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، منگنزدار، نیکل دار و ....
۳- ساختار میکروسکوپی: فولاد های فریتی، پرلیتی، آستنیتی و ....
٤- خواص شیمیایی: فولاد زنگ نزن، مقاوم در برابر دمای بالا، مغناطیسی و ....

فولاد های کربنی

از لحاظ تعریف شامل آهن + کربن + درصد بسیار جزئی دیگرعناصر 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 توام با هم به صورت استاندارد های مختلف مانند استاندارد AISI و DIN مشخص می شوند.

- **استاندارد AISI :** در استاندارد امریکایی AISI ،(انستیتوی آمریکایی آهن و فولاد)، وSAE (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 مثال1040 AISI یک فولاد ساده کربنی ، بامقدار ۰,٤ % کربن است.یا یک SAE10120یک فولاد ساده کربنی شامل1.20% کربن می باشد.

www.engineer2007.blogfa.com

- **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 اندو بعد از حرف Cصد برابر مقدار متوسط درصد کربن مشخص گردیده است و آمدن kبعد از cنشان از وجود مقدار بسیار جزئی فسفر و گوگرد می باشد.

www.engineer2007.blogfa.com

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-فریت، (γ) آستنیت و (α)فریت 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 مرکزدارBCC 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 αدر فضاهای خالی نزدیک به مرکز وجوه مکعب قرار می گیرد.

واکنش های سه فازی

این واکنش ها ازاین قرارند:

$$Peritectic: L_{0.53\%C} + \delta_{0.09\%C} \rightarrow \gamma_{0.17\%C}$$
$$Eutectic: L_{4.3\%C} \rightarrow \gamma_{2.11\%C} + Fe_3C_{6.67\%C}$$
$$Eutectoid: \gamma_{0.80\%C} \rightarrow \alpha_{0.035\%C} + Fe_3C_{6.67\%C}$$

نقطه ی تفکیک کننده میان فولاد ها و چدن ها 2.11%C است ، یا موقعیتی که انجام واکنش یوتکیک ممکن می شود.

www.engineer2007.blogfa.com

ریزساختارهای کریستالی

- **فریت**

فریت(α) ، پیکربندی کریستالی آهن خالص است. این حالت بعنوان بخشی از ساختار اکثر فولاد ها وجود دارد و می تواند به خوبی کارباید های آهن و دیگر فلزّات 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 ها ی 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 .

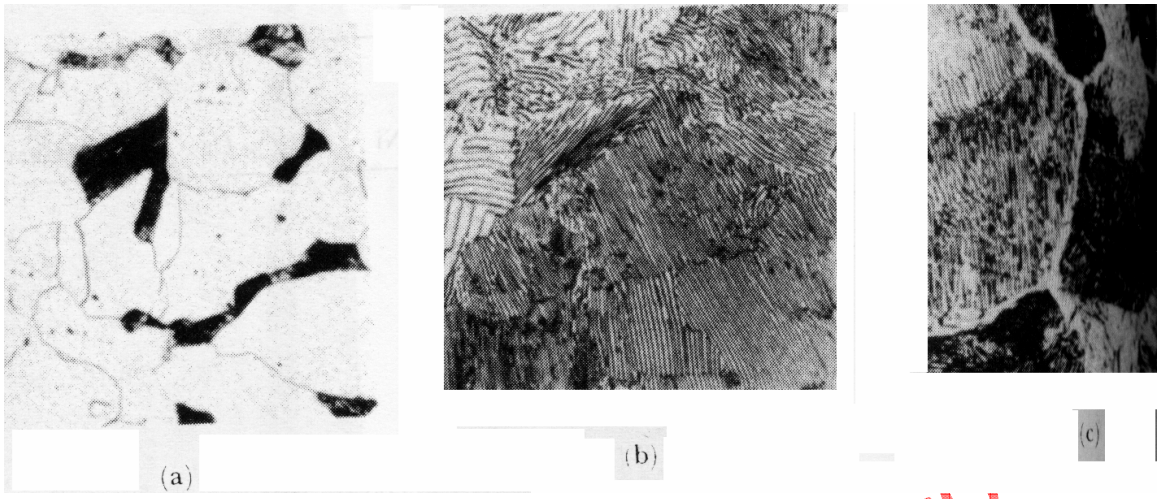
- **پرلیت**

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 « Pearlit » نیز به همین دلیل بوده است.

www.engineer2007.blogfa.com



(a) فولاد هیپو یو توکتوئید با فریت (سفید) عمده و پرلیت (x250) ، (b) فولاد یوتکتوئید تنها شامل اجتماعات پرلیت (x350) و (c) فولاد هایپریوتکتوئید با عمده Fe3C و پرلیت (x850)

www.engineer2007.blogfa.com

ساختار ها فولادهای کربنی

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

α + Fe3C کمتر از ۰,۲% کربن

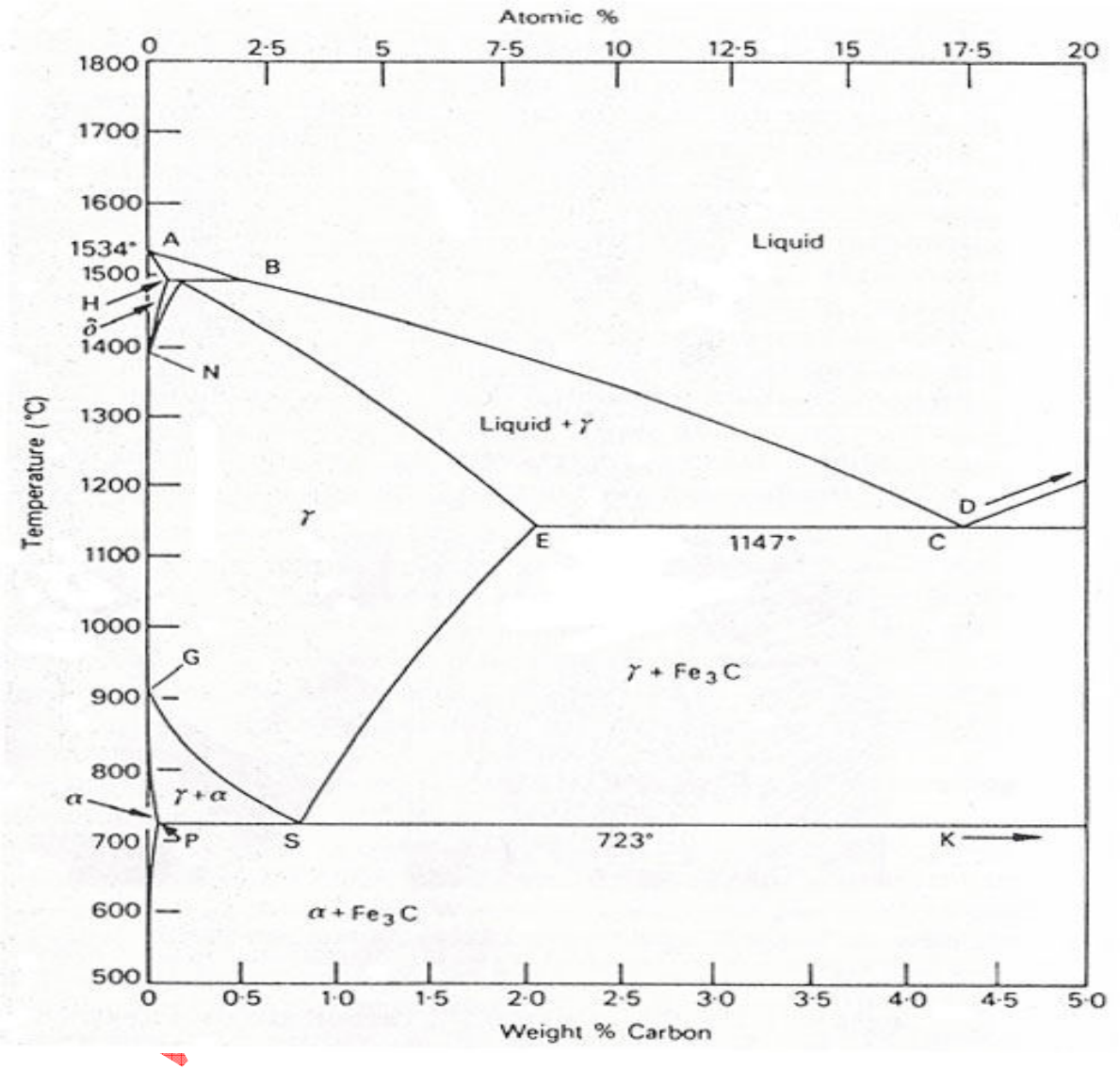
α + P ۰,۲ تا ۰,۸% کربن

P = 0.8 % C

P + Fe3C 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 α (فریت) و مقدار بسیار جزئی سمانتیت در مرز دانه ها تشکیل شده است. فولادهای هیپویوتکتوییدی با کمتر از 0.8C% دارای فاز های فریت و پرلیت هستند .


Atomic %
0
2·5
5
7·5
10
12·5
15
17·5
20
1800
1700
1600
1534°
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
Temperature (°C)
A
B
H
δ
N
Liquid
Liquid + γ
γ
D
E
1147°
C
G
γ + Fe3C
γ + α
α
P
S
723°
K
α + Fe3C
0
0·5
1·0
1·5
2·0
2·5
3·0
3·5
4·0
4·5
5·0
Weight % Carbon

،

برای مثال:آلیاژی که **۰,۰۲% کربن** دارد ابتدا فاز γ و بعد α و γ دارد و سپس αی تنها و ر 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% cپرلیت نداریم گرچه سمانتیت و αیی 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(مثلا فولاد۰,۴%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 تا۲% 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

انواع سمانتیت

۱. سمانتیت آزاد
   - ساندویچی
   - کروی

۲. سمانتیت با فریت = پرلیت

کروی

www.engineer2007.blogfa.com

ه

بررسی نمونه ها

نوع نمونه	%C
آهن تنها با فازآ لفا	۰
فولاد	۰,۱۴
فولاد	۰,۲
فولاد	۰,۴
فولاد	۰,۷
فولاد	۰,۱کروی
فولاد	۰,۱ساندویچی
چرخ دنده	وسط: ۰,۲ به طرف خارج C%بیشترمی شود

www.engineer007.blogfa.com

تعدادی نمونه با درصد کربن هاب مختلف از ۰ تاحدود 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

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. بنابرین 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 .

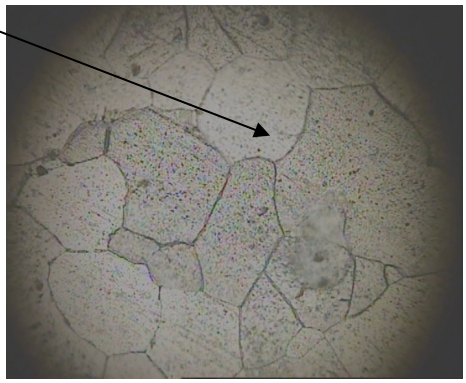
زمان اچ شدن : برای آهن این زمان ۴۰ثانیه و برای دیگر نمونه زمان کمتری لازم است بطور کلی با افزایش مقدار درصد کربن زمان لازم برای اچ شدن کاهش می یابد.

www.engineer2007.blogfa.com

نمونه شماره۱

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 .

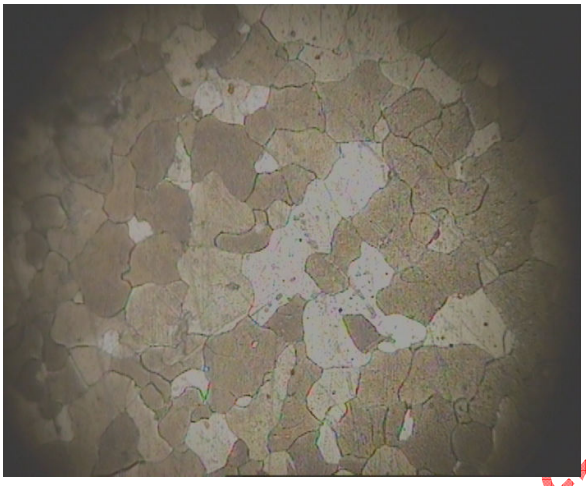
همه ی دانه ها یکدست فریت آهن آلفا a اند که دانه های فریت روشن می باشند ولی بر حسب نوری که به آن ها داده می شود کمی تغییر دارند.بعضی روشن و بعضی کمی تیره تر می باشند . چند رنگی مربوط به جهت های مختلف بلوری ست. و تنها مربوط به یک فاز می باشد .این دانه ها تنها یک فازند که با توجه به جهت متفاوت رشد بلوری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

www.engineer2007.blogfa.com

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-فریت) 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.

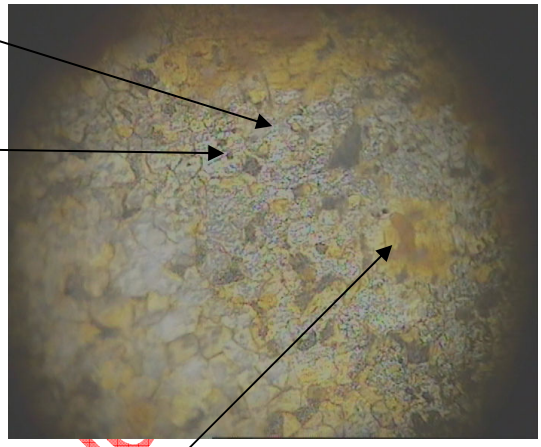
این نمونه بعلت گذشتن مدت زمان زیادی از اچ کردن ،ساختاری به درستی واضح ندارد.

ولی ساختار شبیه ۰,۲% می باشد.اکثر دانه ها فریت بوده و مقدار کمی فریت داریم.

www.engineer2007.blogfa.com

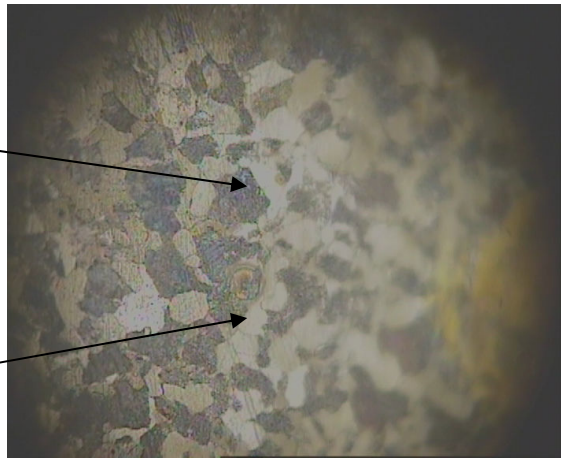
نمونه با ۰,۲%کربن

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



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.

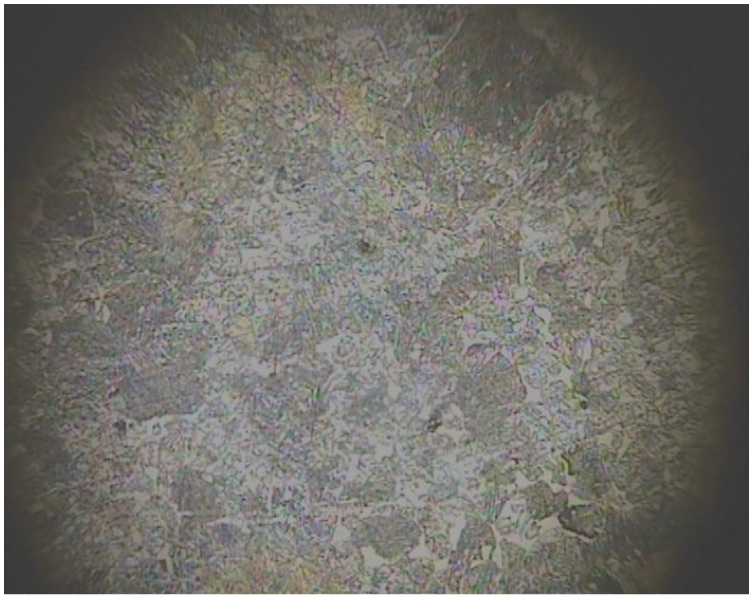
www.engineer2007.blo

نمونه با ۰,۷ % کربن

درصد فاز پرلیت ، فاز تیره بسیار افزایش یافته است. بعلت افزایش%c و سمانتیت بصورت کروی ست که البته به وضوح کافی نمی باشد.Resolution

نمونه با ۱% کربن و سمانتیت ساندویچی

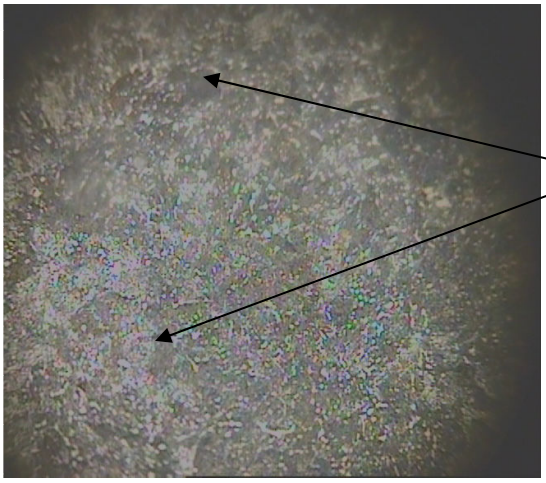
فاز پرلیت و مقداری سمانتیت بصورت ساندویچی در جاهای مختلف آن بین دانه ها مشاهده می شود.



www.engineer

نمونه با ۱%کربن بصورت سمانتیت کروی

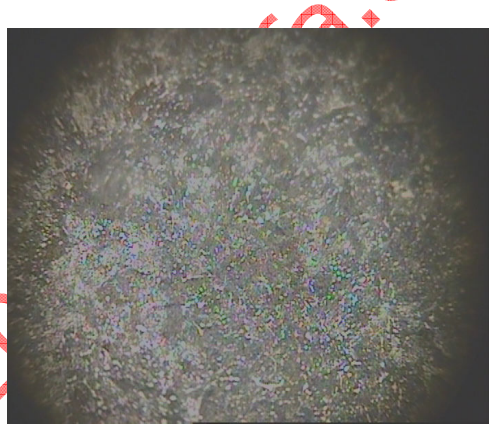
این نمونه از نظر ترکیب شیمیایی با نمونه قبلی یکسان می باشد تفاوت آنها در نحوه ی ظهور سمانتیت شان می باشد



فاز پرلیت

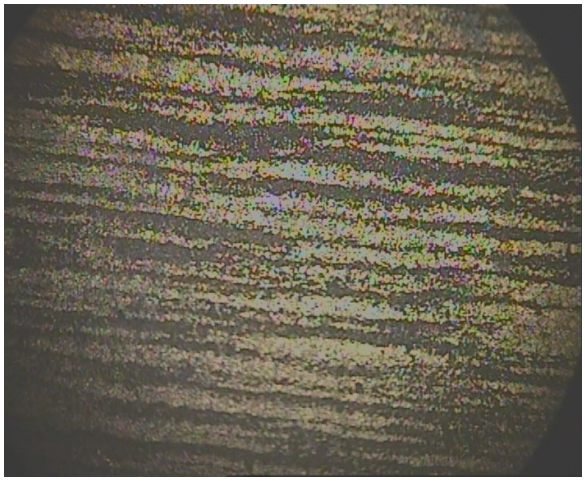
+

سمانتیت آزاد بصورت کروی



نمونه چرخ دنده

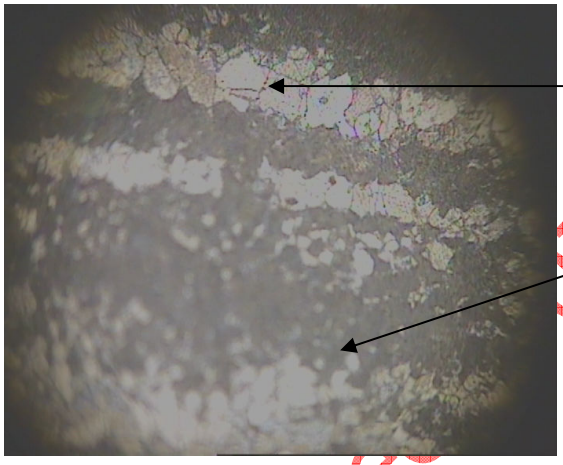
با بررسی سطوح چرخ دنده از قسمت وسط که کربن نداده شده است تا گوشه ها که مقدار درصد کربن با کربن دهی اضافه می شود و کلیه ساختار های پیشین، مرورمی گردند.



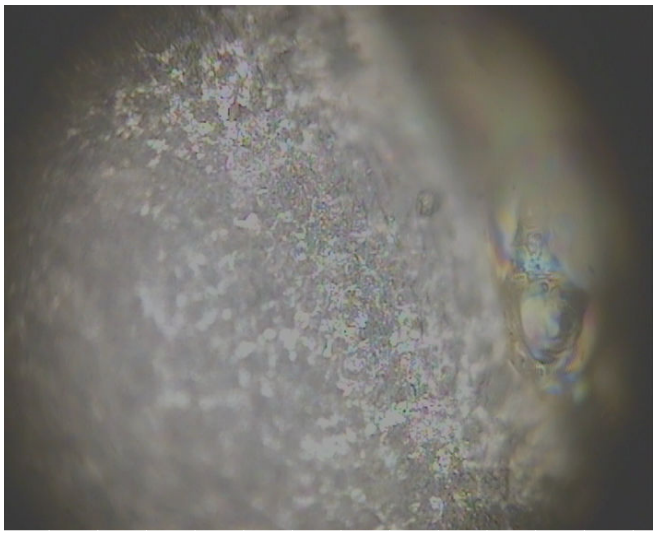
www.engineer2

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.

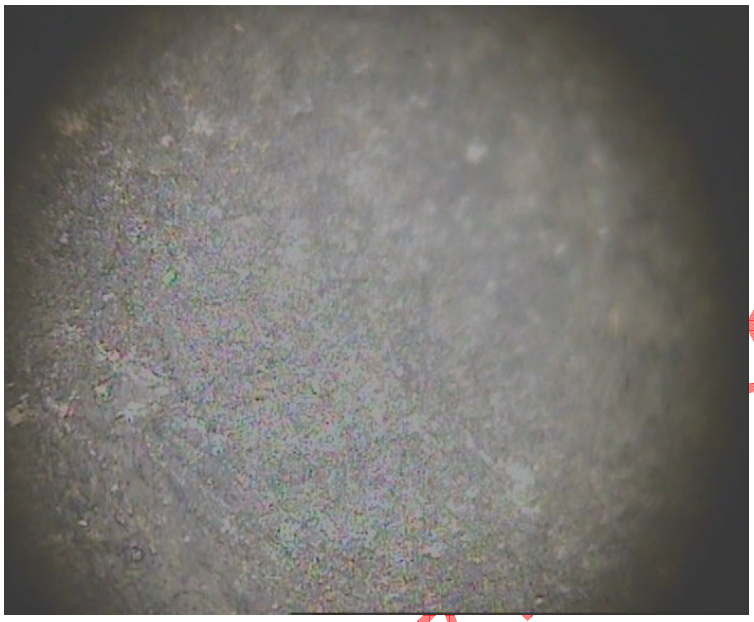


قسمت بالا ، باکلیت(ماده سیاه)که گود تراست، می باشد و قسمت پایین ، گوشه چرخ دنده است . این قسمتگردی و انحنای انتهایی چرخ دنده می باشد.مکانی ست که کربن داده شده است و بسیارتیره می باشد.کربن دهی در حد ۱%است و مشابه نمونه فولاد با ۱%کربن می باشد.و چون همه ی آن فاز پرلیت و سمانتیت می باشد دیگر الیاف و ردیف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



www.engine...07.blogfa.com

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



www.engineer2007.com

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