# آزمایشگاه متالوگرافی

# متالوگرافی چیست ؟

- متالوگرافی یا میکروسکوپی عبارتست از مطالعه میکروسکوپی ویژگی های ساختاری یک فلز یا آلیاژبه منظور مشاهده اندازه دانه،شکل و توزیع فازهای مختلف و ناخالصی هایی راکه روی خواص مکانیکی یک فلز تأثیر عمیقی دارد.

# ساختمان میکروسکوپی

- عبارت است از مطالعه ساختمان داخلی فلزات از نظر توزیع دانه بندی و فازهای تشکیل دهنده در زیر میکروسکوپ با بزرگنمایی های بالا صورت می گیرد.

# مراحل متالوگرافی

- مراحل متالوگرافی شامل موارد زیر است:

۱- نمونه برداری از قطعه : اولین مرحله برای مطالعه متالوگرافی نمونه برداری از قطعه است.

۲- قرار دادن قطعه در داخل مانت

۳- آماده کردن سطح نمونه (شامل: سنگ زنی، سنباده زدن، پولیش کـردن و اچ کردن)

۴- بررسی سطح مقطع نمونه به طریق میکروسکوپی با محـدوده بزرگنمـایی ۵۰-۱۵۰۰X.

# کاتر

کاتر رومیزی جهت برش انواع قطعات به منظور آماده کردن نمونه متالوگرافی در اندازه های مختلف استفاده می گردد. ظرفیت برش این دستگاه ها بین ۶۰ تا ۱۲۰ میلیمتر است.

بدنه این دستگاه ها از فولاد ضد زنگ ومجهز به سیستم ایمنی اپراتور می باشد .

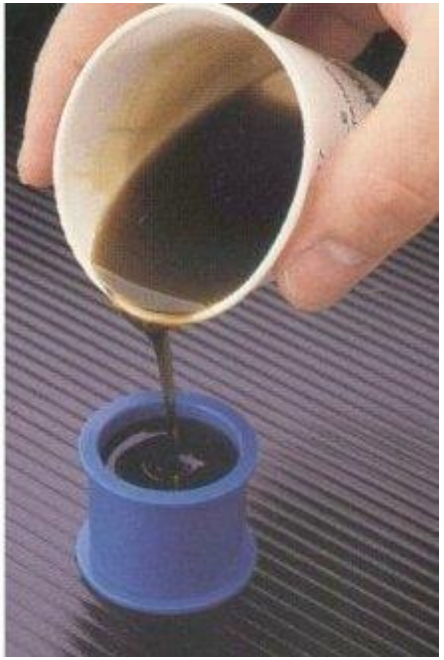
# دستگاه مانت


BEHTAVAN
START
Temp
Heating
JACK
WATER
Cooling
Hot Mounting Press
Model : D30


METCO

# نمونه مانت شده

Cold Sample
Mounting



# سنباده زنی

- هدف از سنباده زنی حذف تغییر شکل ناشی از عملیات برش می باشد. هر چند مرحله سمباده زنی باعث حذف تغییر شکل می گردد، ولی خود آن نیز باعث تغییر شکل (ولی با مقدار کمتر ) شده و با حرکت به سمت سنباده های ریزتر (اندازه ذرات کوچکتر ) ، عمق این تغییر به کوچکترین حد ممکن می رسد.

# سنباده زنی

- نکاتی در زمینه سنباده زنی و پرداخت کاری :
- در مراحل مختلف سنباده کاری، نمونه متالوگرافی در هر مرحله نسبت به مرحله قبل ۹۰ درجه چرخانده شود و عملیات سنباده زنی در هر مرحله تا زمان از بین رفتن کامل اثر و امتداد خطوط مرحله قبلی ادامه می یابد.

# سنباده زنی

- کاغذ سنباده از جنس SiC برای **فلزات نرم** و کاغذ سنباده ازجنس $Al_2O_3$ برای **فلزات سخت و پایه آهنی** به کار می رود. برای سنباده زدن سرامیک ها از**صفحات الماسه** استفاده می شود.
- سختی کاربید سیلیسم حدود ۹,۵ در مقیاس موهس می باشد که تقریبا نزدیک سختی الماس است .
- مواد ساینده از جنس اکسید الومینیم دارای سختی ۹,۱ در مقیاس موهس هستند.

# سنباده زنی

- به عبارت دیگر سنباده زنی یکی از مهمترین مراحل در فرآیند اماده سازی نمونه است . زیرا در طول این مرحله اپراتور متالوگرافی فرصت به حداقل رساندن صدمات مکانیکی وارد بر سطح از مرحله برش را خواهد داشت( حتی اگر مرحله برش با بی دقتی زیاد نیز انجام شود (نتیجه عمل سطحی بسیار تغییر شکل یافته و با خراشهای عمیق خواهد بود )).

# سنباده زنی

- می توان این صدمات را با افزایش زمان مرحله سمباده زنی برطرف نمود سنباده زنی را میتوان با انواع مختلف ساینده ها انجام داد که عبارتند از :
- کاربید سیلیسیم
- اکسید الومینیم
- سنگ سنباده
- ذرات الماس

# پولیش

- عملیات پولیش حذف خراشهای سنباده زنی و لایه تغییر شکل یافته سطحی به سبب استفاده ازفرآیندهای سنباده زنی می باشد.
- فرآیندهای پولیش به دو دسته تقسیم می شوند:
- مرحله(یا مراحل) پولیش بلافاصله بعد از سنباده زنی نهایی،پولیش میانی وآخرین مرحله پولیش که بسیار مهم است پولیش نهایی نامیده می شود.
- پولیش میانی ممکن است با استفاده از ازآلفا –آلومینا یا ترکیبات الماسه صورت گیرد.

# پولیش

- بعد از آخرین مرحله سنباده زنی برای ذرات ساینده چسبیده به سطح وجلوگیری از آلوده شدن چرخهای پولیش کاری، نمونه ها باید تمیز شوند.
- نمونه های مانت شده ای که ماده مانت در فرآیند سنباده زنی از سطح آن جدا شده باشد، برای خارج نمودن ذرات ساینده از میان شکافها باید به صورت التر سونیک تمیز کاری شوند.
- برای جلوگیری از انتقال ذرات ساینده جدا شده به پارچه پولیش، دستها نیز باید شسته شوند. وجود یک ذره ساینده بر روی چرخ پولیش می تواند خراشهای بسیاری را ایجاد نماید.

# پولـیش

- پولیش نهایی:
- در صورت انجام سنباده زنی مناسب با پولیش الماسه به ۹۰-۶۰ ثانیه زمان برای حذف خراشهای ناشی از سنباده زنی ۶۰۰ نیاز است. سرعت چرخ پولیش باید حدود ۲۵۰ RPMباشد .

# دستگاه پولیش دستی

# پولیش اتوماتیک

- پولیش اتوماتیک با آماده سازی همزمان چند نمونه قابلیت آماده سازی هزاران نمونه را در یک ماه فراهم می کند.

# دستگاه پولیش اتومات

# پولیش الکترونی

- پولیش الکترونی یا الکتریکی در متالوگرافی فولادهای زنگ نزن، آلیاژهای مس،آلیاژهای آلـومینیم، منیـزیم، زیرکـونیم وسایر فلزاتی که پولیش آنها با روشهای مکـانیکی معمـول مشکل می باشد، به طورگسترده مورد استفاده قرار می گیرد. دراین روش کلیه اثرات ناشی ازسنباده زنی وپـولیش میـانی برطرف می گردد.

# الکتروپولیش

# اچ کردن

- اگر یک نمونه فلزی پس از آماده سازی زیر میکروسکوپ نوری قرار داده شود ، انعکاس و بازتابش نور به گونه ای خواهد بود که رویت ریزساختار، که هدف اصلی متالوگرافی است، امکان پذیر نمی گردد. به همین دلیل ، جهت ایجاد یک زمینه قابل رویت از ریزساختار نمونه، عمل اچ کردن (به شیوه های گوناگون ) انجام می شود.
- شایان ذکر است که اگر منظور مطالعه مواردی مانند ترک مویی ، تخلخل ، حفره ،آخال غیر فلزی و برخی فازهای خاص (نظیر گرافیت در چدن خاکستری و سرب در برنج سرب دار) باشد، اچ کردن نمونه آماده شده ضرورت ندارد.

# اچ کردن

- اچ کردن به مفهوم ایجاد خوردگی بسیار ضعیف در قسمت های ناپایدار سطح نمونه آماده شده و پرداخت شده است. در بسیاری از موارد ، نمونه پرداخت شده ریزساختار خود را نمایش نمی دهد. زیرا نورهای معمولی به صورت یکسان و متحد منعکس می شوند. از آنجایی که اختلاف های ناچیز در انعکاس پذیری توسط چشم انسان قابل تشخیص نیست ، روشهایی برای تصویر گیری از طریق تباین نوری مورد نیاز می باشد. اگرچه این روشها به نام اچ کردن معروف هستند ، اما همیشه اچ کردن مرتبط با انتخاب محلول های شیمیایی خاص برای ساختارهای مختلف نمی باشد. این امر می تواند با استفاده از روشهای نوری ، شیمیایی ، الکتروشیمیایی و یا فیزیکی به انجام برسد.

# اچ کردن

- اچ کردن روشهای گوناگونی دارد که هر یک برای ساختارها و مواد مختلف مفاهیم متفاوتی را در بر خواهد داشت. در واقع در هر شیوه ای برای یک ماده خاص می توان ظرایفی را به کار گرفت که به بهترین و مطلوب ترین نتایج دست یافت.
- (رایج ترین محلول مورد استفاده برای فولاد ها نایتال Nital نام دارد که محتوی محلول ۲٪ اسید نیتریک در الکل است ).

- انواع اچ کردن :اچ نوری-اچ شیمیایی- اچ الکترولیتی- اچ خلاء کاتدی

# اچ شیمیایی

- اچ شیمیایی به طور ساده اچ با استفاده از مواد اسیدی یا بازی یا ترکیبی از هر دو در یک محلول آبی یا الکلی به دست می آید.
- نمونه باید از طرف سطح پولیش شده به داخل محلول اچ غوطه ور شده و در طی مدت اچ کردن به آرامی در داخل محلول حرکت داده شود.
- روش مناسب برای تعیین بهترین زمان اچ کردن آن است که طی عمل مرتباً نمونه را بررسی کرده و هر وقت ساختمان دانه بندی فلز آشکار شد و سطح نمونه براقیت اولیه خود را از دست داد فوراً عملیات اچ کردن را متوقف نمود.

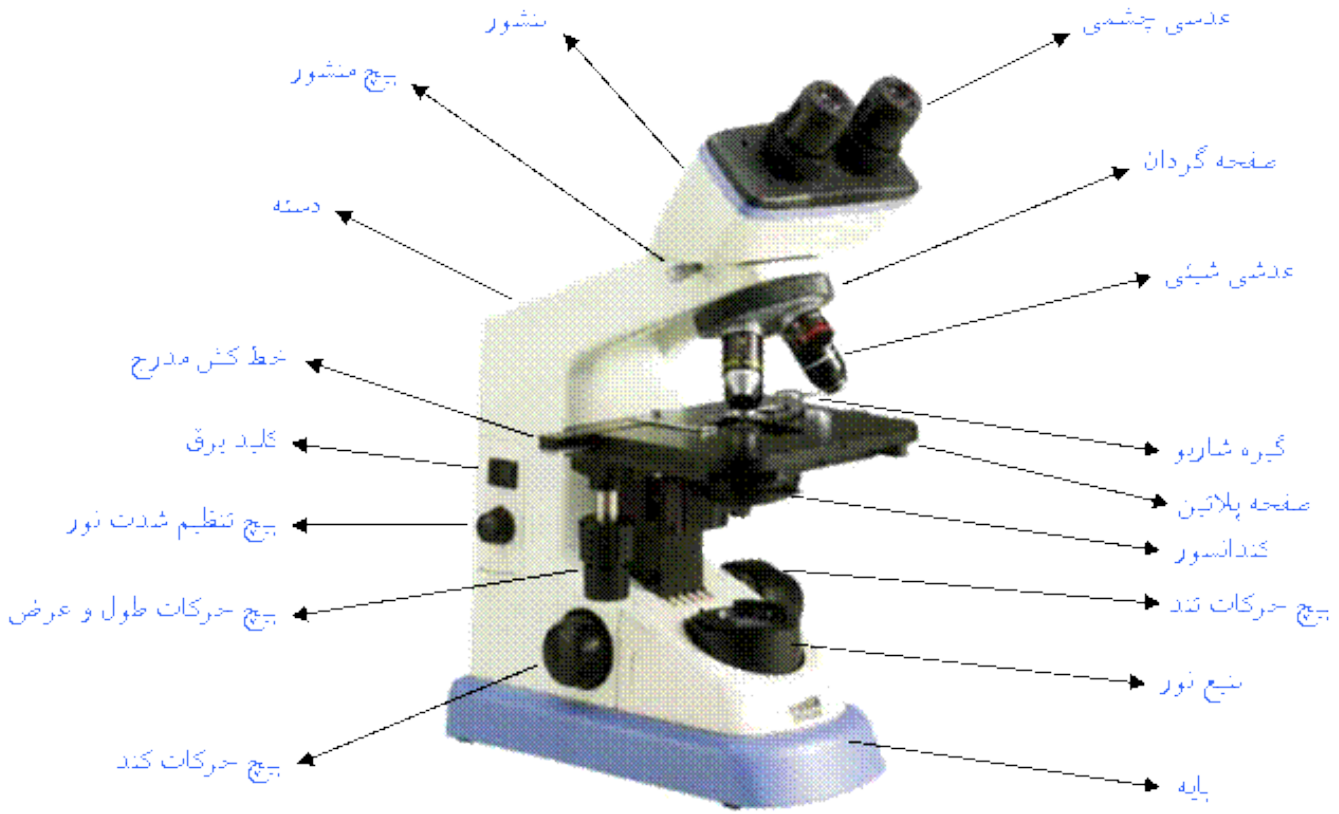
# اچ شیمیایی

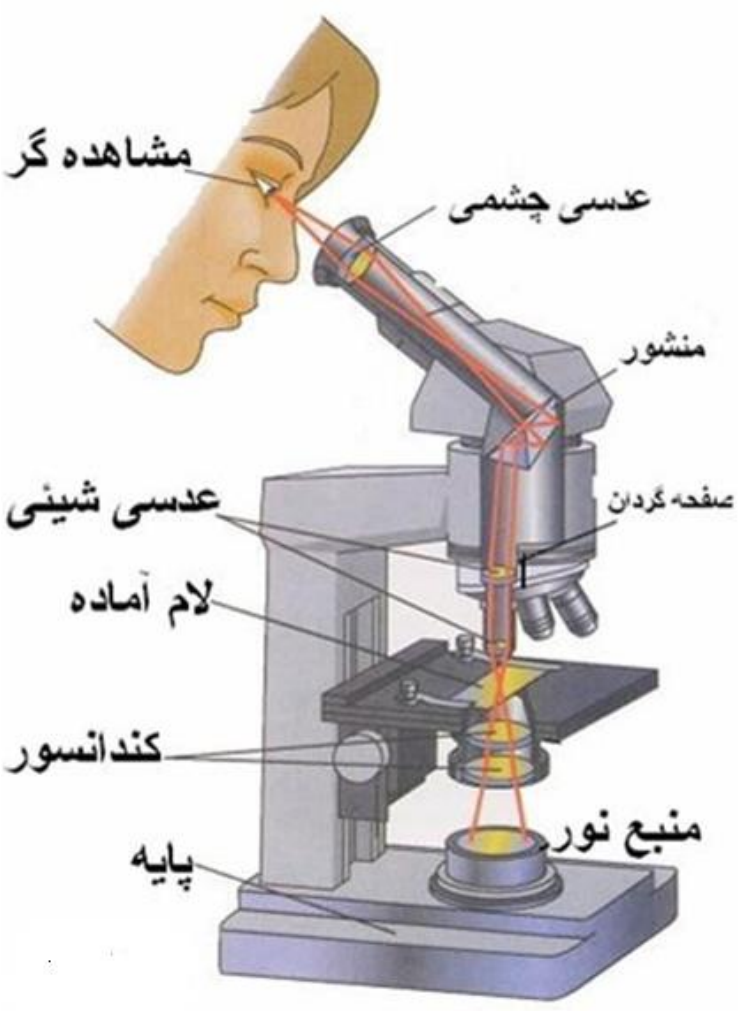
- قبل از قرار دادن نمونه در زیر میکروسکوپ باید مطمئن شوید که نمونه کاملاً خشک بوده و هیچگونه رطوبت، الکل یا استونی بر سطح آن باقی نمانده است. باید توجه داشت که سطح اچ شده نمونه را نباید با پارچه یا حوله های آزمایشگاهی پاک کرد. فلزات و آلیاژهای نرم نسبت به تغییر شکل های سطحی که بواسطه عدم دقت در کارهای دستی صورت میگیرد بسیار حساس بوده و به علاوه در فلزات خیلی نرم که نقطه ذوب پایینی دارند لایه های تغییرشکل یافته تحت تبلور مجدد قرار گرفته و در نتیجه ساختمان واقعی فلز در زیر لایه ای از کریستال های جدید پنهان می گردد.

# میکروسکوپ نوری

# میکروسکوپ نوری

- میکروسکوپ ها انواع مختلف دارند. رایج ترین نوع میکروسکوپ که حتماً تا به حال با آن بر خورد داشته اید میکروسکوپ نوری می باشد. اجزاء یک میکروسکوپ نوری در شکل زیر نشان داده شده اند:




مشاهده گر
عدسی چشمی
منشور
صفحه گردان
عدسی شیئی
لام آماده
کندانسور
منبع نور
پایه

# میکروسکوپ نوری

- اجزای مکانیکی :
- ۱) پایه (base): کلیه قطعات میکروسکوپ بر روی پایه مستقر می باشد . در برخی از مدلهای میکروسکوپ نوری منبع نور ، فیوز و کابل برق در پایه تعبیه میگردد .
- ۲) دسته (Handle): جهت حمل و نقل میکروسکوپ از دسته استفاده میشود . نکته قابل توجه آنکه به هنگام جابجایی میکروسکوپ آن را روی میز کار نمی کشیم .

# میکروسکوپ نوری

- ۳) لوله میکروسکوپ (Barrel): مشتمل بر عدسی شیئی ( Ocular lens) و عدسی چشمی (Objective lens)که با بزرگنمائی های مختلف طراحی می شوند. عدسی شیئی دارای بزرگنمائی های X10، X40 ، X50، X60و X100 و عدسی چشمی دارای بزرگنمائی های X10، X15، X18 میباشد که بسته به نوع میکروسکوپ متفاوت است. عدسی شیئی معمولاً از چندین عدسی محدب که در آن تعبیه شده است تشکیل میگردد.

# میکروسکوپ نوری

- ۴) صفحه گردان یا متحرک (Revolver): عدسیهای شیئی بر روی این صفحه قرار میگیرند و با چرخاندن آن موقعیت عدسیهای شیئی تغییر میکند.
- ۵) پیچ حرکات تند ( Macrometrique): این پیچ بر روی دسته تعبیه شده است و باعث میگردد که صفحه پلاتین با سرعت بیشتری در جهت عمودی جابجا شود.
- ۶) پیچ حرکات کند (Micrometrique): این پیچ بر روی پیچ حرکات تند قرار داد و صفحه پلاتین را در جهت عمودی و درحد میکرون جابجا میکند.

# میکروسکوپ نوری

- ۷) صفحه پلاتین ( Platine plate): صفحه ای است که نمونه مورد نظر روی آن قرار میگیرد و در جهت طول و عرض دارای دو خط کش مدرج میباشد که جهت ثبت و یادداشت مکان یک نمونه خاص بکار میرود.
- ۸) پیچ طول و عرض : این پیچ زیر صفحه پلاتین قرار دارد که آن را در جهت طول و عرض جابجا میکند .

# روشهای تعیین اندازه دانه

- در دماهای بالاتر از نقطه ذوب نظم کریستالی از بین خواهد رفت. با سرد کردن مذاب و با رسیدن به نقطه ذوب جوانه هایی در مذاب تشکیل شده که با ادامه سرمایش این جوانه ها رشد کرده و نهایتا با رسیدن کریستالهای در حال رشد به یکدیگر تمامی مذاب به جامد تبدیل میگردد. در محل برخورد دو کریستال در حال رشد مرز دانه ها شکل می گیرند که به دلیل تغییر در جهت گیری کریستالی، در این ناحیه نظم کریستالی همانند آنچه در درون کریستال ها مشاهده می گردد، وجود ندارد و بدلیل همین بی نظمی، این نواحی نسبت به کریستالها دارای انرژی بیشتری خواهند بود.

# روشهای تعیین اندازه دانه

- در هنگام اچ کردن نمونه ها، بدلیل بالاتر بودن انرژی، مرز دانه ها نسبت به دانه ها بیشتر خورده شده و همین امر باعث ایجاد کنتراست شده که باعث مشاهده مرزها در زیر میکروسکوپ خواهد شد. اندازه دانه های تشکیل شده به پارامترهای متفاوتی نظیر نوع قالب، درجه حرارت قالب، استفاده از مواد جوانه زا و غیره بستگی دارد.

# روشهای تعیین اندازه دانه

- اندازه دانه از عوامل بسیار مهم و تاثیر گذار بر خواص مکانیکی و فیزیکی مواد می باشد.
- روش های گوناگونی برای اندازه گیری دانه وجود دارد که عمدتاً بر اساس بررسی های انجام شده بر روی یک سطح دوبعدی می باشند. **ازآنجا که دانه ها دقیقاً یک شکل نبوده و درجهات گوناگون قرارگرفته اند، اندازه گیری آنها با مشکل مواجه است** و بدین جهت از عناوینی چون **عدد اندازه دانه** یا **قطردانه** فقط به منظور مقایسه ساختارهای مختلف با یکدیگر استفاده می شود. در ادامه به بررسی شیوه های اصلی اندازه گیری دانه پرداخته شده است.

# روشهای تعیین اندازه دانه

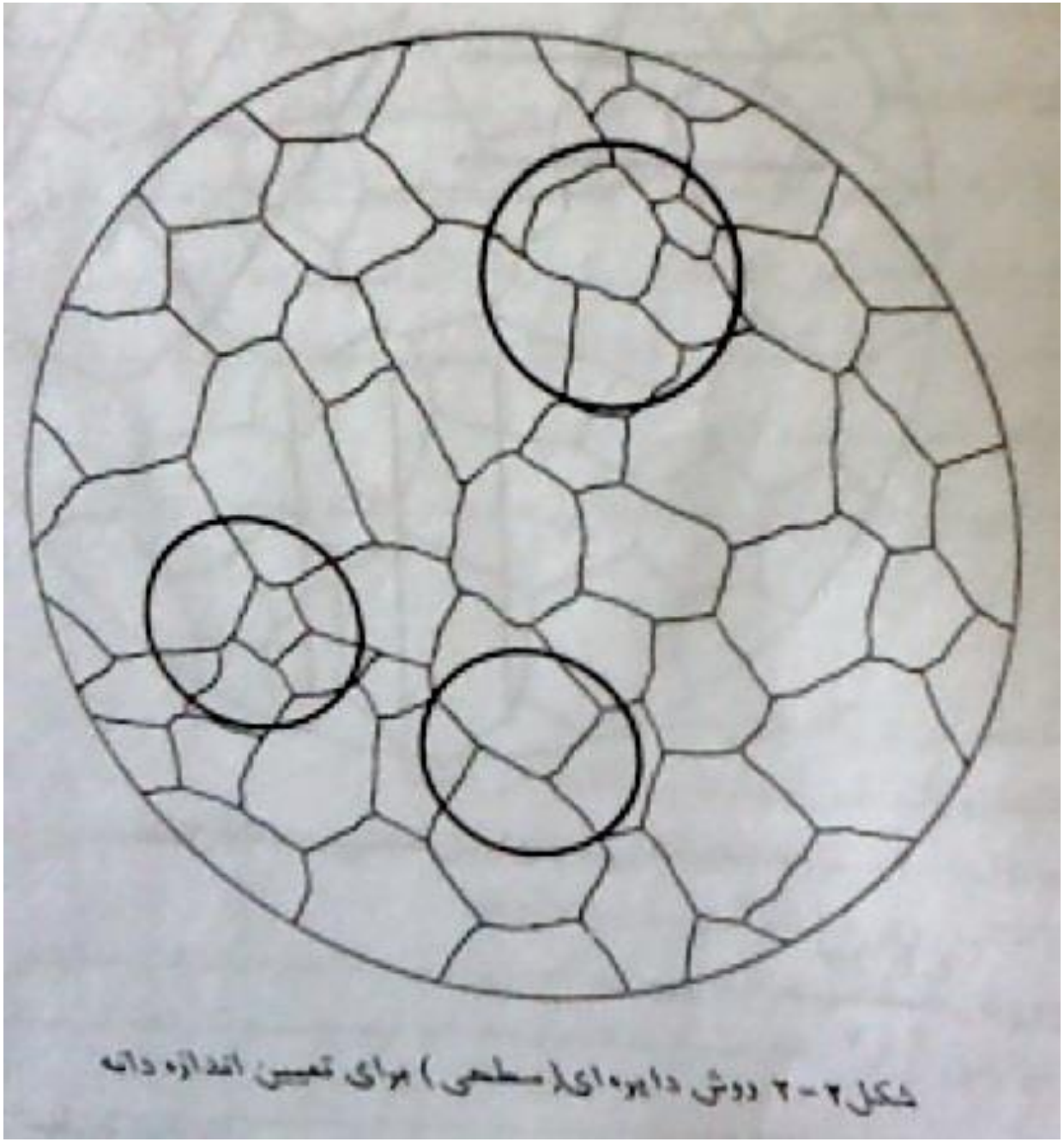
- ۱) *روش رسم دایره*

- در این روش عکس میکروسکوپی نمونه را تهیه کرده سپس بر روی عکس دوایری به شعاع دلخواه R رسم می کنیم. عده ای از دانه ها در داخل این دوایر قرار گرفته (Z) و عده ای محیط دایره را قطع می کنند (n). حال اگر مساحت دایره را $F_k$ و اندازه متوسط هر دانه را $F_m$ بنامیم می توان گفت:

$$F_m = \frac{F_k \times 10^6}{(Z + 0.67\ n)V^2} \qquad (\mu m^2)$$

# روشهای تعیین اندازه دانه

- در این روش حداقل ۳ دایره رسم می شود و محاسبات برای هر کدام بطور جداگانه انجام گرفته، سپس میانگین اعداد بدست آمده را حساب کرده و به عنوان اندازه متوسط دانه می پذیریم.



شکل ۲-۲ روش دایره‌ای (سطحی) برای تعیین اندازه دانه

# روشهای تعیین اندازه دانه

- ۲) روش خطی

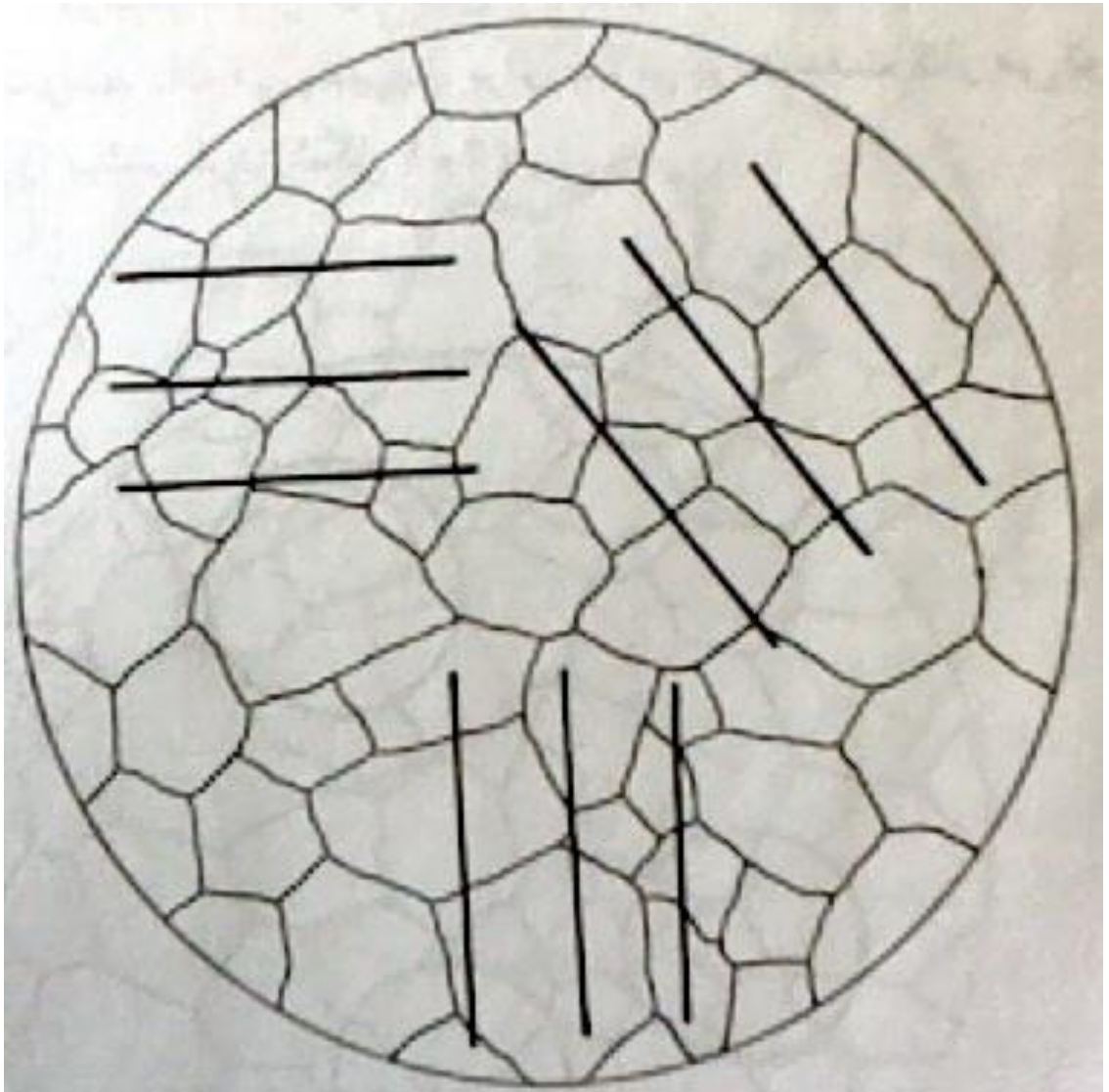
- در این روش نیز ابتدا از مقطع نمونه مورد بررسی یک سری عکس میکروسکوپی تهیه کرده سپس بر روی این عکس ها چند خط موازی به طول های مساوی رسم می کنیم. تعداد این خطوط را P نامیده و سپس دانه هایی را که بطور کامل قطع شده اند می شماریم و این فاکتور را Z می نامیم. همیشه سعی کنید هر دانه فقط یکبار توسط خطوط فوق قطع شوند.

# روشهای تعیین اندازه دانه

- حال با توجه به این اطلاعات می توان گفت:

$$D_m = \frac{L.P.10^3}{Z.V} \qquad (\mu m^2)$$

- که L= طول خطوط موازی
- P= تعداد خطوط موازی
- Z= تعدادکل دانه های قطع شده توسط خطوط
- V= بزرگنمایی
- $D_m$ = قطر متوسط دانه



شکل ۳-۲ روش خطی برای تعیین اندازه دانه

# روشهای تعیین اندازه دانه

- ۳) *روش مقایسه با جدول استاندارد*
- برای این روش جداول استاندارد مختلفی وجود دارد که یکی از آنها جدول ASTM سیستم آمریکایی است. در این روش اندازه دانه ها در ۸ کلاس طبقه بندی شده که با مقایسه تصویر استاندارد و تصویر مقطع نمونه اچ شده می توان اندازه تقریبی دانه ها را بدست آورد.

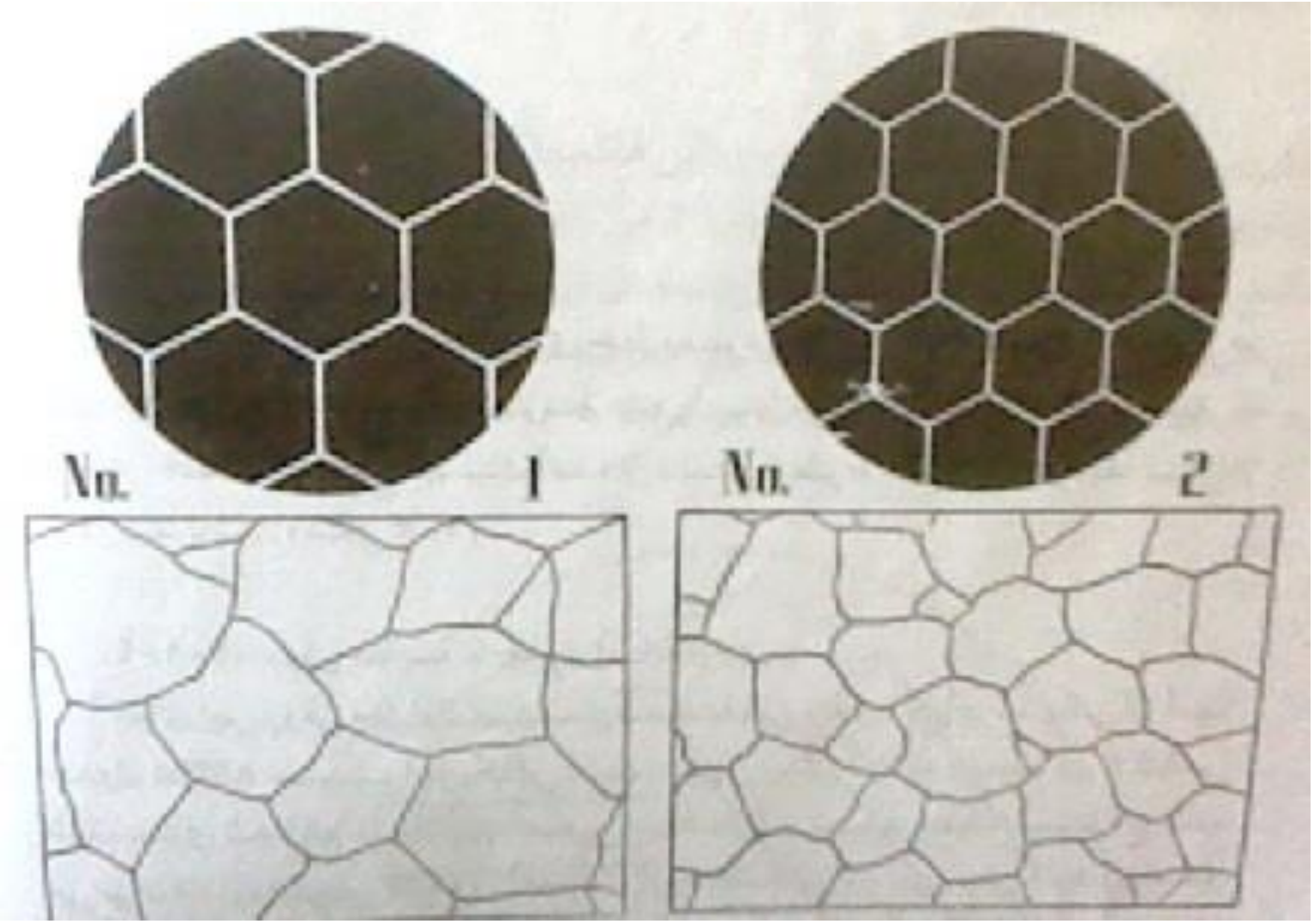
# روشهای تعیین اندازه دانه

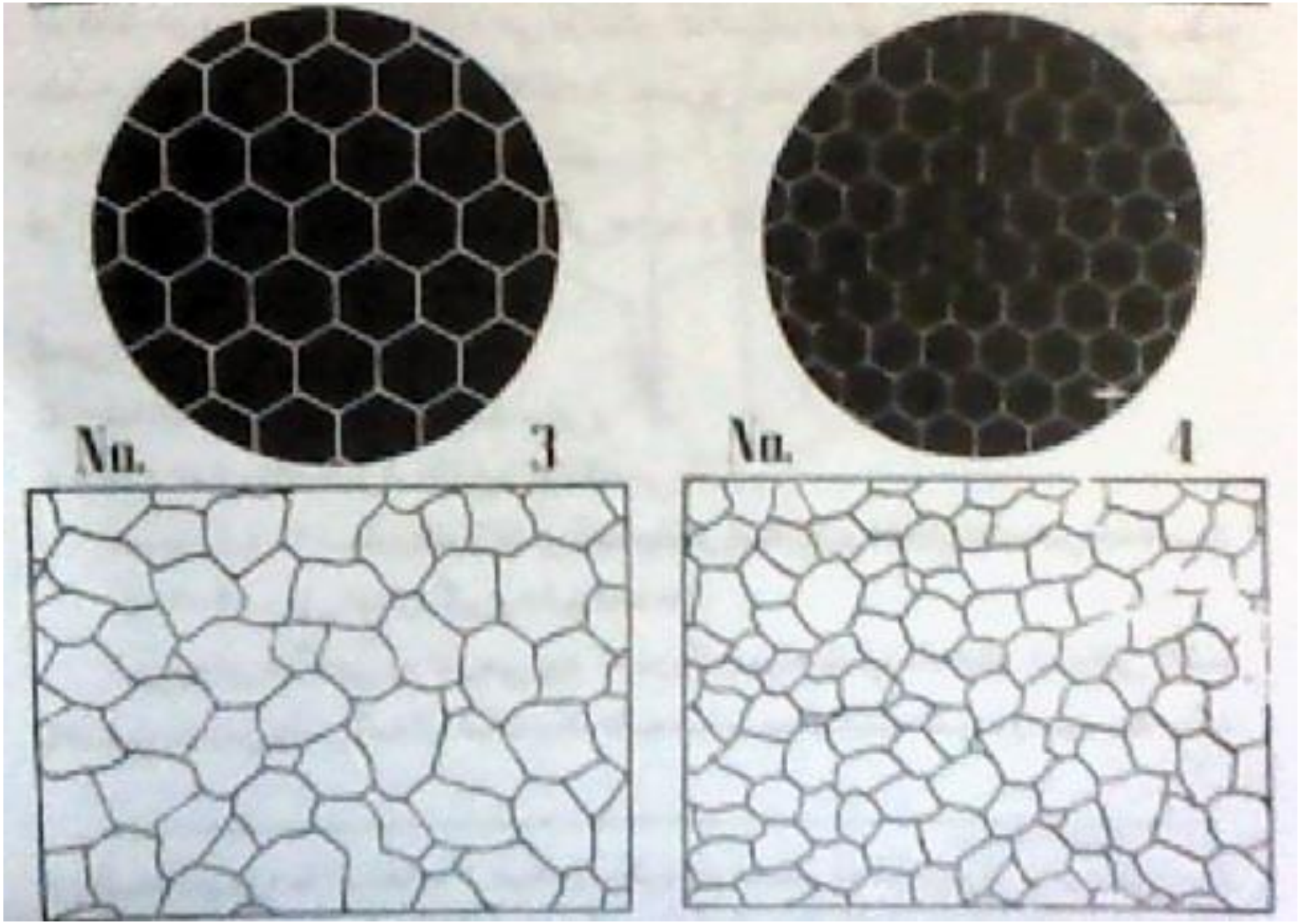
- اشکالی که این روش دارد آن است که فقط در بزرگنمایی x۱۰۰ می توان از آن استفاده کرد.
- اشکال دوم این روش کمی دقت کار است، چون در این روش دقت کار تنها بستگی به دید و دقت شخص آزمایش کننده دارد.

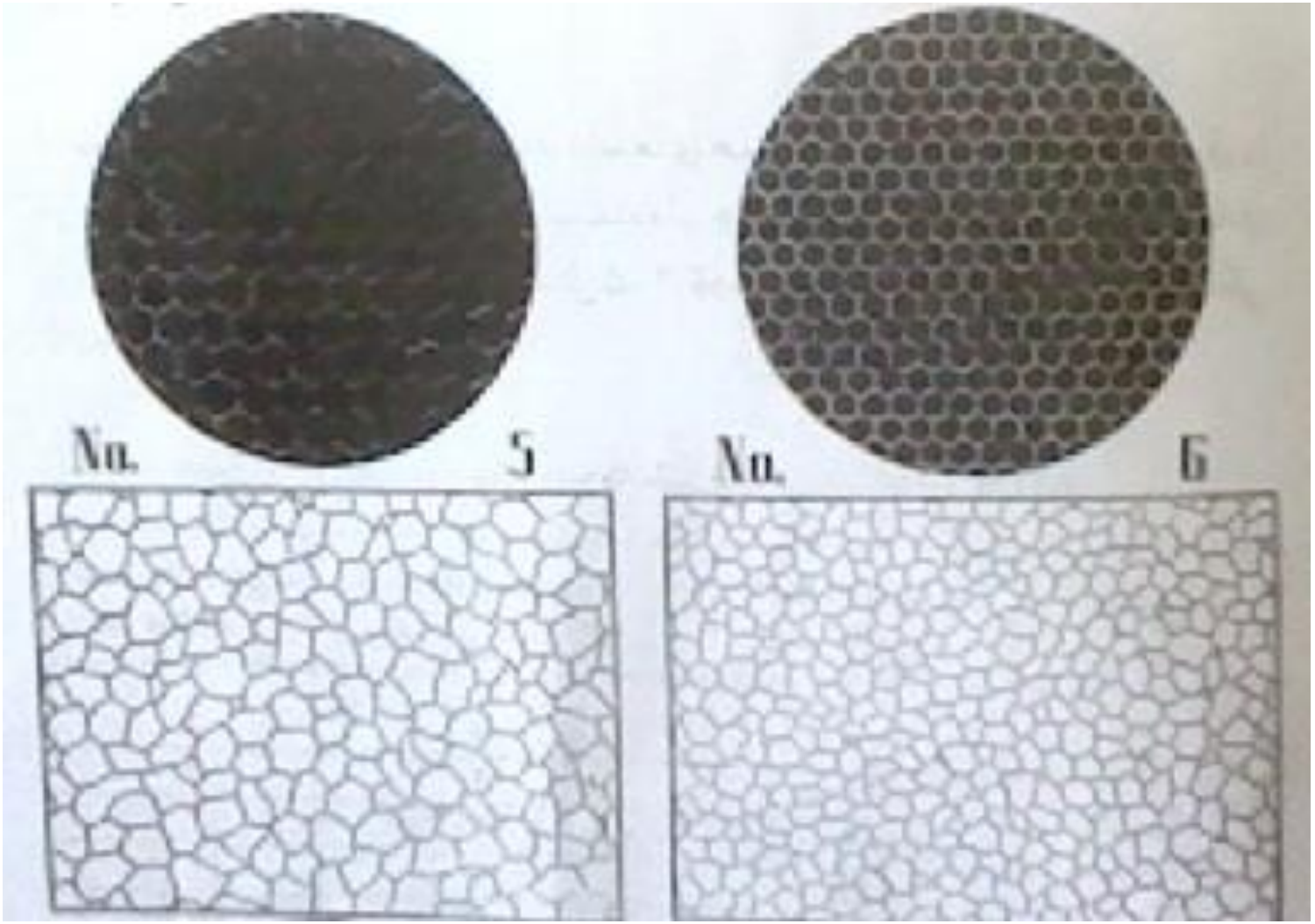
# روشهای تعیین اندازه دانه

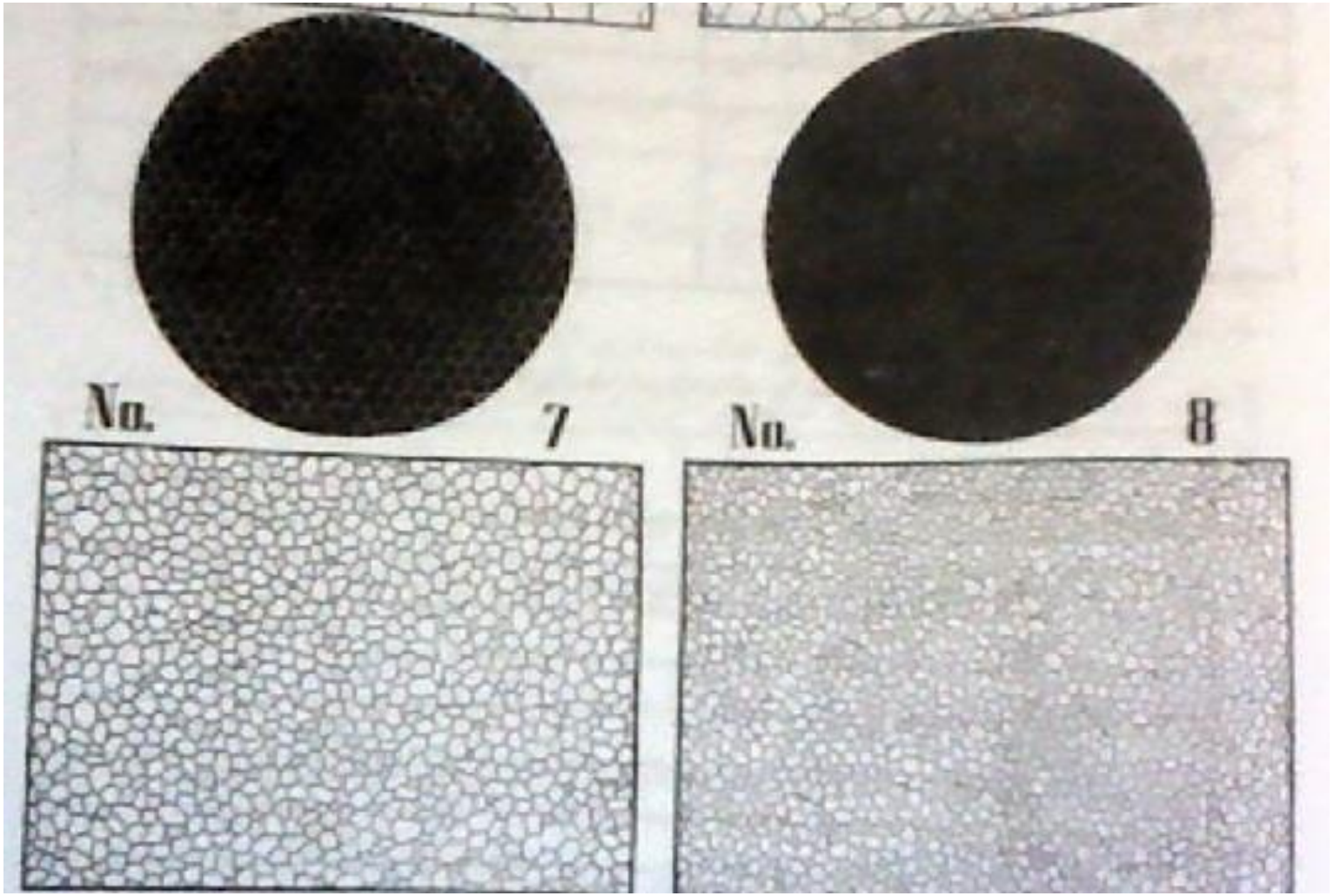
$$Z = 2^{n-1}$$

- که در آن:
- Z= تعداد دانه در بزرگنمایی صد برابر
- n= عدد اندازه دانه طبق استاندارد ASTM


№ 1
№ 2


No. 3
No. 4


№ 5
№ 6


No. 7
No. 8

| شماره اندازه دانه (n) ASTM | تعداد دانه در بزرگنمایی ۱۰۰ | تعداد دانه در هر $mm^2$ | سطح دانه $\mu m^2$ |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۱۶ | ۶۲۰۰۰ |
| ۲ | ۲ | ۳۲ | ۳۱۰۰۰ |
| ۳ | ٤ | ٦٤ | ۱۵٦۰۰ |
| ٤ | ۸ | ۱۲۸ | ۷۸۰۰ |
| ٥ | ۱٦ | ۲٥٦ | ۳۹۰۰ |
| ٦ | ۳۲ | ٥۱۲ | ۱۹٥۰ |
| ۷ | ٦٤ | ۱۰۲٤ | ۹۸۰ |
| ۸ | ۱۲۸ | ۲۰٤۸ | ٤۹۰ |

# روشهای تعیین اندازه دانه

- ۴) روش سطح سنجی Jeffries
- در این روش ابتدا یک دایره به قطر ۷۹/۸ میلی متر(به مساحت $mm^2$ ۵۰۰۰) بر روی فوتومیکروگراف یا بر روی کاغذ شفاف، منطبق بر صفحه تصویر رسم می شود. بزرگنمایی به گونه ای انتخاب می شود که حداقل ۵۰ دانه در دایره رسم شده قرار گیرد. با شمارش دانه های کامل در محدوده مورد بررسی عدد $n_1$ و با شمارش دانه های ناقص که توسط مرز محدوده قطع شده اند، عدد $n_2$ بدست می آید. تعداد دانه ها در $1\ mm^2$ در بزرگنمایی ۱x ($N_A$) از رابطه زیر قابل حصول است.

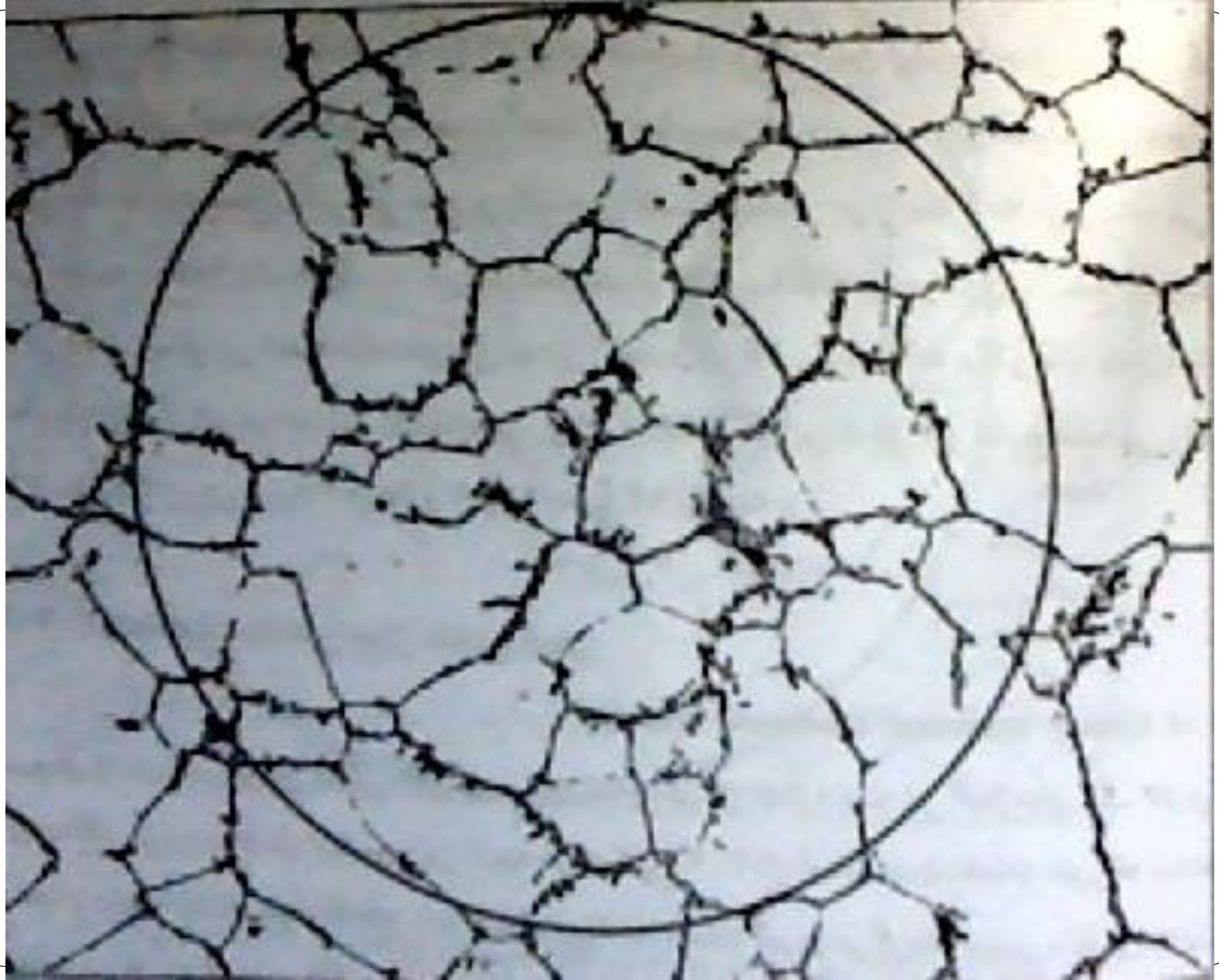
# روشهای تعیین اندازه دانه

$$N_A = \frac{M^2}{5000}\left(n_1 + \frac{n_2}{2}\right)$$

- M= بزرگنمایی
- $M^2/5000$ ضریب بزرگنمایی Jeffries
- با محاسبه $N_A$، A میانگین مساحت هر دانه (بر حسب $mm^2$)، d میانگین قطر هر دانه، و G عدد اندازه دانه ASTM به ترتیب زیر بدست خواهند آمد.

$$\bar{A} = \frac{1}{N_A} \qquad \bar{d} \approx \frac{1}{\sqrt{N_A}}$$

$$G = (3.322 \log N_A) - 2.95$$

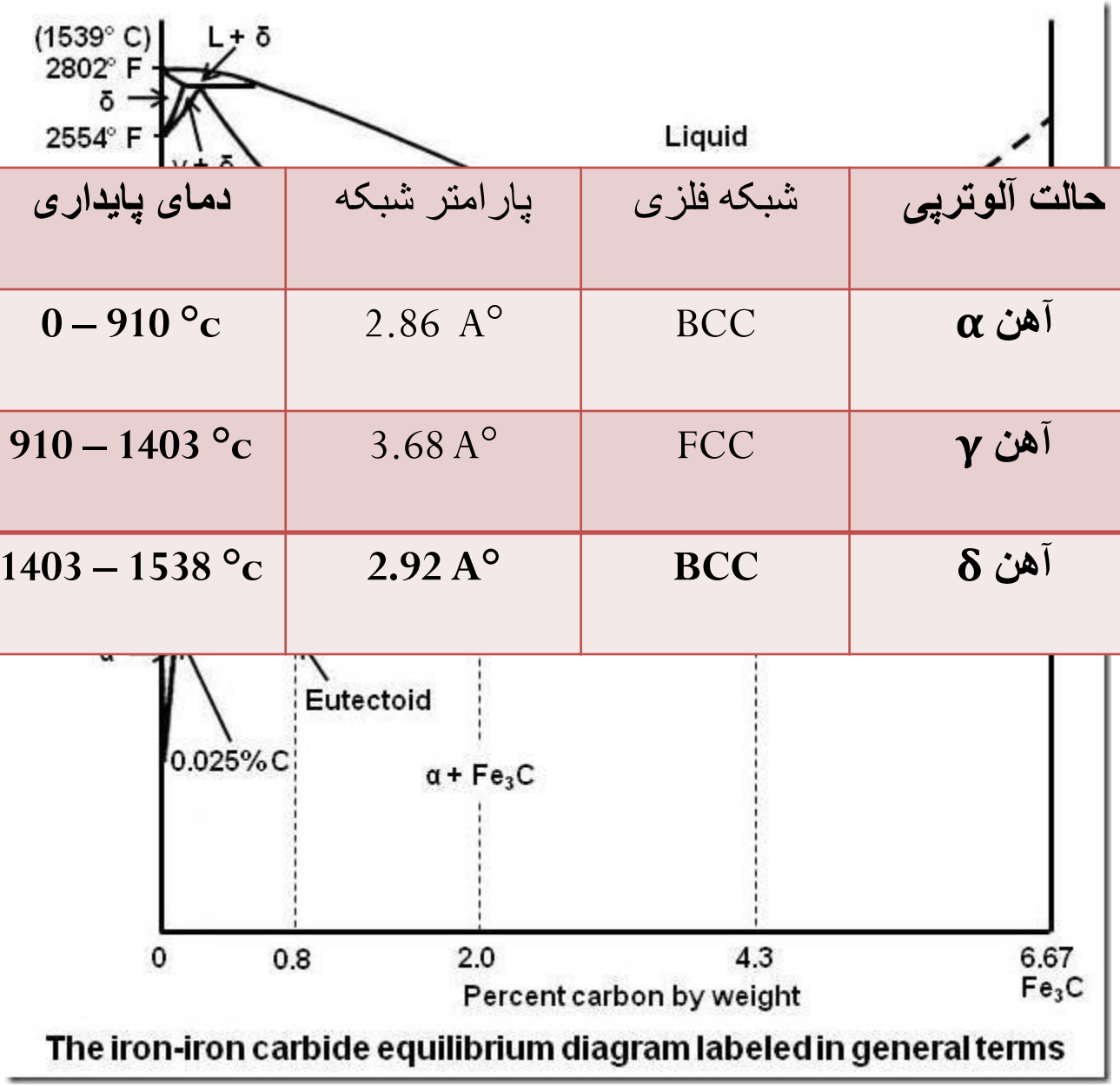


- به عنوان مثال مقدار عددی $N_A$ در شکل برابر :

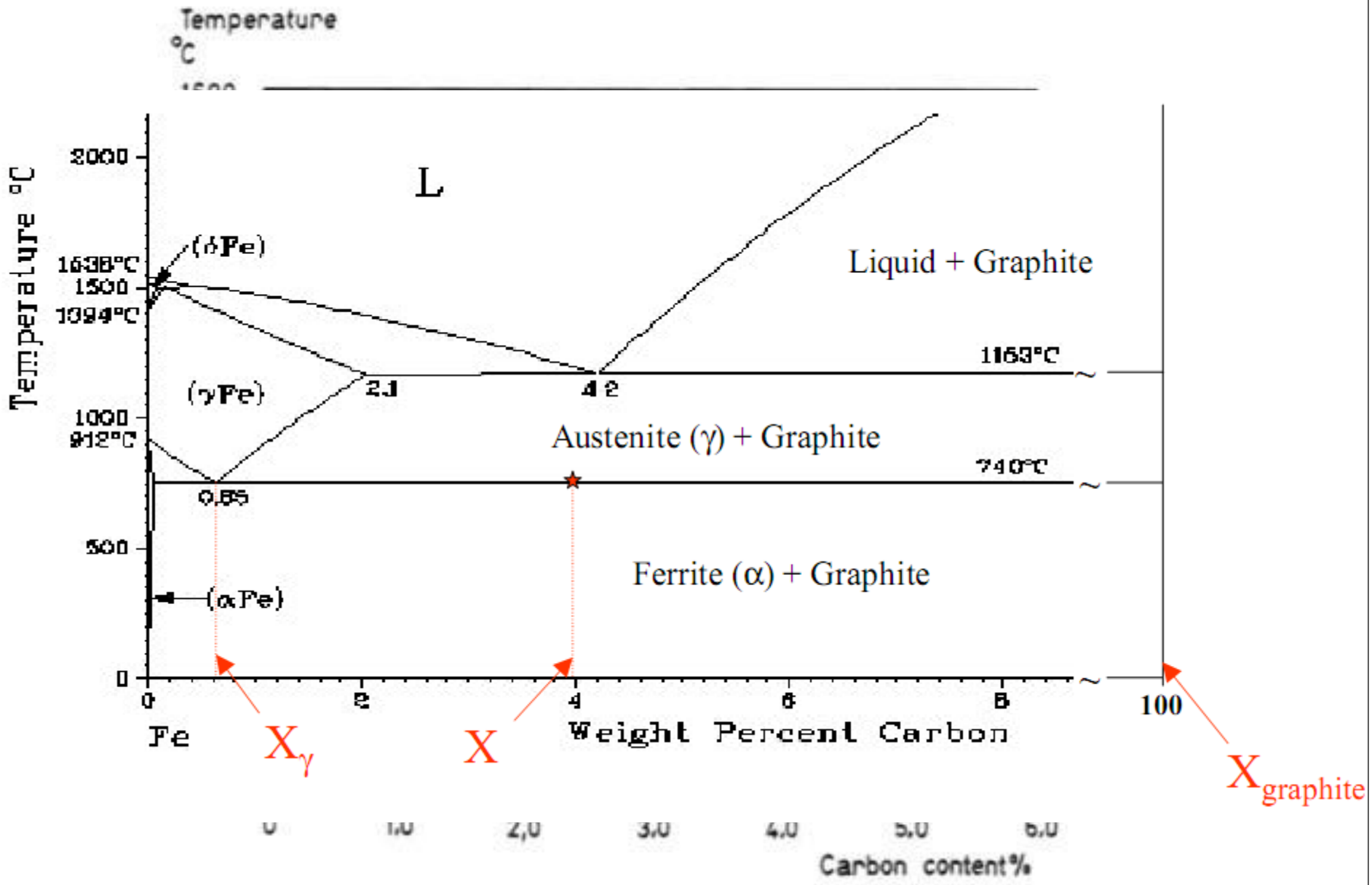
$$N_A = \frac{10000}{5000}\left(44 + \frac{25}{2}\right) = 113$$

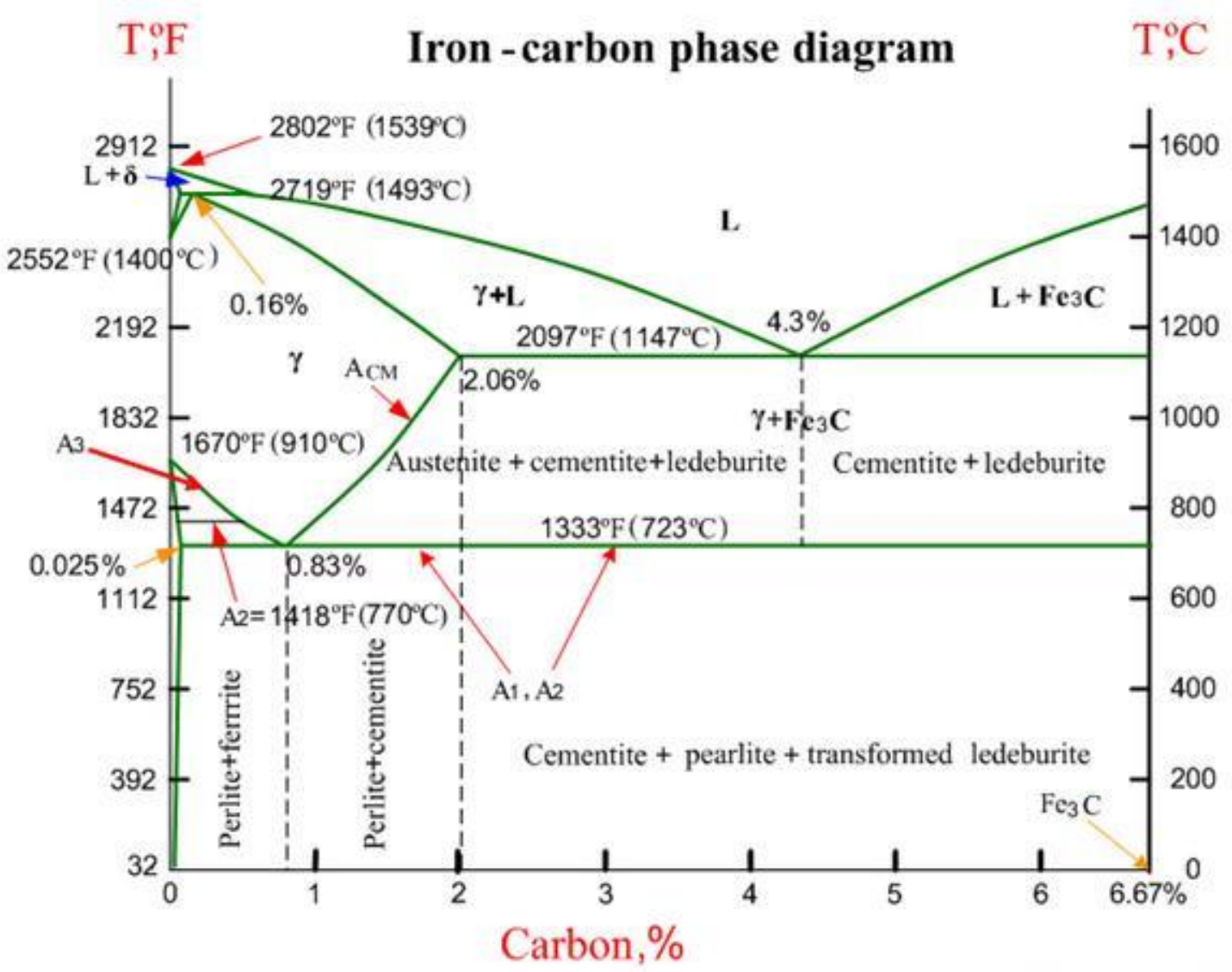
- و G عدد اندازه دانه $G=3.87$ می باشد که مقدار G به ۳/۹ یا حتی گرد ۴ می شود.

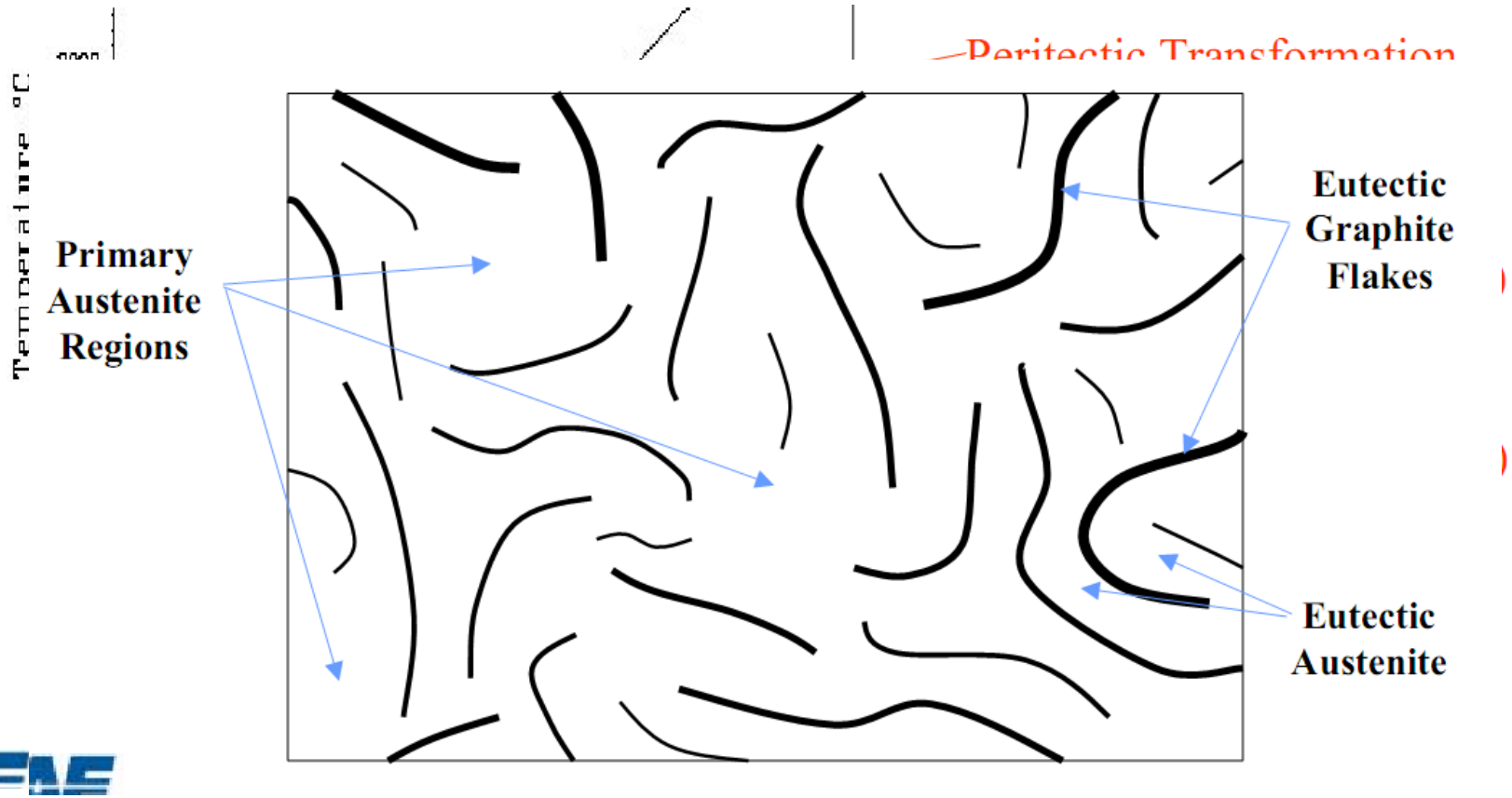
| حالت آلوترپی | شبکه فلزی | پارامتر شبکه | دمای پایداری |
|---|---|---|---|
| آهن α | BCC | 2.86 A° | 0 – 910 °c |
| آهن γ | FCC | 3.68 A° | 910 – 1403 °c |
| آهن δ | **BCC** | **2.92 A°** | 1403 – 1538 °c |

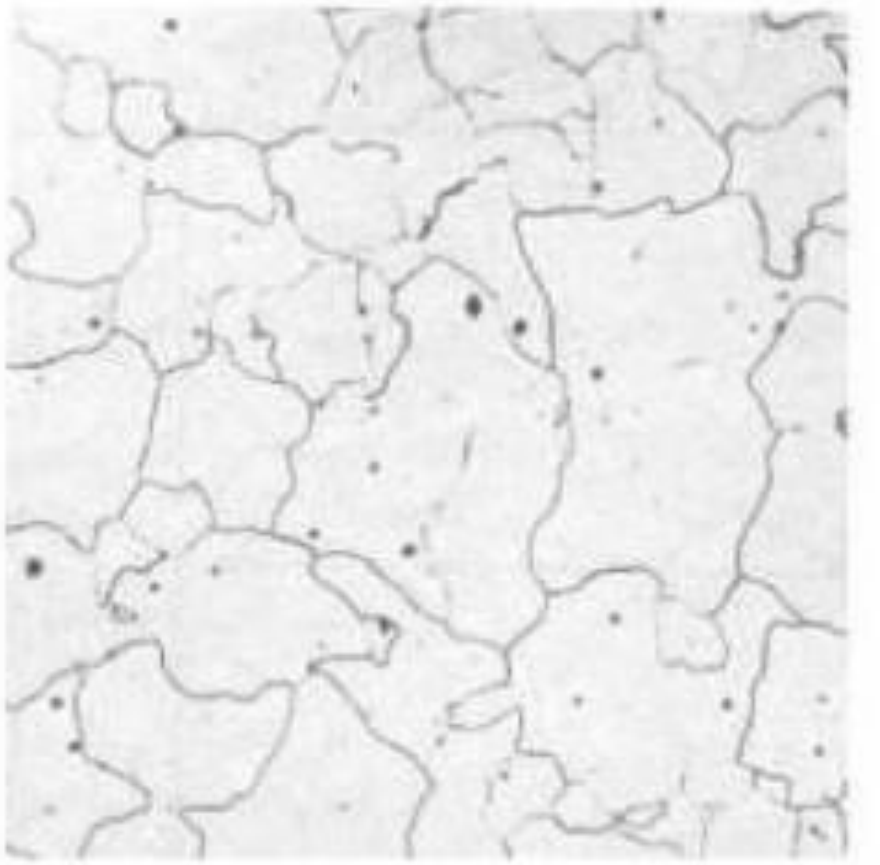



The iron-iron carbide equilibrium diagram labeled in general terms


Temperature
°C
Temperature °C
2000
1538°C
1500
1094°C
1000
912°C
500
0
L
(δFe)
(γFe)
(αFe)
Liquid + Graphite
1153°C
2.1
4.2
Austenite (γ) + Graphite
740°C
0.85
Ferrite (α) + Graphite
0
2
4
6
8
100
Fe
Weight Percent Carbon
$X_\gamma$
X
$X_{graphite}$
1,0
2,0
3,0
4,0
5,0
6,0
Carbon content%

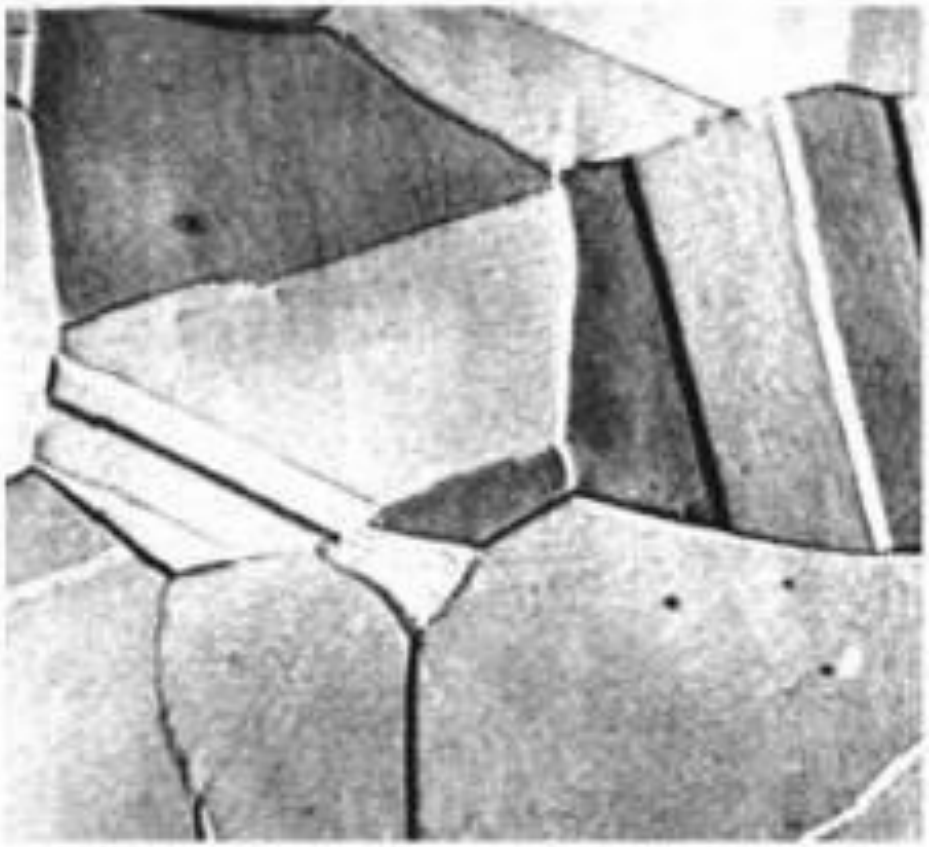

T,°F
Iron - carbon phase diagram
T,°C
2912
2802°F (1539°C)
L + δ
2719°F (1493°C)
L
2552°F (1400°C)
0.16%
γ+L
L + Fe3C
2192
4.3%
2097°F (1147°C)
γ
ACM
2.06%
1832
γ+Fe3C
A3
1670°F (910°C)
Austenite + cementite+ledeburite
Cementite + ledeburite
1472
1333°F (723°C)
0.025%
0.83%
1112
A2= 1418°F (770°C)
752
A1 , A2
Perlite+ferrrite
Perlite+cementite
Cementite + pearlite + transformed ledeburite
392
Fe3 C
32
0
1
2
3
4
5
6
6.67%
Carbon,%
1600
1400
1200
1000
800
600
400
200
0


Primary
Austenite
Regions
Eutectic
Graphite
Flakes
Eutectic
Austenite

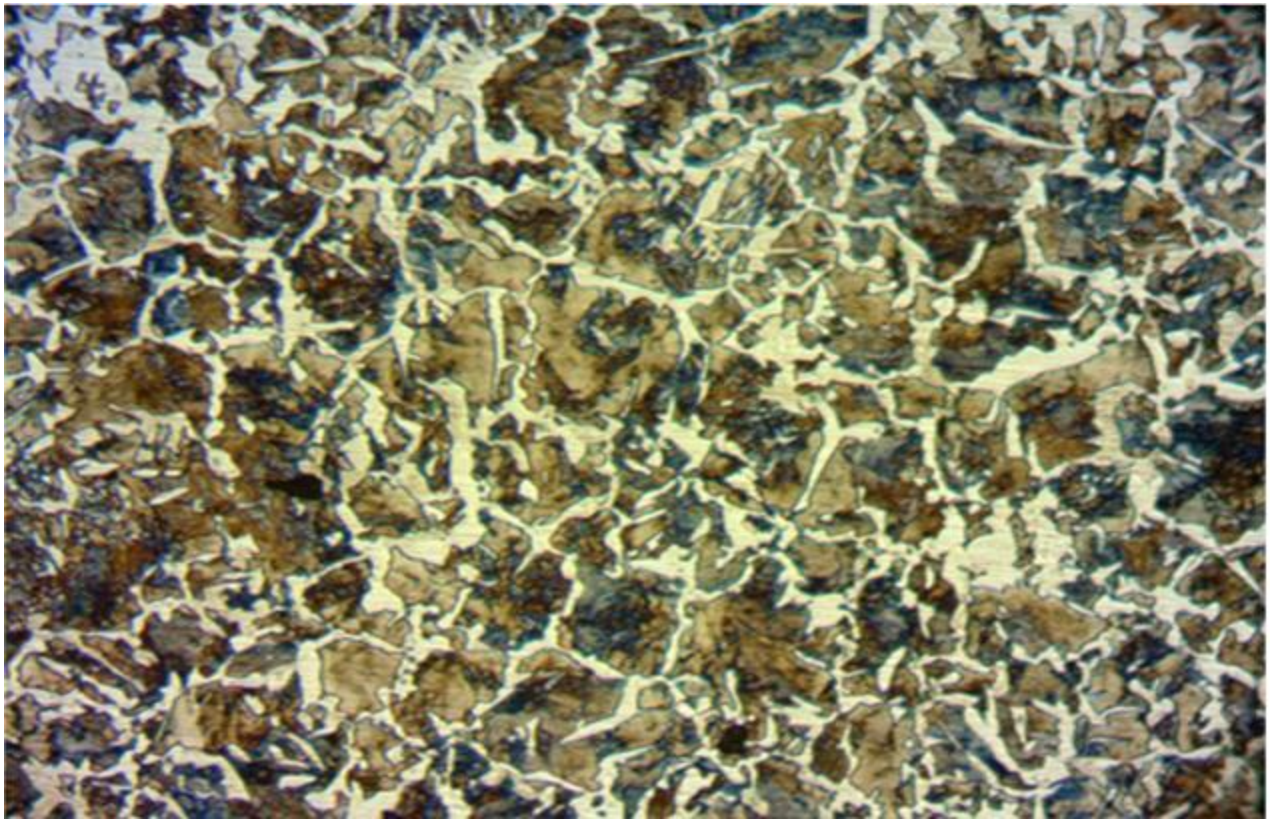


Microstructure of Ferrite


Microstructure of Pearlite

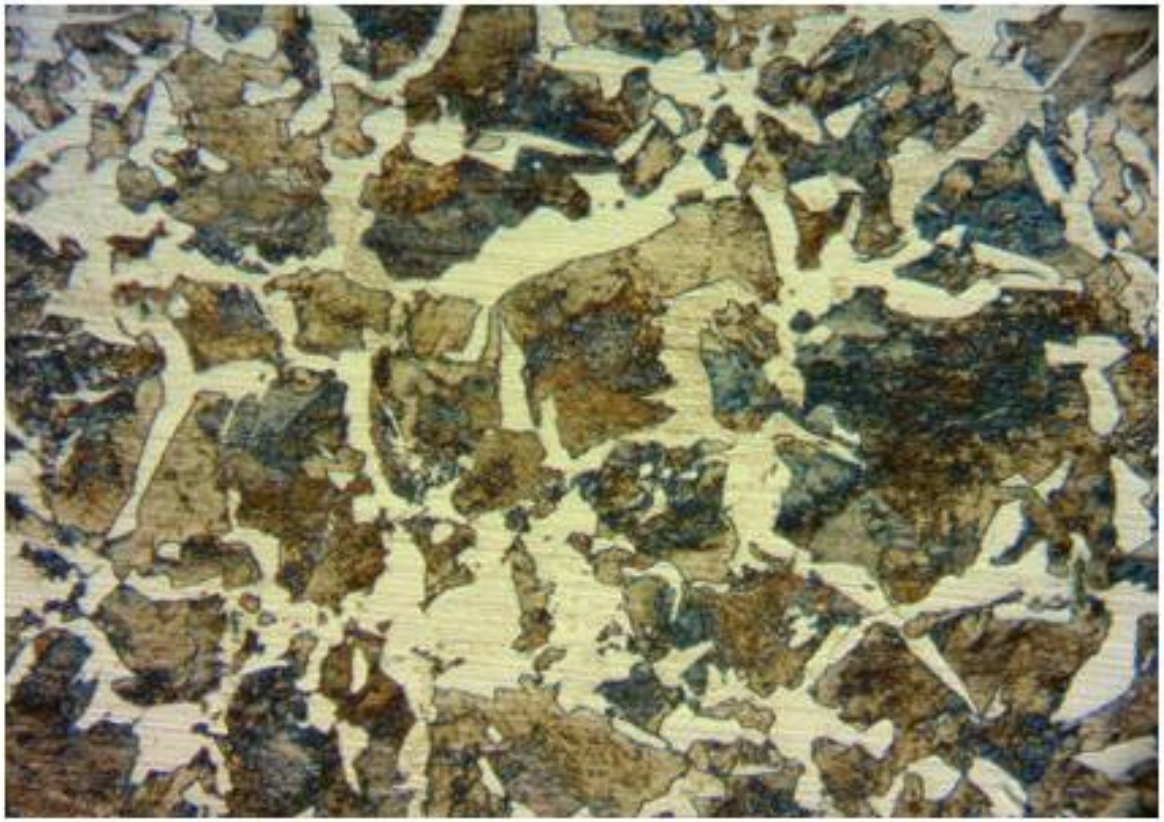


Microstructure of Austenite



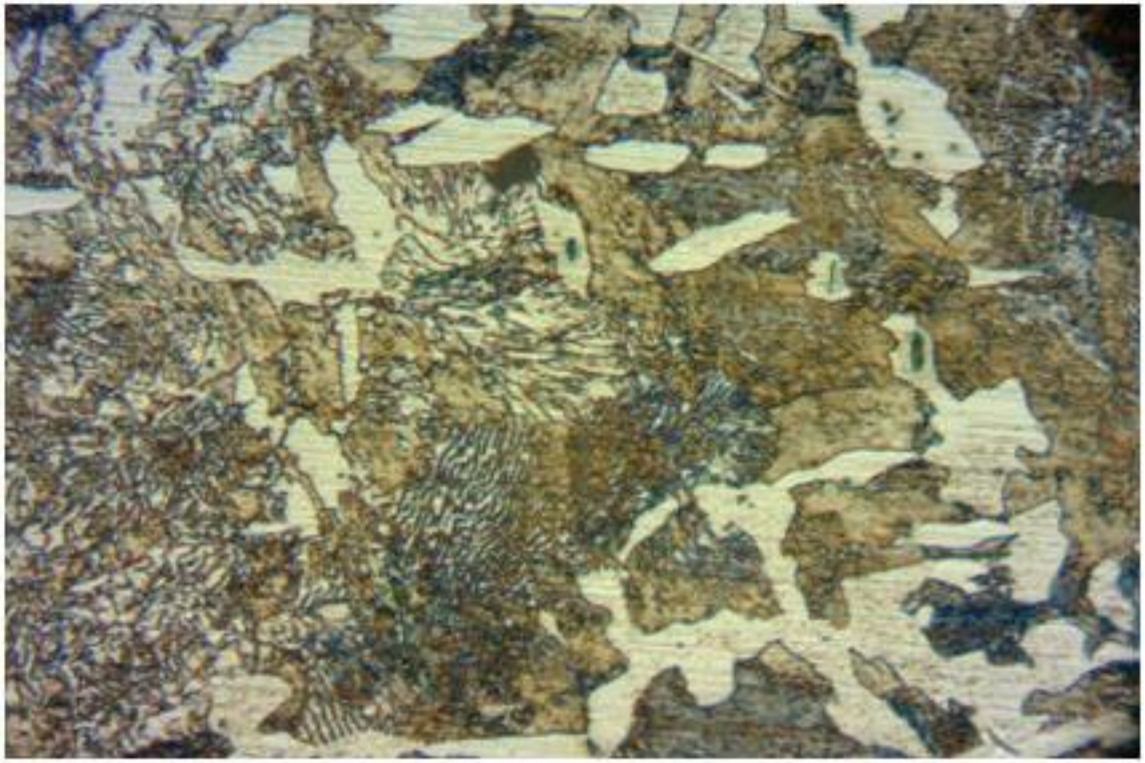
آهن کم کربن با ساختار (فریت، پرلیت)

جزیره سفید رنگ فریت وبقیه پرلیت



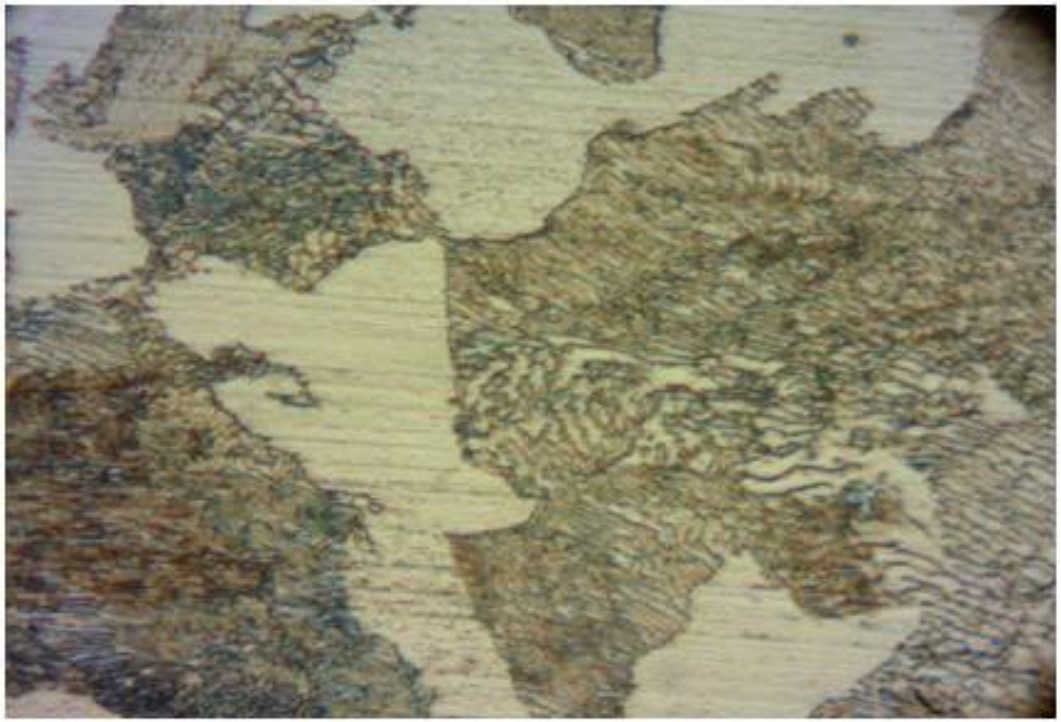
آهن کم کربن با ساختار (فریت، پرلیت)

بزرگنمایی ۲۰۰ $\mu m$ در عکس همانند شکل قبلی است با کمی شفاف تر



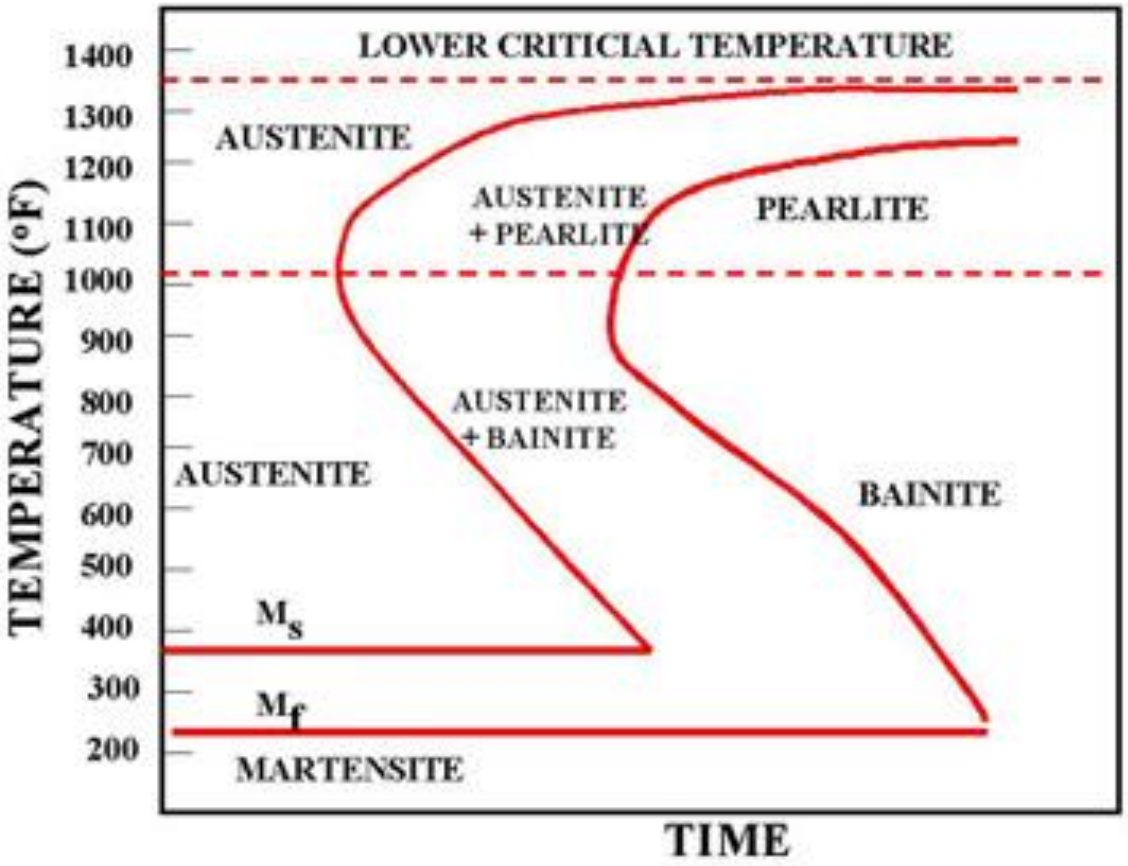
آهن کم کربن با ساختار (فریت، پرلیت)

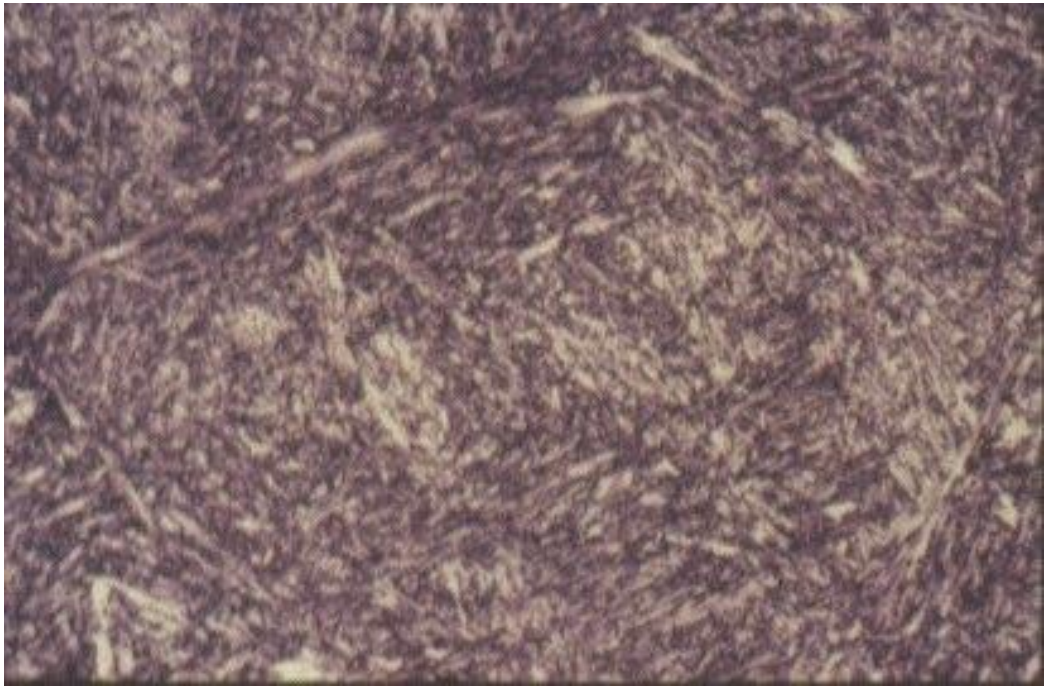
بزرگنمایی۴۰۰ mμجزیره پرلیتی کاملا حالت اثر انگشتی پیدا است ووجود رنگ سبز نشانه وجود ناخالصی است



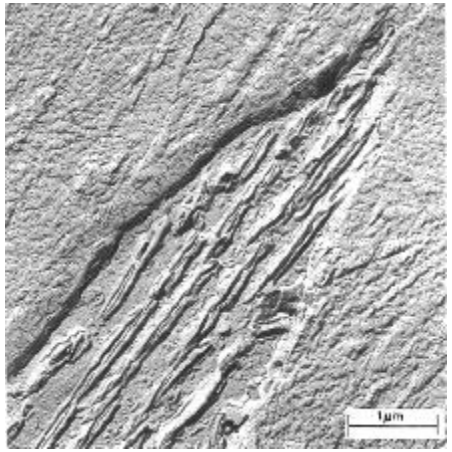
آهن کم کربن با ساختار (فریت، پرلیت)

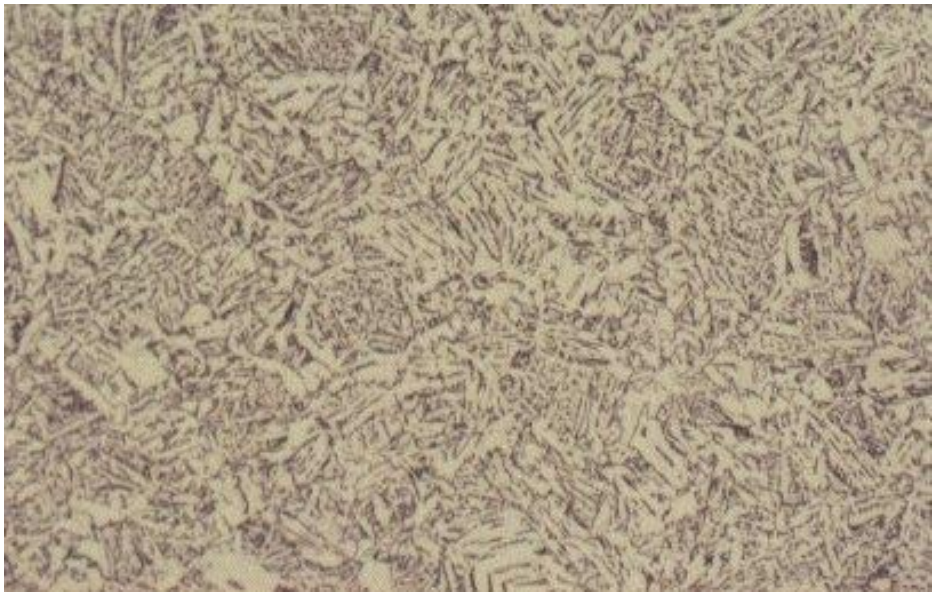
بزرگنمایی ۱۰۰۰ mμ رنگ سفید فریت و قسمتهای دیگر پرلیت


LOWER CRITICIAL TEMPERATURE
AUSTENITE
AUSTENITE + PEARLITE
PEARLITE
AUSTENITE + BAINITE
AUSTENITE
BAINITE
$M_s$
$M_f$
MARTENSITE
TEMPERATURE (°F)
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
TIME



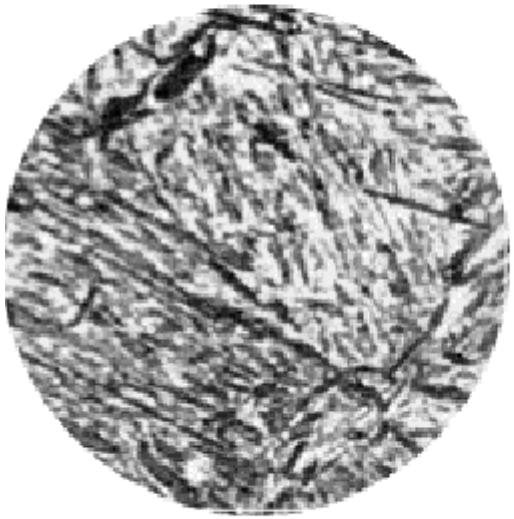
Microstructure of martensite (x 500)



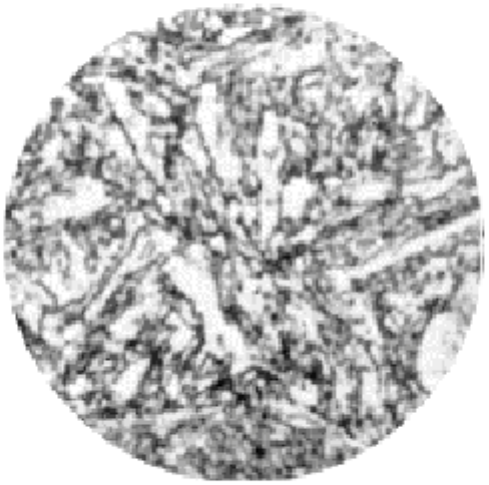



Microstructure of quenched hot rolled steel
containing 0,36% carbon showing bainite (x 200)

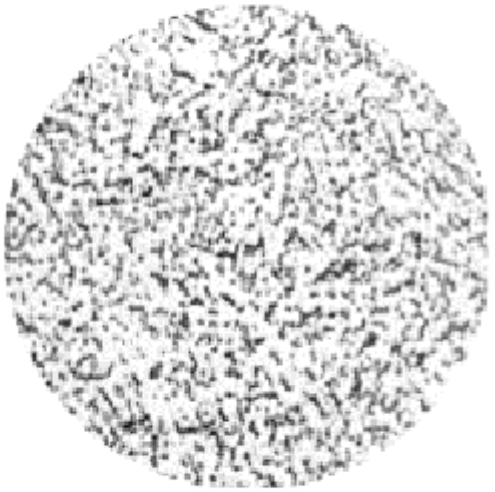
Martensite and bainite will temper at temperatures above 150 °C to form ferrite and spheroidal iron carbides.



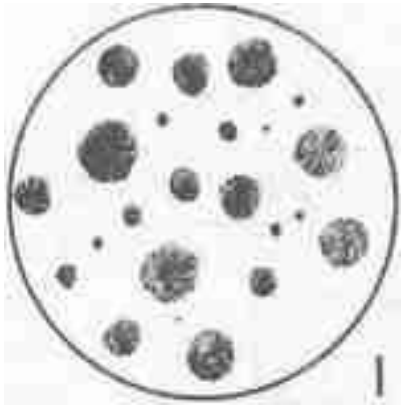
Martensite

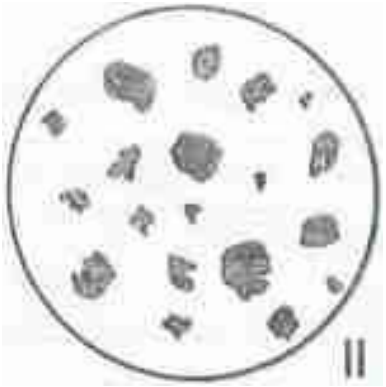


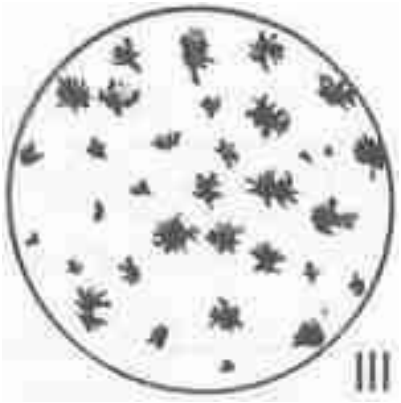
Tempered Martensite

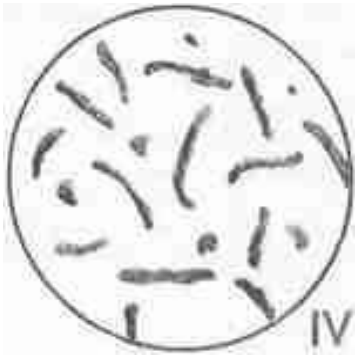


Heavily Tempered Martensite

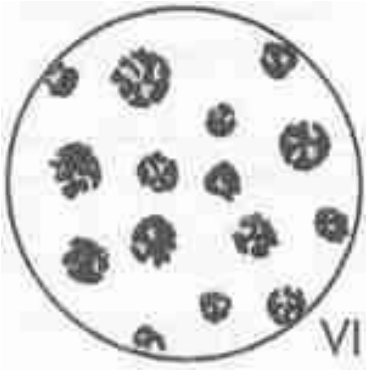




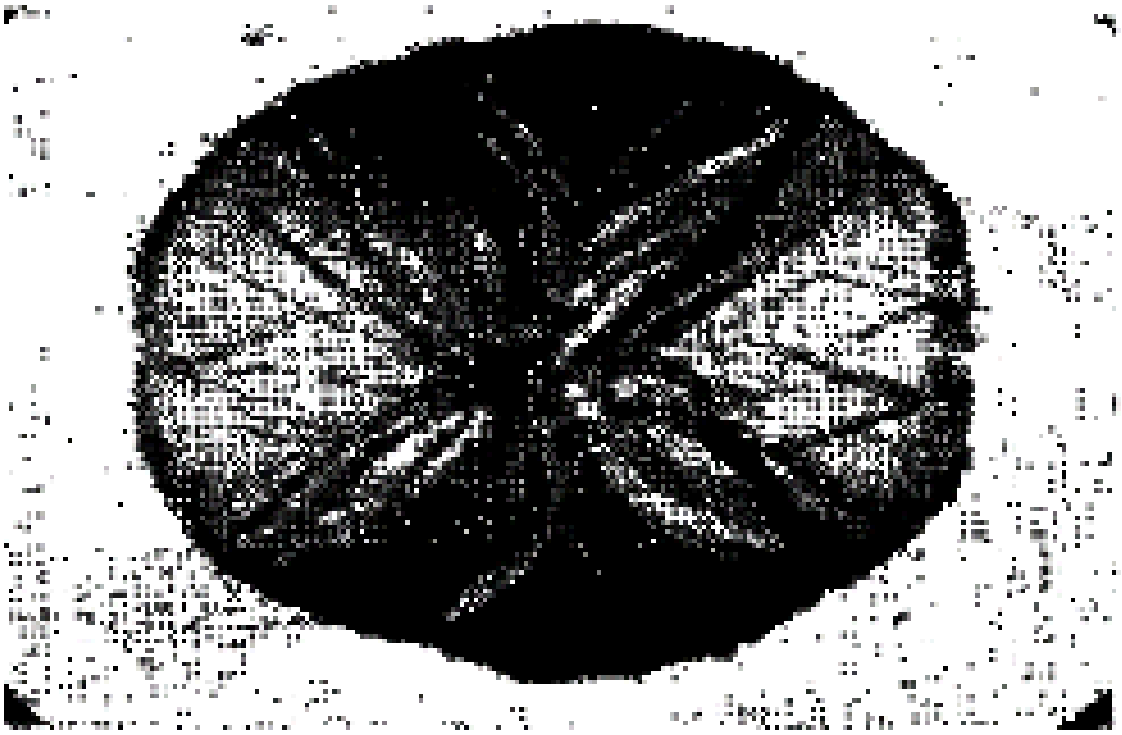




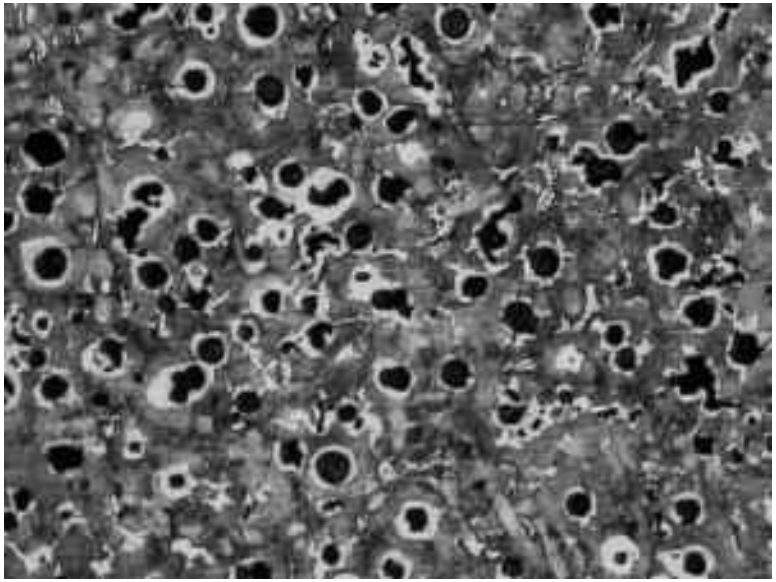
**هفت نوع گرافیت موجود در انواع چدنها بر مبنای استاندارد ASTM**

- گرافیت نوع یک که کاملاً کروی است و در انواع چدن نشکن بوجود می آید.
- در صورتی که گرافیت به صورت کاملاً کروی نباشد یعنی نوع ۲ تأثیر آن در خواص مکانیکی جزئی بوده و تأثیر چندانی ندارد.
- گرافیت شبه کروی نوع سه در چدن های مالیبل در انتهای مرحله آنیل بوجود می آید.
- گرافیت خمیده یا کرمی شکل نوع چهار میباشد که مربوط به ساختار چدن باگرافیت فشرده می باشد.
- گرافیت های نوع پنج و شش که گرافیت تغییر شکل یافته کروی هستند معمولاً به آنها نوع منفجر شده تو خالی گفته می شود و در انواع چدن باگرافیت کروی بدلیل عدم دقت در مراحل تولید بوجود آمده و باعث تنزل خواص مکانیکی می شود.
- گرافیت نوع هفت گرافیت ورقه ای می باشد که در ساختار چدن خاکستری دیده می شود.

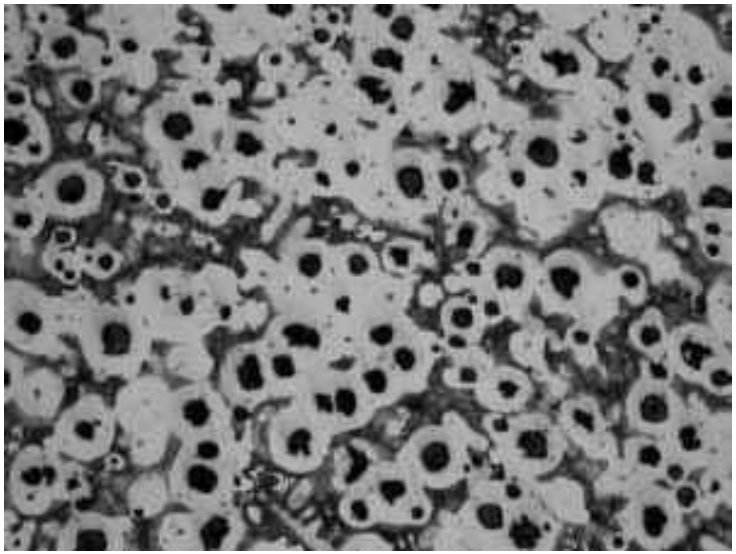
The nodular iron microstructure is due to slow solidification rates and magnesium or cerium alloying that promotes spherical graphite formation.



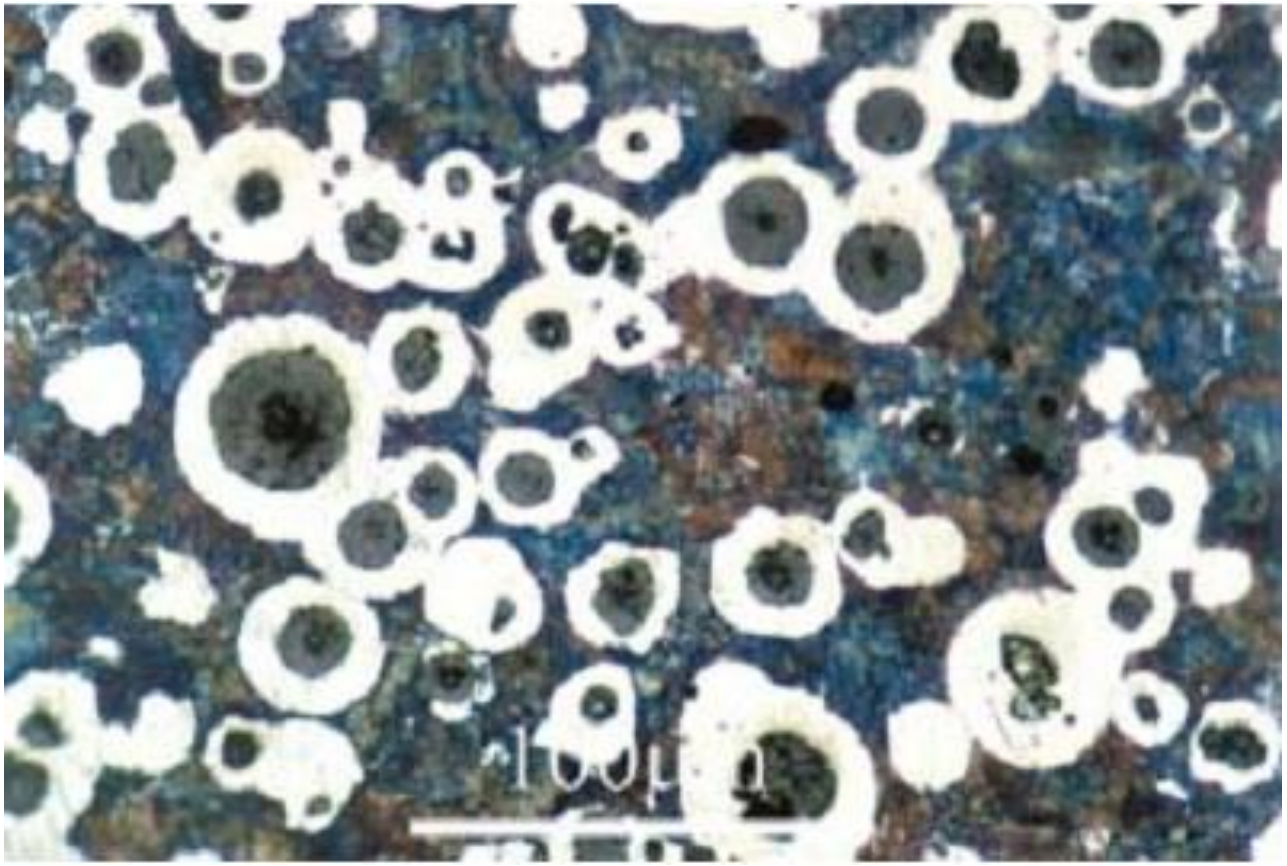
**Enlarged view of graphite spheroid (x 600)**



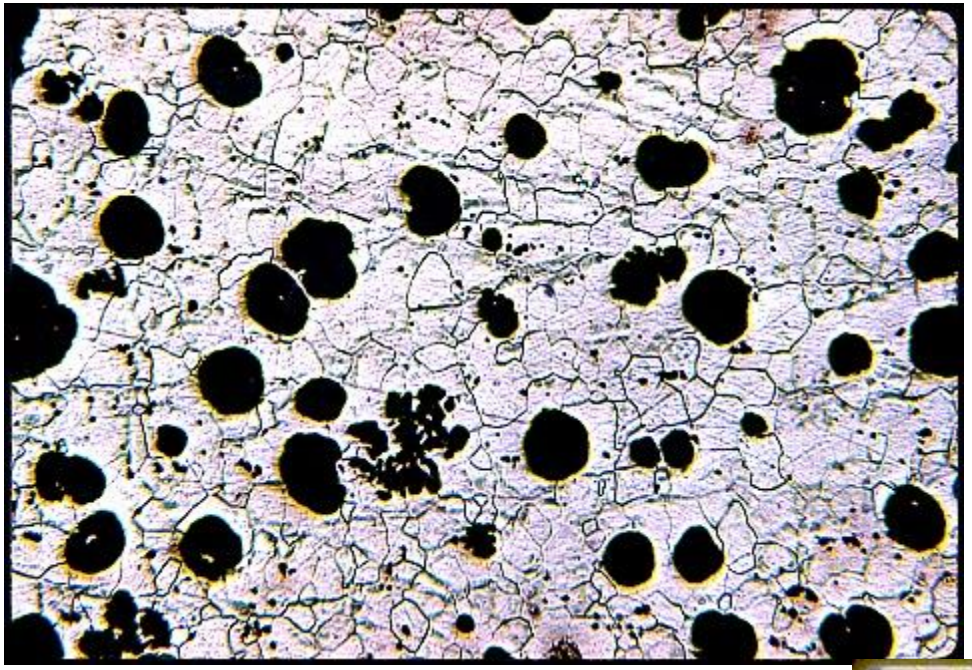
Nodular cast iron with pearlite structure

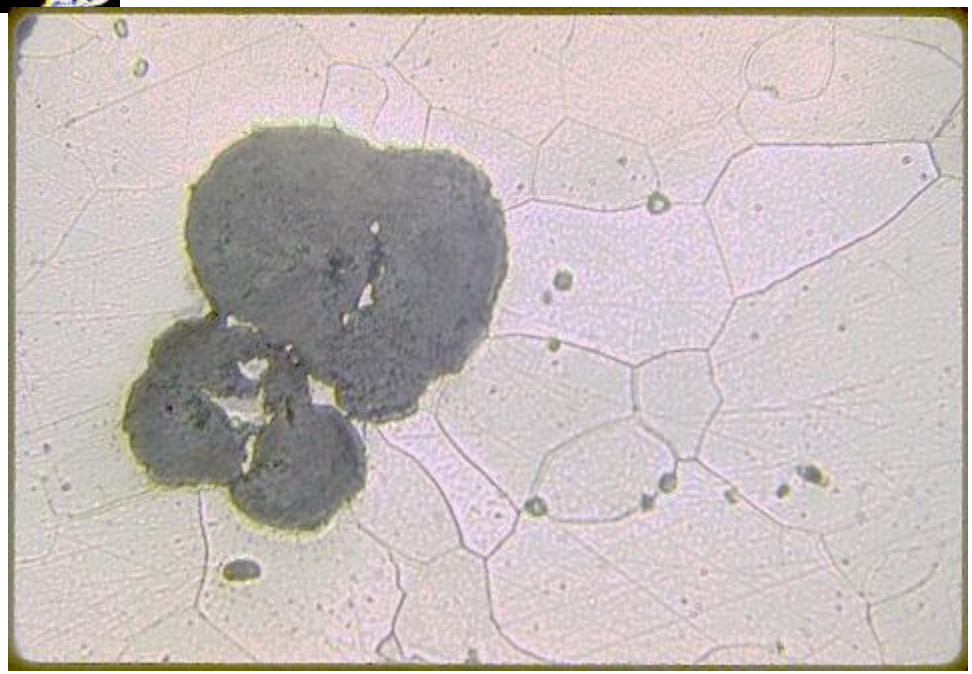


Nodular cast iron with ferrite structure



**Microstructure of ductile cast iron**

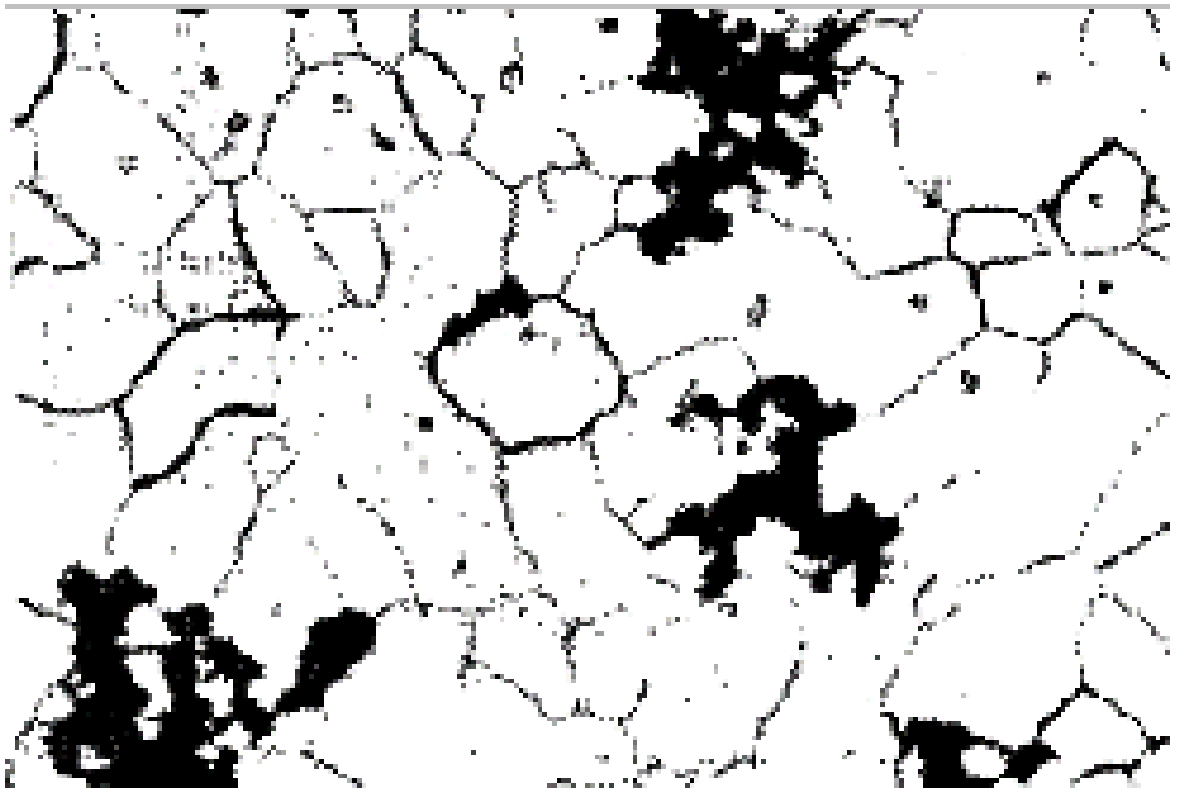




**Nodular cast iron**

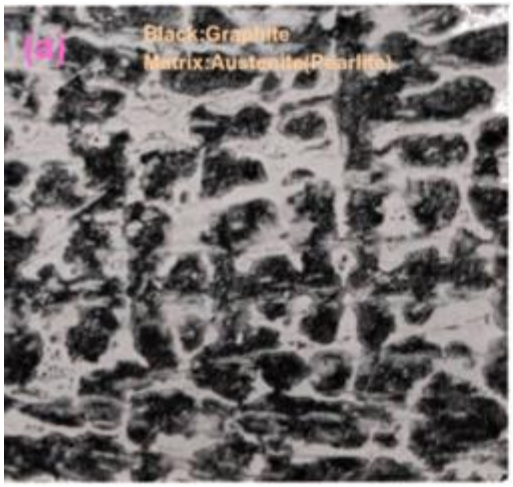
**Ductile Cast Iron Parts**

Malleable Cast Iron Microstructure

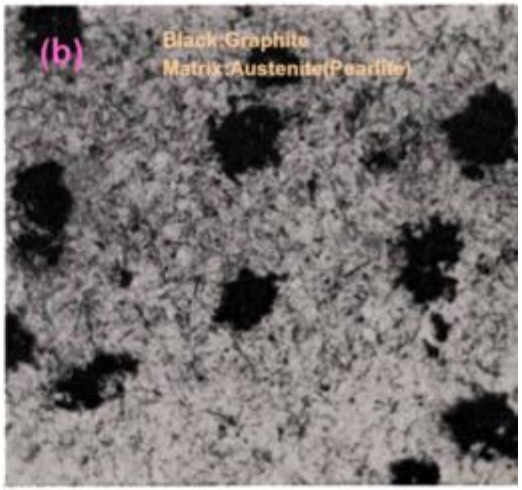


Temper carbon in a malleable iron; ferrite crystals etched (x 100)

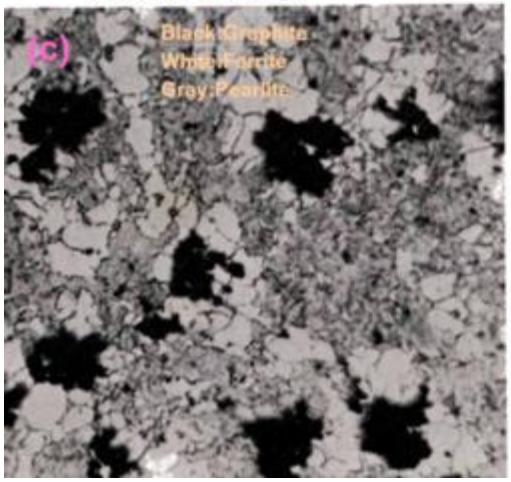
Ledeburite As Cast



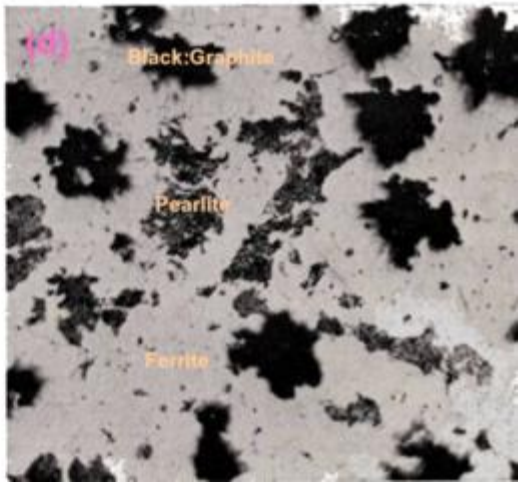

Austenite(Pearlite) + Graphite
(Close of FSG)



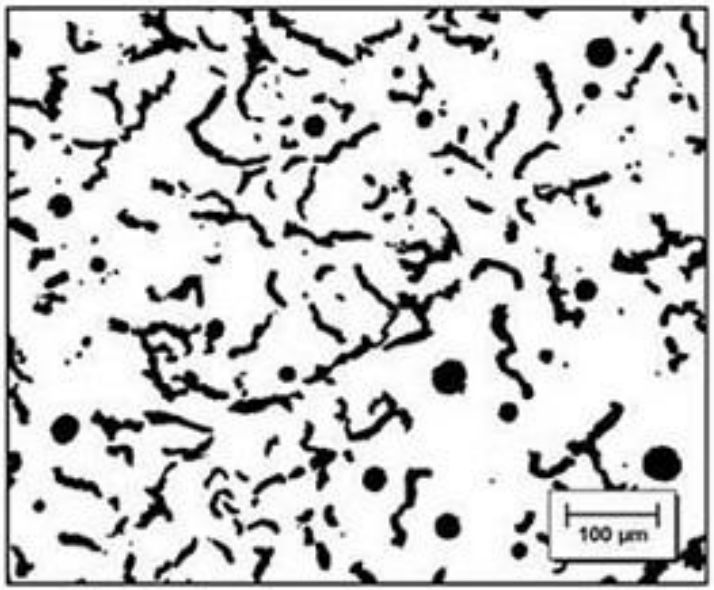

Ferrite + Austenite(Pearlite) + Graphite
(SSG on the way)

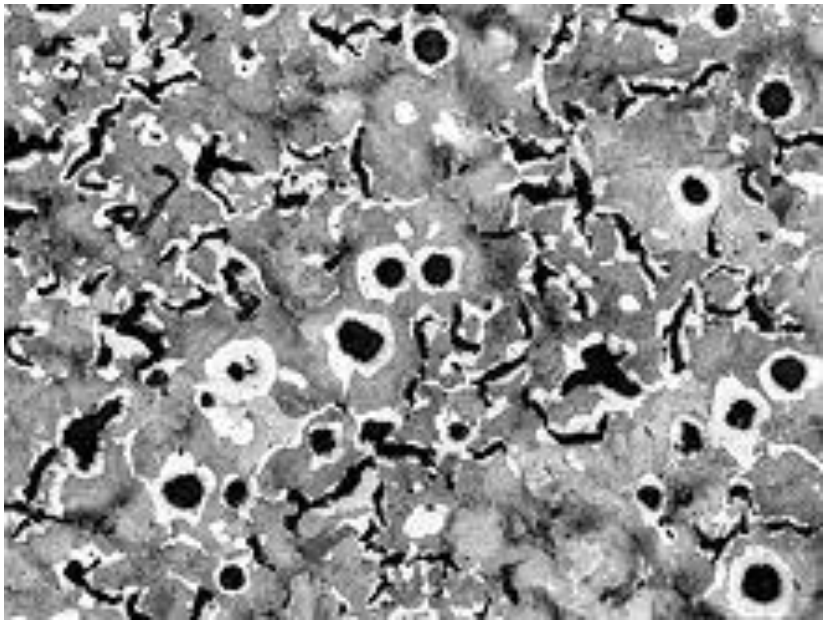



Ferrite + Pearlite + Graphite
(Last of SSG)

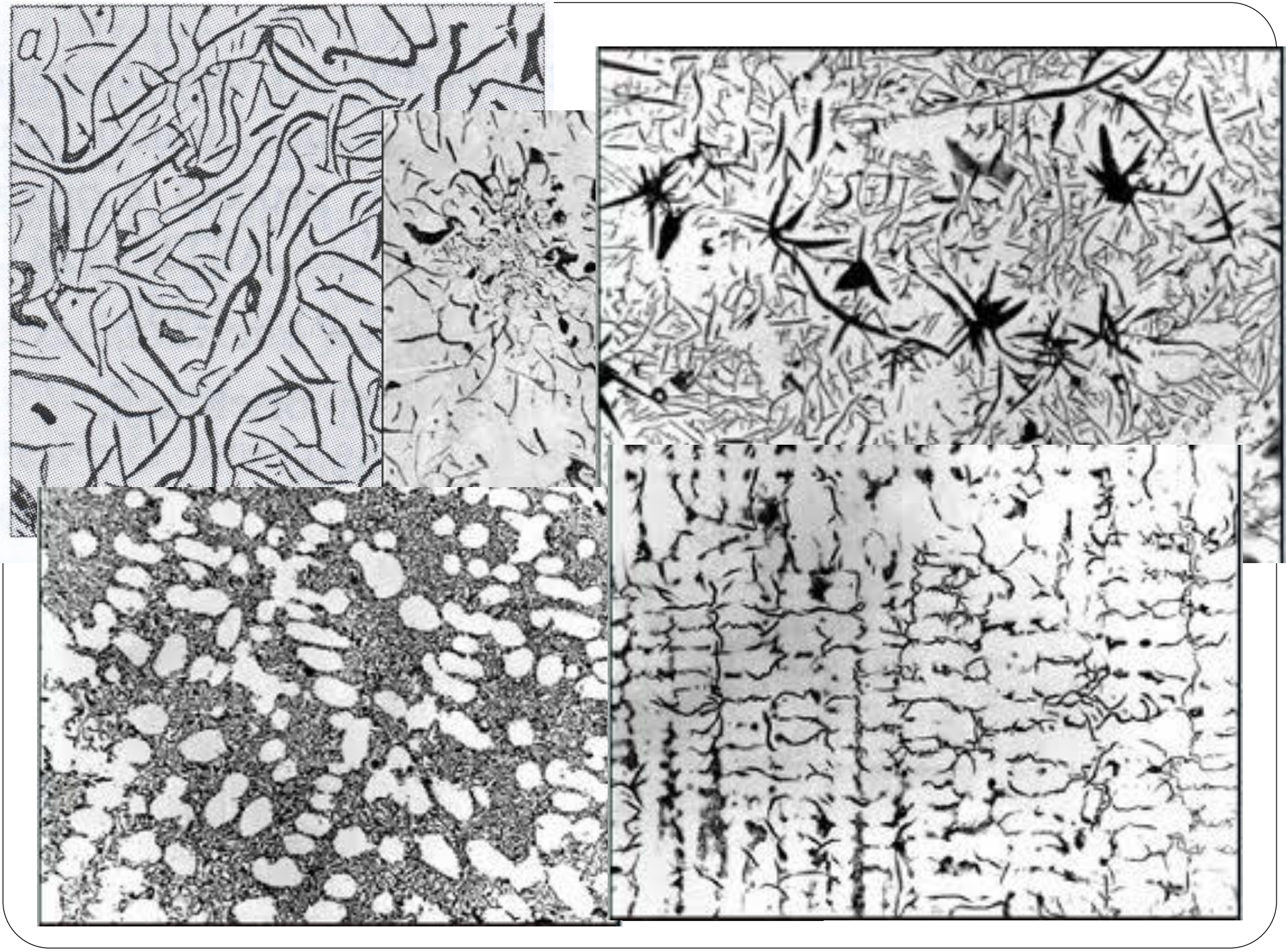


**Malleable Cast Iron Fitting Component**

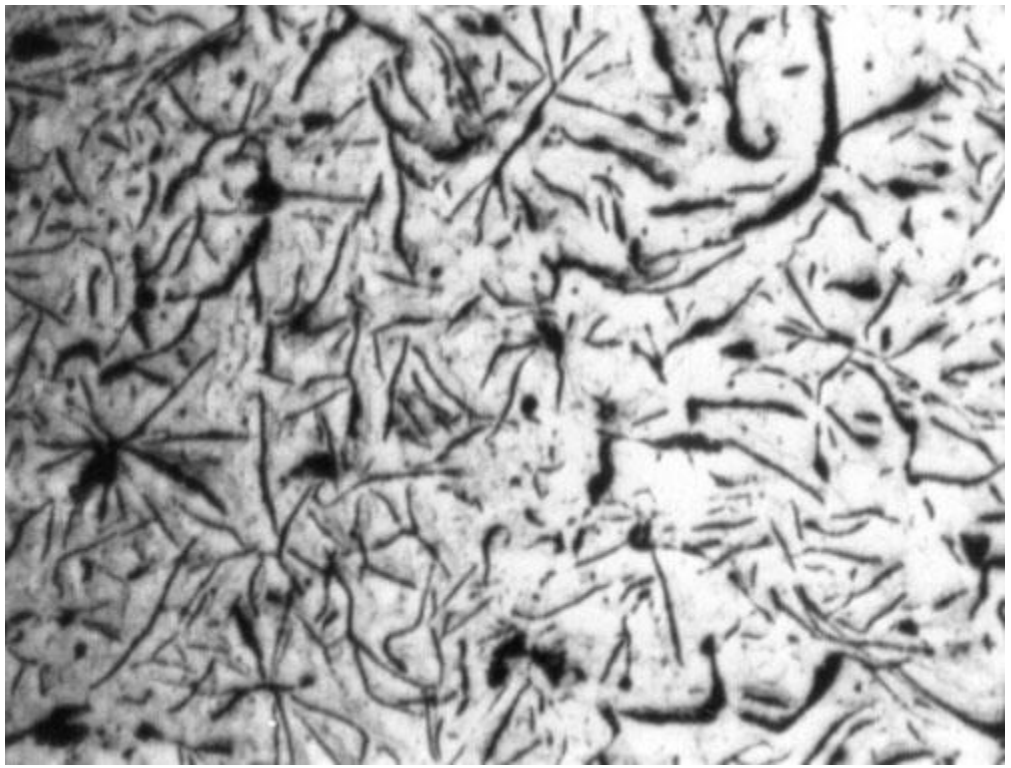


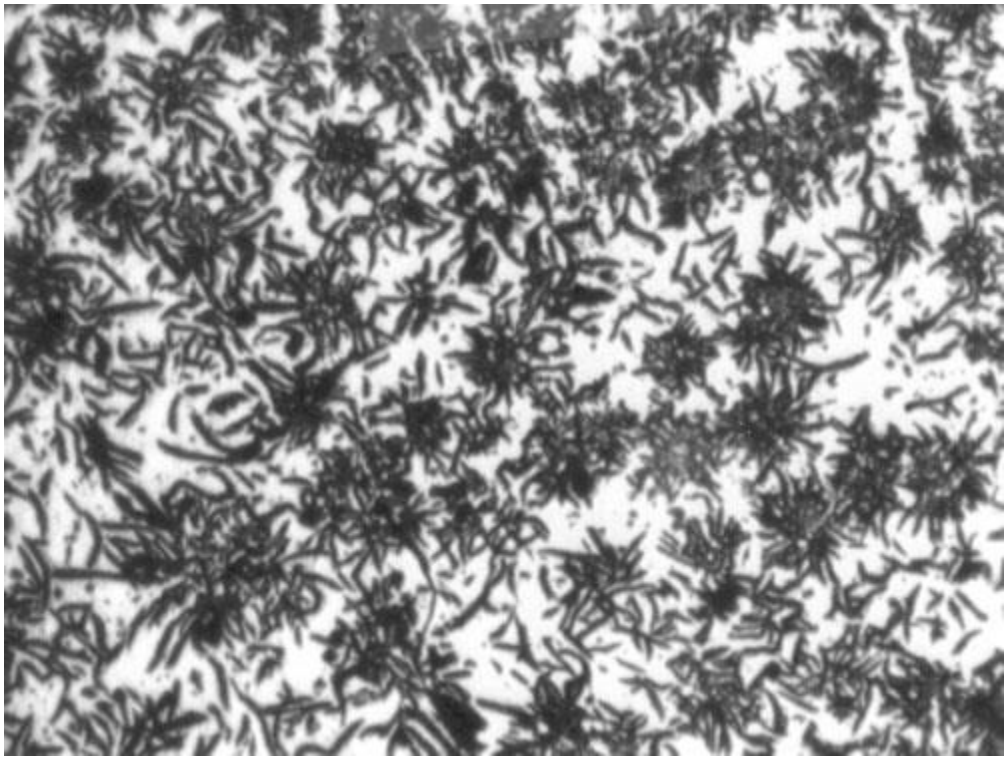
**Compacted graphite iron**


a)

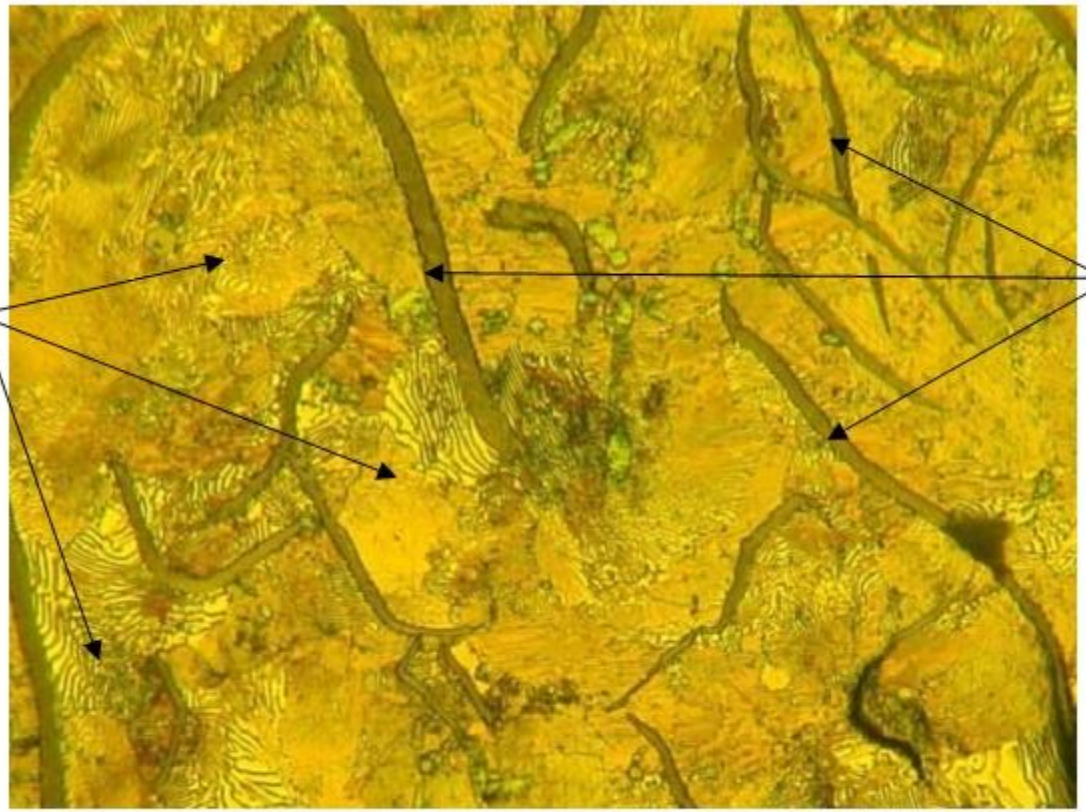
**Graphite structure A**



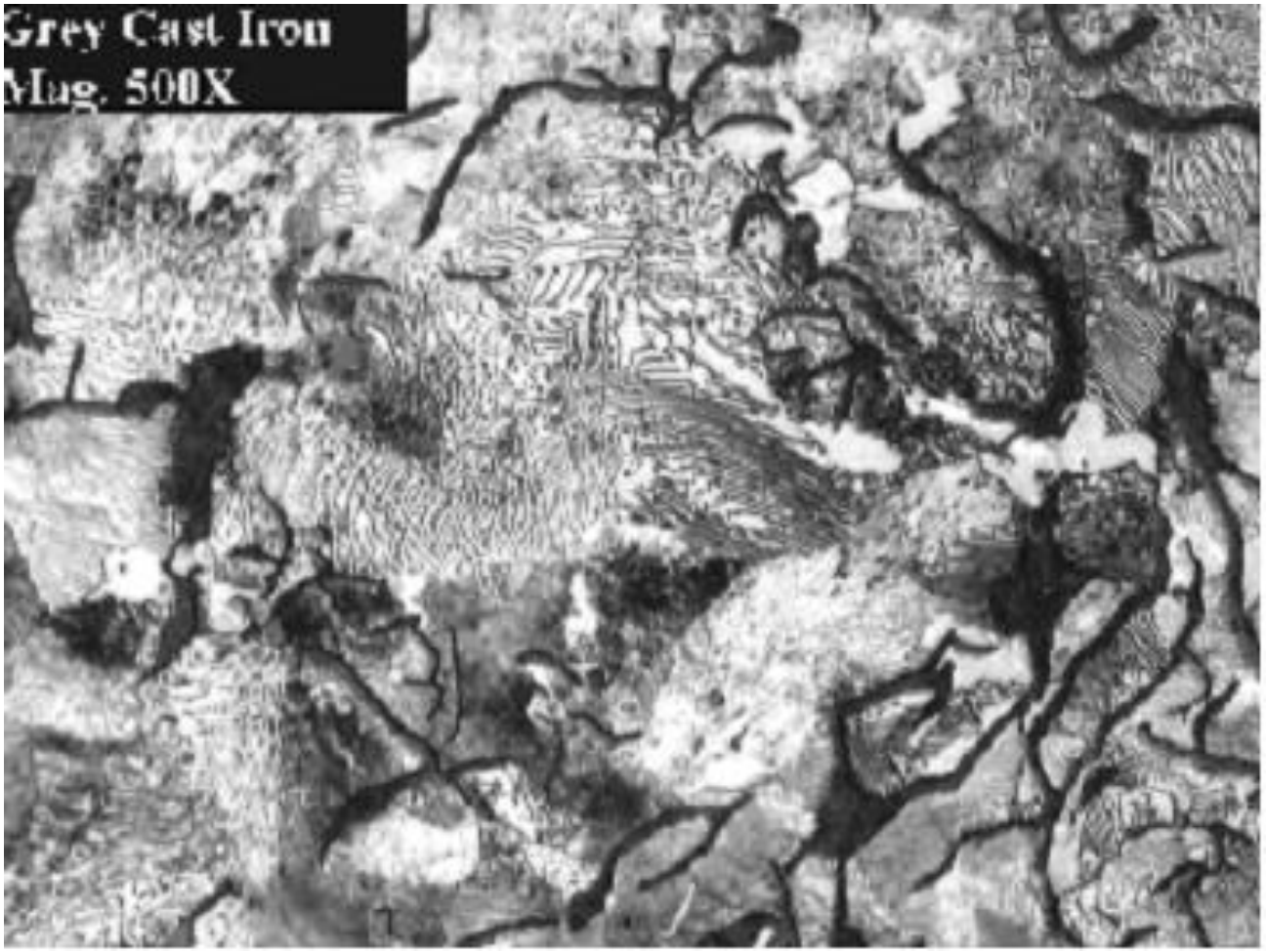
**graphite structure B in cast iron**



**graphite structure C in cast iron**




Microstructure of Gray Cast Iron (200X and Nital Etch)




ساختار چدن خاکستری با زمینه پرلیتی

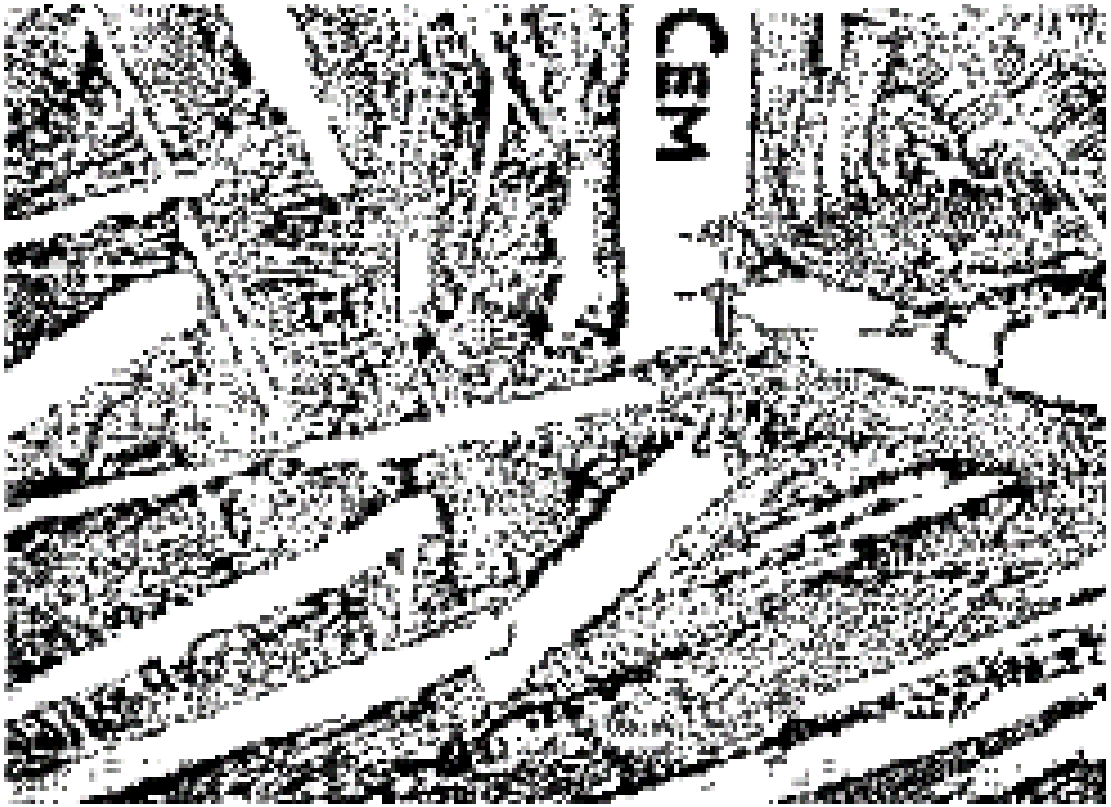
چدن خاکستری آلیاژی با زمینه بینیتی

چدن خاکستری  با زمینه مارتنزیتی

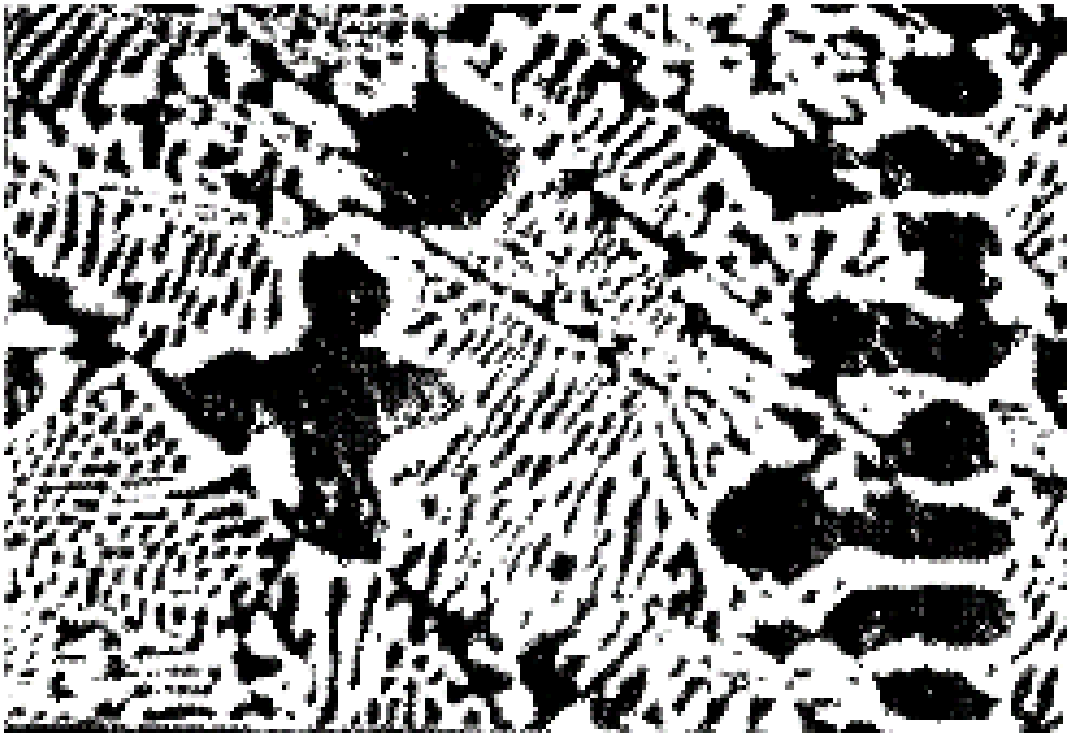
چدن خاکستری آلیاژی با زمینه اوستنیتی (قسمت سفید رنگ) و مقادیر جزئی کاربید (فازهای کم‌رنگ)

فسفر در چدن خاکستری تشکیل فازی سخت و رنگ روشن استدیت را می‌نماید.

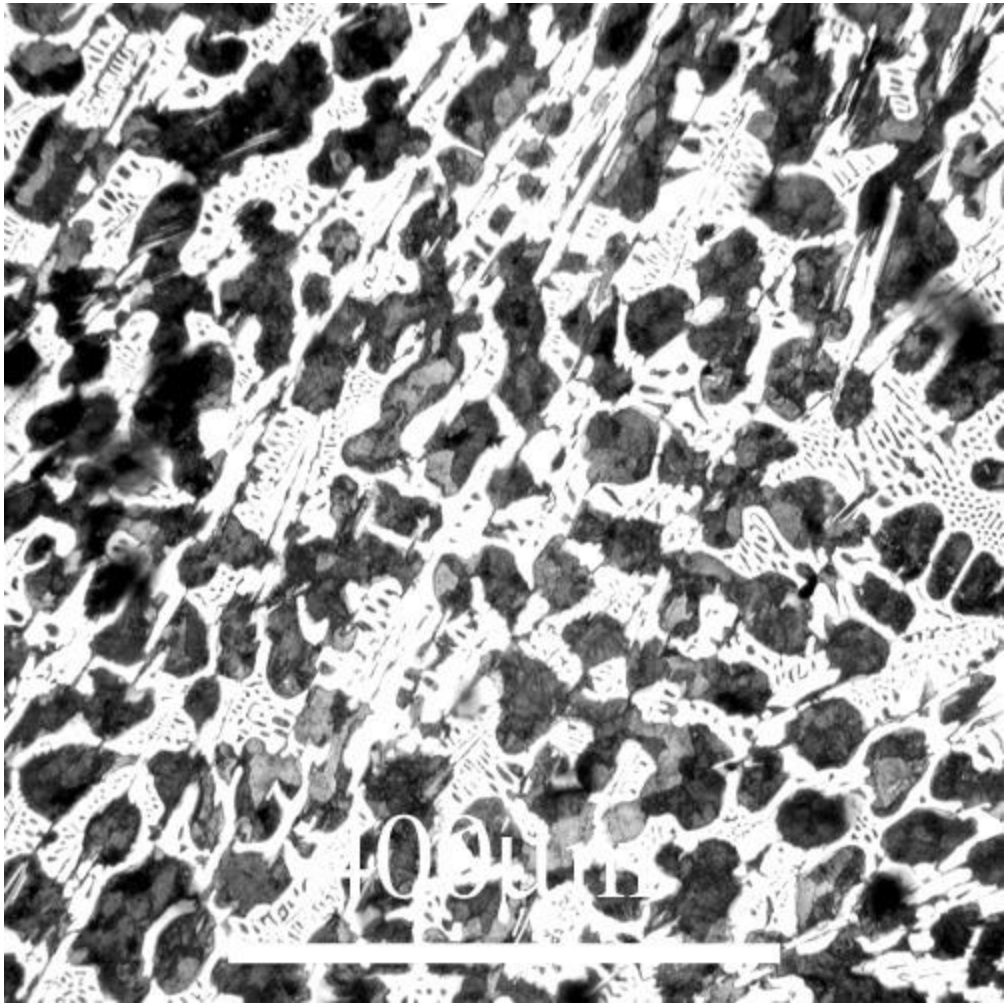
**گوگرد در چدن در ترکیب با منگنز ایجاد سولفید منگنز می نماید که دارای شکل هندسی و رنگ قهوه‌ای است.**



Hyper-eutectic white cast iron (x 100). White primary crystals of cementite in eutectic (cementite and pearlite)



Hypo-eutectic white cast iron, cementite and pearlite(black)
(x 100) BH =100



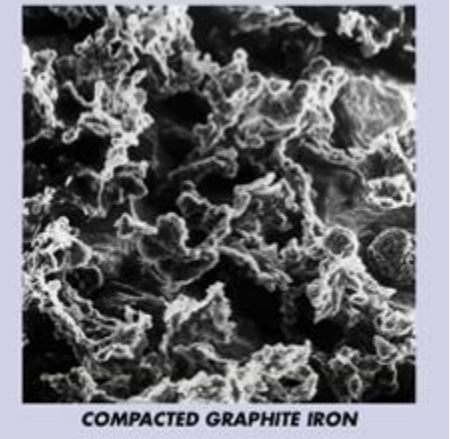

**White Cast Iron**
**(Ledeburite)**

**White cast irons**

GRAY IRON

DUCTILE IRON

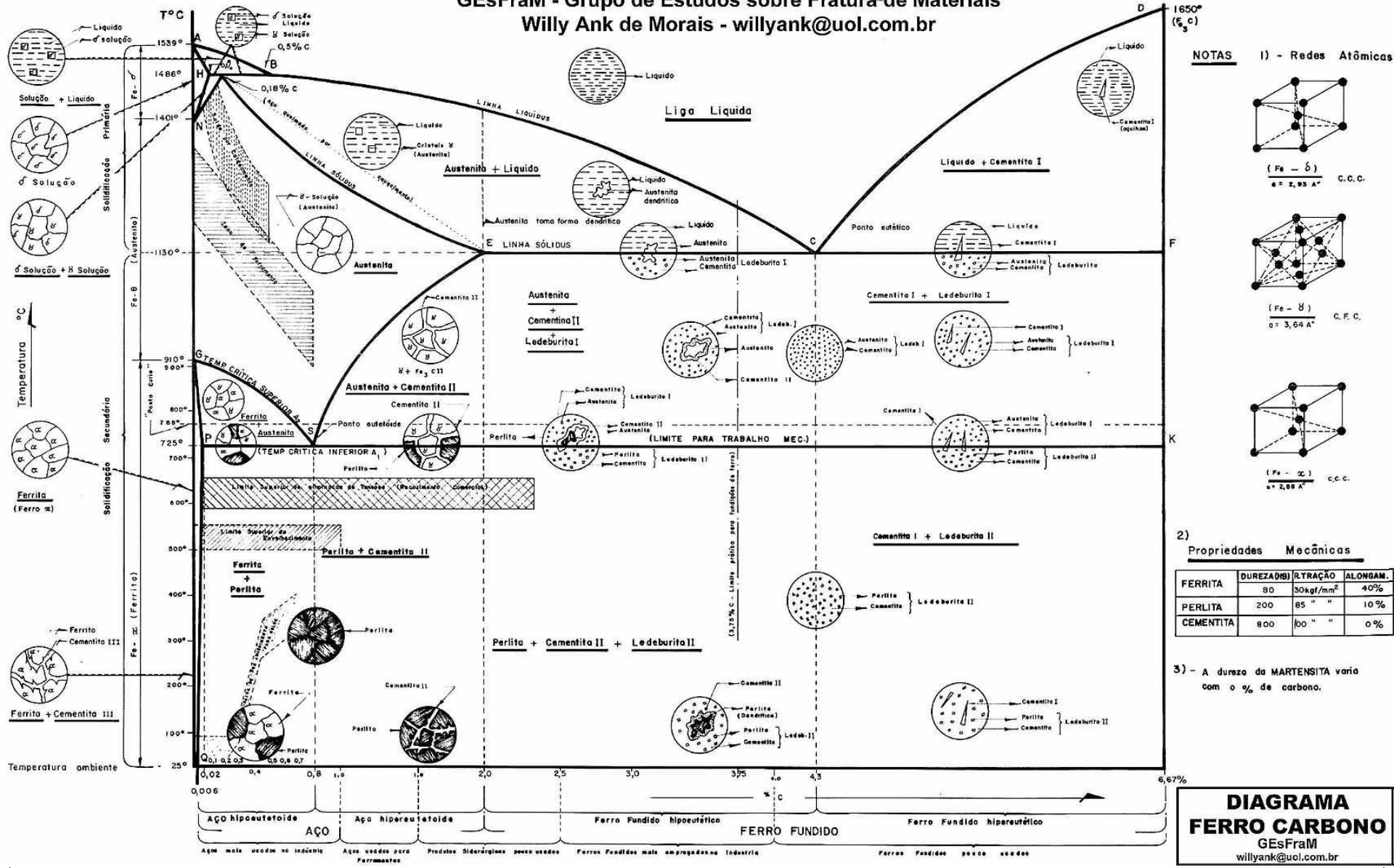
MALLEABLE IRON



COMPACTED GRAPHITE IRON

**scanning electron microscope (SEM) views illustrate the various forms of graphite found in the cast iron family**

GEsFraM - Grupo de Estudos sobre Fratura de Materiais
Willy Ank de Morais - willyank@uol.com.br




NOTAS 1) - Redes Atômicas



(Fe − δ) C.C.C.
a = 2,93 A°



(Fe − γ) C.F.C.
a = 3,64 A°



(Fe − α) c.c.c.
a = 2,88 A°

2) Propriedades Mecânicas

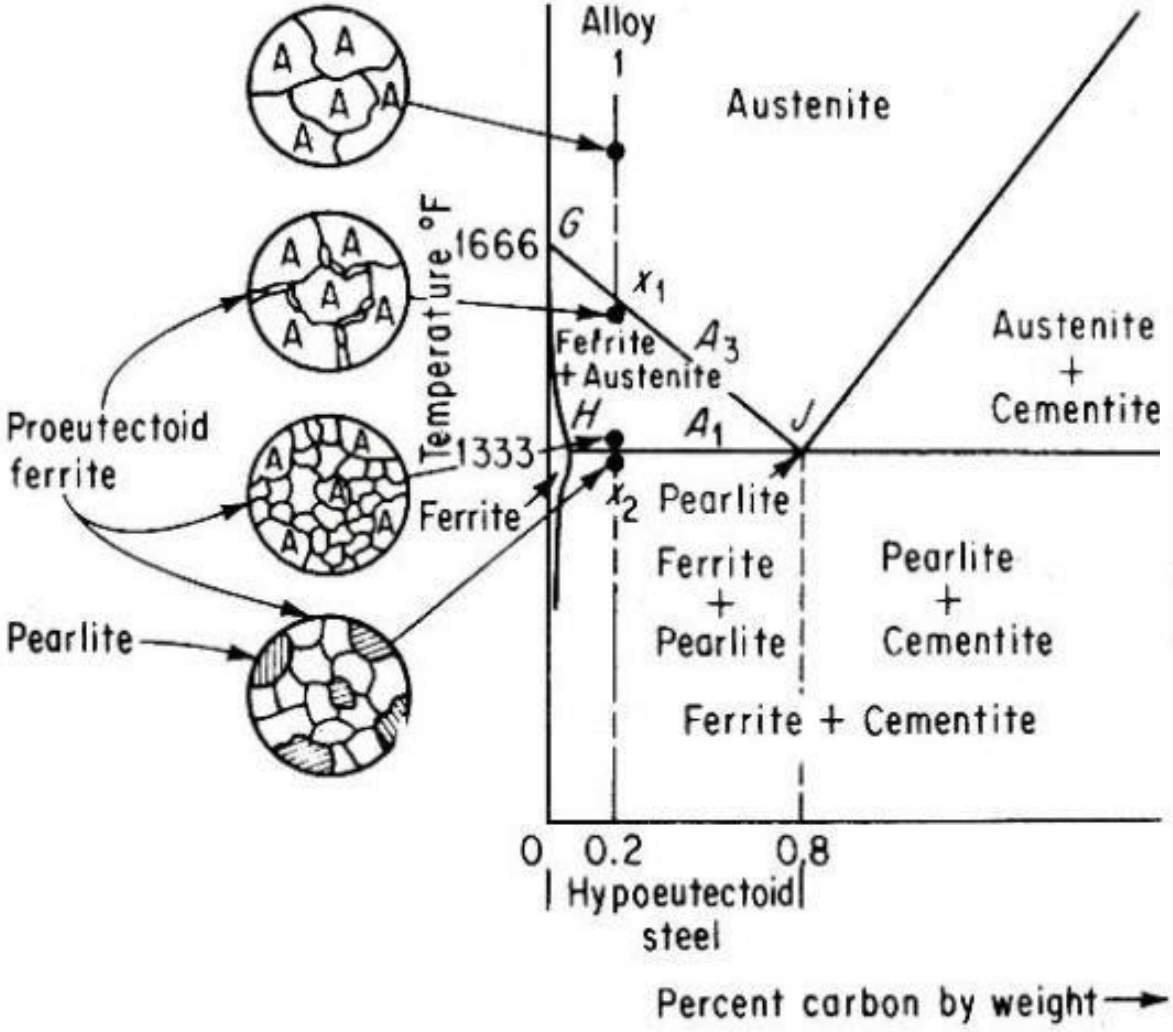
| | DUREZA(HB) | R.TRAÇÃO | ALONGAM. |
|---|---|---|---|
| FERRITA | 80 | 30kgf/mm² | 40% |
| PERLITA | 200 | 85 " " | 10% |
| CEMENTITA | 800 | 00 " " | 0% |

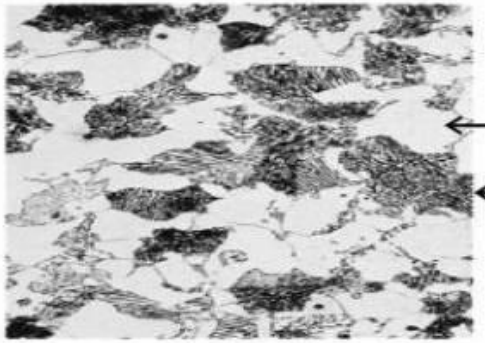
3) - A dureza da MARTENSITA varia com o % de carbono.

**DIAGRAMA FERRO CARBONO**

GEsFraM
willyank@uol.com.br

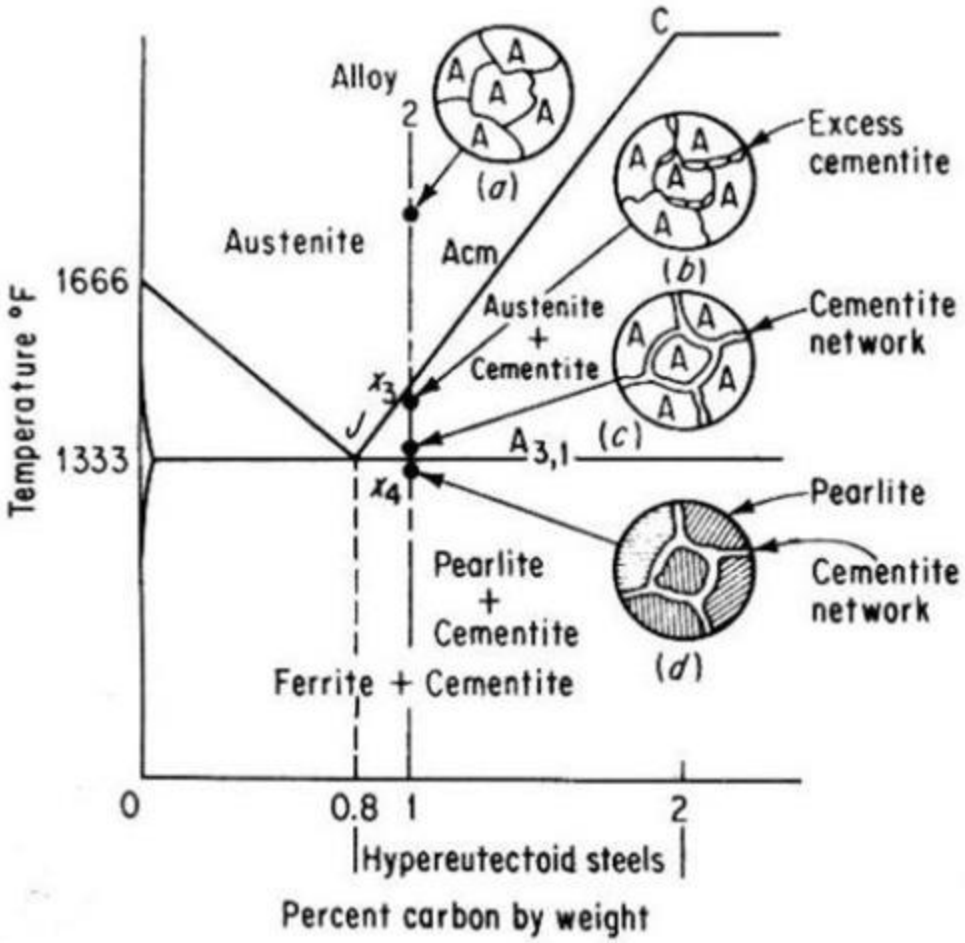
# Hypoeutectoid steel

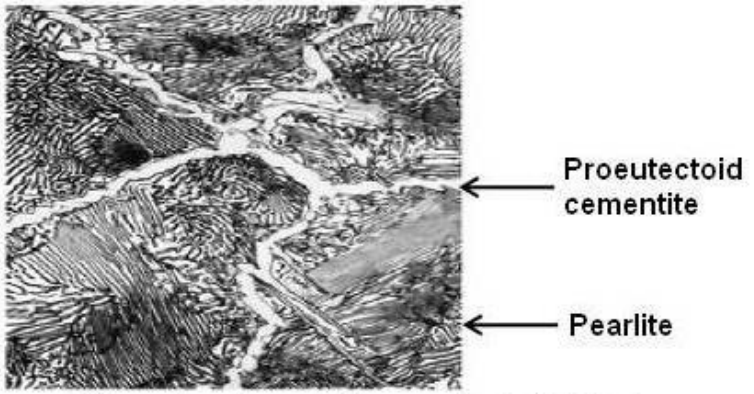


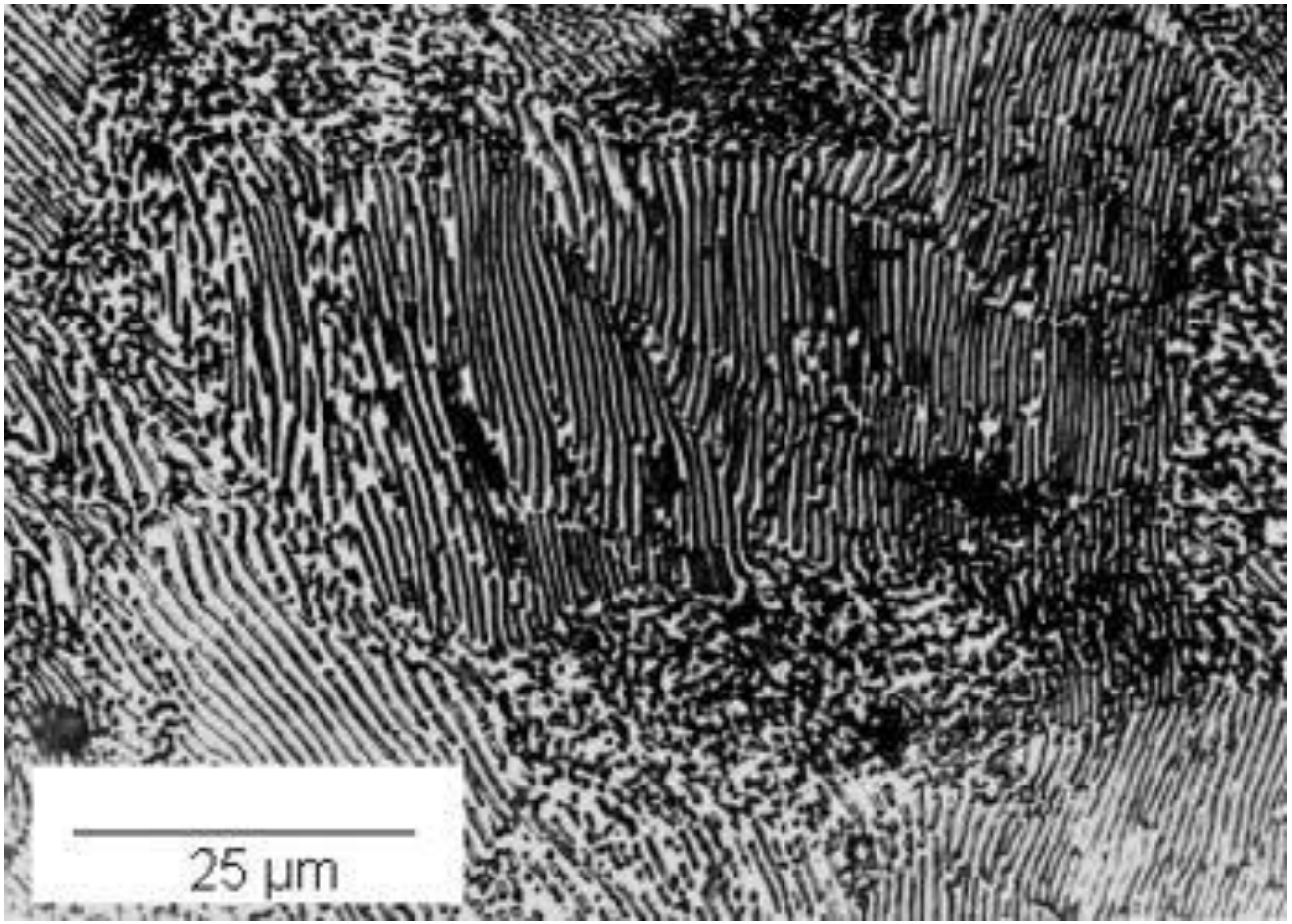

Microstructure of Hypoeutectoid Steel

# Hypereutectoid steel

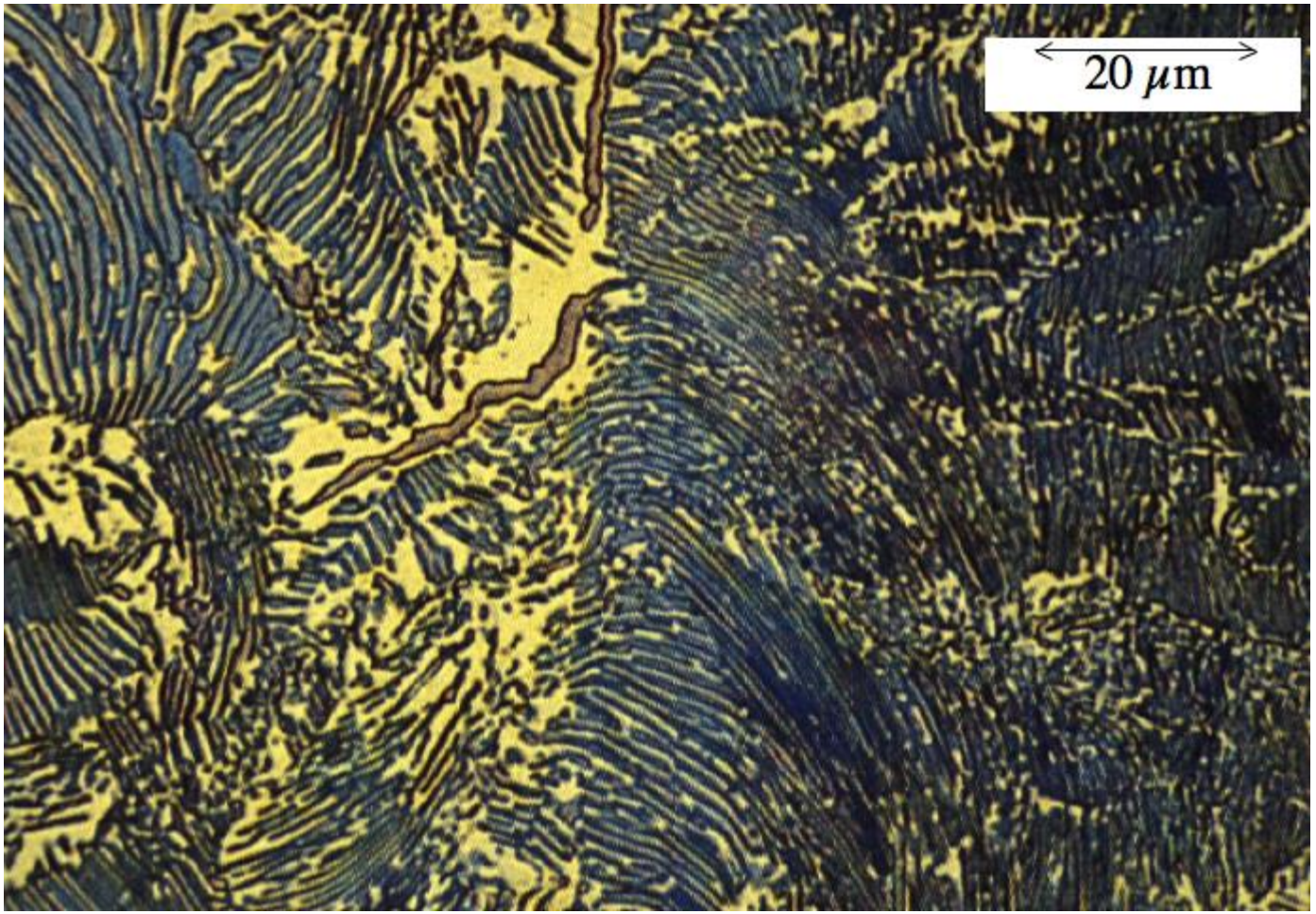


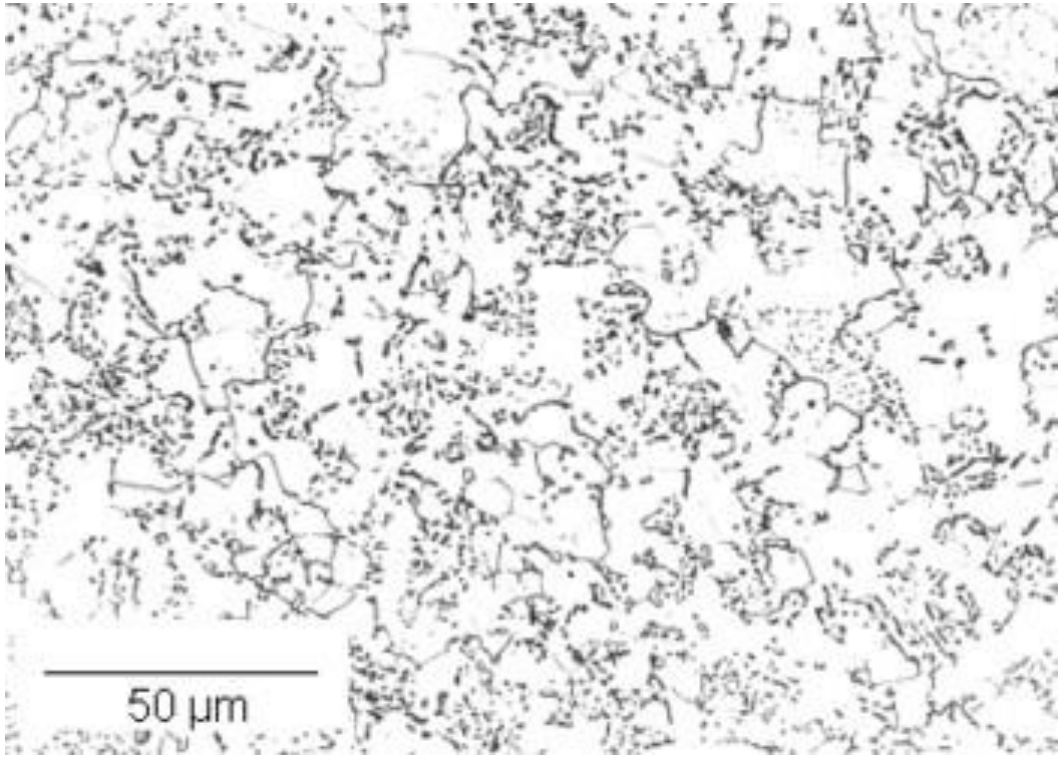



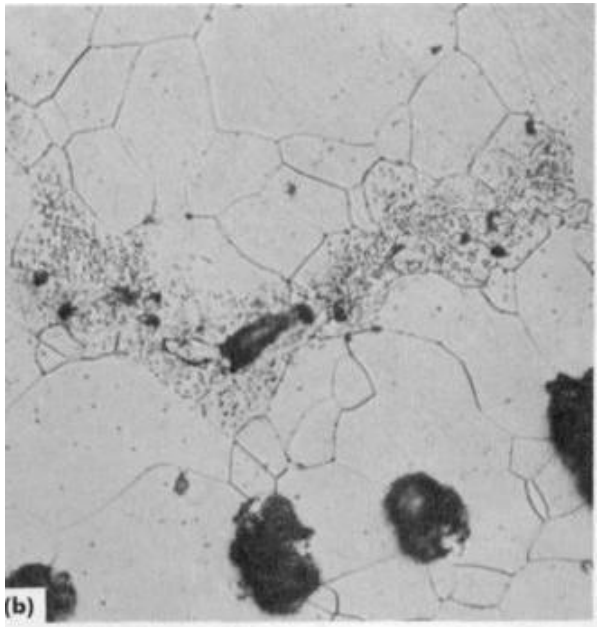

Microstructure of Hypereutectoid Steel




**Pearlite Lamella**


20 μm

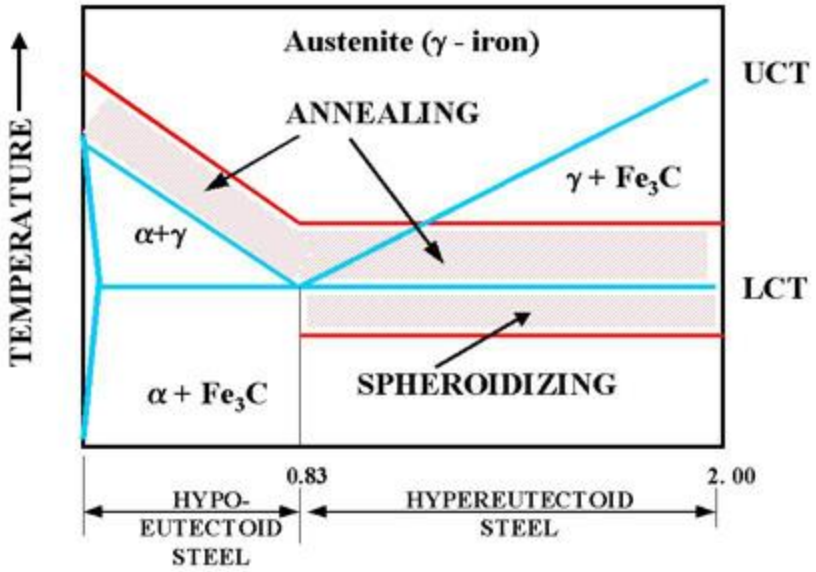


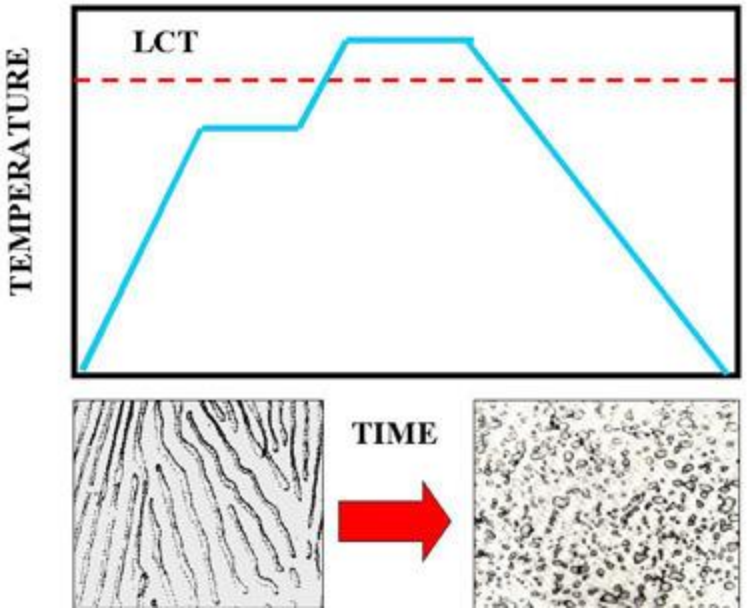

# Spheroidised Pearlite

# 5 Reasons To Anneal Steel

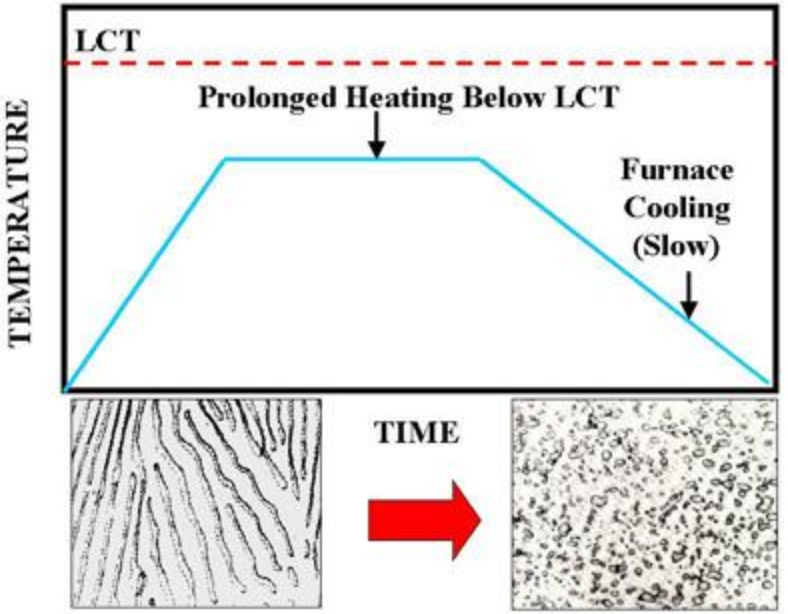
- *To alter the grain structure;*
- *To develop formability;*
- *To improve machinability;*
- *To modify mechanical properties;*
- *To relieve residual stresses.*

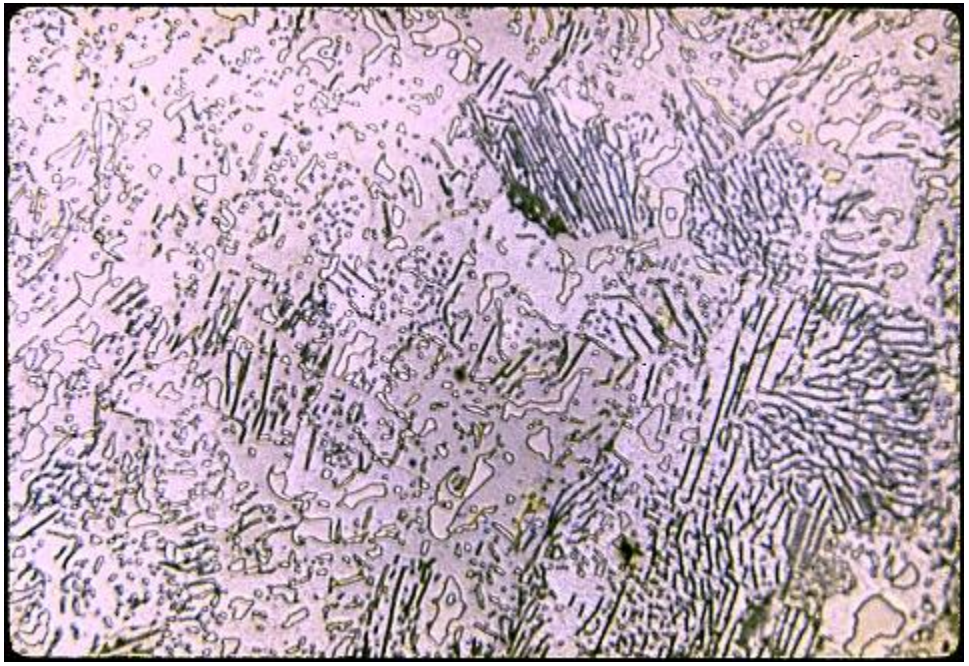



## SPHEROIDIZING



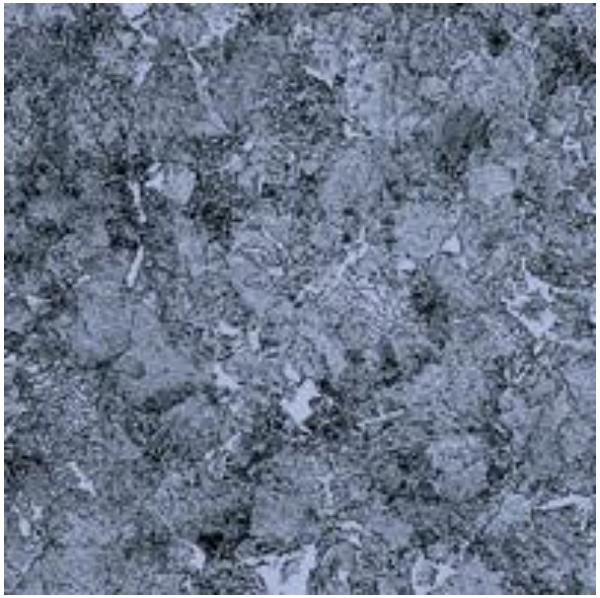

## SPHEROIDIZING



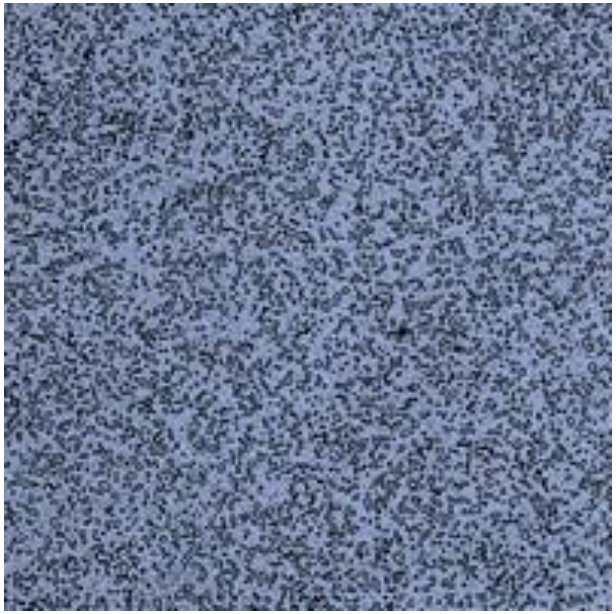


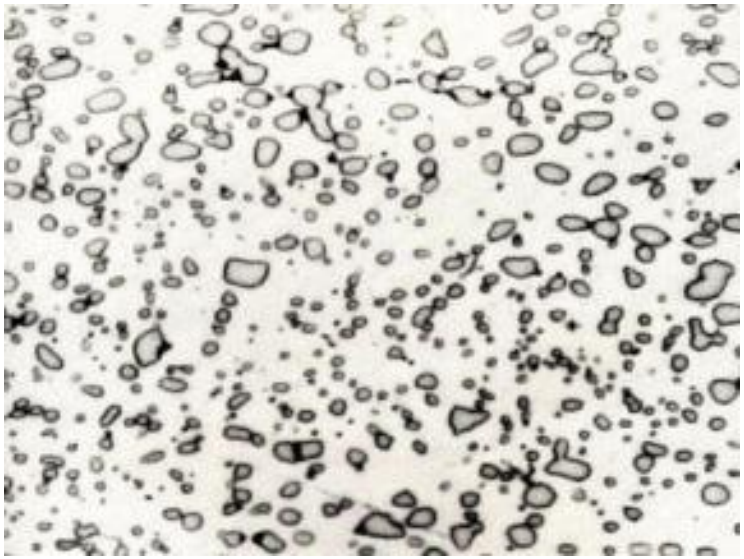
**proeutectod cementite plus partially spheroidized pearlite at 500X**

**Before Spheroidizing**

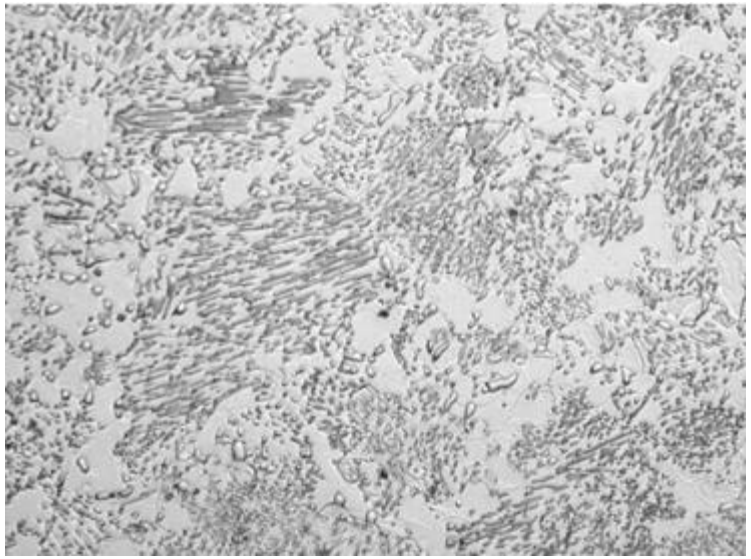


**After Spheroidizing**

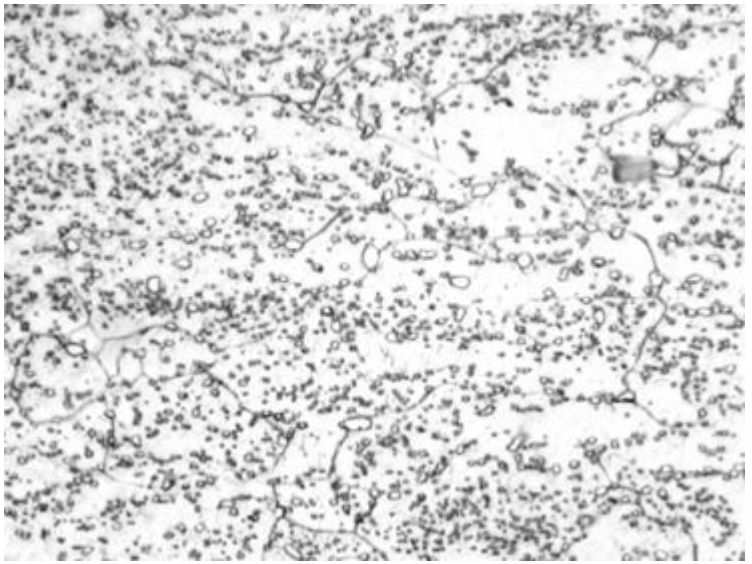




**Spheroidized cementite in a ferrite matrix**



Partially spheroidized carbides from annealing



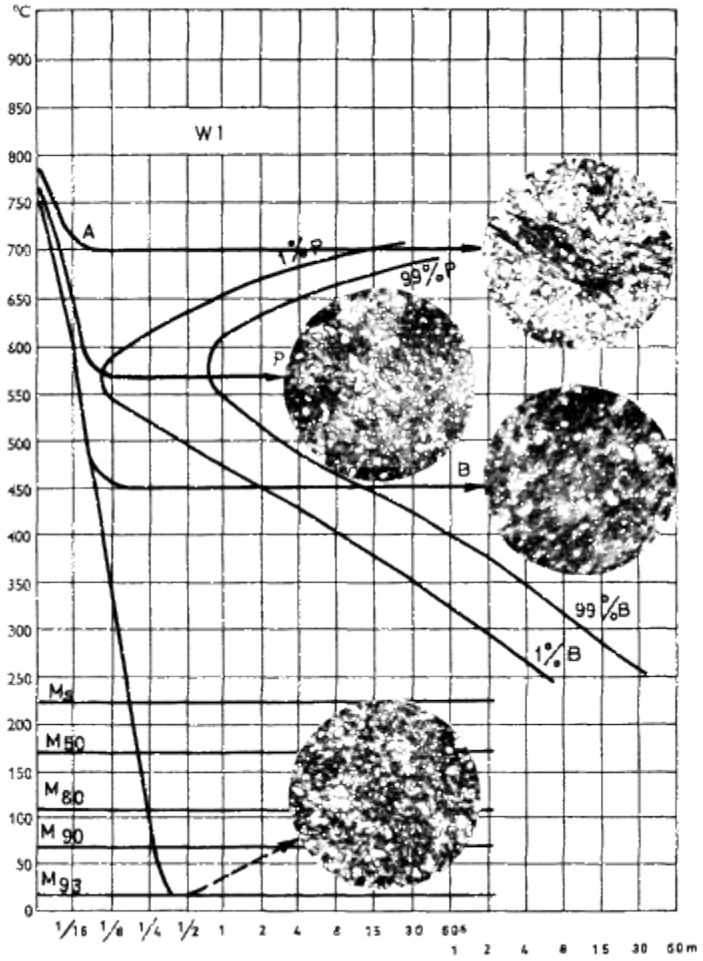
Fully spheroidized carbides from annealing

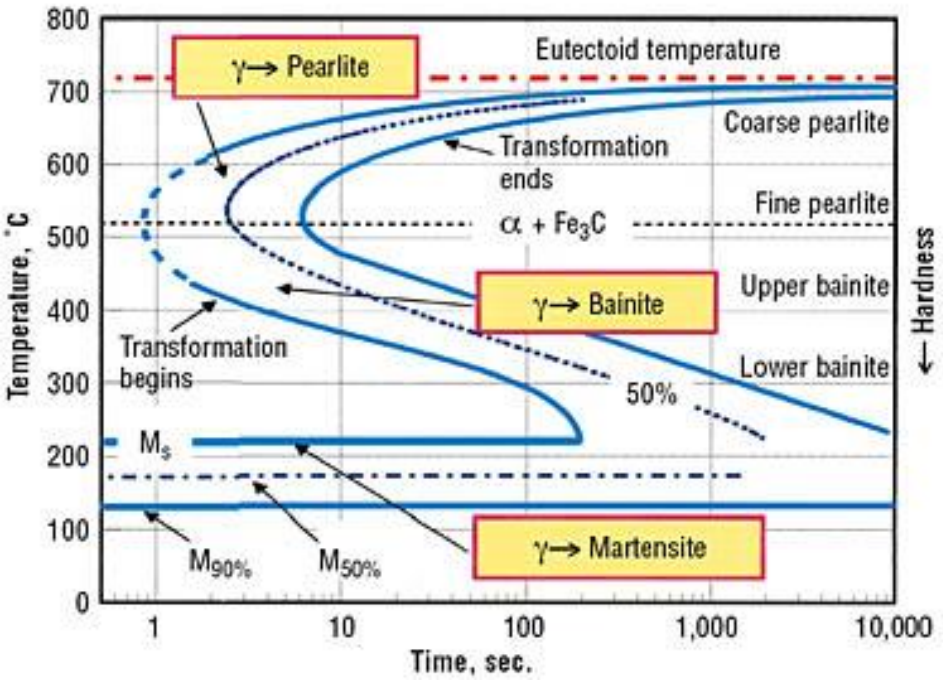
TTT diagram for isothermal transformation of steel W 1 (1% C)

A = austenite, B = bainite,

Ms = start of martensite transformation,

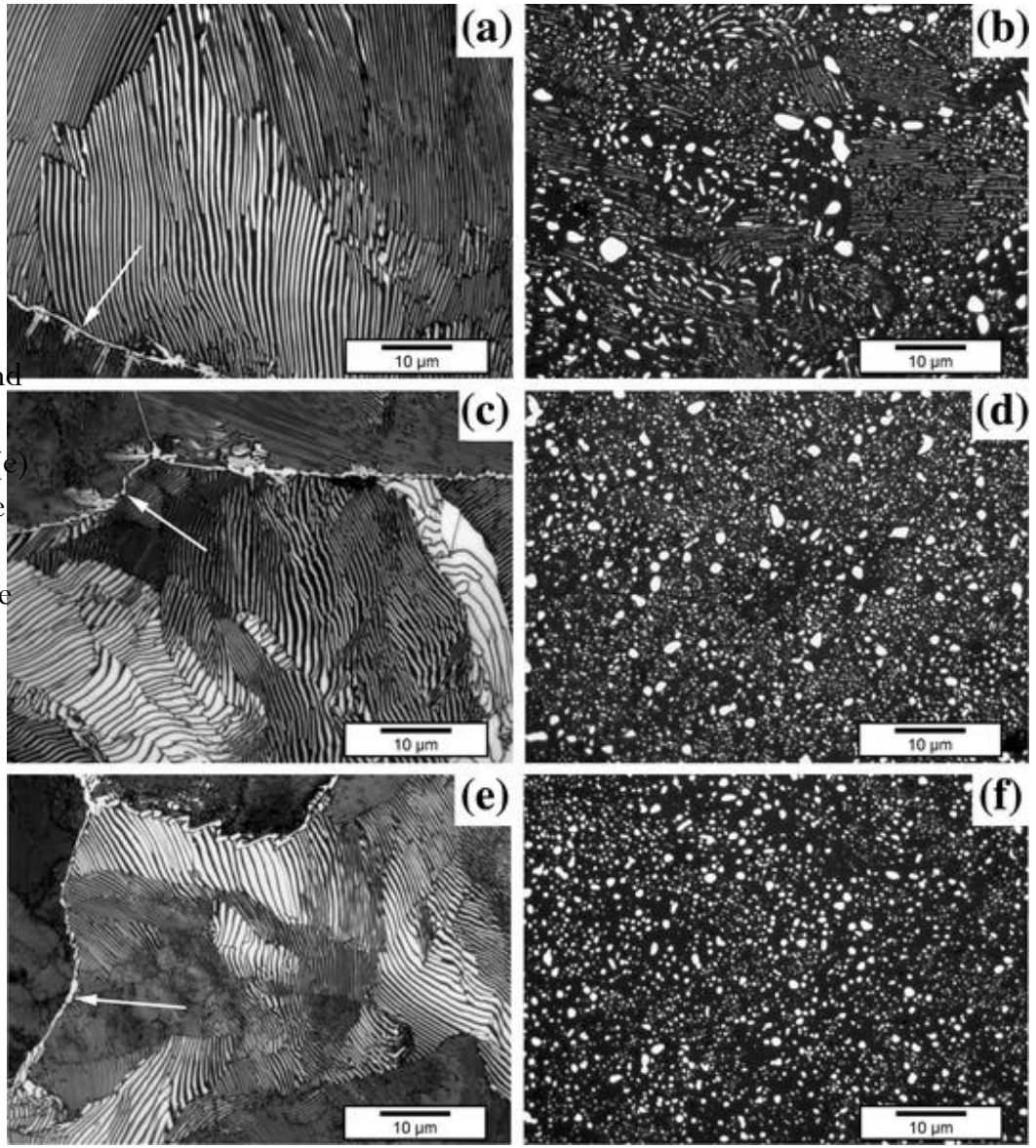
M50 = 50% M, P = pearlite



**g 3a**

crostructure of (*a*), (*c*), (*e*), and (*g*) as-cast and HIP material and
(*d*), (*f*), and (*h*) spheroidized structure obtained according to
t treatment of Fig. 2 for (a) and (b) 0.5Cr, (c) and (d) 1.5Cr, (e)
(f) 2.5Cr, and (g) and (h) 3.5Cr steels. White arrows indicate
presence of grain boundary cementite. (*i*) Gray-value
ribution of microphotograph of a spheroidized microstructure
er Klemm's etching



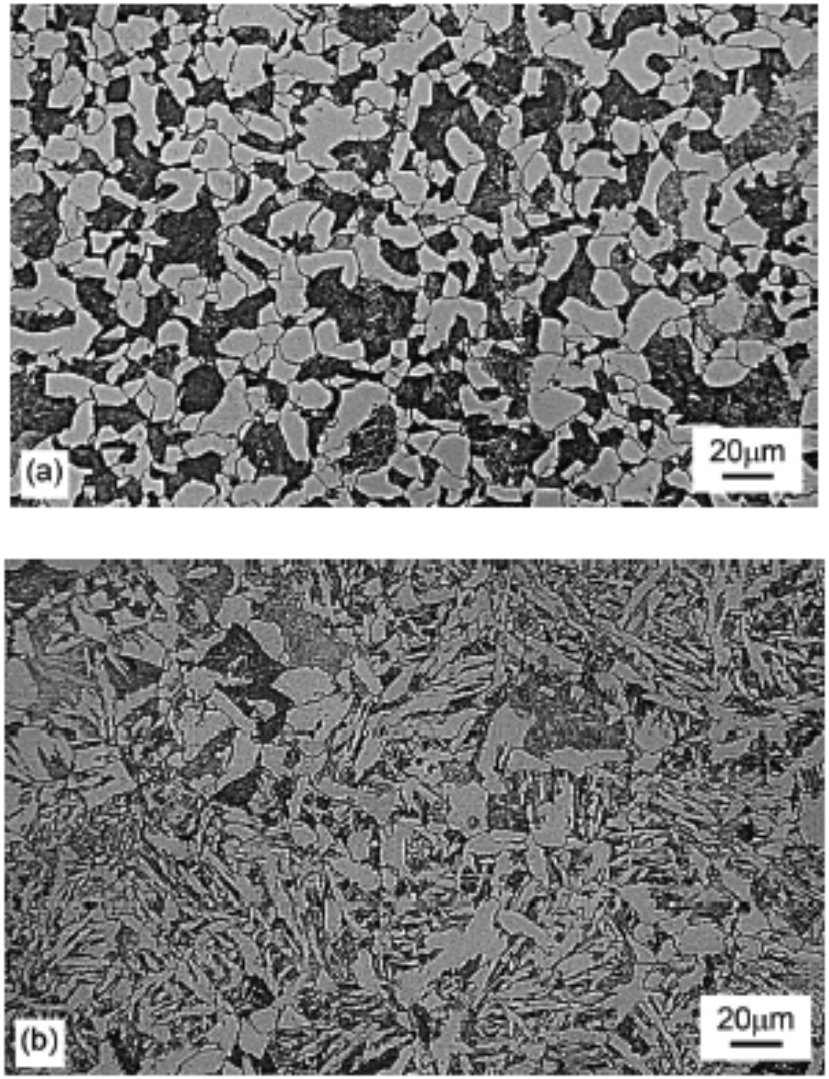
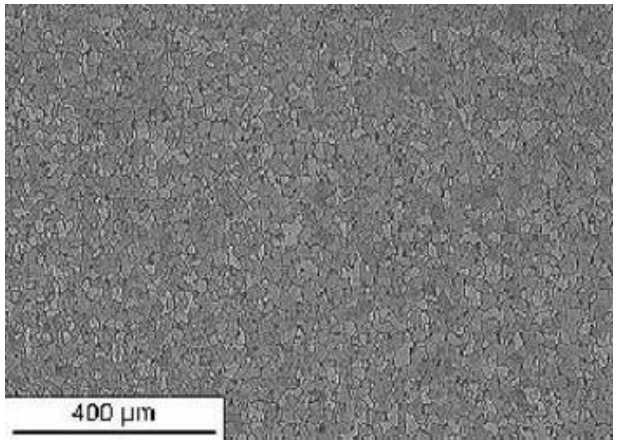
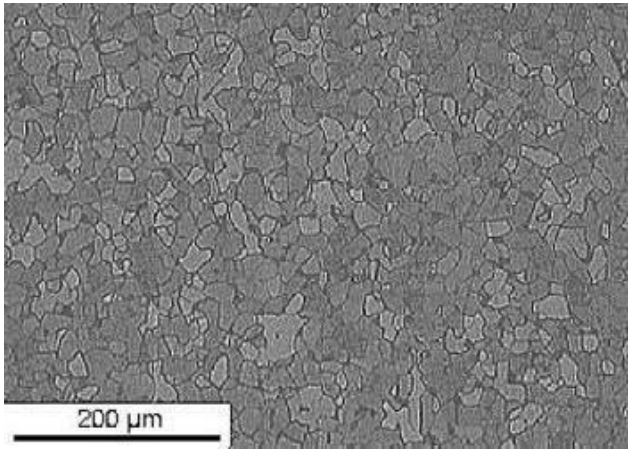
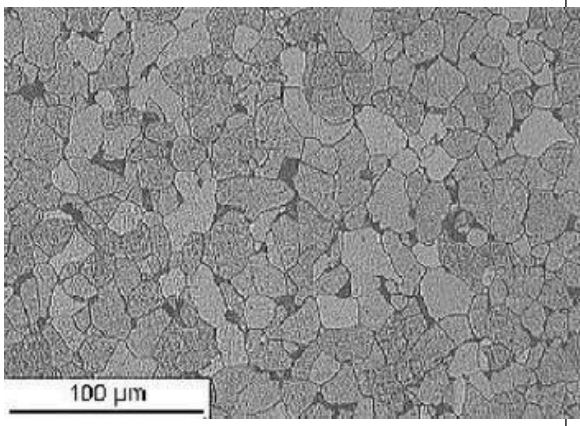


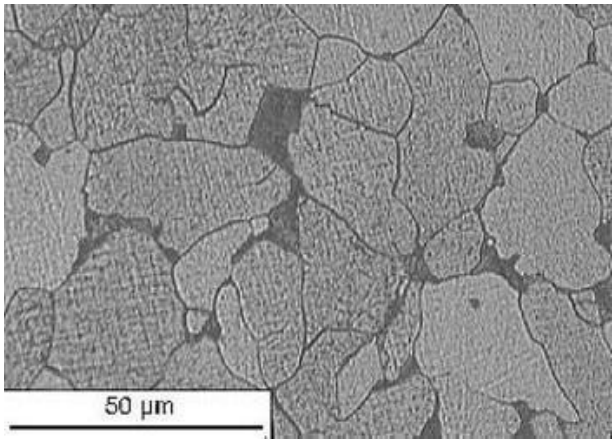

Figure 2. Microstructure of samples (a) normalized and (b) air cooled (Nital 2% etching).

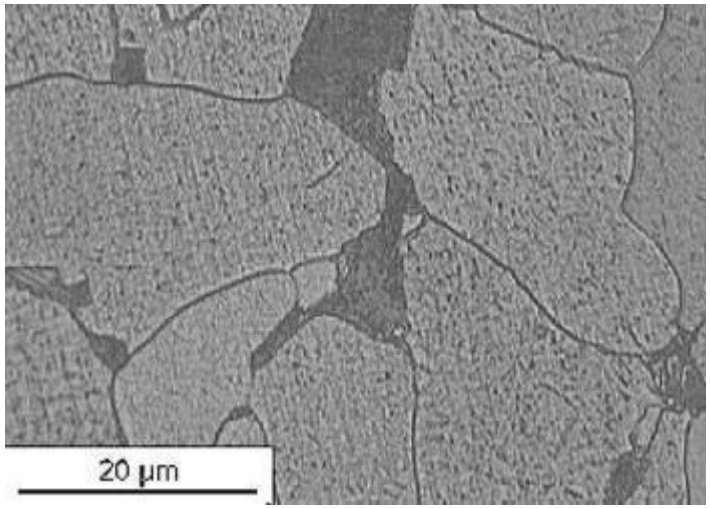
Fe 0.1wt%C (normalised)

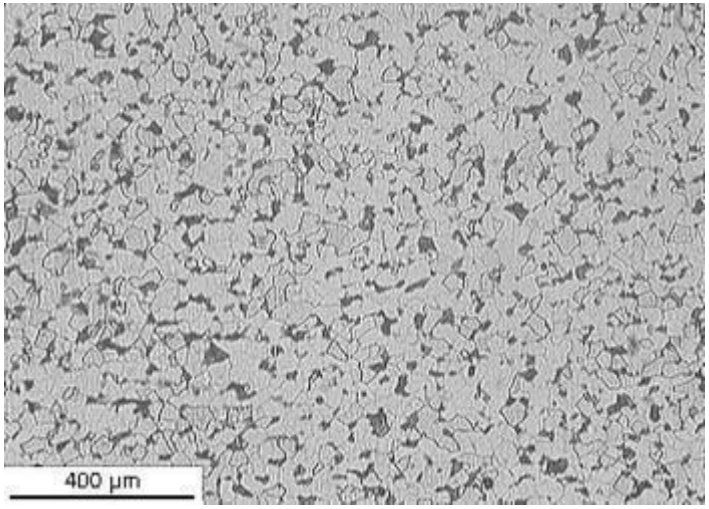


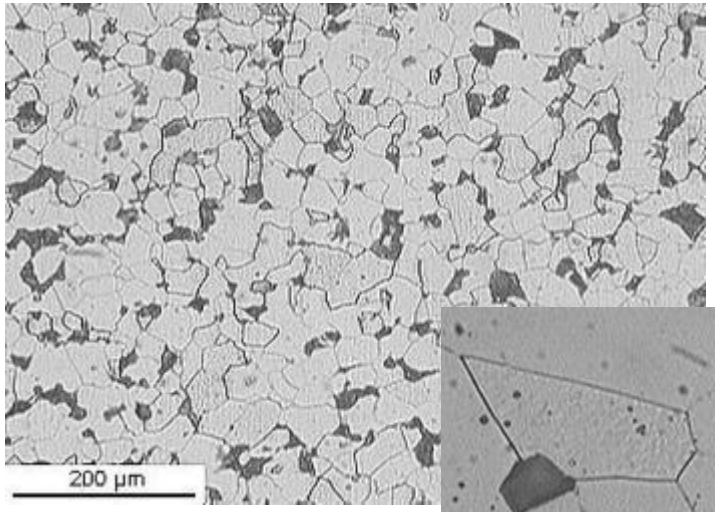



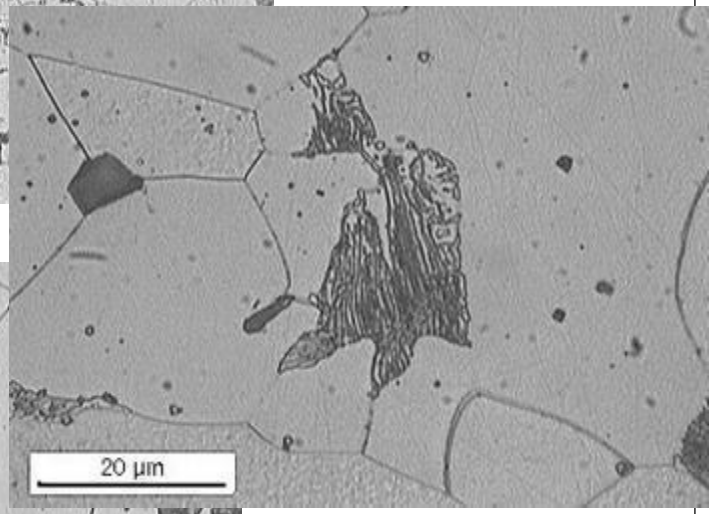



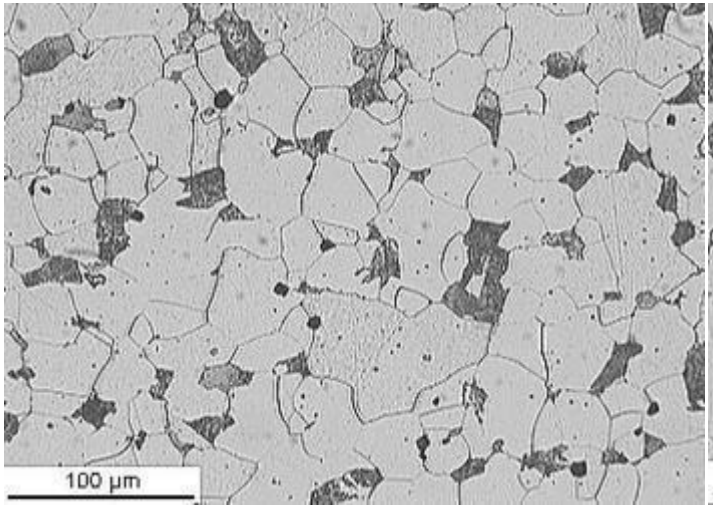



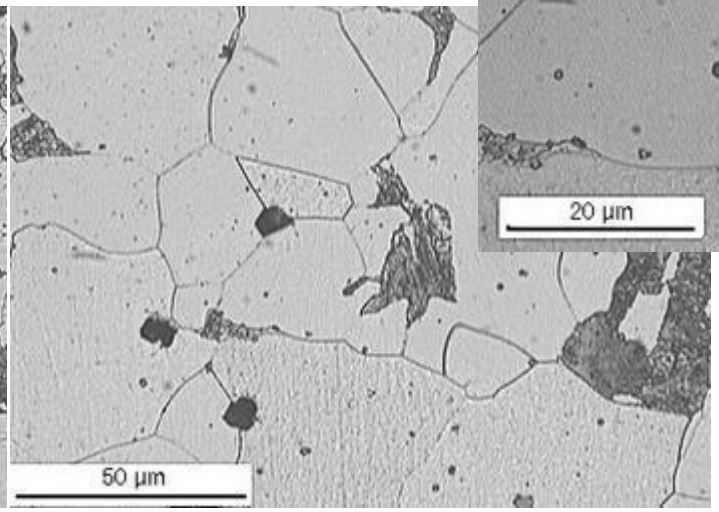





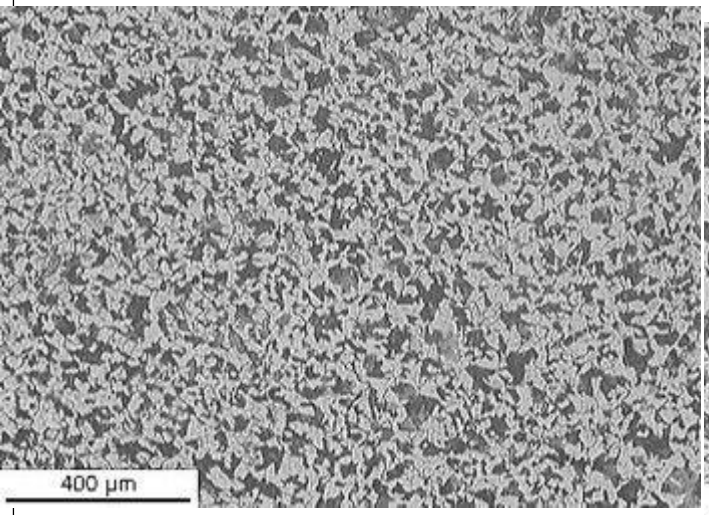



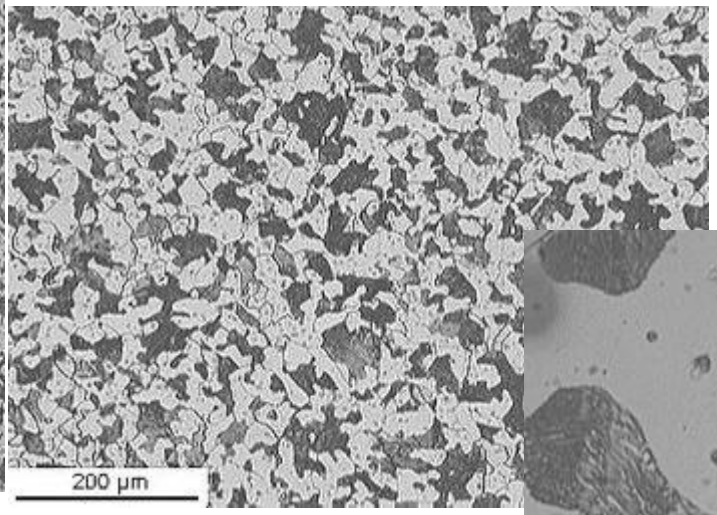



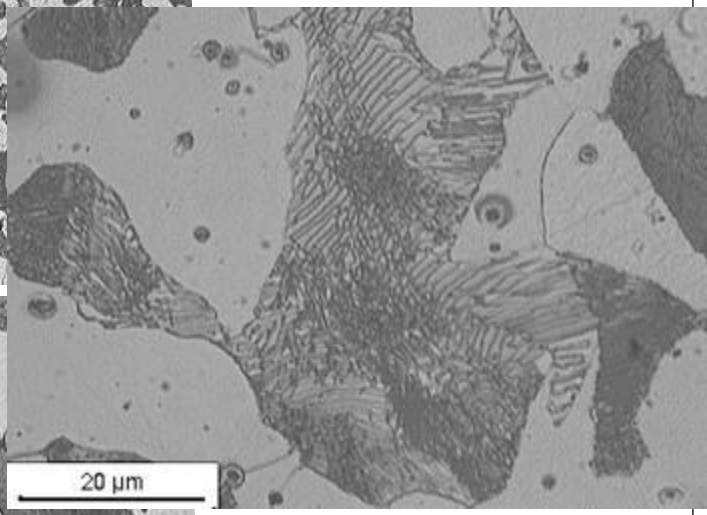



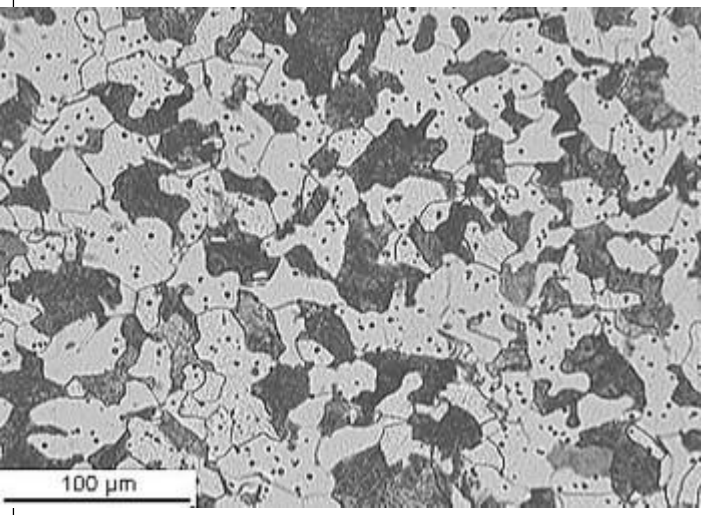

Fe 0.18wt%C (normalised)

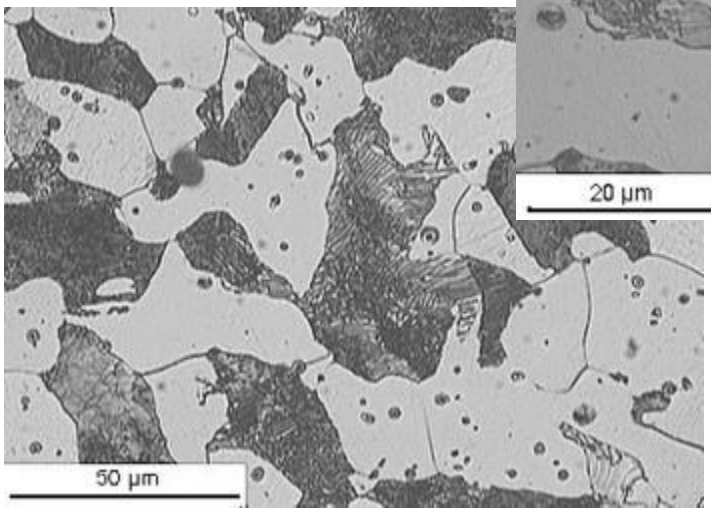
# Fe 0.3wt%C (normalised)



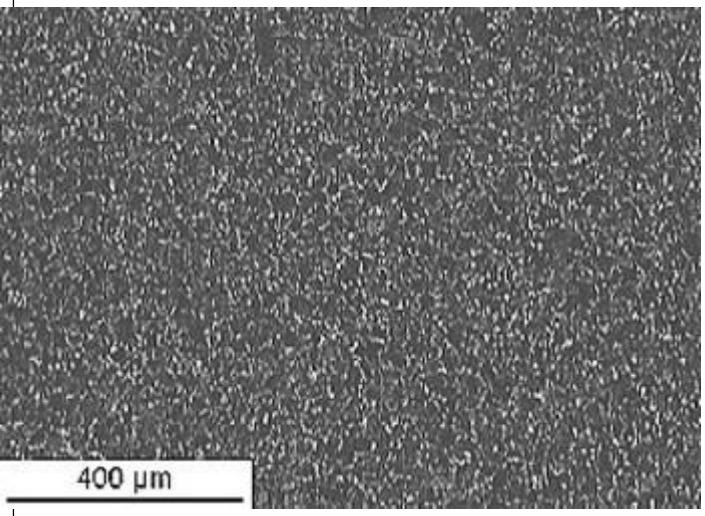



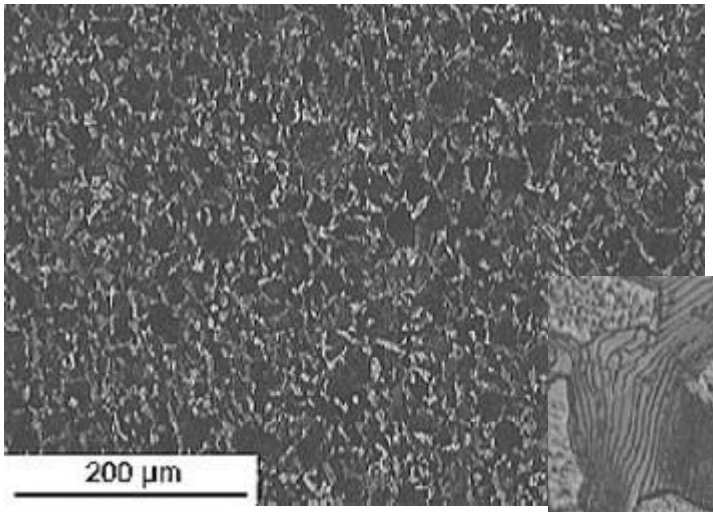



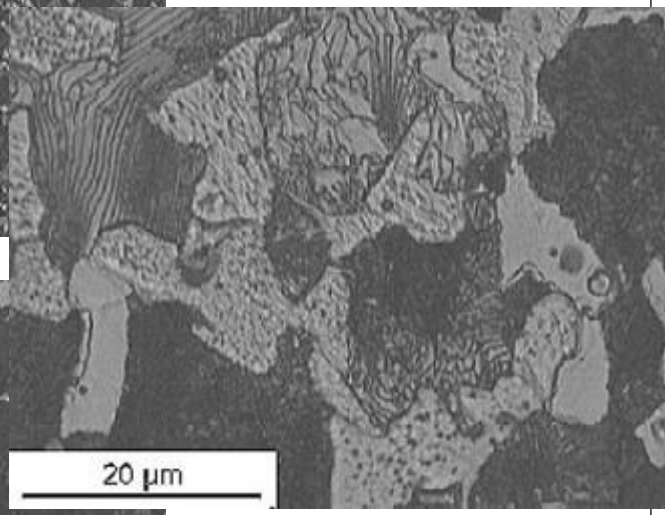



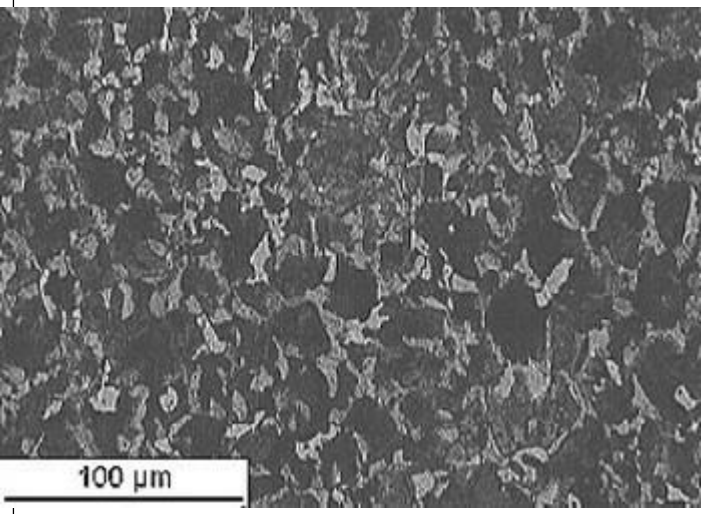



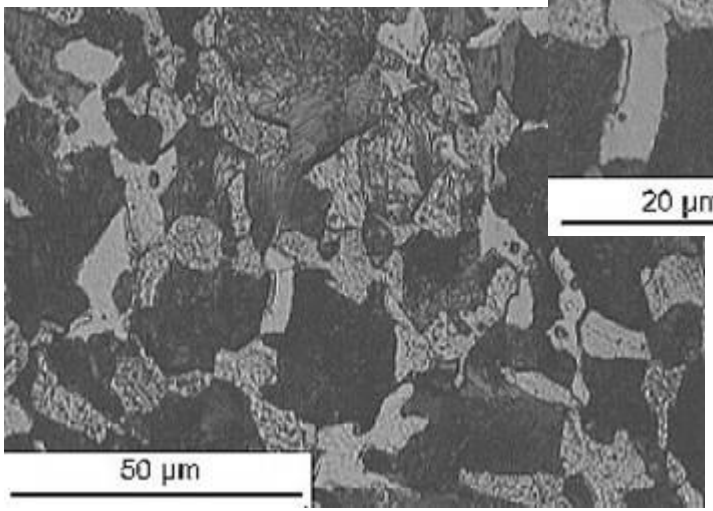
Fe 0.4wt%C (normalised)

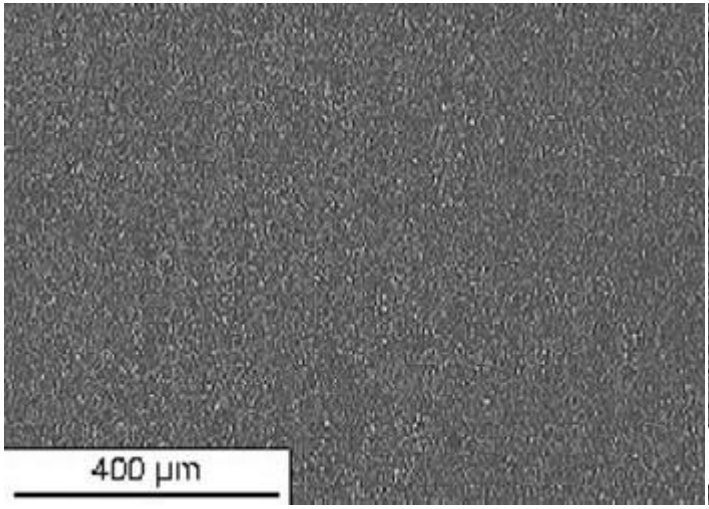


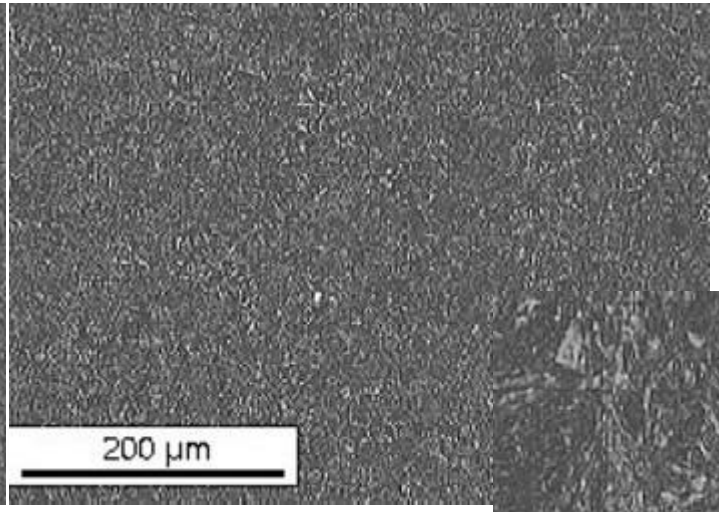



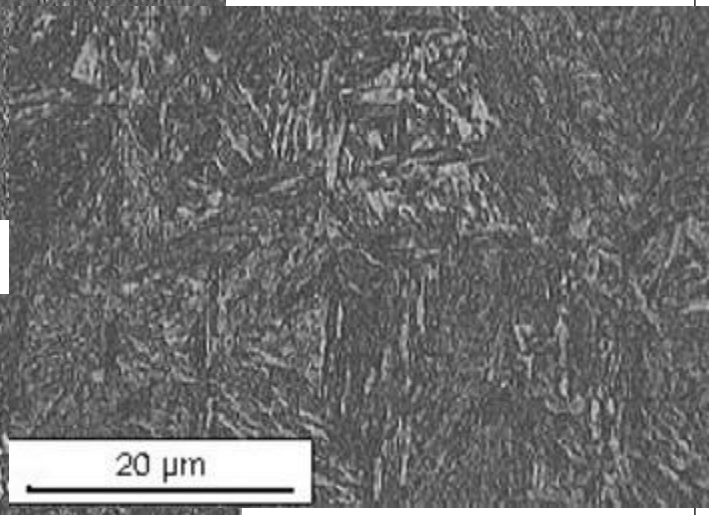



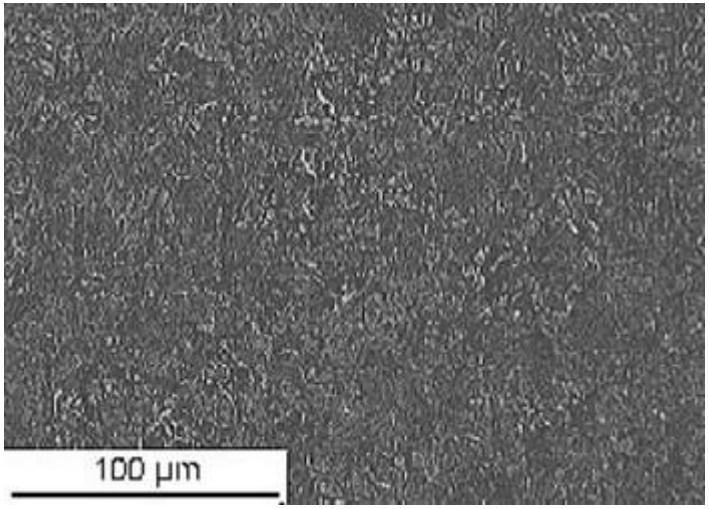



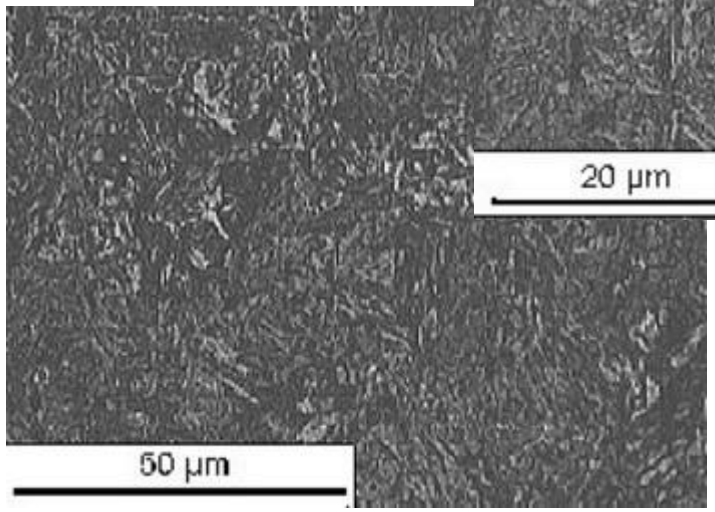





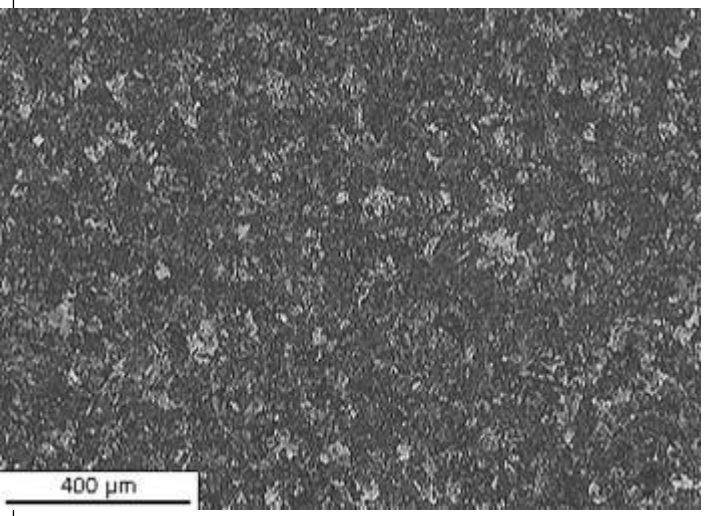



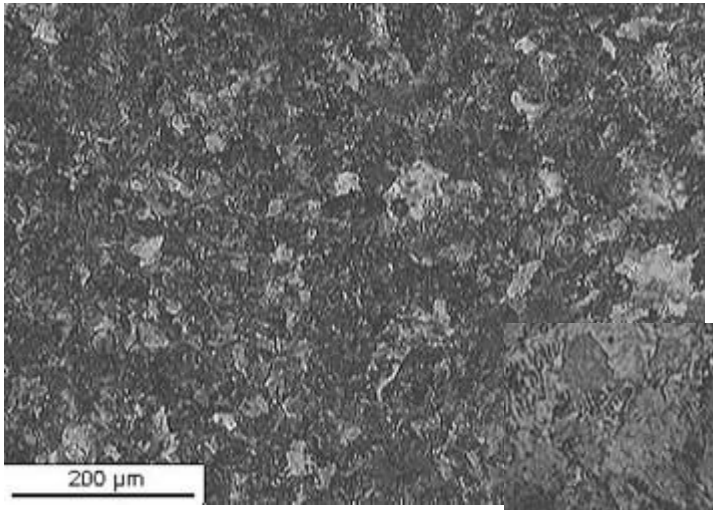



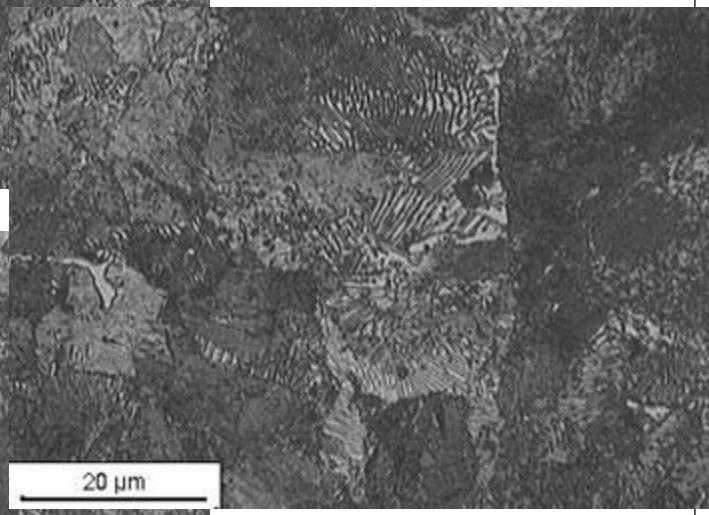



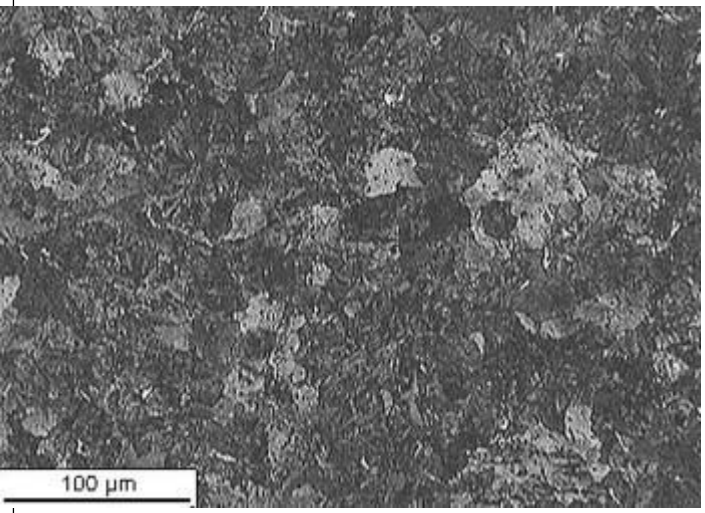



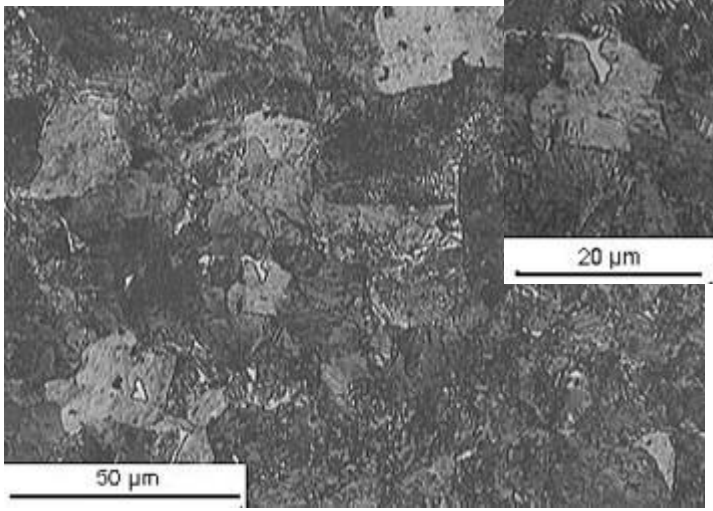

Fe 0.5wt%C (quenched)



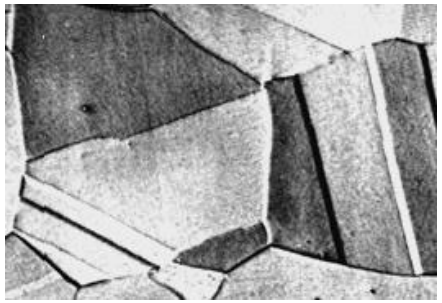



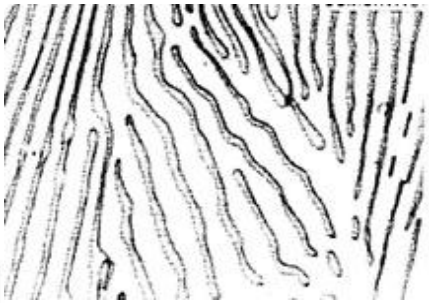



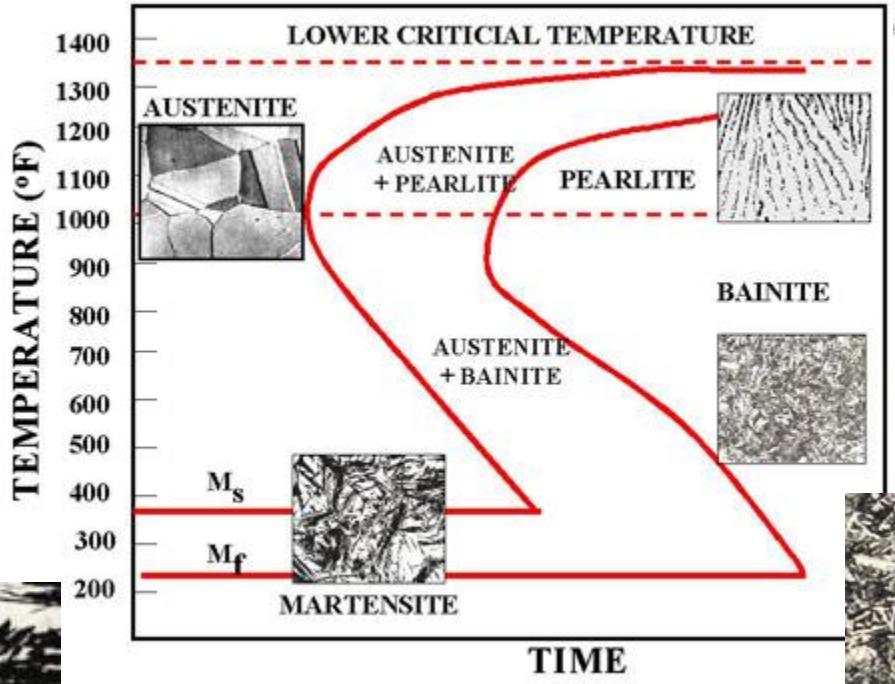



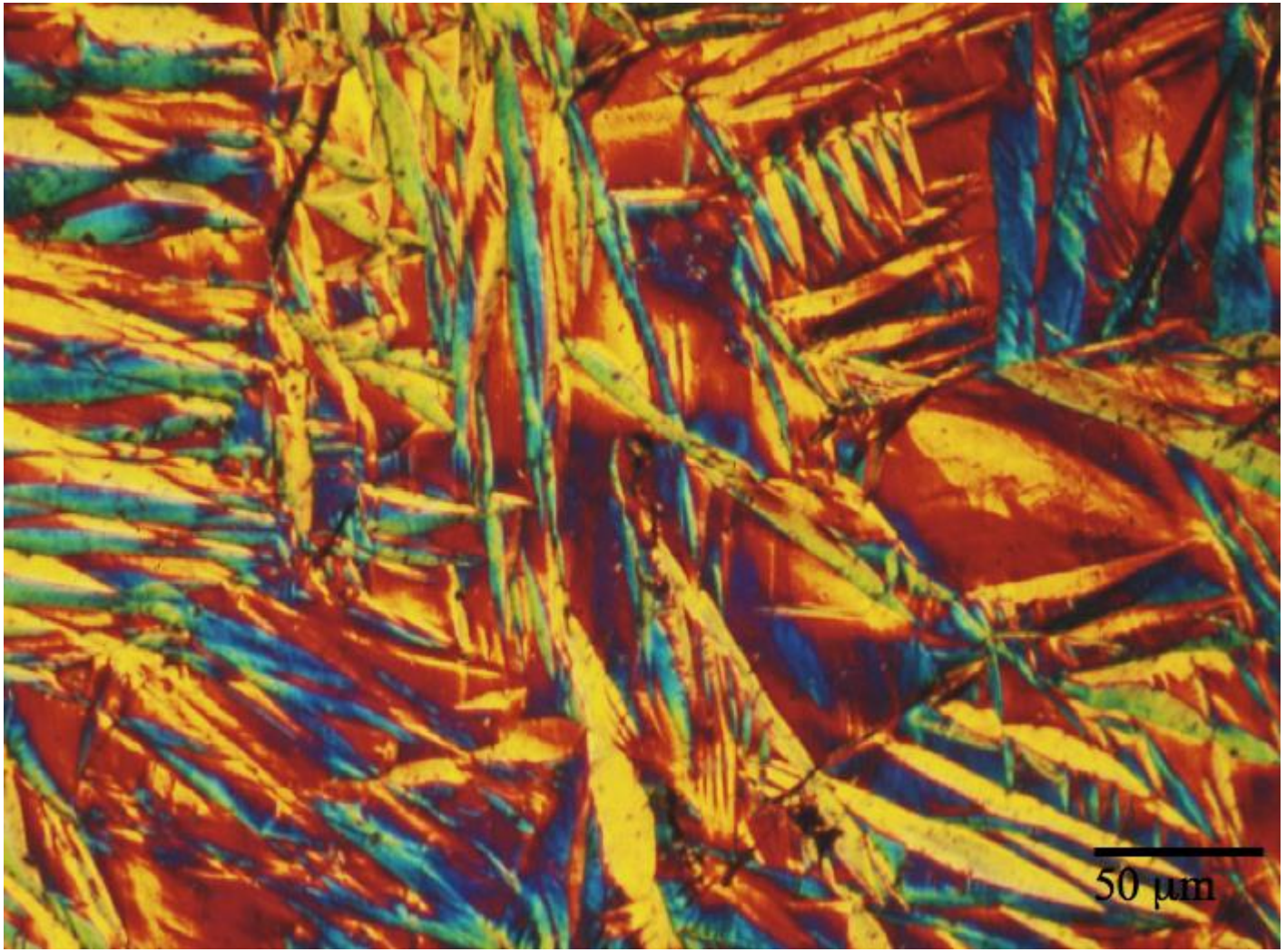




Fe 0.8wt%C (normalised)

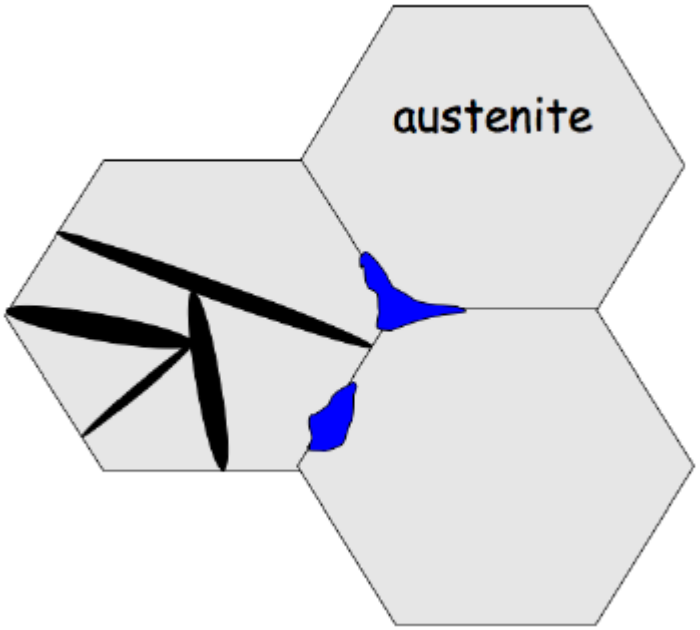


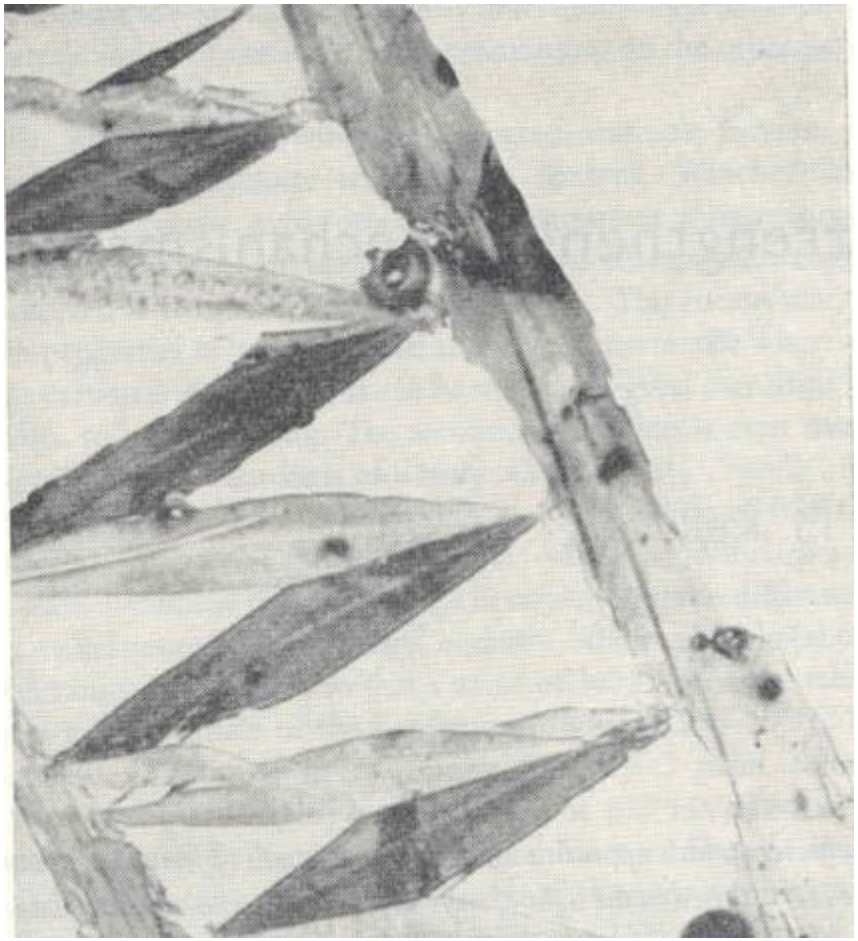



LOWER CRITICIAL TEMPERATURE
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
TEMPERATURE (°F)
AUSTENITE
AUSTENITE + PEARLITE
PEARLITE
BAINITE
AUSTENITE + BAINITE
$M_s$
$M_f$
MARTENSITE
TIME

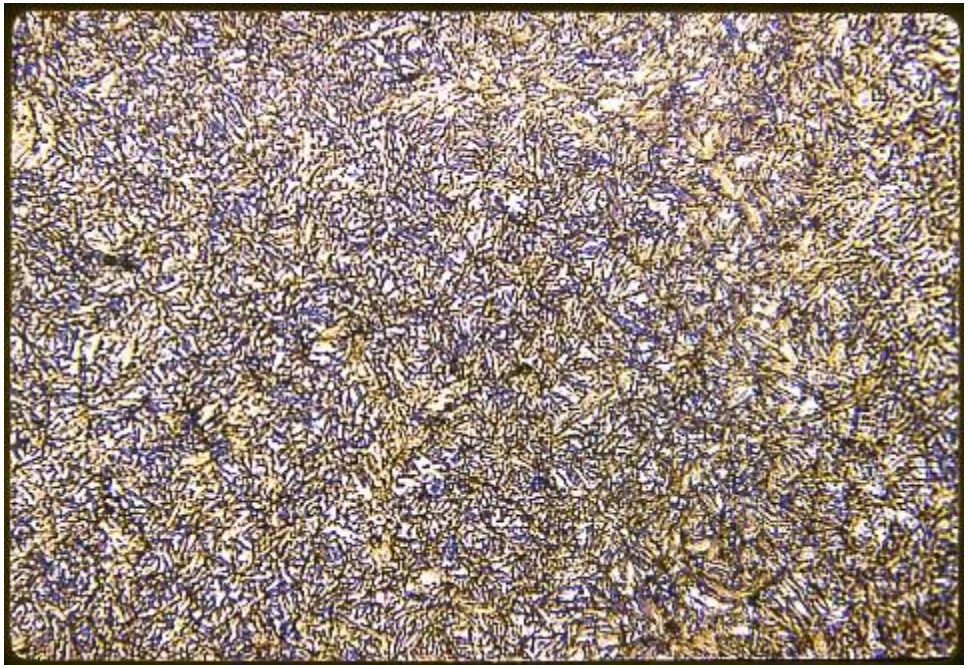



**martensitic transformation**



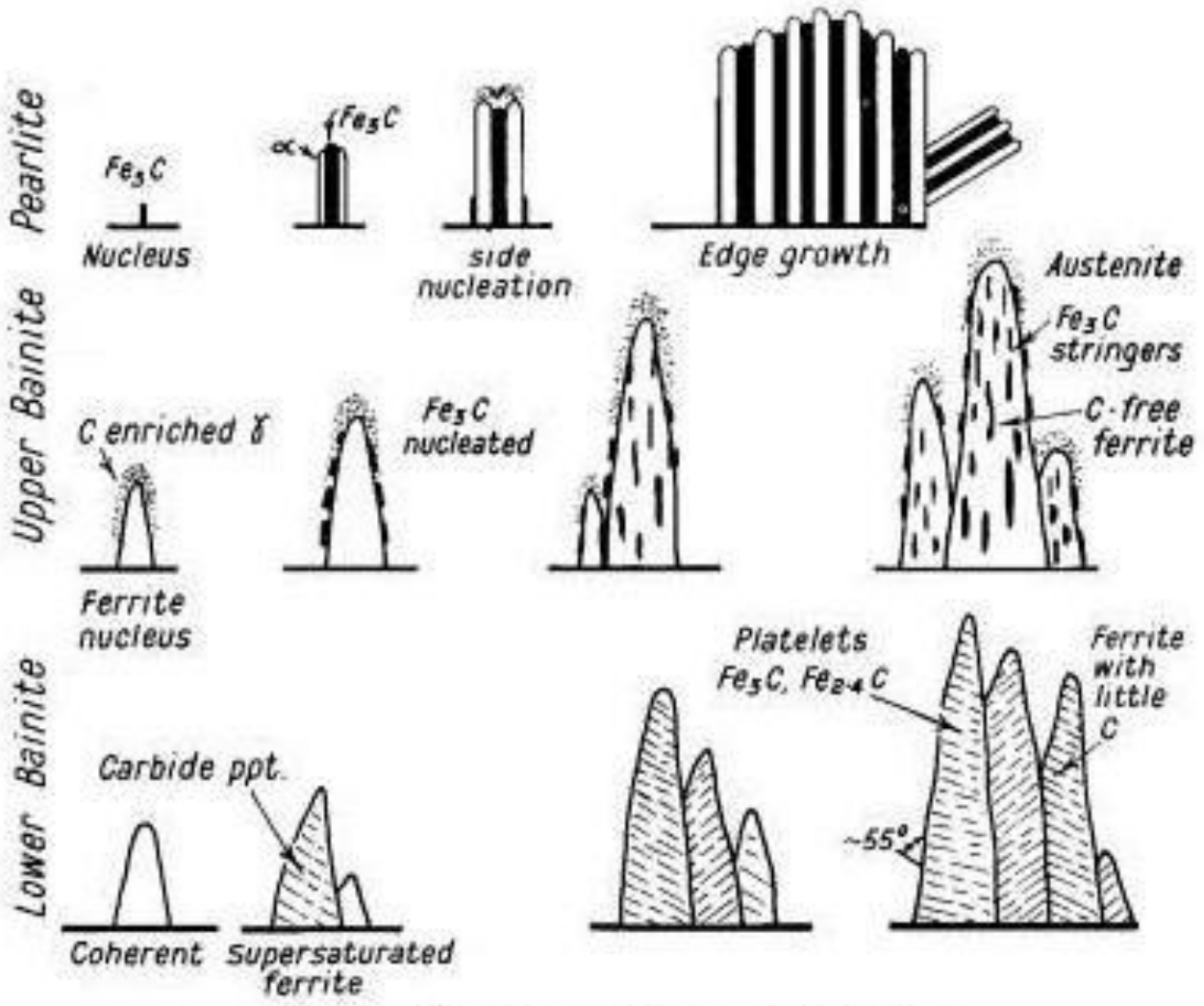
**Plates of martensite in an alloy which is rich in nickel**



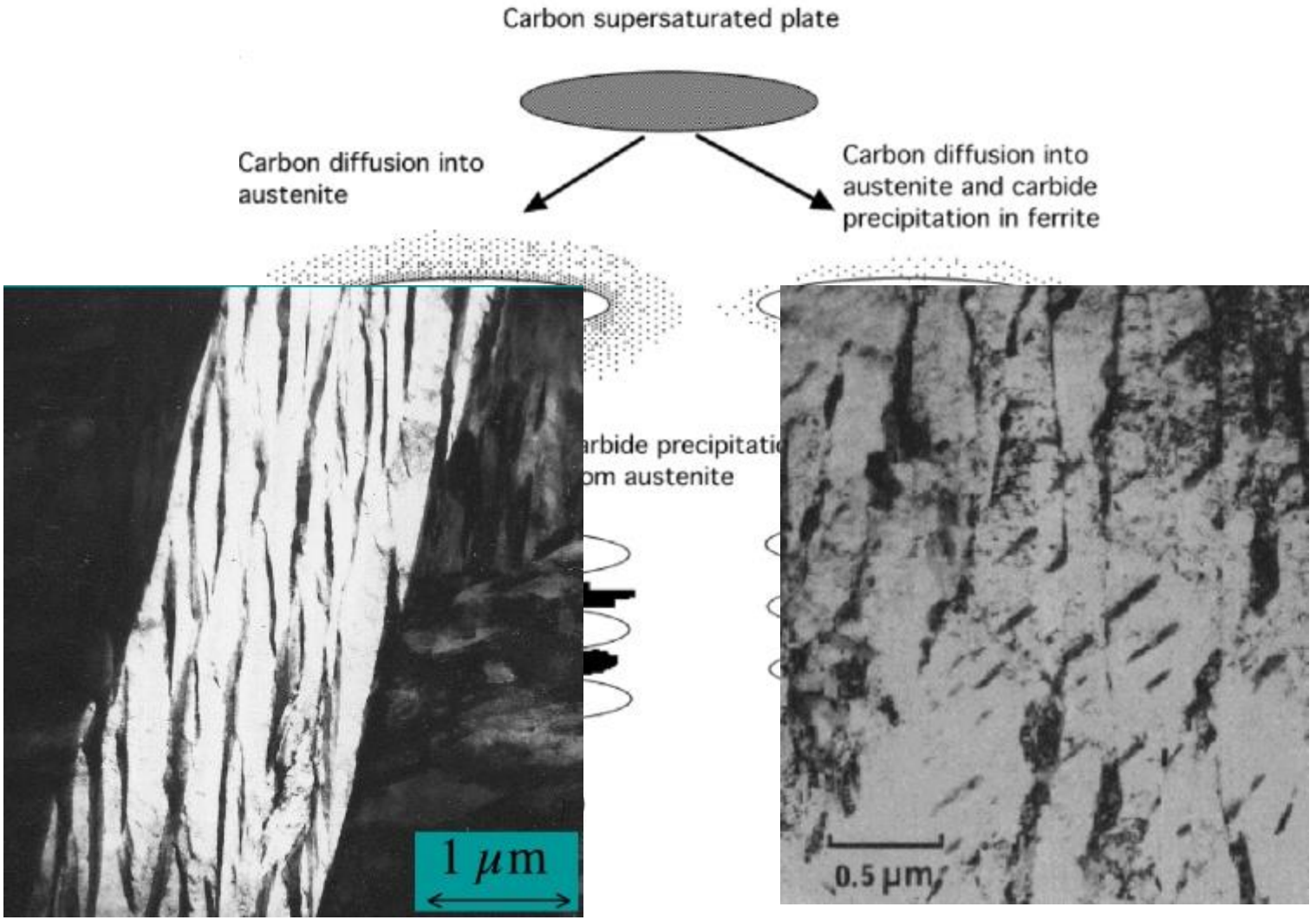
**Surface: martensite plus retained austenite**

**Core: proeutectoid ferrite with a Widmanstaetten morphology due to the rapid rate of phase transformation during cooling plus low carbon martensite**

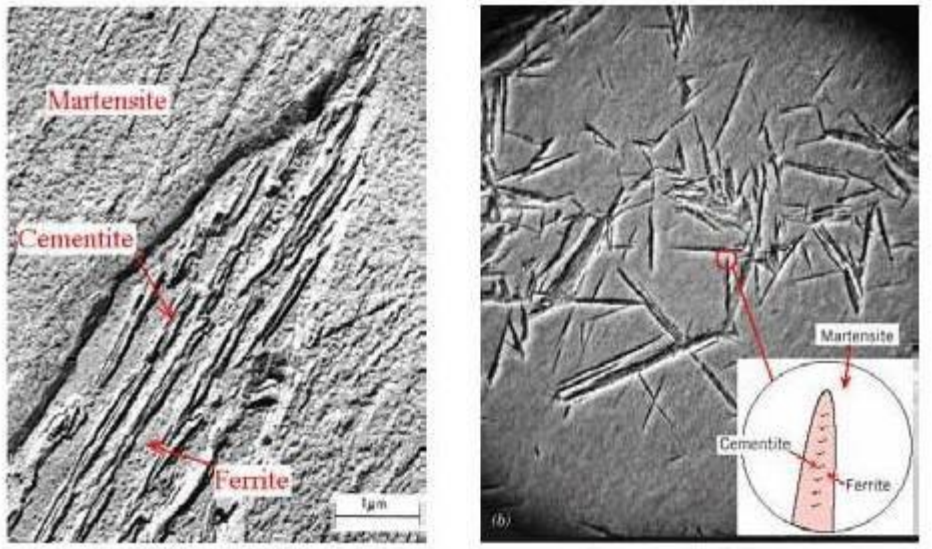
C1Mn6 steel microstructure
after quenching




**Growth of Pearlite and Bainite**

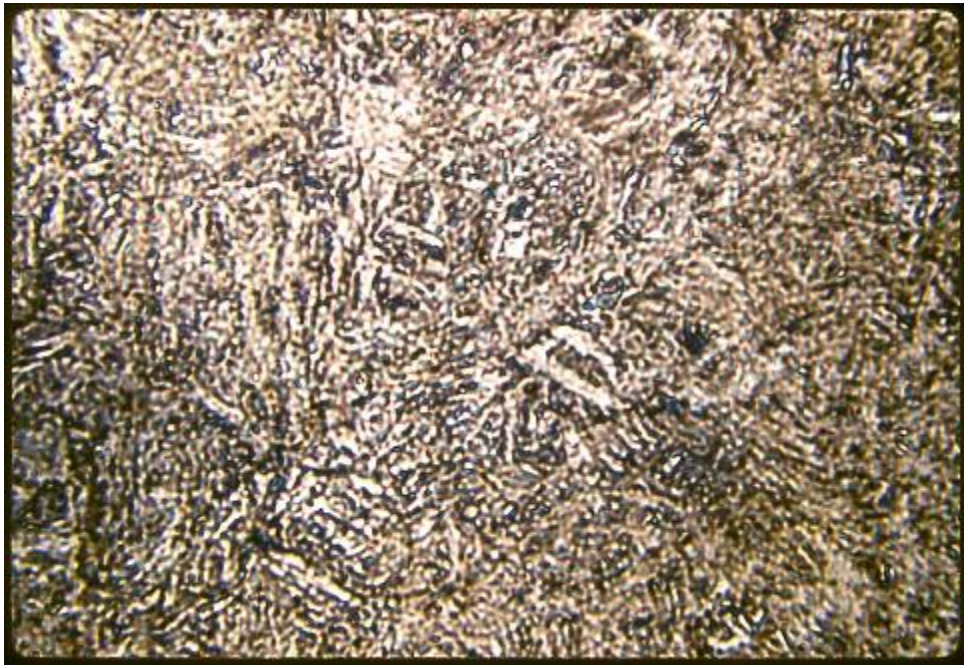

Carbon supersaturated plate
Carbon diffusion into austenite
Carbon diffusion into austenite and carbide precipitation in ferrite
1 μm
0.5 μm


The microstructure of lower bainite

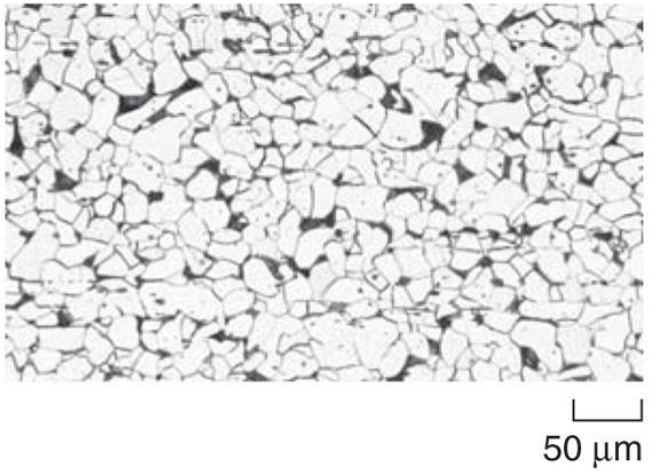


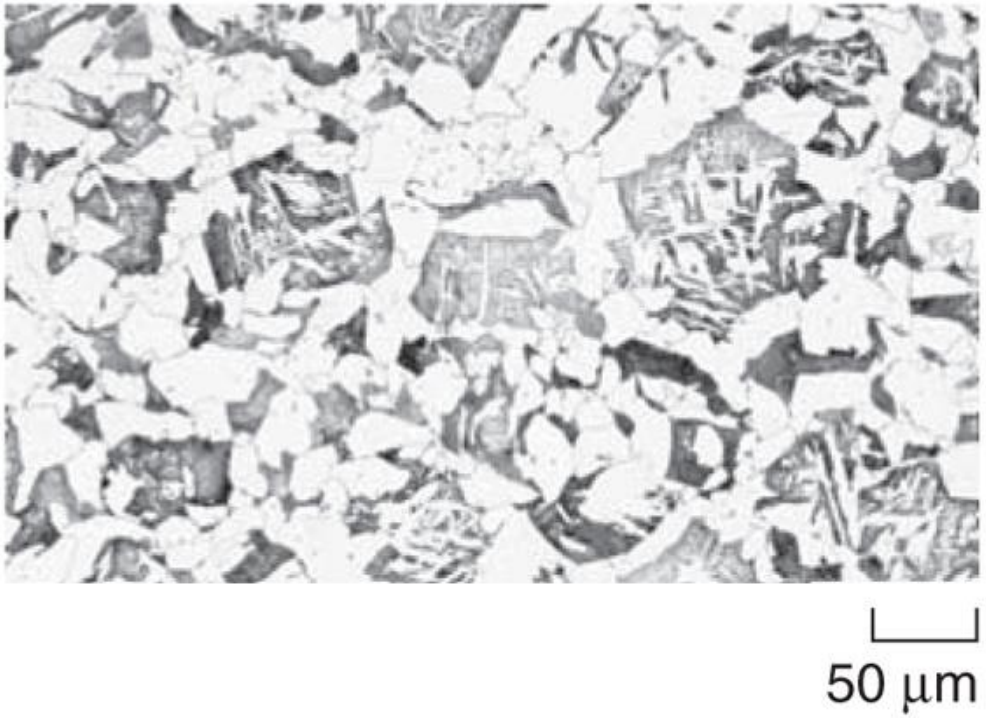

Microstructure of Upper Bainite and Lower Bainite

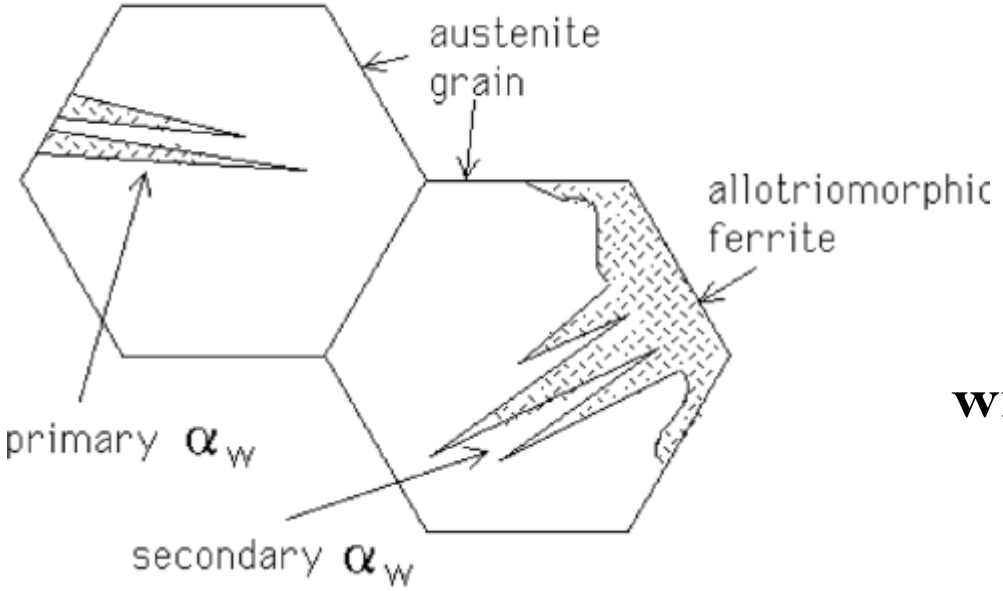
Upper bainite consists of tiny cementite platelets generally oriented parallel with the long direction of the ferrite needles. As the transformation temperature decreases, in lower bainite, the ferrite needles become thinner and the carbide platelets become smaller and more closely spaced



**shown at 1000X with a Nital etch, is the good bainitic microstructure (which consists of ferrite plus cementite in a slightly different morphology than in tempered martensite)**

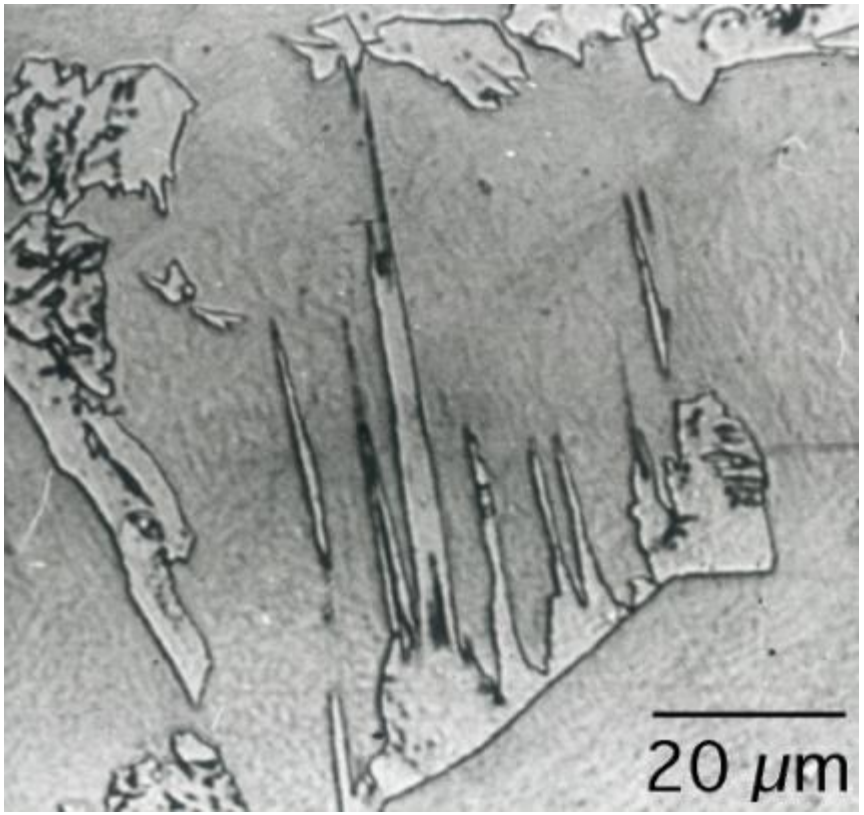


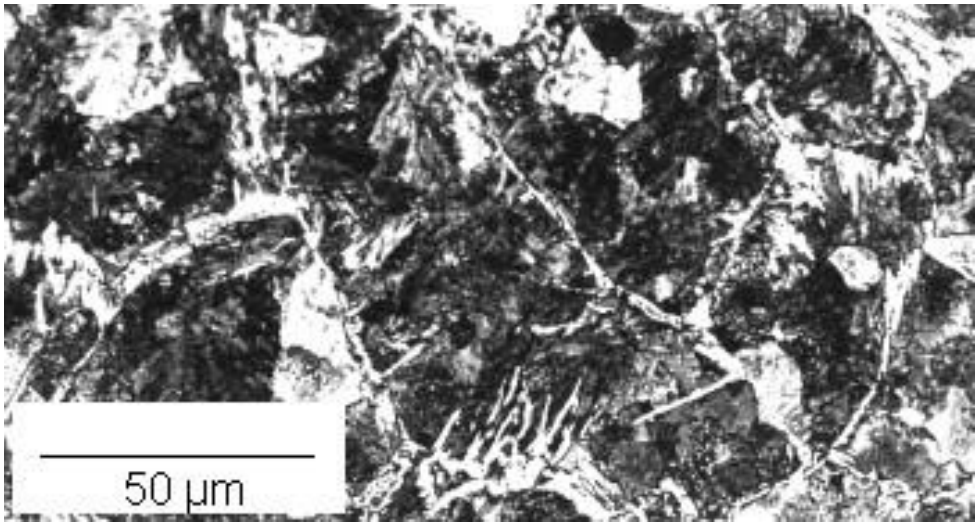



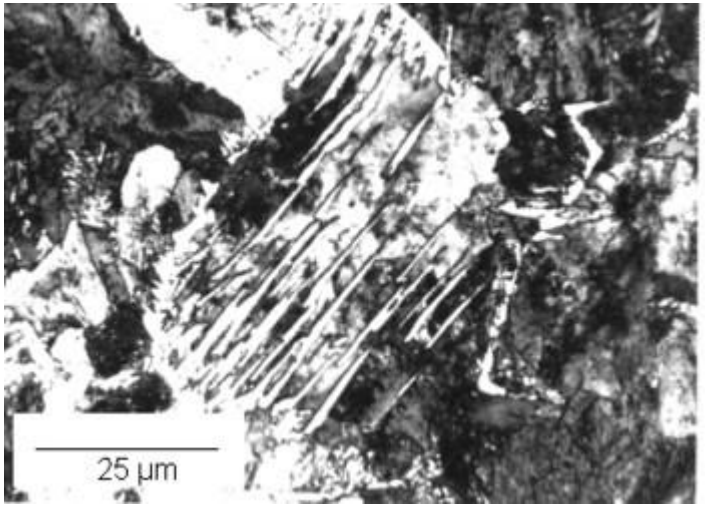

**widmanstatten ferrite**

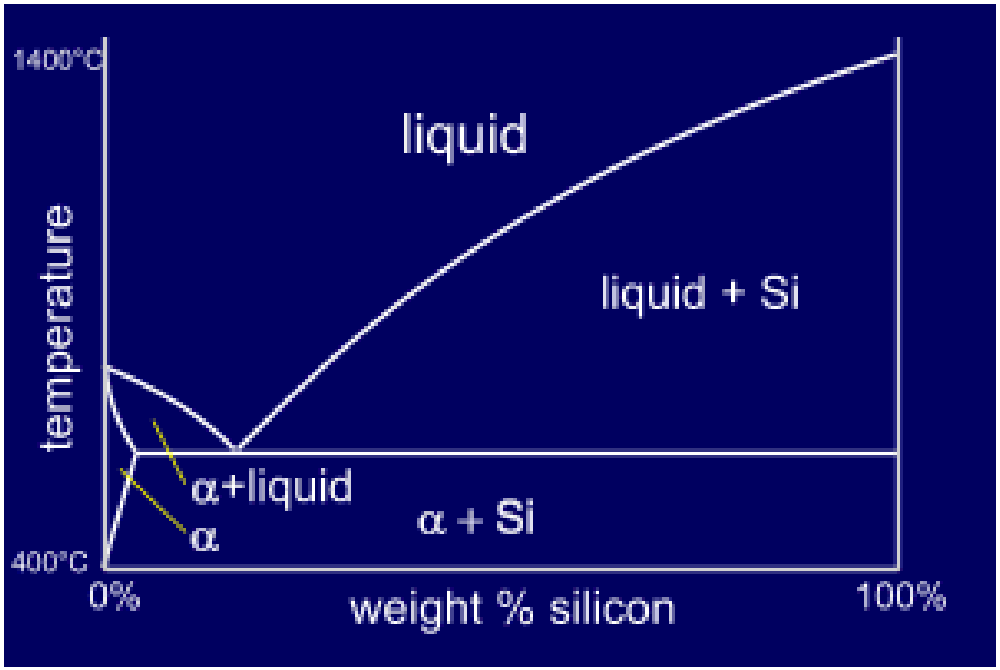
# widmanstatten ferrite

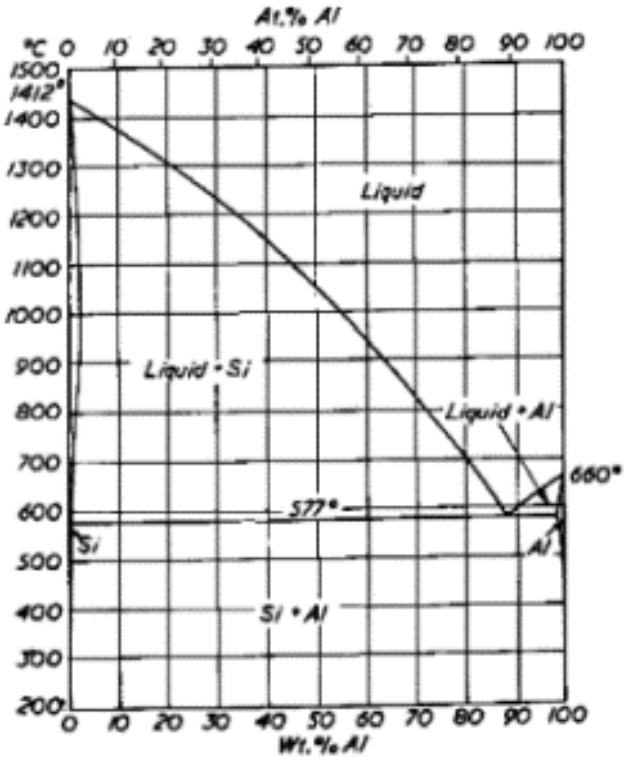





**widmanstatten ferrite**

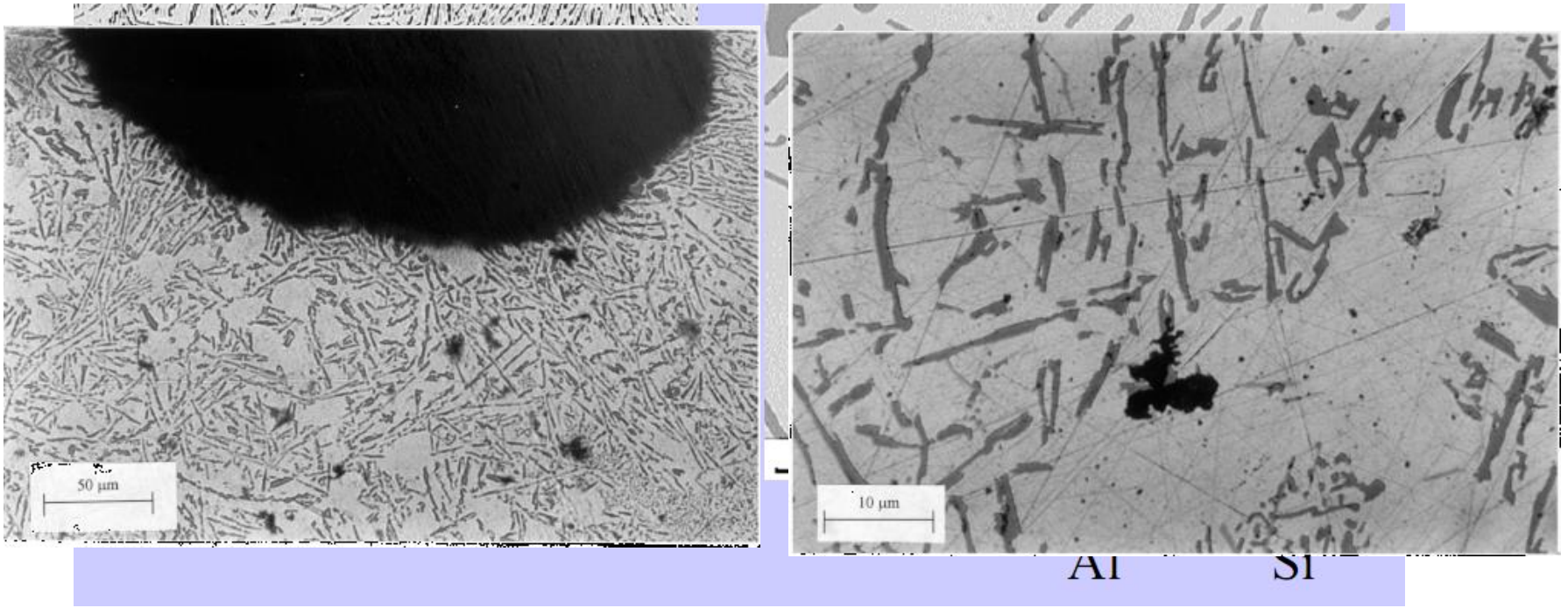




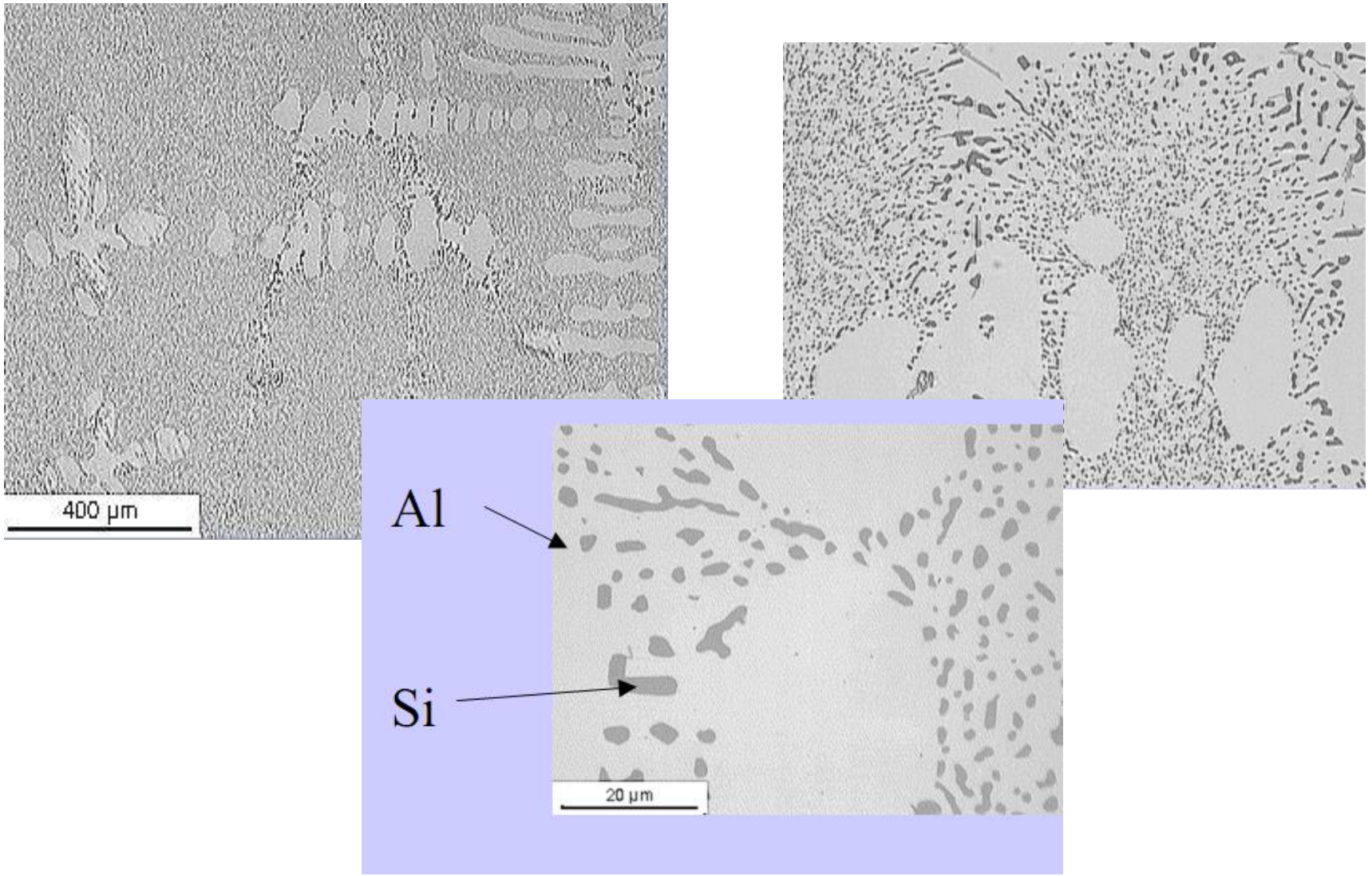

Al-Si alloys differ from our "standard" phase diagram in that aluminium has zero solid solubility in silicon at any temperature. This means that there is ***no beta phase*** and so this phase is "replaced" by pure silicon (you can think of it as a beta phase which consists only of silicon). So, for ***Al-Si*** alloys, the eutectic composition is a structure of ***alpha+Si*** rather than alpha+beta.

# Al-wt%12Si



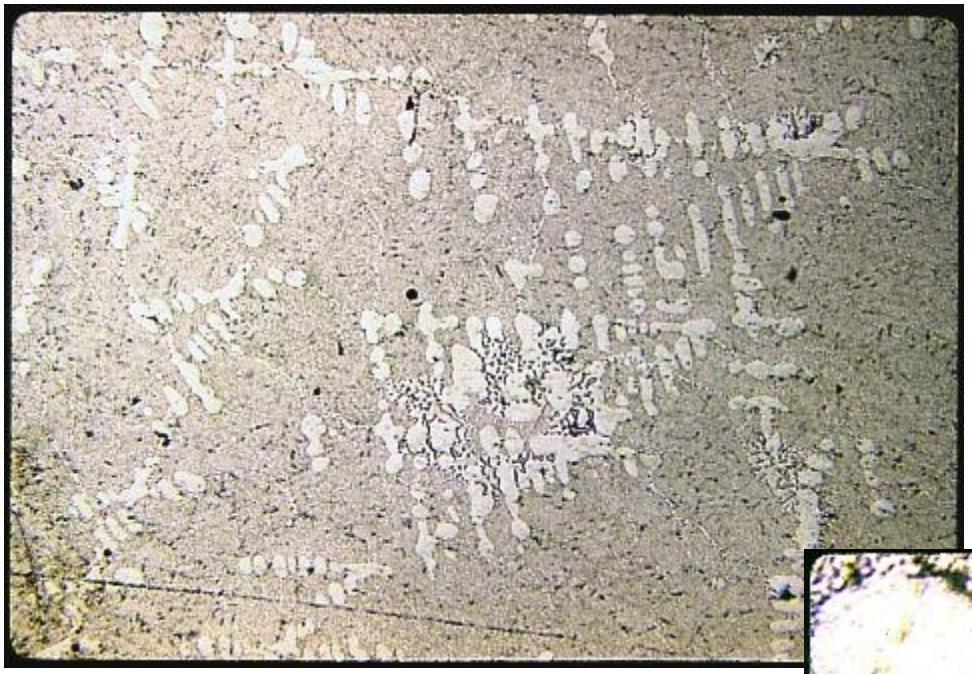

Aluminium and silicon have no solid solubility below the eutectic and the microstructure solidifies as a silicon particles in an aluminium matrix.

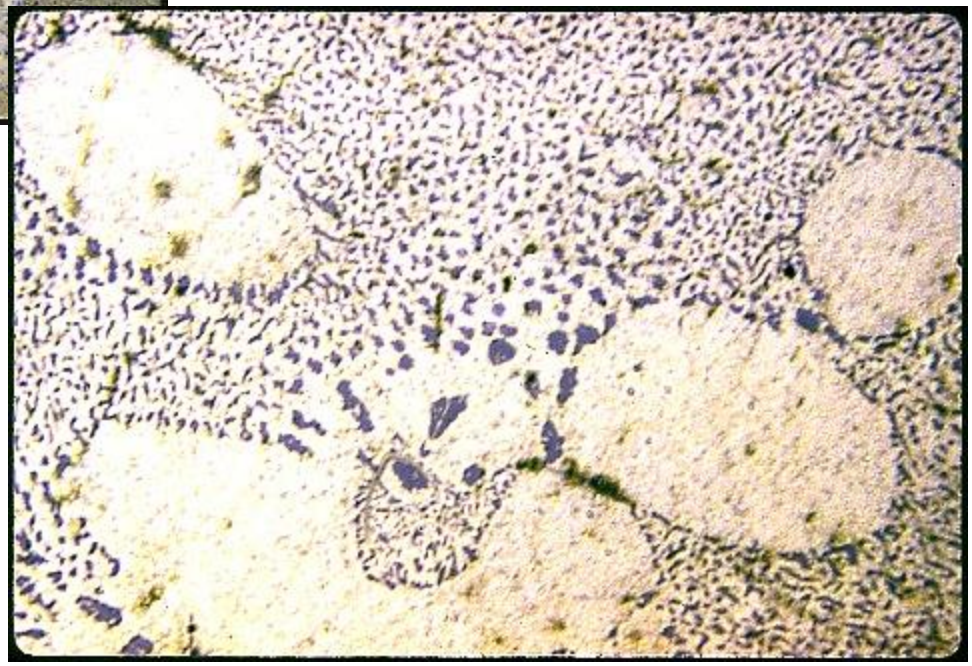
# Al-12Si-0.02Sr



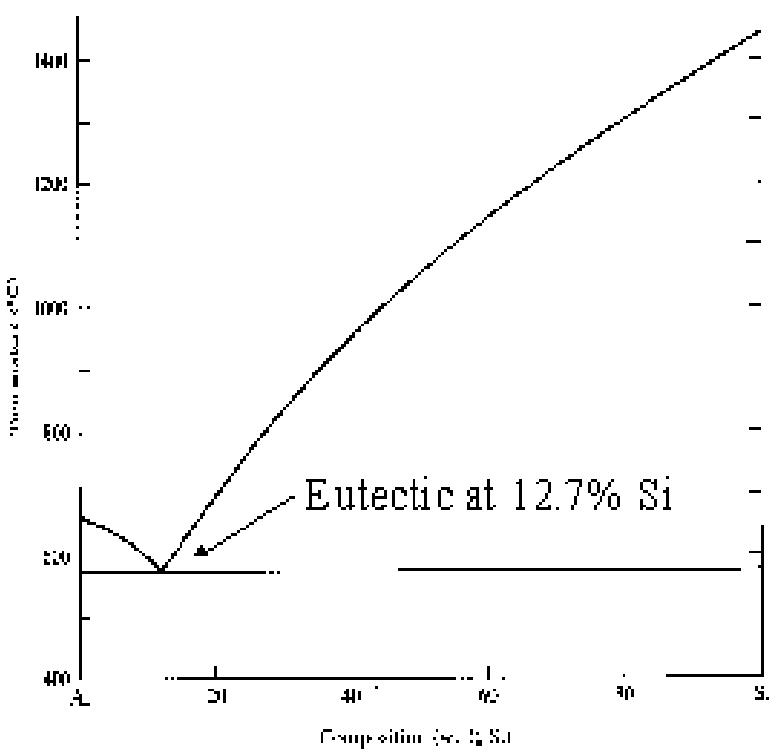

Modified alloys have higher toughness and improved tensile strength and ductility in comparison to unmodified alloys.

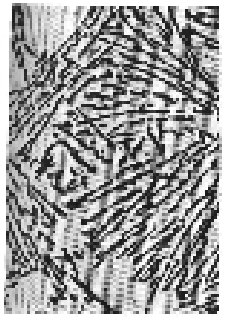
# aluminum – 13% silicon alloy



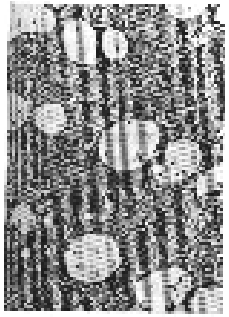


# Al-Si Phase Diagram



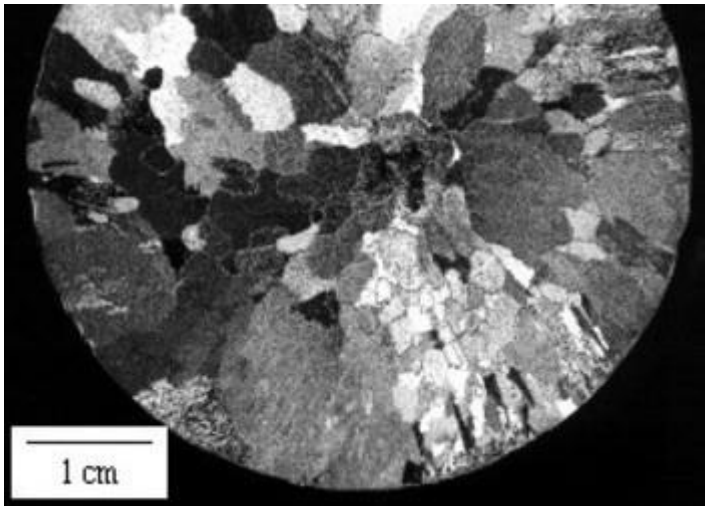
Al-12% Si

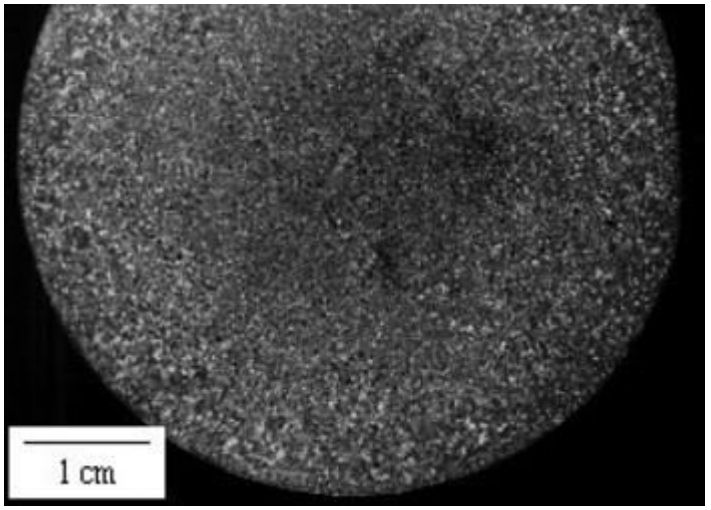


Al-12% Si
Na refined

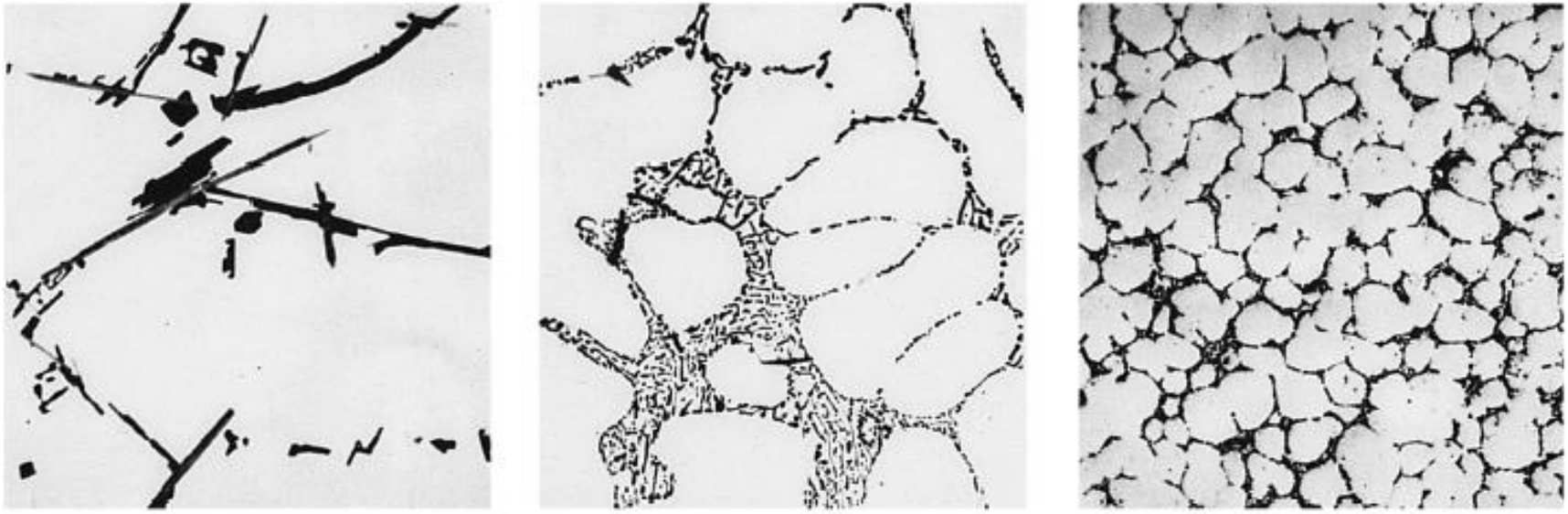
30µm

# Cast Aluminium



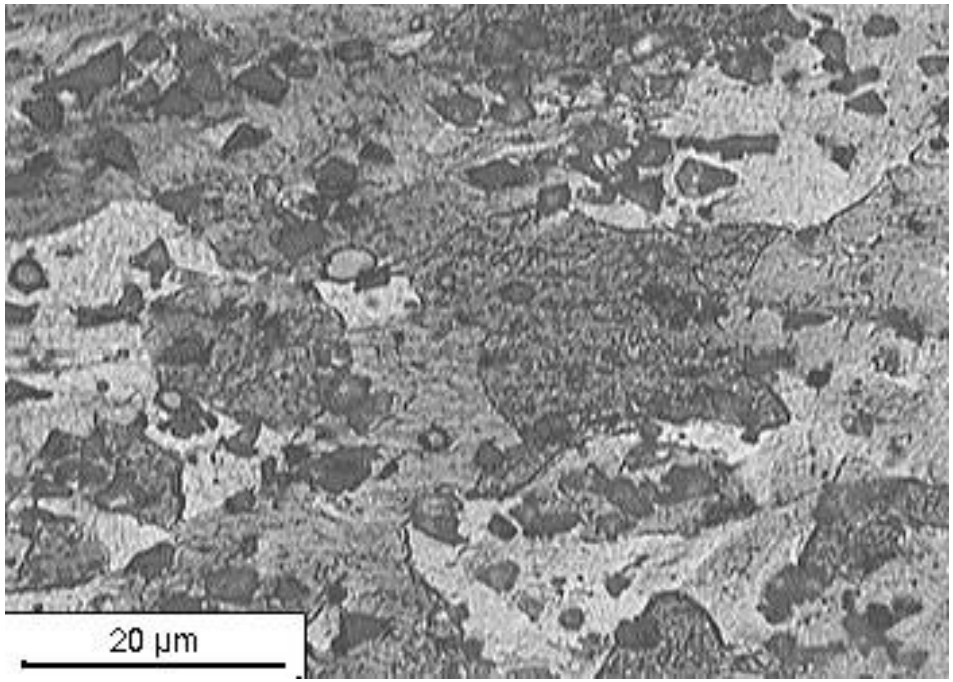




These images show the effect of grain refinement alloying additions in commercial purity aluminum. The ingot in the upper image has no grain refinement additions made to it. The grain size is very large, which would result in poor strength and toughness.
The ingot in the lower image has **small additions of titanium boride**, which is insoluble in molten aluminium. These particles act as "seeds" for the nucleation of the crystal grains when the metal solidifies. The number of grains is increased because of the large number of nucleation sites, and this results in a very small grain size. This is an example of grain refinement by heterogeneous nucleation.




(a) Sand-cast 443 aluminum alloy containing coarse silicon and inclusions. (b) Permanent-mold 443 alloy containing fine dendrite cells and fine silicon due to faster cooling. (c) Die-cast 443 alloy with a still finer microstructure (× 350)

# Aluminium-Silicon Carbide Composite

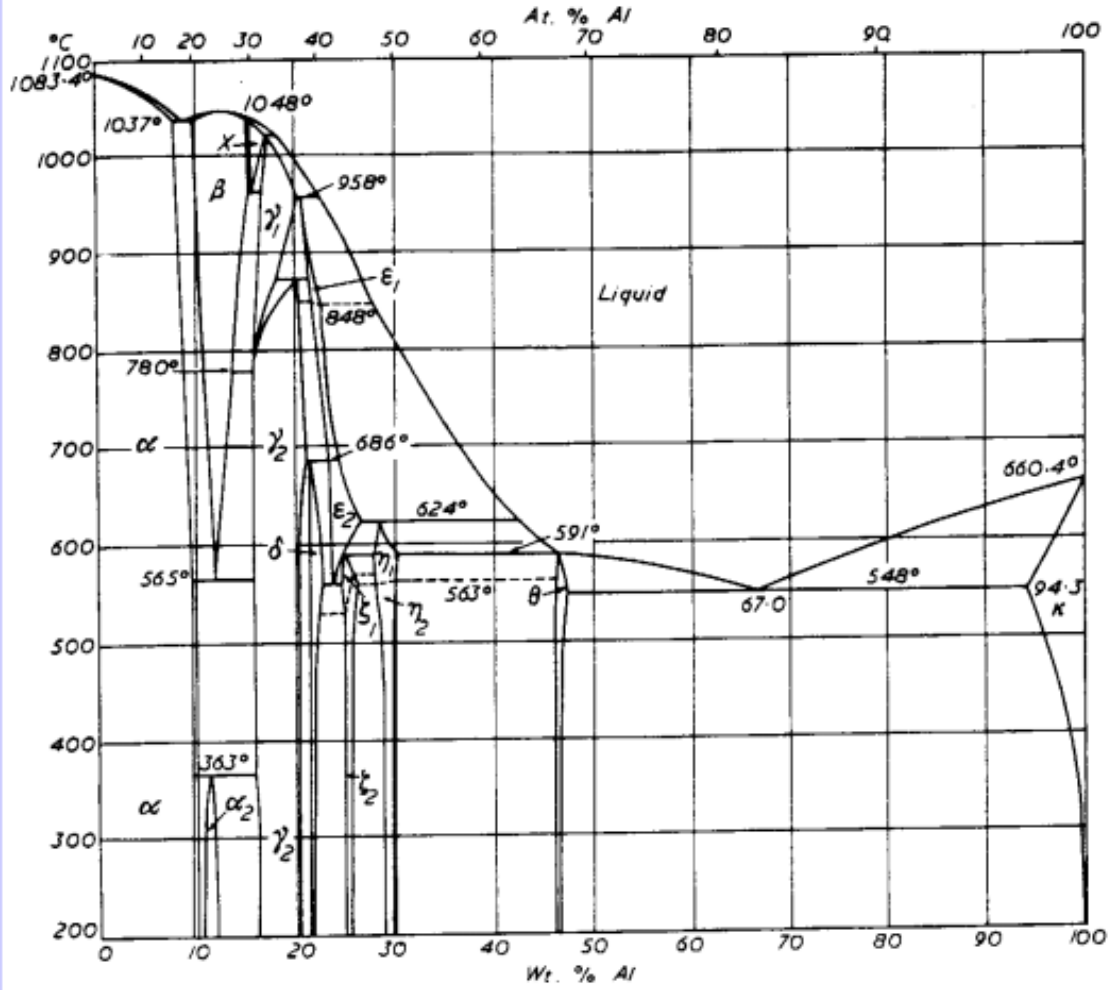



It is a metal matrix composite.

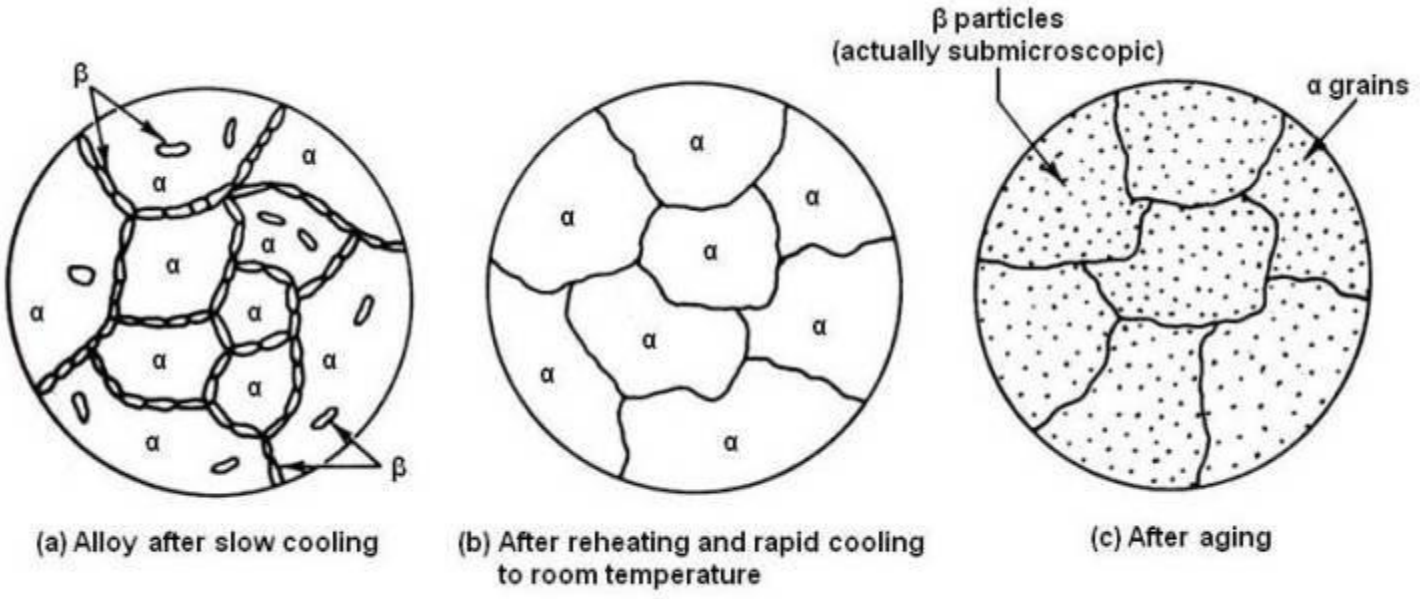
The microstructure has two main constituents. The darker grey particles are grains of silicon carbide (SiC). They are dispersed through a matrix of aluminium.

The silicon carbide reduces the density of the aluminium and improves its stiffness and wear resistance. The toughness and ductility are reduced by the ceramic.

# Al-Cu phase diagram



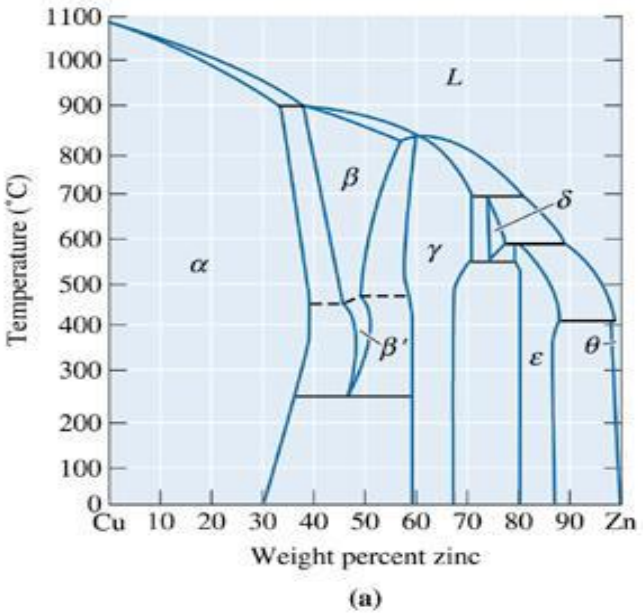
# Al-4wt%Cu

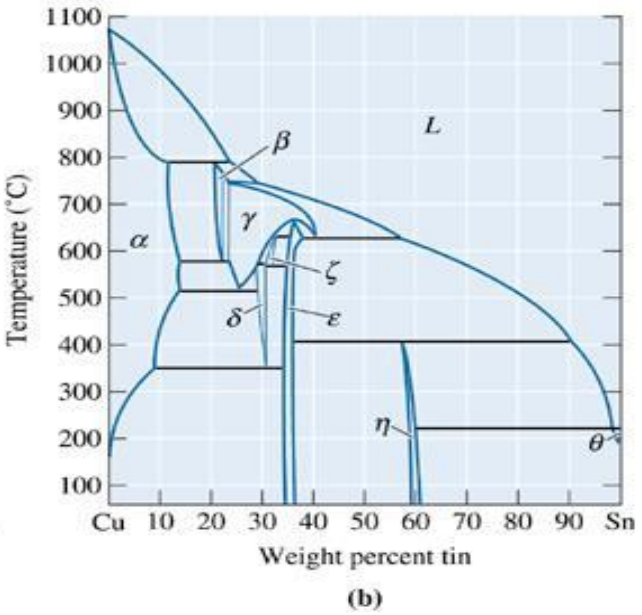


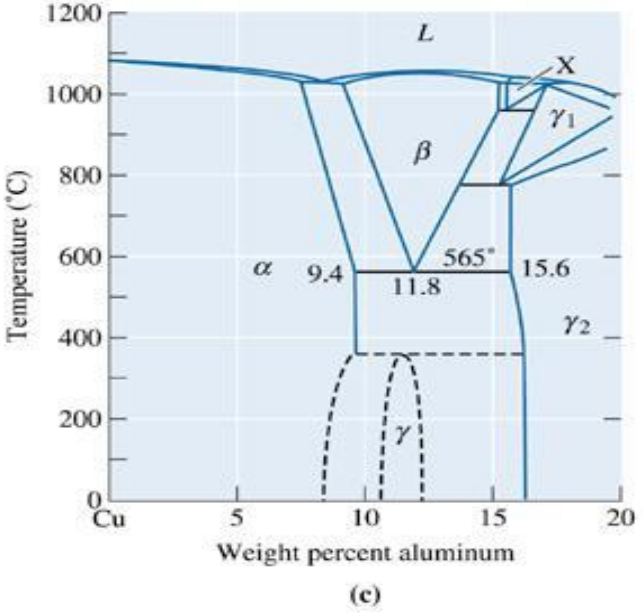

Microstructure of an 85A-15B alloy

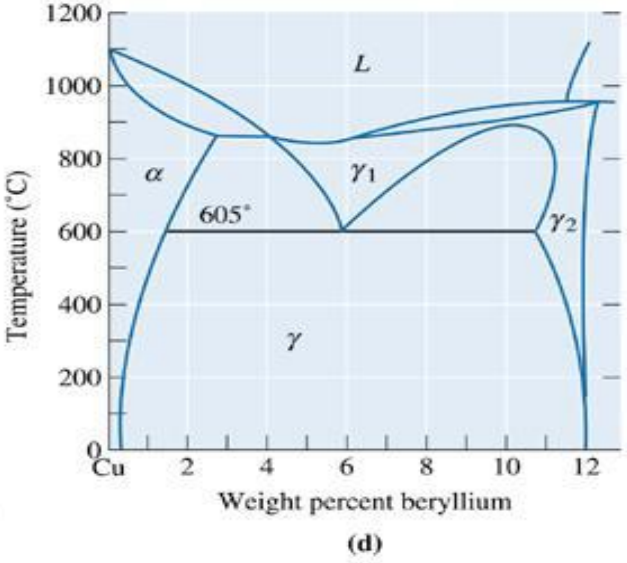
(age hardened)

The aim of age-hardening is to produce a large number of fine precipitates in the aluminium grains. These interfere with the movement of dislocations when the metal yields. This has the effect of increasing the strength of the alloy. The heat treatment used to produce the precipitates involves a high temperature solution treatment, quenching and then ageing.



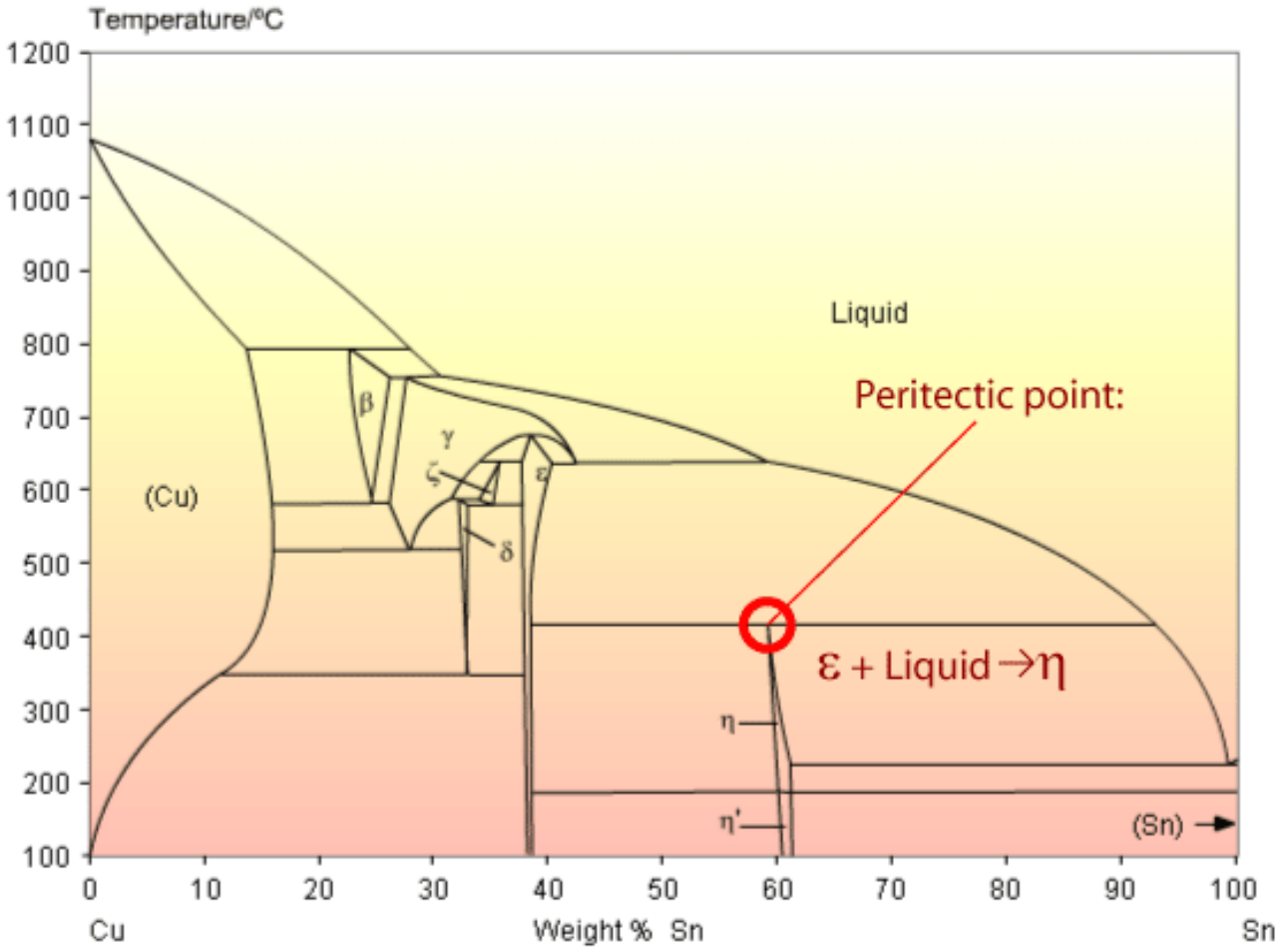



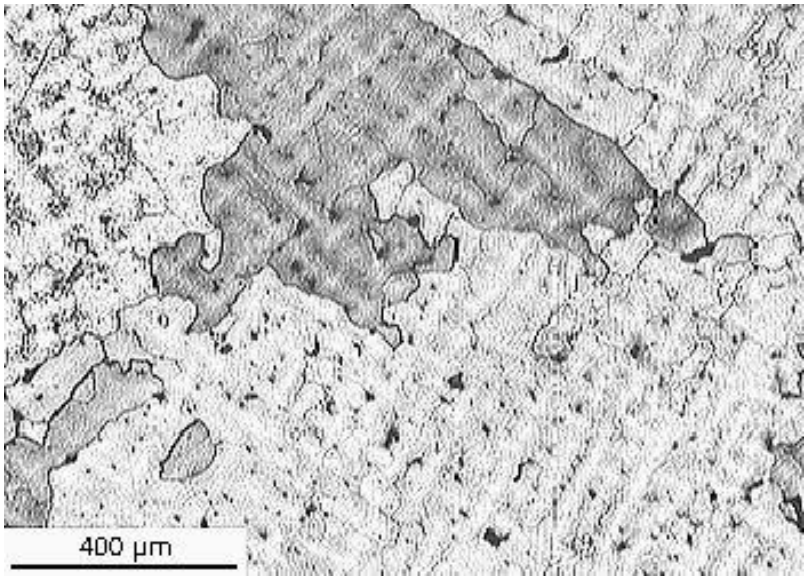



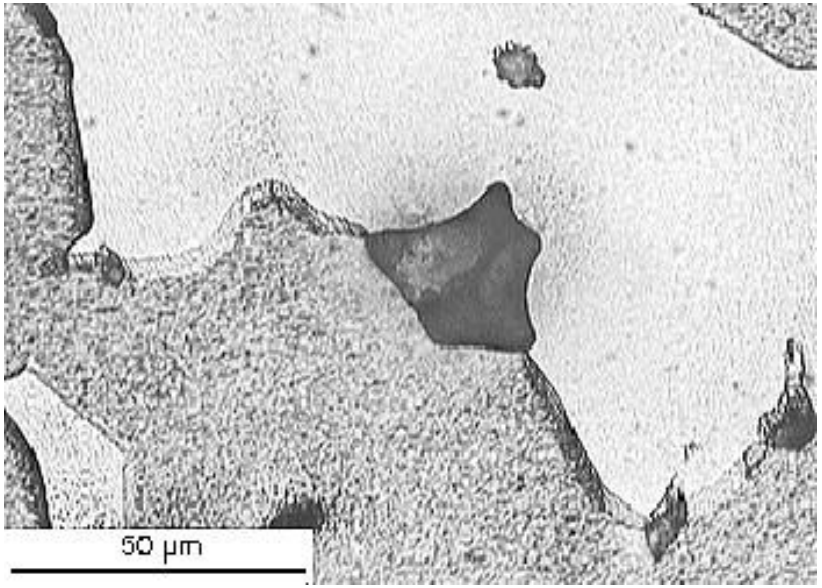




Binary phase diagrams for the (a) copper-zinc, (b) copper-tin, (c) copper-aluminum, and (d) copper-beryllium systems.

# Phase Diagram for Cu-Sn

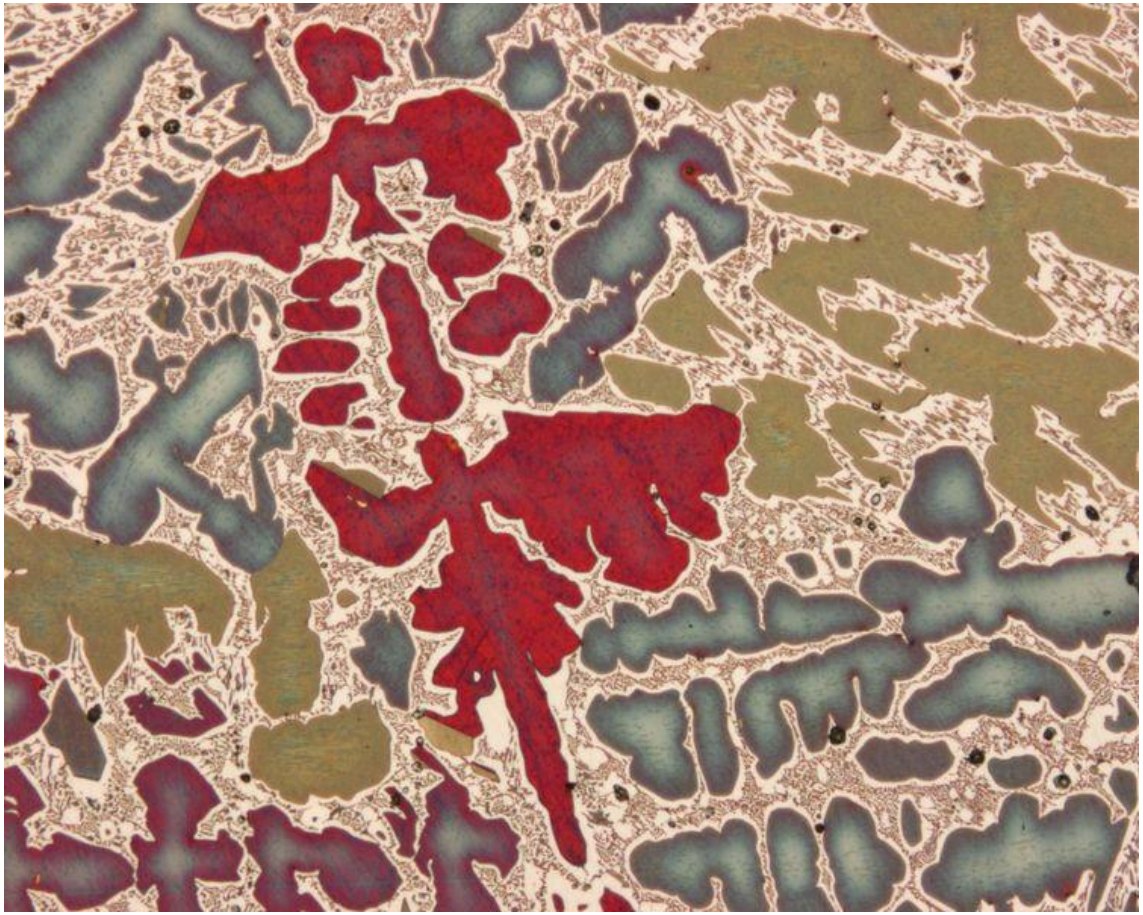




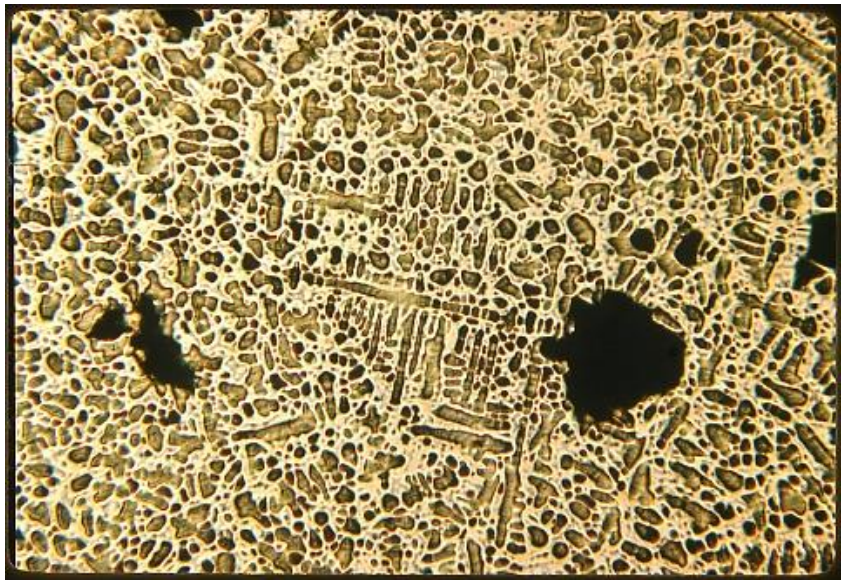




This cast sample of a Copper-4wt%Tin bronze shows a grain structure with traces of cored dendrites.

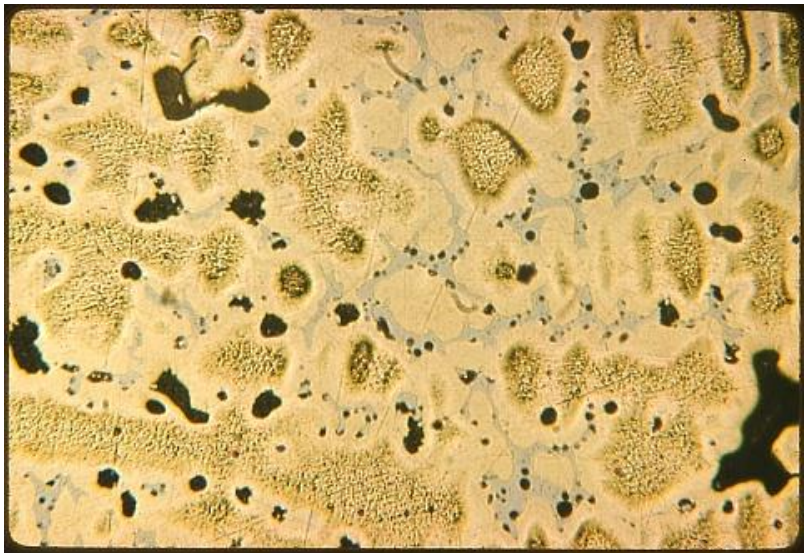
The coarse grain structure is due to grain growth after solidification. Coring develops due to non-equilibrium solidification of the casting, which causes a non-uniform distribution of the alloying elements.



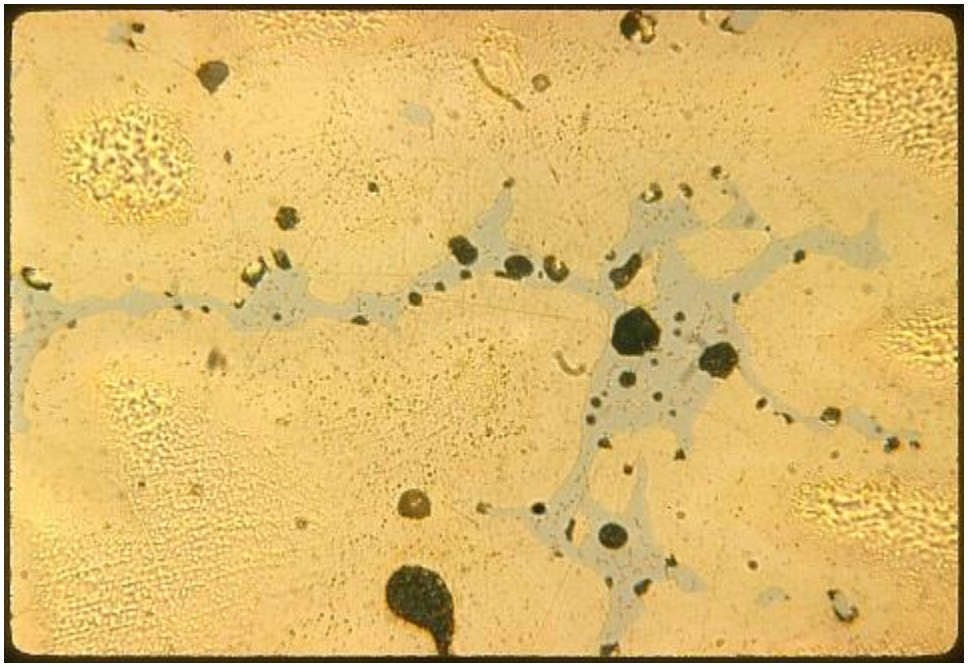
**A micrograph of bronze revealing a cast dendritic structure**



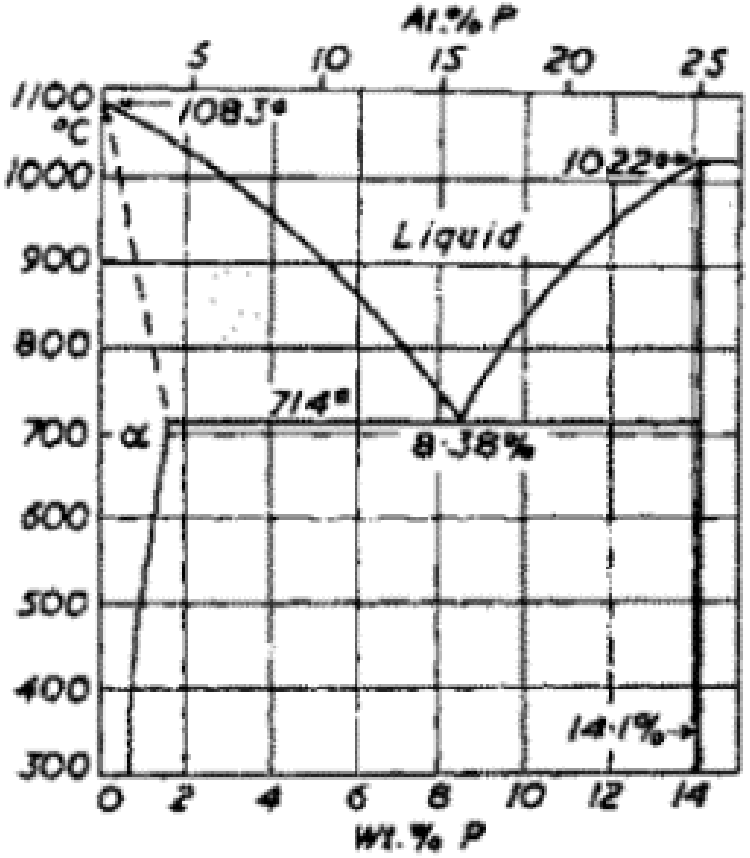
copper - 10% tin bearing bronze containing added lead, 50X



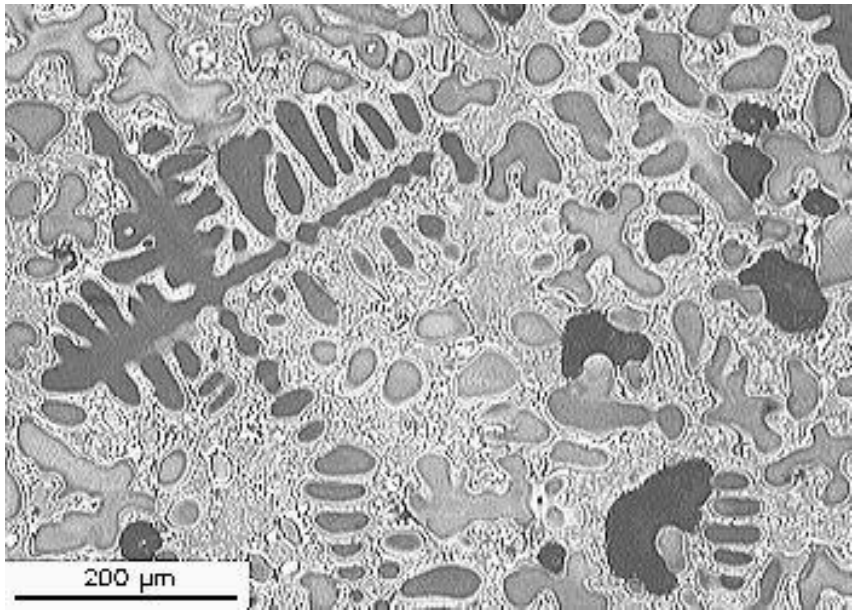
At 200X the bluish-white delta microconstituent can be seen. The black areas in these two photomicrographs are either shrinkage cavities or lead particles



**The coring that is evident above at 200X and at left at 500X shows because the copper center (core) of each dendrite arm is copper-rich and etches more slowly than does the outside of each dendrite arm.**



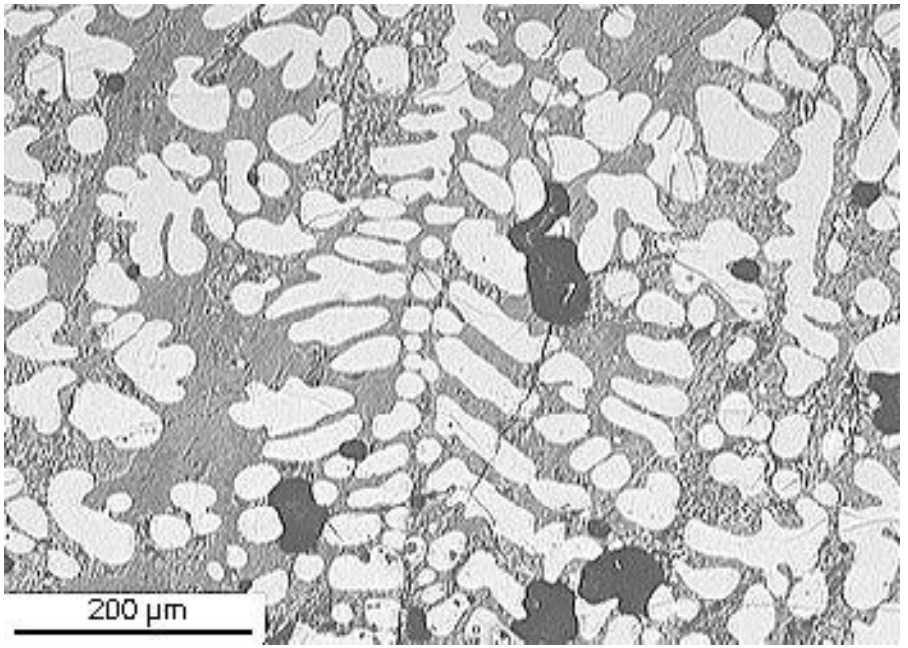

**Copper-Phosphorus (Cu-P) Equilibrium Phase Diagram**




Cu 4.5wt% P

hypoeutectic alloy

On slow cooling the liquid first solidified at approximately 940°C as copper rich dendrites. The composition of the remaining liquid became increasingly rich in phosphorus until it solidified as a eutectic (8.38wt% P) at the eutectic temperature of 714°C.

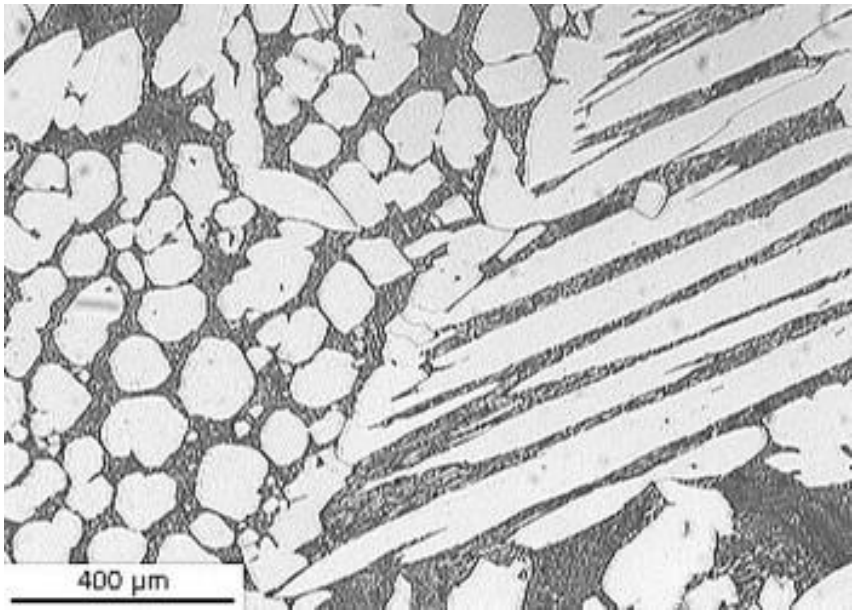


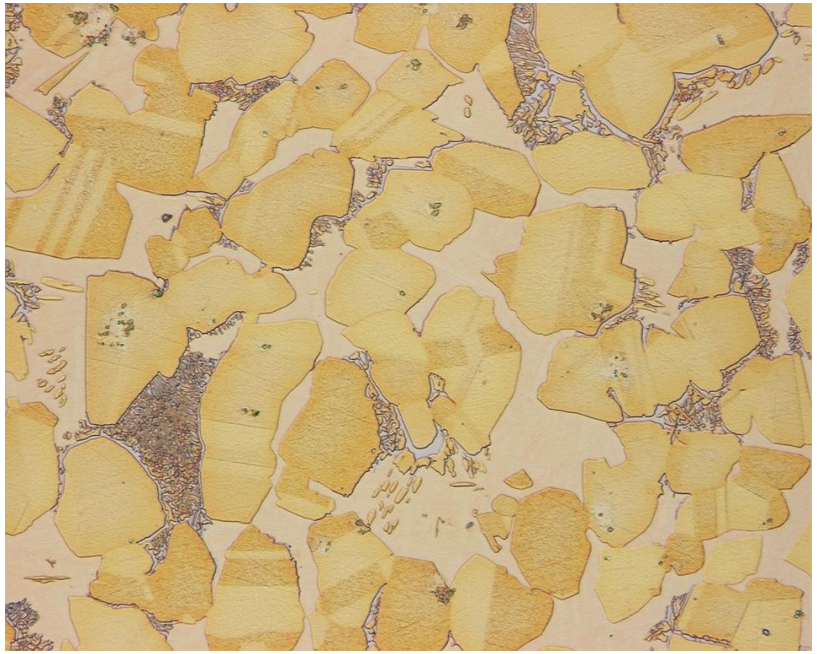

Cu 10.5wt% P

hypereutectic alloy

On slow cooling the liquid first solidified as copper phosphide dendrites at approximately 850°C. The remaining liquid solidified as a eutectic at 714°C.

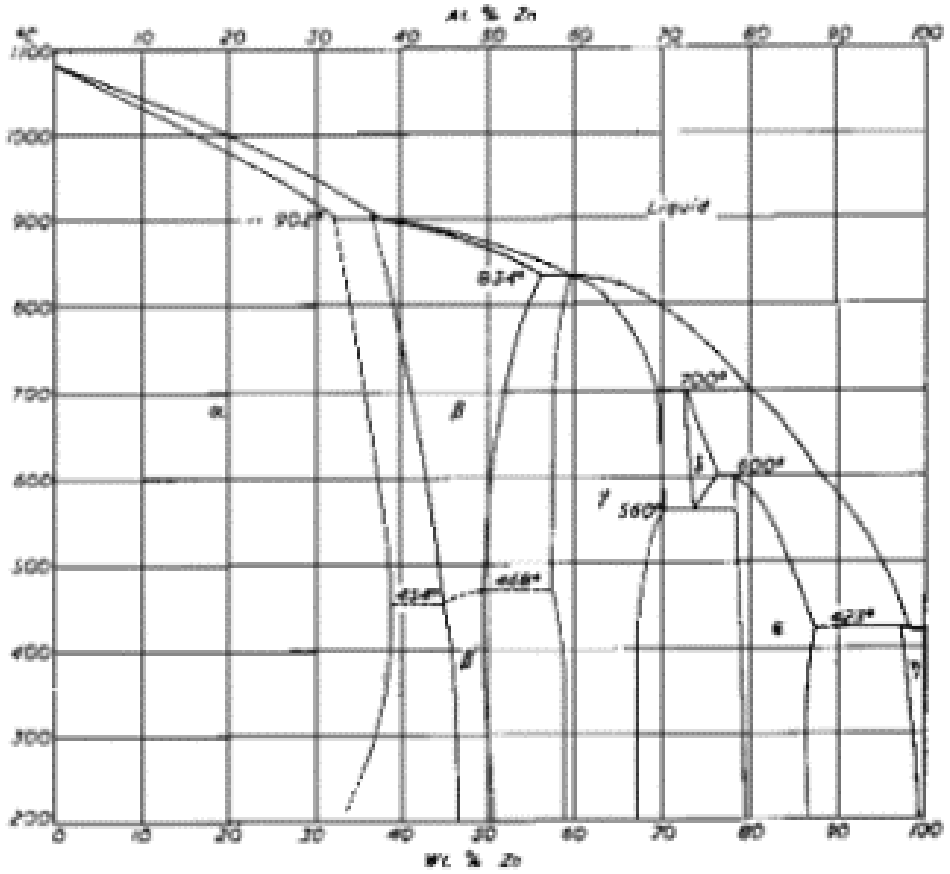
# Cu 10wt% Al (Cast)



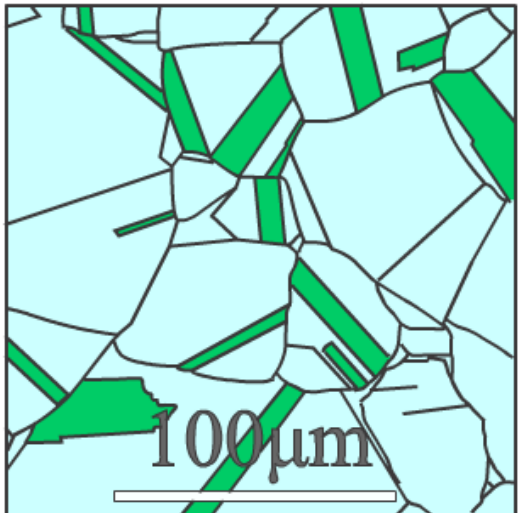



This is a copper-aluminium bronze containing 10wt% aluminium. A small amount of iron is often added to act as a grain refiner to improve the mechanical properties.

# Brass (Cu-Zn) Equilibrium Phase Diagram



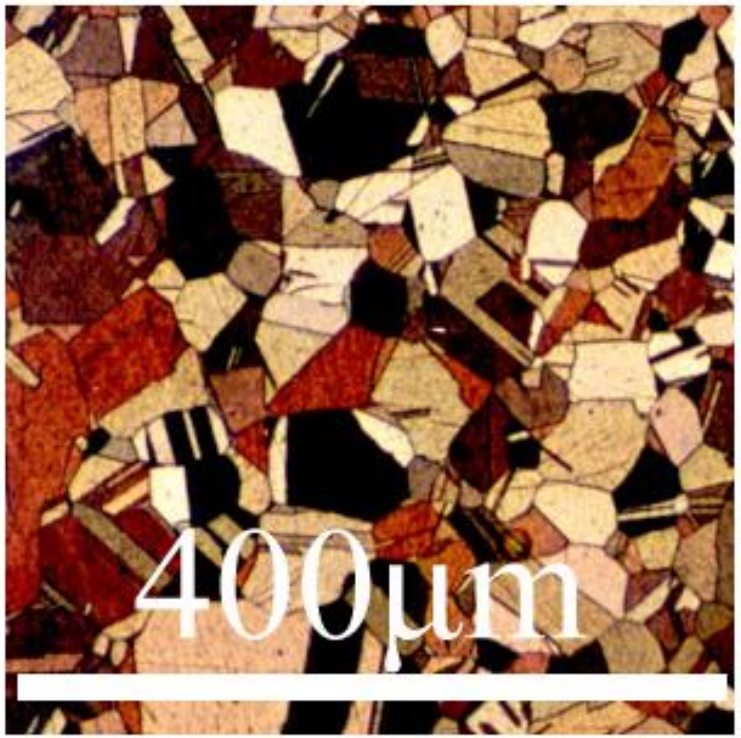
## α - Brass: 70 wt.% Cu, 30 wt.% Zn



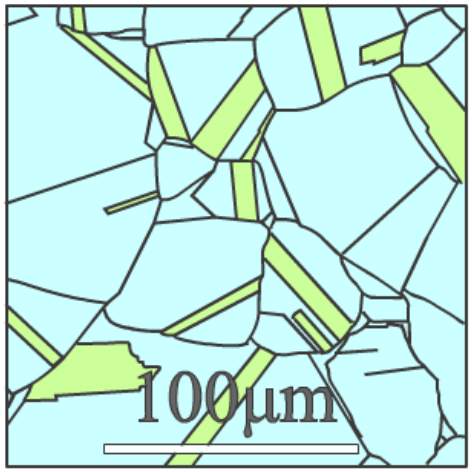

These straight edged twins are annealing twins. Annealing twins are stacking defects in the stacking of the {111} close-packed planes.

Continue

Show Micrograph



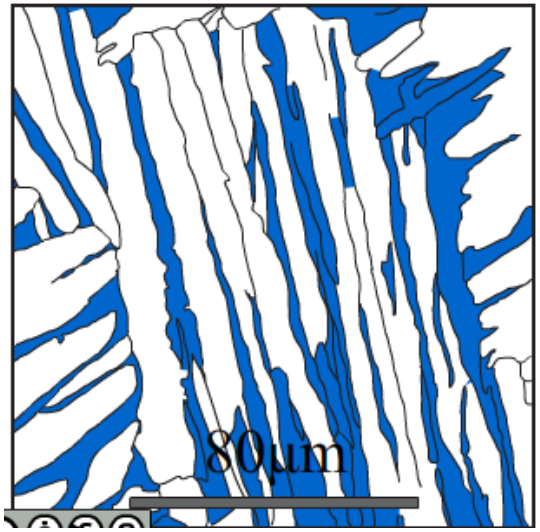

## α - Brass: 70 wt.% Cu, 30 wt.% Zn




This is a single phase material. Alpha brass may have up to 30% zinc in solid solution.

Show Micrograph

αβ - Brass 60 wt.% Cu, 40wt.% Zn




The beta phase

αβ - Brass 60 wt.% Cu, 40

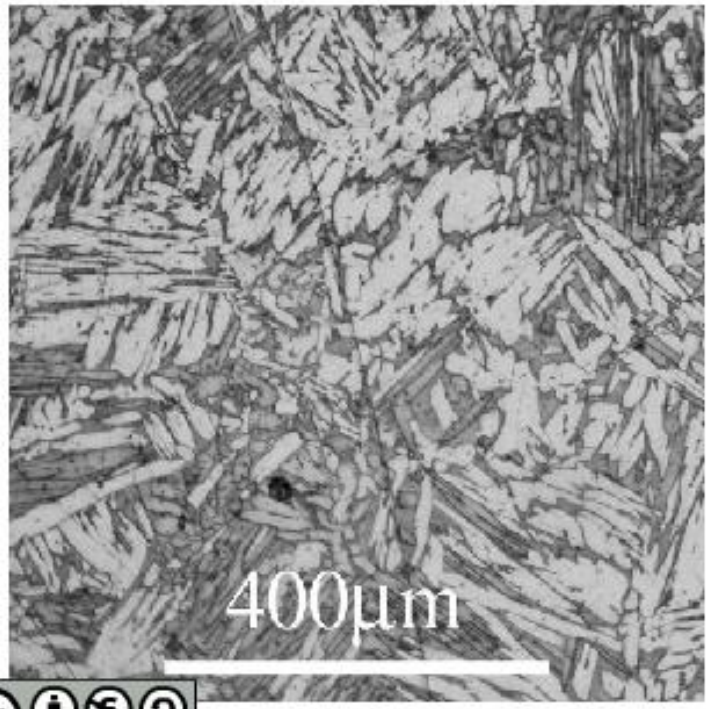

Th
pr
so
the
Th
co
as
the
microstructure.

Continue

Show Micrograph

www.doitpoms.ac.uk

αβ - Brass 60 wt.% Cu, 40wt.% Zn



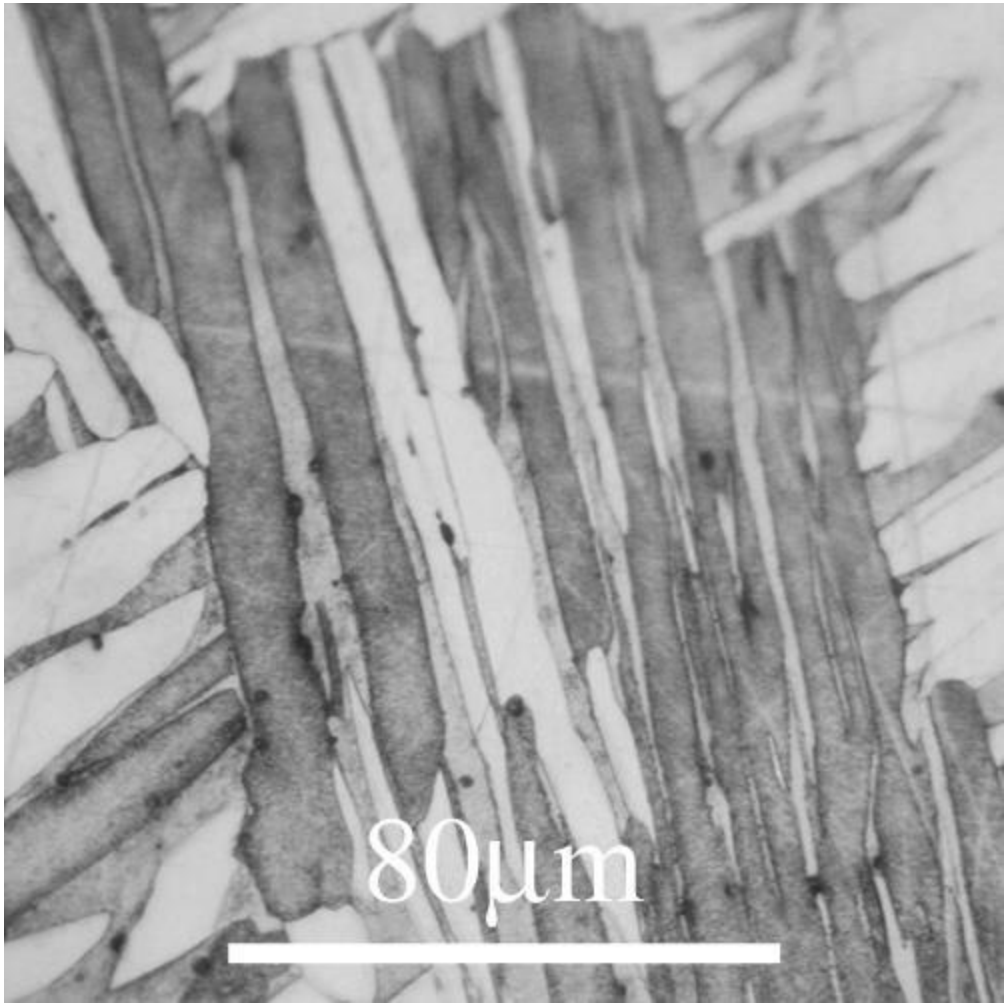

This micrograph is of a lower magnification than the sketch. The 'basket-weave' microstructure is more obvious here. See also the DoITPoMS micrograph library entry.

Show Sketch

www.doitpoms.ac.uk

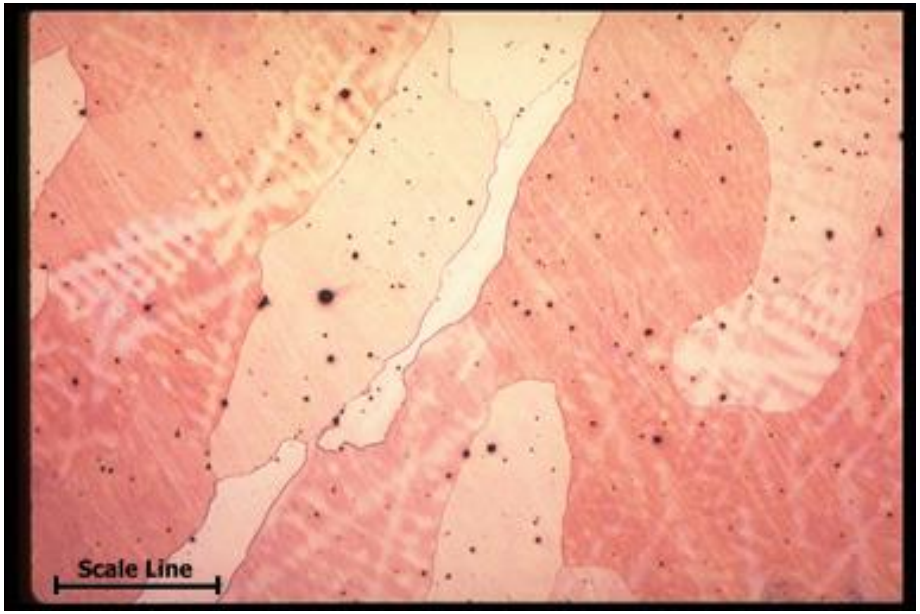
**brass with 40% zinc**

**The alpha precipitates inside the beta grains and on the beta grain boundaries. The alpha appears as long, fat needles in a beta matrix**

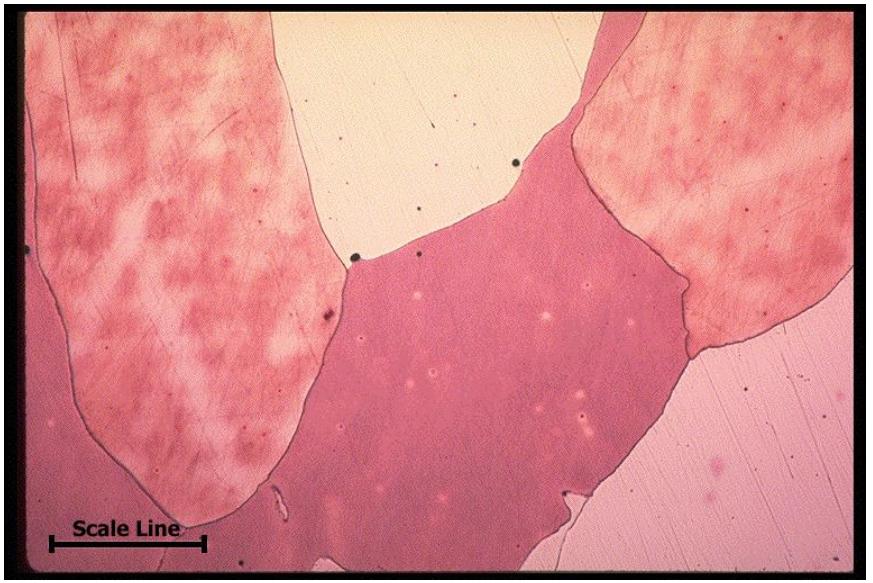



**Cu 60, Zn 40 (wt%), air cooled - Widmanstätten microstructure**

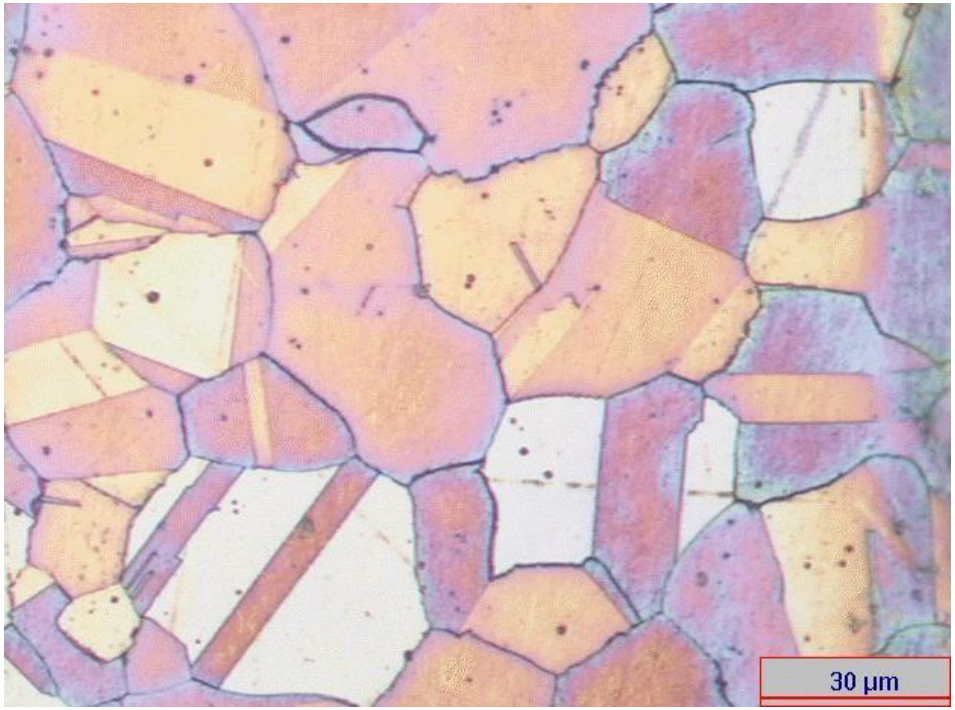
# Brasse (as-cast)

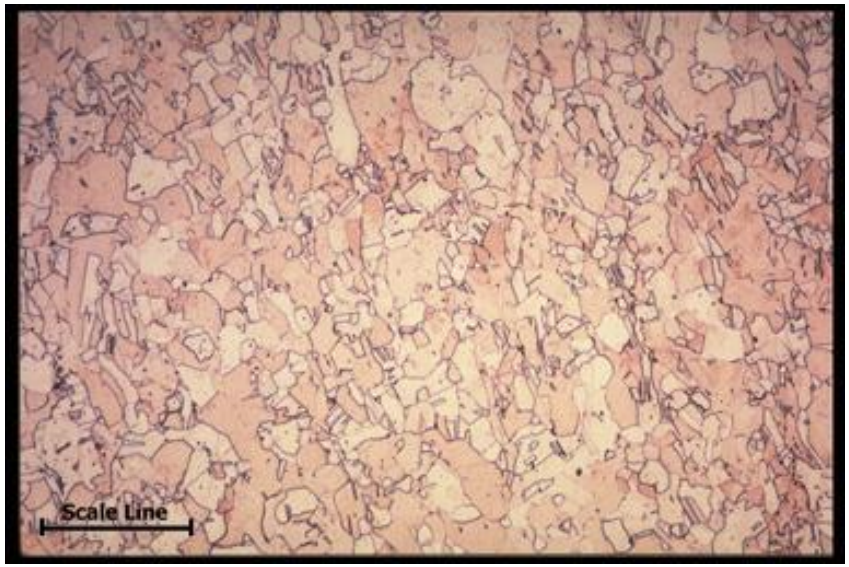



Cu 89.0-90.0, Zn 8.9-11.0, Fe 0.05, Pb 0.05




Cu 97.0-98.0, Zn 1.9-3.0, Fe 0.05, Pb 0.02

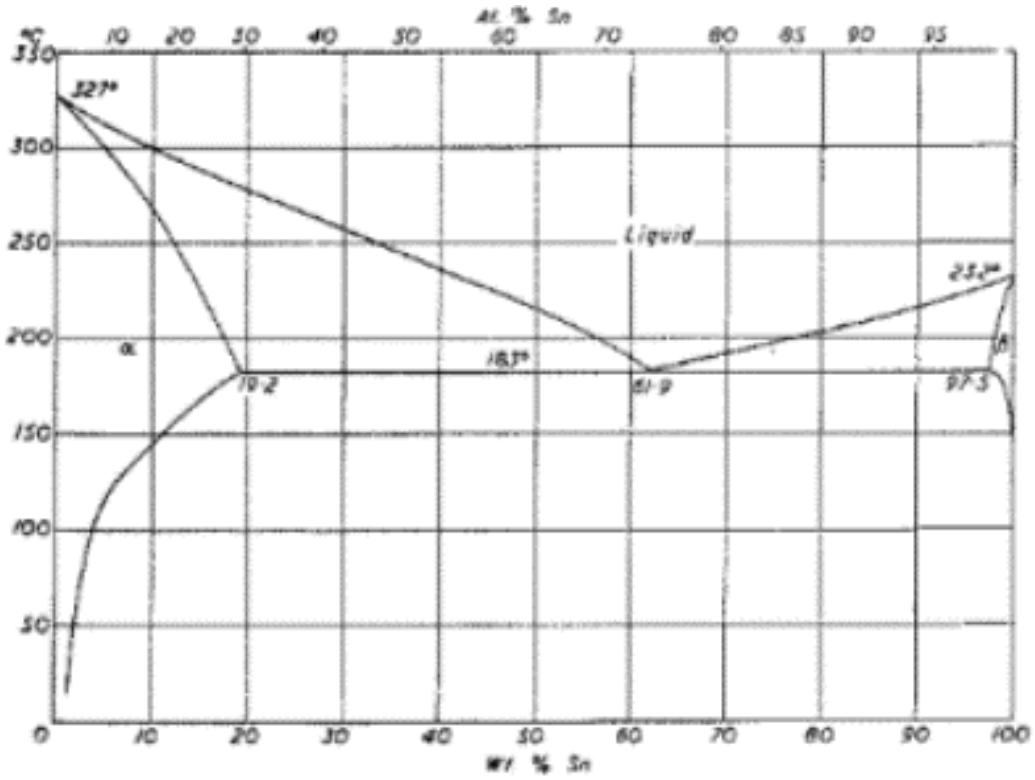


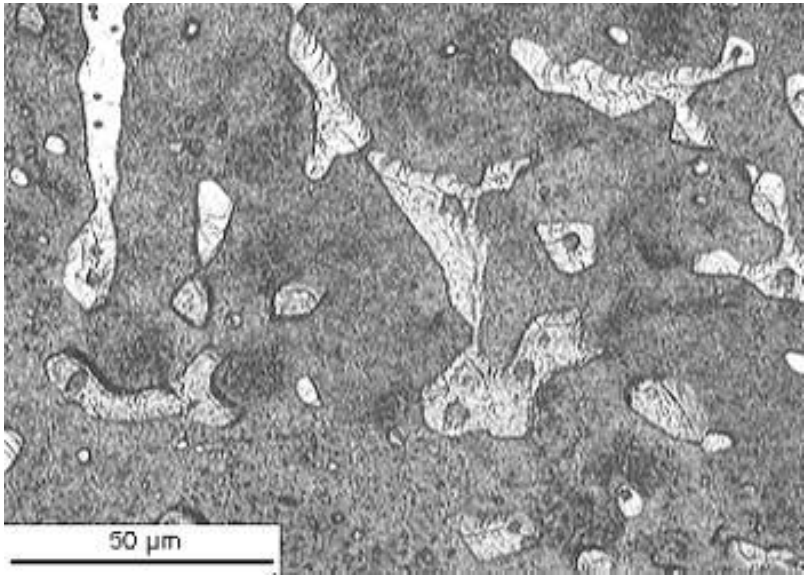




**Microstructure** Grains of a Cu-15Ni-8Sn alloy which have been polished and etched to show color in a light microscope. These grains are thousands of times larger than nanograined material.

**silicon bronze**

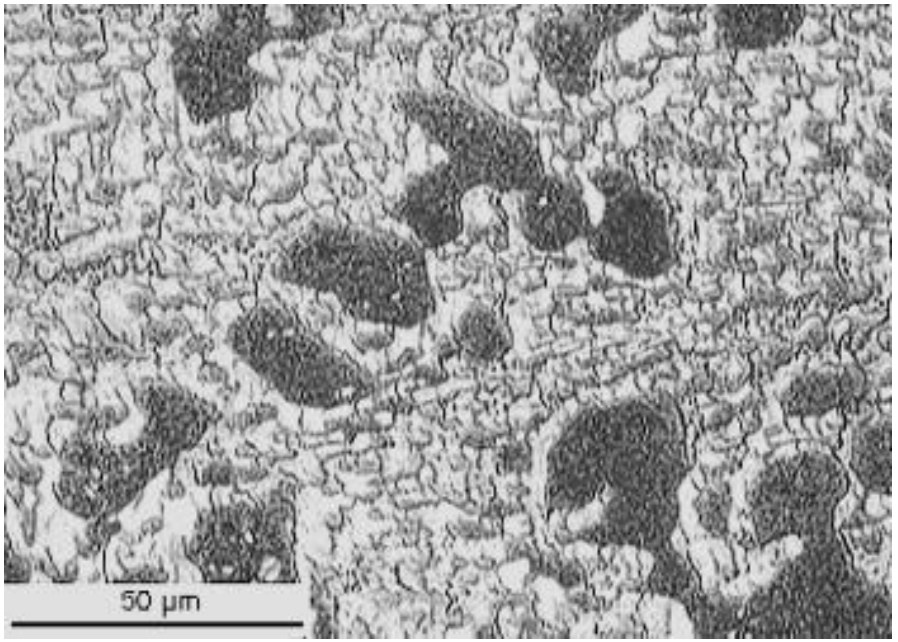
# Lead-Tin (Pb-Sn) Equilibrium Phase Diagram





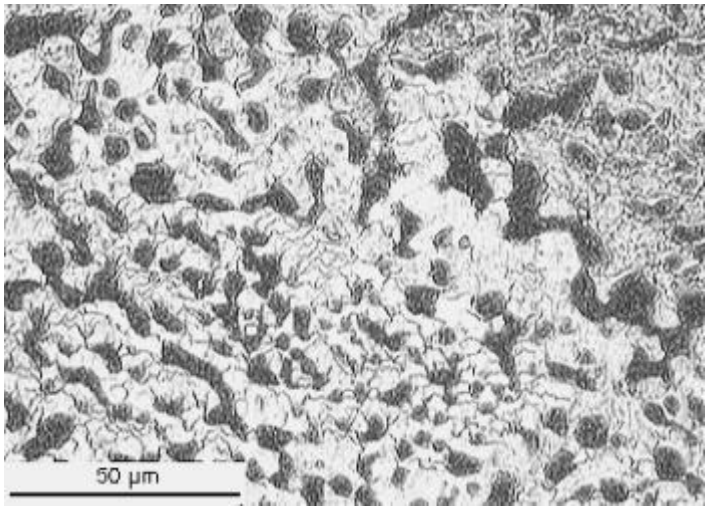

Lead 20wt% Tin

On slow cooling the liquid metal solidifies as lead rich dendrites at approximately 265°C. The remaining liquid becomes increasingly tin rich with cooling until it solidifies at the eutectic composition at the eutectic temperature (183°C).



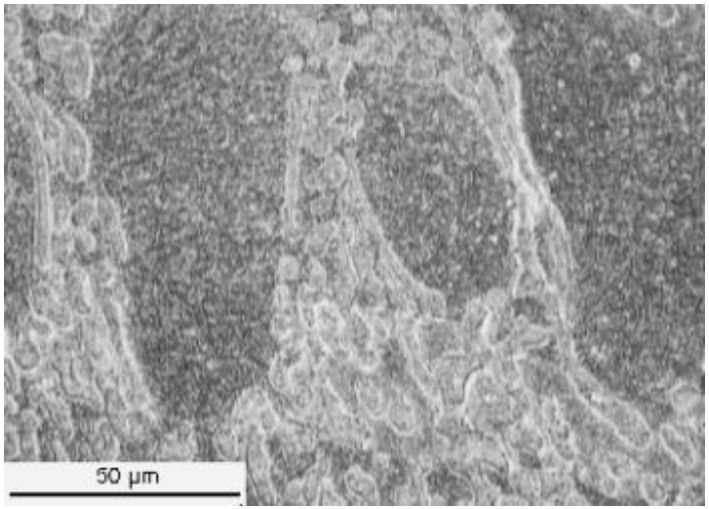

Lead 50wt% Tin

This alloy has a composition close to the eutectic. When cooled slowly from the molten state, it begins to solidify at approximately 210°C by the nucleation and growth of lead rich dendrites. The remaining liquid becomes tin rich with decreasing temperature until it solidifies as the eutectic at the eutectic temperature (183°C).



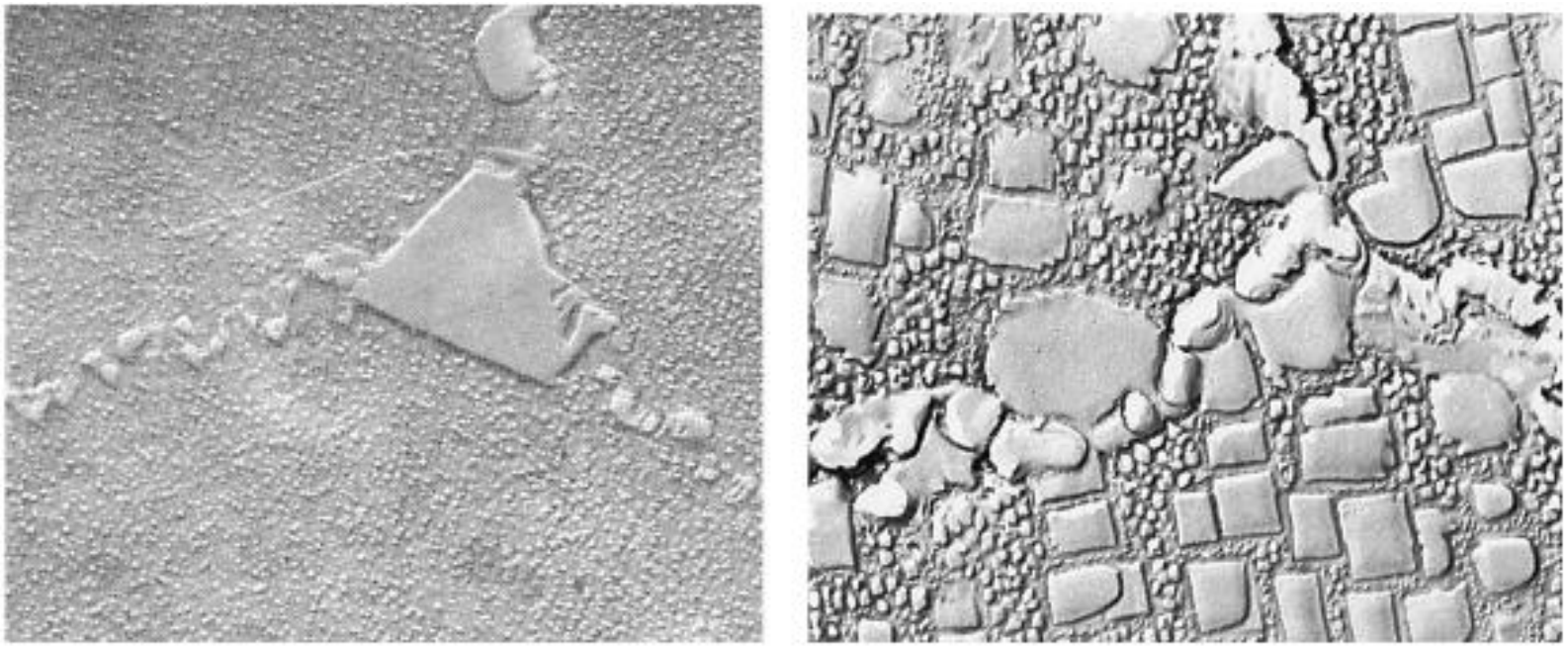

Lead 62wt% Tin

This alloy contains 62wt% tin and has the eutectic composition. The liquid metal solidifies at the eutectic temperature (183°C) as a fine dispersion of tin rich (97.5wt% Sn) and lead rich (81wt% Pb) phases. The solubility of lead in the tin rich phase decreases rapidly with decreasing temperature, as does the solubility of tin in the lead rich phase. At high magnification, fine precipitates of leaad and tin can be seen in each constituent of the eutectic.




Lead 80wt% Tin

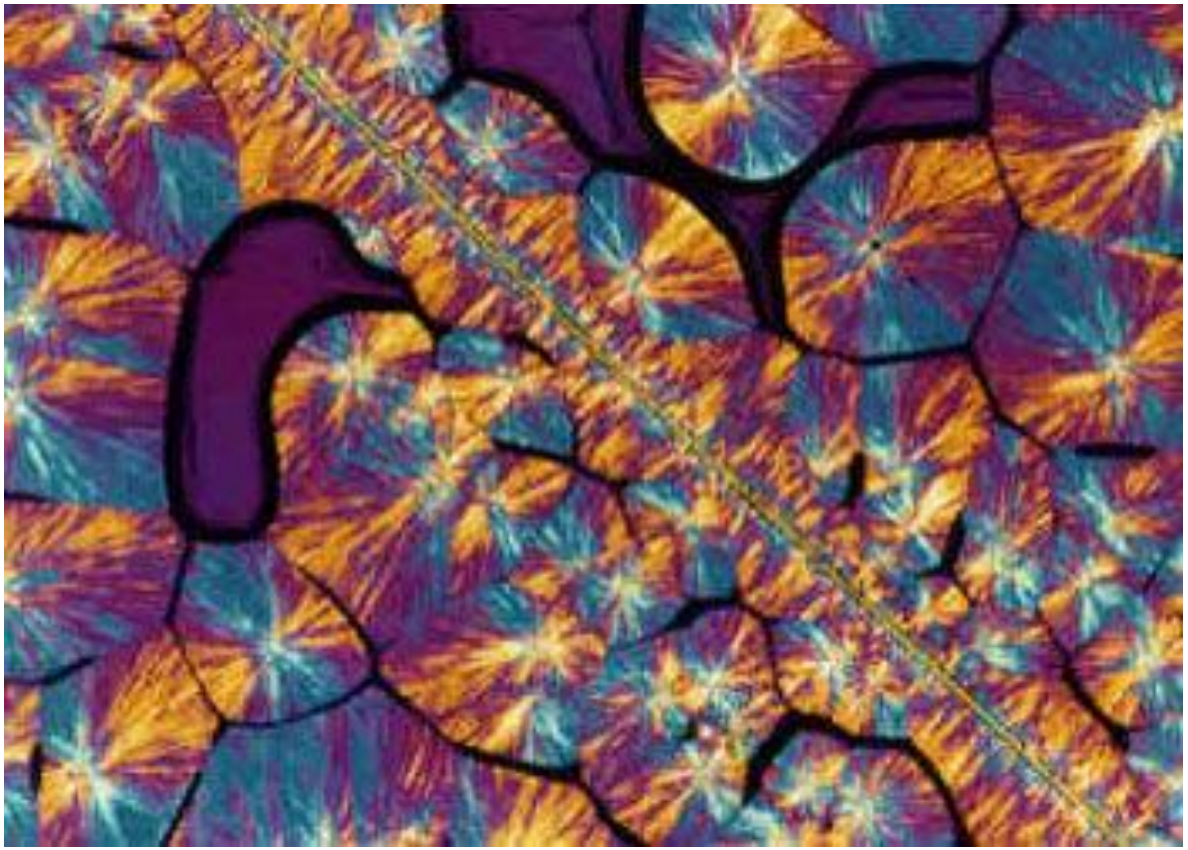
The first phase to precipitate from the liquid metal during slow cooling is tin (Sn) rich and it forms as dendrites. This occurs below approximately 200°C. The tin concentration in the liquid decreases as the temperature falls until it reaches the eutectic composition (38wt% Pb) at the eutectic temperature of 183°C. The remaining liquid solidifies as a eutectic.



(a) (b)

(a) Microstructure of a superalloy, with carbides at the grain boundaries and $\gamma'$ precipitates in the matrix (× 15,000).

(b) Microstructure of a superalloy aged at two temperatures, producing both large and small cubical $\gamma'$ precipitates (× 10,000)



This picture shows an aramid (Kevlar) fibre in a polypropylene matrix. The rough surface of the fibre has encouraged the formation of crystals in the polypropylene, at the interface between the fibre and the matrix. This has produced a strong interface and the composite has good strength and stiffness

- Fibres are often used to improve the strength, stiffness and toughness of materials. These materials are usually called fibre-reinforced composites.
- The composite is made of fibres in a weaker matrix. The fibres can be carbon fibre or aramid (or Kevlar) fibres. These have very high stiffness and strength.
- The composite will have a high strength and stiffness, if the adhesion or bond between the fibre and matrix is strong.