بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

طراحی و انتخاب مواد مهندسی

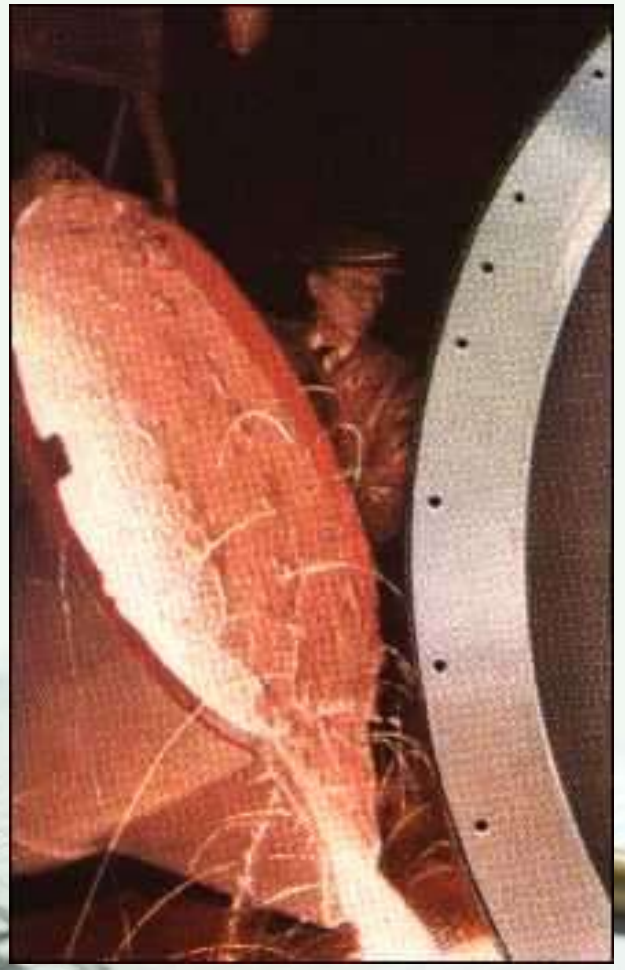
جلسه یازدهم
(چدن ها)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

چدن

چدن به آلیاژهایی از آهن و کربن که بین ۱/۲الی ۶/۲ (۶/۶۷-۲/۰۸) درصد کربن داشته باشند، گفته می‌شود. رنگ مقطع شکست این آلیاژ به عنوان شناسه نامگذاری انواع مختلف آن بکار می‌رود.

بیش از ۹۵ درصد وزنی چدن را آهن تشکیل می‌دهد و عناصر آلیاژی اصلی آن کربن و سیلیسیم هستند.



چدن

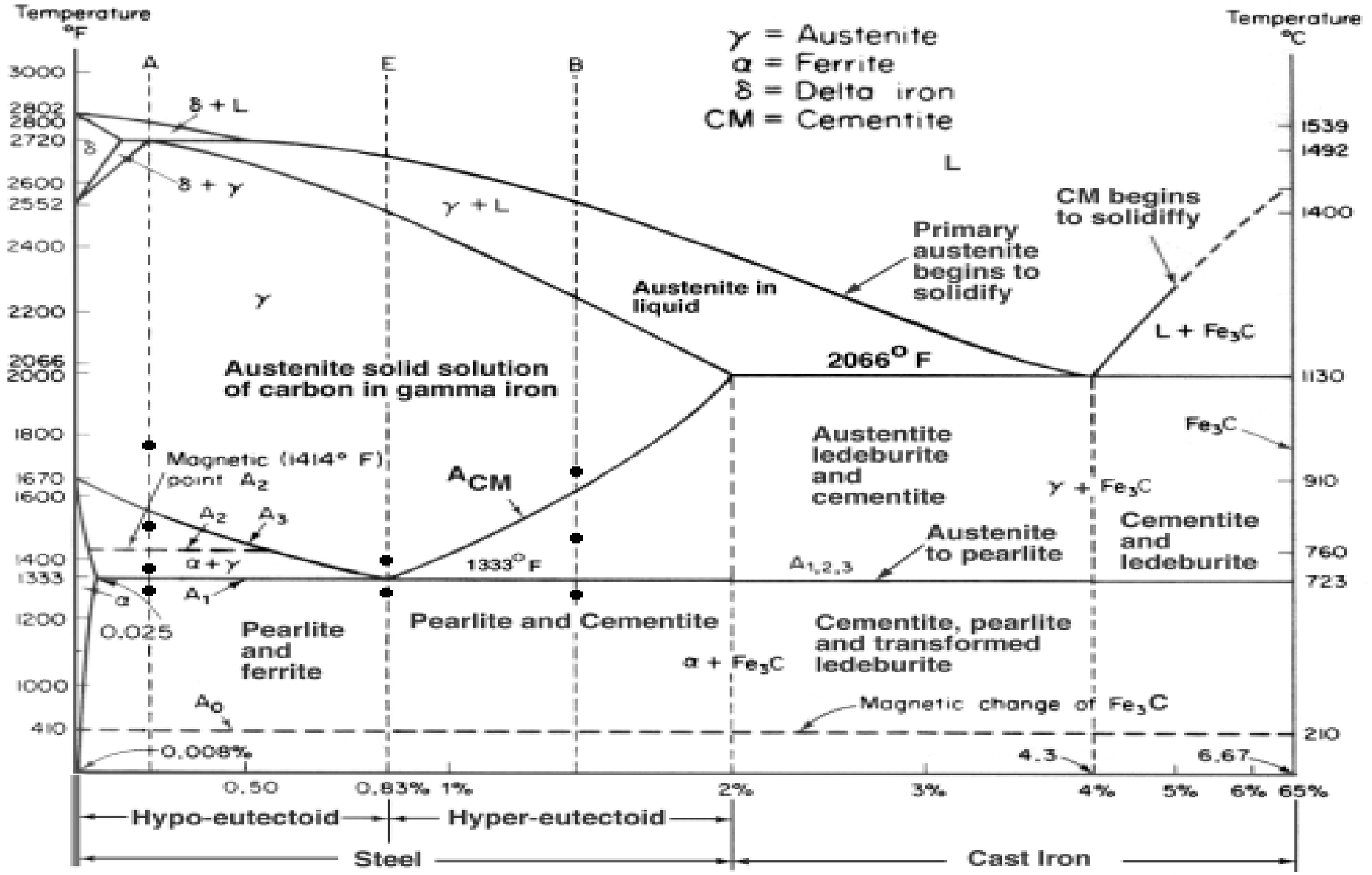
چدن ها بطور معمول، ٤-٢/١ درصد کربن و ٣-١ درصد سیلیسیم دارند و به عنوان آلیاژ سه‌گانه شناخته می‌شود. با این وجود، انجماد آن از روی دیاگرام فازی دوتایی آهن- کربن بررسی می‌شود، جایی که نقطه یوتکتیک در دمای ١١٥٣ درجه سانتی گراد با ٤/٣ درصد کربن اتفاق می‌افتد که حدود ٣٠٠ درجه کمتر از نقطه ذوب آهن خالص است.

چدن

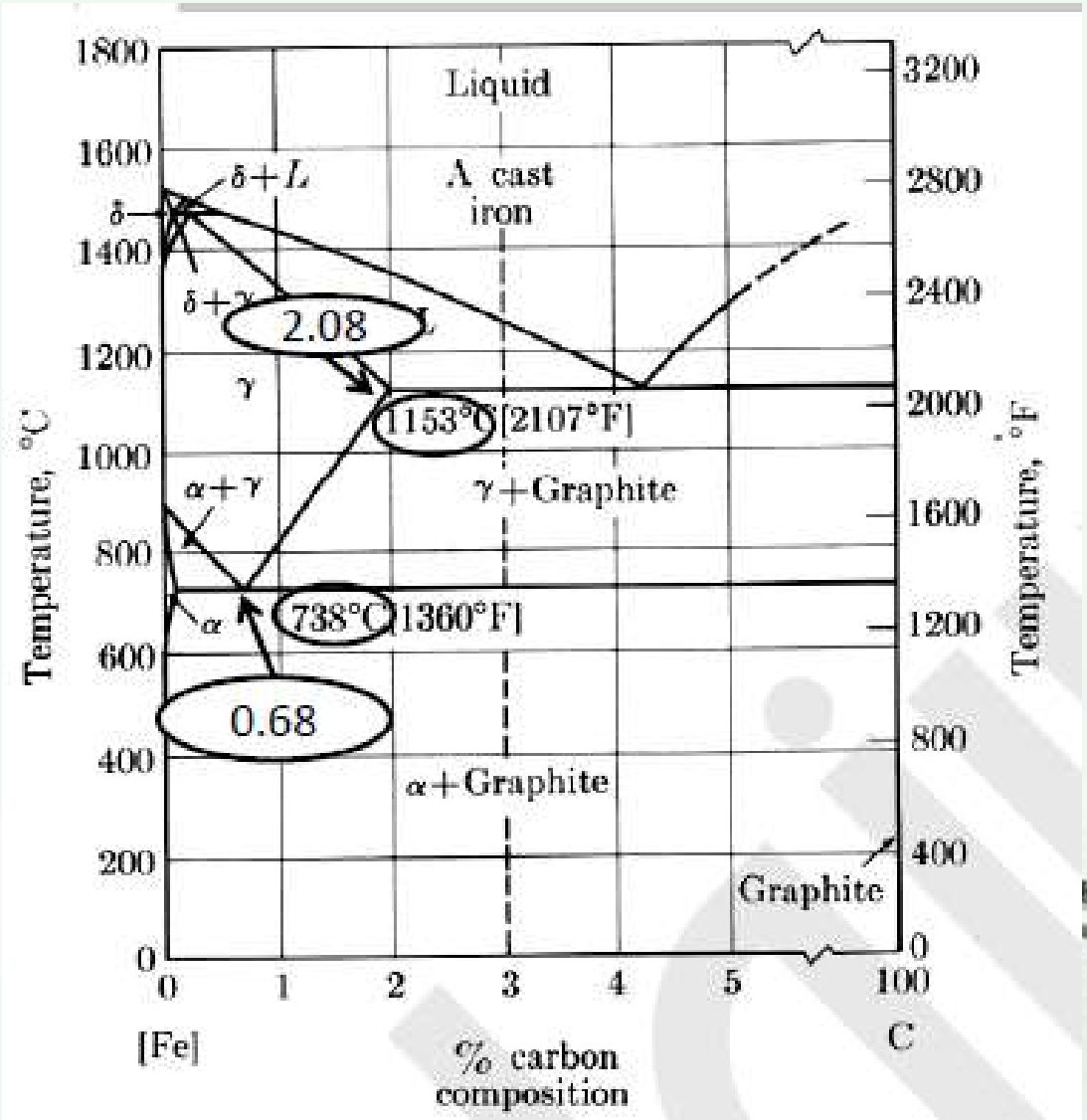
چدن ها، به استثنای نوع داکتیل، ترد هستند و به دلیل نقطه ذوب پایین، سیالیت، قابلیت ریخته گری، ماشین کاری و مقاومت به سایش، به موادی مهندسی با دامنه وسیعی از کاربرد تبدیل شده و در تولید لوله ها، ماشین ها، قطعات صنعت خودرو مانند سرسیلندر، بلوک سیلندر و جعبه دنده بکار می‌روند.

قطعات تولید شده از چدن

دیاگرام تعادلی آهن- سمانتیت

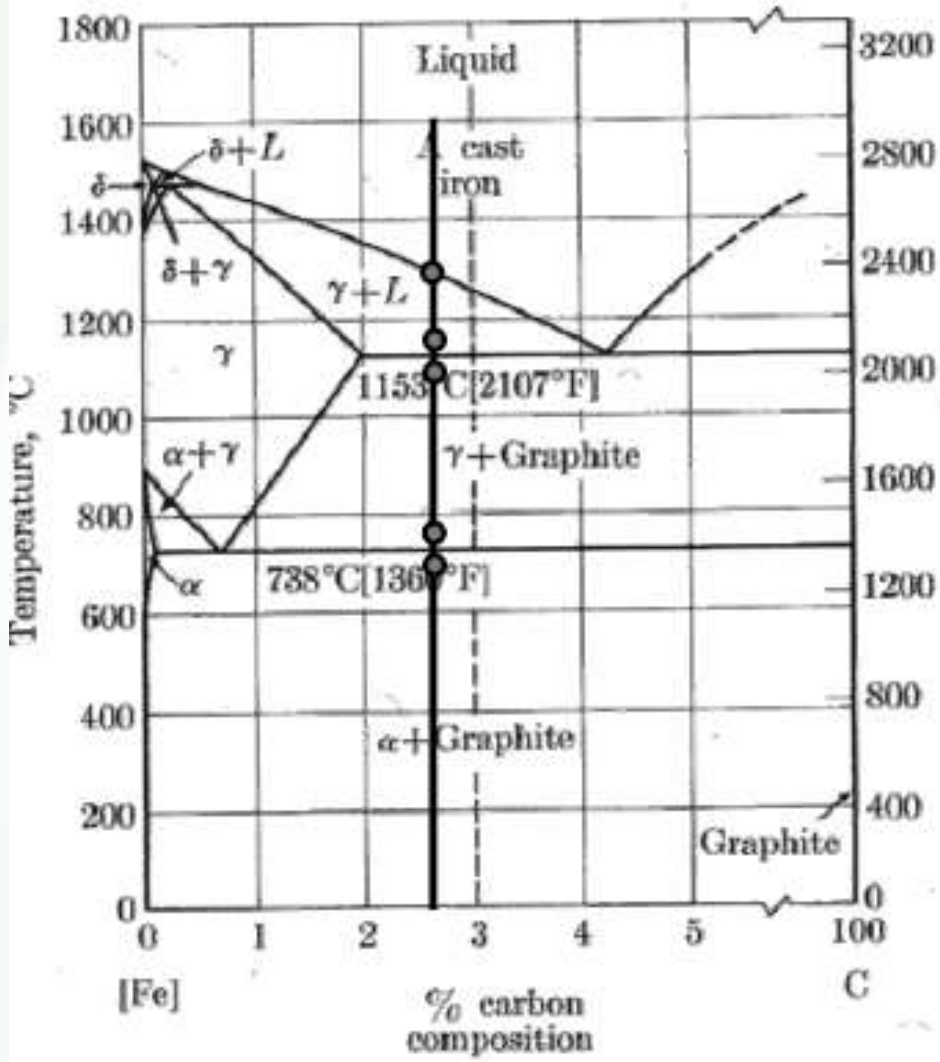


دیاگرام تعادلی آهن – گرافیت



چدن

انجماد ترکیب هیپویوتکتیک – سرعت کم



- T1) L+γ
- T2) L(4.26%)+γ(2.08%)
- T3) G(100%)+γ(2.08%)
- T4) G(100%)+γ(0.68%)
- T5) G +α
  - چدن خاکستری فریتی
- T5) G + α +Fe_3C
  - چدن خاکستری پرلیتی

تولید چدن

چدن از طریق ذوب سنگ آهن به همراه آهن و فولاد قراضه بدست می‌آید و با طی مراحلی برای حذف عناصر ناخواسته مانند فسفر و گوگرد همراه است.

با توجه به نوع کاربرد، میزان کربن و سیلیسم تا حد مطلوب (به ترتیب ۳/۵-۲ و ۳-۱ درصد وزنی) کاهش داده می‌شوند. سایر عناصر نیز حین ریخته گیری و قبل از شکل گیری نهایی، به مذاب افزوده می‌شوند.

چدن بجز موارد خاص که در کوره بلند ذوب می‌شود، عمدتاً در کوره‌های القای الکتریکی تولید شده و پس از تکمیل ذوب، مذاب حاصل به درون کوره نگهدارنده یا قالب ریخته می‌شود.

انواع چدن- عناصر آلیاژی

خواص چدن با افزودن عناصر آلیاژی مختلف تغییر می کند.

بعد از کربن، سیلیسیم مهمترین عنصر محسوب می‌شود، چرا که کربن را از حالت محلول خارج کرده و آن را به فرم گرافیت در می آورد که تولید چدنی نرم تر، با انقباض کمتر کرده و استحکام و چگالی را کاهش می‌دهد.

گوگرد نیز هنگام اضافه شدن، سولفید آهن تولید می‌کند که مانع تشکیل گرافیت شده و سختی را افزایش می‌دهد. اما مشکل گوگرد این است که گرانروی چدن را در حالت مذاب بالا برده و عیوب ساختاری را افزایش می‌دهد.

انواع چدن- عناصر آلیاژی

برای خنثی کردن اثرات گوگرد از منگنز استفاده می‌شود تا بجای سولفید آهن، سولفید منگنز تشکیل شود.

سولفید منگنز از مذاب سبک تر است، بنابراین بر روی سطح مذاب و درون سرباره شناور می‌شود.

افزودن منگنز بیش از مقدار لازم برای خنثی کردن گوگرد باعث تولید کاربید منگنز می‌شود که بالا رفتن سختی و سرعت انجماد را به همراه دارد. تنها در مورد چدن خاکستری افزایش منگنز تا یک درصد، استحکام و چگالی را افزایش می‌دهد.

انواع چدن- عناصر آلیاژی

نیکل نیز از آلیاژسازهای بسیار معمول است که ساختار پرلیت و گرافیت را پالایش داده، به افزایش چقرمگی کمک می‌کند و گاه حتی تفاوت سختی در ضخامت های مختلف را از بین می‌برد.

کروم به مقدار جزئی به ملاقه مذاب افزوده می‌شود تا گرافیت آزاد را کاهش داده، مذاب را سرد کند و از آنجا که تثبیت کننده قوی کاربید بشمار می‌رود، عمدتا همراه با نیکل افزوده می‌شود. مقدار بسیار اندکی قلع را نیز می‌توان به جای ۰/۵ درصد کروم افزود.

بین ۲/۵-۰/۵ درصد مس هم در ملاقه یا کوره به مذاب اضافه می‌شود تا انجماد را کاهش، گرافیت را پالایش و سیالیت را افزایش دهد.

انواع چدن- عناصر آلیاژی

افزودن ۱-۳/۰ درصدِ مولیبدن باعث افزایش انجماد، پالایش گرافیت و پرلیت می‌شود و معمولاً همراه با نیکل مس و کروم افزوده می‌شود تا خواص استحکامی را بهبود بخشد.

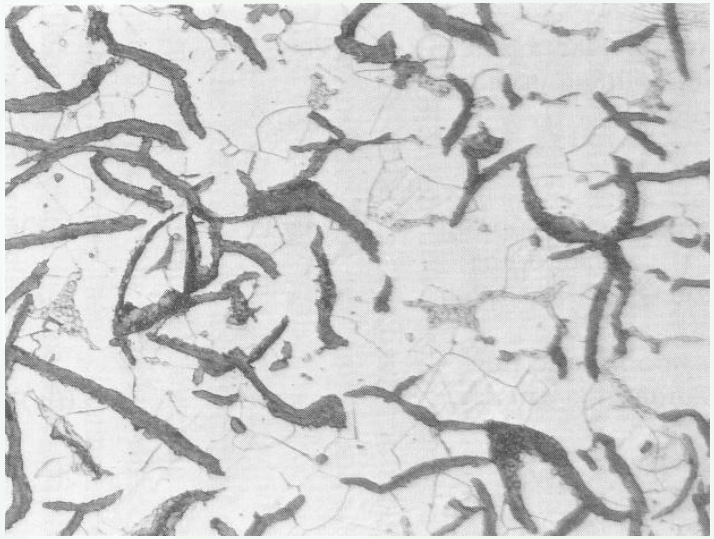
تیتانیم به عنوان گاززدا و اکسیدزدا استفاده می‌شود، اما سیالیت را هم افزایش می‌دهد.

اضافه نمودن ۰/۵-۰/۱۵ درصد وانادیم، سمانتیت را تثبیت کرده و سختی و مقاومت به سایش و گرما را افزایش می‌دهد. همچنین افزودن ۰/۳-۰/۱ درصد زیرکنیم به تشکیل گرافیت، احیاء و افزایش سیالیت منجر می‌شود.

چدن خاکستری

چدن خاکستری ریزساختار گرافیتی خاصی دارد که باعث می‌شود مقطع شکست آن به رنگ خاکستری باشد. در این نوع چدن ها تمامی یا قسمت اعظم کربن به صورت آزاد (گرافیت) رسوب می کند. از نظر وزنی، چدن خاکستری رایج ترین نوع چدن و پر کاربردترین ماده ریخته گری محسوب می‌شود.

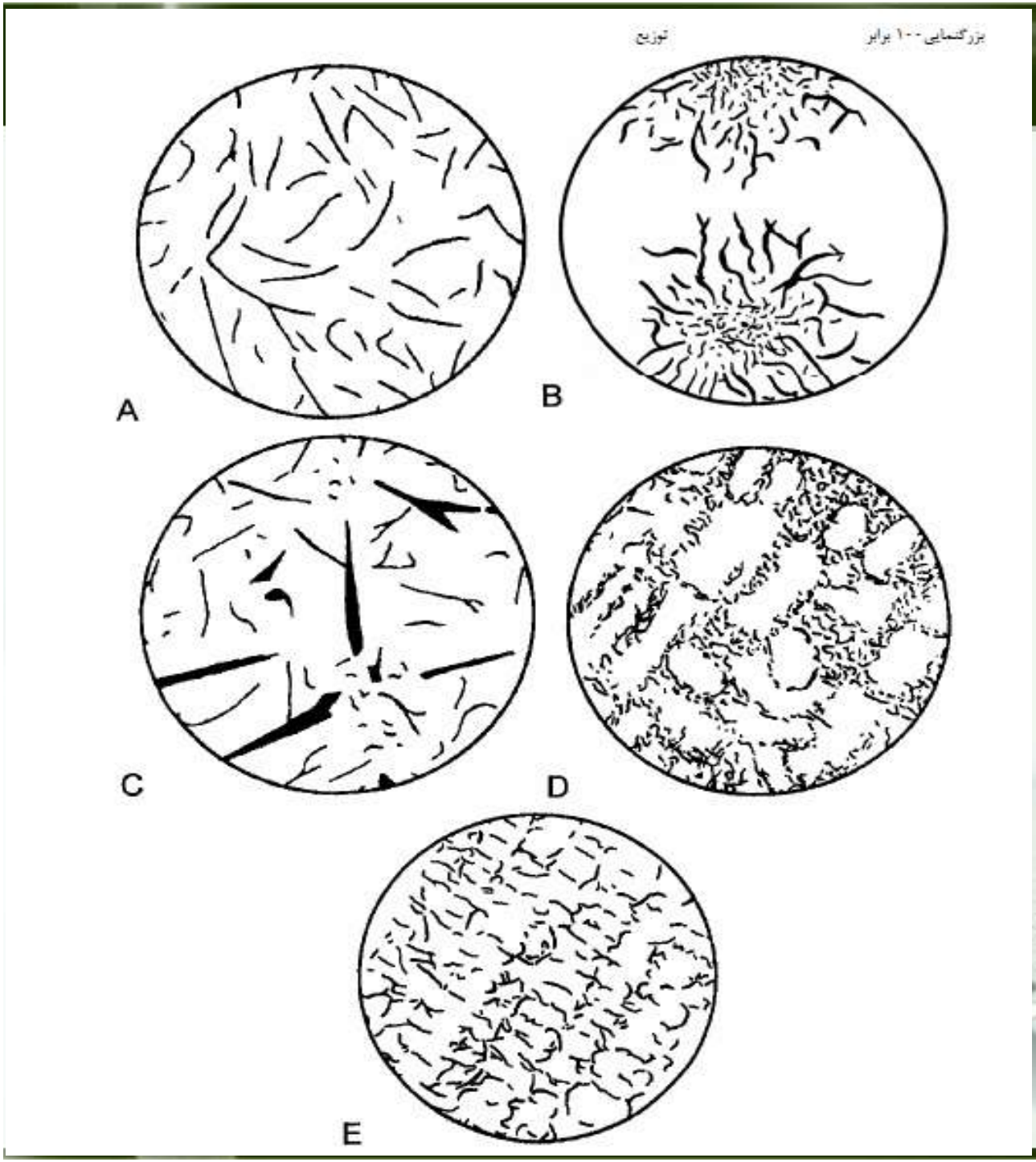
چدن خاکستری عمدتاً حاوی ٤-٢/٥ درصد کربن، ٣-١ درصد سیلیسیم و مابقی آهن است. این نوع چدن استحکام کششی و مقاومت به شوک کمتری نسبت به فولاد دارد، اما از نظر استحکام فشاری با فولاد کم کربن و میان کربن قابل مقایسه است.



چدن خاکستری

چدن خاکستری فریتی

چدن خاکستری پرلیتی

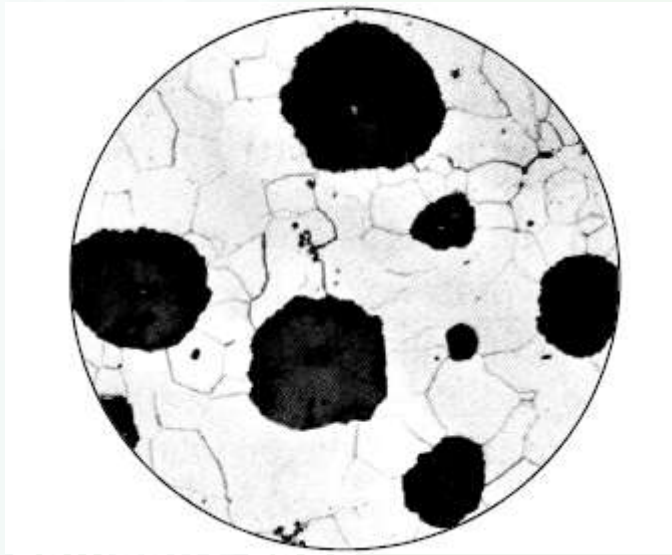


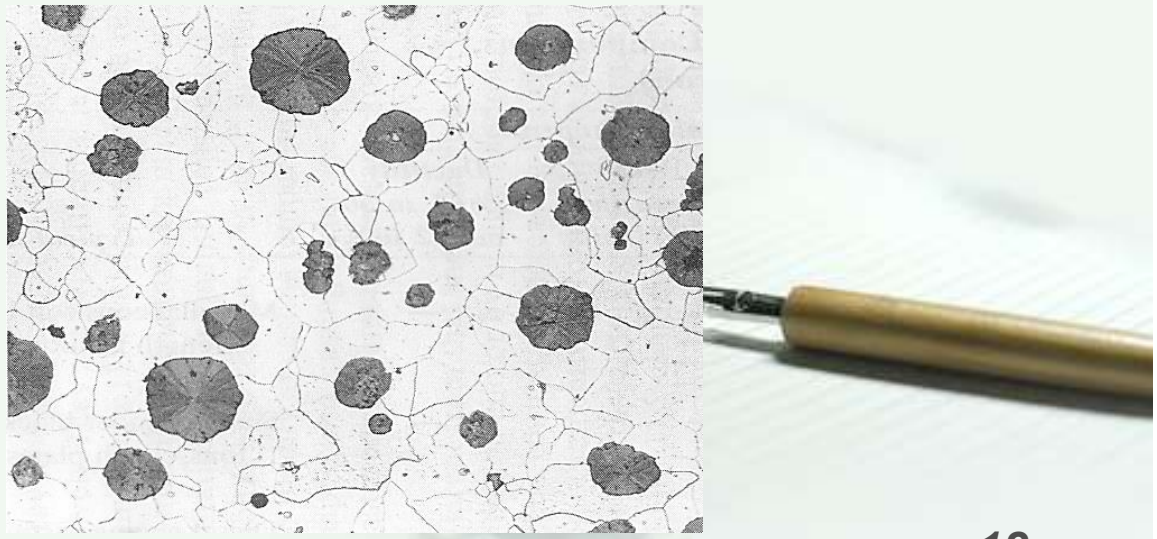
اشکال مختلف گرافیت در چدن خاکستری

چدن داکتیل

چدن داکتیل یا چدن نشکن دارای زمینه فریتی، پرلیتی یا هر دو با گرافیت کروی است. در چدن نشکن به هنگام انجماد، کربن آن به صورت گرافیت کروی یا گلوله‌ای تشکیل می‌شود که در اثر افزودن منیزیم به ترکیب مذاب چدن خاکستری حاصل می شود.

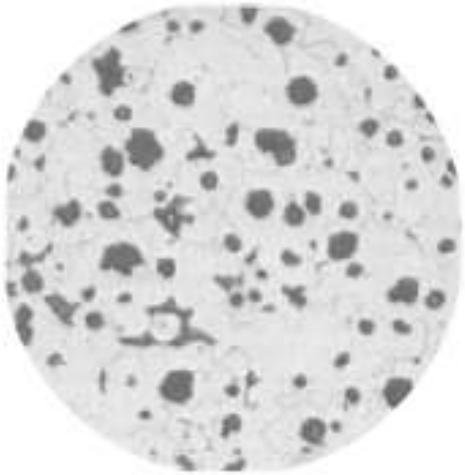
خواص چدن داکتیل: نقطه ذوب پایین، ریخته گری مناسب، ماشین کاری عالی، مقاومت سایشی خوب، شکل‌پذیری مطلوب



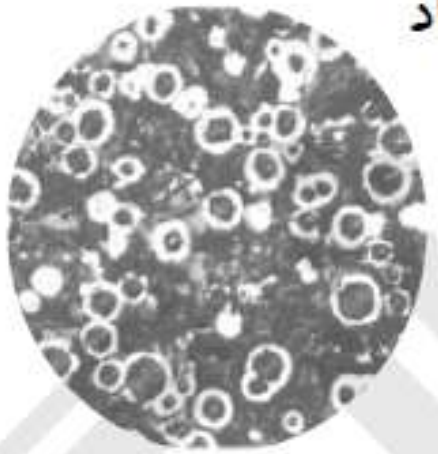


چدن نشکن

- چدن نشکن فریتی، سرعت سرد شدن آهسته



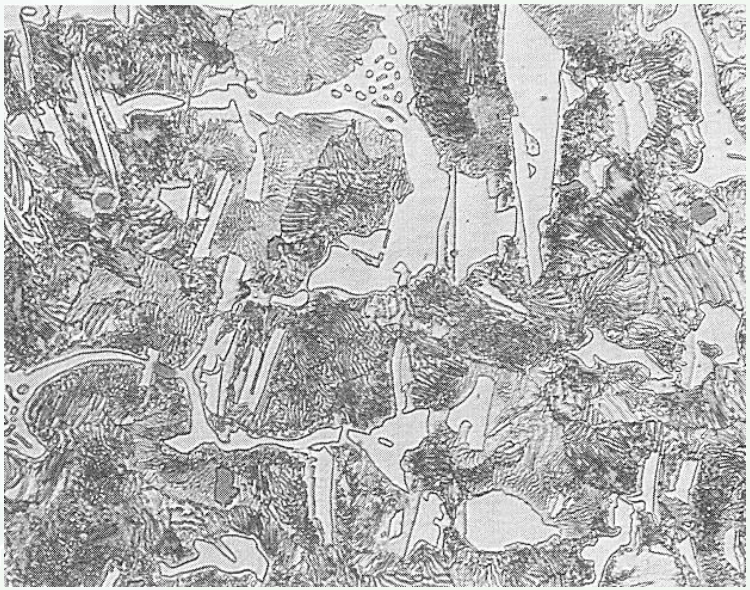
- چدن نشکن پرلیتی (چشم گاوی)، سرعت سرد شدن زیاد



چدن سفید

چدن سفید از میزان کربن کمتر و سرعت سرد کردن بیشتر حاصل می‌شود جایی که بخش عمده کربن بصورت فاز نیمه پایدار (سمانتیت) رسوب می‌کند تا کربن آزاد (گرافیت).

مقطع شکسته شده این نوع چدن‌ها سفید نقره‌ای رنگ است. سمانتیت رسوب کرده از مذاب ذرات بزرگی در فاز یوتکتیک شکل می‌دهد. فاز دیگر این نوع چدن آستنیت است که طی فرآیند انجماد به مارتنزیت تبدیل می‌شود.



چدن سفید

کاربیدهای یوتکتیک درشت تر از آن هستند که سخت گردانی رسوبی ایجاد کنند (مانند برخی فولادها که رسوب سمانتیت، با ممانعت از حرکت نابجایی ها در فاز زمینه فریت، از تغییر شکل پلاستیک جلوگیری می‌کند). اما تا حدودی به دلیل سختی خود ذرات سمانتیت که بخشی از حجم ماده را اشغال می‌کنند، سختی کل افزایش می‌یابد، بطوری که سختی چدن سفید براساس قانون مخلوط ها برآورد می‌شود.

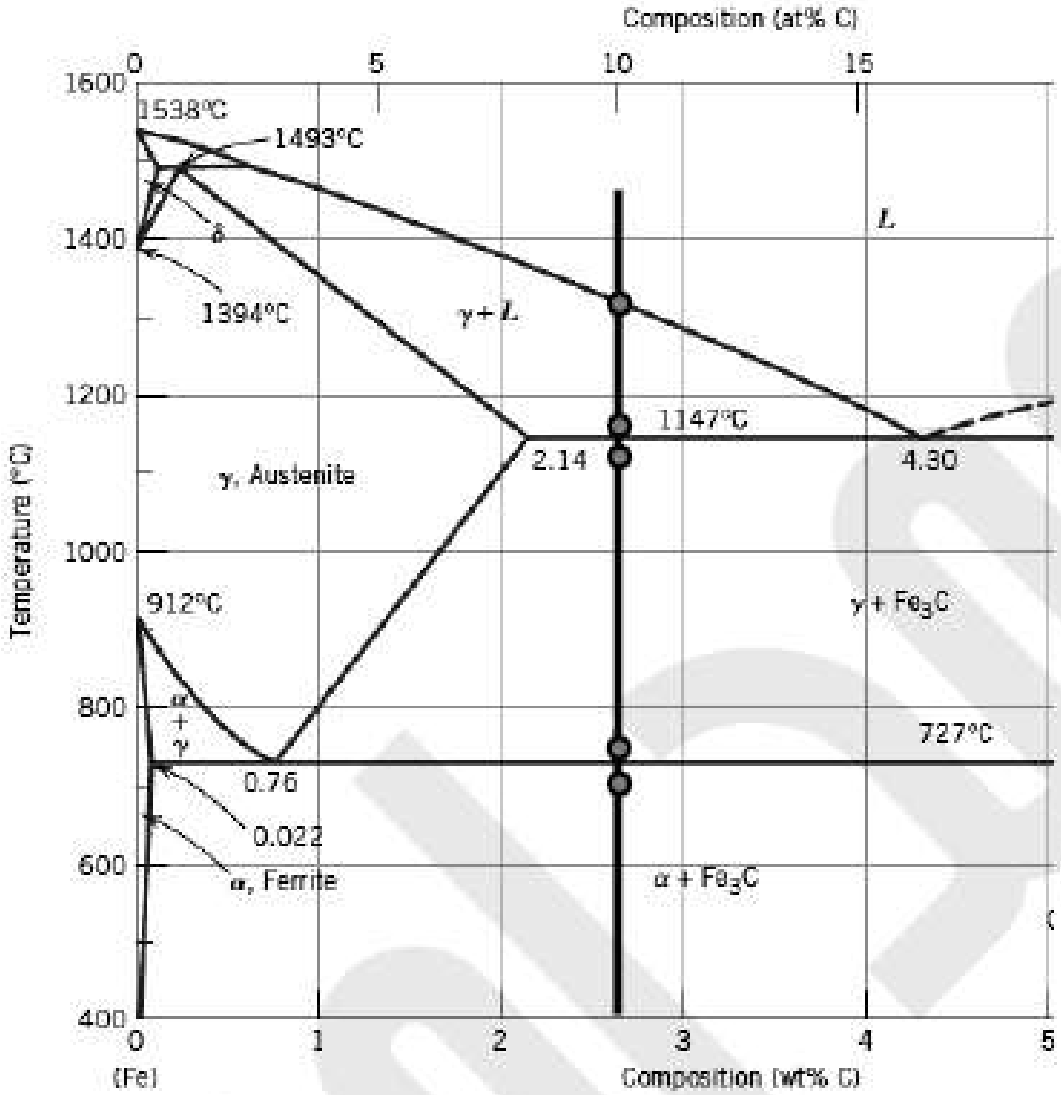
در هر صورت سمانتیت‌ها سختی را افزایش و چقرمگی را کاهش می‌دهند.

چدن سفید

از آن جا که کاربید بخش بزرگی از ماده را در بر می گیرد، چدن سفید را می‌توان نوعی سرمت به حساب آورد.

چدن سفید برای بسیاری مصارف بیش از حد ترد است، ولی به دلیل سختی خوب، مقاومت به سایش بالا و قیمت پایین در ساخت قطعاتی چون سطوح در معرض سایش (مانند پروانه توربین) مورد استفاده قرار می گیرد.

چدن سفید



T1) L+γ

T2) L(4.3%)+γ(2.1%)

T3) Fe_3C(6.67%)+γ(2.1%)

T4) Fe_3C(6.67%)+γ(0.76%)

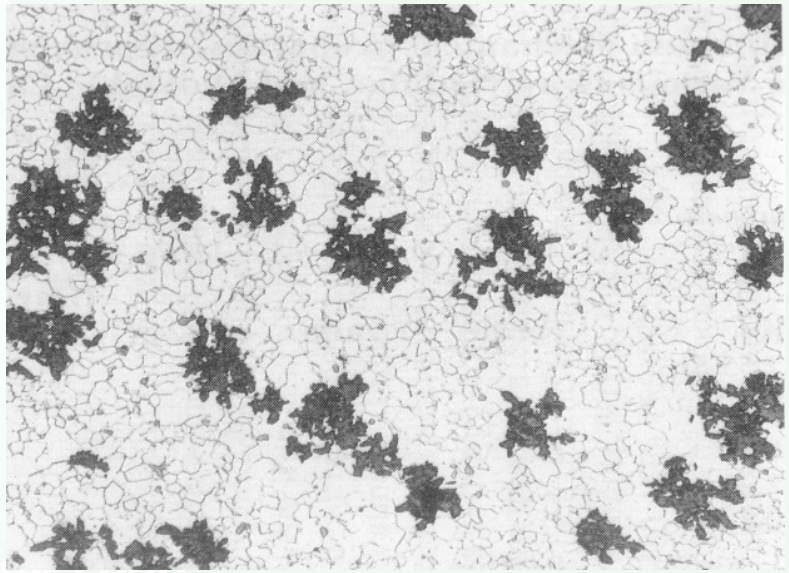
T5) Fe_3C(6.67%)+α(0.02%)

- چدن سفید پرلیتی

چدن مالیبل

چدن مالیبل (چدن چکش خوار)، ذاتاً از نوع چدن های هیپو یوتکتیکی کم آلیاژی یا غیرآلیاژی است.

جهت ایجاد گرافیت های کروی فشرده و حصول خواص مکانیکی مانند استحکام و چکش خواری، عملیات آنیل کردن انجام می گیرد. پس از ریخته گری، کربن این چدن ها به شکل ترکیبی (ترکیب با آهن) بوده و قطعات به صورت چدن سفید در آمده که با فرآیند حرارتی به خصوصی به چدن مالیبل تبدیل می شوند.



چدن مالیبل

چدن چکش‌خوار ابتدا به صورت چدن سفید و با ترکیب شیمیایی مناسب ریخته می شود. سپس به هنگام آنیل از سمانتیت چدن سفید، گرافیت جوانه زده و به صورت کروی رشد می‌کند.

با تغییر دادن عملیات آنیل، می‌توان چدن چکش خوار با خواص مکانیکی مختلف بدست آورد. از آن جا که ابتدا برای تولید چدن سفید انجماد سریعی لازم است، لذا ضخامت قطعات چدن چکش خوار محدود است.

چدن مالیبل

پس از اتمام مرحله اول آنیل، ساختار دارای کربن برفکی در زمینه آستنیت اشباع شده از کربن بوده و در مرحله دوم می توان با تنظیم سرعت سرد کردن ساختار را از فریت تا پرلیت تغییر داد.

کربن چدن مالیبل بیشتر به صورت کلوخه هایی از گرافیت و با اشکال نامنظم می‌باشد. شکل این گرافیت کروی نبوده و به شکل برفکی است.

انواع چدن- عناصر آلیاژی

به مذاب چدن مالیبل، حدود ۰/۰۱-۰/۰۰۲ درصد وزنی بیسموت اضافه می‌شود تا بتوان درصد سیلیسیم را افزایش داد.

در چدن سفید، عنصر بور به منظور تولید شدن چدن مالیبل افزوده می‌شود تا از اثر زمخت شدن در اثر وجود بیسموت کاسته شود.

تاثیر کربن و سیلیسیم بر تشکیل چدن