

به نام خدا

آزمایشگاه متالوگرافی

آموزش مقدماتی
تئوری و عملی

مدرسین:

محمود درخشان - سعید رهبر
اردیبهشت ۱۳۹۲

مقدمه

این تعریف که (متالورژی که از قدیمی‌ترین هنرها و یکی از جدیدترین علوم است) ، بخوبی تاریخچه طولانی و جالب رشته متالورژی را بیان می‌کند. از زمانی که بشر فلز را شناخت، متالورژی را به‌عنوان یک هنر فرا گرفت. این علم ، فرآوری مواد معدنی از کانه‌های آنها (جداسازی از سنگ معدن) ، ذوب ، تصفیه و تولید شمش ، بهبود خواص و تهیه آلیاژها و فن کار بر روی فلزات و شکل دادن آنها را در بر می‌گیرد. صنعت متالورژی در جهان از دیرباز به‌عنوان صنعت مادر شناخته شده ، با پیشرفتهای روز افزون تکنولوژی ، نقش آن آشکارتر می‌گردد. شواهد باستان شناسی نشان می‌دهد که ساکنین فلات ایران ، جزو اولین اقوامی بوده‌اند که به کشف فلزات و استفاده از آن نائل گردیده‌اند. با در نظر گرفتن این سابقه دیرینه ، همچنین نقش روز افزون فلزات در زندگی بشر و وجود معادن غنی متعدد در کشورمان لازم است که دست‌اندرکاران متالورژی در شناسایی هر چه بیشتر این رشته کوشا بوده ، به طریقی سطح اطلاعات علمی و فنی سایرین را در این زمینه بالا ببرند .

متالوگرافی چیست؟

اصولاً میتوان گفت که متالوگرافی عبارتست از بررسی و مطالعه ساختار داخلی فلزات و سایر مواد از جمله پلیمرها ، سرامیکها و غیره که گروهی نیز آنرا علم ماده شناسی نامیده اند . تاریخچه این علم از کشف دانشمند بزرگی به نام سوربی SORBY مبنی بر امکان پولیش و اچ کردن سطوح مختلف فلزی و مشاهده جزئیات ساختمانی آنها با چشم مسلح یا غیر مسلح آغاز می شود . پس از آن نیز این علم به سرعت جای خود را به عنوان یکی از پایه های اساسی متالورژی باز نموده و تا به امروز که با پیدایش میکروسکوپیهای الکترونی پیشرفته بشر قادر به تجزیه و تحلیل دقیق اجزاء تشکیل دهنده فازهای مختلف در شبکه ساختمانی مواد گوناگون می باشد ، این جایگاه را به خوبی حفظ نموده است . بطور کلی مطالعات

متالوگرافی علاوه بر اطلاعات گسترده ای که در زمینه ترکیب شیمیایی و خواص مختلف ماده به ما میدهد ، ساختمان کریستالی آن را نیز برایمان آشکار ساخته و اطلاعات ارزشمندی نیز در رابطه با تاریخچه کار مکانیکی یا عملیات حرارتی انجام شده بر روی آن در اختیار ما قرار می دهد. بنابر این به جرأت میتوان گفت که دانشمندان و مهندسين امروز بدون دانستن اصول مدرن متالوگرافی و استفاده بهینه از این علم قادر به حل مسائل روزمره خود نخواهند بود و امروزه چه در فعالیت های صنعتی و کنترل کیفیت و چه در فعالیت های تحقیقاتی و پژوهشی این علم از جمله ا بزارهای مهم کار هر مهندس و پژوهشگری به شمار میرود .

متالوگرافی عبارتست از بررسی و مطالعه ساختمان سطح مقطع فلزات و آلیاژها که به دو روش ماکروسکوپی و میکروسکوپی صورت میگیرد . مطالعه ساختمان ماکروسکوپی را ماکروگرافی و ساختمان میکروسکوپی را میکروگرافی می نامند . ساختمان ماکروسکوپی عبارتست از ساختمان فلزات و آلیاژها که با چشم غیر مسلح یا بزرگنمایی های کم قابل رویت باشد . این ساختمان را میتوان مستقیماً بر سطح قطعه کار یا بر مقطع شکست آن و یا اغلب بر نمونه هایی که از شمش های بزرگ یا قطعه کارها گرفته میشود مطالعه نمود . در اینجا ابتدا سطح نمونه صیقلی شده و سپس توسط عوامل شیمیایی مخصوص اچ می گردد . عملی که محلولهای اچ انجام میدهند حل کردن سطح فلز و نشان دادن اجزاء مختلف آن و نمایش حفره ها ، ترکها و دیگر معایب موجود میباشد

میکرو گرافی عبارتست از مطالعه ساختمان داخلی فلزات و آلیاژها در زیر یک میکروسکوپ با بزرگنمایی هایی از ۷۵ تا ۱۵۰۰ برابر یا بیشتر . ساختمان هایی که بدین صورت مشاهده می شوند ساختمان میکروسکوپی یا نامرئی نامیده می شوند . هدف از مطالعه متالوگرافی تعیین ساختمان داخلی و بررسی آن از نظر دانه بندی ، مرز دانه ها ، توزیع دانه ها و فازهای تشکیل دهنده فلز می باشد . علاوه بر آن می توان آشکار کردن مشخصات ساختمانی ، برخی از انواع اثرات کار مکانیکی ، کشف عیوب ریز (ذرات غیر فلزی ، ترکهای کوچک و غیره) و در برخی موارد تعیین عناصر شیمیایی آلیاژها را نیز در زمره اهداف مطالعات متالوگرافی قرار دارد . برای بررسی و مطالعه سطح مقطع یک فلز باید مراحل مختلف را طی کرد:

متالوگرافی

آماده سازی نمونه

روشهای آماده سازی نمونه های متالوگرافی سوپر آلیاژهای کار شده مشابه روشهای بکار رفته برای آماده سازی آلیاژهای پایه آهنی و فلزات دیگر می باشد. مفاهیم و نکاتی که می بایستی به طور ویژه در آماده سازی این نوع آلیاژها بکار برد در این بخش ارائه خواهد شد.

ماکرو اچ

سوپر آلیاژهای کار شده مطابق روش بکار رفته برای فولادهای ابزار و ضدزنگ بررسی ماکروساختاری می گردند. قطعات مورد نظر برای بررسی ماکرو ساختاری از محلهایی مثل ابتدا یا انتهای شمشها یا نمونه های بیلت بریده می شود و قبل از ماکرو اچ لبه نمونه ها گرد می شود. محلولهای ماکرو اچ برای سوپر آلیاژهای کروم-نیکل- آهن آستنیتی مشابه محلولهایی هستند که برای فولادهای ضدزنگ آستنیتی پیشنهاد شده است

برش

ابزارهای مختلفی برای برش سوپر آلیاژها بکار می رود. احتیاطهای لازم برای جلوگیری از گرم شدن زیادی قطعات باید انجام گیرد. برای سوپر آلیاژهای آستنیتی که به تغییر شکل حساس هستند روشهای برشکاری از قبیل **sawing Band sawing or power hack** که ممکن است تغییر فرم زیادی یا کار سختی بسته به نوع آلیاژ و شرایط عملیات حرارتی آن پیش بیاید استفاده می شود. این روشها برای مقطع زنی اولیه به قطعات بزرگ مناسب است

و برای برش نهایی و تهیه نمونه مورد آزمون **abrasive cutoff machine** پیشنهاد می شوند. تغییر فرم زیادی که ممکن است در حین برشکاری ایجاد شود به سختی با سنباده زنی و پولیش مراحل بعد برطرف می شود. **Abrasive cutoff wheels** معمولا از نوع مصرفی هستند. خنکاری بسیاری باید انجام شود. برش داخل آب **submerged** ترجیح داده می شود.

مانت

نمونه های زیادی که می توانند بدون مانت شدن براحتی پولیش و سنباده شوند. برخی دستگاههای سنباده زنی و پولیش اتوماتیک نیاز دارند که نمونه به صورت مانت شده در نگهدارنده آنها قرار بگیرد. قطر قالبهای مانت معمولا ۲۵، ۳۲ یا ۳۸ میلیمتر می باشد. مانت کردن پولیش نمونه های کوچک یا با شکل نا منظم را آسان می کند.

سنباده زنی

سنباده زنی نمونه ها می تواند با دست و یا بصورت اتوماتیک انجام شود. سنباده زنی با استفاده از کاغذ سنباده های **SiC** و خنکاری با آب در دور موتور ۱۵۰-۶۰۰ rpm انجام می شود. گریدهای مناسب و معمول به ترتیب

120-240-320-400-600

می باشد و گهگاه نیز گریدهای ریز تر استفاده می شود. گریدهای ریزتر کمتر از مش ۶۰۰ برای سنباده زنی سوپر آلیاژهای پایه نیکل مناسب می باشد. این مسئله نیاز به پولیش با خمیر الماس را کمتر می کند و موجب بهبود حفظ کاربیدها و فازهای بین فلزی می شود.

تقریبا فشار زیادی برای سنباده زنی اعمال می شود. نمونه باید بصورت صاف در مقابل کاغذ سنباده قرار بگیرد. بعد از هر مرحله سنباده زنی نمونه شسته شده و تمیز می شود و ۴۵ تا ۹۰ درجه چرخانده شده و بعد سنباده زنی مرحله بعد صورت می گیرد. سنباده زنی باید تا زمانی که خطوط مرحله قبل کاملا حذف شوند ادامه پیدا کند حدود ۱-۲ min برای هر مرحله ای معمولا کافی است. سنباده زنی اتوماتیک خطوط با جهت مناسبی را ایجاد می کند. سوپر

آلیاژهای کارشده به نشانده شدن SiC از کاغذ سنباده حساس نیستند اما اگر نمونه حاوی ترک یا تخلخل باشد می بایستی پس از سنباده زنی بصورت التراسونیکی تمیز شود. برای اغلب نمونه ها یک شستشوی ساده با آب آشغالهای سنباده زنی را برطرف خواهد کرد. پس از سنباده زنی نمونه با الکل شسته شده و با هوای داغ خشک می گردد

پولیش کاری اولیه

پولیش با الماس با گریدهای ۶ یا ۳ میکرون شروع می شود که الماس می تواند بصورت خمیری شکل یا حتی به صورت دوغاب استفاده شود. استفاده از آلومینای ۵ میکرون نیز با الماس با بهره وری بالا جایگزین شده است.

برای پولیش اولیه نمدهای بدون پرز یا با پرز کم کاربرد زیادی دارد. پارچه کرباس نیز که بیشتر استفاده می شود از نظر دوام و اقتصادی مناسب است. پارچه های با بافت شیمیایی و مصنوعی بدون پرز نیز برای پولیش اولیه بکار می روند. همچنین پارچه بیلارد و نمذ قرمز نیز بعضی اوقات ترجیح داده می شود. یک مایع روانساز نیز برای کاهش اصطکاک همواره باید اضافه شود تا نتیجه براده برداری افزایش یابد. دور موتور $150-300$ rpm می باشد و با فشار معمولی کار پولیش انجام می گیرد.

در حین پولیشکاری نمونه باید در جهت عکس چرخش دیسک گرداننده شود و همزمان بطور آهسته از مرکز تا کناره های دیسک حرکت داده شود. سپس دوباره نمونه باید محکم روی دیسک گرفته شود تا از تاب خوردن جلوگیری شود. پولیش کردن باید تا زمانی که خطوط سنباده کاری محو شود ادامه پیدا کند .

پولیشکاری ثانویه با الماس ۱ میکرون نیز معمولاً انجام می شود که بیشتر پارچه چرمی مصنوعی با پرز متوسط برای این مرحله بکار می رود اما پارچه های دیگر نیز می تواند استفاده شود و مشابه پولیش اولیه انجام می گیرد. بعد از هر پولیش نمونه باید به دقت تمیز شود تا ذرات ساینده، روغن مازاد و آشغالهای پولیشکاری حذف شوند. تمیز کاری التراسونیک نیز نتایج خوبی می دهد ولی همیشه لازم نمی باشد.

پولیش کاری نهایی

پولیش کاری نهایی شامل یک یا چندین مرحله می شود که بستگی به نیاز به حذف همه خطوط دارد. برای بررسی معمولی پولیش با المای ۱ میکرون می تواند مناسب باشد. وقتی تهیه عکسهای میکروسکوپی مد نظر باشد مراحل دیگری باید انجام شود. محدوده گسترده ای از ساینده های پولیش نهایی ممکن است بکار رود. دوغابهای آلومینا ی ۰/۳ یا ۰/۰۵ میکرون بسیار کاربرد دارند.

پولیش نهایی معمولاً با استفاده از پارچه های چرم مصنوعی با پرز متوسط با دور موتور حدود ۱۵۰ rpm انجام می گیرد. در حین پولیش کاری نمونه باید در جهت عکس چرخش دیسک گرداننده شود و همزمان بطور آهسته از مرکز تا کناره های دیسک حرکت داده شود. دوغاب نیز معمولاً در حین فرایند پولیش استفاده می شود. فشار متوسطی در نگه داشتن نمونه بکار می رود و باید دقت شود تا نمونه در حین گردش دیسک تاب نخورد. پس از پولیشکاری نیز نمونه باید شسته و خشک شود تا از زنگ زدگی آن جلوگیری شود. همچنین دست اپراتور نیز باید بعد از هر مرحله پولیشکاری شسته شود تا آلودگی پیش نیاید.

دستگاههای پولیش اتوماتیک برای پولیش نهایی بسیار مفید هستند. تنوع زیادی از دستگاهها وجود دارد. زمان پولیش با این نوع دستگاهها از دقایق کم تا تقریباً ۳۰ دقیقه متفاوت است .

در بعضی مواقع نیز بعد از پولیش مکانیکی، الکتروپولیش انجام میگیرد تا هر گونه لکه یا فلز روان را بردارد بدون اینکه هیچ تاثیری روی فاز های تشکیل دهنده ثانویه بگذارد. از الکتروپولیش زیادی نیز باید اجتناب نمود.

اچ کردن

تعداد کمی از فازها بدون اچ کردن و در حالت پولیش در ریز ساختار نمونه های سوپرآلیاژ دیده می شوند. فشار کمی در حین پولیش نهایی باعث خواهد شد تا این ذرات مشخص گردند. این فازها می توانند در وضعیت زمینه روشن با کانتراست رنگی مشاهده شوند که این

حالت برای شناسایی فازها مفید است. نیتريدها، کربونیتريدها، بريدها و کاربيدهای فلزی بدون اچ کردن براحتی دیده می شوند.

Glysergia یکی از محلولهای رایج برای ظاهر سازی ریزساختار عمومی سوپرآلیاژهای پایه نیکل و پایه آهن هستند. این محلول همیشه باید بصورت تازه استفاده شود و وقتی نارنجی رنگ می شود استفاده نشود. **Glysergia** همه سوپر آلیاژها به جزء بعضی از سوپر آلیاژهای با کبالت بالا را اچ می کند. برای اچینگ آلیاژهای پایه نیکل آنیل شده مقدار گلیسرول **Glycerol** کاهش یافته و اسید نیتريك بیشتر می شود. ترکیب شیمیایی استاندارد برای نمونه های پیرسخت شده و آنیل شده مشابه می باشد. مخلوط اسید کلریدريك، اسید سولفوریک و اسید نیتريك ($HCl-H_2SO_4-HNO_3$) نیز استفاده می شود. برای تخمین اندازه دانه در نمونه های پیرسخت شده محلولهای **Kalling** یا **ماربل** بدون آب مناسب تر است. چندین محلول الکترواچ نیز استفاده می گردد. اچانتهای رنگی نیز نتایج بسایر خوبی می دهد.

برخی روشهای الکتروپولیش برای بررسی ریزساختاری با استفاده از SEM یا TEM نیز مفید هستند. بعضی اوقات الکتروپولیش فاز γ را تحت تاثیر قرار می دهد و اچ دیگری نیاز نمی باشد. برای بررسی رپلیکا بهتر است که از محلولو اچ استفاده شود یا الکتروپولیش که ذرات فاز γ را تحت تاثیر قرار داده و این فاز براحتی تشخیص داده شود. در این حالت فاز γ فرو رفته و بقیه فازها برجسته می شوند.

اچانتهای انتخابی و رنگی برای ظاهر سازی انواع کاربيدها و فاز سیگما مناسب است. بريدها که شبیه کاربيدهای فلزی هستند با اچ انتخابی تشخیص داده می شوند. کاربيدهای فلزی به صورت انتخابی رنگی می شوند و بريدهای بدون تغییر می مانند.

سوپر آلیاژهای ریختگی

سوپر آلیاژهای ریختگی شامل آلیاژهای پایه آهن، پایه نیکل و پایه کبالت می باشند که حاوی کروم برای ایجاد مقاومت به اکسیداسیون و خوردگی هستند.

آماده سازی نمونه

با وجود اینکه سه دسته از آلیاژها که در این قسمت بحث می شوند محدوده گسترده ای از ترکیب شیمیایی، خواص مکانیکی و ریز ساختار را شامل می شود، ولی روشهای آماده سازی متالوگرافی آنها مشابه می باشند. این روشها مشابه روشهایی هستند که در بخش مربوط به سوپر آلیاژهای کار شده (Wrought Heat-Resistant Alloys) ارائه شده است.

روش آماده سازی ذیل معمول و قابل قبول می باشد. ابتدا نمونه از قطعه ریخته گری با یک سنگ برش بریده می شود، بدون اینکه نمونه در حین برش داغ (Overheat) شود. سطوح نمونه توسط سنگ صاف و هموار می گردد و مجدد باید دقت نمود که نمونه بیش از اندازه گرم نشود. سپس نمونه مانت گرم یا مانت سرد می شود.

سنباده زنی با کاغذهای سنباده ۱۲۰، ۳۲۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ با دور موتور rpm ۱۶۰-۱۵۰ انجام می شود. سپس نمونه با الکل شسته می شود و با هوای گرم خشک می گردد. پولیش اولیه با استفاده از خمیر الماس ۶ μm و پارچه نایلونی با پرز کم و یک روا نساز با پایه روغنی انجام می شود. نمونه با صابون مایع و آب شسته شده و در پروپانول (Isopropyl alcohol) غوطه ور می گردد. پولیش نهایی با خمیر الماس ۱ μm و در نهایت با Al_2O_3 γ گرید ۰.۰۵ μm با استفاده از پارچه مخملی با پرز متوسط روی پولیش چرخی یا نوسانی انجام می شود.

محلولهای اچ برای سوپر آلیاژهای ریختگی پایه نیکل و پایه کبالت مشابه سوپر آلیاژهای کار شده می باشد. این محلولها به سه دسته تقسیم بندی شده اند: ۱- اچانتهای معمول delineating (معمولا محلولهای اسیدی) که کانترست را ایجاد کرده و ریز ساختار کلی را آشکار می کنند. ۲- اچانتهای رنگی staining or film-forming (محلولهای قلیایی) و ۳- محلولهای الکترو پولیش.

۱- محلولهای اچ اسیدی delineating Etchants

محلول اچ Vilella برای استخراج فلز توزیع شده (با استفاده از چندین سیکل اچ و پولیش) و برای آشکار نمودن فاز سیگما، ذرات کاربید و فریت بسیار مناسب است. اچ کردن برای ۱

دقیقه در درجه حرارت محیط پیشنهاد می شود. محلول اچ *Vilella* همان منظور را برآورده خواهند نمود وقتی برای سوپر الیازهای با کربن زیاد بکار روند.

محلول اچ *Glycergia* که از محلولهای اسیدی است که بسیار استفاده می شود برای سیکل پولیش و اچ نیز بکار می رود. در برخی مواقع نیز محلولهای ماربل *Marbel* و *Aqua regia* استفاده می شوند. اسید کلریدریک ۵۰٪ نیز بعضی مواقع برای ظاهر سازی فریت بکار می رود که ممکن است قطعه در مرحله بعد با محلولهای اچ رنگی اچ شود.

۲- محلولهای اچ قلیایی *staining Etchants*

محلولهای اچ قلیایی یا رنگی لایه هایی از محصولات واکنش روی سطح نمونه را تشکیل می دهند. رنگ لایه ها در هر ناحیه بستگی به ضخامت لایه دارد که با زمان، دمای اچینگ و محلول بکار رفته برای اچ کنترل می گردد. محلولهای اچ عموماً محلولهای آبی از هیدروکسید پتاسیم (KOH) یا هیدروکسید سدیم (NaOH) به همراه عامل اکسیدی هستند. *Pictates*، پر منگنات پتاسیم (KMnO_4)، پر اکسید هیدروژن (H_2O_2) و فری سیانید عاملهای اکسیدی هستند که معمولاً به کار برده می شوند.

محلول *Murakami* شامل KOH با فری سیانید پتاسیم [$\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$] به عنوان عامل اکسیدی یک محلول اچ رنگی همه کاره است. از طریق رنگ کردن در رنگهای مختلف تفکیک چندین نوع فاز سیگما و کاربید حاصل می شود. محلول *Murakami* بصورت سرد، گرم یا در حال جوش برای حصول اثرات متفاوت بکار می رود، اما باید با *Discrimination* استفاده شود. زیرا پاسخ *reagent* حساسیت به ترکیب شیمیایی فازی که باید رنگ شود را نشان می دهد، یک ساختار مشخص به صورت یکسانی پاسخ نمی دهد وقتی در آلیاژها با ترکیبهای شیمیایی مختلف ظاهر می شود.

اصلاحاتی روی محلول *Murakami* صورت گرفته است. ورژن *Emmanuel* حاوی ۳۰ g $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ، ۳۰ mL H₂O، ۶۰ mL KOH، که فاز سیگما را تحت تاثیر قرار می

دهد و تاثیر کمی نیز روی ذرات کاربیدی دارد؛ معرف Murakami ذرات کاربیدی را رنگ می کند اما همیشه فاز سیگما را رنگی نمی کند.

۳- محلولهای الکتروپولیش

اچ الکترولیتی و قتیکه با تایمر الکترونیکی کنترل شود دقت و تکرار پذیری حاصل می گردد. نمونه ای که باید اچ شود به عنوان آند محسوب می شود، فولاد ضد زنگ به عنوان کاتد قرار می گیرد. جریان می تواند با یک یا چندین باتری که به صورت سری به هم متصل شده اند و جریانهای ۱/۵، ۳، ۴/۵ و ۶ ولت را تامین می کند. نمونه های مانت نشده با انبرهای از جنس فولاد ضد زنگ گرفته می شوند. اگر نمونه با مواد غیر هادی مانت شده باشند، اتصال الکتریکی می تواند ایجاد شود.

جریان الکتریکی در سطح آند اکسیداسیون را زیاد می کند و بنابراین در مواقعی که عوامل اکسیدی به محلولهای هیدروکسیدی اضافه می شوند بکار می رود.

Prepared By:M.Derakhshan

Reference :ASM Hand Book

۱ - فازهای تشکیل دهنده میکروساختار فولادها

مهمترین و متداول ترین فازهایی که در یک قطعه فولادی ممکن است شکل بگیرند، عبارتند از:

الف) فاز فریت :

این فاز محلول جامد کربن در آهن آلفا با شبکه کریستالی مکعبی مرکزدار (BCC) بوده، معمولاً مقدار کربن حل شده در این فاز ناچیز و دردمای اتاق حدود 0.02% درصد وزنی بوده که دمای بالا (دمای متناظر با دمای تحول یوتکتوئیدی) به حداکثر مقدار ممکن خود یعنی حدود 0.02% درصد می رسد. محدوده دمائی پایداری (وجود) این فاز به مقدار کربن و دیگر عناصر آلیاژی موجود در فولاد بستگی داشته، حجم عمده ای از میکروساختار فولادهای ساده کربنی کم کربن را این فاز تشکیل می دهد. در زیر میکروسکپ معمولاً به رنگ روشن سفید یا سفید متمایل به زرد و یا سفید کدر مشاهده می شود.

فاز فریت بسته به نحوه سرد شدن می تواند به یکی از صور: دانه های هم محور (فریت تعادلی پرویوتکتوئیدی)، لایه لایه ای (فریت یوتکتوئیدی در ساختار پرلیتی) و یا صفحات شبه تیغه ای (فریت ویدمن اشتتن) ایجاد گردد.

ب) فاز آستنیت:

این فاز با نماد محلول جامد کربن در آهن گاما با شبکه کریستالی مکعبی با سطوح مرکزدار (BCC) بوده، مقدار کربن حل شده در این فاز بسیار بیشتر از فاز فریت بوده و می تواند تا 2% درصد وزنی هم برسد. این فاز در فولادهای ساده کربنی معمولاً در دماهای بالای 725°C پایدار بوده و محدوده دمائی پایداری آن در دیگر انواع فولادها به مقدار کربن و دیگر عناصر آلیاژی موجود در فولاد بستگی داشته، با حضور عناصری مانند نیکل و یا منگنز به مقدار کافی حتی می تواند تا دمای محیط نیز پایدار باقی بماند.

ج) فاز فریت دلتا با نماد: همان فریت آلفا است با این تفاوت که در دماهای بسیار بالا (بالتر از 1400°C) تشکیل شده، چگالی کمتری داشته، غیر مغناطیسی بوده و بیشتر از منظر پدیده انجماد اهمیت دارد.

د) فاز سمنتیت یا کاربید آهن یا C_7Fe :

این فاز ترکیب بین فلزی آهن و کربن بوده، شبکه کریستالی نسبتاً پیچیده ای داشته، فاز کاملاً سخت و تردی است. در فولادهای ساده کربنی کم کربن معمولاً همراه با فریت و به فرم لایه لایه ای به ضخامتهای بسیار کم ایجاد می شود. مقدار کربن آن ثابت و حدود 6.7% درصد وزنی بوده و با تغییر دما تغییری نمی کند

ر) فاز پرلیت :

در اصل یک فاز نیست، بلکه مخلوط لایه لایه ای از صفحات متوالی فریت و سمنتیت است که در زیر میکروسکپ نوری در بزرگنمایی های بالا (معمولاً بیش از $500\times$ برابر) به صورت لایه لایه (خطوط تقریباً موازی ظریف) و در بزرگنمایی کم به فرم یک مجموعه واحد به رنگ خاکستری و یا قهوه ای متمایل به خاکستری مشاهده می شود. مقدار کربن این فاز نیز همانند فاز سمنتیت مستقل از دما بوده و معمولاً حدود 0.8% درصد در نظر گرفته می شود. با اینحال باید توجه داشت که حضور عناصر آلیاژی در فولاد و همچنین سرعت سرد شدن می توانند موجب جابجائی مقدار واقعی درصد کربن فاز پرلیت شوند. معمولاً فاز پرلیت از حدود 88% درصد فریت و تقریباً 12% درصد وزنی فاز سمنتیت تشکیل شده است. این فاز ضمن داشتن استحکام بالا، از انعطاف پذیری خوبی هم برخوردار است هر چند این خاصیت آن به خوبی فازهای فریت و یا آستنیت

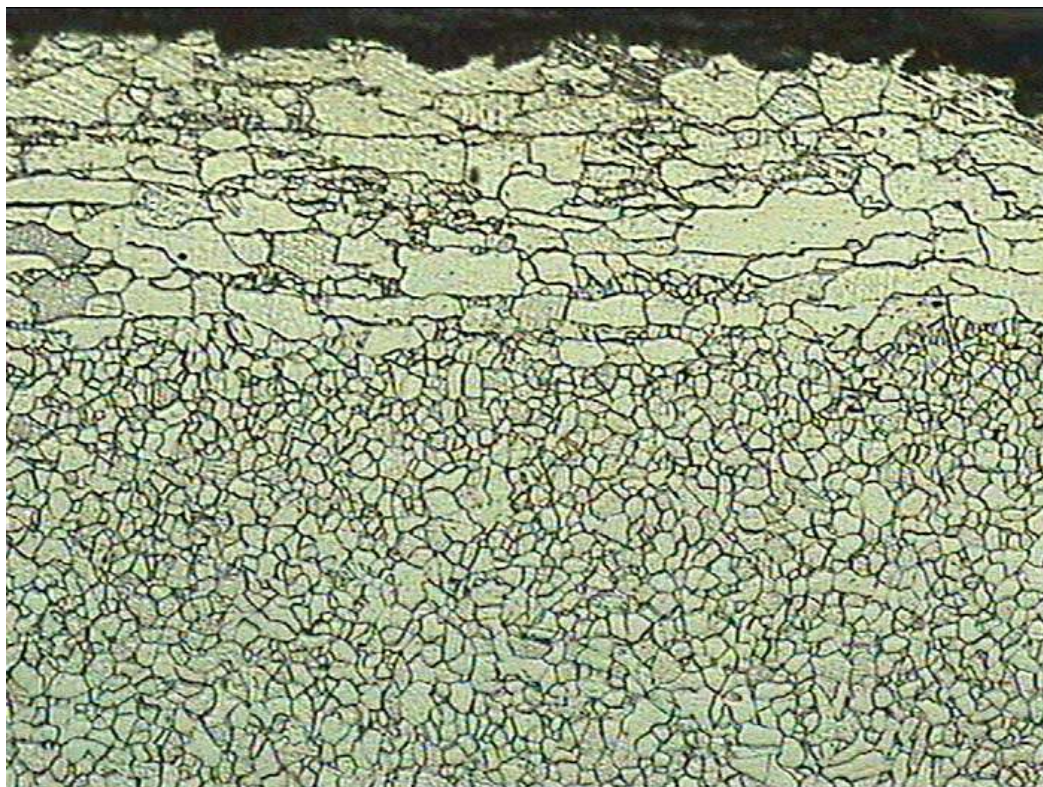
نیست. مقدار فاز پرلیت و همچنین فاصله بین لایه های متوالی آن نقش تعیین کننده ای در خواص مکانیکی فولادهای ساده کربنی دارد.

ز) فاز بینیت :

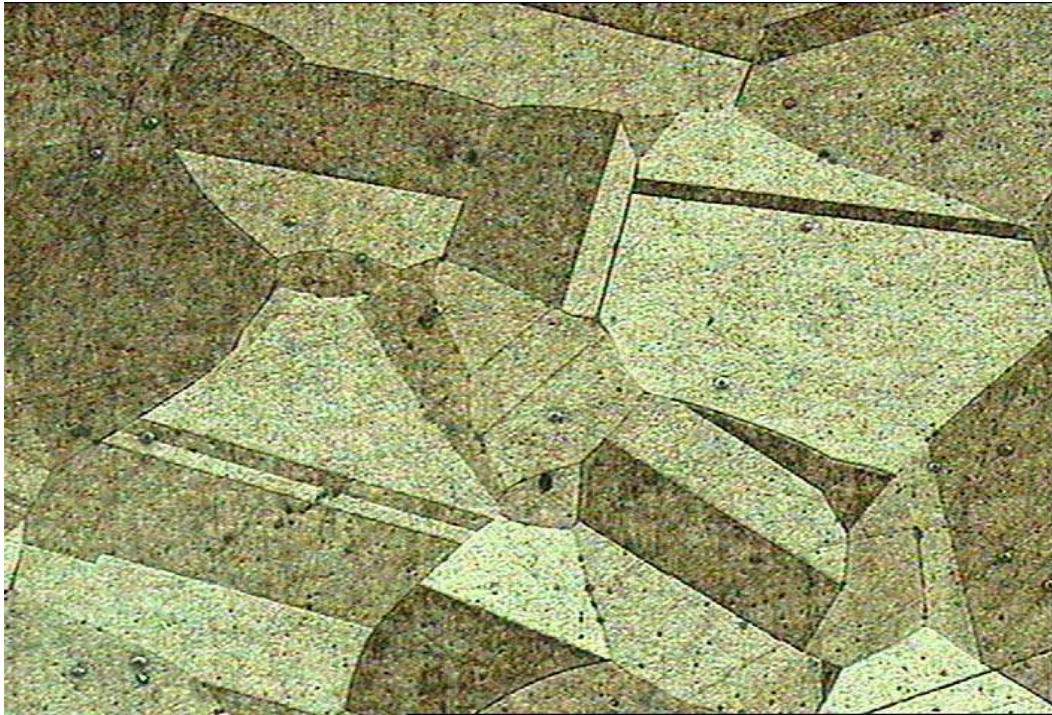
همانند پرلیت مخلوطی از دو فاز فریت و سمنتیت است با این تفاوت که این دو فاز به فرم لایه های متوالی در کنار هم نبوده بلکه معمولاً فاز فریت به صورت تیغه ها یا صفحات سوزنی شکل یا پر شکل بوده و فاز سمنتیت به صورت تکه های بسیار ریزی (رسوبات ریز) در داخل و مرز این صفحات و تیغه های سوزنی شکل مشاهده می شوند. از نظر ظاهری شبیه فریت ویدمن اشتتن است با این تفاوت که در فریت ویدمن اشتتن رسوبات ریز سمنتیت دیده نمی شود. بلکه معمولاً تیغه ها کشیده شده به داخل فاز پرلیت یا مارتنزیت می باشند. فاز بینیت سختی بالایی داشته و در عین حال از چقرمگی (مقاومت به ضربه) مناسبی برخوردار است اما قابلیت تغییر شکل پلاستیک آن به مراتب کمتر از فاز های آستنیت، فریت و پرلیت است.

س) فاز مارتنزیت:

این فاز همانند آستنیت محلول جامد کربن در آهن بوده با این تفاوت که اولاً محلول فوق اشباع بوده، ثانیاً شبکه کریستالی آن مکعبی نبوده بلکه در اثر وجود کربن فوق اشباع و در نتیجه نیروهای ناشی از آن هنگام تشکیل شدن، شکل مکعب دچار کشیدگی در یکی از امتدادها شده و مقداری حالت اعوجاج به خود می گیرد و اصطلاحاً آن را شبکه bct می نامند. ثالثاً ظاهر این فاز در زیر میکروسکپ مشابه بینیت و فریت ویدمن اشتتن به فرم تیغه ای و یا سوزنی شکل است. از نظر رنگ ظاهر هم معمولاً به رنگ خاکستری روشن دیده می شود.



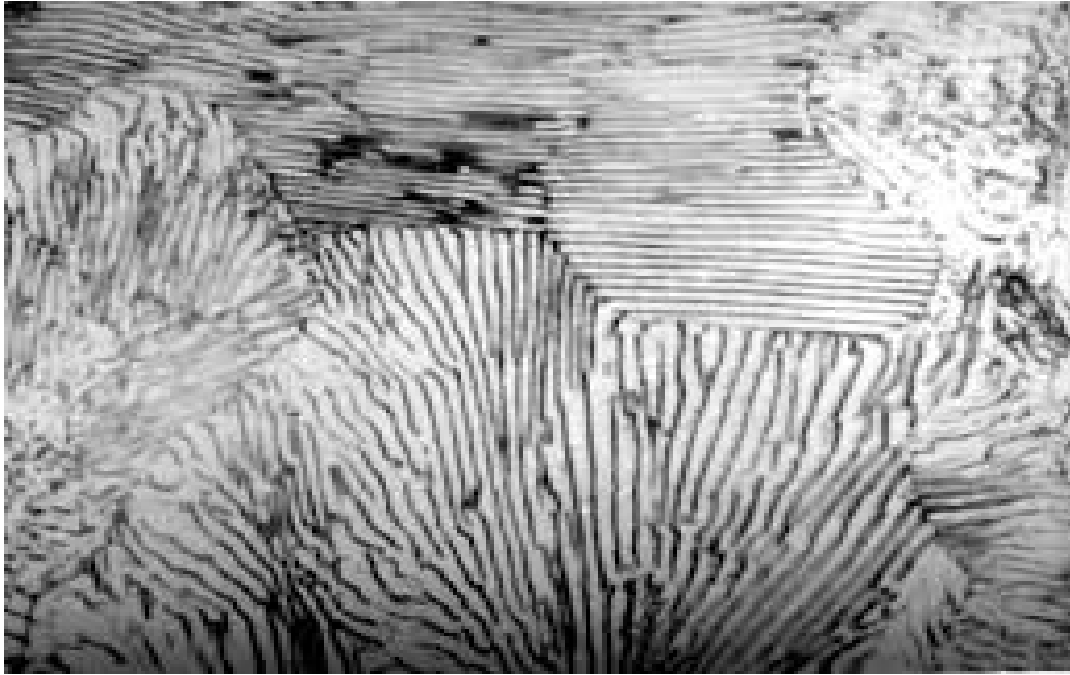
Ferrite



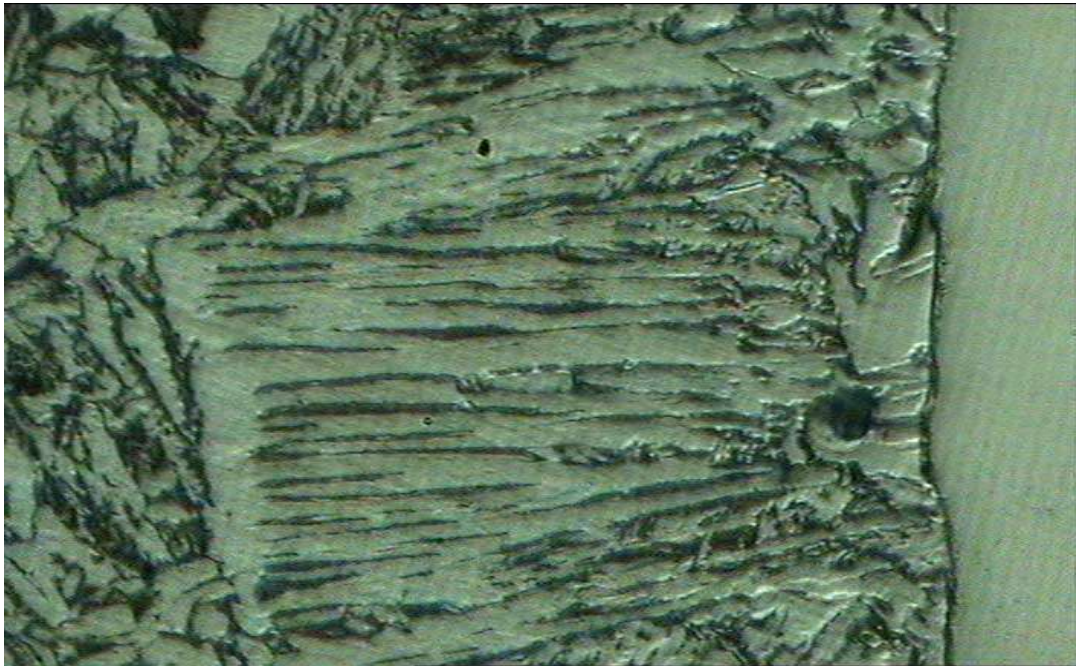
Austenite



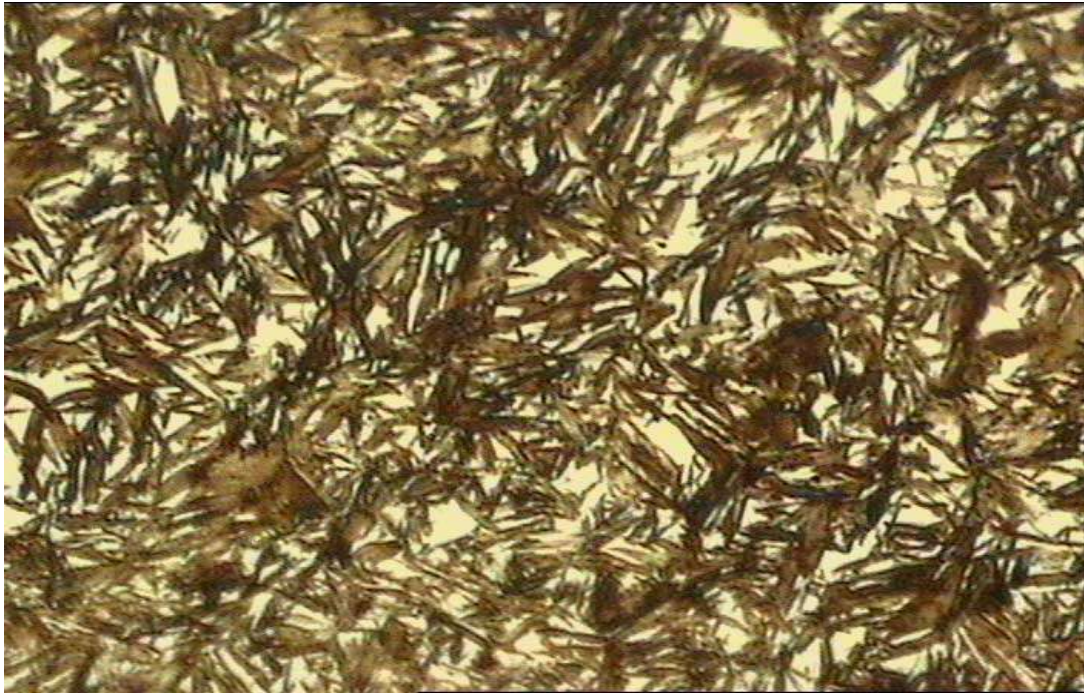
Cementite Fe₃C



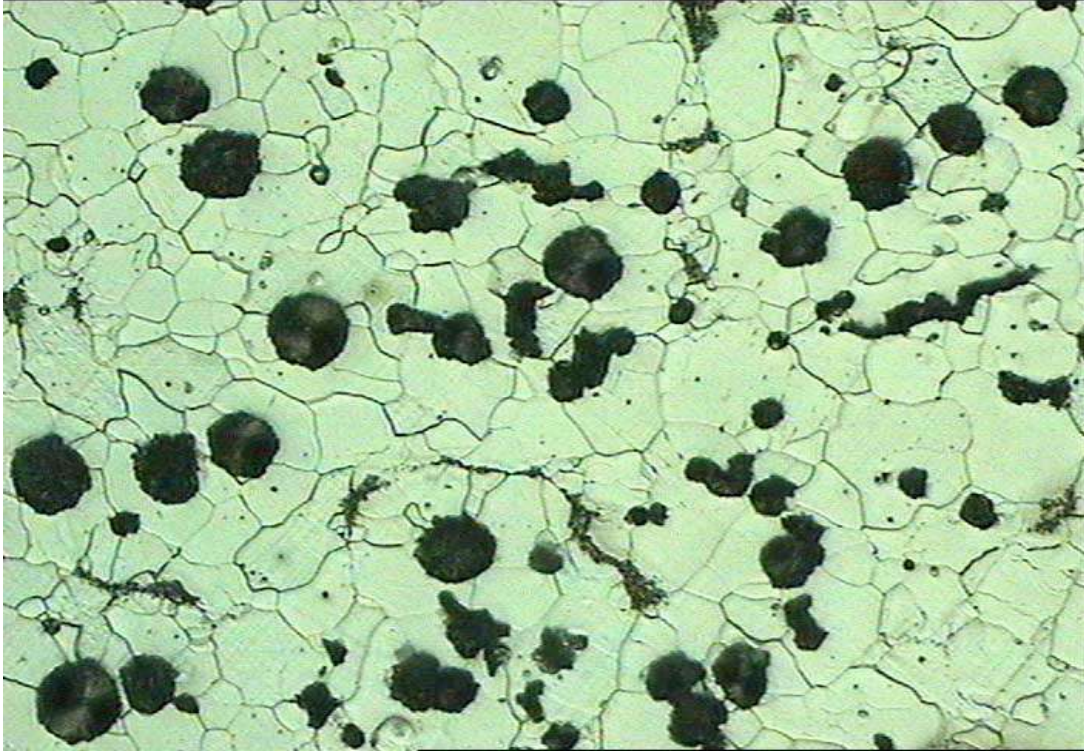
Pearlite



Bainite



Martensit



Ductile Cast Iron



Gray Cast Iron

دستگاه میکرو کاتر GTQ 5000



نمایشگر دیجیتال
موتور: 112-2001-1 1KW
قطر ترمه: 200mm (8")
سرعت چرخش تیغه اصلی: 2800rpm
برق تک فاز 220v 50Hz
قطر برش 0-140mm سیستم کاملاً اتوماتیک و قابل برنامه ریزی
سیستم خشک کننده لوبریکانت یا آب
کف دستگاه از جنس آلومینیم
وزن: 9kg
تعمیرات از جنس فلز و فایبرگلاس

دستگاه مانع گرم XQ2B



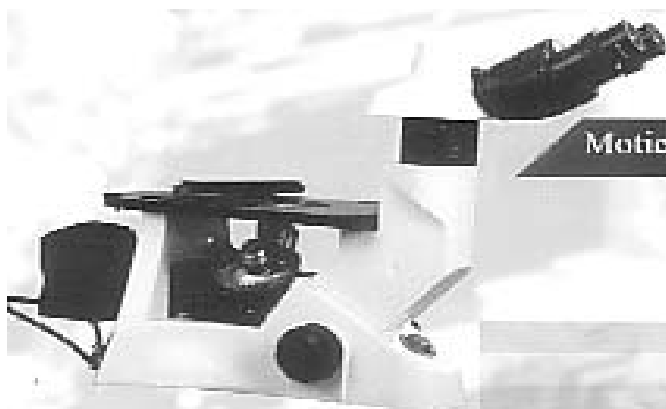
قطر نمونه: 22x15mm, 30x15mm, 45x18mm
گرم کننده: 650W, 220V
تنظیم دوده حرارت دیجیتال
برق تک فاز 220v - 50Hz
انسان فشار به صورت مکانیکی و دستی
زمان صلب مکانیکی



دستگاه پلیشر (ساب) MP2B



نمایشگر دیجیتال سرعت دیسک پلیشر و گریز
 ولتاژ کار: 220 ولت، 50 هرتز
 سرعت چرخش دیسک: گریز 50-1000rpm
 قطر دیسک گریز: 230mm
 سرعت چرخش دیسک پلیشر: 50-1000rpm
 قطر دیسک پلیشر: 200mm
 قطر کاغذ سمپانه: 200mm
 موتور: YC7127 550w
 ابعاد: 70x67x32cm
 وزن: 8.1kg
 Options: هولدر نگهدارنده نمونه 1



میکروسکوپ متالوگرافی Motic NIM 100



برای مطالعه مناطق وسیعی فلزی
 عدسی شیئی 4x، 10x، 40x، 50x، 100x
 عدسی چشمی واید 10x بیاب و مارج
 مشع نور: نور انعکاسی معکوس (invert)
 نوع مدار: سه چشمی (تربوکلاری)
 نور فلش پلازمه به صورت آنالیزور و پلازمور و فیلترهای رنگی
 6 سایز Plate: کمکی برای نگهداشتن و جایگزینی نمونه
 نوع لامپ: هالوژن 6V، 30W
 Options: سیستم عکسبرداری دیجیتال - انواع عدسی شیئی و چشمی
 عدسی شیئی 50x و 100x به صورت Long Work Distance و Dry
 با کیفیت بسیار بالا

سیستم مونیتورینگ

دوربینهای دیجیتال قابل اتصال به کامپیوتر و تلویزیون و وب کameran و سخت افزار

دوربینهای CCTV

دوربینهای ترمزبرد

دوربینهای اتارنگ

OPTION : رابطهای مختلف سخت افزاری و سخت افزارهای برای ساز

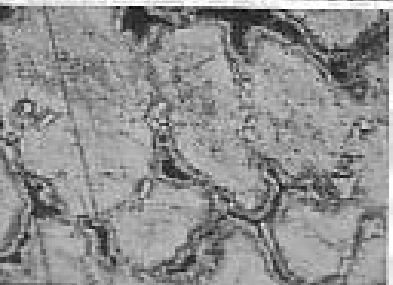
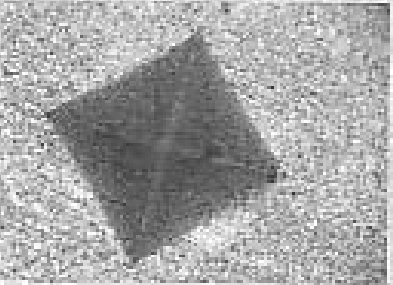
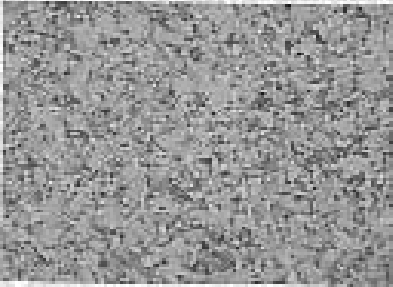
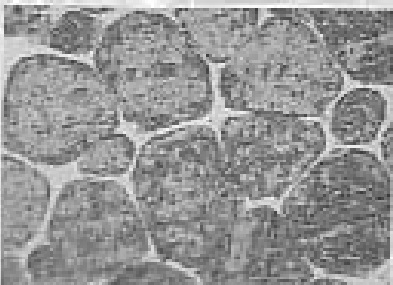
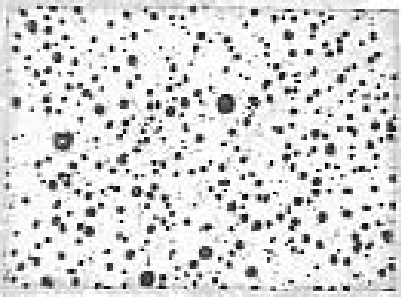
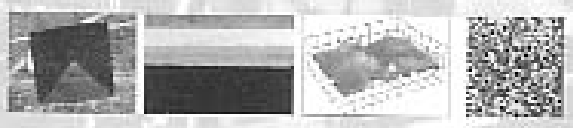
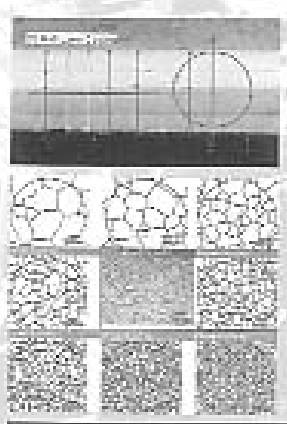
کارتهای انتقال تصویر

انواع سنسورها (جزئیات همراه با هند)

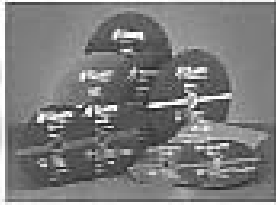


نرم افزار آنالیز تصویری (SIS) Soft Imaging System

- Measurement (ابعاد، اندازه گیری) (طول - سطح - حجم - زاویه - شمارش)
- Phase Analysis (تحلیل فاز)
- Nodule Count (شمارش نوده ها و تعداد ذرات مورد نظر)
- Cast Iron (تعداد گرافیت های کروی - درصد کربن - درصد فریت و ...)
- برایت و تاریک - بررسی شکل گرافیت ها
- Grain Size (اندازه و جابه بندی - شمارش داده ها بر اساس دو مدل (Microscopy & Planimetric))
- Micro Hardness (سختی سطحی)
- Roughness (ریزش سطحی)
- Layer Thickness (ضخامت سطحی)
- بر اساس استانداردهای جهانی ASTM-ISO-DIN



مواد مصرفی متالوژی



پودرهای ساینده، ترش های مختلف - انواع سمباده
سرمیانتیون و اسیدی ماده
خمیر ماده
انواع تیغ برش
مخمل پالایش
پودر حالت



7

پیوست ها

خلاصه ای از عملیات حرارتی در ارتباط با ریز ساختار فولاد

مقدمه

بررسی روش های مختلف عملیات حرارتی که منجر به تشکیل میکروساختارهای تعادلی می شوند، این ساختارها که تماما شامل فریت و سمانتیت، ولی با توزیع های متفاوت اند، اکثرا به کمک حرارت دادن فولاد در دماهای نسبتا بالا و یا برای مدت زمان نسبتا طولانی و سپس سرد کردن آهسته تا دمای اتاق به دست می آید. در فولادهای آلیاژی، علاوه بر فریت و سمانتیت، کاربیدهای آلیاژی نیز وجود دارند. بنابراین علاوه بر ترکیب شیمیایی و ساختار اولیه، دما و زمان حرارت دادن از جمله پارامترهای کنترل کننده میکروساختار و خواص مکانیکی نهایی اند. از جمله خواص مورد نظر در این عملیات عبارتند از: بهبود انعطاف پذیری، کاهش تنش های داخلی و باقیمانده از عملیات قبلی، بهبود قابلیت ماشین کاری و ایجاد یکنواختی در میکروساختار.

(Homogenising) همگن کردن:

جدایش، (Dendritic Structure) از جمله مشخصه های فولاد های ریخته گری شده، ساختار شاخه ای است. پدیده های مزبور که (Coring) و نایکنواختی در ترکیب شیمیایی (Segregation) موضعی ناشی از ناعادلی سرد شدن در ضمن انجماد و عدم نفوذ کامل عناصر آلیاژی است، باعث افت خواص مکانیکی فولاد، از جمله قابلیت کار گرم و یا سرد و همچنین کاهش کیفیت و کارایی عملیات حرارتی مختلف می شوند. از این رو، ساختار و ترکیب شیمیایی فولادهای ریخته گری شده باید به کمک عملیات حرارتی مناسب یکنواخت شود. برای این منظور، قطعات مورد نظر را در دمای نسبتا بالا (مطابق شکل) برای مدت زمان نسبتا طولانی حرارت داده و سپس به آهستگی تا دمای اتاق سرد می کنند. زمان حرارت دادن (Diffusion) بستگی به ابعاد و ترکیب شیمیایی قطعه دارد. (این عملیات به همگن کردن و یا آنیل نفوذی موسوم است. از آنجایی که دمای انتخاب شده نسبتا بالاست، نفوذ سریع بوده و بنابراین پس (Annealing) از پایان عملیات، نایکنواختی ریزساختار و ترکیب شیمیایی از بین می رود. به علاوه فازهای ثانویه نظیر کاربیدهای رسوب شده به هنگام انجماد، در آستنیت حل شده و به صورت محلول در می آیند. همچنان که از نمودار مشخص است، گستره دمایی همگن کردن و کار گرم بر یکدیگر منطبقند.

(Annealing) آنیل کردن:

واژه آنیل دارای معنی، مفهوم و کاربرد وسیعی است، بدین صورت که، به هر نوع عملیات حرارتی که منجر به تشکیل ساختاری به جز مارتنزیت و با سختی کم و انعطاف پذیری زیاد شود، اطلاق می گردد. از آنجایی که این مفهوم بسیار کلی است، عملیات حرارتی آنیل به یک سری فرآیندهای مشخص ترو دقیق تر تقسیم می شود. این تقسیم بندی بر اساس دمای عملیات، روش سرد کردن، ساختار و خواص نهایی است.

آنیل کامل (Full Annealing):

آنیل کامل عبارت است از حرارت دادن فولاد در گستره دمایی نشان داده شده در نمودار قبل و سپس سرد کردن آهسته، معمولا در کوره. تحت شرایط فوق آهنگ سرد شدن در حدود 0، 02 درجه سانتی گراد بر ثانیه

است. همچنان که از شکل مشخص است، گستره دمایی آستنیت کردن برای آنیل کامل، تابع درصد کربن AC فولاد است. بدین صورت که، برای فولادهای هیپو یوتکتواید، حدود 50 درجه سانتی گراد بالای خط 3 است. دماهای بحرانی AC و برای فولادهای های هایپر یوتکتواید حدود 50 درجه سانتی گراد بالای خط 1 تا حدودی تحت تاثیر عناصر آلیاژی در فولادها تغییر می کند. بنابراین به طور کلی در AC و AC1 3 عملیات آنیل کامل، فولادهای هیپو یوتکتواید را در ناحیه تک فازی آستنیت و فولادهای هایپر یوتکتیک را در ناحیه دو فازی آستنیت - سمانتیت حرارت می دهند. علت آستنیتی کردن فولادهای هایپر یوتکتواید در ناحیه دو فازی آستنیت - سمانتیت این است که سمانتیت پرویوتکتواید در این فولادها به صورت کروی و حرارت داده شود، در ضمن آهسته سرد ACM مجتمع شده در می آیند. اگر چنین فولادی تا بالای خط شدن سمانتیت پرویوتکتواید به صورت شبکه پیوسته ای در مرزدانه های آستنیت رسوب می کند و در نتیجه منجر به ترد و شکننده شدن فولاد می گردد. در عملیات آنیل کامل، نه تنها دمای آستنیتی کردن، بلکه آهنگ سرد کردن نیز دارای اهمیت ویژه ای است. سرد کردن آهسته که معادل سرد شدن در کوره ابتدا فریت و سپس پرلیت از آستنیت به AC و AC 3 است باعث می شود که در ضمن عبور از خطوط 1 وجود آیند. به علت سرد شدن آهسته، فریت تشکیل شده دارای دانه های درشت و هم محور بوده و پرلیت دارای فاصله بین لایه ای نسبتا زیاد (پرلیت خشن یا درشت) است. از جمله مشخصه های مکانیکی این میکروساختار عبارت است از: کاهش سختی و استحکام و افزایش انعطاف پذیری. اگر واژه آنیل بدون پسوند استفاده شود، منظور همان آنیل کامل است.

آنیل همدم:

این عملیات شامل حرارت دادن فولاد در دو دمای مختلف است. ابتدا عملیات آستنیتی کردن در همان و AC گستره دمایی مربوط به آنیل کامل انجام می شود و سپس سرد کردن سریع تا دمای (زیر خط 1) نگهداشتن برای مدت زمان کافی جهت انجام دگرگونی. پس از پایان دگرگونی، فولاد را با هر آهنگ سرد شدن دلخواهی می توان سرد کرد. در نمودار شمایی از مراحل گرم و سرد شدن را در عملیات آنیل همدم برای یک فولاد هیپو یوتکتواید نشان داده شده است. زمان لازم برای آنیل همدم در مقایسه با آنیل کامل به مراتب کمتر است، در حالیکه سختی نهایی کمی بیشتر خواهد بود. همانند آنیل کامل، ریزساختار حاصل از آنیل همدم در فولادهای هیپو یوتکتواید، یوتکتواید و هایپر یوتکتواید به ترتیب عبارت است از فریت - پرلیت، پرلیت و پرلیت - سمانتیت. ولی پرلیت حاصل نسبتا ظریف تر و درصد فریت و سمانتیت پرویوتکتواید تا حدودی کمتر است.

از جمله موارد عمده کاربرد آنیل همدم در رابطه با فولادهای آلیاژی ای است که دارای سختی پذیری بالایی هستند. در صورتی که بر روی این فولادها عملیات حرارتی آنیل کامل انجام شود (Hardenability)، به علت سختی پذیری بالا ساختار نهایی حاصل، به جای پرلیت خشن، ممکن است پرلیت ظریف و یا حتی مخلوطی از پرلیت ظریف و باینیت بالایی باشد. آنیل همدم در ضمن مراحل ساخت قطعات فولادی نیز (Air) استفاده می شود. اگر یک شمش ریخته گری یا نورد شده از جنس فولاد آلیاژی سخت شونده در هوا را از ناحیه آستنیت تا دمای اتاق در هوا سرد کنند، احتمال تشکیل ترک های (Hardening Steel)

سطحی بر روی آن زیاد است. این پدیده به هنگام مارتنزیت شدن مغز قطعه و در نتیجه اعمال تنش کششی (ناشی از انبساط) بر روی سطح آن که قبلاً مارتنزیت و سخت شده است، اتفاق می افتد. از این رو

به منظور جلوگیری از ایجاد ترک های سطحی، شمش های گرم را در کوره های آنیل همدمای 700 درجه سانتی گراد نگه داشته تا دگرگونی آستنیت به پرلیت به طور کامل انجام شود. از این پس، آهنگ سرد شدن اثر چندانی بر ساختار و خواص نهایی ندارد. با این حال پس از پایان دگرگونی، قطعات معمولاً در هوا سرد می شوند.

Normalizing) نرماله کردن:

نرماله کردن یکی دیگر از انواع روش های عملیات حرارتی است که ریزساختار حاصل همانند آنیل کردن شامل پرلیت، مخلوطی از پرلیت و فریت و یا مخلوطی از پرلیت و سمانتیت (بستگی به ترکیب شیمیایی فولاد) است. لیکن تفاوت های مهمی بین نرماله کردن و آنیل کردن وجود دارد. در نرماله کردن، دمایی آستنیتی کردن برای فولادهای هیپویوتکتوئید کمی بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل کردن است، در استفاده Acm حالی که برای فولادهای هایپرئوتکتوئید از گستره دمایی حدود 50 درجه سانتی گراد بالای می شود. بر خلاف آنیل کامل که فولاد در کوره سرد می شود، در عملیات نرماله کردن، قطعات پس از آستنیتی شدن در هوا سرد می شوند. تحت چنین شرایطی آهنگ سرد شدن در حدود 0,1 تا 1 درجه سانتی گراد بر ثانیه است. از آنجایی که در نرماله کردن فولادهای هیپویوتکتوئید گستره دمایی آستنیتیه کردن بالاتر از گستره دمایی مربوط به آنیل است، ساختار آستنیت و همچنین توزیع عناصر آلیاژی از یکنواختی بیشتری برخوردار خواهد بود. یکی دیگر از اهداف مهم نرماله کردن عبارت است از ریز کردن دانه های درشتی که اغلب به هنگام کار گرم در دمایی بالا و یا در ضمن ریخته گری و انجماد به وجود آمده اند. قرار AC و 3 AC هنگامی که قطعه کار گرم یا ریخته گری شده با دانه های درشت در دمایی بین 1 بگیرد، دانه های جدید آستنیت جوانه زده و رشد می کنند. بنابراین در عملیات نرماله کردن فولادهای هیپویوتکتوئید، ابتدا آستنیتی با ساختار همگن و دانه های ریز به وجود می آید و سپس در اثر سرد شدن در هوا به فریت و پرلیت تبدیل می شود. از نظر خواص مکانیکی، ریزساختار حاصل از نرماله کردن می تواند در بعضی موارد به عنوان عملیات حرارتی نهایی منظور شود. در مواردی که هدف سخت کردن قطعاتی باشد که دارای دانه های درشت هستند، نرماله کردن به عنوان عملیات حرارتی اولیه جهت ریز کردن دانه ها و حدود 50 Acm استفاده می شود. برای نرماله کردن فولادهای هایپرئوتکتوئید از گستره دمایی بین خط درجه سانتی گراد بالای آن استفاده می شود. انتخاب این گستره دمایی به منظور ریز کردن دانه های آستنیت، انحلال کاربیدهای رسوب شده و همچنین شکسته شدن شبکه پیوسته کاربیدی است. نمودار قبل شمایی از گستره های دمایی مربوط به دگرگونی آستنیت به مخلوط فریت و پرلیت را برای فولاد هیپویوتکتوئید در عملیات آنیل و نرماله کردن نشان می دهد. با توجه به اینکه در نرماله کردن فریت و پرلیت در دمایی کمتر و با آهنگی بیشتر از آنیل کردن تشکیل می شوند، اندازه دانه های فریت و سمانتیت و فاصله بین لایه ای پرلیت هر دو کاهش می یابد. بنابراین در مقایسه با خواص حاصل از فرآیند آنیل، استحکام و سختی افزایش یافته و انعطاف پذیری تا حدودی کاهش می یابد.

(Spheroidizing) کروی کردن:

انعطاف پذیرترین و نرم ترین شرایط در هر فولاد مربوط به میکروساختاری شامل سمانتیت کروی توزیع شده به طور یکنواخت در زمینه فریتی می شود. انعطاف پذیری زیاد این ریز ساختار مستقیماً مربوط به زمینه کاملاً یکنواخت و پیوسته فریتی می شود. لازم به اشاره است که در پرلیت لایه های سمانتیت باعث نا پیوستگی و تقسیم زمینه فریتی شده و در نتیجه تغییر شکل را به طور موثری کاهش می دهد. بنابراین در مقایسه با ساختار کروی، انعطاف پذیری ساختار پرلیت کمتر و سختی آن بیشتر است. انعطاف پذیری بسیار خوب فولاد های کم کربن و کربن متوسط با سمانتیت کروی از این نظر اهمیت دارد که این فولادها اغلب توسط کار سرد شکل می گیرند. از طرف دیگر از آنجایی که ساخت قطعات از جنس فولادهای پرکربن اغلب نیاز به ماشین کاری زیاد دارند، سختی کم ریزساختار سمانتیت کروی این فولادها اهمیت قابل ملاحظه ای دارد. سمانتیت کروی پایدارترین ریز ساختار موجود در فولادهاست که با حرارت دادن فولاد در مدت زمان مناسب به دست می آید. از آنجایی که کروی کردن سمانتیت مستلزم نفوذ است، دما و زمان عملیات باید طوری انتخاب شود که نفوذ به بهترین وجه انجام گرفته و در نتیجه در کوتاهترین مدت بیشترین درصد سمانتیت کروی شود. آهنگ کروی شدن سمانتیت بستگی به میکروساختار اولیه فولاد و همچنین نحوه عملیات حرارتی کروی کردن دارد. از نظر میکرو ساختاری، پرلیت بیشترین زمان را برای کروی شدن نیاز دارد و در بین ریز ساختارهای مختلف پرلیتی زمان لازم برای کروی شدن به ترتیب از پرلیت خشن به پرلیت متوسط و سپس پرلیت ظریف کاهش می یابد. مهم ترین روش های عملیات حرارتی کروی کردن عبارتند از: نگهداشتن برای مدت زمان کافی جهت کروی شدن و سپس، -1 Ac حرارت دادن فولاد تا درست زیر دمای 1 سرد کردن آن در هوا تا دمای اتاق

و Ac برای فولادهای هیپووتکتوئید و یا بین Ac و -2 Ac 3 حرارت دادن فولاد تا ناحیه دو فازی بین 1 Ar، برای فولادهای هایپریوتکتوئید به منظور آستنیتته کردن جزئی، سرد کردن آهسته تا زیر دمای 1 Acn نگهداشتن برای مدت زمان کافی جهت کروی شدن و سپس سرد کردن در هوا تا دمای اتاق. و Ar و آستنیتی کردن جزئی، سرد کردن تا زیر دمای 3-Ac 1 حرارت دادن فولاد تا بالای دمای 1 و تکرار عملیات تا Ac نگهداشتن برای مدت زمانی در حدود 30 دقیقه، گرم کردن مجدد تا بالای دمای 1 اینکه ریز ساختاری با سمانتیت کاملاً کروی شده به دست آید. پس از کروی شدن سمانتیت، قطعه را تا دمای اتاق در هوا سرد می کنند.

(Recovery) و تبلور مجدد: (Recovery) بازیابی

انجام کار سرد بر روی فولادها (تقریباً تمامی فلزات و آلیاژها) باعث افزایش استحکام و سختی و کاهش موسوم (Work Hardening) انعطاف پذیری و یا شکل پذیری آنها می شود. این پدیده که به کارسختی است ناشی از افزایش پیوسته معایب بلوری در اثر ادامه انجام کار سرد است. در اثر کار سرد، انرژی داخلی فلز افزایش یافته و بنابراین از نظر ترمودینامیکی ناپایدار خواهد شد. حرارت دادن چنین قطعه ای باعث از بین رفتن معایب بلوری موجود و بازیابی رزساختار و خواص فیزیکی و مکانیکی اولیه می شود. این پدیده تحت عنوان بازیابی و تبلور مجدد بررسی و مطالعه شده است.

بازیابی:

در ضمن عملیات حرارتی بازیابی تغییرات عمده ای که در ساختار بلوری فلز به وجود می آید، عبارت است از

کاهش و یا از بین رفتن معایب بلوری که از قدرت تحرک زیادی برخوردارند. در این عملیات، معایب نقطه ای نظیر جاهای خالی و اتم های اضافی یکدیگر را خنثی می کنند. نابجایی های پیچی چپگرد و راستگرد و نابجاییهای لبه ای مثبت و منفی به ترتیب در یکدیگر ادغام شده و حذف می گردند. در نتیجه انرژی داخلی کاهش می یابد. ادامه عملیات حرارتی بازبایی همراه با لغزش و صعود نابجایی های باقیمانده و ردیف قرار گرفتن آنها است. به این ترتیب، مرزهای فرعی تشکیل می شود. تشکیل مرزهای فرعی که به چند وجهی شدن موسوم است عملی خود به خود می باشد، زیرا انرژی آزاد داخلی میکروساختار با دانه های فرعی در مقایسه با قطعه کار سرد شده به مراتب کمتر است. در عملیات بازبایی خواص فیزیکی تقریباً به طور کامل بازبایی شده و تا حدودی به خواص فیزیکی قطعه قبل از کار سرد بر می گردد. در حالی که تغییرات خواص مکانیکی چندان محسوس نیست. در حقیقت، عملیات حرارتی تبلور مجدد است که باعث بازبایی خواص مکانیکی قطعه کار سرد شده می شود. تغییراتی که در ساختار بلوری در ضمن عملیات بازبایی به وجود می آید را نمی توان به کمک میکروسکوپ نوری مطالعه کرد و نیاز به میکروسکوپ الکترونی دارد. تبلور مجدد:

از جمله اثرات کار سرد عبارت است از تغییر شکل دانه ها در جهت اعمال نیرو و ایجاد تنش های داخلی. در عملیات حرارتی تبلور مجدد دانه های جدید هم محور و عاری از تنش در فلز کار سرد شده به وجود می آید. در ضمن این عملیات، تغییراتی که در اثر انجام کار سرد در خواص فیزیکی و مکانیکی به وجود آمده از بین می رود و قطعه به حالت قبل از کار سرد برمی گردد. در حقیقت، تبلور مجدد ادامه عملیات حرارتی بازبایی است و دانه های جدید عاری از تنش می توانند از دانه های فرعی حاصل از عملیات بازبایی به وجود آیند. اساساً فرآیند تبلور مجدد شامل جوانه زنی و رشد بوده که نیروی محرکه برای این عملیات، ناشی از کاهش انرژی آزاد حجمی در اثر کاهش چگالی نابجایی هاست. از آنجایی که عملیات حرارتی تبلور مجدد فولادها در ناحیه دو فازی فریت-سمانتیت انجام می شود، تغییرات ساختار هم راه با تغییر فاز نخواهد بود. به طور کلی ریزساختار فولادهای کم کربن و کربن متوسط قبل از کار سرد شامل سمانتیت کروی و یا عمدتاً فریت با مقدار کمی پرلیت است، که هر دو از انعطاف پذیری خوبی برخوردارند. فریت موجود در این ساختار عاری از تنش بوده و دارای دانه های هم محور است. کار سرد، دانه های فریت را در جهت انجام کار مکانیکی تغییر شکل داده و معایب بلوری را در آن افزایش می دهد.

: (Stress Relieving) تنش گیری

برخی از فرآیندهای عملیات حرارتی و یا مکانیکی در قطعات ایجاد تنش های داخلی می کند که می تواند مخرب بوده و بر عملکرد این قطعات تاثیر نامطلوب گذارد. تنش های داخلی حاصل، مکن است منجر به تاب برداشتن، ترک خوردن و یا انهدام قطعات در تنش هایی به مراتب کمتر از سطح تنش طراحی شده برای آنها شود. از جمله منابع تنش های داخلی عبارتند از:

1- انهدام شدن نقاط مختلف یک قطعه در ضمن کاهش دما از ناحیه آستنیت.

2- ماشین کاری و کار سرد در فولادها.

3- جوشکاری که ممکن است باعث ایجاد تنش های کششی در قطعه شود.

برای حذف یا کاهش تنش های باقیمانده از عملیات قبلی، قطعات مورد نظر را برای زمان مشخصی در

دمایی زیر دمای بحرانی حرارت می دهند. زمان حرارت دهی بستگی به ابعاد قطعه و دمای تنش گیری دارد. هرچه دمای تنش گیری بالاتر انتخاب شود، زمان لازم برای انجام عملیات کمتر است. به منظور جلوگیری از ایجاد تنش های حرارتی جدید و همچنین احتمال شکستن قطعه در ضمن عملیات حرارتی تنش گیری، معمولا حرارت دادن و یا سرد کردن از دمای تنش گیری باید خیلی آهسته انجام شود. این موضوع به ویژه در رابطه با قطعات حجیم و تجهیزات بزرگ جوشکاری شده صادق است.

هنگام آنیل معمولا آلیاژ نرم تر می شود. در این نمونه ها درصد کربن بین 0، 2 تا 0، 3 است. این درصد کربن به باشد تنها تنش زدایی Ac قسمت فریتی پرلیتی تعلق دارد. اگر دمایی که نمونه به آن برده می شود زیر 1 انجام می شود و تغییر فاز، تغییر اندازه دانه و تبلور مجدد رخ نخواهد داد. برای انجام تبلور مجدد حتما باید دارای دو فاز می باشد. قسمت های تیره رنگ پرلیت و قسمت A درصدی کار سرد انجام شده باشد. نمونه و نگهداری Ac 15 های روشن رنگ فریت هستند. با افزایش دما تا 650 درجه سانتی گراد (دمای زیر 1) دیده می شود. مقداری درصد B دقیقه ای در این دما، نمونه تنش زدایی می شود. که این حالت در نمونه تیره رنگ پرلیت کمتر شده است که علت آن دکربوره شدن نمونه است.

است دانه ها درشت خواهند شد Ac. اگر نمونه اولیه را به دمای 850 درجه ببریم، چون این دما بالاتر از 1 از آنجا که نمونه اولیه دارای دانه های نسبتا ریزی بوده است، افزایش اندازه دانه ها چشمگیر C در نمونه نیست.

افزایش اندازه دانه ها چشمگیر نیست. اما به دلیل اینکه کوره مورد C نیز همانند نمونه D در نمونه استفاده اتمسفری و رو باز بوده است، مقداری دکربوره شده است.

درشتی دانه ها بیشتر شده است و علت آن زمان بیشتری است که نمونه در کوره نگه داشته E در نمونه دمای نگهداری یکسان E و D، C شده است. زیرا با توجه به پارامتر دما - زمان، چون در بین نمونه های که زمان بیشتری را در E بوده است، در این بین زمان بر روی اندازه دانه ها تاثیر گذار بوده است و نمونه کوره گذرانده است، دارای اندازه بزرگتری شده است.

ابتدا در کوره به دمای 950 درجه سانتی گراد برده شده است که در این دما آستنیتی است و F در نمونه سپس با انداختن نمونه در آب، عمل تبدیل به مارتنزیت انجام شده است. قسمت های تیره رنگ این نمونه به دلیل تنش های ناشی از انداختن نمونه در آب است.

چون به نمونه اجازه داده شده است آرام و در هوا سرد شود، مارتنزیت تشکیل نشده است. در G در نمونه بزرگترین اندازه دانه ها دیده می شود. در این نمونه فاز روشن فریت بسیار بیشتر از فاز تیره رنگ H نمونه پرلیت است. علت این امر بالا بودن دمای کوره و خارج شدن کربن نمونه به صورت اکسید از نمونه است. به همین دلیل پرلیت نمونه کمتر شده است. در سطح دانه های فریت لکه های سیاه رنگی دیده می شود که علت وجود آنها زمان زیاد اچ کردن نمونه ها است.

اثر عناصر آلیاژی بر خواص فولاد

© کربن

کربن مهمترین و موثرترین عنصر آلیاژی در فولادها می باشد و بالاترین تاثیر را در ساختار آن دارد. هر فولاد آلیاژ شده علاوه بر کربن عناصر آلیاژی دیگری نظیر سیلیسیم - منگنز - فسفر و گوگرد را به همراه خواهد داشت بطوریکه این عناصر به شکلی ناخواسته به هنگام فرایند تولید در فولاد باقی خواهند ماند. اضافه کردن عناصر آلیاژی برای بدست آوردن نتایج مشخص و منحصر بفرد و افزایش کنترل شده منگنز و سیلیسیم در فولاد ، فولاد آلیاژی را بوجود خواهد آورد. با افزایش میزان کربن استحکام و سختی پذیری فولاد بیشتر میشود اما چکش خواری و قابلیت جوشکاری و ماشینکاری (با استفاده از ماشینهای برش) کاهش می یابد. این عنصر عملاً هیچ تاثیری بر مقاومت خوردگی در آب، اسید و گازهای گرم ندارد.

(Mn) منگنز

منگنز سرعت خنک شدن بحرانی را به شدت کم می کند به همین دلیل سختی پذیری و نقطه تسلیم و استحکام نهایی را افزایش می دهد. با اضافه نمودن منگنز تاثیرات مطلوبی در قابلیت های آهنگری و جوشکاری فولاد بوجود می آید و بطور قابل ملاحظه ای عمق سختی فولادها را بیشتر می کند. مهمترین خاصیت منگنز ترکیب با گوگرد بوده و از ترکیب شدن گوگرد با آهن جلوگیری می نماید .

(Si) سیلیسیم

سیلیسیم را می توان در ترکیب همه فولادها دید زیرا سیلیس اکسیژن زدای قوی است. استحکام فریت را افزایش می دهد و سختی پذیری را زیاد می کند. حضور سیلیس ، راسب شدن گرافیت را تشویق میکند و مقاومت سایشی را افزایش می دهد. به علت افزایش استحکام تسلیم ، عنصر اصلی در فولادهای فنر است . وجود سیلیس در فولادهای الکتریکی که جهت گیری دانه ها مطرح است بسیار مهم است. در مقادیر بالای سیلیس ، سختی پذیری و استحکام فولاد افزایش می یابد ولی این افزایش همراه با کاهش داکتیلیتی و انرژی ضربه است .

(P) فسفر

مقدار فسفر در فولاد نباید از ۵٪ تجاوز کند. افزایش بیش از حد فسفر باعث درشت شدن فولاد می‌گردد. فسفر خاصیت ماشینکاری، براده برداری، سیالیت مذاب، شکنندگی در حالت سرد و استحکام در حالت گرم را افزایش داده و مقاومت در برابر ضربه را کاهش می‌دهد.

(S) گوگرد

نقطه تسلیم و مقاومت در برابر کشش فولاد را تغییر نمی‌دهد. گوگرد در ترکیب هر فولادی وجود دارد و به علت کم بودن نقطه جوش، در مذاب پایداری زیادی ندارد. مشکل اصلی فولادسازان مربوط به پدیده ترک برداری گرم یا سرخ شکنندگی است. لذا سعی می‌کنند تا حد امکان در صد گوگرد را کمتر کنند. در فولادهای خوش تراش وجود گوگرد عامل مهمی است. در واقع، یکی از راههای افزایش قابلیت ماشینکاری، اضافه کردن گوگرد به ترکیب فولاد است. وقتی ابزار برش روی سطح قطعه کار می‌کنند، به علت وجود سولفات منگنز طول پلیسه‌ها کوتاهتر می‌شوند و نقش روانکار را نیز ایفا می‌کنند و در نتیجه صافی سطح بیشتر می‌شود.

(Cr) کروم

کروم عنصر اصلی در فولادهای زنگ نزن است. علل اصلی در افزودن کروم به ترکیب فولاد افزایش سختی پذیری فولاد حفظ استحکام و سختی فولاد در دماهای بالا و شرایط کاری و افزایش مقاومت خوردگی در محیط‌های اکسید کننده دانست. کروم تمایل زیادی به ترکیب با کربن دارد و لذا ذرات کاربیدی همان کاربیدهای کمپلکس آهن-کروم هستند. کروم با اکسیژن ترکیب شده و ترکیب دیرگداز غیرفلزی اکسید کروم تشکیل می‌دهد که نقش فیلم سطحی محافظ در سطح فولاد را بازی می‌کند. کروم فریت زای بسیار قوی است. در حدود ۱۲٪ کروم در ترکیب فولاد باعث محدود شدن فاز آستنیت در ریزساختار می‌شود. با افزایش درصد کروم، مقاومت خوردگی فولاد زیاد می‌شود و همچنین در دماهای بالا مقاومت به اکسیداسیون آنها زیاد خواهد شد.

(Ni) نیکل

نیکل به عنوان عنصر آلیاژی در فولاد به همراه کروم استفاده می شود. نیکل عنصر آستنیت زا است و هیچگونه تاثیری در تشکیل کاربید و اکسید ندارد به علت اینکه تمایل به ترکیب آن با کربن و اکسیژن کمتر از آهن است. نیکل سختی پذیری فولاد را افزایش می دهد. در فولادهای زنگ نزن آستنیتی ۷ تا ۲۰ درصد نیکل وجود دارد. در این فولادها برای خنثی کردن اثر فریت زایی کروم از نیکل بهره می گیرند. نیکل خودبخود باعث افزایش مقاومت خوردگی می شود. در درصدهای بالا باعث آستنیتی شدن فولادهای مقاوم در برابر مواد شیمیایی تا دماهای خیلی زیاد می شود .

(Mo) ملبیدن

این عنصر به طور معمول با عناصر دیگر آلیاژ می شود. در فولاد کروم-نیکل دار و فولاد منگنز دار سبب ریز دانه سازی می شود. و باعث بهبود قابلیت جوشکاری می شود و نقطه تسلیم و استحکام نهایی را بالا می برد. با ازدیاد درصد موبیدن جوش پذیری کاهش می یابد. و سازنده مسلم فاز کاربید است و در فولادهای تند بر خواص برشکاری را بهبود می بخشد. مقاومت خوردگی را بالا می برد .

در فولادهای ضد زنگ مقاومت در برابر کروزیون را به میزان قابل توجهی افزایش می دهد. به دلیل ایجاد نیتروژن در برخی از فولاد های میکرو آلیاژی مورد استفاده قرار می گیرد .

(Co) کبالت

کبالت موجب بهبود استحکام مکانیکی فولاد در برابر دمای بالا می شود. لذا به عنوان یک عنصر آلیاژی در فولادهای ابزاری گرم کار مورد استفاده قرار می گیرد .

(W) تنگستن

تنگستن کاربرد زیادی در تولید فولادهای ابزار داشته و اخیرا در تولید فولادهای پرآلیاژی مقاوم در برابر حرارت نیز استفاده می شوند. سختی پذیری را افزایش می دهد و کاربیدهای مقاوم در برابر سایش ایجاد کرده و بالاخص از افت سختی در دماهای بالا که امری رایج در نوک ابزار است جلوگیری می کند

(V) وانادیوم

با افزودن وانادیم به فولادهای ابزار و آلیاژی سختی پذیری آنها افزایش یافته و کاربردهای کمپلکس در ریزساختار تشکیل می شود .

اخیرا وانادیم به عنوان عنصر آلیاژی در فولادهای کربنی میکروآلیاژی استفاده می شود. و تنها به مقدار کمی کافی است تا افزایش قابل توجهی در استحکام فولاد بدست آید .

این عنصر آلیاژی به دلیل خواص کاربید سازی و کوچک نمودن ریز ساختار به همراه نیوبیم و تیتانیوم در فولادهای میکرو آلیاژی مورد استفاده قرار می گیرد. در فولاد های میکرو آلیاژی عناصر آلیاژی بیشتر از ۲۵٪ نمی باشد. این عناصر به تنهایی و یا به صورت ترکیبی باعث به وجود آمدن نیترات کربن در ریز ساختار شده و مقاومت فولاد را بالا می برند .

(Ti) تیتانیوم

همانند وانادیوم دارای خاصیت کوچک نمودن ریز ساختار می باشد ولی ای خاصیت آن نسبت به وانادیوم بیشتر است. به عنوان یک عنصر میکرو آلیاژی در فولادهای میکرو آلیاژی مورد استفاده قرار می گیرد. در فولاد های ضد زنگ نیز برای از بین بردن اثر مخرب کاربید کروم مورد استفاده قرار می گیرد .

(Nb) نیوبیم

این عنصر قوی ترین خاصیت کوچک نمودن ریز ساختار در فولادهای میکرو آلیاژی را دارا می باشد . در فولاد های ضد زنگ اثری مشابه تیتانیوم را داشته و به تنهایی و یا به همراه تیتانیوم مورد استفاده قرار می گیرد .

(Al) آلومینیوم

یکی از قویترین اکسیژن زداهای و نیتروژن زداهاست. و بر اساس نتایج بدست آمده تاثیر بسیار زیادی برای مقابله با کرنشهای ناشی از پیری دارد. در ترکیب با نیتروژن تشکیل نیتروژن سخت می دهد که باعث افزایش مقاومت در برابر پوسته ای شدن می شود به همین دلیل به عنوان عنصری آلیاژس برای مقاومت حرارتی فولادها بکار می رود

(Sn) قلع

نقطه تسلیم و مقاومت در برابر کشش فولاد را تغییر نمی دهد ولی در نورد سرد مشکل زا می باشد زیرا افزایش این عنصر در فولاد باعث ایجاد ترکیباتی میشود که دمای ذوب آنها پایین می باشد .

(Cu) مس

مس بعنوان یک فلز آلیاژی به تعداد بسیار کمی از فولادها اضافه می شود. زیرا این فلز به زیرلایه های سطحی فولاد تمرکز یافته و در فرآیند شکل دهی گرم با نفوذ به مرز دانه ها ، حساسیت سطحی را در فولادها بوجود می آورد. لذا به عنوان یک فلز مخرب در فولادها محسوب می گردد. به واسطه حضور مس نقطه تسلیم و نسبت نقطه تسلیم به استحکام نهایی افزایش می یابد

(Pb) سرب

باعث کم شدن خاصیت نورد در فولاد می شود . کیفیت سطحی فولاد را کم می کند. به دلیل افزایش خاصیت شکل گیری فولاد در فولاد های اتومات بیشتر مورد استفاده می باشد .

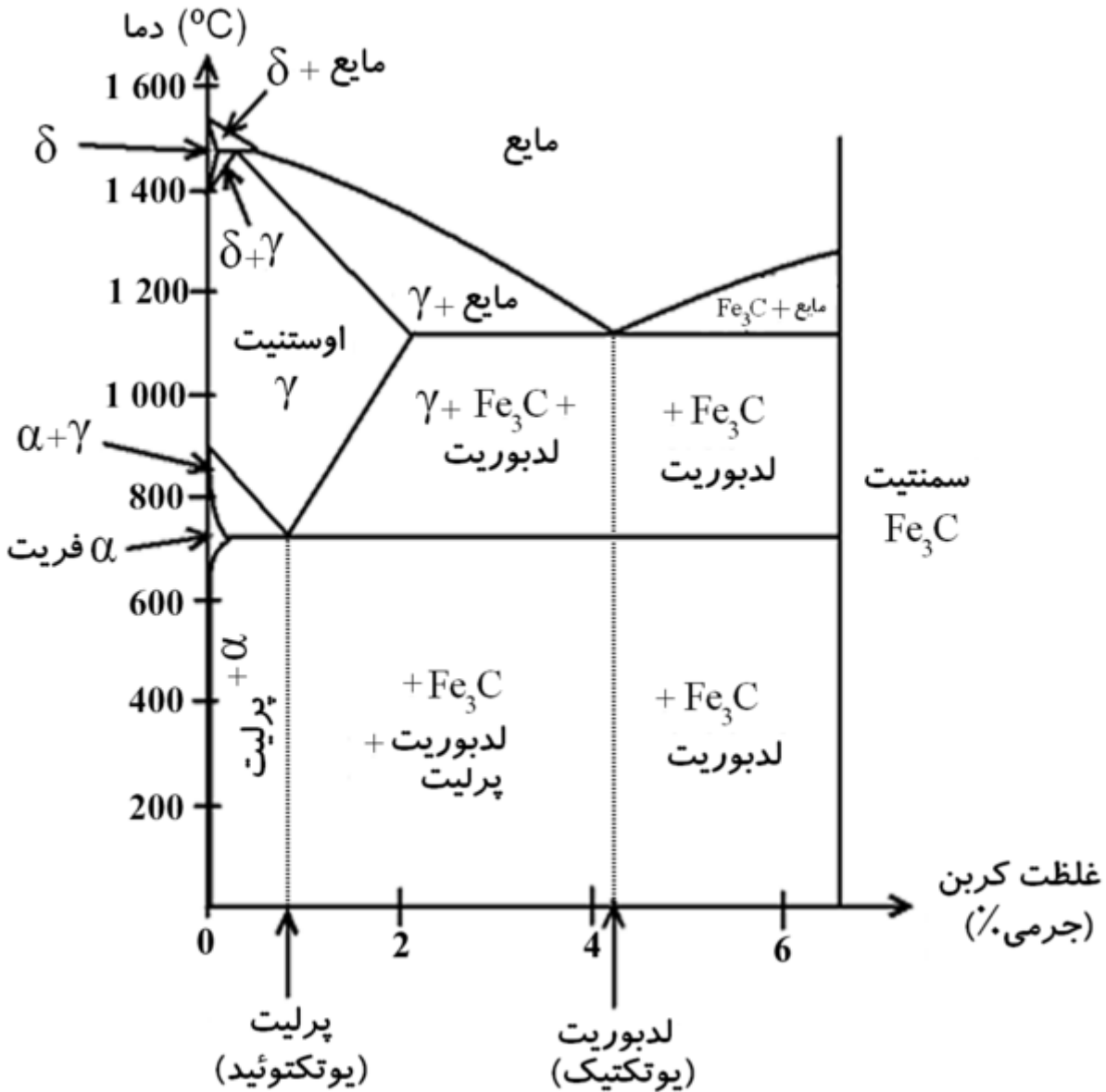
(N) ازت

یک عنصر مخرب می باشد. ازت موجب شکنندگی فولاد شده و خواص خم شدگی آن را تخریب می نماید .

(H) هیدروژن

هیدروژن یک عنصر مخرب در فولاد تلقی می گردد. زیرا موجب تردی و شکنندگی فولاد می گردد. مخرب تر از نیتروژن بوده و انعطاف پذیری را کم می کند

فازها و ساختارهای مختلف نمودار فازی



تحولات هم‌دما (ایزوترم) در سیستم آهن-کربن شبه پایدار

خطوط افقی در نمودار، نشان دهنده استحالتهای هم‌دما هستند.

• استحاله یوتکتیک : دما ۱۱۴۸°C، غلظت کربن ۴٫۳۰ درصد

- استحاله یوتکتوئید : دما 727°C ، غلظت کربن 0.8% درصد
 - استحاله پریکتیک : دما 1495°C ، غلظت کربن 0.18% درصد
- البته باید توجه داشت که غلظت‌ها و دماهای ذکر شده برای آهن-کربن خالص بوده و با حضور عناصر آلیاژی دیگر، این ثابت‌ها تغییر می‌کنند.

آلوتروپ‌های آهن

- آهن آلفا
 - آهن گاما
 - آهن دلتا
- آهن آلفا یکی از آلوتروپ‌های آهن است. این آلوتروپ از دمای 273°C - درجه سانتیگراد تا 910°C درجه سانتیگراد پایدار است. این آلوتروپ دارای ساختمان بلوری مکعبی مرکزپر (bcc) است. ثابت شبکه آهن آلفای فرومغناطیس، $2/86$ آنگستروم است.
- آهن گاما یکی از آلوتروپ‌های آهن است که در محدوده دمایی 912°C تا 1394°C درجه سانتیگراد پایدار بوده و ساختمان بلوری fcc (مکعبی مرکزپر) دارد.
- آهن دلتا یکی از آلوتروپ‌های آهن است که از دمای 1401°C درجه سانتیگراد تا 1539°C درجه سانتیگراد (نقطه ذوب آهن) پایدار است.
- آهن دلتا دارای ساختمان بلوری مکعبی مرکزپر (bcc) است. آهن دلتا دارای خاصیت پارامغناطیس بوده و ثابت شبکه‌ی آن بزرگ‌تر از آهن آلفا است. ثابت شبکه آهن دلتا، $2/93$ آنگستروم است.

فازها و ساختارهای مختلف نمودار فازی

- فریت
- اوستنیت
- سمنتیت
- لدبوریت
- پرلیت
- بینیت
- مارتنزیت

فریت:

به محلول جامد از نوع بین‌نشینی کربن در آهن آلفا $\alpha\text{-Fe}$ (آهن مکعبی مرکزپر) فریت گفته می‌شود. حداکثر غلظت کربن در فریت حدود 0.02% درصد وزنی و در دمای 727°C درجه سانتیگراد است. مقاومت کششی فریت در حدود 40000 پسی (psi) است.

اوستنیت:

به محلول جامد از نوع بین نشینی کربن در آهن گاما (آهن مکعبی وجوه مرکزپر) اوستنیت گفته می‌شود. حداکثر حلالیت کربن در آهن گاما، ۲ درصد در دمای ۱۱۴۷ درجه سانتیگراد است. اوستنیت در دمای محیط پایدار نیست.

سیمنتیت:

سیمنتیت یا کاربید آهن یک ماده مرکب شیمیایی به فرمول شیمیایی C_3Fe دارای ۶۷/۶ درصد کربن است. سمنتیت فازی بسیار سخت و شکننده است. حدس زدن این مورد شاید آسان باشد. این لغت برگرفته از کلمه **Cement** در زبان انگلیسی به معنای ماده ای است که مواد مختلف را به هم می چسباند، می باشد. در سال ۱۸۵۵ **Osmond** و **Werth** تئوری سلولی را ارائه دادند که در آن نه تنها وجود گونه های آلوتروپیک آهن (که امروزه به نام آستنیت و فریت معروف هستند) را پیشنهاد دادند، بلکه در این تئوری نگاه تازه ای به تشکیل کاربیدها شده بود. تحقیقات آنها در خصوص فولادهای پرکربن نشان داد که مخلوطی شامل سلولهای و دانه های آهن وجود دارد که توسط لایه ای از کاربید آهن محصور شده است. در حین انجماد ابتدا گلبولها یا سلولهای آهن تشکیل شده و رشد می کنند و باقیمانده مذاب به صورت کاربید آهن منجمد می شود. بدین ترتیب کاربید تشکیل شده با قرار گرفتن در اطراف سلولهای قبلی شکل گرفته، آنها را به هم می چسباند. از این شرح می توان دریافت چرا **Osmond** کاربید تشکیل شده را از لغت فرانسوی **Ciment** نامگذاری کرد. این فاز در زبان آلمانی با **Zementit** و در انگلیسی با **Cementite** نشان داده می شود

لدبوریت:

به مخلوط یوتکتیکی اوستنیت و سمنتیت، لدبوریت گفته می‌شود که از مذابی با ۴/۳ درصد کربن در دمای ۱۱۴۷ درجه سانتیگراد تحت یک واکنش یوتکتیکی حاصل می‌شود. از آنجایی که اوستنیت در دمای محیط پایدار نیست و بر اساس یک واکنش یوتکتوئیدی به پرلیت تبدیل می‌شود، لذا ساختمان لدبوریت در دمای محیط بصورت پرلیت و سمنتیت خواهد بود.

پرلیت:

به مخلوط یوتکتوئیدی فریت و سمنتیت، پرلیت گفته می‌شود. پرلیت تحت یک تحول یوتکتوئیدی از آهن گاما با ۰/۸ درصد کربن در ۷۲۳ درجه سانتیگراد حاصل می‌شود.

بینیت:

این فاز به یادبود **E.C. Bain** شیمیدان آمریکایی نامگذاری شده است.

تاریخچه آستمپرینگ به سال ۱۹۳۰ بر می گردد، زمانی که **Bain و Grossman** در آزمایشگاه های فولاد ایالات متحده بر روی ارزیابی پاسخ متالورژیکی فولادهای سرد شده با سرعت زیاد از دمای ۱۴۵۰ درجه فارنهایت (۷۸۸ درجه سانتیگراد) به دماهای متناوبا بالا و نگهداری در این دماها به مدت زمانهای مختلف های در حال کار بودند.

نتیجه تحقیقات آنها چیزی است که ما امروزه به عنوان دیاگرامهای استحاله همدمما (**Isothermal Transformation Diagram**) می شناسیم.

Bain و Grossman با ساختارهای معمول متالورژیکی فریت، پرلیت و مارتنزیت آشنا بودند. چیزی که آنها کشف کردند ساختار دیگری بود که در بالاتر از دمای آغاز تشکیل مارتنزیت (**Ms**) و پایین تر از دمای تشکیل پرلیت بود.

در فولادها این ساختار شکل ساختارهای سوزنی (بشقابی) با ظاهری پر مانند را داراست. تحقیقات **X ray** نشان داد که بینیت شامل فریت و کاربید فلزی است.

مارتنزیت:

اگر اوستنیت به قدری سریع سرد شود که هیچ یک از استحاله های بر پایه نفوذ در آن اتفاق نیافتد و فوق سرمایش تا حدی ادامه یابد که ساختار **fcc** پایدار نباشد، این ساختار بصورت برشی به **bcc** تبدیل می شود که از کربن فوق اشباع شده است. فاز حاصل را مارتنزیت می نامند.