

# DIAGRAMA DE EQUILÍBRIO FERRO CARBONO

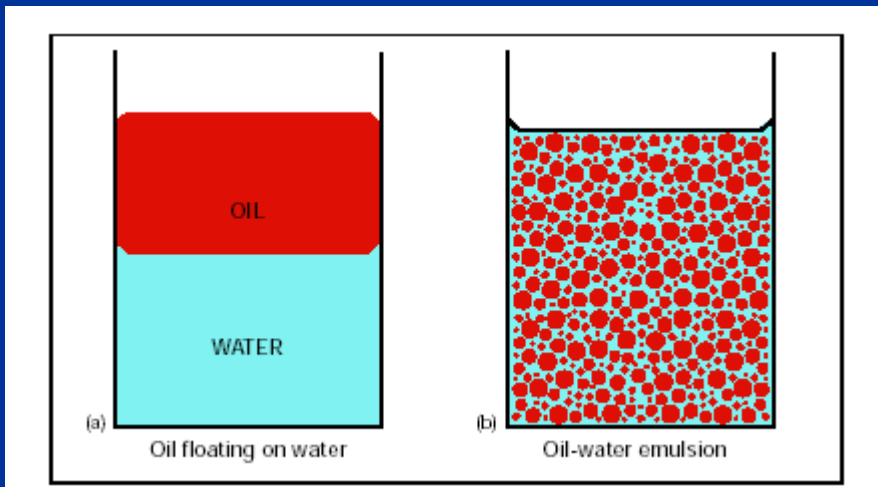
Engenharia e Ciência dos Materiais I

Profa.Dra. Lauralice Canale

# DIAGRAMA DE FASES

## FASE

Uma fase pode ser definida como uma porção homogênea de um sistema que possui características físicas e químicas uniformes. Se mais de uma fase estiver presente em um sistema, cada fase terá suas próprias propriedades individuais, e existirá uma fronteira separando as fases, da qual haverá uma mudança descontínua e abrupta nas características físicas e / ou químicas



### Duas fases em equilíbrio

(a) óleo flutuando em água

(b) emulsão de água-óleo.

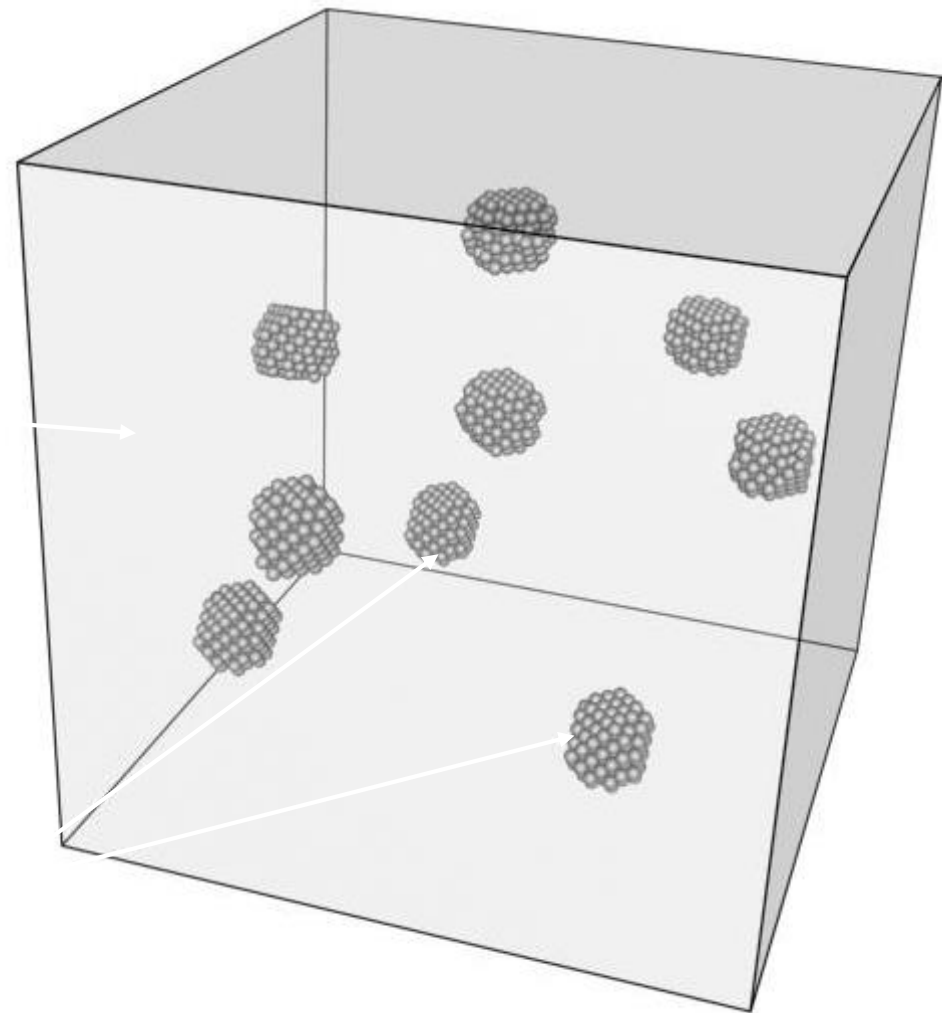
Ambos possuem as

mesmas fases mas (a)

possui uma microestrutura

diferente de (b)

LÍQUIDO



EMBRIÕES DA  
FASE SÓLIDA

Esses embriões, com a evolução da transformação, são transformados em núcleos da nova fase, como mostra a figura 4.17

Na etapa de nucleação, os núcleos surgem de forma aleatória, cada um com orientação cristalográfica própria, porém, em um mesmo núcleo, seus átomos têm a mesma orientação cristalográfica e assim se define tal região como grão cristalino.

Na fase seguinte à nucleação, denominada de crescimento, esses núcleos crescem e entram em contato com seus núcleos vizinhos, formando nesses pontos de contato uma região conhecida como “contorno de grão”.

Devidos ao caráter tridimensional da estrutura atômica, o contato dos vários grãos com diferentes orientações gera superfícies de contornos de grão.

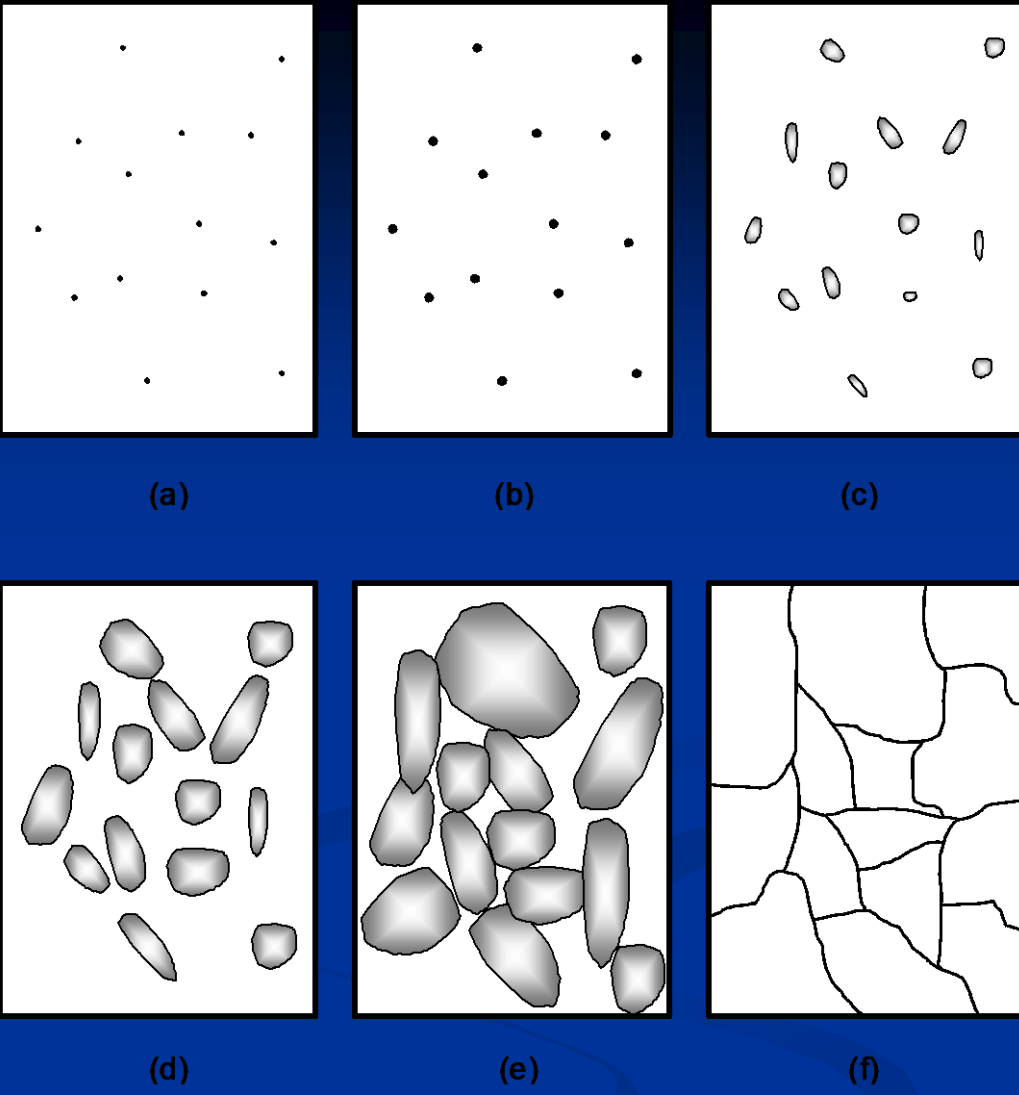
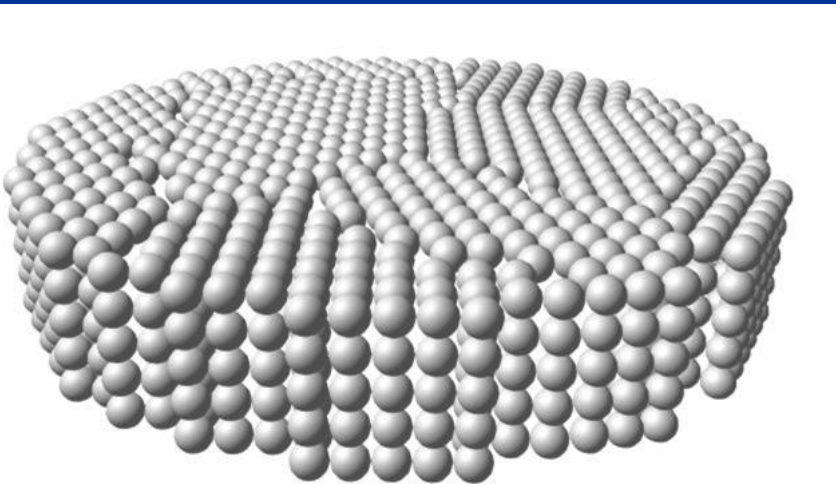


Figura 4.17. Formação de um material policristalino:  
(a) Presença de embriões;  
(b) Embriões transformam-se em núcleos;  
(c) Crescimento dos núcleos;  
(d) Núcleos dão origem aos grãos cristalinos;  
(e) Encontro dos grãos cristalinos com seus vizinhos e  
(f) Contornos dos grãos cristalinos.

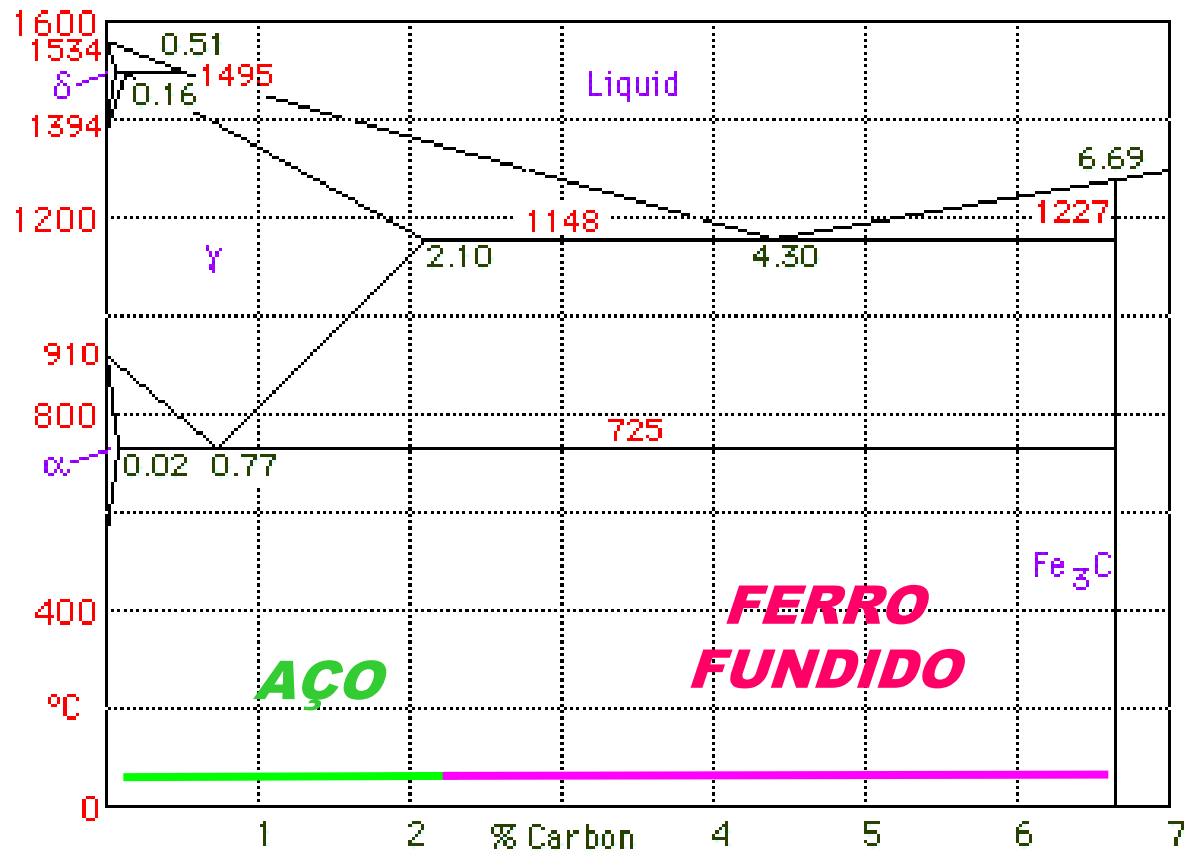


# LIGAS FERRO-CARBONO

- De todos os sistemas de ligas binárias, o que é possivelmente o mais importante é aquele formado pelo ferro e o carbono. Tanto os aços como os ferros fundidos, que são os principais materiais estruturais em toda e qualquer cultura tecnologicamente avançada são essencialmente ligas ferro-carbono.

- As ligas com até 2,0% de carbono são chamadas aços e acima deste teor, ferros fundidos.

- Durante o processo de solidificação dos aços, é possível verificar no aço o aparecimento de microconstituintes como ferrita, cementita, perlita e austenita



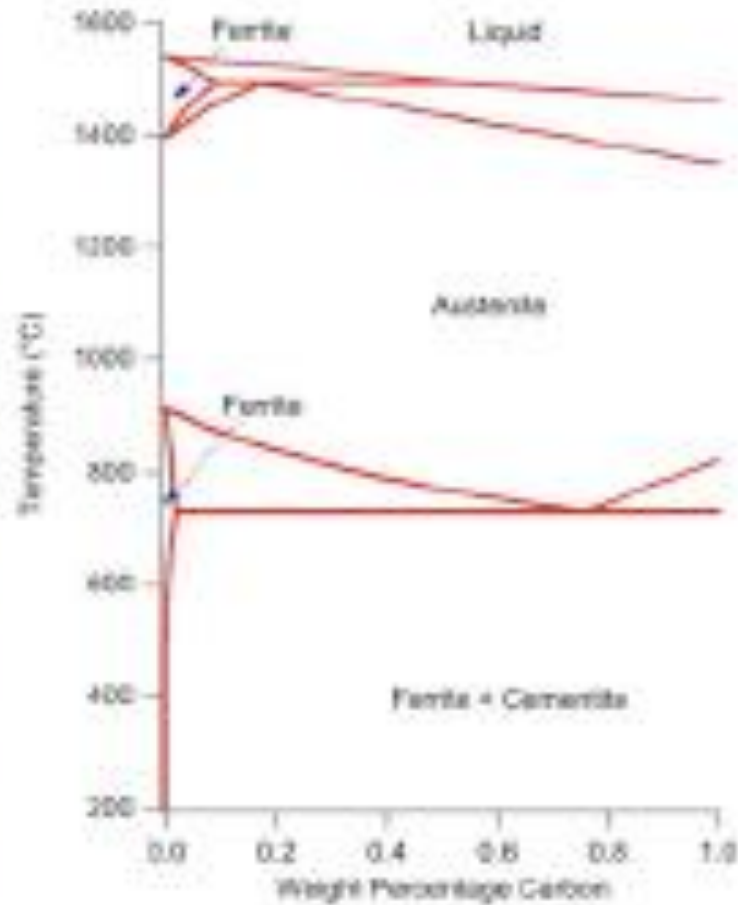
BCC



FCC



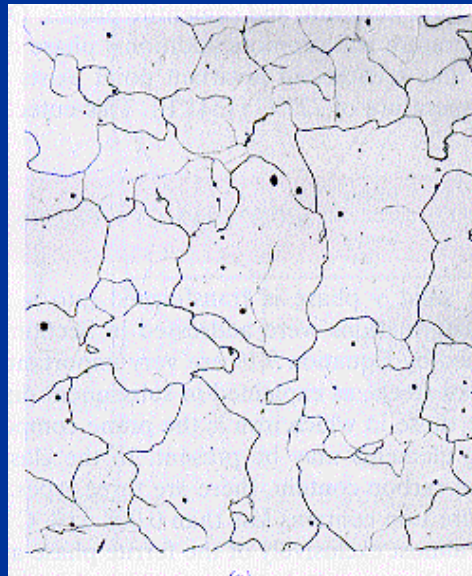
BCC



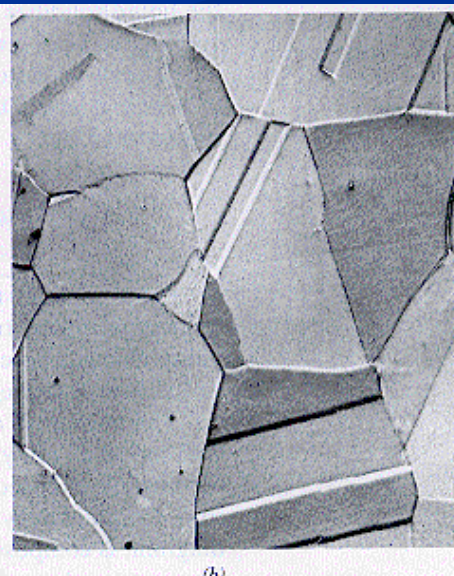
# LIGAS FERRO-CARBONO

- O ferro puro à temperatura ambiente, se encontra em uma forma estável conhecida como ferrita, ou ferro  $\alpha$ . Possui uma estrutura cristalina CCC, é dúctil e pouco resistente quando comparada a outros constituintes devido à sua estrutura cristalina. A ferrita experimenta uma transformação polimórfica para austenita, com estrutura cristalina CFC, ou ferro  $\gamma$ , à temperatura de  $912^{\circ}\text{C}$ . Essa austenita persiste até uma temperatura de  $1394^{\circ}\text{C}$ , temperatura em que a austenita CFC reverte novamente para uma fase com estrutura CCC, conhecida por ferrita  $\delta$ , a qual finalmente se funde a uma temperatura de  $1538^{\circ}\text{C}$ .

*FERRITA*



*AUSTENITA*



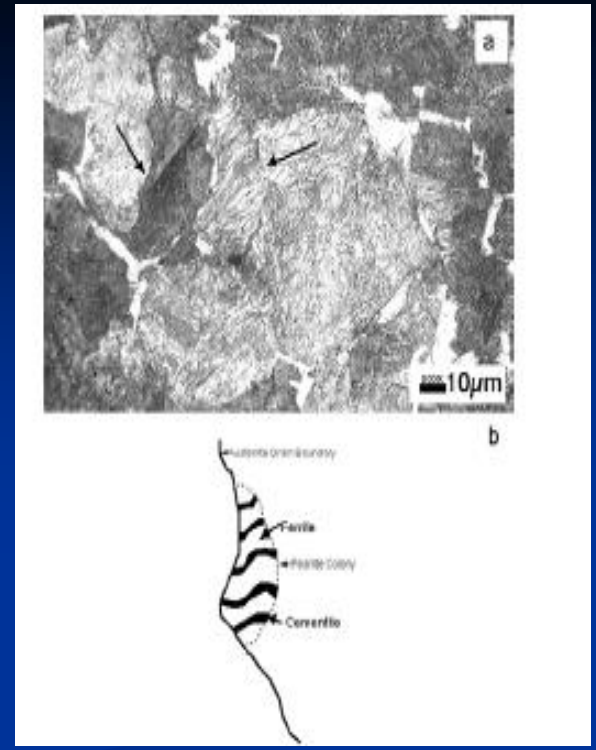
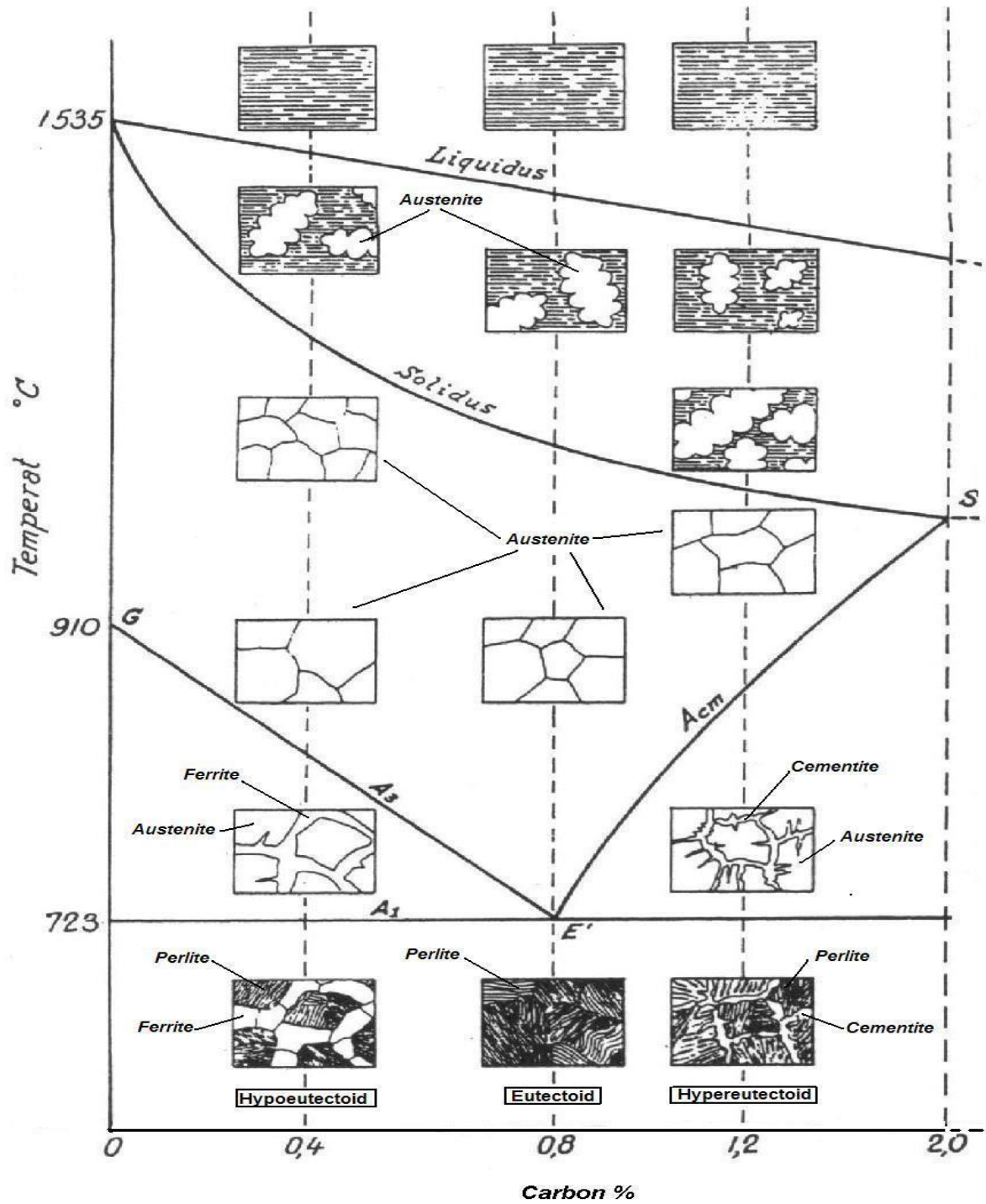


# CEMENTITA

- Forma-se quando o limite de solubilidade do carbono é ultrapassado (6,7% de C)
- É dura e frágil
- Cristaliza no sistema ortorrômbico (com 12 átomos de Fe e 4 de C por célula unitária)
- É um composto intermetálico metaestável, embora a velocidade de decomposição em ferro  $\alpha$  e C seja muito lenta

# PERLITA

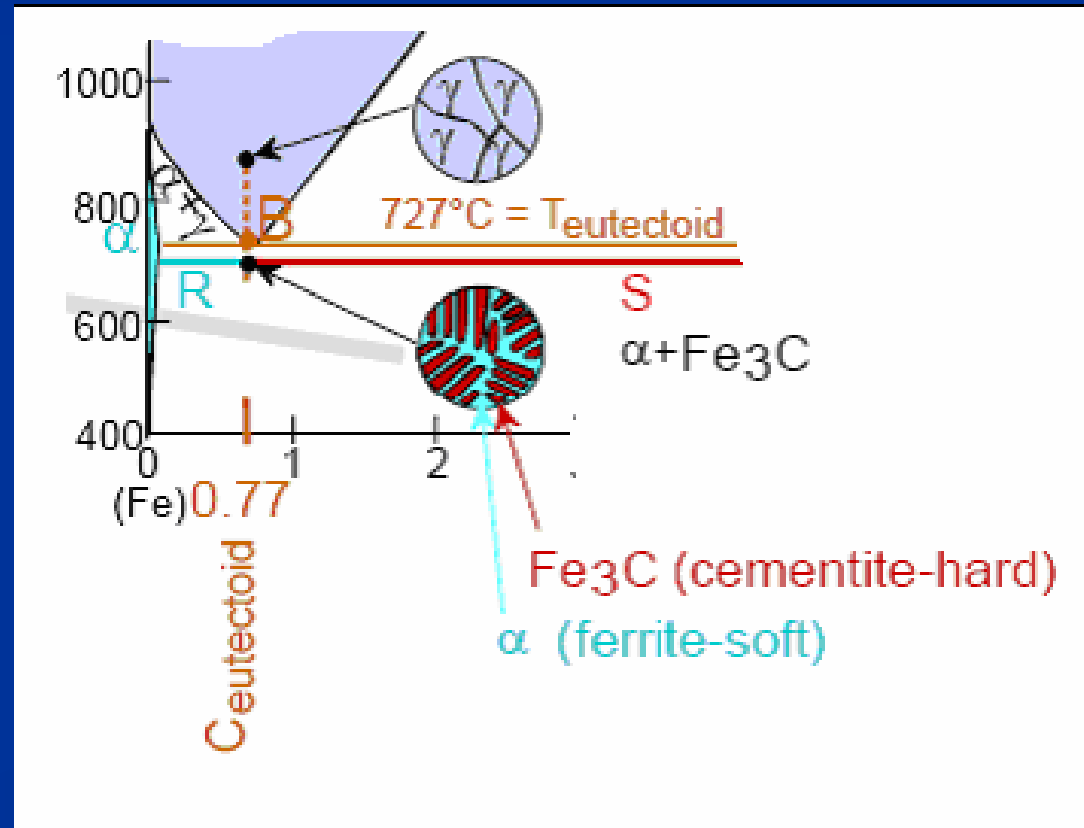
- Essa microestrutura formada nos aços eutetóides abaixo da temperatura do eutetóide composta por camadas alternadas de lamelas de ferrita e cementita é conhecida por perlita, pois quando vista ao microscópio possui uma aparência que lembra madrepérola



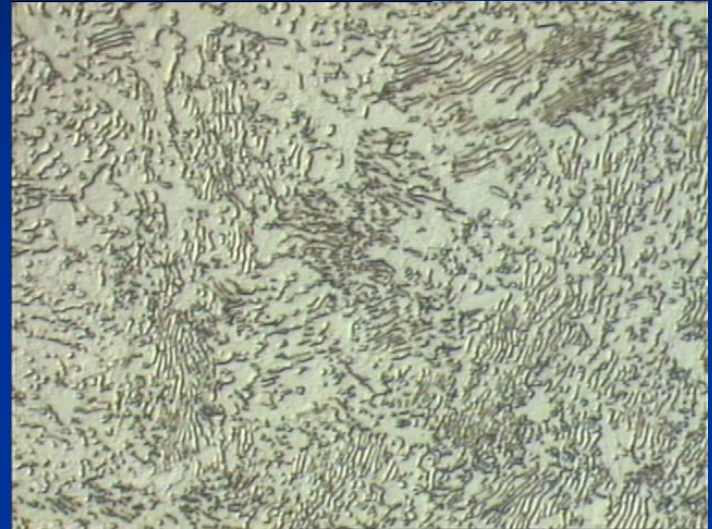
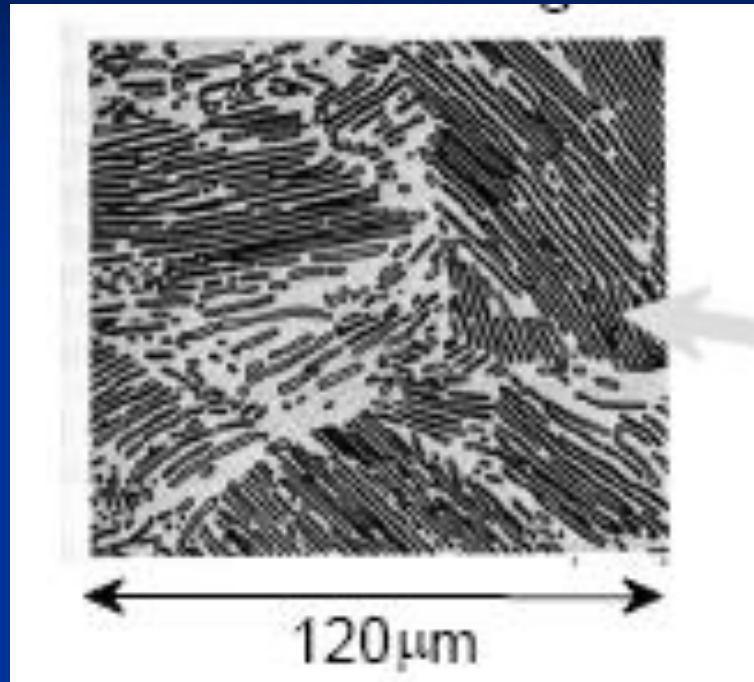
# MICROESTRUTURAS DAS LIGAS FERRO-CARBONO (AÇOS EUTETÓIDES)

Uma liga de composição eutetóide, à medida que é resfriada dentro da região da fase  $\gamma$ , digamos a  $900^\circ\text{C}$  e se movendo para baixo ao longo de uma linha vertical. Inicialmente, a liga é composta pela fase austenita, tendo uma composição de 0,77% de C

À medida que a liga é resfriada, não ocorrerão alterações até que a temperatura do eutetóide ( $727^\circ\text{C}$ ) seja atingida. Ao cruzar essa temperatura a austenita se transforma em uma estrutura composta por camadas alternadas ou lamelas compostas por ferrita e cementita que se formam simultaneamente durante a transformação



# PERLITA



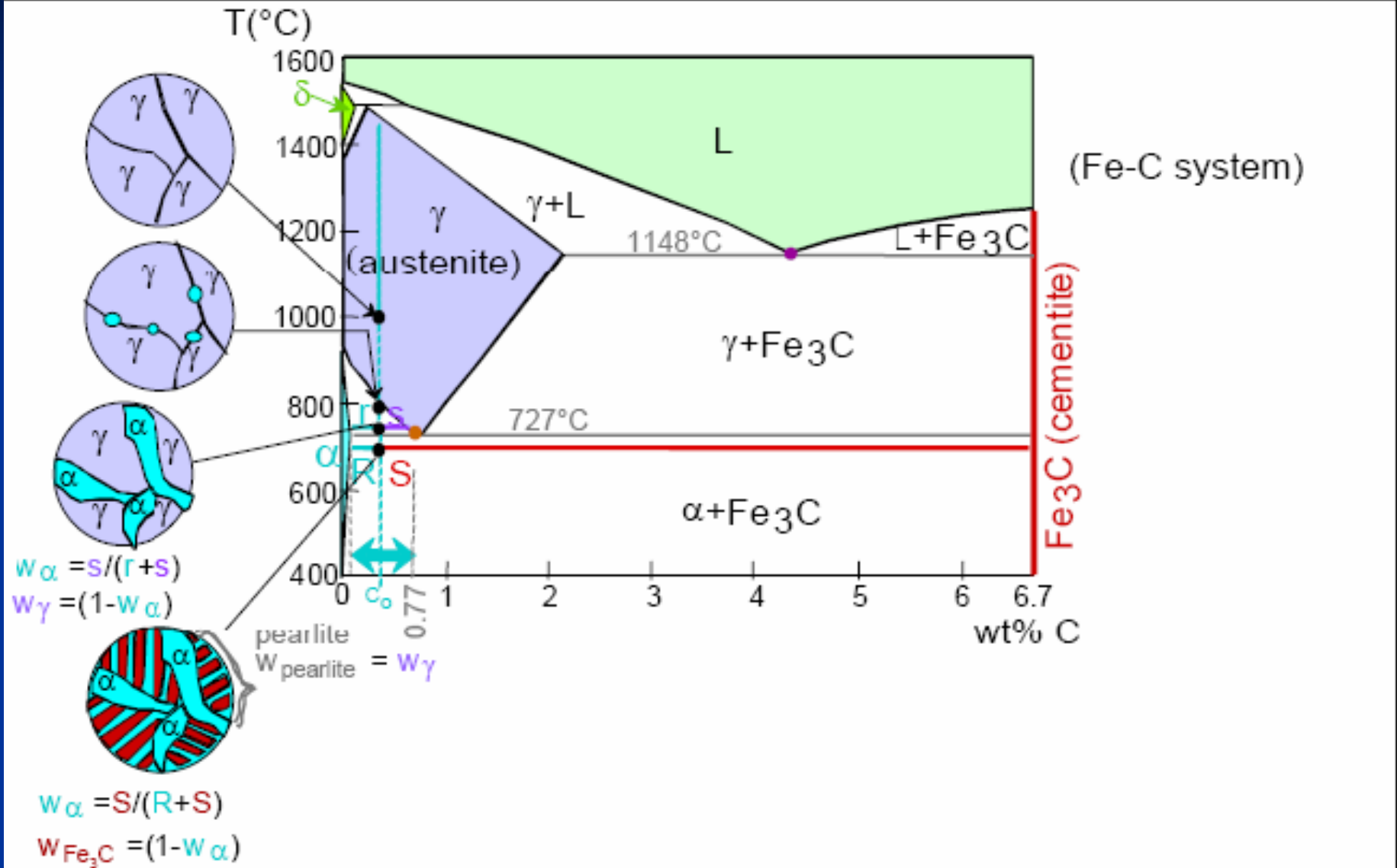
# LIGAS HIPOEUTETÓIDES

- Composições à esquerda do eutetóide, entre 0,025 e 0,77 % de C são conhecidas como ligas hipoeutetóides

- A aproximadamente  $1000^{\circ}$  C, a microestrutura consistirá inteiramente em grãos da fase  $\gamma$ , .Ao resfriar até uma temperatura de  $800^{\circ}$  C e que se encontra dentro da região  $\alpha + \gamma$ , essas duas fases coexistirão . A maioria das pequenas partículas  $\alpha$  se formará ao longo dos contornos originais dos grãos de  $\gamma$ . Enquanto se resfria uma liga através da região  $\alpha + \gamma$ , a austenita vai tornando-se ligeiramente mais rica em carbono. Continuando o resfriamento, porém ainda na região  $\alpha + \gamma$ , uma proporção maior da fase  $\alpha$  será produzida como está mostrado na microestrutura esquemática. Neste ponto a fase  $\alpha$  conterá 0,025% de C e a fase  $\gamma$  terá a composição do eutetóide
- À medida que a temperatura é abaixada para abaixo da temperatura do eutetóide, toda a fase  $\gamma$  se transformará em perlita. Não existirá qualquer alteração na fase  $\alpha$  produzida antes da temperatura do eutetóide e estará presente como uma fase matriz contínua ao redor das colônias de perlita

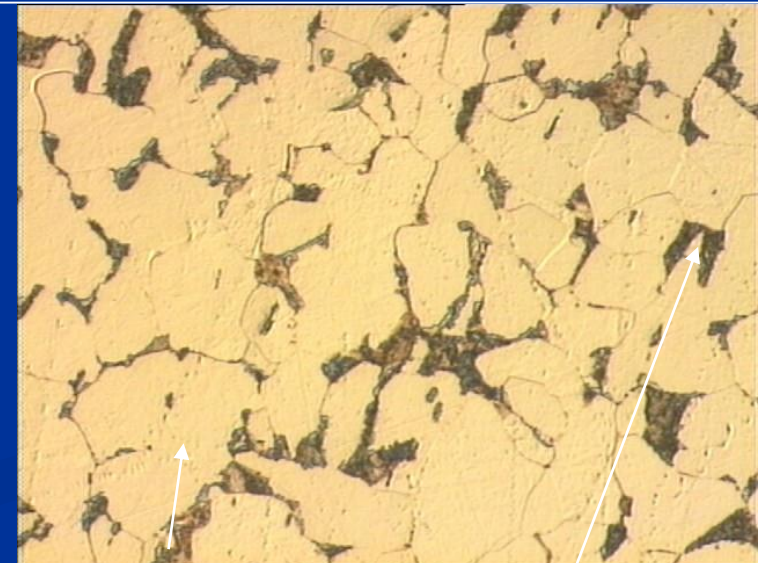
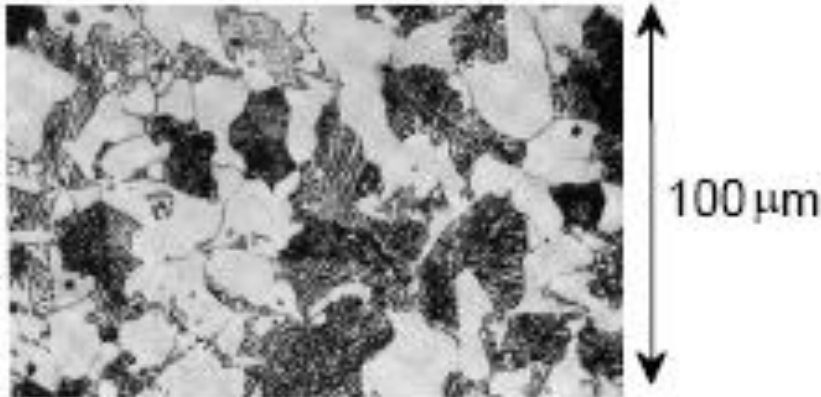


# LIGAS HIPOEUTETÓIDES



# LIGAS HIPOEUTETÓIDES

- A ferrita estará presente tanto na perlita como na fase que se formou enquanto se resfriava antes da temperatura do eutetóide. A ferrita que está presente na perlita é chamada ferrita eutetóide e a ferrita que se formou antes da temperatura do eutetóide é chamada ferrita proeutetóide.
- As regiões brancas correspondem à ferrita proeutetóide. Para a perlita, o espaçamento entre as camadas  $\alpha$  e  $\text{Fe}_3\text{C}$  varia de grão para grão; uma parte da perlita parece escura, pois as muitas camadas com pequeno espaçamento não estão resolvidas e definidas na ampliação da fotomicrografia abaixo.



Ferrita

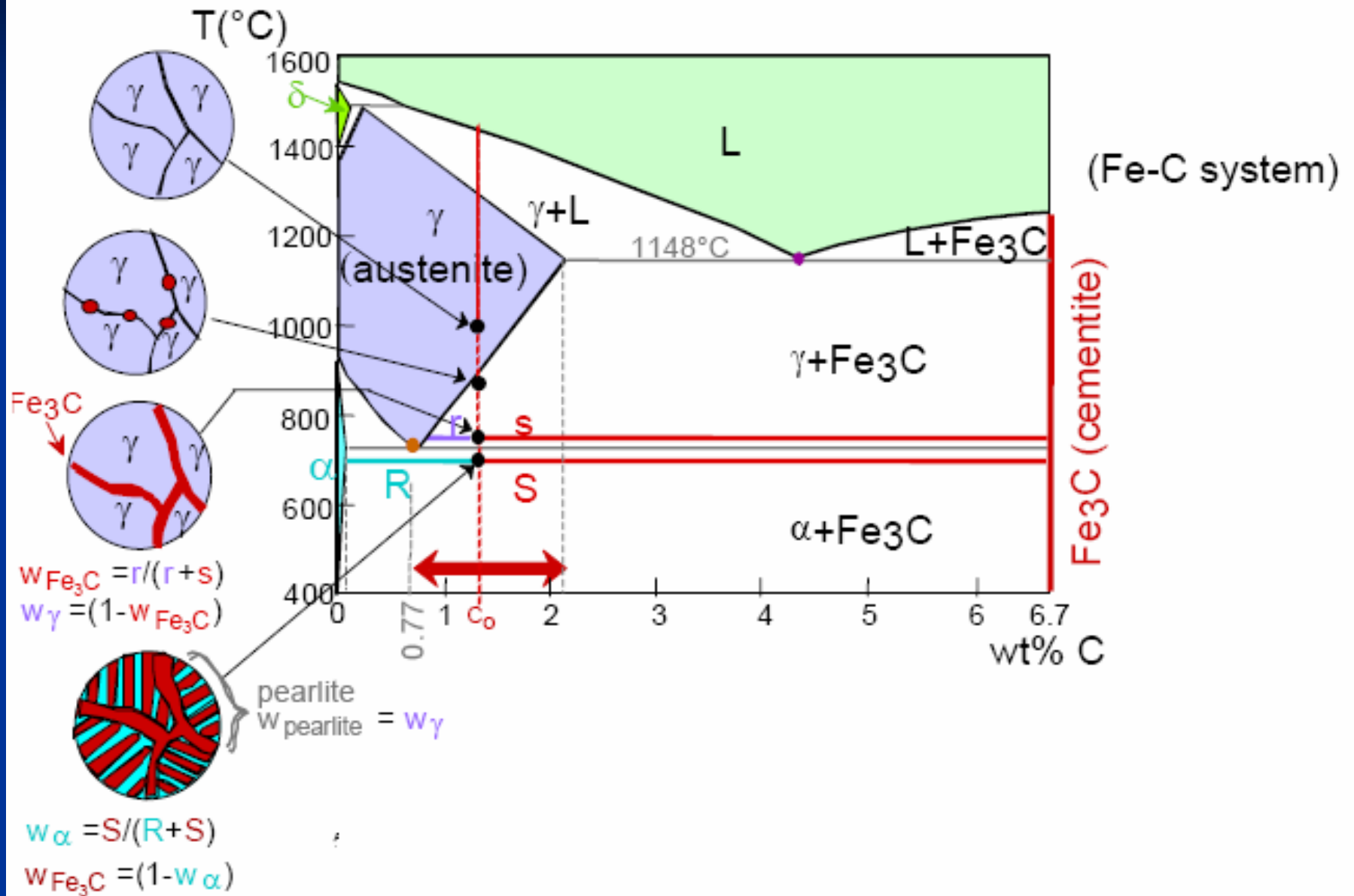
Perlita



# LIGAS HIPEREUTETÓIDES

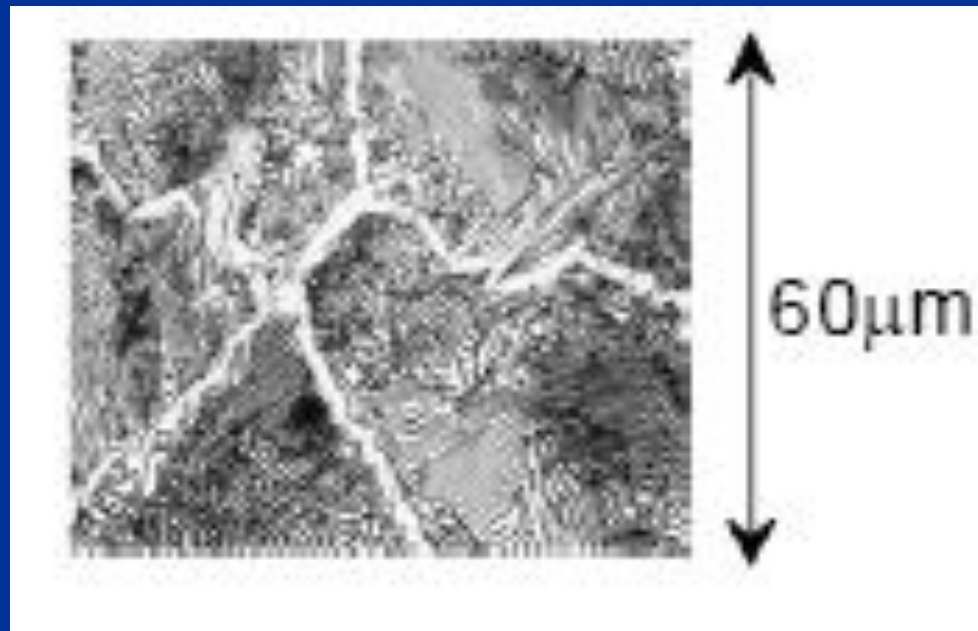
- Ligas com composições acima do eutetóide, entre 0,77% e 2,14% de C são chamadas ligas hipereutetóides
- Em aproximadamente 1000° C somente a fase  $\gamma$  está presente; a microestrutura aparecerá em forma de grãos da fase  $\gamma$ . Com o resfriamento para dentro da fase  $\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$ , a fase cementita começará a se formar ao longo dos contornos de grãos iniciais de da fase  $\gamma$ , de maneira similar que ocorre para a fase  $\alpha$  nas ligas hipoeutetóides.. À medida que a temperatura é alterada a composição da fase austenita vai se aproximando à do eutetóide. Quando a temperatura é reduzida até a temperatura do eutetóide, toda a austenita restante com a composição do eutetóide se transforma em perlita

# LIGAS HIPEREUTETÓIDES

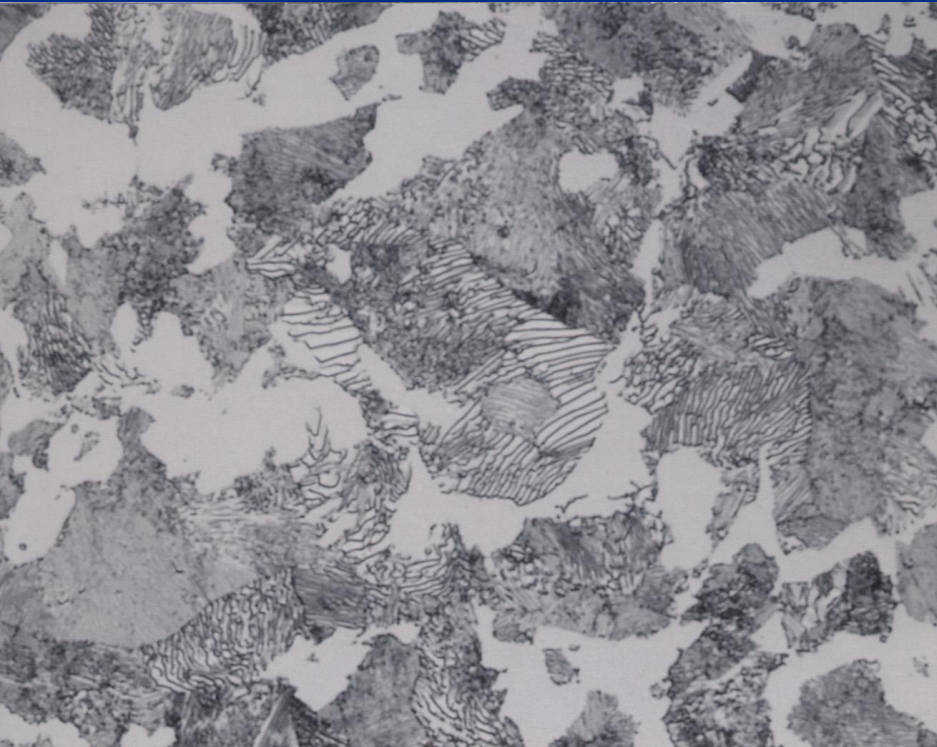


# LIGAS HIPEREUTETÓIDES

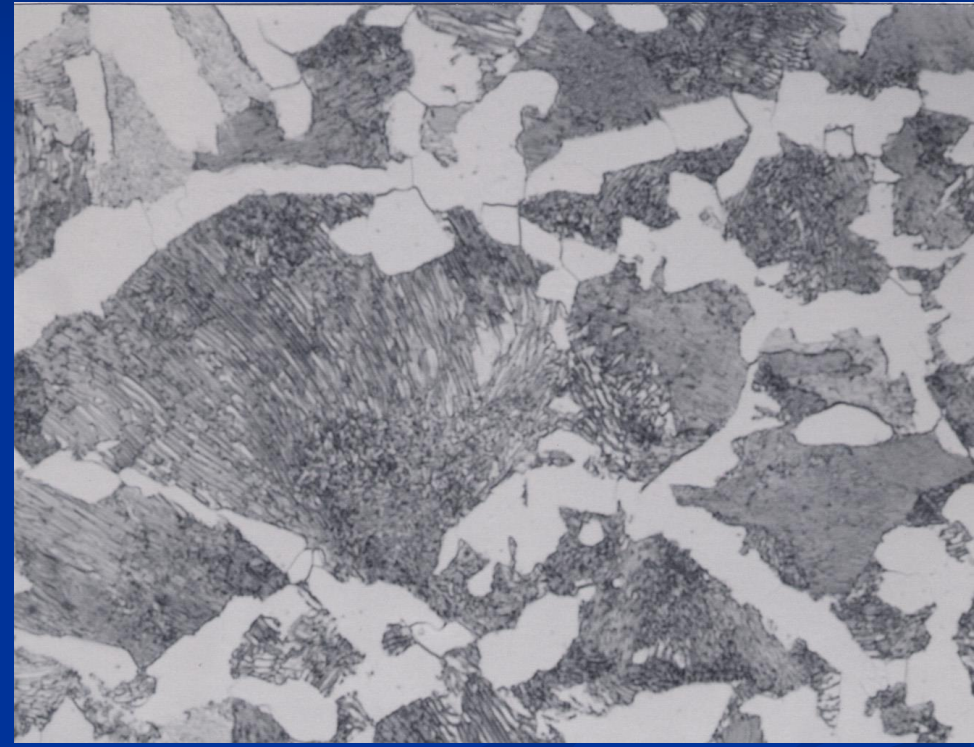
- A cementita formada antes do eutetóide é chamada cementita proeutetóide e a microestrutura das ligas hipereutetóides resultam em perlita + cementita proeutetóide
- Na fotomicrografia de um aço hipereutetóide a cementita proeutetóide aparece clara e nos contornos de grãos.



4% Picral



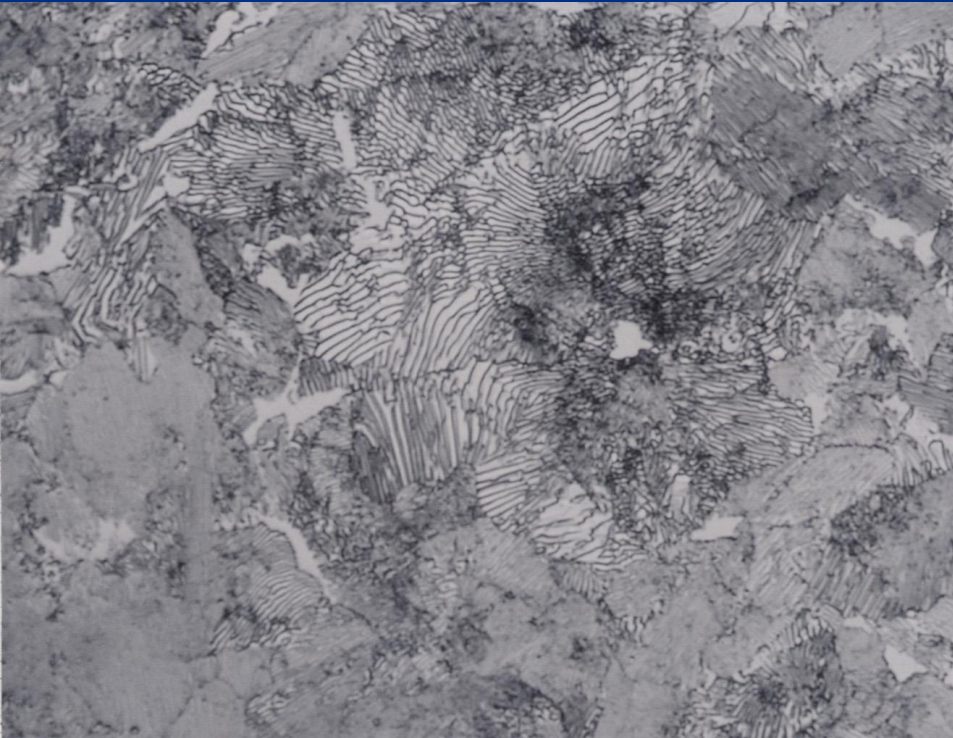
2% Nital



Microstructure of annealed 1040 carbon steel (0.40% C – 0.68% Mn – 0.12% Si) revealing ferrite and pearlite. Originals are at 1000X.



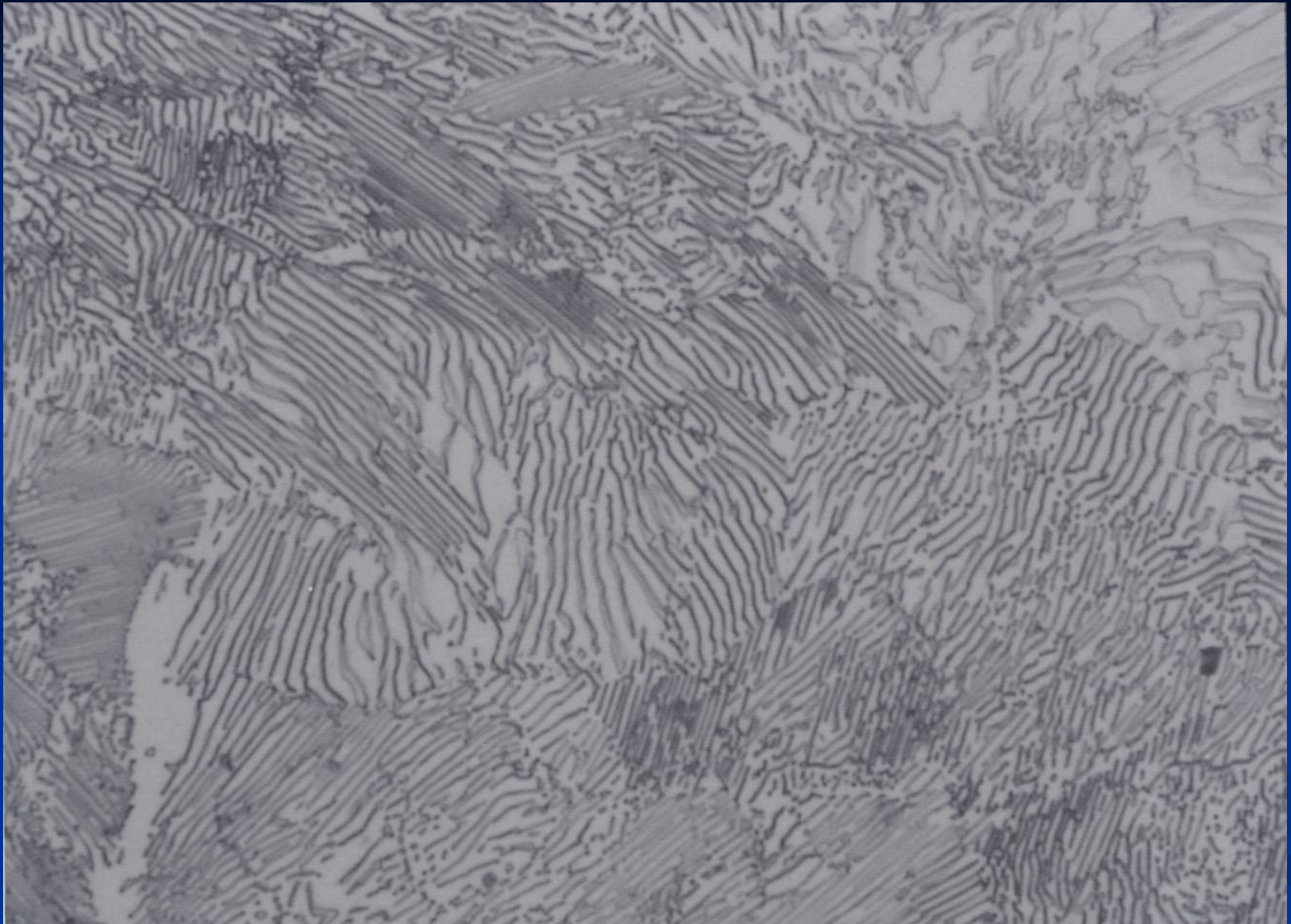
4% Picral



2% Nital

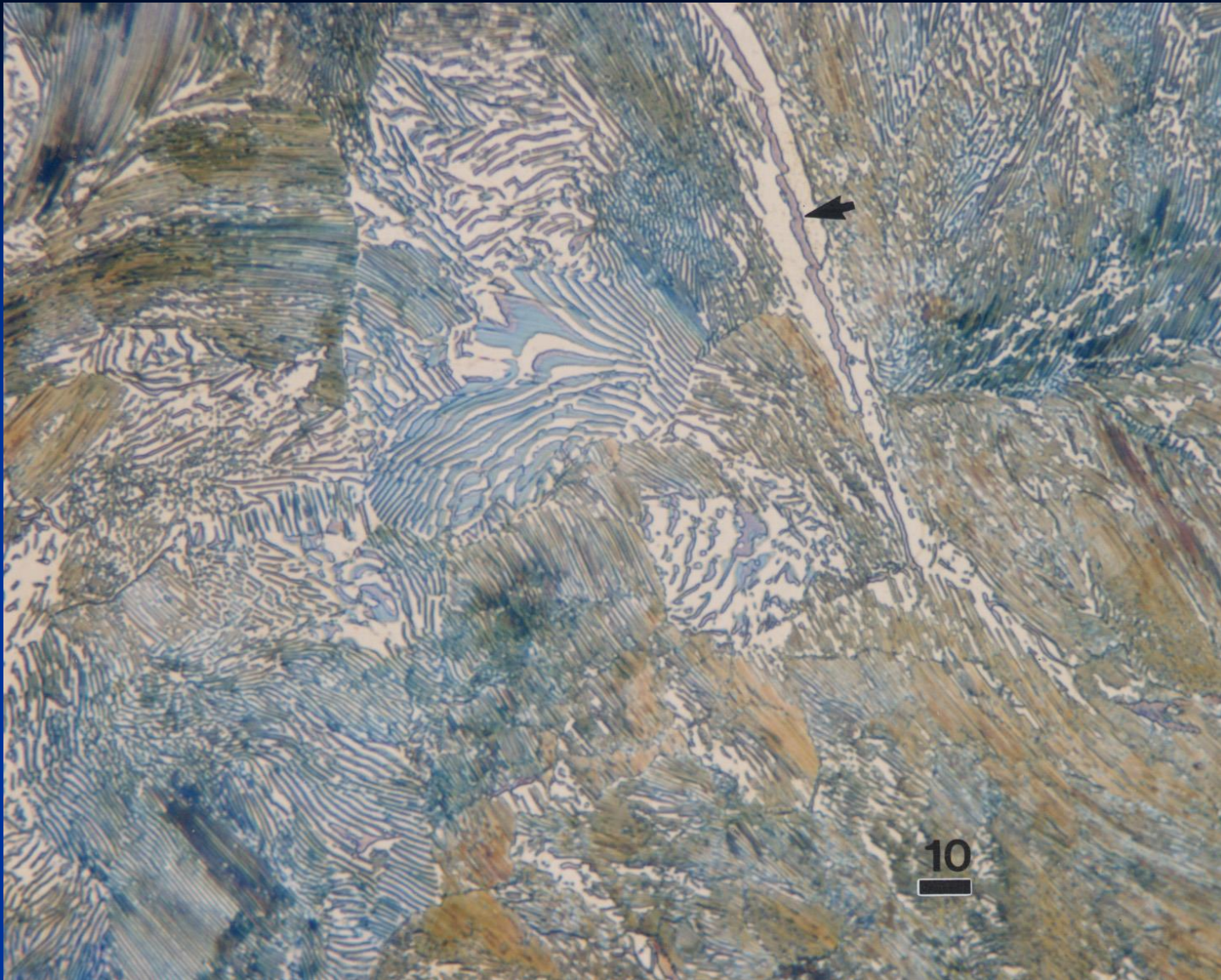


Microstructure of hot-rolled Fe – 0.68% C – 0.84% Mn – 0.33% Si revealing a nearly fully pearlitic structure. Originals at 1000X.



Coarse pearlitic structure in isothermally annealed (780 °C, 1436 °F – 1 h, isothermally transformed) 1080 steel (Fe – 0.8% C – 0.75% Mn) etched with 4% picral. All of the lamellae are resolvable. Original at 1000X.

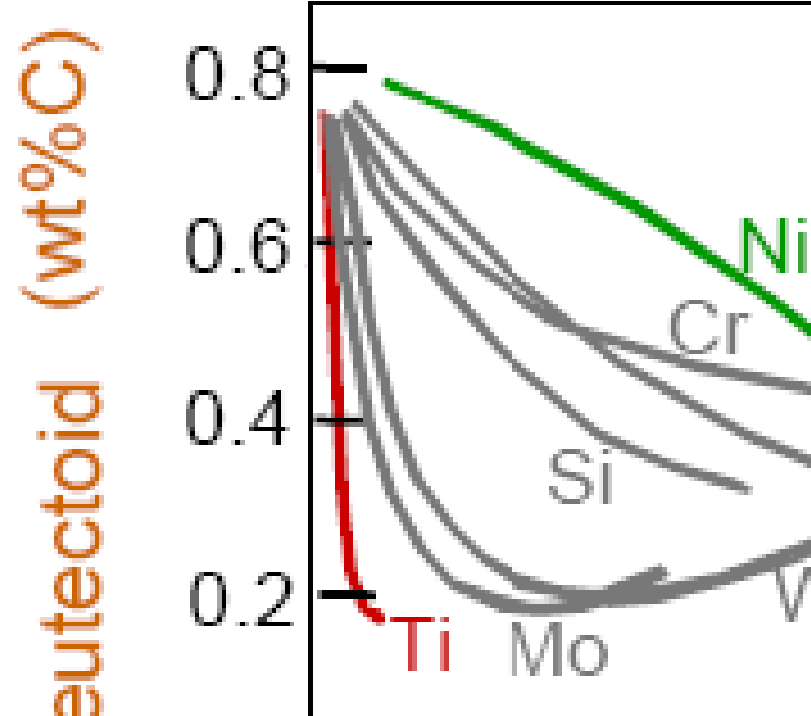
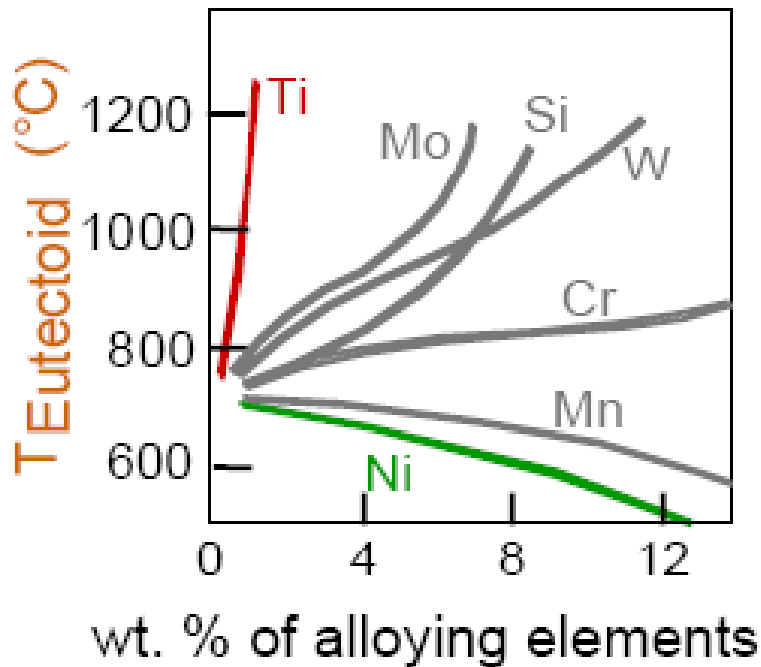




Microstructure of as-rolled Fe – 1% C binary alloy tint etched with Beraha's sodium molybdate reagent to color cementite. The arrow points to proeutectoid cementite that precipitated on a prior-austenite grain boundary before the eutectoid reaction (austenite forms ferrite and cementite in the form of lamellar pearlite). Magnification bar is 10  $\mu\text{m}$  long.

# ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

- As adições de elementos de ligas (Cr, Ni, Ti, etc.) trazem alterações no diagrama de fases binário para o sistema ferro-cementita. Uma das importantes alterações é o deslocamento da posição eutetóide em relação à temperatura e à concentração de carbono. Esses efeitos são ilustrados nas figuras a seguir:





# ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

Além do deslocamento do ponto eutetóide os elementos de liga provocam mais alguns efeitos:

- Resistência à tração: a maioria dos elementos adicionados provocam endurecimento por solução sólida, ocasionando, com isto, aumento da resistência à tração.
- Variação na temperatura de transformação: alguns elementos tendem a deslocar as temperaturas de transformação, atuando no sentido de aumentar o campo austenítico (elementos austenitizantes ou gamagênicos) ou restringindo-o (elementos ferritizantes ou alfa gênicos) e desta maneira estabilizando a ferrita. Entre os elementos gamagênicos estão o Ni, C, Mn, N e , entre os alfa gênicos o Cr, W, V, Al, Nb, etc.

- Influência no crescimento do grão: o crescimento do grão austenítico durante o tratamento térmico é um efeito indesejado. Felizmente o crescimento de grão é mais lento na presença de alguns elementos como, por exemplo, o Nb, o V e o Ni. Estes elementos são chamados “refinadores de grão” e são adicionados no aço, muitas vezes, com esta finalidade.

# ELEMENTOS DE LIGA NOS AÇOS

- Formação de carbonetos: alguns elementos quando adicionados aos aços, formam carbonetos muito estáveis os quais geralmente são mais duros que a cementita. Por isso esses elementos elevam a dureza do aço e são utilizados geralmente em aços ferramenta de qualidade superior. Entre os elementos estão o Cr, Mo, W, V, Nb e Ti.
- Melhoria na temperabilidade: à exceção do Co todos os elementos tendem a reduzir a velocidade crítica de resfriamento (mínima velocidade para se obter uma estrutura inteiramente martensítica). Isto é indicado pelo deslocamento das curvas TTT para a direita.
- Melhoria na resistência à corrosão: adições de cromo da ordem de 13% proporcionam a formação de um filme óxido denso e aderente à superfície do aço protegendo-o efetivamente contra a corrosão.