

بررسی فولادهای کربنی ، فازها و ریزساختارهایشان

فلزات و آلیاژها اغلب به دو دسته تقسیم می شوند:

۱. آهنی
۲. غیر آهنی

آلیاژهای آهنی که بر پایه ی آلیاژهای آهنی- کربنی هستند، شامل فولاد های کربنی- ساده، فولادهای آلیاژی و ابزاری، فولادهای زنگ نزن ، و چدن ها می شوند . این گروه ها از آلیاژهای آهنی تنوع گسترده ای در خواص و کاربرد دارند . و معمولاً فولاد ها از نقطه نظرهای زیر تقسیم بندی می شوند:

- ۱- کاربرد: فولاد های ساختمانی، فولاد ابزار، فولاد ابزار گرم کار و
- ۲- مقدار عناصر آلیاژی: فولاد های کربنی، منگنزار، نیکل دار و
- ۳- ساختار میکروسکوپی: فولاد های فریتی، پرلیتی، آستنیتی و
- ۴- خواص شیمیایی: فولاد زنگ نزن، مقاوم در برابر دمای بالا، مغناطیسی و

فولاد های کربنی

از لحاظ تعریف شامل آهن + کربن + درصد بسیار جزئی دیگر عناصر می باشند و بر حسب %C درصد کربن تحول پیدا می کنند. در کشور های مختلف یا جمعی از کشورهای مختلف (اروپا) فولاد های متفاوت به کمک اعداد و حروف توأم با هم به صورت استاندارد های مختلف مانند استاندارد AISI و DIN مشخص می شوند.

• **استاندارد AISI** : در استاندارد امریکایی AISI، (انستیتوی امریکایی آهن و فولاد)، و SAE (انجمن مهندسان خودرو) مهم ترین عناصر آلیاژی توسط اعداد مشخص می شوند، طبق این استاندارد، فولاد ها با عددی چهار و یا گاه پنج رقمی مشخص شده اند. دو عدد اول گروه آلیاژی هستند که در مورد فولاد های کربنی این عدد ۱۰ می باشد و دو یا سه عدد بعدی صد برابر مقدار متوسط کربن را به درصد وزنی ارائه می دهد. برای مثال AISI 1040 یک فولاد ساده کربنی ، با مقدار ۰,۴% کربن است. یا یک SAE10120 یک فولاد ساده کربنی شامل 1.20% کربن می باشد.

- **استاندارد DIN :** فولاد های غیر آلیاژی طبق این استاندارد، همان فولاد های کربنی می باشند، که درصد عناصر همراه با آن از مقدار داده شده زیر بالاتر نمی روند.

$P < 0.09 \%$, $S < 0.06 \%$, $Si < 0.5\%$, $Mn < 0.8\%$, $Ti < 0.1\%$
 , $Al < 0.1\%$

فولاد های غیر آلیاژی

فولاد های غیر آلیاژی شامل فولاد های انبوه و فولاد های مرغوب می باشند:

- **فولاد های انبوه:** از نوع فولاد های غیر آلیاژی (کربنی ساده) هستند که برای عملیات حرارتی در نظر گرفته نشده اند، فولاد های انبوه توسط علامت St به معنی استیل یا فولاد و یک عدد دو رقمی دیگر، که حداقل استحکام کششی را نشان می دهد. برای مثال St37 یک فولاد کربنی ساده با استحکام کششی 370 MPa را نشان می دهد. درین استاندارد علاوه بر اعداد از حروف برای تولید و مشخص کردن خواص ویژه استفاده می شود.
- **فولادهای مرغوب :** که برای عملیات حرارتی در نظر گرفته شده اند و بعد از حرف C صد برابر مقدار متوسط درصد کربن مشخص گردیده است و آمدن k بعد از C نشان از وجود مقدار بسیار جزئی فسفر و گوگرد می باشد.

مروری بر دیاگرام فازی Fe - Fe₃C

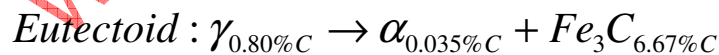
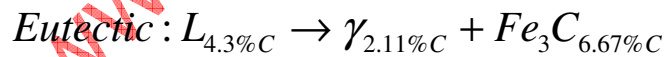
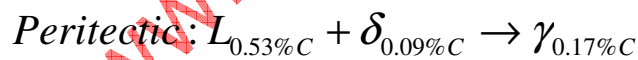
کربن به دو صورت فاز مختلف می تواند ظاهر شود :
یکی کربن خالص گرافیت که با آهن یک سیستم تعادل پایدار می سازد و دیگری کربن با آهن که تشکیل فاز سمانتیت یا کارباید آهن (Fe₃C) با ۶,۶۷% کربن می دهد که از لحاظ تعادلی سیستمی نیمه پایدار خواهد بود .

محلول های جامد

سه محلول جامد حائز اهمیت می باشند : δ-فريت، (γ) آستنیت و α-فريت و یک پیوند میان فلزی - سمانتیت یا کارباید آهن (Fe₃C) . به علاوه اینکه یک فاز پایه فلزی - مارتنزیت می تواند از سرد کردن سریع شکل بگیرد.
قابلیت حلالیت آهن برای کربن به شکل شبکه های کریستالی و درجه ی حرارت آن بستگی دارد. آهن γ با شبکه کریستالی مکعب با وجوه مرکزدار FCC قابلیت حلالیت بیشتری از آهن α با شبکه ی مرکزدار BCC دارد. اتم کربن بصورت اتم بین نشینی در شبکه ی کریستال آهن قرار می گیرد، در آهن γ در وسط مکعب و در وسط اضلاع مکعب و در آهن α در فضاهای خالی نزدیک به مرکز وجوه مکعب قرار می گیرد.

واکنش های سه فازی

این واکنش ها از این قرارند:



نقطه ی تفکیک کننده میان فولاد ها و چدن ها ۲.۱۱%C است ، یا موقعیتی که انجام واکنش یوتکتیک ممکن می شود.

ریزساختارهای کریستالی

• فریت

فریت (α) ، پیکربندی کریستالی آهن خالص است. این حالت بعنوان بخشی از ساختار اکثر فولادها وجود دارد و می تواند به خوبی کارباید های آهن و دیگر فلزات را با مکانیزم نفوذ در حالت جامد جذب کند. فریت به شکل BCC است و نرم و داکتایل می باشد.

• آستنیت

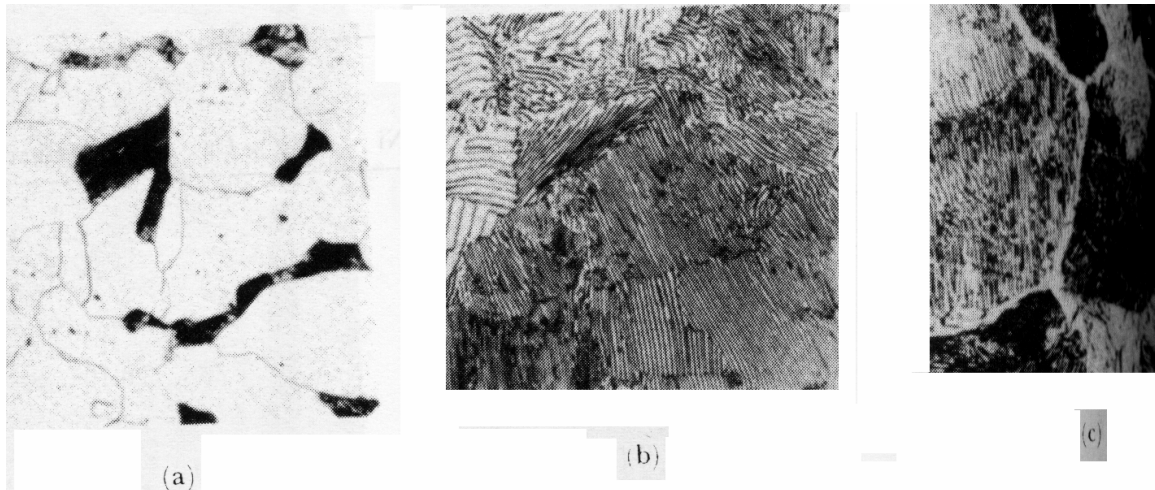
آستنیت (γ) ، یک محلول جامد می باشد که بصورت آلوتروپی از آهن خالص نیز وجود دارد . تمام فولادهای موجود درین حالت در دماهای به اندازه کافی بالا می باشند و برخی از فولادهای آلیاژی این تکفاز فاز را پایدار می کنند و حتی در دماهای اتاق نیز با آن شرایط باقی می ماند. پیکربندی کریستال FCC بوده و مانند فریت نرم و داکتایل می باشد .

• سمانتیت

سمانتیت کاربید آهن Fe_3C می باشد . وقتی اتم های کربن دیگر در محلول در فریت و آستنیت جای نمی گیرند (بعلت افزایش مقدار کربن یا کاهش در دما)، سمانتیت شکل می گیرد بصورتی که می تواند کربن های بیشتر را در ساختار کریستالیش جای بدهد . مانند دیگر کارباید ها ، سخت و بریتل ترد می باشد .

• پرلیت

پرلیت یک فاز مخلوط شامل صفحات کوچک جایگزین فریت و سمانتیت ($\alpha + Fe_3C$) می باشد ، که با تبدیل از آستنیت رشد می کند . یک فولاد شامل 0.77 % کربن می تواند منحصراً شامل پرلیت باشد اگر باندازه ی کافی به آهستگی از آستنیت خنک گردد. در زیر میکروسکوپ زمینه قوس قزح مانند و ظهور صدف گونه ی آن مشاهده می شود و انتخاب این نام صدف « Pearlite » نیز به همین دلیل بوده است.



(a) فولاد هیپو یوتکتوئید با فریت (سفید) عمده و پرلیت (x250) ، (b) فولاد یوتکتوئید تنها شامل اجتماعات پرلیت (x350) و (c) فولاد هایپر یوتکتوئید با عمده Fe_3C و پرلیت (x850)

ساختار ها فولادهای کربنی

ساختار ساده ای دارند که به دسته های زیر تقسیم می شوند:

$a + Fe_3C$ کمتر از ۰,۲% کربن

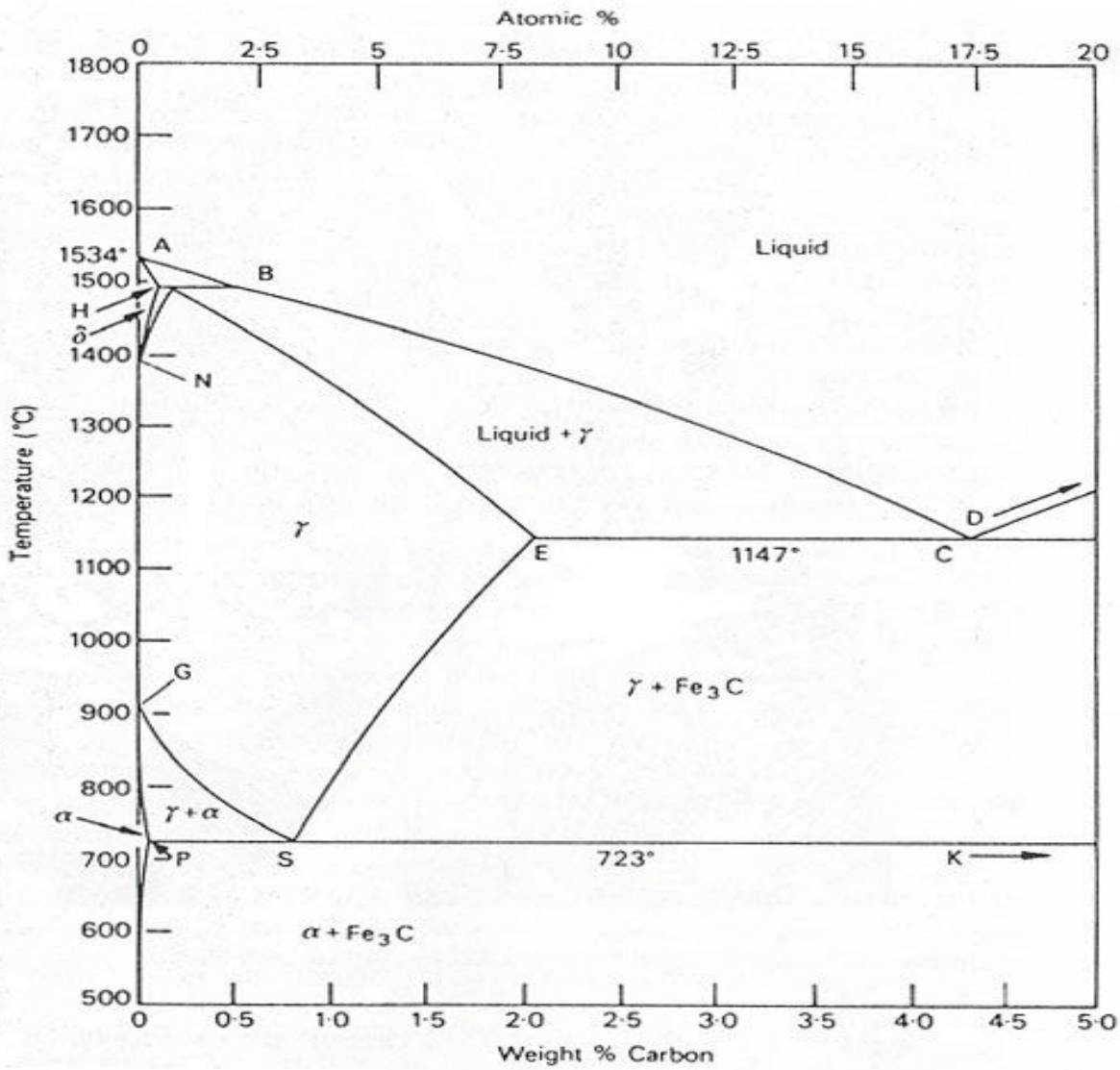
$a + P$ ۰,۲ تا ۰,۸% کربن

$P = 0.8 \% C$

$P + Fe_3C$ ۰,۸ تا ۲% کربن

و پس از ۲% چدن است که بعضی از ساختارهایشان متشابه با فولاد ۰,۸ تا ۲% کربن است ولی بصورت تفکیک شده از فولاد می باشند .

ساختار میکروسکوپی فولاد های با کربن بسیار کم (پایین تر از ۰,۰۲%) در درجه ی حرارت معمولی از فاز محلول جامد a (فریت) و مقدار بسیار جزئی سمانتیت در مرز دانه ها تشکیل شده است. فولادهای هیپویوتکتوئیدی با کمتر از ۰.۸C% دارای فاز های فریت و پرلیت هستند .



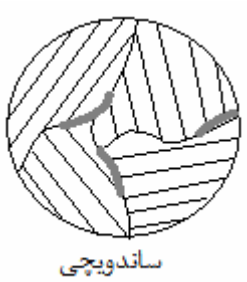
برای مثال: آلیاژی که **۰,۰۲% کربن** دارد ابتدا فاز γ و بعد α و γ دارد و سپس α تنها و سرد کردن تعادلی یک مقداری فاز سمانتیت ظاهر می شود که مانند بقیه پرلیت نیست زیرا پرلیت در ۷۲۷ درجه به بعد و کربن بعد از $۰,۰۲$ تشکیل می شود و پیش از $۰,۰۲\%$ پرلیت نداریم گرچه سمانتیت و α پی ست که فازی جدا ست و سمانتیت به مقدار کم دارد . ساختار دانه بندی منظمی ست که ذرات بسیار کمی از سمانتیت در مرز دانه ها و جاهای مختلف می نشیند. که البته آهن خالص این ذرات را ندارد .

از **۰,۲ تا ۰,۸% کربن** : فولاد پرلیت دار می شود(مثلاً فولاد $۰,۴\%$ کربن) و ابتدا خشی از γ به α تبدیل می شود و بخش دیگر باقی مانده در آن دما به پرلیت تبدیل می گردد. تمام فولاد های عبوری ازین خط و درین محدوده کما بیش پرلیت دارند بصورت حدودی در $۰,۴\%$ کربن تقریباً ۵۰% پرلیت داریم. و بصورت تیره در متالوگرافی دیده می شوند. سمانتیت کربن بیشتر و فریت در هر جا که باشد کربن کم دارد.

فولاد پرلیتی : دقیقاً $۰,۸\%$ کربن دارد فاز پرلیتی دارد و تمام دانه های فاز γ درین دمای ۷۲۷ به پرلیت ۱۰۰% تبدیل می شوند ..

فولادهای ۰,۸ تا ۲% کربن : این فولاد ها فاز پرلیت را دارند و کربن بالای $۰,۸\%$ بصورت فاز سمانتیت جدا و مجزا ظاهر می شود. از نظر شکلی تقریباً مشابه با توجه به فشرده compact بودن سمانتیت، این فاز بصورت رگه در روی مرز دانه (ساندویچی میان دانه های پرلیت آزاد) یا بصورت کروی در مکان های مختلف پرلیت پدیدار می شود .

سمانتیت



ساندویچی }
کروی } ۱. سمانتیت آزاد



۲. سمانتیت با فریت = پرلیت

} انواع سمانتیت

بررسی نمونه ها

نوع نمونه	%C
آهن تنها با فازاً لفا	۰
فولاد	۰,۱۴
فولاد	۰,۲
فولاد	۰,۴
فولاد	۰,۷
فولاد	۰,۱ کروئ
فولاد	۰,۱ ساندویچی
چرخ دنده	وسط: ۰,۲ به طرف خارج %C بیشتر می شود



تعدادی نمونه با درصد کربن هاب مختلف از ۰ تا حدود ۱% کربن، و برای جمع بندی کلی تحول یک نمونه ی **چرخ دنده** ، چون دنده ها معمولاً بر روی هم و دنده های دیگر چرخش داده و match با قطعات دیگر می شوند، اگر مقدار کربن خیلی زیاد باشد انتهای دنده شکننده می شود و با نیرو خواهد شکست و اگر مقدار کربن کم باشد، سایش رخ می دهد و تلرانس از بین می رود، ازین رو برای جلوگیری از تردی و سایش تواماً، روی سطح چرخ دنده کربن دهی می شود و سختی و مقاومت به سایش آن بالا می رود و در مکان های وسط و اتصال و عمق چون کربن پایین دارند، با این که استحکامی کمتر دارد ولی ضربه پذیری آن بالاست و به این ترتیب مشکل حل می شود .

و بصورت کلی برای چرخ دنده از داخل به بیرون کربن بیشتر داده شده و ترتیب فاز های آن ازین قرارند: (از داخل به بیرون)

پرلیت + سمانتیت → ۱۰۰% پرلیت → فریت + پرلیت

سطح چرخ دنده یکنواخت : در اچ کردن دنده، کنار آن دنده تیره تر پرلیت و وسط یا پایین تر روشن تر می باشد و علامتی ست که فاز پرلیت سمانتیت بیشتر از خورده می شود ، همین آثار است که باعث می شود اچ ریز ساختار را نشان دهد و اچ حکاکی ، پستی بلندی شیمیایی ست و برخی دانه ها، و مرز دانه ها بیشتر خورده می شوند و این همان خوردگی انتخابی ست. بررسی نمونه های این مجموعه ساختار فولادهای کربنی را بصورت کامل می تواند نشان می دهد .

نکته ای درباره اچ و گذر زمان

پس از پولیش شدن قطعه اگر بر روی آن آب باقی بماند، زنگ خواهد زد و سطح آن زرد می شود. بنابراین باید آب سریع با سشوار خشک شود زیرا اگر بر روی آن بماند در اثر رطوبت، نمونه زنگ خواهد خورد و در ساختار های آن چند رنگی اکسید های آهن مشاهده می شود . البته با اچ کردن مقداری ازین زنگ خوردگی برطرف می شود.

نمونه ها

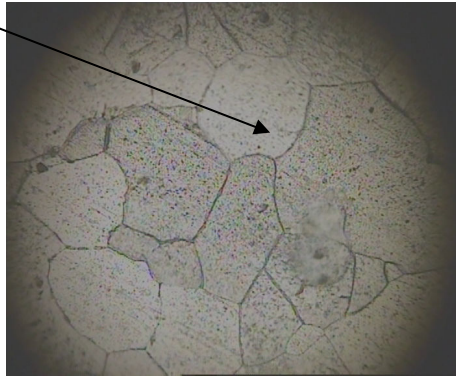
نمونه ها مراحل آماده سازی (آنچه در آزمایش ۱ بررسی شده) را طی کرده اند اما نیاز به اچ شدن دارند .

زمان اچ شدن : برای آهن این زمان ۴۰ ثانیه و برای دیگر نمونه زمان کمتری لازم است بطور کلی با افزایش مقدار درصد کربن زمان لازم برای اچ شدن کاهش می یابد.

نمونه شماره ۱

این نمونه غلاف ترموکوپل می باشد : آهن خالص ، بدون هیچ گونه کربن

فاز فریت



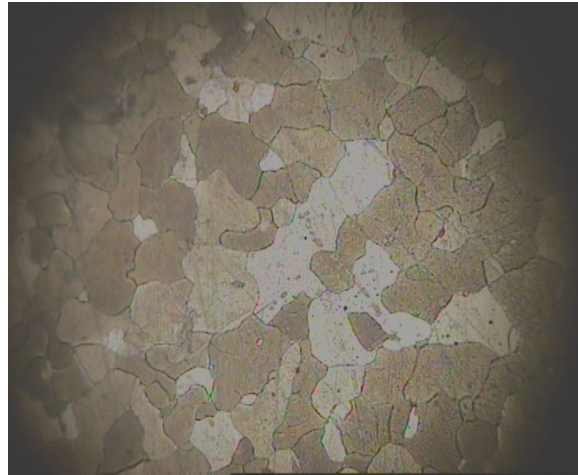
با بزرگنمایی از میکروسکوپ، که تیرگی و روشنی ها قابل مشاهده است به بررسی نمونه می پردازیم . خط های اضافه ای سرتاسری که دیده می شود مربوط به پولیش می باشد .

همه ی دانه ها یکدست فریت آهن آلفا اند که دانه های فریت روشن می باشند ولی بر حسب نوری که به آن ها داده می شود کمی تغییر دارند. بعضی روشن و بعضی کمی تیره تر می باشند . چند رنگی مربوط به جهت های مختلف بلوری ست. و تنها مربوط به یک فاز می باشد . این دانه ها تنها یک فازند که با توجه به جهت متفاوت رشد بلوری در حین تبدیل گاما و پرلیت و تحت تاثیر قرار گرفتن با سرعت واکنش غیر یکسان در محلول آج ، دانه های تیره تر با سرعت بیشتر در یک جهت دانه خورده شده اند و خوردگی شان از دانه های روشن بیشتر می بوده است.

نقاط سیاه روی سطح نمونه فاز جدیدی نیستند بلکه ناخالصی هایی مانند ترکیبات فسفر، سولفور و مربوط به سرباره ها می باشند.

آهن خالص دانه بندی درشت و نسبتاً واضحی دارد.

نمونه با ۰,۰۲٪ کربن



این نمونه بعلت وارد شدن در محدوده ی پرلیتی به مقدار کمی حاوی فاز پرلیت می باشد. چون که نرم می باشد و پولیش آن خوب نبوده مقداری خط روی آن باقی مانده است. به درستی پولیش و اچ نشده و سطح آن کثیفی دارد. مشابه نمونه ی پیشین می باشد ، با این تفاوت که دانه هایی تیره در مکان های مختلف آن بصورت سمانتیت دیده می شود. حدود دانه ها پیداست ولی واضح نیست . مناطق خیلی تیره تر، باید مقداری سمانتیت داشته باشند.

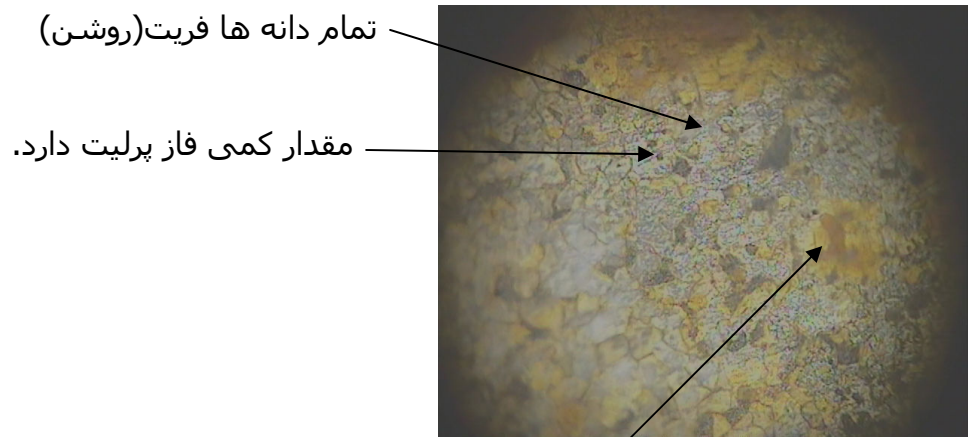
ساختار تیره-روشن بعلت جهت بلوری متفاوت می باشد (نه پرلیت-فريت) و نباید اشتباه شود. نسبت به آهن رگه های سمانتیت دارد در مناطق ضخیم شده روی مرزدانه ها که این دانه تیره پرلیت نمی باشد.

نمونه ۰,۱۴٪ کربن

در روند افزایش مقدار کربن تفاوت ساختار مشاهده می شود. این نمونه بعلت گذشتن مدت زمان زیادی از اچ کردن ، ساختاری به درستی واضح ندارد. ولی ساختار شبیه ۰,۲٪ می باشد. اکثر دانه ها فريت بوده و مقدار کمی فريت داریم.

نمونه با ۰,۲٪ کربن

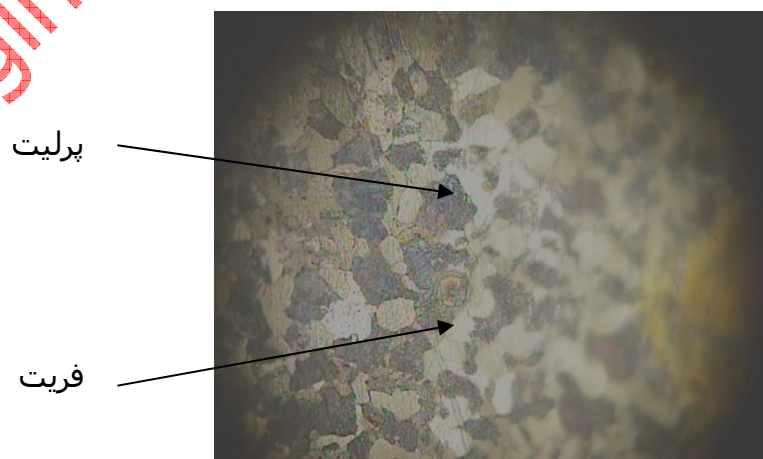
سطح آن بدلیل گذشت زمان تیره شده است، نمونه بایستی هم زمان بلافاصله پولیش و اچ شود و زمان باعث از میان رفتن وضوح آن می شود.



مناطقى که رنگی باشند (قرمز) اکسید های آهن هستند.

نمونه با ۰,۴٪ کربن

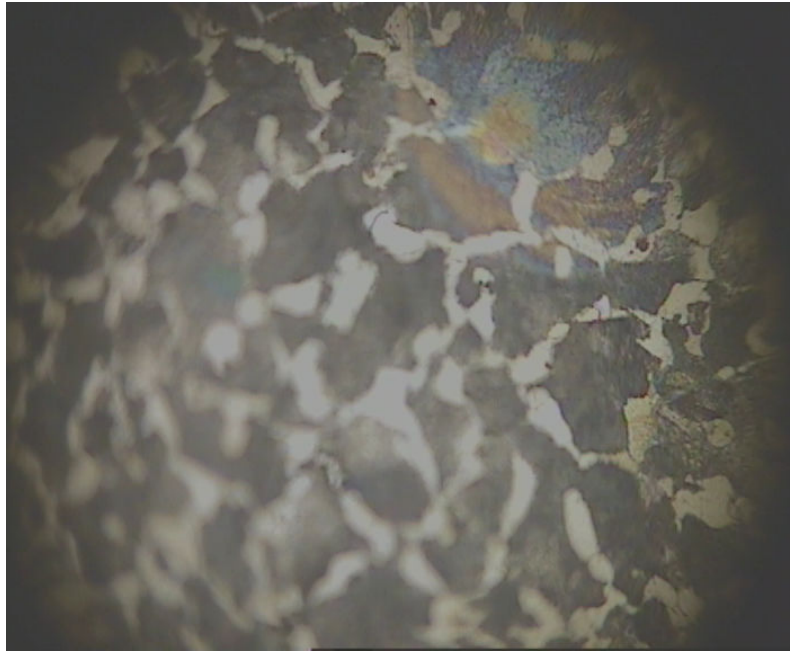
پولیش خوبی ندارد و در نتیجه اچ آن نیز مناسب نشده است.



با افزایش مقدار درصد کربن، نواحی پرلیتی کثرت بیشتری یافته اند. تقریباً ۵۰٪ فاز تیره و ۵۰٪ فاز روشن می باشد و درصد پرلیت دوبرابر شده است.

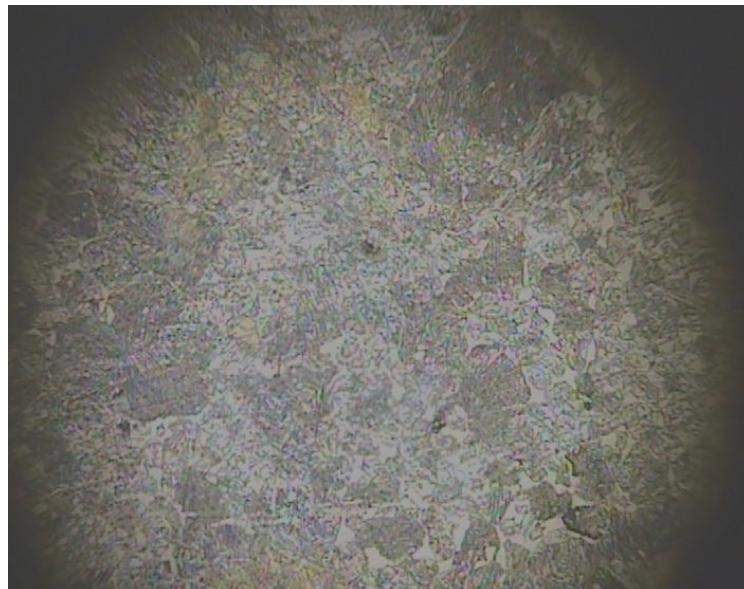
نمونه با ۰,۷% کربن

درصد فاز پرلیت ، فاز تیره بسیار افزایش یافته است. بعلت افزایش C% و سمانتیت بصورت کروی سخت کسه البتسه Resolution به وضوح کافی نمی باشد.



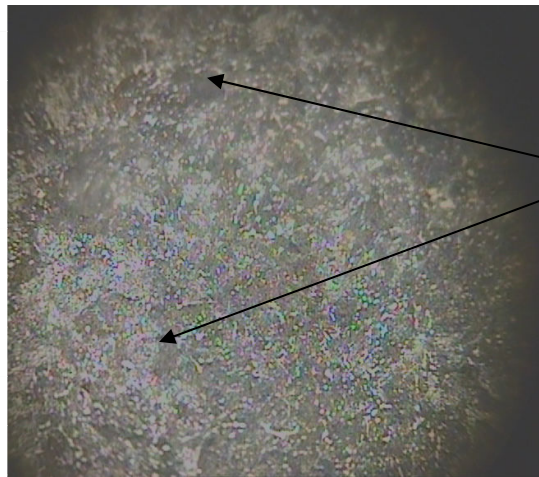
نمونه با ۱% کربن و سمانتیت ساندویچی

فاز پرلیت و مقداری سمانتیت بصورت ساندویچی در جاهای مختلف آن بین دانه ها مشاهده می شود.

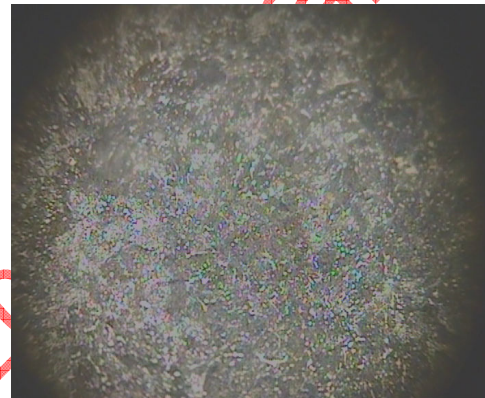


نمونه با ۱٪ کربن بصورت سمانتیت کروی

این نمونه از نظر ترکیب شیمیایی با نمونه قبلی یکسان می باشد تفاوت آنها در نحوه ی ظهور سمانتیت شان می باشد

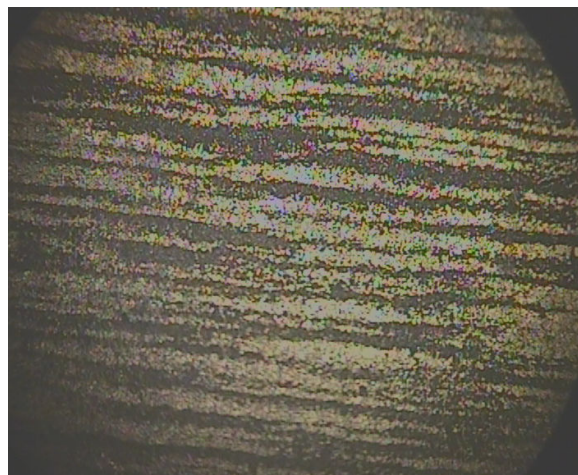


فاز پرلیت
+
سمانتیت آزاد بصورت کروی



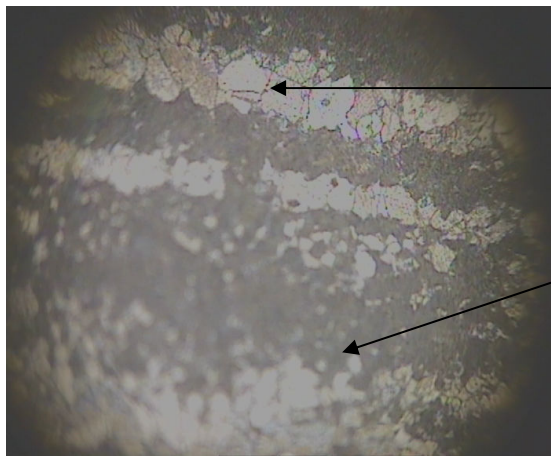
نمونه چرخ دنده

با بررسی سطوح چرخ دنده از قسمت وسط که کربن نداده شده است تا گوشه ها که مقدار درصد کربن با کربن دهی اضافه می شود و کلیه ساختار های پیشین، مرور می گردند.



مربوط به بزرگ نمایی کم وسط چرخ دنده ست. که کربن نداده شده است. یک سری به حالت راه راه مشاهده می شود چرا که در شکل دهی چرخ دنده در عملیات فورجینگ برای استحکام، سنبه با فرم فورج، پرلیت (تیره) را در یک جهت و فریت (تیره) را در جهت دیگر، چون دو فاز با استحکام های متفاوت هستند را، ردیف می کند. کشیده شدن دانه ها در یک جهت نشان از فورج شدن قطعه دارد. شایان ذکر است که چرخ دنده ها علاوه بر فورج (مانند آنچه بر قطعه بالا اعمال شده است) با ماشین کاری نیز ساخته می شوند

این شکل، همان قسمت از وسط چرخ دنده ست که با بزرگ نمایی بیشتری عکس برداری شده است.

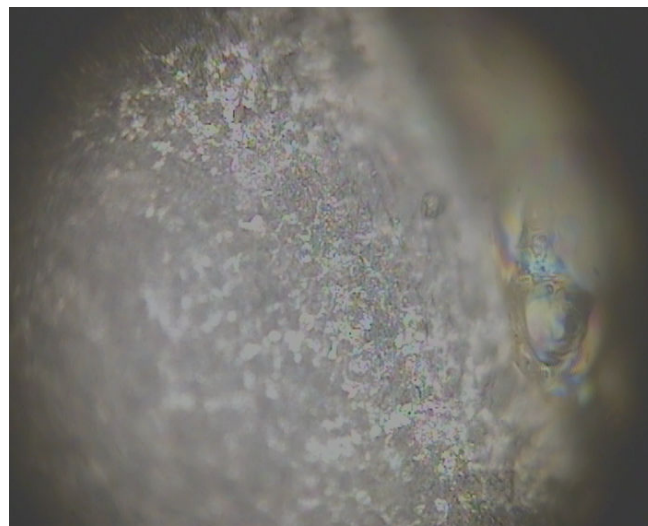


دانه های فریت روشن

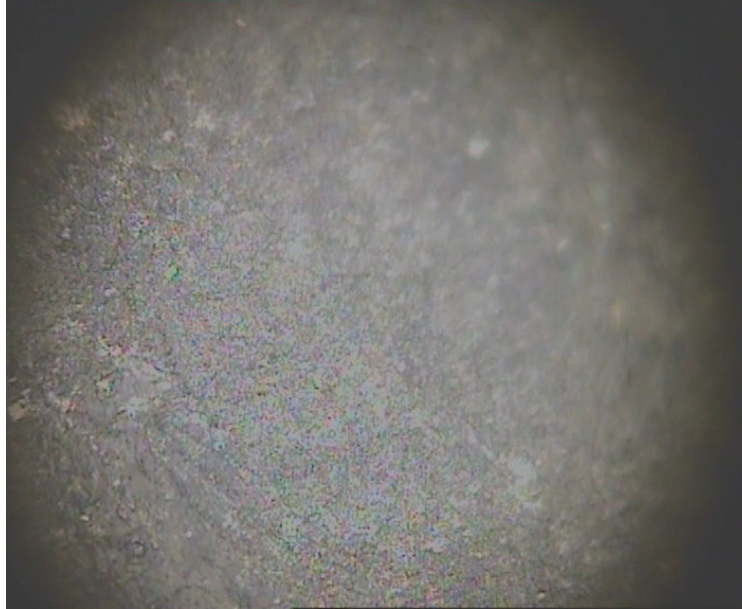
و

دانه های پرلیت تیره

قسمت بالا، باکلیت (ماده سیاه) که گود تراست، می باشد و قسمت پایین، گوشه چرخ دنده است. این قسمتگردی و انحنای انتهایی چرخ دنده می باشد. مکانی ست که کربن داده شده است و بسیار تیره می باشد. کربن دهی در حد ۱% است و مشابه نمونه فولاد با ۱% کربن می باشد. و چون همه ی آن فاز پرلیت و سمانتیت می باشد دیگر الیاف و ردیف نمی شوند



در وسط چرخ دنده دانه ها یکسان می باشند که تقریباً پرلایت ۱۰۰% ، می باشد که به دلیل نبود فاز روشن تشخیص آن کمی مشکل می باشد زیرا اختلاف رنگی وجود ندارد.



تهیه شده در مورخ پنج شنبه ۱۳۸۶/۰۵/۲۵

توسط مرتضی محمدی داینی

با تشکر از آقایان هادی استاد آقایی ، علیرضا قاسم خانی و مصطفی حامدی نژاد