش جوانه زایی می شود .
- تهیه و آماده نمودن مذاب که شامل سه مرحله می باشد .

- 1- کنترل درجه حرارت
- 2- کنترل ترکیب شیمیایی
- 3- اضافه نمودن مواد کروی کننده

1- **کنترل درجه حرارت** : درجه حرارت بالای مذاب باعث حذف مواد پایدار کننده گرافیت می شود و تاثیر تلقیح را کاهش می دهد از طرفی درجه حرارت پایین باعث کاهش سیالیت مذاب می شود . درجه حرارت معمولاً برای تهیه مذاب در چدن های نشکن در حدود دماهی 1450 تا 1560 می باشد که انتخاب درجه حرارت بستگی به حجم مذاب و روش کروی سازی و مقدار مواد کروی کننده دارد .

2- **کنترل ترکیب شیمیایی** : گوگرد باعث تلفات مواد کروی کننده می شود و از طرفی باعث پایداری فاز کاربید می باشد اگر درصد گوگرد بالا باشد قبل از اضافه کردن مواد کروی کننده گوگرد زدایی انجام می شود در این حالت گوگرد زدا باید در پاتیل بازی و توسط مواد گوگرد زدا (کاربید کلسیم CaO_2 سیانامید کلسیم- CaO - Na_2Ca_5 - $NaCH$ - CaN_2O_2 - $CaCO_3$) می باشد .

برای انجام بهتر عملیات گوگرد زدایی دو مورد را باید رعایت کرد .

- 1- تماس مواد گوگرد زدا با مذاب باید حداکثر ممکن باشد .
 - 2- زمان فعل و انفعال : اگر زمان گوگرد زدایی طولانی باشد باعث ورود مجدد گوگرد از سرباره به مذاب می شود لذا پس از گوگرد زدایی باید سریعاً عملیات سرباره گیری و پاتیل به پاتیل انجام شود .
- عناصر کروی کننده : که این مواد شامل منیزیم، سریم و منیزیم تزریق شده به کک می باشد . منیزیم دارای نقطه ذوب 620 درجه سانتیگراد می

باشد که این عنصر در درجه حرارت 1100 درجه تبخیر می شود که در این درجه فشار داخلی منیزیم به بیشترین حد خود می رسد . که پس از اضافه کردن به مذاب باعث پاشش مذاب می شود لذا برای اضافه کردن منیزیم از آلیاژ ها و آمیزن های منیزیم استفاده می شود قابل توجه است که منیزیم می تواند به دو شکل استفاده می شود .

1- منیزیم فلزی : در مواقعی استفاده می شود که در مواقعی استفاده می شود که حجم مذاب کم باشد .

این مواد را می توان به اشکال پودر منیزیم – شمش منیزیم و قراضه منیزیم به همراه آهن و بریکتهای منیزیم فشرده استفاده کرد.

2- آلیاژ های منیزیم : که عمدتاً به دو گروه تقسیم می شوند .

الف : آلیاژ های نیکل منیزیم : نیکل به علت خاصیت پرلایت زایی باعث افزایش خواص مکانیکی چدن می شود که تنها محدودیت استفاده آن در صنعت قیمت تمام شده بالای آن می باشد آلیاژ های مختلف نیکل منیزیم عبارتند از آلیاژ 50 درصد نیکل 30 درصد سیلیسیم و 20 درصد منیزیم – 85 درصد نیکل 15 منیزیم – 70 درصد نیکل 30 منیزیم -95 نیکل 5درصد منیزیم باید توجه داشت که به علت آن که نیکل دارای قیمت بالایی می باشد معمولاً به جای نیکل از عناصر مشابه آن (مس) برای آلیاژ سازی استفاده می کنند.

نکته : معمولاً از آلیاژ نیکل منیزیم در روش های ساندویچی و پاتیل سرباز استفاده می کنند .

ب- آلیاژ های منیزیم سیلیسیم آهن (فروسیلیکم منیزیم) :

این نوع آلیاژ های در مقایسه با آلیاژ های نیکل ارزان تر بوده همچنین سیلیس موجود در این آلیاژ ها می تواند به عنوان عنصر تلقیح در مذاب عمل کند علاوه بر آن این آلیاژ تاثیر کروی سازی شدید دارد لذا این عنصر در صنعت بیشتر به کار می رود و ترکیب شیمیایی آن 5 درصد منیزیم و 45 درصد سیلیسیم و 50 درصد آهن می باشد.

روش منیزیم تزریق شده در کک : این روش کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و علت آن گوگرد زیاد موجود در کک می باشد و این امر باعث می

شود که میزان مصرف منیزیم در این روش افزایش پیدا کند .
 سریم : درجه حرارت تبخیر این عنصر 3000 درجه سانتیگراد بنابراین مشکلات منیزمی را در کروی سازی ندارد اما به علت آن که عنصری کمیاب می باشد در صنعت کمتر مورد استفاده قرار می گیرد و عموماً از آن در مواردی خاص همراه منیزیم استفاده می کنند

. یکی از مهمترین مسایل در ارتباط با چدن های گرافیت کروی تعیین میزان فشردگی و درصد کروی شدن است. می توان از فرمولهای معتبر نیز برای تعیین میزان درصد گرافیت کروی در مقطع خاصی از قطعه استفاده کرد، در معادله زیر می توان با استفاده از مساحت گرافیت های کروی به کل مساحت گرافیتها ، درصد کرویت را تعیین کرد.

$$\text{میزان کرویت} = \frac{\text{مساحت مناطق کروی}}{\text{مساحت کل مقطع}}$$

روش افزودن مواد کروی کننده :

1 - **روش پاتیل سرباز** : در این روش مواد کروی کننده در کف پاتیل قرار گرفته و مذاب روی این مواد ریخته می شود . در این روش چون مذاب روی منیزیم ریخته می شود و تماس مستقیم مذاب با منیزیم برقرار می شود لذا میزان بازیابی منیزیم در مذاب پایین می باشد که میزان بازیابی را در این روش می توان بین 20 تا 25 درصد تخمین زد.
 نکته : در کلیه روش های تلقیح در پاتیل باید نسبت ارتفاع پاتیل به قطر را رعایت کرد که این نسبت 3 به 1 می باشد ($H < 3D$) .

2 - **روش ساندویچی** : در این روش ارتفاع 3 برابر قطر می باشد با این تفاوت که در قسمت کف پاتیل محفظه ای را تعبیه کرده اند که مواد کروی کننده در این محفظه قرار می گیرند سپس به وسیله پوششی از ماسه (فرسلیس- ماسه - ورق فولادی) پوشش داده می شود . سپس مذاب را به

داخل پاتیل ریخته و در صورتی که از پوشش ماسه ای استفاده شود ماسه را شکانده و مواد با مذاب واکنش ایجاد می کند اما در صورتی که از ورقه ای فولادی استفاده شود ورقه ذوب می شود و مواد منیزیم با مذاب واکنش ایجاد می کند و همچنین اگر با فر و سیلیس انجام شود بازدهی بالا رفته و مزیت هایی در بردارد که علاوه بر فروسیلیسیم منیزیم عمل جوانه زایی نیز انجام می شود که میزان بازیابی در این روش را می توان بین 45 تا 40 درصد تخمین زد مزیت دیگری که این روش به همراه دارد این می باشد که به علت ریختن مذاب بر روی فروسیلیس منیزیم و همچنین به علت خروج کامل اکسیژن تلفات منیزیم به شدت کاهش پیدا می کند . همچنین به علت دانسیته پایین منیزیم و حضور آن در کف پاتیل پس از ریختن مذاب ، منیزیم به طرف بالا حرکت کرده و تلقیح به طور کامل انجام می شود .

3- روش قوطه وری :

در این روش مواد کروی کننده داخل محفظه از جنس گرافیت جاسازی شده و هنگامی که پاتیل از مذاب پر شده محفظه داخل پاتیل می شود که میزان بازیابی منیزیم در این روش 50 تا 55 درصد می باشد . که معمولاً درجه حرارت ریخته گری را در این روش 1560 درجه در نظر گرفته همچنین افت درجه حرارت در این روش 50 درجه سانتیگراد می باشد .

4- روش کنورتر گردان :

در این روش بعد از جاسازی مواد کروی کننده در داخل کنورتر، کنورتر تا حدود 90 درجه چرخانده شده تا مواد کروی کننده با مذاب تماس برقرار کنند که میزان بازیابی در این روش را می توان تا حدود 60 درصد تخمین زد.

5- روش پودر منیزیم :

در روش پودر منیزیم در داخل محفظه ای همراه با گاز خنثی از کف در داخل پاتیل تزریق می شود

6- درون قالبی (اینمالت) :

بازیابی منیزیم در این روش در حدود 100 درصد می باشد که مدت زمان بین تلقیح مذاب و تخلیه مذاب در حداقل ممکن می باشد که هر چه این زمان کمتر باشد کروی سازی بیشتر و یکنواخت تر می شود در این روش مواد کروی کننده در داخل سیستم راهگاهی قرار گرفته و ضمن عبور مذاب از داخل سیستم راهگاهی عمل کروی سازی انجام می شود .
مزایای روش اینمالت :

- 1- بالا بودن میزان بازیابی منیزیم تا حدود 100 درصد
 - 2- تولید قطعات با سطح مقطع نازک
 - 3- برطرف شدن خطرات زیست محیطی
 - 4- کاهش مراحل تولید
 - 5- افزایش خواص مکانیکی قطعه
 - 6- تسهیل در شرایط اتوماسیون
- معایب روش اینمالت :

- 1- امکان ورود ناخالصی ها به محفظه قالب در صورت طراحی غلط سیستم راهگاهی
- 2- نیاز به طراحی دقیق و درست سیستم راهگاهی که منجر به افزایش روش تولید می شود 3 – نیاز به استفاده از آلیاژ مناسب

عملیات حرارتی چدن نشکن

خلاصه :

مهمترین عملیات 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 چدن نشکن تغییر می کند .

با افزایش دمای آستنیته کردن می توان آستنیت 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 آستنیتی کنترل دمای آستنیته کردن را مهم ساخته که این دما به منظور جلوگیری و اکنش به مقدار زیادی به کربن موجود در زمینه ی آستنیتی بستگی دارد ، این ساختار مخصوصاً برای آستمر کردن ساخته می شود ، سختی پذیری (قابلیت آستمر کردن) به میزان زیادی به کربن موجود در زمینه و در واقع به عناصر آلیاژی 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 آستمر 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 نیاز 18-40-60 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 2%-3% سیلیسیم و بدون کاربید یوتکتیک :
گرم کردن تا دمای 870-900 درجه ی سانتی گراد و نگهداری در این

دما به مدت 1 ساعت در ازای هر اینچ ضخامت ، سپس سرد کردن در کوره با سرعت 55 درجه سانتی گراد در ساعت تا دمای 345 درجه ی سانتی گراد سپس سرد کردن در هوا.

آنیل کامل در صورت وجود کاربید یوتکتیک :

گرم کردن تا دمای C-870C900 و نگهداری در این دما برای 2 ساعت و بیشتر از این زمان برای ضخامت های زیاد ، سپس سرد کردن در کوره با سرعت C/h110 تا دمای C700 و نگهداری در این دما برای 2 ساعت ، سپس سرد کردن در کوره تا دمای C345 با سرعت C/h55 ، سپس سرد کردن در هوا .

آنیل کردن زیر منطقه ی بحرانی برای تبدیل پرلیت به فریت :

گرم کردن قطعات تا دمای C-720C705 و نگهداری در این دما به مدت 1 ساعت در ازای هر اینچ ضخامت ، سپس سرد کردن در کوره با سرعت C/h55 تا دمای C345 و سپس سرد کردن در هوا .

وقتی که در چدن نشکن عناصر آلیاژی وجود داشته باشد از سرد کردن سرتاسری قطعه جلوگیری می شود و کاهش درجه حرارت از نقطه ی بحرانی تا C400 ادامه می یابد و سرعت سرد کردن از C/h55 کمتر می باشد .

به هر حال برخی عناصر در شکل کاربید خود اگر تجزیه ناپذیر باشند به شکل کاربید اولیه که بسیار سخت است می باشند که این حالت بیشتر در کرم می باشد ، به عنوان مثال % 0.25 کرم باعث تشکیل کاربید اولیه ی بین نشینی می شود که در اثر عملیات حرارتی تا دمای C925 و نگهداری در مدت h-20h2 حتی نیز از بین نمی رود . زمینه ی حاصل از رسوب پرلیت ، زمینه ی فریتی با کاربید می باشد که فقط % 5 از یاد طول دارد .

نمونه های دیگری از عناصر که به شکل کاربید در چدن نشکن وجود دارند عبارتند از مولیبدن بیشتر از % 0.3 و وانادیم و تنگستن در مقادیر

بیش از 0.05%.

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 1 اینچ و ارتفاع 4 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 استمر زیاد دارند معمولاً از ترکیب آن 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 آستنیته کردن) به طور قابل توجهی می تواند باعث بهبود استحکام کششی شود. و امکان استفاده در ساخت چدن نشکن ASTM نوع 100-70-30 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 0.5% - 0.3%) 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 بعداز 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 C-940C870 می باشد و زمان استاندارد نگهداری h1 برای هر اینچ ضخامت و نگهداری به مدت h1 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 قسمتهای مختلف قطعه به دلیل اختلاف اندازه ی مقطع، قطعه ی ریختگی را تمپر 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 دمایی C-650C425 و نگهداری در این دما به مدت h1 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 C-845-925C 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 قطعاً ت پیچیده را به منظور جلوگیری از ترک خوردن در حین کونچ، در روغن پیش گرم شده تا دمایی C-100C80 کونچ می کنند.

تاثیر کونچ کردن در آب مکعبی از جنس چدن نشکن که تا دمایی آستنیت گرم شده بود بدست آمدن سختی بالایی (HRC75-55) بوده است. دمایی آستنیت کردن در این مکعب بین C-870C845 بوده است. در دمایی بالاتر از C870 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، دمایی تمپر کردن و به همان اندازه زمان تمپر

کردن بستگی دارد. تمپر کردن در دمایی 600C450 - C باعث کاهش سختی می شود که میزان آن به عناصر آلیاژی موجود، سختی اولیه و زمان تمپر بستگی دارد. سختی و یکرز 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 دمایی آستنیت و دمایی آستمپر کردن تغییر می کند. آستمپر کردن یا شامل کونچ کردن در روغن داغ C240، کونچ کردن به وسیله ی جریان نیتريت / نیتريت، 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 استمپر 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 نیکل به 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 شکل شماتیک دیاگرام نشان می دهد که با افزایش دمای آستنیت 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 (سگرگاسیون).

مهمترین عامل تعیین کننده در زمینه ی حاوی کربن در چدن داکتیل سیلیسیم موجود در آن است، با افزایش سیلیسیم برای دمای آستنیت ی معین مقدار کربن موجود در زمینه کاهش می یابد. دمای آستنیت بین C-925C845 معمولاً مناسب است و زمان آستنیت کردن برای کربن گیری مجدد تمام زمینه تقریباً 2 ساعت کافی می باشد.

دمای استنیتیه کردن کاملاً تحت تاثیر مقدار کربن موجود در زمینه می باشد که اثر مهم آن در سختی پذیری می باشد. دمای استنیتیه ی بالا و مقدار کربن بالا باعث افزایش سختی پذیری می شود . که باعث کاهش سرعت دگرگونی استنیت همدما می شود .

زمان و دمای آستمبر کردن

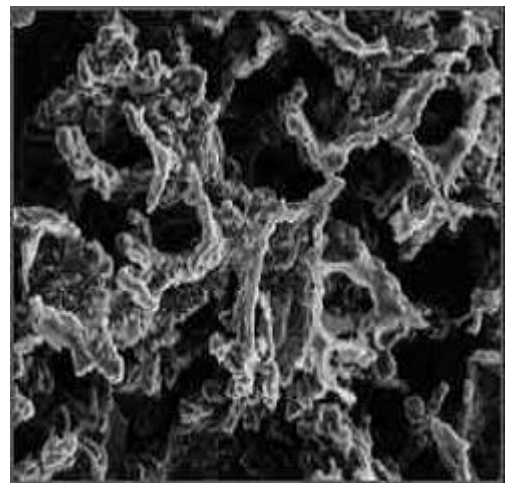
دمای آستمبر کردن اولین پارامتر تعیین کننده ی میکروساختار نهایی در قطعه و در نتیجه ی آن سختی و استحکام محصول آستمبر شده است . با افزایش دمای آستمبر کردن ، سختی و مقاومت به ضربه ی متفاوتی خواهیم داشت.

دستیابی به حداکثر انعطاف پذیری در دمای معین آستمبر کردن ، تابع حساس زمان می باشد . افزایش اولیه ی زیاد طول نسبی در مرحله ی (1) رخ می دهد و پیشرفت زیاد طول نسبی در مرحله ی نهایی اتفاق می افتد که در آن نقطه ی شکست

استنیت حداکثر می باشد . آستمبر کردن مجدد فقط به منظور کاهش انعطاف پذیری در مرحله ی (2) واکنش که در نتیجه ی تجزیه ی ساختار به تعادل بینیت می باشد . زمان آستمبر کردن از 1-4 ساعت متفاوت می باشد .



شکل 1: شکل گرافیت های فشرده با 10 % کرویت در متالوگرافی



شکل 2: تصویر سه بعدی از مورفولوژی گرافیت [2]

<p>الف- ورقه ای</p>	
<p>پ- کروی</p>	
<p>ب- فشرده</p>	

شکل 3: عکس های SEM از گرافیت های کروی، فشرده و خاکستری [1]

مقدار منیزیم لازم جهت کروی کردن : 0/05%

مقدار شارژ: 40kg

درصد راندمان منیزیم : 50 تا 55%

درجه حرارت ریخته گری : 1560 درجه سانتیگراد

درصد منیزیم موجود در فروسیلیکوم منیزیم مورد استفاده : 5%

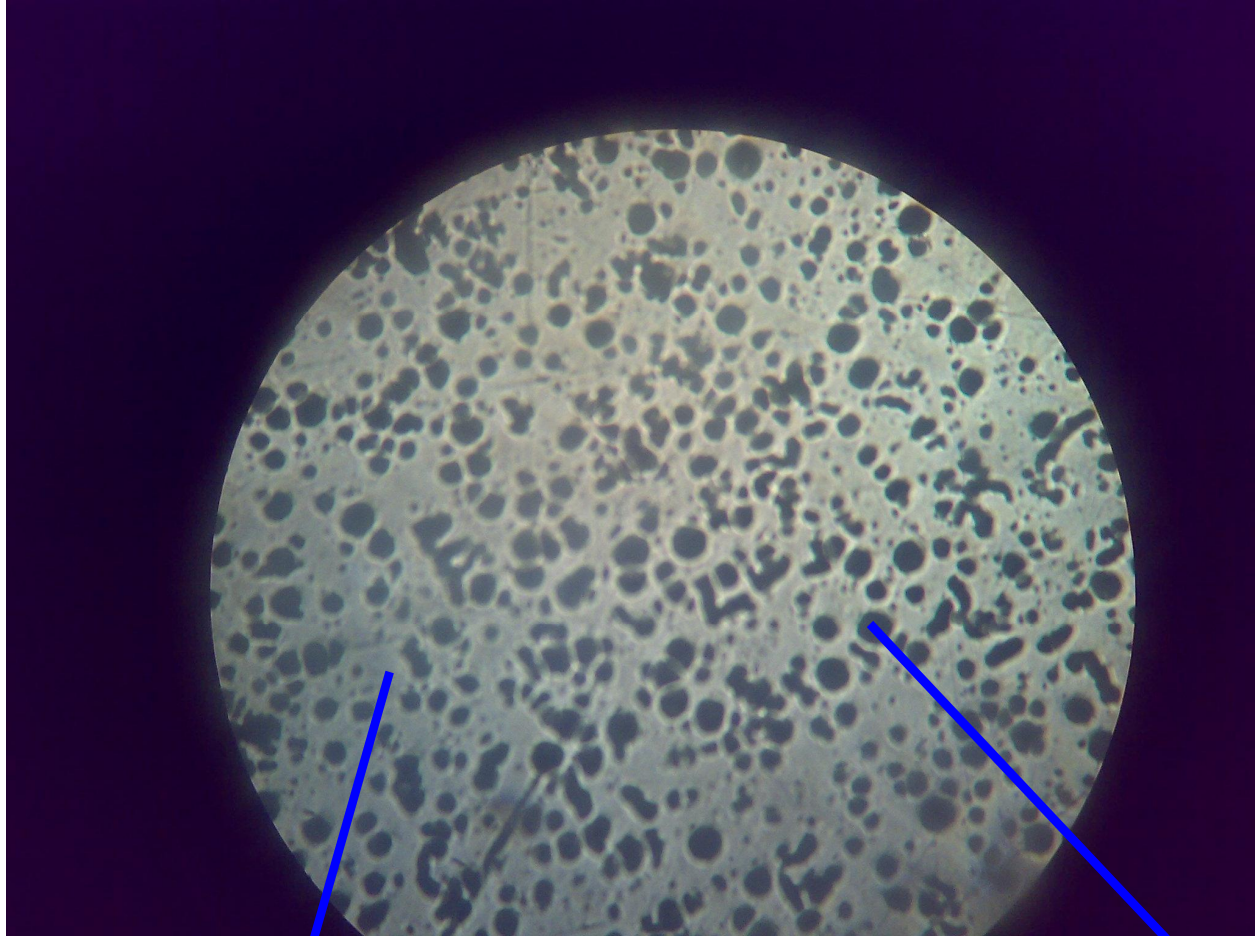
درصد تلفات منیزیم : 0/2%

میزان منیزیم لازم برای کروی کردن 40 kg چدن : 0/4 kg

$$0/4 * 2 = 0/8 \text{ kg}$$

مقدار فروسیلیکوم منیزیم لازم برای کروی کردن گرافیت :

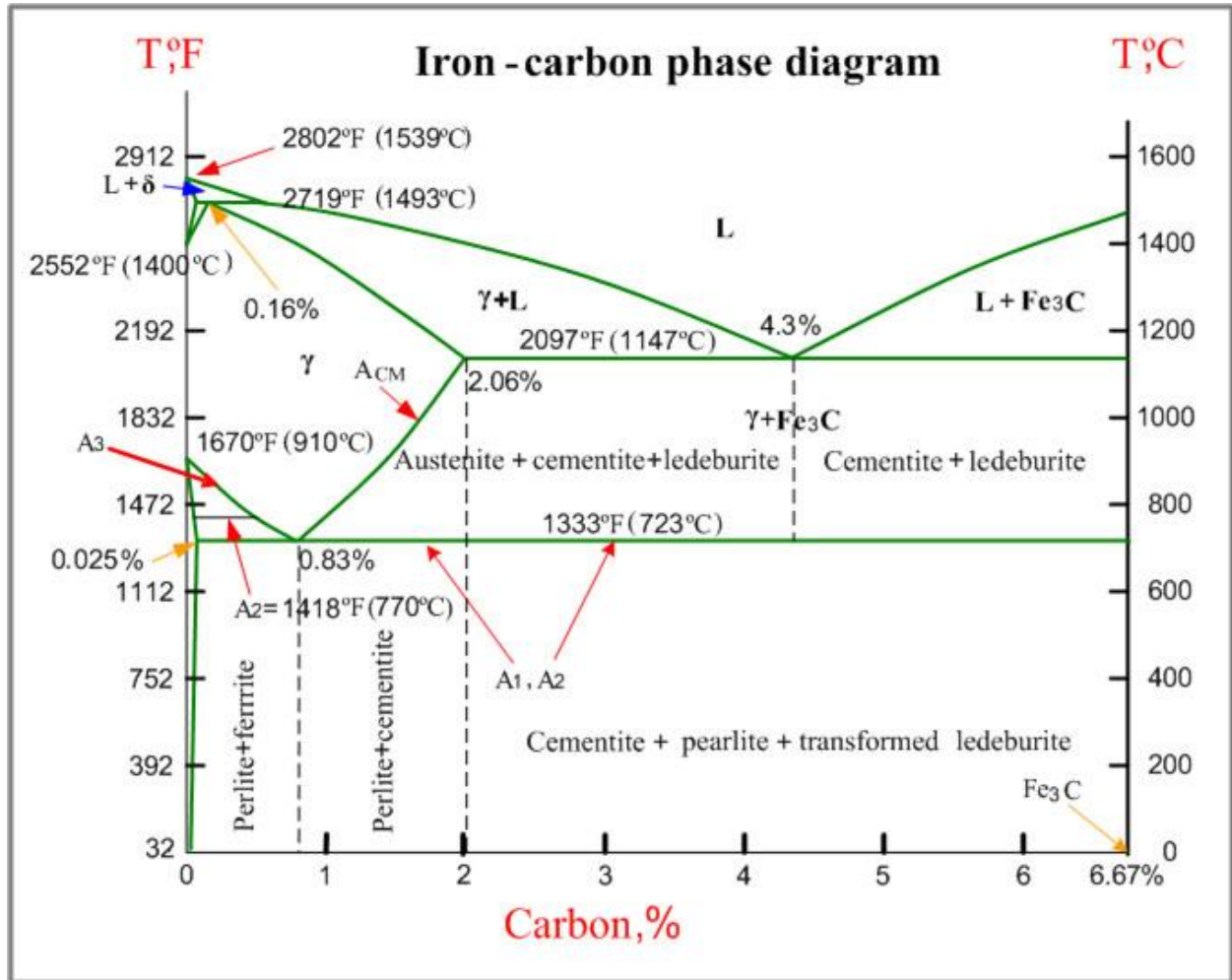
$$0/8\text{kg} + 0/2\text{kg} = 1\text{kg}$$



زمینه پرلیتی

گرافیت کروی

ریزساختار چدن ریخته شده



ترکیب انواع چدن :

P	C	Si	Mn	S	نوع چدن
0/5 - 1	0/02– 0/25	0/25– 1	1- 3	2/ 5-4	خاکستری
0/06 – 0/18	0/06 – 0/2	0/25–0 /8	0/5–1 /9	1/8– 2/6	سفید
0/03	0/04 –0 /18	0/02 – 1	1/1 – 1/6	2 – 3/6	مالیبل
0/01	0/01 – 0/06	0/1 – 1	1/8–2 /6	3 - 4	داکتیل

انواع گرافیت :

گرافیت بر اساس استاندارد ASTM به 5 نوع تقسیم می شود

- گرافیت A
- گرافیت B
- گرافیت C
- گرافیت D
- گرافیت E

گرافیت نوع A :

گرافیت‌های نوع A گرافیت‌های رشته‌ای و کشیده‌ای هستند که در متالوگرافی قبل از اچ کاری دیده می‌شود و هنگامی به وجود می‌آید که سرعت سرد کردن پایین و عملیات تلقیح به خوبی انجام شده باشد این گرافیت بهترین نوع گرافیت در چدن خاکستری بوده و در میان گرافیت‌ها بیشترین قابلیت جذب ارتعاش رو دارد.

گرافیت نوع B :

گرافیت نوع B (گرافیت گل رزی) در مرکز این گرافیت‌های ریزی وجود دارد که به صورت دایره‌ای شکل رشد کرده‌اند و هر چه به سمت بیرون حرکت کرده‌اند کشیده‌گی این گرافیت بیشتر می‌شود تا در نهایت به گرافیت نوع A ختم می‌شود.

این گرافیت هنگامی به وجود می‌آید که سرعت سرد کردن بالا باشد و عملیات تلقیح به خوبی انجام نشده باشد. این گرافیت باعث ایجاد خواص نامطلوب و کاهش خواص مکانیکی می‌گردد.

گرافیت نوع C :

این نوع گرافیت در چدن‌های هیپر به وجود می‌آید. و در واقع گرافیت کیش کربنی است که از مذاب جدا شده و بر اثر تجزیه سمنتیت به وجود می‌آید. و مقاطع درشت به صورت درشت و مقاطع نازک به صورت ستاره‌ای شکل دیده می‌شود این نوع گرافیت باعث کاهش خواص مکانیکی شده و کمترین خواص مکانیکی را در بین گرافیت‌ها دارد اما دارای بیشترین خواص فیزیکی در بین گرافیت‌ها می‌باشد. مانند خواص حرارتی و رسانایی خوب.

گرافیت نوع D :

شکل و ابعاد این نوع گرافیت ریز می‌باشد و خواص چدن را تضعیف می‌کند و هنگامی به وجود می‌آید که سرعت سرد کردن زیاد باشد و تلقیح

مناسب نباشد و میزان گوگرد کم باشد.

گرافیت نوع E :

این نوع گرافیت به شکل دندریت می باشد و در لابه لای شبکه های دندریتی رشد می کند و مشابه گرافیت نوع D بوده اما دارای ابعاد درشت تری نسبت به نوع D است.

معمولا در شبکه های استنتیتی رسوب می کند و هنگامی به وجود می آید که سرعت سرد کردن بالا بوده و تلقیح به خوبی صورت نگیرد.

تأثیر عناصر آلیاژی بر خواص چدن :

ازت :

این عنصر از اتمسفر محیط وارد قطعه شده و در میزان کم باعث فشرده شدن گرافیت می شود و همچنین باعث افزایش خواص مکانیکی و مقاومت به ضربه می شود اما در مقادیر زیاد باعث تشکیل حفرات گازی می شود که این عامل باعث افزایش عیوب شکافی مانند می شود که موجب کاهش خواص مکانیکی می شود که برای کاهش خواص ازت می توان با افزودن تیتانیم به مذاب خود تاثیرات آن را خنثی و یا کم کرد و همچنین آلومینیم نیز تاثیر نیتروژن را کاهش می دهد اما به علت آن که میزان انحلال هیدروژن را افزایش می دهد در مذاب کمتر استفاده می شود.

نکته : میزان ازت موجود در مذاب اگر از 0/0 85% بیشتر شود برای مذاب و قطعه مضر می باشد که معمولا میزان ازت را در مذاب چدن 0/004% الی 0/015% در نظر می گیرند.

آلومینیم :

این عنصر که از طریق قراضه های فولادی وارد مذاب می شود باعث افزایش قابلیت انحلال هیدروژن در مذاب شده که افزایش هیدروژن نیز باعث افزایش مک و حفرات در سطح قطعه می شود منشا آلومینیم در

مذاب می تواند فولاد های مصرفی در تهیه مذاب و یا شارژ و همچنین قراضه های فولادی باشد و همچنین عناصر تلقیحی مانند فروسیلیس تا حدود یک درصد آلومینیم در خود دارند.
نکته : میزان آلومینیوم بیش از 0/004% در مذاب چدن مضر می باشد.
نکته : فرو سیلیس در چدن ها باعث کاهش نقطه ذوب می شود.

سرب :

این عنصر مضر بوده و مخرب گرافیت می باشد و همچنین باعث پوک شدن گرافیت های موجود در مذاب چدن می شود این عنصر از طریق رنگ هایی که روی سطح قراضه ها وجود دارد و همچنین قراضه های فولادی و قراضه های اتومبیل وارد مذاب چدن می شود و در چدن ها باعث کاهش شدید مقاومت به ضربه می شود.

گوگرد :

این عنصر کاربرد زیادی بسیار قوی ای می باشد که اثر خود را در چدن های خاکستری با منگنز خنثی می کند.
فرمول تعیین میزان منگنز مصرفی :

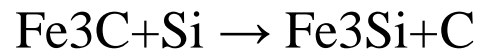
$$\text{Mn} = 1/7\% \text{ S} + 0/3$$

منشا وجود گوگرد در چدن ها سوخت های فسیلی می باشد که از جمله آن ها می توان به ترتیب اولویت موارد زیر را نام برد.
زغال سنگ ، کک ، گاز و سوخت های مایع فسیلی
نکته : گوگرد با منگنز تولید سولفید منگنز می نماید.

سیلیسیم :

این عنصر پس از کربن یکی از قوی ترین عناصر گرافیت زا محسوب می شود که بیشترین حد سیلیسیوم در مذاب چدن خاکستری حد اکثر 3 در

صد می باشد که با آهن تشکیل Fe_3Si می دهد و کربن در مذاب رسوب می کند.



نیکل :

این عنصر گرافیت زا بوده و تاثیر آن در مذاب چدن نصف تاثیر سیلیسیم می باشد نیکل باعث افزایش استحکام ، سختی و خواص مکانیکی می شود و همچنین باعث افزایش وزن مخصوص چدن می شود که یک عامل پرلایت زا می باشد که باعث ایجاد پرلایت ریز در چدن خاکستری می شود نیکل معمولا به همراه عنصر کرم استفاده می شود.

مس :

مس مانند نیکل جزو عناصر گرافیت زا بوده و باعث ایجاد پرلایت ریز در چدن می شود و تاثیر آن تاثیر سیلیسیم می باشد.

گوگرد :

این عنصر يك کاربید زا قوی می باشد که در چدن ها باعث افزایش سختی و مقاومت به سایش می شود که در مذاب چدن خاکستری در مقادیر حدود 1 تا 1/5 درصد با نیکل استفاده می شود.

مولیبدن :

مولیبدن باعث کاهش سرعت تبدیل آستنیت به پرلایت می شود لذا باعث ریز شدن اندازه پرلایت ها می شود و همچنین باعث افزایش استحکام چدن می شود.

برم , بیسموت و تلوریم :

هر سه عنصر کاربرد را زوده و باعث به وجود آمدن گرافیت های نوع D می شود و همچنین با افزایش مواد تلقیحی جوانه زای می شود که سدیم می تواند تاثیر این عناصر را کاهش دهد.

نکته : میزان مجاز بر در مذاب چدن 0/01 درصد تا 0/05 درصد می باشد و میزان مجاز بیسموت در مذاب چدن حداکثر 1% و میزان مجاز تلوریم در مذاب چدن حداکثر 0/005 درصد می باشد.

قلع :

این عنصر مشابه مس بوده و پرلایت زایی قوی می باشد و همچنین باعث ایجاد پرلایت ریز می شود. در گذشته برای جلوگیری از تلفات مذاب قلع را در پاتیل تا یک 0/1% به مذاب اضافه می شود که این مقدار باعث افزایش خواص مکانیکی چدن می شود این عنصر دارای نقطه ذوب 450 درجه سانتیگراد بوده و عموماً به صورت شمش های 15 الی 20 گرمی استفاده می شود.

تیتانیوم :

این عنصر مانع از انحلال اکسیژن و نیتروژن در مذاب چدن می شود همچنین باعث توزیع یکنواخت گرافیت و افزایش خواص مکانیکی در چدن ها می شود.

وانادیم :

این عنصر باعث یکنواختی توزیع گرافیت و همچنین پایداری فاز سمنتیت در چدن ها می شود این عنصر باعث افزایش خواص مکانیکی شده و عاملی است کاربرد را است که تا حدود 1% به مذاب چدن اضافه می شود.

منگنز :

این عنصر جزو عناصر کاربیدزا بوده و تاثیر منفی گوگرد را کاهش می دهد که این واکنش شیمیایی به صورت زیر نمایش داده می شود.



درجه حرارت ذوب این فلز 1200 تا 980 درجه سانتیگراد است که سولفید منگنز در این دما به صورت فازی در داخل دانه ها رسوب می کند این فاز خواص مکانیکی را افزایش داده و در بعضی مواقع از طریق سرباره خارج می شود منگنز باعث افزایش مقدار کاربید شده که این امر موجب افزایش سختی و مقاومت به ضربه آلیاژ می شود این عنصر تا حدود یک درصد به مذاب اضافه می شود.

گزارش کار کارگاه ریخته گری فلزات آهنی 2 :

نحوه محاسبه مقدار فروسیلیکومنیزیم لازم :

ابتدا مقدار 40 کیلوگرم چدن وزن کردیم و باتوجه به این که میزان بازیابی منیزیم در روش فروبر 50 تا 55 درصد است مقدار فروسیلیکومنیزیم لازم برای اینکه گرافیت موجود در این مقدار چدن 100% کروی شود 1 کیلو گرم است .

نحوه به دست آوردن این مقدار فروسیلیکو منیزیم به این صورت بود که باتوجه به این که درصد منیزیم لازم برای کروی کردن 100 کیلوگرم چدن 0/05% است پس برای 40 کیلوگرم چدن مقدار 0/02 کیلوگرم منیزیم لازم است .

حال با توجه به این که مقدار منیزیم موجود در فروسیلیکو منیزیم موجود

در کارگاه 5% است پس برای 40 کیلوگرم چدن مقدار 0/4 کیلوگرم فروسیلیکومنیزیم لازم است.

همچنین چون میزان بازیابی منیزیم در این روش 50 تا 55% است پس برای اینکه بتوانیم میزان بازیابی منیزیم را به 100% برسانیم 0/4 را ضرب در 2 میکنیم که حاصل آن 0/8 میشود سپس با توجه به این که درصد تلفات منیزیم در این روش 0/2% است این مقدار را با 0/8 جمع میکنیم تا مقدار فروسیلیکومنیزیم لازم به دست آید که مقدار آن 1 کیلوگرم شد.

نحوه افزودن به مذاب :

ابتدا فروسیلیکومنیزیم لازم جهت کرود کردن گرافیت را درون مقوای ضخیمی ریختیم سپس آن را درون توری مخصوصی که از قبل آماده کرده بودیم قرار دادیم بعد از آن یک صفحه فولادی نازک روی سطح توری که باز بود جهت جلوگیری از ریختن فروسیلیکومنیزیم به بیرون جوش دادیم بعد توری را توسط یک میله درون مذابی که 1560 درجه سانتیگراد دما داشت فرو بردیم که فروسیلیکومنیزیم به خوبی عمل کرد و چدن ریخته شده 100% نشکن شد.

بعد از ریخته گری نمونه ای جهت متالوگرافی از آن تهیه کردیم که پس از سمباده کاری و پولیش کاری توسط خمیر پولیش و اچ کردن با محلول نایتال آن را زیر میکروسکوپ نگاه کردیم که تصویر مشاهده شده به شکل زیر بود

