

## مشخصاتی از ساختارهای میکروسکوپی قطعات ریختگی:

آلیاژهای ریختگی دارای ساختارهای میکروسکوپی متفاوتی هستند که نسبت به نوع استفاده آنها بایکدیگر تفاوت کلی داشته و در مقابل تغییر در هر کدام از عوامل معین در آلیاژ خواص مشخصی از آن تغییر پیدا میکند. دانه ها و مرز دانه هایی که در مناطق ستونی و هم محور وجود دارد دارای رنگهای متفاوتی هستند که توسط چشم غیر مسلح و بدون استفاده از میکروسکوپ یا در بزرگنمایی های خیلی کم به وضوح قابل رویت هستند و ساختار ماکروسکوپی هم همچنین مکانیزم های متفاوت و پیچیده ای که باعث ایجاد انواع مختلف جدانشینیهای ماکروسکوپی می گردند. عدم یکنواختی ترکیب شیمیایی در داخل قطعه ریختگی رابه وجود آورده و در برخی مواقع همراه با ایجاد غیر یکنواختی خواص مکانیکی موجب تغییرات موضعی در خواص قطعات میگردد.

ساختارهای دوتائی نیز در برخی قطعات یا محصولات ریختگی به خصوص در غلطکها مورد استفاده قرار می گیرد. دانه های اولیه که در مرحله انجماد بدست می آید و دانه هائی که حاصل تغییر حالت های فازی در حالت جامد هستند بصورت ساختار میکروسکوپی و ماکروسکوپی قابل مشاهده هستند.

رشد دندریتی و یوتکتیکی دو نوع مهم از حالت های ویژه را در حالت های ریختگی پدید می آورند که در داخل دانه های اصلی ساختار میکروسکوپی بسیار تعیین کننده می

باشد. جدانشینی عناصر آلیاژی در بین دانه ها یک پدیده عادی می باشد به طوری که جدانشینی دندریتی عناصر آلیاژی در محلول های جامد بصورت هسته دار شدن و در سیستمهای پیچیده تر بصورت فاز دوم مشاهده می گردد.

عملیات حرارتی و ساختارهای ناشی از آن مختص قطعات و آلیاژهای ریختگی نبوده بلکه برای ایجاد استحکام زیاد در موارد ساختمانی از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. این ساختارها و محصولات بدست آمده از عملیات حرارتی شامل تغییر حالت های مارتنزیتی و دیگر روش های مختلف رسوب دادن و عملیات انحلال هستند. همچنین مشاهده نتایج دست آوردهای برخی از اعمال که در عملیات حرارتی صورت می گیرد همیشه با میکروسکوپ های نوری امکان پذیر نبوده و به بزرگنمایی های بیشتری از طریق استفاده از میکروسکوپ های در الکترونی نیاز دارد که مثال هایی از این نوع مشاهده می گردد.

لازم به یادآوری است که در مورد استفاده از میکروسکوپ های الکترونی هدف انحصارا " بزرگ نمایی بیشتر نیست بلکه به منظور مشاهده سه بعدی نمه ها نیز به کار می رود.

موردی دیگر در ساختار میکروسکوپی آلیاژهای ریختگی مربوط به مرحله ذوب و درصد خالص بودن مواد اولیه مذاب است. ناخالصی های موارد منگنز در فولاد در این طبقه

بندی قرار میگیرد و نوع شکل موارد منگنز ایجاد شده در داخل فولاد در خواص

مکانیکی و همچنین در حساسیت فولاد نسبت به شرایط محیطی تاثیر بسیار دارد.

احال های مکانیکی بطور معمول بزرگتر بوده و در مراحل اصلی در مرحله ذوب از کوره

بوته و از مواد نسوز مربوط به قالب ها در داخل قطعه ایجاد می شوند.

نفوذ داخل شدن گازها در داخل مذاب یا انقباض قطعه حین انجماد باعث ایجاد ریزی

می گردد و به همین ترتیب از پیوستن ناخالصی ها از قطعات ریختگی از آنها ابعاد

بزرگتری بوجود می آید که در بخش عیوب ریختگی مورد بررسی قرار می گیرند. به

منظور بحث و بررسی صحیح و مناسب در ساختارهای میکروسکوپی استفاده از

نمودارهای فازی بسیار لازم و ضروری می باشد.

تهیه نمونه برای آزمایش ریز ساختار:

مطالعه ریز ساختار داخلی قطعات فلزی در آلیاژها همچنین بررسی صحیح آنها بستگی

به مقدمات اولیه تهیه و آماده کردن نمونه های آزمایش دارد. اساس کار در روش های

عملی در تمامی مراحل تهیه و آماده کردن نمونه ها می باشد.

قدم اول برای تهیه یک نمونه جهت آزمایش انتخاب محل و سپس بریدن آن

است. بایستی در بریدن و تهیه یک نمونه متالوگرافی از گرم شدن زیاد در هنگام بریدن

نمونه جلوگیری و ممانعت به عمل آید. معمولاً در حین مواقعی به منظور اجتناب از

گرم شدن نمونه ها در حین برش از مایعات خنک کننده استفاده میگردد. در تهیه نمونه متالوگرافی از یک قطعه بزرگ که برش ان با گاز اکسی استیلن صورت میگیرد بدلیل اثرات نامطلوب گرم شدن نمونه در حین برش توسط گاز اکسی استیلن و در نتیجه تغییر ساختار نمونه تهیه شده نسبت به قطعه اصلی ابتدا یک قطعه کانی بزرگتر از نمونه اصلی تهیه نمود و سپس نمونه اصلی برای متالوگرافی را از قسمت وسط ان بریده و در مراحل بعد کار را روی ان انجام می دهند. به همین ترتیب در مورد قطعات بسیار سخت برای تهیه نمونه های متالوگرافی از آنها برش نمونه ها با استفاده از برنده های سخت انجام می شود و سپس تحت شرایط قابل کنترل قشری از سطح حرارت دیده نمونه ها بوسیله سمباده از بین می رود.

در بسیاری از موارد پس از بریدن نمونه ها بهتر است آنها را در داخل مواد پلاستیکی حفاظت یا مانت نمائیم که معمولاً " دو طریق برای مانت کردن نمونه ها وجود دارد:

الف:مانت سرد:

در این روش که معمولاً " در مانو شیمیایی بصورت پودر مایع و یا مایع-مایع به نسبت های معین استفاده می شود. محلول بدست آمده در حدود ۵۰-۴۰ درجه سانتیگراد حرارت دیده سپس در داخل قالب های پلاستیکی حاوی نمونه ها ریخته میشود. مانو مذبور پس از مدتی (از ۱ تا ۲۴ ساعت) پلیمریزه و سخت شده و نمونه ها را در بر می گیرد.

ب:مانت گرم:

روش دوم با استفاده از مواد پلاستیکی ویژه ای انجام می گیرد. در این مرحله پس از قرار دادن نمونه در داخل محفظه دستگاه مانت و ریختن پودر پلوستیکی مورد نظر بر روی آن تحت فشاری حدود ۳ تا ۵ تن بر اینچ مربع و حرارت ۱۵۰-۲۰۰ درجه سانتیگراد پلیمریزه و سخت می گردد و در بیشتر موارد با استفاده از مانت گرم و تحت فشار نتیجه نسبت به مانت های سرد بدست می آید. همچنین در این طریق مرز بین نمونه با مواد پلاستیکی پر شده و نفوذ موادی از قبیل محلول اچ الکل در آن قسمت تا مقدار زیادی کاهش می یابد.

اما ناگفته نماند که هر کدام از روش های فوق مزایای ویژه ای داشته و در مواردی خاص دارای مزایای بهتری نسبت به روش های دیگر دارد و انتخاب هر کدام به سلیقه شخصی و تجارب علمی فرد مذبور در این زمینه دارد.

سائیدن:

در ابتدا سائیدن نمونه ها با سمباده زدن به روش خیس بر روی دیسک هائی که با سرعت معینی می چرخد و با استفاده از کاغذهای سمباده ضد اب و یا سمباده هائی که بشکل نوار هستند انجام می گیرد. کاغذهای سمباده حاوی مواد ساینده ای از جنس بسیار سخت کربراندوم و کاربید کلسیم هستند و اندازه ذرات آنها تعیین کننده سختی و نرمی آنها نسبت به هم بوده و متناسب با سختی ما دو مورد نظر برای سائیدن سطح

فلز یا آلیاژ انتخاب می گردند. قطر ذرات سختی که در روی کاغذهای سمباده قرار می گیرند مشخص کننده مش آنها بوده و معمولاً برای سمباده زدن و سائیدن سطوح فلزات و آلیاژها از سمباده هائی با شماره های ۱۲۰-۲۴۰-۲۸۰-۳۳۰-۴۰۰-۶۰۰ استفاده می شود. در هنگام سمباده زدن سطح یک جسم جریان آب بطور مداوم بر روی سمباده ها جاری می شود و نمونه در هر مرحله از سمباده زنی به اندازه ۹۰ درجه نسبت به حالت قبل چرخیده و معمولاً قبل از شروع کار با سمباده ریزتر متوسط آب یا الکل شسته شده و بالاخره پس از مرحله نهایی و آخرین سایش نمونه پس از شستشوی آب یا الکل خشک شده و در مرحله دیگر براق یا صیقلی می گردد. دقت در سمباده زدن سطوح نمونه ها از فلزات و آلیاژهای مختلف نسبتاً متفاوت است. بطور مثال در مورد چدن های گرافیتی بدلیل از بین رفتن گرافیت ها در سطوح زمان ادامه هر مرحله از سمباده زدن در مورد سمباده نهایی دقت بیشتری لازم است.

در بیشتر موارد پس از سمباده زدن نمونه ها به روش خیس معمولاً در مرحله نهایی از یک سمباده خشک ۲۱۰ نیز استفاده می گردد که بدلیل از بین رفتن ذرات ریز کننده شده در حین سمباده زدن سطح نمونه بطور مداوم توسط الکل شسته شده و با پارچه نرمی خشک می گردد. برای مشاهده ساختار میکروسکوپی نمونه ها را پس از سمباده زدن کامل و اتمام مرحله نهایی سمباده کاری اچ میکروسکوپی می نمایند.

## صیقل یا پولیش:

مرحله پولیش و صیقل کردن سطح نمونه ها پس از مرحله سمباده زدن انجام می گیرد. در این مرحله پولیش سطح نمونه در روی دیسک چرخان که از نمد پوشیده شده با استفاده از خمیر الماس در اندازه های ۰,۲۵-۰,۵-۱-۶ میکرون انجام می گیرد. برای پولیش نمونه های آلیاژی قلع-سرب-روی-منیزیمو آلومینیوم دستگای مشابهی با نمد مخصوص بکار میرود. در ابتدا با استفاده از خمیر الماس و به ترتیب با اندازه و دانه های ۶ و ۱ میکرون پولیش شده سپس بوسیله پولیش دستی و اب مقطر با خمیر اکسیر منیزیم و با اندازه دانه ۰,۵ میکرون صیقل می شود.

برای پولیش چدن سفید ابتدا از خمیر الماس ۱ میکرون و در اخر از خمیر ۰,۵ میکرون استفاده می گردد. پولیش نمونه های چدن خاکستری گرافیتی در چند مرحله پیاپی انجام می گیرد. بدین ترتیب که ابتدا پس از اتمام مرحله سمباده کاری نمونه مورد نظر با محلول شیمیایی که معمولاً "پیکرال است اچ می گردد و پس از شستن و خشک کردن انرا پولیش می کنند. بدین ترتیب حداقل سه مرحله پیاپی سطح نمونه مورد نظر پولیش را اچ می گردد. در هر مرحله نمونه شسته و برای مرحله بعدی کاملاً خشک می گردد. برای نمونه هایی با کیفیت عالی و به منظور سطح تمام شده مناسب برای عکسبرداری معمولاً یک مرحله پولیش نهایی کوتاه مدت در روی نمد و خمیر الومینا با

عدد ریزی زیاد انجام می گیرد. در مورد فلزات و آلیاژهای سخت تر از قبیل فولادهای نیکل و کبالت و پولیش نهایی با خمیر الماس ۰.۲۵٪ لازم و ضروری است. معمولا در مرحله پولیش نهایی با دو مسئله مهم مواجه هستیم که ابتدا تغییر صیقل شده است که به سیلات سطحی و نفوذ برخی ذرات خارجی از قبیل ذرات پولیش کننده در سطح نمونه ها در حین پولیش ایجاد می کند. با استفاده از عمل فشار سرعت و زمان مناسب برای پولیش و همچنین بکار بردن مقدار کافی از مواد صیقل دهنده شکل سریعاً برطرف می گردد. شکل دیگری که ممکن است در نمونه ها در حین پولیش ظاهر گردد و خارج شدن ناخالصی های غیر فلزی از سطح در حال سایش که با کنترل مدت پولیش را بیش از حد صیقل نکردن سطوح نمونه ها این شکل نیز سایعاً برطرف خواهد شد. عیب ناخالصی های غیر فلزی را می توان قبل از اچ کردن سطح نمونه ها در زیر میکروسکوپ بطور کاری مشاهده نمود. همچنین در مورد برخی فلزات ریختگی روش پولیش و اچ کردن متناوب سطح نمونه ها نتایج بهتری در ظاهر شدن ریز ساختار و بطور کلی تهیه نمونه های میکروسکوپی خواهند داد.



## پولیش الکترونی:

این مرحله که در بسیاری از موارد پس از پولیش نهایی مورد استفاده قرار می گیرد اغلب برای نمونه های کوچک و در واقع برای فلزات خالص تجاری یا آلیاژهای تک فاز استفاده می گردد. نمونه ها را پس از پولیش الکترونی می توان با هر دو روش اچ الکترونی و اچ شیمیایی اچ نمود.

اچ شیمیایی: بمنظور مشاهده زمینه دانه های یوتکتیکی اندازه دانه ها بطور کلی برای بررسی ریز ساختارها و ساختارهای ماکروسکپی قطعات فلزی و آلیاژها معمولا از روش اچ کردن شیمیایی استفاده می کنند. همچنین برای تشخیص مرغوبیت خمیری و یکنواختی نمونه های آماده شده پس از صیقل نمودن روش اچ کردن بکار برده می شود. در موارد دیگر برای مشاهده عیوب ریختگی در مقیاس ماکروسکپی قطعات را اچ ماکروسکپی می نمایند. معمولا " برای اچ کردن نمونه های محلول های شیمیایی قوی که در داخل محفظه های مخصوص نگهداری می شوند مورد استفاده قرار می گیرند. همچنین اغلب محلول هایی که برای اچ ماکروسکپی بکار برده می شود پس از ترکیب شدن با فلز یا آلیاژ مورد نظر رسوباتی در روی سطح اچ شده باقی می گذارند و معمولا " به طریقه های شیمیایی یا مکانیکی آنها را از بین می برند. روش های علمی زیادی برای اچ ماکروسکپی و میکروسکپی مورد استفاده واقع می گردد اما بطور معمولی

روش های غوطه ور سازی و همچنین اچ مالشی بیشتر استفاده می کنند که در روش غوطه ورسازی نمونه مورد نظر را در داخل محلول اچ در مدت زمان معینی حرکت می دهند سپس با اب و الکل سطح انرا تمیز می کنند. پارچه نرم یا پنبه را به محلول اغشته کرده سپس بر روی سطح اچ شونده انرا به آرامی مالش می دهند تا سطح مورد نظر توسط محلول اچ خورده شود. اچ میکروسکپی به خاطر چند علت زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

الف) بمنظور ظاهر شدن ساختار زمینه دار دانه های یوتکتیکی و فازها.

ب) بمنظور ظاهر شدن جزئیات بیشتر در ساختار میکروسکپی از قبیل شاخه های دندریتی مرز دانه ها و هسته دار شدن دانه ها.

در بیشتر مواد لازم است که محلول های اچ متفاوتی را برای میکروسکپی مورد آزمایش قرار دهند وقتی ممکن است که در برخی موارد با یک محلول اچ به نتیجه دلخواه دست یافت یا اینکه برای اچ شدن مناسب یک قطعه انرا با چندین محلول اچ شیمیایی متوالا اچ نمود. بهر حال برای اغلب فلزات و آلیاژی که ساخته شده است محلول های شیمیایی برای اچ کردن آنها مشخص شده است که در جداول مربوطه می توان به آنها دسترسی پیدا کرد. بطور مثال برای چدن های غیر آلیاژی و بخصوص برای مشاهده ساختار پرلیتی در چدن ها و همچنین بدلیل انکه شکل گرافیتها در حین اچ کردن کیفیت خود را از دست ندهد از محلول پیکران استفاده می کنند. یا بطور معمولی برای

مشاهده مرزدانه های فریت از محلول نایتال استفاده استفاده می کنند در حالی که محلول شکل گرافیت را تغییر داده و باعث متورم شدن آنها می شود. پس از اتمام مرحله اچ کردن بآید نمونه های اچ شده را با دقت شسته و سپس خشک کرد در غیر این صورت پس از مدتی زمان کوتاه علائم زنگ زدگی در روی سطح اچ شده بوجود می آید که موجب اختلال در مورد بررسی های میکروسکپی خواهند گردید بخصوص در مورد نمونه هایی که اچ کردن آنها بطور عمقی صورت می گیرد. شستوشوی نمونه بآید با دقت کافی و بطریق غوطه ور سازی انجام گیرد و توصیه می گردد که نمونه های مربوط به قطعات ریخته شده از فولادها و چدنهای پس از پایان کار با الکل شسته شود سپس در داخل استون کاملاً غوطه ور گردند سپس در داخل جریان هوای گرم کاملاً خشک شوند.

#### رعایت نکات ایمنی:

محلول های شیمیایی که به منظور اچ کردن مورد استفاده قرار می گیرند اغلب دارای اثرات خوردگی شدید سمی و حالت تبخیری و در بسیاری از موارد قابل اشتعال و انفجار هستند بهمین جهت ساختن و استفاده اینگونه محلول ها رعایت نکات ایمنی کاملاً ضروری و لازم است.

پیش بینی موارد احتیاطی لازم در جداول مربوطه یادآوری شده است اما به هر جهت لازم

است در تمامی مواقع پیش بینی ها و احتیاط هایی از قبیل: پوشیدن دستکش حفاظتی-

عینک و حفاظ های چشم-استفاده از هواکش و نیز خودداری از استعمال دخانیات

کاملاً" مورد دقت نظر قرار می گیرند.

ساختار ماکروسکپی فولاد ریختگی:

با در نظر گرفتن عناصر محلول در مذاب فلز و آلیاژ و اندازه شکل و خواص قالب و

همچنین درجه حرارت و ریختن مذاب ان ساختارهای مختلفی پس از انجماد در داخل

قالب ایجاد شده بلورها و جامد های اولیه که بلورهای تبرید شده (chill) نیز گفته می

شود.اندازه های بسیار کوچک بر روی دیواره های قالبی بوجود آورده و معمولاً "بعلت

گرمای بیش از حد مذاب و همچنین به مناسبت کم بودن هدایت حرارتی ماسه مجدداً"

ذوب و در نتیجه بطور عادی مشاهده آنها در قطعات ریخته گری شده امکان پذیر

نمی گردد.

مرحله بعدی در روند انجماد شکل گرفتن بلورهای بلندی است که در جهت شیب

حرارتی و عمود بر دیوار قالب رشد می کنند و بدلیل شکل های مشخصی که این بلورها

دارند آنها را بلورهای ستونی می نامند و دارای اندازه و طول محدودی در فولادهای

کربنی ساده و فولادهای آلیاژی هستند اما همین بلورها در فولادهای پرآلیاژ دارای

اندازه و طول های بزرگتری بوده و تقریباً" در تمامی سطوح قطعه گسترده شده اند. در فولادهای کربنی ساده و فولادهای کم آلیاژی امکان جوانه زنی و رشد داشته باشند و منطقه مرکزی شش تشکیل خواهند گردید و همچنین ساختار ماکروسکپی کاملاً" از بلورهای شاخه ای تشکیل گردیده است.

در صورتی که فولادهای پرآلیاژی حکاری هیچ گونه علامت و نشانه از بلورهای شاخه ای یا رشد دندریتی در ساختار ماکروسکپی ظاهر نمکنند. حتی در فولادهای کربنی ساده و فولادهای کم آلیاژی نیز ساختار داخلی همیشه بصورت دندریتی نبوده و در بسیاری موارد نیز بلورهای کوچکی شکل می گیرند که آنها را بلورهای هسته ای نیز می نامند. به همان ترتیبی که در شکل (۲۴۱) نشان داده شده است بجز چند بلور هم محور منطقه مرکزی تقریباً" بطور کامل از بلورهای هسته ای تشکیل گردیده است. اما در قطعات که بطریقه ریخته گری گریز از مرکز تولید می شوند در اصل حرارت از یک جهت و توسط قالب فلزی به خارج هدایت می گردد و در نتیجه امکان دارد مناطق بصورت تماماً" ستونی (۲۴۲-الف) مخلوطی از ستونی و هم محور (۲۴۲-ب) یا بطور کامل از بلورهای هم محور (۲۴۲-ج) تشکیل شده باشد.

## ساختار داخلی و خواص فولادهای کربنی ساده:

آلیاژ و آلیاژهایی که در نتیجه اضافه کردن کربن و عناصر آلیاژی دیگر به آهن تولید می گردند ارزش زیادی در صنعت داشته و دارای کاربرد و موارد استفاده متنوع و بسیار وسیعی هستند. به همان ترتیبی که قبلاً" نیز اشاره شد تقسیم بندی فولادهای کربنی ساده بر اساس درصد کربن بصورت فولادهای یوکتوئیدی با ۰,۸٪ کربن و فولادهای قبل از یوکتوئیدی با کمتر از ۰,۸٪ کربن و ساختار فریت و پرلیتی و فولادهای بعد از یوکتوئیدی با بیشتر از ۰,۸٪ کربن و ساختار میکروسکپی سمانتیت و پرلیت است که این فولادها عاری از عناصر آلیاژی دیگر بوده و فآیده اصلی آنها در ارزان بودن آنهاست. ضمناً" تقسیم بندی دیگری که اغلب در این فولادها مورد استفاده قرار می گیرد و یک تقسیم بندی نسبتاً" عملی تری است بصورت زیر انجام می گیرد:

(۱) فولادهای کم کربن : .... میزان کربن ۰,۲ درصد ....

(۲) فولادها با کربن متوسط: .... میزان کربن در حدود ۰,۲ تا ۰,۵ درصد....

(۳) فولادهای پر کربن .... میزان کربن بیش از ۰,۵ درصد....

نمونه ای از موارد کاربرد فولادهای کربنی ساده:

فولادهای ریخته گری شده کم کربن در عموم قطعات مهندسی ساختمان - کشتی ها -  
راه آهن و کارهای ساختمانی دیگر و در مواردی که احتیاج به کاری سخت و محکم و  
قابل اطمینان باشد بسیار مناسب هستند.

همچنین این فولادها دارای قابلیت جوشکاری خوب - نفوذپذیری مغناطیستی زیاد و در  
مواردی که قطعات بطور سطحی سخت گردند مورد استفاده قرار می گیرند.

فولادهای ریخته گری شده با کربن متوسط در قطعات مربوط به راه آهن و صنایع حمل  
و نقل دیگر ماشین الات و دستگاههای نورد معادن راه سازی و ساختمان سازی و در  
مواردی که سایش در حد متوسطی مورد لزوم باشد بسیار نامناسب هستند.

فولادهای ریخته گری با کربن زیاد (پر کربن) در مواردی از قبیل خم کردن و شکل  
دادن قطعات - ساخت فولادها - غلطکها - ابزارالات ماشین های صنعتی و در مواردی که  
سختی قابل ملاحظه ای در قطعات ریخته گری شده مورد احتیاج است - در قطعات با

مقاومت در مقابل سائیدگی خوب زیاد مورد استفاده قرار می گیرند.

تاثیر میزان کربن در ساختار میکروسکوپی فولادهای سیاه تاب:

در حالتی که یک فولاد کربنی با میزان تقریبی کمتر از ۰,۵٪ کربن به آرامی در یک  
قالب سرد گردد اولین فاز جامدی که در آن بوجود می آید فاز دلتا می باشد که با ادامه

سرد شدن این فولاد فاز درشت استنیت از ترکیب فاز دلتا و مذاب موجود ایجاد گردیده و به همین ترتیب نیز با کاهش درجه حرارت فاز استنیت به یک ساختار فریتی به شکل ساختار صفحه ای ویدمن اشتاتن تجزیه میگردد. در این حال استنیت باقی مانده و در درجه حرارت یوتکتوئیدی به پرلیت تغییر حالت داده و در مورد نتیجه پس از انجماد ساختار نهایی فولاد حاوی مزیتی ویدمن اشتاتن به رنگ روشن است که در مرز دانه های استنیت رسوب کرده و بقیه ساختار داخلی فولاد در این حالت به رنگ تیره از لایه های فریت و سمانتیت و پرلیت تشکیل می گردد.

بطور کلی فولاد فوق در شرایط سیاه تاب دارای خواص پایینی است و معمولاً برای دسترسی به خواص بهتر در این نوع فولادها آنها را پس از ریخته گری در داخل یک کوره تا درجه حرارت استنیت حرارت می دهند که میزان درجه حرارت اعمال شده بستگی کاملی به میزان درصد کربن محتوی فولاد خواهد داشت سپس بمنظور بدست آوردن خواص و ساختار دلخواه قطعات فولادی را با سرعت مناسبی سرد می کنند.

شکل های (۲۴۳) تا (۲۴۹) تاثیر افزایش کربن را در ساختارهای میکروسکپی فولادهای قبل از یوتکتوئیدی نشان می دهند.

ساختار سطوح مقاطع میکروسکپی فولادهای پس از اچ کردن توسط محلول ۲٪ نایتال مناطق تیره رنگ پرلیتی و سفید رنگ فریتی را که فریت بشکل ویدمن اشتاتن از دانه های استنیتی اصلی تشکیل گردیده است نشان می دهند. همچنین سرد شدن نسبتاً آرام



قطعات در قالب های ماسه ای باعث درشت تر شدن لایه های پرلیتی در ساختار آنها گردیده است بطوری که در شکل های (۲۴۵) و (۲۴۹) ملاحظه می گردد بدلیل افزایش مقدار منگنز محتوی فولاد ترکیب شیمیایی یوتکتوئیدی تغییر کرده و در نتیجه نسبت پرلیت و فریت با در نظر گرفتن مقدار عادی و از قبل پیش بینی شده آنها را در دیاگرام عادی آهن-کربن افزایش یافته است. شکل (۲۴۸) ساختار یک منطقه پرلیتی را که حاوی لایه های فریت و سمانتیت است در بزرگنمایی بیشتر از ۵۰ برابر نشان می دهد و نیز ساختار میکروسکپی از سطح مقطع ریخته گری یک فولاد بعد از یوتکتوئیدی با مقدار کربن ۱,۲٪ که حاوی فازهای سمانتیت اولیه در مرزدانه های استنیتی و جزایر پرلیتی است در شکل (۲۵۰) مشاهده می گردد.

بافت:.....memory

این نوع ساختارهای میکروسکپی که اغلب در فولادهای ریختگی مشاهده می گردند در نتیجه عملیات حرارتی و سرد کردن آرام فولاد از درجه حرارت استنیتی ایجاد می گردد. در شکل های (۲۷۸) و (۲۷۹) ساختار میکروسکپی یک فولاد سیاه تاب (ماکروسکپی) مشاهده می گردد.

عملیات حرارتی فولادهای کم کربن (۰,۲٪)

در شکل های (۲۵۱) تا (۲۵۸) نمونه ساختارهای میکروسکپی یک فولاد کم کربن پس از عملیات حرارتی مختلف مشاهده می شوند.

سیکل عملیات حرارتی	نوع عملیات حرارتی
بمدت دو ساعت در حرارت ۹۵۰ درجه سانتیگراد	(۱) تابکاری
بمدت دو ساعت در حرارت ۹۵۰ درجه سانتیگراد	(۲) نرمال کردن
بمدت دو ساعت در حرارت ۹۵۰ درجه سانتیگراد	(۳) کونچ روغن
بمدت دو ساعت در حرارت ۹۵۰ درجه سانتیگراد	(۴) کونچ در اب
الف: بمدت دو ساعت در حرارت ۸۷۰ درجه سانتیگراد	(۵) کونچ در روغن و تمپر

ب: بمدت یک ساعت در حرارت ۶۵۰ درجه سانتیگراد

عملاً " کونچ کردن قطعات فولادی بدون باز پخت در صنعت مورد استفاده قرار نمی گیرد.

ساختارهای میکروسکپی:

شکل ۲۵۱: تابکاری شده - حاوی دانه های چند وجهی فریت و پرلیت.

شکل ۲۵۲: نرمال شده - توزیع ظریف تر دانه های فریت و پرلیت.

شکل ۲۵۳: کونچ در روغن شامل فریت های ریز و سوزنی شکل و پرلیت.

شکل ۲۵۴: کونچ در اب شامل بینایت فوقانی - مقداری ساختار مارتنزیتی.

شکل ۲۵۵: کونچ در روغن و باز پخت- فریت بمقدار کمتری بصورت سوزنی شکل

بوجود آمده و پرلایت های ریز بصورت کروی شکل ایجاد گردیده است.

شکل ۲۵۶: کونچ در اب و بازپخت-شامل مخلوطی از بازپخت-بینایت-مارتنزیت-فریت.

شکل ۲۵۷: کونچ در روغن و باز پخت- مشابه شکل ۲۵۵.

شکل ۲۵۸: کونچ در اب و باز پخت- مشابه شکل ۲۵۶.

نمونه ای از خواص مکانیکی:

کونچ در اب و باز	نرمال شده	تابکاری شده	پخت
۵۴۰	۴۸۷	۴۵۶	استحکام کششی
۳۸۰	۲۸۹	۲۵۸	تنش تسلیم (N/MM)
۳۰	۲۶	۲۸	درصد ازدیاد طول نسبی
۶۰	۴۵	۵۰	درصد کاهش سطح مقطع

عملیات حرارتی فولاد با کربن متوسط:

در شکل های (۲۵۹) تا (۲۶۶) نمونه ساختارهای میکروسکپی یک فولاد با کربن متوسط

پس از عملیات حرارتی های مختلف مشاهده می شود:

سیکل عملیات حرارتی	نوع عملیات حرارتی
بمدت ۲ ساعت در حرارت ۹۲۰ درجه	(۱) تابکاری کردن
" " " " " "	سانتیگراد
" " " " " "	(۲) نرمال کردن :
" " " " " "	(۳) کونچ در روغن :
" " " " " "	(۴) کونچ در اب:
" " ۹۰۰ " " " الف:	(۵) کونچ در روغن و باز پخت:
" " ۶۵۰ " " ۱ " ب:	
" " ۹۰۰ " " ۲ " الف:	(۶) کونچ در اب و باز پخت:
" " ۶۵۰ " " ۲ " ب:	

عملیات حرارتی شماره ۳ تا ۶ عملاً در صنعت انجام می گیرد.

### ساختارهای میکروسکپی:

شکل ۲۵۹: تابکاری شده- حاوی ساختار فریتی و پرلیتی.

شکل ۲۶۰: نرمال شده- توزیع ریزتر فریت و پرلیت.

شکل ۲۶۱: کونچ در روغن شامل ساختار بینایت و پرلیت کاملاً ریز.

شکل ۲۶۲: کونچ در اب- حاوی یک ساختار مارتنزیتی و بینایتی.

شکل ۲۶۳: کونچ در روغن و بازپخت- بینایت و پرلیت.

شکل ۲۶۴: کونچ در اب و بازپخت - تمپر مارتنزیت و باز پخت بینایت.

شکل ۲۶۵: کونچ در روغن و باز پخت - مشابه شکل ۲۶۳.

شکل ۲۶۶: کونچ در روغن و باز پخت - مشابه شکل ۲۶۴.

..... نمونه خواص مکانیکی.....

تابکاری شده	نرمال شده	کونچ در روغن و بازپخت	کونچ در اب و باز پخت
استحکام ۶۷۲	۷۰۴	۷۹۵	۸۰۶
تنش تسلیم ۳۷۸	۱۵	۴۹۴	۵۸۶
%/ازدیاد			

۱۴

۱۵

۱۵

طول نسبی ۱۶

% کاهش

۳۰

۲۸

۲۴

سطح مقطع ۲۵

عملیات حرارتی فولاد پر کربن (۰.۶۴):

در شکل های (۲۶۷) تا (۲۷۴) نمونه ساختارهای میکروسکپی یک فولاد پر کربن و

پس از عملیات حرارتی های مختلف مشاهده می شود:

ساختارهای میکروسکپی:

شکل ۲۶۷: تابکاری شده - ساختار فریتی و پرلیتی.

شکل ۲۶۸: نرمال شده - ساختار فریتی و پرلیتی ریز.

شکل ۲۶۹: کونچ در اب - ساختار مارتنزیتی.

شکل ۲۷۰: کونچ در اب - مشابه شکل ۲۶۹.

شکل ۲۷۱: کونچ در اب و باز پخت - پرلیت باز پخت شده - بینایت و مناطقی از فریت.

شکل ۲۷۲: کونچ در اب و باز پخت - مارتنزیت باز پخت شده.

شکل ۲۷۳: کونچ در روغن و باز پخت - مشابه ساختار شکل ۲۷۱.

شکل ۲۷۴: کونچ در اب و باز پخت - مشابه ساختار شکل ۲۷۲.

## فولاد های مقاوم در مقابل حرارت:

فولادهای مقاوم در مقابل حرارت دارای (۱۳-۳۰٪) کرم بوده و در محیط های اکسید کننده و احیا کننده مقاومت بسیار خوبی از خود نشان میدهند و به همان صورتی که در بخش مربوط به فولادهای محتوی (۱۳٪) کرم (۴٪) نیکل (۱۷٪) کرم (۲،۰٪) نیکل نشان داده شد. فولادهایی که محتوی کرم هستند دارای ساختار مارتنزیتی بوده و کاربرد آنها حداکثر به حرارت تقریبی  $750^{\circ}\text{C}$  محدودیت پیدا میکند. اما در صورت صورتی که مقدار کرم در این فولادها به مقادیر بیشتری افزایش یابد باعث ازدیاد مقاومت آنها در مقابل اکسیداسیون در درجه حرارت های بیشتر می گردد. بدیهی است که میزان کربن محتوی فولاد تاثیری زیاد بر روی ساختار میکروسکوپی آن دارد بطوری که نسبت به میزان کربن حتی در فولادهای با مقدار ۲۰٪ کرم می توان ساختاری بصورت فریتی ایجاد کرد و بهمین جهت قطعات ریختهگری شده فولادهای تجاری با میزان ۲۵ تا ۳۰٪ کرم با وجود داشتن (۰،۵-۱،۵) درصد کربن یا حتی بالاتر بطور ثابت دارای ساختار فریتی و اندازه دانه های بزرگی هستند.

بمنظور تولید فولادهای استنیتی مقاوم در برابر حرارت در حدود ۴۰٪ نیکل به فولاد اضافه می شود که در ضمن افزایش این نوع فولادها در مقابل اکسیداسیون در صورتی که این عنصر در فولادها همراه با عنصر کرم باشد باعث افزایش و بهبود خواص

مکانیکی مانند استحکام و نرمی نیز در آنها می گردد و عناصر آلیاژی دیگر از قبیل کبالت C0 تنگستن W نیز دارای اثرات مشابهی هستند.

افزودن عنصر نیکل در فولادهایی که محتوی کرم زیادی هستند می تواند باعث افزایش بهتر فاز استنیت به فریت در ساختار آنها گردیده و نسبت به مقدار عناصر آلیاژی دیگر در فولاد ساختار زمینه می تواند بطور کامل استنیتی شود وقتی به میزان ۱۴٪ برسد.

### ساختار میکروسکپی:

ساختار میکروسکپی فولاد آلیاژی محتوی ۰,۸٪ کربن و ۲۸٪ کرم در شکل های ۳۴۵ و ۳۴۶ نشان داده شده است. ساختار زمینه در این فولاد فریتی به رنگ خاکستری همراه با مقدار کمی از فاز استنیت است که در بین دندریتها پخش گردیده است. همچنین تعدادی از کاربیدهای ثانویه در داخل دانه ها و نیز کاربیدهای اولیه در مرز دانه ها رسوب یافته اند. در صورتی که مقدار نیکل تا ۱۲٪ افزایش یابد باعث ایجاد ساختار زمینه استنیتی همراه با بخش های کوچکتری از فریت که در شکل ۳۴۷ و ۳۴۸ مشاهده می شود. که ملاحظه می گردد فازهای فریتی عموماً " در مرزدانه ها و در برخی موارد نیز توسط کاربیدهای اولیه که از تحول یوتکتیکی بوجود آمده اند احاطه گردیده اند. حال در صورتی که موارد نیکل به ۲۰٪ افزایش یابد ساختار زمینه بطور صد در صد به استنیت تبدیل شده شکل های ۳۴۹ و ۳۵۰ ساختار میکروسکپی فولاد آلیاژی محتوی ۰,۴٪



کربن و ۳۵٪ نیکل و ۲۵٪ کرم و نیز فولاد حاوی عناصر آلیاژی ۰،۴٪ کربن ۴۰٪ نیکل و ۲۰٪ کرم در شکل های ۳۵۱ و ۳۵۲ نشان داده شده است.

به همان ترتیب که مشاهده می گردد کاربیدهای اولیه در این ساختارهای میکروسکوپی مشابه کاربیدهای اولیه در شکل ۳۴۹ و ۳۵۰ از تحول یوتکتیکی بوجود آمده و در مرز و همچنین داخل دانه ها قرار گرفته اند و نیز نسبت به آنها پیوسته و گسترش یافته تر هستند. از طرف دیگر مشخص تر شدن و پیوستن بیشتر کاربیدها در این نمونه ها بدلیل افزایش بیشتر مقدار نیکل در این نوع فولادهای کرم دار است.

#### فولادهای ضد زنگ با سختی رسوبی:

این نوع فولادها مقاومت بسیار خوبی در مقابل خوردگی داشته و دارای تنش تسلیم و استحکام کششی عالی هستند. از طرف دیگر بعلاوه زیاد بودن سختی در آنها مقاومت خوبی در مقابل سایش داشته و همچنین دارای قابلیت جوشکاری عالی و از نظر چکش خواری نیز در حد قابل قبول هستند. اما چون خواص مورد نظری که در بالا بدان اشاره شد نسبت به سیکل های اعمال شده توسط عملیات حرارتی بر روی این فولادها بسیار حساس است. به این علت در بیشتر حالات بایستی این عملیات بطور کاملاً "مناسبی بر روی این فولادهای مورد نظر اعمال گردد تا خواص بدست آمده در حد قابل قبولی در آنها ایجاد گردد.

ساختار میکروسکپی این نوع فولادها به سه دسته تقسیم می شوند:

(۱) ساختار مارتنزیتی (۲) ساختار استنیتی (۳) ساختار نیمه استنیتی

این فولادها برای استفاده در محیط های خورنده و ساینده بسیار مناسب بوده و از طرف دیگر با یک عملیات حرارتی ساده در درجه حرارت کم و بطور مثال در حرارت  $490^{\circ}\text{C}$  می توان سختی فولاد را بهبود بخشید. به همین ترتیب مشکلات جانبی دیگر از قبیل تنش های داخلی و پیچیدگی های داخلی را در فولاد و پیوسته شدن در سطح فولاد را نیز می توان با این روش به حداقل مقدار در قطعه کاهش داد.

ساختار میکروسکپی:

ساختار میکروسکپی فولاد آلیاژ مصرفی  $14\%$  کرم و  $4\%$  نیکل و  $2\%$  مولیبدن و  $2.5\%$  مس و  $0.06\%$  کربن در شکل های  $353 - 354$  و همچنین ساختارهای مربوط به فولاد آلیاژی محتوی  $17\%$  کرم و  $4\%$  نیکل و  $2.5\%$  مس و  $0.06\%$  کربن در شکل های  $355 - 356$  نشان داده شده اند.

ساختارهای میکروسکپی

دو فولاد آلیاژی فوق در شرایط عملیات حرارتی شده و بدون عملیات حرارتی کاملاً مارتنزیتی بوده و بعلت آنکه در ساختارهای مورد نظر در بزرگنمایی های کمتر مورد

بررسی قرار گرفته اند در نتیجه رسوب هایی که باعث سخت گردیدن و بیشتر شدن استحکام در فولادهای مذبور گردیده در زیر میکروسکوپ قابل رویت نیستند.

### چدن ها Cast Iron.....

چدن ها آلیاژی از آهن و کربن هستند که حاوی تعداد دیگری عناصر آلیاژی مانند: سیلیسیم - منگنز - گوگرد و فسفر هستند. ترکیبات یوتکتیکی چدن ها شامل گرافیت (کاربید آهن) و استنیت است که در ادامه سرد شدن فاز استنیت به فازهای دیگر تبدیل می شود و بهمین ترتیب عوامل مهم دیگری که خواص چدن های ریختگی توسط آنها تعیین می گردد مقدار اندازه - شکل و توزیع گرافیت ها و یا کاربید آهن است یا به عبارت دیگر کنترل عوامل نامبرده مهمترین اصل در تولید چدن ها می باشد. تغییر عواملی از قبیل ترکیب شیمیایی - نحوه جوانه زنی - سرعت انجماد در چدن ها و نیز برخی عناصر آلیاژی در مقادیر بحرانی باعث تغییر زیادی در نوع شکل - اندازه و توزیع گرافیت ها می گردد.

استحکام در چدن های خاکستری به نسبت گرافیت های نرم مناسبتر است یا عبارت دیگر استحکام در این نوع چدن ها به نزدیکتر بودن درصد کربن چدن به ترکیب یوتکتیکی بستگی دارد.

ساختار زمینه در این چدن‌ها تاثیر زیادی در استحکام آنها دارد. کمتر بودن مقدار سیلیسیم در چدن‌ها یا زیادتر بودن برخی عناصر آلیاژی از قبیل کرم و مجموعه عوامل که از تجزیه کردن جلوگیری می‌کند موجب می‌شود که دسته سومی از چدن‌ها تحت عنوان چدن‌های سفید با سختی زیاد قابلیت ماشین کاری کم و مقاطع شکست سفید تولید شود. چدن‌های چکش خوار گروه دیگری از چدن‌ها هستند که دارای اهمیت زیادی در صنعت بوده بمنظور تولید این چدن‌ها ابتدا قطعات را بصورت چدن سفید ریخته گری و سپس با استفاده از یک سیکل عملیات حرارتی مناسب کاربیدها را تجزیه کرده و گرافیت به اشکالی خاص رسوب پیدا می‌کند. در ساختار میکروسکوپی چدن‌ها گرافیت‌ها و کاربیدهای یوتکتیکی سهولت در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص هستند. گرهفیت‌ها را می‌توان حتی در مقطع پولیش شده و بدون اچ به وضوح مشاهده کرد در حالیکه برای تشخیص کاربیدها سطح مقطع پولیش شده از نمونه حداقل بمقدار کمی اچ گردد و ترکیب مهم دیگری که در نتیجه تحول یوتکتیکی بوجود می‌آیند فاز استنیت است که این فاز در مراحل نهایی انجماد حین سرد شدن قطعه به فازهای فریت و پرلیت یا فازهای تغییر یافته دیگر که زمینه نمونه را تشکیل می‌دهند اطراف گرافیت‌ها یا کاربیدهای یوتکتیکی را احاطه می‌کنند.

ساختار عمومی چدن های با گرافیت ورقه ای:

برخی از ساختارهای میکروسکپی در چدن های خاکستری را که در اصل بشکل میله ای با قطر 30 mm در قالب ماسه ای ریخته گری شده است در شکل ۸۹ تا ۹۲ مشاهده کرد. در شکل ۸۹ ساختار میکروسکپی یک چدن خاکستری قبل از یوتکتیکی نشان داده شده است. بمنظور مشاهده ساختار ماکروسکپی ابتدا توسط سمباده نرمی ساییده شده سپس بمدت ۲ دقیقه با محلول stedut اچ می گردد. در بررسی ساختار ماکروسکپی جزایر یوتکتیکی دارای ۴,۶ سلول در هر سانتیمتر مربع هستند و نیز جدایش عناصر ناخالصی که اغلب در چدنهای با فسفر زیاد بوجود میآید در مرز سلول ها می توان مشاهده کرد. ساختار سطح مقطع میکروسکپی یک نمونه اچ شده از چدنهای خاکستری ۹۰ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود در زمینه بجز گرافیت های ورقه ای هیچ گونه جزئیات دیگری قابل رویت نیست. در شکل ۹۱ ساختار میکروسکپی اچ شده از یک چدن خاکستری قبل از یوتکتیکی مشاهده می گردد که حاوی گرافیت های ورقه ای با زمینه ای کاملاً پرلیتی می باشد. در شکل ۹۲ ساختار سطح مقطع چدن مربوط بشکل ۹۱ پس از اچ عمقی توسط میکروسکوپ الکترونی نشان داده شده است. در این نوع میکروسکوپ ها شکل سه بعدی و شعاعی گرافیت ها به سادگی قابل مشاهده است.

تغییر کربن معادل در چدن های خاکستری:

مقدار گرافیت های ورقه ای مهمترین عاملی است که بر روی استحکام و خواص دیگر چدن خاکستری تاثیر می گذارد و تغییر در درمان مقدار آنها علت اصلی تغییر استحکام چدن ها می باشد که با استاندارد انگلیسی BS1457 مشخص شده است. ساختار زمینه در صورتی پرلیتی کامل است که مقدار سیلیسیم کمتر یا مقدار منگنز زیادتر باشد و بهمین ترتیب بر اثر وجود مقادیر بسیار کم و جزئی از عناصر پایدار کننده پرلیت از قبیل آرسنیک - کرم - مس - نیکل و قلع در موارد اولیه با قراضه های برگشتی می توان زمینه ای کاملاً "پرلیتی بدست آید.

در مورد چدن هایی که دارای استحکام کمتری هستند ساختار زمینه دارای اهمیت کمتری نسبت به نوع گرافیت ها در چدن است. در صورتی که در چدن های با استحکام و مقاومت زیاد نوع ساختار زمینه اهمیت زیادی دارد بطوریکه در چنین مواردی سعی می شود تا ساختارهایی کاملاً "پرلیتی یا بینایتی تولید گردد.

تأثیرات تغییرات ضخامت در ساختار میکروسکپی چدن خاکستری:

با افزایش ضخامت قطعه در چدن خاکستری استحکام افت می کند و بهمین دلیل معمولاً یک نمونه ای میله ای با قطر ۳۰ میلی متر بعنوان مرجع برای استحکام و ساختار مورد استفاده قرار می گیرد.

ساختار میکروسکپی:

چگونگی افزایش ابعاد گرافیت ورقه ای شکل با زیادتر شدن سطح مقطع یک میله ریخته گری شده در قالب ماسه ای به قطر ۱۵ میلی متر در شکل های ۱۰۳ تا ۱۰۶ نشان داده شده است که تمام ساختارهای مسکروسکپی دارای زمینه ای پرلیتی می باشد. ساختار سطح مقطع میله ای به قطر ۳۰ میلی متر در شکل ۹۵ نشان داده شده است که اطلاعات مربوط به آن در جدول زیر آورده شده است:

طبقه بندی گرافیت:

اندازه	نوع	
۴	A	شکل ۹۵:
۵	A	شکل ۱۰۳:
۴	A	شکل ۱۰۴:
۳	A	شکل ۱۰۵:

تلقیح موارد گرافیت زا در چدن خاکستری:

تلقیح یک ماده جوانه زا در چدن خاکستری عبارت است از اضافه کردن مقدار کمی از آن ماده بمنظور ازاد شدن گرافیت ها از حالت ترکیبی سمانتیت که در این حالت شکل های یوتکتیکی در ساختار چدن افزایش پیدا کرده همچنین فوق تبرید در حین انجماد نیز کاهش می یابد. بطور کلی مواد جوانه زا را اغلب بصورت ترکیباتی آلیاژی شامل عنصر جوانه زا است که بطور مثال مواد جوانه زایی که در چدن ها مورد استفاده قرار می گیرد معمولاً "فروسیلیسیم و کلسیم سیلیس است.

یک ماده جوانه زای مناسب عبارت است از ماده ای که افزودن مقادیر کمی از آن بدون آنکه تغییر قابل ملاحظه در ترکیب شیمیایی آلیاژ کند اثر مناسب و کافی بر روی ساختار داخلی ایجاد کند. استحکام چدنی که قبل از تلقیح یک ماده جوانه زا دارای ساختار

گرافیتی است معمولاً پس از اعمال تلقیح بدلائل زیر افزایش میابد:

الف) افزایش در تعداد شکل های یوتکتیک



ب) گرافیت های فوق تبرید اغلب همراه با فریت هستند و در صورت ایجاد گرافیت های بدون جهت در این حالت اغلب زمینه بصورت کاملاً پرلیتی می گردد که در نتیجه استحکام را افزایش می دهد.

ج) مواد جوانه زای سیلیسیم دار معمولاً حاوی آلومینیوم هستند و وجود آلومینیوم در چدنهای پرلیتی باعث افزایش استحکام آنها می شود.  
ساختار میکروسکپی:

نمونه هایی که ساختار ماکروسکپی و اچ شده آنها قبل و بعد از تلقیح فرو سیلیسیم در شکل های ۱۱۱ و ۱۱۲ نشان داده شده اند بصورت میله ای و با قطر ۳۰ میلی متر در قالب ماسه ای ریخته گری گردیده اند که قبل از عمل تلقیح تعداد شکل یوتکتیکی کمتر شکل ۱۱۱ و تعداد زیادتر یوتکتیکی پس از عمل تلقیح در شکل ۱۱۲ مشاهده می گردد. بهمین ترتیب نمونه هایی که ساختار میکروسکپی و اچ نشده آنها قبل و بعد از تلقیح فرو سیلیسیم در شکل های ۱۱۳ و ۱۱۴ نشان داده شده اند بصورت میله ای و با قطر ۳۰ میلی متر در قالب ماسه ای ریخته گری گردیده که در شکل ۱۱۳ گرافیت های ورقه ای پس از مرحله یوتکتیکی و گرافیت های ورقه ای بدون جهت نسبت به گرافیت های موجود در شکل ۱۱۳ و ۱۱۴ مشاهده می شوند.

گرافیت نوع Rosette در چدن خاکستری:

در چدن هایی که حاوی مقادیر فسفر بوده و در قالبهای ماسه ای ریخته گری شده باشند بویژه در سطوح مقاطع ۶-۷ میلی متر و کمتر از آن و بدون استفاده از تلقیح مواد

جوانه زا گرافیت های نوع Rosette بدست می آیند. (شکل ۱۱۵)

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	کربن معادل
۳,۱	۲,۶	۰,۵	۰,۰۸	۰,۶	۴

چدن خاکستری با گرافیت های فوق تبرید:

گرافیت های فوق تبرید بسیار ریز بوده و بدون استفاده از مواد جوانه زا از چدن ها ایجاد می گردد (شکل ۱۱۳) این نوع گرافیت ها را می توان با نگهداری بیشتر مذاب قبل از ریختن آن بداخل قالب و همچنین در چدن هایی که دارای میزان گوگرد بسیار کمی هستند تا با خارج کردن هیدروژن داخل مذاب به یک نسبت و در سرتاسر قطعه گسترش داد. در شکل ۱۱۶ این نوع گرافیت ها یک چدن حاوی تیتانیوم و با استفاده از فوق گداز ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد و دمیدن گاز اکسید کربن بمنظور خارج کردن هیدروژن مذاب انجام گرفته است مشاهده می شود. نمونه مورد نظر بشکل میله ای به قطر ۳۰ میلی متر بوده که داخل قالب ماسه ای ریخته گری شده و ساختار سطح مقطع

میکروسکپی ان دارای زمینه ای فریتی با مقادیر بسیار کمی از پرلیت با رشد دندریتی است.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	تیتانیم	کربن معادل
۲,۱	۰,۶	۰,۵	۰,۱	۰,۱۵	۰,۱	۳,۶

ریخته گری چدن خاکستری در قالب های دائم:

معمولا "چدن های خاکستری که در قالب های دائمی فیزی ریخته گری می گردد از نوع چدن های بعد از یوتکتیکی هستند و بدلیل ایجاد کاربیدها در لبه ها تقاطع نازک قطعات را پس از ریخته گری انیل می کنند که بهمین لحاظ زمینه آنها اصولا" بصورت فریتی است.

ساختار میکروسکپی:

در شکل ۱۱۷ ساختار میکروسکپی چدن با مقدار کربن معادل زیاد مشاهده می شود که در یک قالب فلزی ریخته شده و در مرحله بعد در حرارت ۸۰۰-۹۵۰ درجه سانتیگراد انیل و سپس به آرامی سرد گردیده است. ساختار اینچدن حاوی گرافیت ورقه ای و

گرافیت فوق تبرید شده همراه با گرافیت های ضخیم و بعد از یوتکتیکی کیش Kish

در زمینه فریتی است.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	کربن معادل
۳,۶	۲,۷	۰,۵	۰,۰۸	۰,۷۵	۴,۷

ساختار میکروسکپی:

ساختار داخلی یک نمونه قالب شمش در بزرگنمایی کم در شکل ۱۱۸ نشان داده شده

است که دارای گرافیت ورقه ای بسیار درشت و سلول های یوتکتیکی بزرگ است. شکل

۱۱۹ ساختار میکروسکپی و اچ شده یک نمونه از قالب شمش را که حاوی گرافیت های

ورقه ای درشت در یک زمینه پرلیتی با فریت بسیار اندک است نشان میدهد. در شکل

۱۲۰ ساختار اچ شده یک قالب شمش با گرافیت فشرده نشان میدهد. در این ساختار

گرافیت های کروی در برخی نقاط بطور اتفاقی بوجود آمده و زمینه تماما " فریتی است.

گرافیت های فشرده در قطعاتی از جنس چدن خاکستری با مقاطع بزرگ:

گرافیت های فشرده که خود از نوع گرافیت های ورقه ای هستند بمنظور اصلاح

استحکام قطعاتی از جنس چدن خاکستری در مقاطع بزرگتر مورد استفاده قرار می

گیرند. برای ایجاد این نوع گرافیت ها شبیه به روش مورد استفاده در قالب شمش ها (شکل ۱۲۰) میتوان با اضافه کردن منیزیم - تیتانیم یا بوسیله ترکیب نیتروژن در چدن

هایی که دارای مقدار کمی از آلومینیوم - تیتانیم باشند.  
ساختار داخلی:

در شکل ۱۲۱ ساختار میکروسکوپی یک نمونه از چدنی که نیتروژن محتوی آن افزایش پیدا کرده مشاهده می شود:

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	نیتروژن	کربن معادل
۳,۶	۱,۷	۰,۷	۰,۰۵	۰,۱۵	۰,۰۰۸	۴,۲

فسفر در چدن خاکستری:

چدن های خاکستری مشابه چدن هایی که شرح داده شد ممکن است محتوی بیش از ۰,۵٪ فسفر باشد که معمولاً "چنین چدن های فسفردار کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. افزایش فسفر باعث افزایش بیش از حد سختی گردیده و در بیشتر موارد استحکام بیشتر از حد انتظار بوجود می آید.

ساختار داخلی:

در صورتیکه مقدار فسفر از ۰,۱۵٪ بیشتر باشد یک ترکیب یوتکتیکی در مناطق بین دندریتی و بین سلولی ساختار میکروسکپی ظاهر می شود. شکل‌های ۱۲۲ و ۱۲۳ ساختار میکروسکپی اچ شده از یک چدن خاکستری فسفر دار را نشان می دهد که حاوی گرافیت های ورقه ای و بدون جهت در زمینه ای از پرلیت فاز یوتکتیکی فسفید بصورت گوشه دار است و نا خالصی های سولفور منگنز که به صورت گوشه دار و خاکستری رنگ است در دو نقطه در شکل ۱۲۳ مشاهده میشود. شکل ۱۲۴ فسفر آهن را که با محلول اپی پرسولفات امونیوم اچ شده است نشان می دهد. در این ساختار میکروسکپی فاز یوتکتیکی فسفید بطور کاملاً واقعی بصورت شبکه ای بین سلولی توزیع شده و نسبت به بقیه ساختار بمیزان کمتری اچ گردیده است.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	کربن معادل
۳,۲	۲,۳	۰,۵	۰,۱	۰,۵-۱	۴,۲۵

ترکیب یوتکتیکی سه تائی فسفید در چدن:

فسفر در ترکیب یوتکتیکی بصورت فسفید آهن است که ساختار ترکیبی آن تغییر می کند. یوتکتیک سه تائی فسفید مخلوطی از سه فاز است که عبارتند از: فسفید آهن -

کاربید آهن و فریت که فاز استنیت نیز غنی از آهن است حین انجماد و سرد شدن تبدیل به فریت می گردد. یوتکتیک سه تائی فسفید اغلب در چدن‌ها با سیلیسیم کم است یا حاوی عناصر کاربیدزا از قبیل کرم - منگنز و در چدن‌های دارای سیلیسیم نسبتاً کم و مقاطع ریخته گری کوچکتر ایجاد می شود بطوری که در شکل های ۱۲۵ تا ۱۲۷ مشاهده می گردد. اجزا یوتکتیک سه تائی فسفید با روش های مناسب اچ ظاهر می شود. محلول های قلیایی پیکرات سدیم کاربید آهن را سیاه رنگ کرده و بر روی فازهای فریت و فسفید آهن اثری ندارد. در شکل ۱۲۶ اچ و ظاهرگشتن سه جز مورد نظر در یوتکتیک مذبور با محلول قلیا یی پیکرات سدیم نشان داده شده است.

چدن مقاوم در برابر حرارت:

این نوع چدن در برابر حرارت مقاوم بوده و حاوی ۶-۵٪ عنصر سیلیسیم و مقادیری تیتانیم است. ریخته گری چدن مورد نظر با فوق گداز مناسبی انجام می گیرد و ساختار میکروسکپی آن دارای گرافیت ظریف ورقه ای و گرافیت های فوق تبرید شده و زمینه ای صد در صد فریتی است.

ساختار:

ساختار سطح مقطع میکروسکپی یک نمونه از چدن (Stlal) ۲۰ میلی متر که در قالب های ماسه ای ریخته گری شده است در شکل ۱۳۰ مشاهده می شود. بمنظور ایجاد گرافیت های ورقه ای و گرافیت فوق تبرید شده دمای ذوب قبل از ریخته گری در

داخل قالب تا حرارت ۱۶۰۰ درجه سانتیگراد فوق گذاز بالاتر برده می شود زمینه این

نمونه صد در صد فریتی می باشد.

چدن های آلیاژی با ساختار وزنی شکل:

چدن های خاکستری که در شرایط ریخته گری زمینه بینایتی هستند به چدن های

آلیاژی با ساختار سوزنی شکل معروف هستند. این نوع چدنها محتوی عناصر مولیبدن-

نیکل و در برخی موارد مس هستند که عهده دار وظایف سنگین حین کار بوده و

استحکام و خواص مهم دیگری مانند خستگی و مقاومت در برابر سایش از ویژگی های

آنهاست. عناصر آلیاژی سیلیسیم- نیکل و مولیبدن در این چدنها دارای مقادیر بحرانی

بوده و نسبت به سطح مقطع قطعه ریخته گری متغییر است و از طرف دیگر بعلت

ترکیب پیچیده ای که مولیبدن و فسفر ایجاد می کند و در نتیجه باعث جلوگیری از

ایجاد و گسترش کامل ساختار سوزنی شکل در قطعه می گردد. بایستی مقدار فسفر در

حد بسیار کمی نگه داشته شود. ایجاد سهختار بینایتی در آلیاژها بوده و برخی موارد حتی

بدون اضافه کردن عناصر آلیاژی خاص توسط عملیات حرارتی استمپرینگ در سطوح

مقاطع ریختگی نازک امکان پذیر است.



ساختار:

قطعه ریخته گری شده از این آلیاژ بشکل میله ای و به قطر ۳۰ میلی متر در قالب مهسه ای است. ساختار میکروسکپی نمونه ای از قطعه ریخته گری شده در فوق دارای یک ساختار سوزنی شکل همراه با مقادیر جزئی پرلیت و کاربیدها در زمینه نمونه حاوی گرافیت های ورقه ای متوسط است. شکل ۱۳۱ فلزات آهنی در مواردی که دارای ساختار سوزنی شکل باشند اصولاً "بگونه ای ناهمگن و غیریکنواخت اچ می شوند.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن سیلیسیم منگنز گوگرد فسفر نیکل مولیبدن

۰,۷-۰,۹ ۲,۲-۲,۵ ۰,۰۸ ۰,۱ ۰,۵-۱ ۲,۲-۲,۵ ۲,۷-۳,۲

چدن خاکستری با ساختار مارتنزیتی:

با استفاده از عناصر آلیاژی می توان سختی و مقاومت به سایش را با یک ساختار مارتنزیتی افزایش داد. شکل ۱۳۲ ساختار میکروسکپی نمونه ای از یک قطعه میله ای شکل به قطر ۳۰ میلی متر را که در قالب ماسه ای ریخته گری شده است را نشان می دهد که عنصر آلیاژکننده آن نیکل بوده و ساختاری شامل زمینه ای کاملاً "مارتنزیتی با مقادیر جزئی از فاز استنیت باقی مانده و به رنگ روشن میباشد.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن سیلیسیم منگنز گوگرد فسفر نیکل

۲-۳,۳ ۱-۱,۴ ۰,۵-۱ تا ۰,۱ تا ۰,۰۸ ۴,۸-۵,۲

عملیات حرارتی چدن های خاکستری:

اصول عملیات حرارتی که برای چدنهای خاکستری مورد استفاده قرار می گیرد شامل

الف) عملیات حرارتی تابکاری بمنظور نرم و بهتر کردن قابلیت تراشکاری قبل از عملیات سخت کردن.

ب) اصلاح و بهبود استحکام سختی و مقاومت سایشی از طریق عملیات حرارتی و باز پخت کردن چدن ها.

ساختار داخلی:

شکل ۱۳۳ ساختار میکروسکپی یک چدن محتوی فسفر را که در یک مقطع نازک

ریخته گری شده است را نشان می دهد. این نمونه قبل از لعاب دادن در حرارت ۸۵۰ تا

۹۵۰ درجه سانتیگراد تابکاری سپس به آرامی سرد شده است. ساختار میکروسکپی در

این چدن حاوی گرافیت ظریف از نوع Roestte با شبکه ای از فسفید یوتکتیکی در یک

زمینه کاملاً فریتی است.

در شکل ۱۳۴ ساختار سطح مقطع میکروسکپی انیل شده از یک چدن خاکستری

مشاهده می گردد که حاوی گرافیت های ورقه ای نسبتاً متوسط در یک زمینه فریتی

است.

در شکل ۱۳۵ ساختار ریخته گری شده میکروسکپی گرافیت های ورقه ای در زمینه ای از مارتنزیت باز پخت شده و نیز شامل فسفید یوتکتیکی در برخی مناطق است و به دلیل جدایش اچ شده در زمینه چدن بطور غیر یکنواخت صورت می گیرد.

این نوع چدن بطور معمولی برای تولید چرخ دنده ها مورد استفاده قرار می گیرد.

#### چدن سفید:

تمام کربن یوتکتیکی در چدنهای غیر آلیاژی قطعاتی که در حین انجماد در قالب های ماسه ای دارای ضخامت های نازک و متوسطی بوده و حاوی مقدار سیلیسیم کمتری باشند بدون استفاده از تلقیح مواد جوانه زا به کاربید آهن تبدیل می گردد.

چنین چدنهایی دارای مقاطع شکست سفید بوده و به چدنهای سفید موسوم هستند. این نوع چدنها بصورت غیر آلیاژی و همراه مقادیر قابل توجهی از عناصر کاربید زا مانند کرم یا وانادیم مورد استفاده قرار می گیرند. مقاومت در برابر سائیدگی و سایش و چدنهای سفید دلیل اصلی استفاده از این نوع چدنها در صنعت محسوب می گردد و چدنهای مالیبل نیز جز همین چدنها میباشد.

#### ساختار داخلی:

در شکل های ۱۳۶ و ۱۳۷ ساختار میکروسکپی دو نوع غیر آلیاژی مشاهده می شود که بدلیل اختلاف در ترکیب شیمیایی دارای ساختارهای متفاوتی هستند.

در شکل ۱۳۶ یک چدن سفید پرکربن که برای تولید چدن مالیبل مغز سفید مورد استفاده قرار می گیرد و دارای ساختار یوتکتیکی لدبوریت شامل کاربید آهن در زمینه پرلیت است نشان داده شده است.

در شکل ۱۳۷ یک چدن کم کربن که در ساخت و تولید چدن مالیبل مغز سیاه استفاده می گردد و حاوی کاربیدهای صفحه ای در زمینه ای از پرلیت و نیز مقادیری کاربیدهای سوزنی شکل بیش از یوتکتوئیدی است مشاهده میگردد. چدن سفید یا ساختار مشابه شکل ۱۳۷ دارای استحکام بیشتری نسبت به چدنی با ساختار میکروسکپی شبیه بشکل ۱۳۶ است.

چدن مختلط:

در صورتی که ترکیب شیمیایی چدنی که در یک قالب ماسه ای ریخته گری می گردد در حدود وسط یک چدن خاکستری و چدن سفید قرار گیرد و دارای ساختاری مخلوط از گرافیت و کاربید آهن خواهد بود که به چدن مخلوط مشهور است. این نوع چدن دارای سطح مقطع شکست مخلوط از سفید و خاکستری بوده و در بسیاری از موارد بعنوان یک چدن مقاوم در مقابل سایش نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

نمونه ترکیب شیمیایی :

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر
۳-۳,۲	۱,۲-۱,۴	۰,۵-۱	۰,۵-۱	۰,۱۵

چدن خاکستری با زمینه استنتیتی:

بمنظور پایداری کردن فاز استنتیت در زمینه چدنهای خاکستری در حرارت متعارفی از

عناصر نیکل - مس و منگنز استفاده می شود که مقدار عناصر آلیاژی مورد نظر بر

اساس سطح مقطع قطعه ریخته گری برآورد می گردد. چدنهای خاکستری با زمینه

استنتیتی اغلب همراه با مقادیر عنصر کرم نیز هستند که باعث ایجاد کاربید کرمدر

ساختار داخلی ان می گردد.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	نیکل	کرم	مس	شکل
۲,۶-۳	۱-۲,۸	۱-۱,۵	۱۸-۲۲	۲	۷	شکل ۱۴۶:
۲,۶-۳	۱-۲,۸	۱-۱,۵	۱۸-۲۲	۳	۷	شکل ۱۴۷:

میکروسیلان:

این نوع چدن در مقابل حرارت و خوردگی مقاوم بوده و حاوی عناصر آلیاژی نیکل -

سیلیسیم و کرم میباشد.

ساختار میکروسکپی این چدن که در شکل ۱۴۸ مشاهده می شود حاوی گرافیت های فوق تبرید نوع D و مقدار کمی کاربید یوتکتیکی در زمینه ای کاملاً استنیتی است. همچنین میزان عنصر کرم در این چدن برابر ۸,۱٪ میباشد که با ازدیاد آن بقدر کاربیدها نیز اضافه میشود.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	نیکل	کرم
۱,۲-۱,۶	۴,۵-۵,۵	۱-۱,۵	۱۸-۲۲	۱,۸-۴,۵

چدن غیر مغناطیستی:

چدن مورد نظر حاوی عناصر آلیاژی نیکل و منگنز بوده و ضونا" یک چدن آلیاژی غیر مغناطیستس میباشد.

ساختار میکروسکپی:

در شکل ۱۴۹ ساختار میکروسکپی این نوع چدن که حاوی گرافیت های ورقه ای بدون جهت و مقادیری کاربید در یک زمینه کاملاً استنیتی است مشاهده می گردد.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	نیکل
------	---------	-------	------

موارد کاربرد:

تجهیزات الکتریکی از قبیل رینگها و حفاظ الترناتورها و دریچه های مقاومتی و ...

چدن مالیبیل:

اصولا " چدنهای مالیبیل چدنهای قبل از یوتکتیکی کم آلیاژی یا غیر آلیاژی هستند که

بمنظور ایجاد گرافیت های کروی و فشرده در آنها و نیز دسترسی به مجموعه ای از

استحکام و نرمی تحت عملیات حرارتی و تابکاری قرار می گیرند. قطعات چدن مالیبیل

ابتدا بصورت چدن سفید ریخته گری می شوند بدین معنی که تمام کربن در این چدن

در شرایط سیاه تاب بشکل ترکیبی بوده و سپس در مرحله عملیات حرارتی تا حرارت

دادن تا منطقه استنیتی تشکیل می شود و بالاخره ادامه تابکاری و استفاده از یک عملیات

حرارتی مناسب همچنین سرعت سرد کردن و با استفاده از یک مرحله توقف یا بدون

استفاده از آن میتوان ساختار زمینه چدن را از فریتی کامل تا یک ساختار پرلیتی تغییر

داد. ساختار زمینه قطعات را میتوان با سرد کردن سریع آنها در آخرین مرحله بازپخت

کردن تغییر داد و خواص مطلوب را در این نوع چدنها بدست آورد.

چدن مالیبیل سیاه تاب:

بهمان ترتیب که در شکل ۱۵۰ نشان داده شده است ساختار چدن مالیبیل در شرایط

سیاه تاب شامل کاربیدهای یوتکتیکی در زمینه ای از پرلیت است.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر
۲,۵۷	۱,۴۸	۰,۴۳	۰,۱۴	۰,۰۵

تابکاری ناقص در چدن مالیبیل:

در مرحله اول عملیات حرارتی که کاربیدها در زمینه استنیتی حل می شوند کربن برفکی نیز جوانه زایی رشد می کند. شکل ۱۵۱ ساختار میکروسکپی چدنی را که قبل از کامل شدن مرحله اول عملیات حرارتی بطور آرام سرد شده است را نشان می دهد. این چدن حاوی ذرات گرافیت و مقادیری از کاربیدها حل شده در زمینه ای از پرلیت است. این شکل روند ایجاد کربن برفکی را به وضوح نشان می دهد.

چدن مالیبیل مغز سیاه:

بمنظور جلوگیری احتمالی از اکسیده شدن چدن مالیبیل مغز سیاه عملیات حرارتی تابکاری چدنهای مورد نظر در یک جو حفاظت شده انجام میگیرد. در این مرحله حدود تغییرات درجه حرارت از ۱۵۰ تا ۹۸۰ درجه سانتیگراد است و در مرحله دوم بطور



معمول چدن مذبور از درجه حرارت ۶۹۰ تا ۷۸۰ درجه سانتیگراد با سرعت ۳-۵ ساعت سرد و در این روند گرافیت متراکم در زمینه فریتی تو مید می شوند که ممکن است ترکم گرافیت ها بطور خیلی فشرده یا معمولی و همچنین ساختار زمینه از لبه قطعه تا مرکز نسبتاً "یکنواخت و حاوی مقادیر بسیار جزئی پرلیت نیز می باشد. این نوع چدن کاربرد وسیعی داشته و قابلیت ماشین کاری خوبی را نیز داراست. همچنین در این نوع ساختار میکروسکپی نشان می دهد که تابکاری مرحله اول در درجه حرارت زیادی انجام گرفته است.

در شکل 152 ساختار یک چدن مالیبیل مغز سیاه فریتی که حاوی کربن برفکی در یک زمینه کاملاً "فریتی است. در شکل 153 ساختار میکروسکپی چدنی مشابه که مقداری از سطح آن دی کربوره شده و در نتیجه ذرات کربن کمتری قابل رویت است نشان داده شده است در این چدن و در فاصله ای نزدیک به سطح قطعه اثراتی از کاربید در زمینه فریتی قابل مشاهده می باشد.

چدن مالیبیل با زمینه پرلیتی:

چدن مالیبیل پرلیتی شامل کربن های برفکی در زمینه ای از پرلیت ورقه ای یا پرلیت کروی در کاربیدهای کروی ریز است که دارای استحکام و قابلیت انعطاف بیشتری از

چدنهای مالیبیل فریتی است. چدنهای مالیبیل پرلیتی در ابتدا با استفاده از تابکاری

چدنهای مالیبیل مغز سیاه که منگنز آنها  $0.1\% - 1.2\%$  است تولید می گردد.

اما در حال حاضر تولید این نوع چدن با استفاده از روش های مختلفی کونچ و بازپخت

بر روی چدن با ترکیب شیمیایی چدن مالیبیل مغز سیاه عادی صورت می گیرد .

چدن مالیبیل مغز سفید با گوگرد متناسب:

وقتی که میزان منگنز در چدن بیشتر شود از مقدار لازم برای بوجود آمدن

سولفید منگنز باشد اثر کاربیدزائی گوگرد از بین رفتن کربن برفکی باشد چدن مالیبیل

مغز سیاه بشکل گرافیت پولکی در کنار هم ایجاد می گردد. برخی موارد بدون آنکه

قطعه تحت تاثیر دی کربوره شدن قرار گیرد فاز فریت در مرکز آن ایجاد می شود و

در نتیجه قابلیت چکش خواربو تراشکاری قطعات ریخته گری با مقاطع نسبتاً "ضخیم

بهبود می یابد.

نمونه ای از موارد کاربرد این نوع چدنها:

در اجزا و قطعات خودرو - ماشین های زراعی - قطعات و اجزا نوار نقاله های مکانیکی -

قطعات دنده - حفاظ عایق ها - نگهداری کابلهاو ...

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	در شرایط سیاه تاب	(سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر
0.05	0.13	0.45	1.35	2.62	

چدنهای مقاوم در مقابل حرارت با میزان کرم زیاد:

چدنهای مقاوم در مقابل حرارت محتوی حداکثر کربن و 20%-35 کرم هستند. کرم

بیشتر نقش زیادتری در مقاومت حرارت این نوع چدنهای ایفا می کند و در مواردی که

مقاومت در مقابل سایش در درجه حرارت های زیاد مورد نظر باشد این نوع چدنهای با

کربن بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. این چدنهای همچنین مقاومت خوبی در مقابل

خوردگی - اسید نیتریک رقیق - آب دریا - ابهای معدنی و برخی اسیدهای ابی دارند

ساختار میکروسکپی:

بطور کلی ساختار میکروسکپی این نوع چدنهای حاوی کاربیدهای کرم در زمینه استنیتی یا

فریتی با کرم زیاد است. ساختار میکروسکپی نمونه چدنی با ضخامت ۱۵ میلی متر حاوی

۲۰٪ کرم و ۱٪ که در قالب ماسه ای ریخته گری گردیده شامل شبکه ای از کاربید کرم

و زمینه استنیتس است. (شکل ۱۷۴)

ساختار میکروسکپی چدن فوق پس از کار کردن بمدت ۱۲ ماه در حرارت ۱۰۰ درجه

سانتیگراد در شکل ۱۷۵ نشان داده شده است که در این حالت حاوی کاربیدهای کروی

و کاربدهای ثانویه رسوب یافته در زمینه فریتی است. ساختارهای میکروسکپی چدن ریخته گری شده با ۳۳٪ کرم و ۱٫۵٪ سیلیسیم که دارای کلریدهای یوتکتیکی در یک زمینه فریتی است در شکل ۱۷۶ و ۱۷۷ نشان داده شده است.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر	کرم	شکل‌های ۱۷۵ و ۱۷۴
۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۶۲	۱٫۵	۱٫۱۱	۲۰	شکل‌های ۱۷۶ و ۱۷۷
۰٫۱	۰٫۴-۱٫۵	۰٫۲۵	۰٫۵-۲٫۲	۱-۲	۳۰-۳۴	

ریخته گری گریز از مرکز لوله های چدن خاکستری:

معمولی ترین روش تولید چدنی که در حال حاضر عمومیت زیادی در صنعت دارد بطریقه ریختن یکنواخت فلز مذاب در سطح داخلی یک قالب فولادی در حال چرخش که بطور افقی قرار گرفته است انجام می پذیرد و در این حال سطح خارجی قالب توسط جریان اب سرد خنک میگردد.

در این روش ضخامت لوله های تولید شده توسط سرعت ریختن مذاب بداخل قالب فولادی معین گردیده و همچنین بمنظور ایجاد شکل انتهای هر لوله در محل اتصال لوله

در موقع استفاده یک ماهیچه ماسه ای قبل از ریختن فلز مذاب بداخل قالب در قسمت انتهایی قالب قرار داده می شود.

انجماد سریع مذاب در ابتدای منطقه مذاب قالب بعلت تماس مذاب داغ با جداره سرد قالب و محل ریختن مذاب بداخل قالب باعث ایجاد مقادیر زیادی کاربید و همچنین مقدار کمی گرافیت در قشر خارجی لوله می گردد. نهایتاً وقتی که لوله در داخل بطور کامل منجمد گردید و بمنظور از بین بردن کاربیدها و ایجاد یک ساختار داخلی یکنواخت در آن بویژه بدست آوردن زمینه ای فریتی یک سیکل عملیات حرارتی بر روی لوله انجام می پذیرد که در نتیجه می توان ساختار داخلی این نوع لوله ها را هم بصورت گرافیت ورقه ای (خاکستری) و هم بصورت گرافیت کروی در زمینه فریتی به دست آورد.

عملیات حرارتی لوله ها شامل حرارت دادن یکنواخت آنها در درجه حرارت بین ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتیگراد و سرد کردن آرام تا ۶۸۰ درجه سانتیگراد در هوا انجام می گیرد.

چدن با گرافیت کروی:

چدنهایی که پس از ریخته گری و انجماد کامل دارای گرافیت هایی بشکل کروی هستند چدنهای با گرافیت کروی نامیده می شوند. شکل گرافیت ها در این حالت باعث بیشتر

شدن استحکام و قابلیت انعطاف این نوع چدن‌ها با گرافیت ورقه ای می گردد و معمولاً

این نوع چدن‌ها به چدن‌های نشکن نیز معروف هستند.

چدن‌های با گرافیت کرووی معمولاً با اضافه کردن منیزیم بداخل مذاب چدن تهیه می

شوند و بطور عادی حدود تغییرات منیزیم پا انجماد در چدن‌هایی با گرافیت کرووی

معمولی که در داخل ماسه ریخته گری میشود  $0.04-0.08\%$  است.

اما در قسمت هایی از قطعه که سریعتر منجمد می گردد شبیه به لوله هایی از جنس

چدن با گرافیت کرووی از طریق ریخته گری گریز از مرکز تولید می شوند. منیزیم به

کمترین حد یعنی  $0.02\%$  نیز کاهش می یابد. برخی موارد در مورد چدن‌های با گرافیت

کرووی و بمنظور بهبود ساختار گرافیت ممکن است از سدیم نیز در مقادیر بسیار کم

استفاده کرد.

چدن‌های با گرافیت کرووی در مقایسه با چدن‌های خاکستری حساسیت بیشتری نسبت به

سزعت سرد شدن دارند و بهمین علت برای حصول اطمینان از یک ساختار بدون کاربرد

در این چدن‌ها معمولاً اضافه کردن سیلیسیم حاوی عوامل جوانه زا ضروری است. در

صورتی که چدن محتوی منیزیم پس از انجماد حاوی کاربیدهای یوتکتیکی باشد می

توان با یک عملیات حرارتی مناسب کاربیدها را تجزیه و گرافیت ها را بشکل کرووی در

آورد.

برخی از کاربرد های آلیاژ:

در مواردی که استحکام و تا حدودی همراه ان قابلیت انعطاف مورد نظر باشد این نوع چدن کاربرد پیدا می کند و همچنین در ممیل لنگ خودروها- قطعات ریخته گری- محورهای حرکت دهنده فرمان خودرو- اهرام لوله های محافظ یاتاقان های راه آهن- ماشین های پارچه بافی- ابزار و قطعات کمپرسورها... مورد استفاده قرار می گیرد.

غلطک های چدنی تبرید شده با منطقه سفید شده مشخص:

غلطک های چدنی تبرید شده با منطقه سفید شده مشخص به سطح سفید شده مشخص اصلی یک غلطک وجود سختی زیاد در سطح خارجی بدلیل یک ساختار چدنی سفید و عاری از گرافیت ان و همچنین تغییر تدریجی در قسمت های داخلی به یک ساختار چدنی خالدار و بالاخره بصورت چدن خاکستری با قابلیت انعطاف زیادتر در قسمتهای مرکزی است.

ساختار میکروسکپی:

ساختار میکروسکپی از سطح خارجی غلطک چدنی غیر آلیاژی تبرید شده با منطقه سفید مشخص به قطر ۱۳۰ اینچ و عمق منطقه سفید شده به ضخامت ۳۰-۱۲۰ میلی اینچ در شکل های ۲۰۲ و ۲۰۳ مشاهده میگردد که دارای فاز سمنتیت و جزایر پرلیت

به صورت لایه ای و همچنین فازفریت که به دلیل کمتر بودن عناصر آلیاژی به وجود آمده است.

در شکل های ۲۰۴ و ۲۰۵ ساختار میکروسکپی از سطح خارجی غلطک چدنی و آلیاژ تبرید شده با منطقه سفید شده مشخص به قطر ۳۰ اینچ نشان داده شده است که توزیع کاربید آنها مشابه شکل های ۲۰۲ و ۲۰۳ بود و اما به مناسبت ازدیاد عناصر آلیاژی زمینه بصورت یک ساختار پرلیتی کاملاً ریز تشکیل گردیده است. در صورت افزایش بیشتر عناصر آلیاژی امکان ایجاد زمینه ای با سختی بیشتر و ساختارهای بینایتی یا مارتنزیتی وجود دارد.

نمونه ترکیب شیمیایی:

کربن	سیلیسیم	منگنز	گوگرد	فسفر
۳-۳,۷	۰,۴-۰,۷	۰,۱-۰,۱۳	۰,۴-۰,۵	۰,۴-۰,۵
شکل های ۲۰۲ و ۲۰۳:				
۳-۳,۵	۰,۴-۰,۷	۰,۲-۰,۳	۰,۱-۰,۱۳	۰,۴-۰,۵
شکل های ۲۰۴ و ۲۰۵:				

نمونه ای از موارد کاربرد:

غلطک های با جنس چدنی ساده و بدون عناصر آلیاژی در حال حاضر مورد استفاده این نوع غلطک ها نسبتاً محدود بوده و در مواردی اغلب بصورت اسباب های میله ای بکار



میرود. اما غلطک هایی که محتوی کربن بیشتری هستند اغلب بطور نسبتاً وسیع تری

در صنایع کاغذسازی و پلاستیک سازی مورد استفاده قرار می گیرد.

### آلیاژهای آلومینیوم:

آلیاژهای ریخته گری آلومینیوم نسبت به مواد تشکیل دهنده از نوع مشابهی هستند که

اغلب عناصر بطور جزئی در آلومینیوم حل شده و مللول جامدی از آلومینیوم را بوجود

می آورند. بطور مثال در صورت اضافه کردن مقادیر کمی از عناصر آلیاژی مس-منیزیم

و سیلیسیم محلول جامد الف-آلومینیوم تشکیل می گردد در حالی که با افزودن مقادیر

زیادی از عناصر نام برده ترکیبات یوتکتیکی مخلوطی از Alcu Al2 و الف-آلومینیوم

در آلیاژ ایجاد می گردد. بطور کلی در صورت اضافه شدن دیگر عناصر آلیاژی سه حالت

ممکن است اتفاق بیوفتد:

الف) عنصر یا عناصر اضافه شونده در فاز الف-آلومینیوم حل می گردند.

ب) ترکیبات بین فلزی مختلفی را بوجود می آورند.

ج) همراه با فاز الف-آلومینیوم مخلوط های یوتکتیکی مختلفی را ایجاد می کند.

اغلب عناصر آلیاژی حلالیت محدودی را در حالت جامد با آلومینیوم بوجود می آورند و

مقدار اضافی این عناصر ترکیبات رسوبی ایجاد می کند که اساس عملیات حرارتی بعدی

در این آلیاژهاست. معمولیترین نوع عملیات حرارتی که بمنظور سخت کردن در چنین آلیاژی صورت می گیرد عملیات انحلال سپس تشکیل رسوب بشکل ترکیبات مختلف در درجات حرارت کمتر سختی رسوبی یا پیری است.

بدین ترتیب ریختگی آلیاژهای آلومینیوم از نظر ساختمانی به سه گروه تقسیم بندی می گردد:

(۱) آلیاژهای قبل از یوتکتیکی که اصلی ترین فاز تشکیل دهنده این آلیاژها فاز الف-آلومینیوم بوده و فازهای دیگر شامل یوتکتیک و ترکیبات بین فلزی است که در زمینه قرار میگیرند.

(۲) آلیاژ یوتکتیکی که بیشترین مجموعه را در این آلیاژ مخلوط یوتکتیکی تشکیل داده و حاوی مقادیر جزئی از فاز اضافی الف-آلومینیوم و همچنین ترکیبات دیگر است.

(۳) آلیاژهای بعد از یوتکتیک که حاوی یک فلز اولیه بعد از یوتکتیکی و ترکیبات دیگری که در داخل یوتکتیک توزیع می گردد هستند.

عوامل و مشخصه هایی که خواص آلیاژهای گروه با آنها کنترل می گردد شامل:

الف: اندازه و شکل دانه فاز زمینه.

ب: فاصله و اندازه های شاخه های دندریتی موجود در فاز زمینه.

ج: شکل و توزیع مجموعه یوتکتیکی و بالاخره ترکیبات بین فلزی است که توسط

اصلاح و تغییر عواملی از قبیل ترکیب شیمیایی- اندازه دانه های فاز زمینه- سرعت سرد

کردن حین انجماد... می توان مشخصات ساختاری فوق را بطور اساسی تحت تاثیر قرار داد.

عملیات حرارتی متنوع و مختلف بصورت تک مرحله ای یا ترکیبی از چندین عملیات حرارتی مختلف از قبیل تنش گیری-سختس رسوبی-عملیات اخلال و پایداری ساختار داخلی بر روی آلیاژهای آلومینیوم عملاً کاربرد وسیع این آلیاژها را در صنعت امکان پذیر می سازد. عادی ترین نوع عملیات حرارتی که بطور معمول بر روی آلیاژهای آلومینیوم انجام میگردد سخت کردن توسط سختی رسوبی و پیرسختی است و ترکیبات اصلی که بدین منظور در آلیاژهای آلومینیوم مورد استفاده قرار می گیرند فازهای  $Mg_2Si$  و  $CuAl_2$  میباشد.

روش ریخته گری که در آلیاژها انتخاب می گردد نسبت به ترکیب شیمیایی آنها متفاوت است و با ترکیب شیمیایی که آلیاژ مورد نظر دارد و همچنین نسبت به مشخصات ساختار داخلی و خواص مکانیکی و فیزیکی مورد نظر انتخاب روش ریخته گری در قالب ماسه ای یا قالب فلزی کاملاً با یکدیگر تفاوت دارد و در برخی موارد مشاهده می گردد که بعضی از آلیاژها از نظر ترکیب شیمیایی مشابه یکدیگر هستند و در صورتی که کاملاً از نظر قیمت و مقدار ناخالصی ها با هم تفاوت دارند. برخی عوامل دیگر که معمولاً در انتخاب آلیاژ مورد توجه قرار می گیرد شامل: طراحی قطعه ریخته گری - مقاومت قطعه در مقابل خوردگی و قابلیت جوشکاری و ... می باشد.

نمونه ای از موارد کاربرد آلیاژهای آلومینیوم:

بیش از پنجاه درصد کل مصرف آلیاژهای آلومینیوم در ساخت وسایل نقلیه است و پنجاه درصد باقی مانده ان در مصارف عمومی مهندسی و وسایل خانگی است.

آلومینیوم خالص تجارتي:

ساختار میکروسکپی آلومینیوم خالص تجارتي در اغلب موارد بعنوان یک فلز خالص در نظر گرفته شده است اما در حقیقت بعلت وجود ناخالصی ها که بطور عادی در ان یافت می گردد میتوان انرا یک آلیاژ به حساب آورد. اغلب عناصر آلیاژی قابلیت حل شدن خوبی در فاز الفـا-آلومینیوم دارند اما در حالت عادی مقدار عنصر آهن و سیلیسیم در داخل آلومینیوم به اندازه کافی زیاد بوده و وجود این دو عنصر تولید یک ترکیب بین فلزی در ساختار آلومینیوم تجاری میکند و بدین صورت ساختار میکروسکپی آلومینیوم تجاری خالص شامل محلول جامد الفـا-آلومینیوم که در اصل زمینه ان را تشکیل میدهد.

آلیاژهای آلومینیوم:

آلومینیوم-مس:

علیرغم آنکه عنصر مس در اغلب آلیاژهای ریخته گری آلومینیوم یافت می شود فقط در دو آلیاژ مهم از آلومینیوم و مس وجود دارند (۰,۵-۰,۴٪ مس و ۰,۹-۰,۱٪ مس) که

مس بعنوان عنصر آلیاژ کننده اصلی در آنها بکار می روند. آلیاژ مس اگر کمتر باشد در این صورت تمایل به ایجاد حفره های اقباضی افزایش می یابد که بخاطر بهبود خواص ریخته گری در قطعه و همچنین بمنظور از بین بردن عیوب بوجود آمده حین انجماد مقادیری عنصر سیلیسیم نیز به آلیاژ افزوده می گردد.

بهمین منوال در آلیاژهای آلومینیوم-مس که دارای عنصر مس بیشتری هستند مقادیر سیلیسیم و منیزیم بدلیل جلوگیری از تشکیل فاز  $MgSi$  درصد نازکی نگه داشته میشوند همچنین مقداری از ناخالصی های موجود از قبیل منیزیم-سیلیسیم-هن و منگنز در آلیاژهای آلومینیوم-مس بصورت فازهای بین فلزی مانند  $Mg_2Si$  در میآید و بخش دیگری نیز از این ناخالصی ها در داخل محلول جامد زمینه حل می گردد.

وجود فاز  $CuAl_2$  در آلیاژ آلومینیوم محتوی ۵-۴٪ مس و همچنین وجود فازهای  $Mg_2Si$  و  $CuAl_2$  در آلیاژ آلومینیوم محتوی ۱۱-۹٪ مس امکان عملیات حرارتی این آلیاژها را فراهم میسازد. عامل سرعت سرد شدن قطعه که توسط نوع قالب بکار برده می شود معین گردد بر روی اندازه و توزیع ذرات فاز  $CuAl_2$  و ترکیب نا محلول تاثیر زیادی دارد و بهمان صورت که ساختار های میکروسکوپی مربوط به این آلیاژ می باشد فازهای نام برده در قالب ماسه ای بزرگتر از قالب فلزی بوده بطوریکه در مورد آلیاژ ریخته شده است.

## آلومینیوم-سیلیسیم:

آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم وسیع ترین گروه آلیاژی آلومینیوم را دارا هستند که از آلیاژهای ساده دوتائی شروع و به سیستم های پیچیده تری ختم میشودولی با وجود این تمام آلیاژهایی که در این گروه قرار دارند از نظر ساختار میکروسکپی به سه گروه: قبل یوتکتیکی- یوتکتیکی و بعد یوتکتیکی تقسیم میشوند. در هر حال ترکیبات و فازهای ایجاد شده در تمام آلیاژها تقریباً مشابه بوده و فقط از نظر حجم نسبی-اندازه و توزیع متفاوت هستند بدین معنی که فاز الف-آلومینیوم تقریباً در تمام آلیاژها وجود دارد و حتی در آلیاژهای بعد یوتکتیکی در شرایط غیر تعادلی شدید انجام می شود و نیز سیلیسیم که در هر سه گروه آلیاژها جدا می گردد. ریز کردن دانه های فاز الف-آلومینیوم در زمینه آلیاژهای قبل یوتکتیکی معمولاً شبیه آلیاژهای Al-Cu است و با وجود آنکه ریز کردن دانه ها در آلیاژهای یوتکتیکی و بعد یوتکتیکی به ندرت انجام می گیرد اما در مورد دو گروه آلیاژهای یوتکتیکی و بعد یوتکتیکی مشخصات ساختاری فاز سیلیسیم در ساختار میکروسکپی توسط برخی عملیات برروی مذاب از قبیل سرعت سرد کردن کنترل می گردد. ساختار میکروسکپی آلیاژ یوتکتیکی آلومینیوم-سیلیسیم در قالب فلزی بدون استفاده از هر گونه عوامل خارجی در مذاب شامل دانه ها و سلولهای یوتکتیکی است. کنترل فضای بین شاخه های دندریتی در آلیاژهای ما قبل یوتکتیکی و

نیز اندازه و توزیع تمام ترکیبات موجود و فاز سیلیسیم توسط دو عامل سرعت سرد کردن حین انجماد و ریز کردن دانه ها انجام می گیرد اما با وجود آنکه کنترل فاز سیلیسیم نیز تا حدودی توسط سرعت سرد شدن و عوامل ریز کننده صورت می گیرد لازم است در این قسمت ساختار اصلی این فاز با دقت نسبتاً بیشتری بررسی شود.

ساختار میکروسکپی آلیاژ ریخته گری شده در قالب فلزی از آلومینیوم-سیلیسیم در شکل ۴۹ مشاهده می شود. ساختار سطح میکروسکپی این آلیاژ حاوی فاز اولیه در زمینه یوتکتیکی و به رنگ تیره و ترکیب بین فلزی به رنگ روشن است.

ساختار میکروسکپی آلیاژی مشابه که در قالب ماسه ای ریخته گری گردیده دارای ساختار مشابه با قالب فلزی است با تفاوت اینکه دارای فازهای میکروسکپی تشکیل دهنده بیشتری است در صورتی که قبل از ریختن مذاب آلیاژ فوق در قالب فلزی مقدار ۰.۰۵٪ از عنصر استرانیم به آن اضافه گردد بطور معمول ریخته گری آلیاژهای Lmt- Lmg- Lmz در قالب های اسه ای و فلزی انجام می گیرد.

همچنین عملیات حرارتی و سخت کردن آلیاژهای آلومینیوم-سیلیسیم با استفاده از مکانیزم های رسوبی فازهای  $CuAl_2$  با  $Mg_2Si$  صورت می گیرد.

## آلیاژهای منیزیم:

برخی از عناصر آلیاژی از قبیل آلومینیوم- روی و نقره ایجاد ترکیب های یوتکتیکی و برخی مانند زیرکنیم و منگنز ایجاد ترکیبات یوتکتیکی با منیزیم می کند و در صورتی که در آلیاژهای منیزیم از عناصر تشکیل دهنده یوتکتیکی استفاده شود در ساختارهای یوتکتیکی مختلفی که در اطراف دانه های الف-منیزیم در ساختار قطعات ریخته گری تشکیل شده است تشابه زیادی مشاهده می گردد که البته با ساختارهای یوتکتیکی توزیع فازهای بین فلزی و نیز در سطح مقطع میکروسکپی می توان مشاهده گردد.

بطور کلی در ساختار میکروسکپی آلیاژهاییکه منیزیم بعنوان عنصر اصلی تشکیل دهنده در آنها بکار برده شده است دانه های الف-منیزیم به ندرت بصورت دندریتی یا ستونی مشاهده می گردند زیرا دانه های مذبور در برخی از آلیاژهای فوق الذکر در نتیجه وجود زیرکنیم که ذاتاً دارای خاصیت ریزکنندگی شدیدی است ریزتر میگردد و به همین علت معمولاً آزمایش های میکروسکپی در این آلیاژها بیشتر مورد استفاده قرار

می گیرد.

## آلیاژهای مس:

در بیشتر موارد مشخص کننده اصلی ساختار میکروسکپی آلیاژهای ریخته گری مس فاز زمینه الف-مس است که انواع مختلف فازهای دیگر در آن توزیع و پخش شده اند



بهمین دلیل به نظر می رسد که ساختارهای میکروسکپی قطعات ریختگی در آلیاژهای مس از این جهت شباهت زیادی به آلیاژهای سبک پیدا می کنند اما با وجود این این دو نوع از آلیاژهای مذکور دارای تفاوت هایی هستند که بویژه نحوه انجماد و تغییر فازها در حالت جامد پس از انجماد در آلیاژهای مس از ان جمله اند.

آلیاژهای ریخته گری مس مشابه آلیاژهایی نیز دارای چندین سیستم دو تائی از قبیل مس-قلع مس-آلومینیوم مس-کرم و مس-برلیم دارای تحول یوتکتیکی و آلیاژهای مس و روی - قلع و مس فازهای توزیع شده در زمینه شبیه یک فاز یوتکتیکی هستند.

جهت خرید فایل word به سایت [www.kandoocn.com](http://www.kandoocn.com) مراجعه کنید  
یا با شماره های ۰۹۳۶۶۰۲۷۴۱۷ و ۰۹۳۶۶۴۰۶۸۵۷ و ۰۶۶۴۱۲۶۰-۵۱۱ تماس حاصل نمایید

Filename: Document1  
Directory:  
Template: C:\Documents and Settings\hadi tahaghoghi\Application  
Data\Microsoft\Templates\Normal.dotm  
Title: مشخصاتی از ساختارهای میکروسکوپی قطعات ریختگی  
Subject:  
Author: pc  
Keywords:  
Comments:  
Creation Date: 4/15/2012 11:29:00 AM  
Change Number: 1  
Last Saved On:  
Last Saved By: H.H  
Total Editing Time: 0 Minutes  
Last Printed On: 4/15/2012 11:29:00 AM  
As of Last Complete Printing  
Number of Pages: 65  
Number of Words: 9,510 (approx.)  
Number of Characters: 54,207 (approx.)